Sommario

1 LEZIONI 1

- Programmazione per competenze 2
- Lezione segmentata 5
- Tracce di lezioni segmentate 7

2 COMPITI 13

- Esercitazione per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche* 14
  - □ I concetti fondamentali 14
  - □ Piccole sfide 15
- Svolgimento dell'esercitazione per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche* 16
- Svolgimenti di tutti gli esercizi del libro: 18
  - □ 0. La matematica che userai: 10 cose da sapere 18
  - □ 1. Le grandezze fisiche 30
  - □ 2. La misura 48
  - □ 3. I vettori e le forze 69
  - □ 4. L'equilibrio dei solidi 88
  - □ 5. L'equilibrio dei fluidi 108
  - □ 6. La velocità 126
  - □ 7. L'accelerazione 151
  - □ 8. I moti nel piano 178
  - □ 9. I principi della dinamica 197
  - □ 10. Le forze e il movimento 213
  - □ 11. Il lavoro e l'energia 229
  - □ 12. La quantità di moto e il momento angolare 248
  - □ 13. La temperatura e i gas 261
  - □ 14. Il calore 277
  - □ 15. La termodinamica 292
  - □ 16. Le onde, il suono e la luce 306
  - □ 17. Le cariche e il campo elettrico 322
  - □ 18. Il potenziale elettrico e la capacità 338
  - □ 19. La corrente e i circuiti elettrici 348
  - □ 20. I fenomeni magnetici 367
  - □ 21. L'induzione elettromagnetica 382
  - □ Approfondimenti delle UdA 397

3 VERIFICHE 419

- Prova di verifica per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche*, fila A 420
- Svolgimento della prova di verifica per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche* 422

1 Lezioni

In questa sezione proponiamo, per il corso *L'Amaldi.verde*:

- una programmazione per competenze;
- un esempio di progettazione di una lezione segmentata;
- due esempi di tracce di lezioni segmentate.

■ La **programmazione per competenze** è presentata sotto forma di tabella e dà una visione immediata degli strumenti didattici a disposizione, suddivisi per:

- ☐ le **competenze** richieste dalle **Indicazioni nazionali**;
- ☐ le **competenze chiave per l'apprendimento permanente** su raccomandazione dell'Unione Europea;
- ☐ gli **obiettivi minimi**.

■ Le tracce di **lezioni segmentate** sono strutturate in tre fasi: preconoscenze, lezione e attività.

Queste programmazioni e lezioni sono disponibili anche online sul sito:

online.zanichelli.it/amaldiverde2ed

Risorse per la programmazione per competenze

COMPETENZE DALLE INDICAZIONI NAZIONALI

I1. Osservare e identificare fenomeni.
I2. Affrontare e risolvere semplici problemi di fisica usando gli strumenti matematici adeguati al percorso didattico.
I3. Avere consapevolezza dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e validazione di modelli.
I4. Comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società.

COMPETENZE CHIAVE PER L'APPRENDIMENTO PERMANENTE
[da Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea, 22 maggio 2018]

C1. Competenza alfabetica funzionale
Capacità di individuare, comprendere, esprimere, creare e interpretare concetti, sentimenti, fatti e opinioni, in forma sia orale sia scritta, utilizzando materiali visivi sonori e digitali e attingendo a varie discipline e contesti.
C2. Competenza multilinguistica
Capacità di utilizzare diverse lingue in modo appropriato ed efficace allo scopo di comunicare.
C3. Competenza matematica e competenze in scienze, tecnologia e ingegneria
La competenza matematica è la capacità di sviluppare e applicare il pensiero e la comprensione matematici per risolvere una serie di problemi in situazioni quotidiane. Partendo da una solida padronanza della competenza aritmetico-matematica, l'accento è posto sugli aspetti del processo e dell'attività oltre che sulla conoscenza. La competenza matematica comporta, a differenti livelli, la capacità di usare modelli matematici di pensiero e di presentazione (formule, modelli, costrutti, grafici, diagrammi) e la disponibilità a farlo.
C4. Competenza digitale
Presuppone l'interesse per le tecnologie digitali e il loro utilizzo con dimestichezza e spirito critico e responsabile per apprendere, lavorare e partecipare alla società.
C5. Competenze personale, sociale e capacità di imparare a imparare
Capacità di riflettere su sé stessi, di gestire efficacemente il tempo e le informazioni, di lavorare con gli altri in maniera costruttiva, di mantenersi resilienti e di gestire il proprio apprendimento e la propria carriera.
C6. Competenza in materia di cittadinanza
Capacità di agire da cittadini responsabili e di partecipare pienamente alla vita civica e sociale, in base alla comprensione delle strutture e dei concetti sociali, economici, giuridici e politici oltre che dell'evoluzione a livello globale e della sostenibilità.
C7. Consapevolezza imprenditoriale
Capacità di agire sulla base di idee e opportunità e di trasformarle in valori per gli altri. Si fonda sulla creatività, sul pensiero critico e sulla risoluzione di problemi, sull'iniziativa e sulla perseveranza, nonché sulla capacità di lavorare in modalità collaborativa al fine di programmare e gestire progetti che hanno un valore culturale, sociale o finanziario.

	Lezioni	Compiti	Verifiche
Competenze dalle Indicazioni Nazionali I1, I2, I3, I4	• Approfondimenti di teoria - esempio: *Dimostrazione del teorema dell'energia cinetica*, cap. 11, pag. 350 • *Videoripassi* di matematica - esempio: *Riconoscere una proporzionalità diretta*, cap. 5, pag.162 • *Animazioni interattive* - esempio: *La velocità nel moto rettilineo uniforme*, cap. 6, pag. 199 • *Ripassi interattivi* - esempio: cap. 2, pag. 67 • *Formule in 3 minuti* - esempio: cap. 7, pag. 244 • *Simulazioni PhET* - esempio: *Il moto del proiettile*, cap. 8, pag. 270	• Problemi *Ora prova tu* abbinati a: - *Problemi svolti* - *Problemi modello* - *Problemi a passi* - *Problemi guidati* • Videoproblemi *Guarda come si risolve* - esempio: *Un corpo oscillante*, es. 67, cap. 10, pag. 338 • Esercizi in più su *Guarda!* - esempio: cap. 8 pag. 278 • Test - ZTE - dai Giochi di Anacleto - dalle Olimpiadi della fisica - dai test di ingresso e dagli esami universitari	• *Preparati per la verifica* - esempio: cap. 4, pag. 157
	Solo per l'insegnante • Lezioni in PowerPoint • Lezioni segmentate - esempio: *Equilibrio del punto materiale*, cap. 4, nell'EDI • Tabella dei fondamentali	**Solo per l'insegnante** • *Piccole sfide* nelle esercitazioni • *Svolgimenti degli* esercizi del libro	**Solo per l'insegnante** • *CreaVerifiche* • nell'EDI al link creaverifiche.zanichelli.it
Competenze chiave per l'apprendimento permanente C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7	• *Tecnologia e sviluppo sostenibile* (Agenda 2030) - esempio: *La misura del riscaldamento terrestre*, cap. 2, pag. 66 • Approfondimento sull'effetto serra (Agenda 2030) • *Laboratorio Python* (STEM) - esempio: *Moto uniformemente accelerato: dalla legge al grafico*, cap. 7, pag. 237 • *Laboratorio con Arduino* (STEM) - esempio: *Misura di g con pendolo e Arduino*, cap. 10, pag. 327	• *Fisica con le mani* (STEM) - esempio: *Il moto parabolico della pallina*, cap. 10, pag. 329 • Esercizi *con il foglio di calcolo* (STEM) - esempio: es. 96 cap. 10, pag. 341	

	• *Esperimenti con lo smartphone* (STEM) - esempio: *Il volo dello smartphone*, cap. 9, pag. 300 • *Unità di Apprendimento* (interdisciplinarità) - esempio: *Base Luna*, pag. A6-A7		
	Solo per l'insegnante • Risposte alle domande di *Tecnologia e sviluppo sostenibile* (Agenda 2030) - esempio: *Auto ibride e frenata rigenerativa*, cap. 11, pag. 358 oppure nell'EDI al link creaverifiche.zanichelli.it	**Solo per l'insegnante** • Svolgimento degli Esercizi *con il foglio di calcolo* (STEM) - esempio: es. 124 pag. 259 cap.7, nell'EDI	
Obiettivi minimi	• *Esempi* nella teoria - esempio: cap. 3, pag. 99 • Domande nel colonnino della teoria - esempio: *A parità d'impulso*, cap. 12, pag. 376 • *Che cosa dice la formula* - esempio: cap. 3, pag. 99 • Problemi modello - esempio: *La legge oraria del moto rettilineo uniforme*, cap. 6, pag. 219	• *Problemi a passi* e *Ora prova tu* - esempio: cap. 9, pag. 307 • *Problemi guidati* e *Ora prova tu* - esempio: cap. 2, pag. 77 • *Mappe dei fondamentali* - esempio: cap. 10, pag. 328 • *Ripassi interattivi* - esempio: cap. 5, pag. 173	
	Solo per l'insegnante • Risposte alle domande nel colonnino della teoria • *I fondamentali in sintesi* su Genially - esempio: *L'equilibrio dei solidi*, cap. 4 nell'EDI; *I principi della dinamica*, cap. 4 nell'EDI	**Solo per l'insegnante** • *I concetti fondamentali* nelle esercitazioni - esempio: cap. 6 nell'EDI	

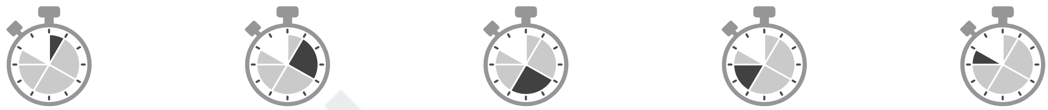
LEZIONE SEGMENTATA

PRECONOSCENZE LEZIONE ATTIVITÀ RESTITUZIONE CONCLUSIONE

La lezione segmentata è un modo di fare lezione per:

- mantenere alta l'attenzione in classe
- coinvolgere gli studenti in modo attivo
- aiutarli a controllare il loro apprendimento

Una lezione di **50 minuti** divisa in **5 segmenti**



5 minuti | 15 minuti | 15 minuti | 10 minuti | 5 minuti

PRECONOSCENZE
Verifica delle preconoscenze o brainstorming per iniziare a entrare nell'argomento.

LEZIONE
Momenti brevi e mirati di spiegazione frontale senza rinunciare alla complessità.

ATTIVITÀ
Attività operative per mettersi alla prova, da soli o a gruppi, e riconoscere eventuali difficoltà.

RESTITUZIONE
Condivisione, feedback e chiarimenti dopo le attività operative.

CONCLUSIONE
Riflessioni conclusive per consolidare e assegnazione dei compiti per casa.

L'attenzione degli studenti durante una lezione frontale è discontinua: dopo i primi 15-20 minuti diminuisce progressivamente, fino a esaurirsi verso la fine. Questo è dovuto a una predisposizione specifica all'apprendimento per cui è difficile rimanere concentrati per la durata di un'intera lezione di 50-60 minuti.

La **lezione segmentata** organizza la lezione in **attività variate**, interrompendo il flusso di informazioni da parte del docente. Gli studenti sono coinvolti in modo attivo e stanno più attenti.

Gli insegnanti possono pianificare una struttura completa e organica della lezione, tenendo conto di tre fattori:

- i **ritmi di attenzione**
- il **carico cognitivo**
- i **bisogni educativi** dei propri studenti.

PERCHÉ PROGETTARE UNA LEZIONE SEGMENTATA?

La segmentazione della lezione in elementi più brevi permette di migliorare la memoria e l'apprendimento.

Questa tecnica, in inglese *chunking*, si usa per potenziare la concentrazione e favorire la memorizzazione e la comprensione di elementi complessi, per esempio:

1. le 16 cifre delle carte di credito, divise in 4 blocchi da 4
2. la suddivisione del testo in paragrafi. Un testo senza paragrafi o interruzioni è più difficile da leggere di un altro diviso in sottosezioni.

La lezione segmentata è strutturata in **segmenti di 10-15 minuti** e permette di riaccendere l'attenzione. Le attività che seguono la spiegazione consentono agli studenti di applicare subito il concetto spiegato.

Le **brevi e ritmate attività di gruppo** sono il cuore della lezione. L'efficacia dipende anche dal tempo dedicato **all'apprendimento attivo**.

COME PROGETTARE UNA LEZIONE SEGMENTATA

I tempi indicati sono modulabili e se si ha a disposizione più di un'ora è possibile fare più cicli di lezione, attività e restituzione.

Esempio di una lezione da 50 minuti divisa in 5 segmenti:

5 minuti **Esame delle preconoscenze**
Pochi minuti per porre un paio di domande agli studenti.
Obiettivo? Far capire allo studente il suo punto di partenza rispetto all'argomento.
L'IDEA IN PIÙ: Ci sono software per il brainstorming che possono essere facilmente usati anche in classe.

15 minuti **Una lezione mirata che non rinunci alla complessità**
Una spiegazione in cui si immagina di parlare agli studenti migliori.
Obiettivo? Dare un quadro d'insieme all'argomento della lezione.

15 minuti **Attività con cui gli studenti possono mettersi alla prova**
Si assegnano attività per verificare le conoscenze appena apprese, sia individuali sia da svolgere in coppie o a gruppi.
Obiettivo? Creare un ambiente di lavoro dentro la classe in cui gli studenti possano fornire idee e supporto agli altri compagni.
L'IDEA IN PIÙ: L'insegnante può coprire parte di una tabella di sintesi o di un esercizio e chiedere agli studenti di completare le parti mancanti.

10 minuti **Il docente interviene di nuovo con la restituzione**
Ascolta i risultati e le conclusioni della classe, dà feedback e chiarimenti dopo le attività.
Obiettivo? Colmare le lacune e aiutare gli studenti a migliorarsi.

5 minuti **Riflessioni conclusive**
Il docente assegna compiti o esercizi per la lezione successiva.
Obiettivo? Consolidare gli argomenti affrontati durante la lezione.
L'IDEA IN PIÙ: Chiedere agli studenti un riscontro sulla lezione, per esempio far scrivere tre punti che pensano di aver capito e tre su cui hanno ancora dubbi o incertezze.

Lo schema può essere modificato a seconda delle esigenze didattiche, da quelle più tradizionali in presenza a quelle più innovative della didattica a distanza.

ESEMPI DI LEZIONE SEGMENTATA

Crea la tua lezione segmentata con gli strumenti digitali Zanichelli.

Per la lezione e lo studio:

- **Il libro digitale su Booktab**
- **Collezioni**, la piattaforma di raccolta video collezioni.scuola.zanichelli.it
- **Biblioteca**, per la letteratura italiana biblioteca.scuola.zanichelli.it
- Il **Museo di Itinerario nell'arte**, per la storia dell'arte https://museo.zanichelli.it

Per il ripasso o la verifica delle conoscenze:

- **ZTE - Zanichelli Test**, zte.zanichelli.it
- **CreaVerifiche**, creaverifiche.zanichelli.it
- **Kahoot**, kahoot.com o altri sistemi di quiz rapidi

Per approfondire e trovare altri esempi, visita il sito Zanichelli:
https://su.zanichelli.it/lezione-segmentata

Traccia di lezione segmentata 1

ARGOMENTO LEZIONE: Equilibrio del punto materiale
TEMPO PREVISTO: 50 minuti

Obiettivi formativi:
- comprendere il concetto di equilibrio del punto materiale
- saper usare il diagramma delle forze

Strumenti necessari
- un software per videochiamate per fare lezione online (per esempio Google Meet, Microsoft Teams, Skype, Zoom, Vidyo)

PRECONOSCENZE **5 minuti**	**Che cosa serve?** • Test di quattro domande per ripassare alcuni concetti basilari: – somma di vettori – scomposizione di vettori – forza-peso – forza di attrito statico Il test, in formato Word o PDF, si trova sul sito https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed **Che cosa fa il docente?** • Può scegliere di inviare il breve test da svolgere a casa prima della lezione online per avere più tempo nella "diretta" • oppure può farlo durante la "diretta" **Il passo in più** Il docente può inviare il test digitalmente tramite teacher desmos e raccogliere così in diretta le risposte degli studenti https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/5e6baf1f03783e7bc376e3ba

LEZIONE **15 minuti**	**Che cosa serve?** • Una presentazione per mostrare esempi, esercizi o il proprio libro digitale **Che cosa fa il docente?** • Dedica 10-15 minuti alla lezione diretta. Con l'ausilio del libro di testo e di un esercizio che possa fungere da modello, procede a spiegare: – la condizione di equilibrio del punto materiale – la scomposizione della forza-peso lungo un piano inclinato – la forza di reazione vincolare e la forza equilibrante

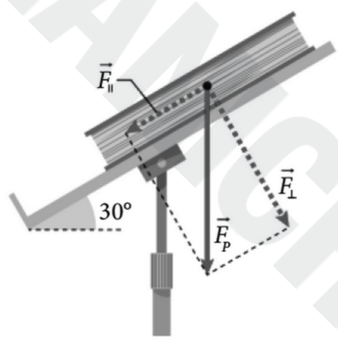
Il passo in più
Il docente può condurre questa fase di spiegazione usando il proprio libro digitale e forme di lavagna virtuale.
La spiegazione può anche essere aiutata dalla visione di un video, come ad esempio questo video di laboratorio sull'equilibrio su un piano inclinato:
https://www.youtube.com/watch?v=MZdqfHyrttU

Sono disponibili anche altri video su Collezioni, l'archivio di video Zanichelli. Qui si trovano tutti i video di fisica:
https://collezioni.scuola.zanichelli.it/browsebytheme/section-fisica

ATTIVITÀ

15 minuti

Che cosa serve?
- Una presentazione con questo esercizio riguardante l'equilibrio su un piano inclinato:



Un libro di massa 1,0 kg è poggiato su un leggio inclinato di 30° rispetto all'orizzontale. Il coefficiente di attrito statico fra il leggio e il libro è μ_s.

▶ Scrivi la condizione per cui il libro non scivola.

▶ Quale deve essere il valore minimo di μ_s affinché il libro sia in equilibrio?

Suggerimento: il rapporto tra l'altezza e la lunghezza del leggio è pari a sin 30° .

Che cosa fa il docente? Che cosa fanno gli studenti?
- Il docente assegna l'esercizio.
- Gli studenti risolvono singolarmente l'esercizio e prendono nota di dubbi e difficoltà.

Il passo in più
Il docente può inviare l'esercizio digitalmente tramite teacher desmos
https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/5e6f577fde425f233bfac35b

L'esercizio, in formato Word o PDF, si trova sul sito
https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed

RESTITUZIONE

10 minuti

Che cosa fa il docente?

- Il docente chiede agli studenti:
  1. la risposta alla prima domanda, cioè la condizione di equilibrio;
  2. il risultato della seconda domanda, cioè 0,58;
  3. dubbi e difficoltà emersi durante l'attività.

Il passo in più

Gli studenti possono fornire le risposte tramite teacher desmos, nella chat della videolezione (se possibile individualmente al docente), oppure fotografare gli appunti e inviarli in un album personale/collaborativo in Google Foto o in una cartella Drive collaborativa con link fornito dal docente.
Se gli studenti dispongono di tablet o di tavoletta grafica possono scrivere le risoluzioni digitalmente e condividerle direttamente.

CONCLUSIONE

5 minuti

Che cosa fa il docente? Che cosa fanno gli studenti?

- A partire dalle difficoltà riscontrate dagli studenti, il docente fornisce feedback, consigli per la corretta risoluzione dell'esercizio, e riprende i concetti fondamentali.
- Chiede se il risultato finale dell'esercizio cambia se la massa del libro raddoppia.

Assegna un altro esercizio simile, che può trovare in formato Word o PDF sul sito
https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed

Traccia di lezione segmentata 2

ARGOMENTO LEZIONE: Meccanica
TEMPO PREVISTO: 50 minuti

Obiettivi formativi:
- studiare la dinamica di un sistema blocco-molla
- saper usare la conservazione dell'energia meccanica

Strumenti necessari
- un software per videochiamate per fare lezione online
  (per esempio Google Meet, Microsoft Teams, Skype, Zoom, Vidyo)

PRECONOSCENZE

5 minuti

Che cosa serve?
- Test di quattro domande per ripassare alcuni concetti basilari:
  - scomposizione di vettori
  - forza-peso e forza elastica
  - energia potenziale gravitazionale ed elastica
  - energia cinetica

  Il test, in formato Word o PDF, si trova sul sito
  https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed/

Che cosa fa il docente?
- Può scegliere di inviare il breve test da svolgere a casa prima della lezione online per avere più tempo nella «diretta»
- oppure può farlo durante la «diretta»

Il passo in più
Il docente può inviare il test digitalmente tramite teacher desmos e raccogliere così in diretta le risposte degli studenti
https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/5eee6d6a2954e4052ad61a72

LEZIONE

15 minuti

Che cosa serve?
- Una presentazione per mostrare esempi, esercizi o il proprio libro digitale

Che cosa fa il docente?
- Dedica 10-15 minuti alla lezione diretta.
- Con l'ausilio del libro di testo e di un esercizio che possa fungere da modello, procede a spiegare:
  - la dinamica di un sistema blocco-molla su un piano inclinato
  - l'energia potenziale gravitazionale ed elastica
  - la conservazione dell'energia meccanica

Il passo in più
Il docente può condurre questa fase di spiegazione usando il proprio libro digitale e forme di lavagna virtuale.
La spiegazione può anche essere aiutata dalla visione dell'animazione sulla conservazione dell'energia meccanica.

Sono disponibili anche altri video su Collezioni, l'archivio di video Zanichelli. Qui si trovano tutti i video di fisica:
https://collezioni.scuola.zanichelli.it/browsebytheme/section-fisica

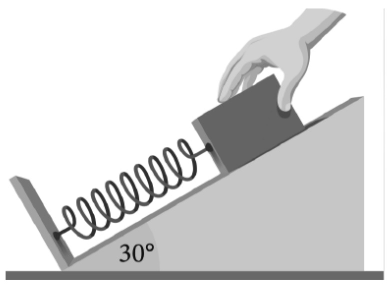
ATTIVITÀ

15 minuti

Che cosa serve?

- Una presentazione con questo esercizio riguardante la dinamica di un sistema blocco-molla su un piano inclinato

Un blocco di massa 640 g è mantenuto in cima a una molla a riposo su un piano liscio inclinato di 30° rispetto all'orizzontale, come nella figura. La molla ha costante elastica 120 N/m. A un certo punto il blocco viene lasciato andare.



▸ Calcola di quanto si comprime la molla nell'istante in cui la risultante delle forze agenti sul blocco è nulla.

▸ Trova la massima compressione s_{max} della molla.

▸ In quali delle due situazioni precedenti l'energia cinetica del sistema blocco-molla è maggiore? Perché?

Che cosa fa il docente? Che cosa fanno gli studenti?

- Il docente assegna l'esercizio.
- Gli studenti risolvono singolarmente l'esercizio e prendono nota di dubbi e difficoltà.

Il passo in più
Il docente può inviare l'esercizio digitalmente tramite teacher desmos
https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/5eef0cfc8cb16205a8dcb171

L'esercizio, in formato Word o PDF, si trova sul sito
https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed/

RESTITUZIONE

10 minuti

Che cosa fa il docente?

- Il docente chiede agli studenti:
    1. il risultato della prima domanda, cioè 2,6 cm;
    2. il risultato della seconda domanda, cioè 5,2 cm;
    3. la risposta alla terza domanda, cioè che l'energia cinetica del sistema è maggiore nell'istante in cui il blocco è in equilibrio (forza-peso = forza elastica);
    4. dubbi e difficoltà emersi durante l'attività.

Il passo in più

Gli studenti possono fornire le risposte tramite teacher desmos, nella chat della videolezione (se possibile individualmente al docente), oppure fotografare gli appunti e inviarli in un album personale/collaborativo in Google Foto o in una cartella Drive collaborativa con link fornito dal docente.
Se gli studenti dispongono di tablet o di tavoletta grafica possono scrivere le risoluzioni digitalmente e condividerle direttamente.

CONCLUSIONE

5 minuti

Che cosa fa il docente? Che cosa fanno gli studenti?

- A partire dalle difficoltà riscontrate dagli studenti, il docente fornisce feedback, consigli per la corretta risoluzione dell'esercizio, e riprende i concetti fondamentali.
- Chiede se il fatto che la compressione massima della molla è il doppio della compressione della molla nell'istante in cui il blocco è in equilibrio dipende dalla pendenza del piano inclinato.

Assegna un altro esercizio simile, che può trovare, in formato Word o PDF, si trova sul sito
https://online.scuola.zanichelli.it/amaldiverde2ed/

2
Compiti

In questa sezione proponiamo:

- un esempio di esercitazione per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche*
  - □ gli esercizi di rinforzo sono nella sezione *I concetti fondamentali*;
  - □ gli esercizi di potenziamento e approfondimento sono nella sezione *Piccole sfide*
- gli **svolgimenti di tutti gli esercizi** del libro.

Le esercitazioni per **tutti i capitoli** del libro e i loro svolgimenti sono disponibili per gli insegnanti, in formato .docx modificabile, sul sito:

online.zanichelli.it/amaldiverde2ed

Sul sito ci sono anche gli svolgimenti di tutti gli esercizi del libro in formato .docx modificabile.

Esercitazione per il capitolo 1: Le grandezze fisiche

I CONCETTI FONDAMENTALI

Completa le seguenti frasi

1 Il ………………………………… è una fonte fondamentale di energia. Anche l'energia che si ricava dai ………………………………… deriva indirettamente dal …………………………………………………………….

2 Misurare una grandezza significa dire quante volte …………………………………… è ……………………………… nella grandezza.

3 Le grandezze ………………………………………… del Sistema Internazionale sono ………………………………

4 L'unità di misura dell'intervallo di tempo è ………………………, definito come ……………………………………… impiegato da una particolare onda elettromagnetica, emessa da atomi di cesio, per compiere 9 192 631 770 ………………………………………

5 L'unità di misura della lunghezza è il …………………, definito come la distanza percorsa dalla luce, nel vuoto, in un intervallo di ………………… pari a 1/299 792 458 di …………………………..

6 Il ……………………………… è definito come la …………………………………………… del campione di massa conservato a Sèvres.

7 La densità di un corpo è uguale al ………………………… tra la sua ………………… e il suo ……………………….

8 Le grandezze ………………………… sono grandezze ……………………… che sono definite a partire dalle grandezze …………………………………………………………….

9 Le dimensioni fisiche di una …………………………………………………… indicano in quale modo essa è ottenuta a partire dalle ……………………………………………………………….

10 Tutte le grandezze definite mediante un ………………………… tra due altre …………………… sono grandezze …………………………………………………….

11 Un numero, scritto nella notazione scientifica, è il prodotto di due fattori: un ………………………………, compreso tra 1 e 10, e una ………………………………………………………….

12 L'……………………………………………………… di un numero è la potenza di 10 che più si avvicina a quel numero.

Esercizi

1 Per convenzione, la grandezza del monitor di un computer è la lunghezza della sua diagonale espressa in pollici (1 pollice = 25,4 mm).

- Calcola la lunghezza in cm della diagonale di un monitor di 15,4 pollici.

2 Un campo da calcio è lungo 110 m e largo 60 m.

- Calcolane l'area ed esprimila in ettari, sapendo che 1 ettaro = 10 000 m^2.

3 Una scatola a forma di parallelepipedo ha le dimensioni di 40 cm, 30 cm e 1,5 m.

- Calcolane il volume ed esprimilo in m^3.

4 Un orologio al quarzo ritarda di circa 2,3 s ogni settimana.

- Calcola quanti minuti ritarda in un anno.

5 Un galleggiante ha un volume di 75 dm^3 e una massa di 4,5 kg.

- Calcola la sua densità.

6 Determina l'ordine di grandezza del numero di secondi in un giorno.

PICCOLE SFIDE

1 Nelle ultime Olimpiadi Galattiche, la gara dei 100 m piani è stata vinta dal terrestre Speedy Man con il tempo di 8 s. Il commentatore della TV del pianeta Berra, della stella HD 1224, comunica, ovviamente nella sua lingua, che il tempo è stato di 2 becondi. Il commentatore della TV del pianeta Zerra, della stella XV 120, afferma, ovviamente nella sua lingua: «Il terrestre ha vinto con una velocità di 2,5 zetri al becondo».

- A quanti metri equivale uno zetro?

Svolgimento dell'esercitazione

I CONCETTI FONDAMENTALI

Completa le seguenti frasi

1. Sole; combustibili fossili; Sole
2. l'unità di misura; contenuta
3. fisiche fondamentali; sette
4. il secondo; l'intervallo di tempo; oscillazioni
5. metro; tempo; secondo
6. kilogrammo; massa inerziale
7. rapporto; massa; volume
8. derivate; fisiche; fisiche fondamentali
9. grandezza derivata; grandezze fisiche fondamentali
10. rapporto; grandezze; unitaria
11. coefficiente; potenza di 10
12. ordine di grandezza

Esercizi

1 La lunghezza in cm della diagonale di un monitor di 15,4 pollici è
$dM = 15{,}4 \times 25{,}4$ mm $= 391{,}2$ mm $= 39{,}1$ cm

2 L'area di un campo da calcio lungo 110 m e largo 60 m è $A = 110 \text{ m} \times 60 \text{ m} = 6600 \text{ m}^2$.

Poiché 1 ettaro = 10 000 m^2, allora $1 \text{ m}^2 = \dfrac{1}{10000}$ ettaro; quindi, l'area espressa in ettari è

$$A = \frac{6600}{10000} \text{m}^2 = 0{,}66 \text{ ettari}$$

3 Il volume di un parallelepipedo di dimensioni $a = 40$ cm, $b = 30$ cm, $c = 1{,}5$ m è
$V = 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 150 \text{ cm} = 180\,000 \text{ cm}^3 = 0{,}18 \text{ m}^3$

4 Essendo noto il ritardo dell'orologio in una settimana, per ottenere il ritardo annuale è sufficiente moltiplicare il dato iniziale per 52: $\Delta t = 2{,}3 \text{ s} \times 52 = 119{,}6 \text{ s} = 2$ min.

5 Il volume del galleggiante espresso in m^3 è $V = 75 \text{ dm}^3 = 0{,}075 \text{ m}^3$, quindi la densità risulta:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{4{,}5}{0{,}075} \text{ kg/m}^3 = 60 \text{ kg/m}^3$$

6 In un giorno ci sono 86 400 s, l'ordine di grandezza è 10^5 s.

PICCOLE SFIDE

1 Poiché il tempo di 8 secondi equivale a 2 becondi, dobbiamo assumere 1 becondo = 4 s. La velocità espressa in unità di misura terrestri deve essere uguale alla velocità espressa in unità di misura extra terrestri, ovvero: 100/8 m/s = 2,5 zetri/becondo = 2,5/4 zetri/s; quindi, uguagliando il primo e il terzo membro, otteniamo 12,5 m/s = 0,625 zetri/s, da cui si ha 1 zetro = 20 m.

Svolgimenti degli esercizi

La matematica che userai: 10 cose da sapere

PROBLEMI

1. Calcolare un'equivalenza

1 0,010 g = 10 mg = 0,000010 kg

2 0,032 kg + 1,250 kg + 0,380 kg + 4(0,043 kg) = 1,834 kg

3
a. 2,5 km = 2 500 m
b. 800 mm = 0,800 m
c. 71 dam = 710 m
d. 3,4 cm = 0,034 m

4
a. 650 g = 0,650 kg
b. 9,23 hg = 0,923 kg
c. 18,07 mg = 0,00001807 kg
d. 45 g = 0,045 kg

5 $15200 \text{ g} = 15{,}200 \text{ kg}$

$230{,}5 \text{ kg} - 15{,}200 \text{ kg} = 215{,}3 \text{ kg}$

6 Usando 2 volte il cilindro, si arriva a prelevare 1 L di acqua. Aggiungendo 3 becher da 12 cL, si arriva a 1,36 L. Infine, con 1 cucchiaio da 5 cL si raggiunge il totale di 1,41 L che si voleva ottenere.

7
a. 100 cm^2 = 0,0100 m^2
b. 3,7 km^2 = 3 700 000 000 000 mm^2
c. 25 dm^2 = 0,000025 hm^2
d. 8,4 dam^2 = 8 400 000 cm^2

8
a. 2 dm^3 = 2 000 cm^3
b. 415 190 mm^3 = 0,000415190 m^3
c. 7,93 hm^3 = 7 930 dam^3
d. 1 868 L = 1,868 m^3

9
a. 18,27 d = 18 d + 0,27 × 24 h = 18 d + 6,48 h = 18 d + 6 h + 0,48 × 60 min = 18 d + 6 h + 28,8 min = 18 d + 6 h + 28 min + 0,8 × 60 s = 18 d 6 h 28 min 48 s
b. 12,5 h = 12, 5 h × 3600 s/h = 45 000 s
c. $18 \text{ h } 50 \text{ min} = 18 \text{ h} \times \dfrac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} + 50 \text{ min} = 1130 \text{ min} \times \dfrac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 67800 \text{ s}$
d. $3 \text{ d } 15 \text{ h } 27 \text{ min } 41 \text{ s} = \left(3 \text{ d} \times \dfrac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} + 15 \text{ h}\right) + \left(27 \text{ min} + 41 \text{ s} \times \dfrac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) = 87 \text{ h } 27{,}68 \text{ min}$

10 $17280 \text{ min} \times \dfrac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \dfrac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} = 12 \text{ d} \quad \Rightarrow \quad 12 \text{ nov} + 12 \text{ d} = 24 \text{ nov}$

2. Risolvere una proporzione

11 5,2 cm sulla carta corrispondono a 5 200 000 cm di distanza reale, cioè

$$\frac{5200000}{100000}\text{ km} = 52\text{ km}$$

12 Poiché la proporzione è un'uguaglianza tra rapporti, con le frazioni date si possono costruire le seguenti proporzioni:

$$\frac{1}{2}=\frac{6}{12}\Rightarrow 1:2=6:12;\quad \frac{1}{2}=\frac{12}{24}\Rightarrow 1:2=12:24;$$

$$\frac{6}{12}=\frac{12}{24}\Rightarrow 6:12=12:24;\quad \frac{3}{5}=\frac{6}{10}\Rightarrow 3:5=6:10$$

13 **a.** $12:8=x:2\rightarrow x=\dfrac{12\times 2}{84}=3$

b. $x:27=10:54\rightarrow x=\dfrac{27\times 10}{54}=5$

c. $6,0:x=1,8:8,1\rightarrow x=\dfrac{6,0\times 8,1}{1,8}=27$

d. $250:17=750:x\rightarrow x=\dfrac{17\times 750}{250}=51$

e. $35:5=70:x\rightarrow x=\dfrac{5\times 70}{35}=10$

14 **a.** $x:24=120:384\rightarrow x=\dfrac{24\times 120}{384}=7,5$

b. $x:72=18:x\rightarrow x^2=72\times 18=1296\rightarrow x=\sqrt{1296}=36$

c. $6,4:x=102,4:25,6\rightarrow x=\dfrac{6,4\times 25,6}{102,4}=1,6$

d. $12:16=x:36\rightarrow x=\dfrac{12\times 36}{16}=27$

e. $8,2:x=9,84:6\rightarrow x=\dfrac{8,2\times 6}{9,84}=5$

15 $4,0\text{ m}:5,2\text{ m}=16,0\text{ cm}:x$

$$x=\frac{5,2\text{ m}\times 16,0\text{ cm}}{4,0\text{ m}}=20,8\text{ cm}$$

16 Lunghezza: $1:60=7,5\text{ cm}:x \quad\Rightarrow\quad x=\dfrac{60\times 7,5\text{ cm}}{1}=450\text{ cm}=4,5\text{ m}$

Larghezza: $1:60=3,0\text{ cm}:x \quad\Rightarrow\quad x=\dfrac{60\times 3,0\text{ cm}}{1}=180\text{ cm}=1,8\text{ m}$

17 $1,8\text{ kg} : 0,800\text{ kg} = x : 2\text{ kg}$

$$x=\frac{(1,8\times 2)}{0,800}\text{ kg}=4,5\text{ kg di albicocche}$$

$350\text{ g} : 800\text{ g} = x : 2000\text{ g}$

$$x=\frac{(350\times 2000)}{800}\text{ kg}=875\text{ g di zucchero}$$

18 5 L : 18 kg = x : 936 kg

$$x = \frac{(5 \times 936)}{18} \text{ L} = 260 \text{ L}$$

19 4(0,08 kg) = 0,32 kg

0,32 kg : 7,10€ = 1,00 kg : x

$$x = \frac{(7{,}10€ \times 1{,}00 \text{ kg})}{0{,}32 \text{ kg}} = 22{,}19€$$

3(0,120 kg) = 0,360 kg

0,360 kg : 7,60€ = 1,00 kg : y

$$y = \frac{(7{,}60€ \times 1{,}00 \text{ kg})}{0{,}360 \text{ kg}} = 21{,}11€$$

$x - y$ = 22,19€ – 21,11€ = 1,08€

3. Calcolare una percentuale

20

b. $\frac{225 \times 24}{100} = 54$

c. $\frac{115 \times 3{,}6}{100} = 4{,}14$

d. $\frac{0{,}900 \times 0{,}88}{100} = 0{,}0079$

21

b. $\frac{0{,}85 \times 6{,}8}{100} = 0{,}06$

c. $\frac{11{,}5 \times (14{,}0)}{100} = 1{,}61$

d. $\frac{91 \times 0{,}80}{100} = 0{,}73$

22

b. $\frac{0{,}17}{1{,}2} \times 100 = 14\%$

c. $\frac{13{,}8}{200} \times 100 = 7\%$

d. $\frac{2{,}9}{7{,}5} \times 100 = 39\%$

23

$\frac{85}{100} \times 1{,}25 \text{ kg} = 1{,}06 \text{ kg}$ (Fe)

$\frac{13}{100} \times 1{,}25 \text{ kg} = 0{,}16 \text{ kg}$ (Cr)

$\frac{2}{100} \times 1{,}25 \text{ kg} = 0{,}03 \text{ kg}$ (C)

24 $\frac{625 \text{ g} - 500 \text{ g}}{500 \text{ g}} = 0{,}25 = 25\%$

25 $\dfrac{79,00€-62,00€}{79,00€}\times 100 = 21,5\%$

26 100 + 40 + 140 × 0,4 = 196

27 6,534€(1 + 0,25)(1– 0,25) = 6,126€

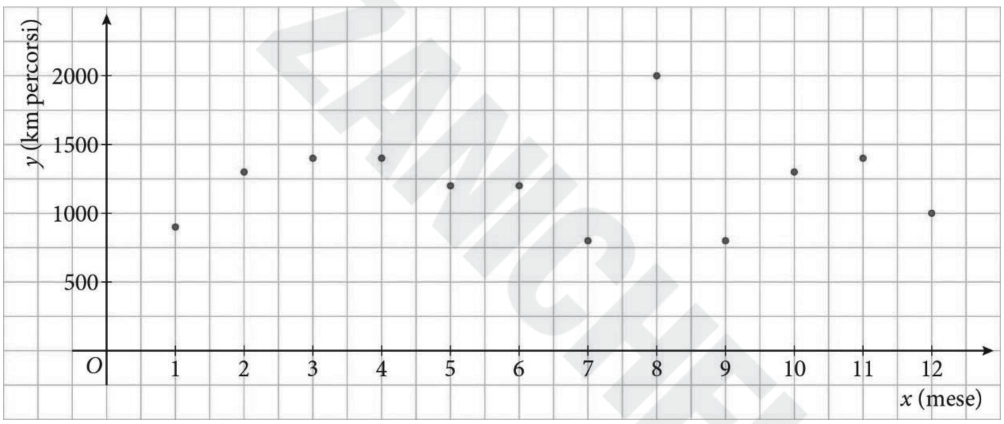
28 (156,89 – 154,11)/154,11 = 1,8%
(42,59 – 43,82)/43,82 = –2,8%
(29,95 – 24,96)/24,96 = 20,0%
(0,45 – 0,02)/0,02 = 2150%

29 359/506,8 = 70,8%; 310/524,1 = 59,1%; 237/442,5 = 53,6%; 308/488,5 = 63,0%

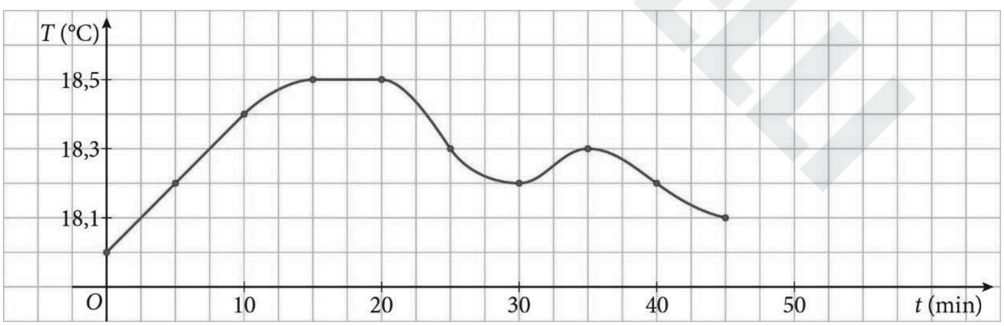
30 Lucia ha ragione; Kevin ha torto; Roberta ha ragione.

4. Costruire un grafico cartesiano

31

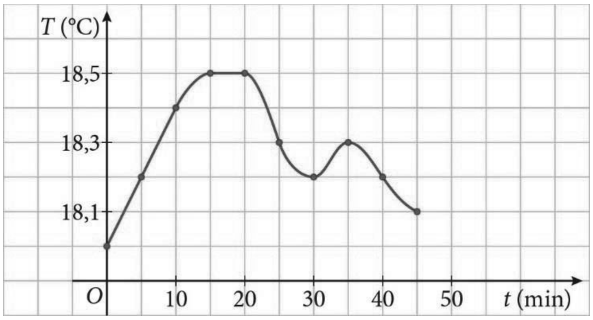


32

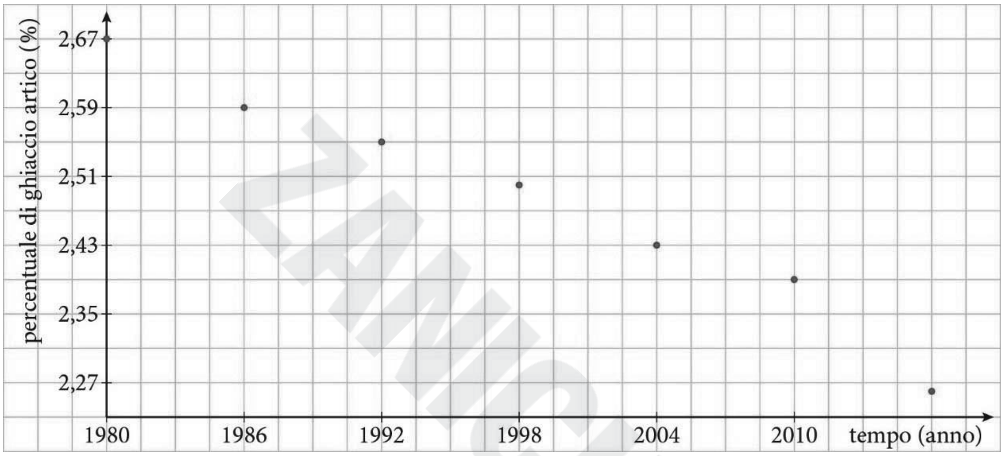


La temperatura aumenta tra l'istante iniziale e 10 min; aumenta più lentamente tra 10 min e 15 min; rimane costante tra 15 min e 20 min; diminuisce tra 20 min e 25 min, poi diminuisce più lentamente tra 25 e 30 min; aumenta di nuovo fra 30 min e 35 min e infine diminuisce tra 35 min e 45 min.
Modificando (restringendo) la scala dell'asse dei tempi, si ottiene il seguente grafico:

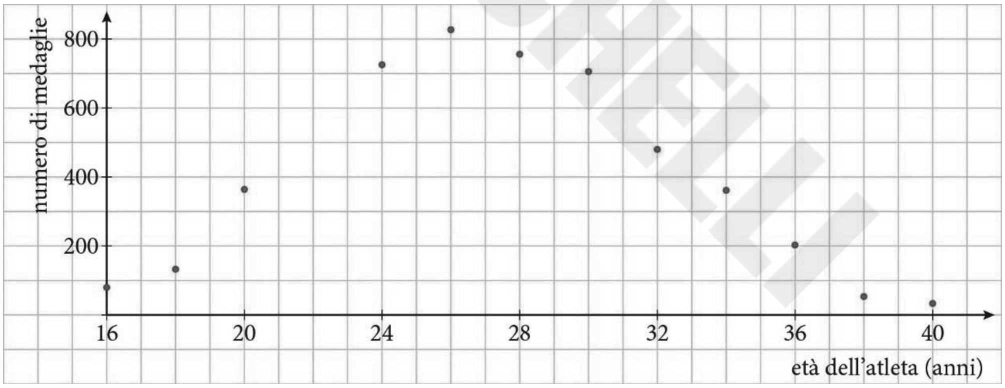
segue


T (°C)
18,5
18,3
18,1
O
10
20
30
40
50
t (min)

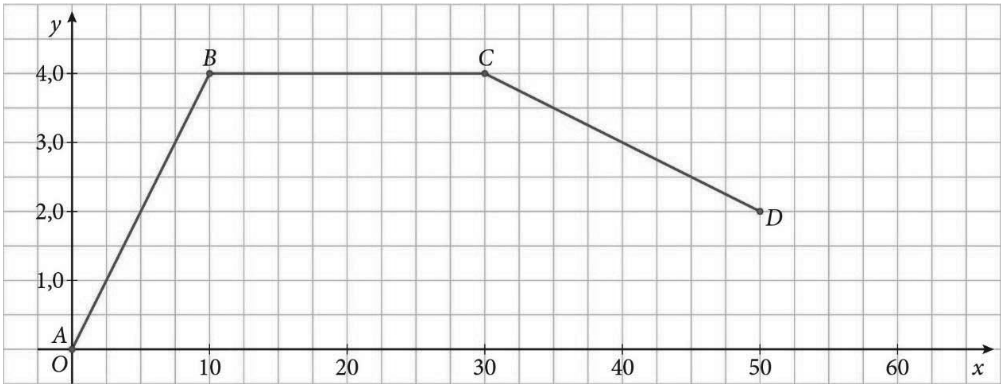
33


percentuale di ghiaccio artico (%)
2,67
2,59
2,51
2,43
2,35
2,27
1980
1986
1992
1998
2004
2010
tempo (anno)

34


numero di medaglie
800
600
400
200
16
20
24
28
32
36
40
età dell'atleta (anni)

35


y
B
C
D
A
4,0
3,0
2,0
1,0
O
10
20
30
40
50
60
x

36
- 2015-2016
- 2013-2014
- Mai

37 $2 = k \cdot 1 \Rightarrow k = 1$

38 $t_f = 1{,}00$ s; $d = 5{,}00$ m

Il grafico è una parabola del tipo

$d = at^2$

poiché per $t = 1{,}00$ s si ha $d = 5{,}00$ m, si ricava che $a = 5{,}00$, quindi $d = 5{,}00t^2$.

***t* (s)**	***d* (m)**
0,00	0,00
0,10	0,05
0,20	0,20
0,30	0,45
0,40	0,80
0,50	1,25
0,60	1,80
0,70	2,45
0,80	3,20
0,90	4,05
1,00	5,00

5. Riconoscere una proporzionalità diretta

39
b. $P/l = 3$

c. $C/r = 2\pi$

d. $d/l = \sqrt{2}$

e. $A/R^2 = \pi$

40
- $\frac{m}{V} = \frac{4{,}0\text{ g}}{5\text{ cm}^3} = \frac{8{,}0\text{ g}}{10\text{ cm}^3} = \frac{12{,}0\text{ g}}{15\text{ cm}^3} = \frac{16{,}0\text{ g}}{20\text{ cm}^3} = \frac{20{,}0\text{ g}}{25\text{ cm}^3} = 0{,}80\text{ g/cm}^3$
- $m = \left(0{,}80\text{ g/cm}^3\right)V$

41

***x* (s)**	***y* (m)**
20	72
40	144
50	180
90	324
100	360

segue

- La costante di proporzionalità è $\dfrac{72\ \text{m}}{20\ \text{s}} = 3{,}6\ \text{m/s}$
- $y = (3{,}6\ \text{m/s})\,x$

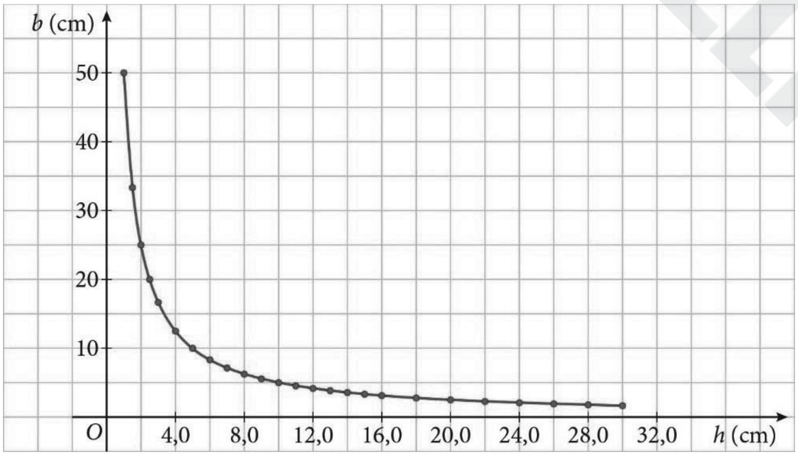
42
- È una relazione di proporzionalità diretta.
- Poiché la retta passa per l'origine degli assi, l'equazione è: $l_c = 6{,}28r$.
- Si sarebbe ottenuta sempre una retta passante per l'origine, ma con pendenza minore.

43
- $y = x + 2$
- Diventa una relazione di proporzionalità diretta.
- Diventa una retta passante per l'origine.

6. Riconoscere una proporzionalità inversa

44 $b = \dfrac{2A}{h} = \dfrac{2 \times 25\ \text{cm}^2}{h} = \dfrac{50\ \text{cm}^2}{h}$ con h in cm. Assegnando diversi valori ad h, si ha

h (cm)	*b* (cm)	*h* (cm)	*b* (cm)
1,0	50	9,0	5,6
2,0	25	10,0	5,0
3,0	17	12,0	4,2
4,0	13	15,0	3,8
5,0	10	20,0	2,5
6,0	8,3	25,0	2,0
7,0	7,1	30,0	1,7
8,0	6,3		



45 $(5{,}0\ \text{m})\,x = 60\ \text{m}^2 \quad \Rightarrow \quad x = \dfrac{60\ \text{m}^2}{5{,}0\ \text{m}} = 12\ \text{m}$

46

Area di base A (cm^2)	Altezza h (cm) del liquido
10	5,0
20	2,5
30	1,7
40	1,3
50	1,0

- $h = \dfrac{V}{A} = \dfrac{50\ \text{cm}^3}{A}$

47
- Data una coppia qualunque di punti appartenenti al grafico, di coordinate (b; h), si ha che $b \cdot h = 8\ \text{cm}^2$
- $h = \dfrac{8\ \text{cm}^2}{b}$

48
- 3€ × 40 = 120€
- (2€; 60); (4€; 30); (5€; 24); (6€; 20); (10€; 12)

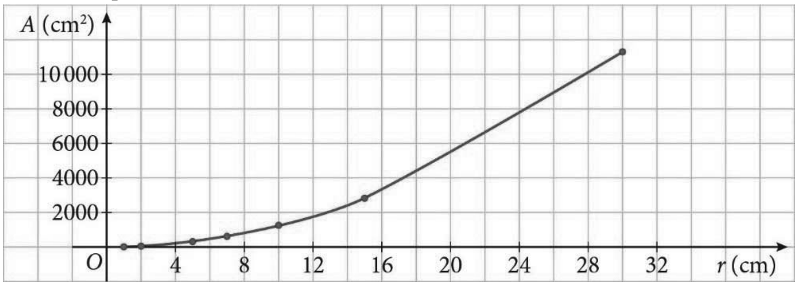
7. Riconoscere una proporzionalità quadratica

49
a. $A = 6 \times l^2 = 6 \times (10\ \text{dm})^2 = 600\ \text{dm}^2$
b. $A = 6 \times (15\ \text{cm})^2 = 1350\ \text{cm}^2$
c. $A = 6 \times (32\ \text{mm})^2 = 6144\ \text{mm}^2$
d. $A = 6 \times (0{,}021\ \text{km})^2 = 0{,}0026\ \text{km}^2$

50
- $A = 4\pi r^2$

Raggio r (cm)	Superficie A (cm^2)
1	12,57
2	50,26
5	314,15
7	615,73
10	1256,60
15	2827,35
30	11309,40

- Un arco di parabola.



51

r (m)	V (m³)	*r* (m)	V (m³)
0,10	0,03	0,60	1,13
0,15	0,07	0,65	1,33
0,20	0,13	0,70	1,54
0,25	0,20	0,75	1,77
0,30	0,28	0,80	2,01
0,35	0,38	0,85	2,27
0,40	0,50	0,90	2,54
0,45	0,64	0,95	2,84
0,50	0,79	1,00	3,14
0,55	0,95		

52
- Proporzionalità quadratica inversa.
- $y = 4x^2$

53
- Proporzionalità quadratica.
- $s = \left(0,75\ \text{m/s}^2\right)t^2$

8. Risolvere un'equazione

54

b. $x = \frac{35}{4}$; secondo principio

c. $x = 27 - 30$; primo principio

d. $x = \frac{31+9}{5}$; primo e secondo principio

55

a. $x = \frac{72-12}{30} = \frac{60}{30} = 2$

b. $x = \frac{24-8}{4} = \frac{16}{4} = 4$

c. $x = \frac{9}{27} = \frac{1}{3}$

d. $x = \frac{20-141}{11} = -\frac{121}{11} = -11$

56 **a.** $x = \frac{-9}{3} = -3$

b. $x = \frac{8}{8} = 1$

c. $x = \frac{14}{7} = 2$

d. $x = -\frac{3}{15} = -0,2$

57 **a.** $x \times 3 = 126 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{126}{3} = 42$

b. $x - 3 = -7 \quad \Rightarrow \quad x = -7 + 3 = -4$

c. $\frac{x}{112} = 1 \quad \Rightarrow \quad x = 112 \times 1 = 112$

d. $5x + 12 = 27 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{27-12}{5} = 3$

58 **a.** $x = -\frac{F}{k}$

b. $x = \frac{gt^2}{2}$

c. $x = vt + a$

d. $x = \frac{V}{\pi r^2}$

59 Indichiamo con x la massa in kg di Federica. La massa di Alessia è x + 10 kg e la massa di Roberto è x + (x + 10 kg). Quindi la massa complessiva è

$$x + (x + 10\ \text{kg}) + [x + (x + 10\ \text{kg})] = 120\ \text{kg} \quad \Rightarrow \quad 4x + 20\ \text{kg} = 120\ \text{kg}$$

$$4x = (120 - 20)\text{kg} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{100\ \text{kg}}{4} = 25\ \text{kg}$$

Federica ha una massa di 25 kg, Alessia di 35 kg e Roberto di 60 kg.

▶ 9. Ricavare una formula inversa

60

- Per ricavare k, dividiamo entrambi i membri della formula per s:

$$\frac{F}{s} = \frac{k\cancel{s}}{\cancel{s}} \quad \Rightarrow \quad k = \frac{F}{s}$$

- In maniera analoga, per ricavare s, dividiamo entrambi i membri della formula per k:

$$\frac{F}{k} = \frac{\cancel{k}s}{\cancel{k}} \quad \Rightarrow \quad s = \frac{F}{k}$$

61 $F = mg \quad \Rightarrow \quad m = \frac{F}{g};\ g = \frac{F}{m}$

62
- Per ricavare F, moltiplichiamo entrambi i membri della formula per A:

$$pA = \frac{F}{\cancel{A}}\cancel{A} \Rightarrow F = pA$$

- Per ricavare A, dividiamo entrambi i membri della formula precedente per p:

$$\frac{F}{p} = \frac{\cancel{p}A}{\cancel{p}} \Rightarrow A = \frac{F}{p}$$

63 $R = \frac{V}{i} \Rightarrow V = Ri;\ i = \frac{V}{R}$

64
- Per trovare m moltiplichiamo entrambi i membri della formula per $\frac{2}{v^2}$:

$$K\frac{2}{v^2} = \frac{1}{\cancel{2}}m\cancel{v^2}\frac{\cancel{2}}{\cancel{v^2}} \Rightarrow m = \frac{2K}{v^2}$$

- Per isolare v^2 moltiplichiamo entrambi i membri della formula di partenza per $\frac{2}{m}$:

$$K\frac{2}{m} = \frac{1}{\cancel{2}}\cancel{m}v^2\frac{\cancel{2}}{\cancel{m}} \Rightarrow v^2 = \frac{2K}{m}$$

- Ora estraiamo la radice quadrata dei due membri della formula precedente e troviamo:

$$v = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

65 $a_c = \frac{v^2}{r};\ r = \frac{v^2}{a_c};\ v^2 = ra_c;\ v = \sqrt{ra_c}$

10. Fare i conti con le potenze di 10

66
a. $10^{11} \times 10^{-8} = 10^3$
b. 10^{-3}
c. 10^{-25}
d. 10^{-3}
e. $10^0 = 1$
f. 10^7
g. 10^9

67
a. 10^{-3}
b. 10^{-16}
c. 10^{-1}
d. 10^{-4}
e. 10^{12}
f. $10^0 = 1$
g. 10
h. 10^{10}

68

a. 10^{14}

b. 10^{20}

c. 10^{24}

d. 10^{-10}

e. 10^{-48}

f. 10^{-45}

g. 10^{-12}

h. 10^{8}

69

a. $\dfrac{10^3 \times 10^2}{10^4} = \dfrac{10^5}{10^4} = 10$

b. $\left(10^2\right)^3 \times 10^{-5} = 10^6 \times 10^{-5} = 10$

c. $\left(10^{-3} \div 10^0\right) \times 10^7 = \left(\dfrac{1}{10^3} \div 1\right) \times 10^7 = \dfrac{10^7}{10^3} = 10^4 = 10000$

d. $\dfrac{10^9 \times \left(10^3\right)^{-2}}{10^5} = \dfrac{10^9 \times 10^{-6}}{10^5} = \dfrac{10^3}{10^5} = \dfrac{1}{10^2} = \dfrac{1}{100} = 0,01$

70

a. $\dfrac{10^8}{10^2} = 10^6$

b. $10^3 \times 10^{12} = 10^{15}$

c. $\left(10^9\right)^2 = 10^{18}$

d. $10^{-4} \times 10^5 = 10$

e. $10^5 \times 10^{-4} = 10$

f. $\dfrac{10^5}{10^{-1}} = 10^6$

g. $10^3 \times 10^{-6} \times 10 = 10^{-2}$

h. $\dfrac{\left(10^2\right)^3}{10^{-1}} = 10^7$

71

a. 10^5

b. 10^{12}

c. 10^4

d. 10^3

72 $10^4 \times 10^2 \times 10^3 = 10^9$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 1

Le grandezze fisiche

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Quantità misurabili e unità di misura

pag. 22

- No.
- La generosità non è una grandezza fisica.

pag. 24

- 0,02 g = $2{,}0 \times 10^{-2}$ g
- 1 738 000 m = $1{,}738 \times 10^{6}$ m

pag. 25
10^{27}

pag. 26
1 Gs; 1 Mm; 1 μg

pag. 31
Rame

pag. 31

- 1 g/cm^3; 1 kg/L
- 1 kg

TEST

1 A
2 B
3 C
4 D
5 D
6 C
7 B
8 D

9 B
10 C
11 C
12 C
13 A

PROBLEMI

1. Quantità misurabili e unità di misura

1 Grandezze fisiche: lunghezza, massa, temperatura, tempo, superficie, volume, velocità.
Unità di misura: centimetro quadrato, litro, ora, ettogrammo, grado centigrado, secondo, millimetro, metro cubo.

2 Volume dell'acqua, pressione atmosferica, temperatura dell'acqua, energia, tempo.

3
- La grandezza fisica rappresentata è la temperatura.
- Le unità di misura usate sono il grado centigrado per la temperatura e il secondo per il tempo.

4 Sì, la piccantezza è a tutti gli effetti una grandezza fisica perché costituisce una proprietà misurabile. Infatti si misura il contenuto di capsaicina (la sostanza che provoca il bruciore) ed è stata anche definita una specifica unità di misura, la Scoville Heat Unit (SCU).

5 Perché non si indica l'unità di misura dell'area: potrebbero essere 6 cm^2 oppure 6 ettari.

6
- Ha segnato sul foglio 9 tacche, che lo dividono in 10 parti uguali.
- Dovrebbe suddividere in 10 parti uguali ciascuna delle 10 parti in cui il foglio è stato diviso.

7
- Se x è il numero di piedi contenuto in una iarda, $\frac{(0{,}3048 \text{ m})x}{0{,}9144 \text{ m}} = 1$, si ricava

  $$x = \frac{0{,}9144}{0{,}3048} = 3{,}000 \text{ ft/yd}$$

- Per convertire in *piedi* una lunghezza espressa in *iarde* basta moltiplicare per 3.
- Per convertire in *iarde* una lunghezza espressa in *piedi* basta dividere per 3:

  $$\left(\frac{1}{3{,}000} = 0{,}3333\right) \text{yd/ft}$$

8 Luigi ha la spanna più lunga, perché per lui occorre un numero di spanne minore.
Il lato misura (15 × 3) cm = 45 cm, quindi la spanna di Luigi è lunga $\frac{45 \text{ cm}}{2{,}5} = 18$ cm.

9
- Anna porta il 38 e Maria il 37.
- La larghezza della strada è pari a $l = 38{,}5 \times 26 \text{ cm} = 1001 \text{ cm}$, che equivale a circa 10 m.

10 $h = 1{,}5 \text{ m} + (2 \times 18)\text{cm} + (2 \times 40)\text{mm} = 150 \text{ cm} + 36 \text{ cm} + 8 \text{ cm} = 194 \text{ cm}$

11
- 1 am : 1,88 at = x : 14 at; quindi, x = 14 at ·am/1,88 at = 7,45 am.
- 6(1,88 at) = 11,28 at; quindi, 2012 + 11 = 2023

12
- $18\ \text{M} = \frac{18}{1,5}\ \text{L} = 12\ \text{L}$
- $6\ \text{L} = 6 \times 1,5\ \text{M} = 9\ \text{M}$

13 Un gettone d'oro corrisponde a $(9\,\text{g})\left(\frac{24,00\,€}{\text{g}}\right) = 216€$.

La vincita di Giovanni si esprime in gettoni d'oro come $\frac{43200€}{216€/\text{gettone d'oro}} = 200$ gettoni d'oro.

14
- Un lavoratore americano «guadagna» un numero di Big Mac pari a $\text{BM}_{\text{USA}} = \frac{60\ \text{min}}{12\ \text{min}} = 5$.
- Un lavoratore kenyota «guadagna» un numero di Big Mac pari a $\text{BM}_{\text{Kenya}} = \frac{60\ \text{min}}{91\ \text{min}} = 0,7$.

2. La notazione scientifica

15

Grandezza	Valore	Notazione scientifica	Ordine di grandezza
Raggio equatoriale della Terra	6370 km	$6,37 \times 10^3$ km	10^4 km
Altezza del monte Everest	8848 m	$8,848 \times 10^3$ m	10^4 m
Velocità di una tartaruga	0,076 m/s	$7,6 \times 10^{-2}$ m/s	10^{-1} m/s
Massa di una balena	178 000 kg	$1,78 \times 10^5$ kg	10^5 kg
Diametro di una molecola di DNA	0,000 000 002 m	2×10^{-9} m	10^{-9} m
Numero di secondi in un anno (365 giorni)	31 536 000 s	$3,1536 \times 10^7$ s	10^7 s
Numero di vocaboli conosciuti da un bambino di 5 anni	2000	$2,0 \times 10^3$	10^3
Numero di alveoli nei polmoni	300 milioni	$5,8 \times 10^4$ kg	10^5 kg

16

Grandezza	CO_2 che produci in 1 h di attività	Ordine di grandezza
guardi un **video** in streaming	400 g	10^{-1} kg
viaggi in **treno***	3 kg	10 kg
tieni il **PC** acceso	1 hg	10^{-1} kg
tieni accesa la **lampadina**	2 g	10^{-3} kg
viaggi in **aereo***	80 kg	10^2 kg
viaggi su un'**auto** a benzina	10 kg	10 kg
usi l'**altoparlante** portatile	10 g	10^{-2} kg
respiri	4 dag	10^{-2} kg
usi l'**asciugacapelli**	6 hg	10^{-1} kg

17
- L'ordine di grandezza della popolazione italiana è 10^8.
- L'ordine di grandezza della popolazione mondiale è 10^{10}.
- Il loro rapporto è pari a $\frac{10^{10}}{10^8} = 10^2$

18 La frase dovrebbe essere: «Per trovare l'ordine di grandezza si scrive il numero in notazione scientifica e si considera una cifra in più se il numero intero supera il 5».

19 La superficie degli Stati Uniti è $9,857 \times 10^6\ \text{km}^2$. La superficie dell'Italia è $3,013 \times 10^5\ \text{km}^2$.

Il rapporto vale $\frac{9,857 \times 10^6\ \text{km}^2}{3,013 \times 10^5\ \text{km}^2} = 3,27 \times 10^1 = 32,7$.

20 $l = (2,690\ \text{pc})(3,0857 \times 10^{16}\ \text{m/pc}) = 8,301 \times 10^{16}\ \text{m}$

21 Un anno-luce è pari a 1 a.l. = 9 460 500 000 000 km, quindi in notazione scientifica risulta:
1 a.l. = $9,4605 \times 10^{12}$ km

22
- $3,724 \times 10^3$ e $9,609 \times 10^6$
- 10^3 e 10^7

23 $N_r = \frac{(80 \times 365 \times 24 \times 3600)\ \cancel{s}}{3\ \cancel{s}} = 8,4 \times 10^8 \approx 8 \times 10^8$

24
- La quantità totale di calcio disciolto nell'acqua degli oceani è
  $M = (4,0 \times 10^{-4})(1,3 \times 10^{21}\ \text{kg}) = 5,2 \times 10^{17}\ \text{kg}$
- Per $3,0$ kg di acqua si trova: $m = \frac{5,2 \times 10^{17}\ \text{kg}}{1,3 \times 10^{21}\ \text{kg}}(3,0\ \text{kg}) = 1,2 \times 10^{-3}\ \text{kg} = 1,2\ \text{g}$

25
- $m = (2,5 \times 10^6\ \text{kg})(0,036) = 9 \times 10^4\ \text{kg}$
- $(0,30€/\text{kg})(9,0 \times 10^4\ \text{kg}) = 27000€$

26
- Lavorando direttamente con gli ordini di grandezza: $N(1\ \text{kg}) = \frac{10^{24}}{10\ \text{g}} \times 10^3\ \text{g} = 10^{26}$.
- La massa di un solo atomo si calcola come $m = \frac{12\ \text{g}}{6,022 \times 10^{23}} = 2,0 \times 10^{-23}\ \text{g}$.

27
- Prima si calcola il numero di batteri contenuto in 1 mL di campione:
  $N = (1,800 \times 10^3) \times 10^6 + (6,00 \times 10^2) \times 10^8 = 1,800 \times 10^9 + 60,0 \times 10^9 = 6,18 \times 10^{10}$

  Quindi il numero totale in 1 dL è dato da $N_{\text{tot}} = \frac{6,18 \times 10^{10}}{\text{mL}} \times 10^2\ \text{mL} = 6,18 \times 10^{12}$.
- L'ordine di grandezza è 10^{13}.
- Il rapporto si calcola come: $\frac{N_A}{N_B} = \frac{(1,800 \times 10^3) \times 10^6}{(6,00 \times 10^2) \times 10^8} = 3,00 \times 10^{-2}$.

COMPITI
CAPITOLO 1. Le grandezze fisiche
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

28
- 600 colture di tipo B contengono $600\times10^8 = 6\times10^{10}$ batteri; per avere questo numero di batteri occorrono $\frac{6\times10^{10}}{10^6} = 6\times10^4 = 60\,000$ colture di tipo A.
- In 1 cL di soluzione sono contenuti $2\times10\times6\times10^{10} = 1,2\times10^{12}$ batteri.

3. Il SI, Sistema Internazionale delle unità di misura

29

M	mega	10^6
c	centi	10^{-2}
µ	micro	10^{-6}
m	milli	10^{-3}
h	etto	10^2

30 $f = 102{,}7$ MHz $= 102{,}7 \times 10^6$ Hz $= 102\,700\,000$ Hz

31
- $265 \text{ d} = 265\times24\times60\times60 \text{ s} = 2,29\times10^7 \text{ s}$
- Visto che $1 \text{ s} = 10^{-6} \text{ Ms}$, troviamo $2,29\times10^7 \text{ s} = 2,29\times10^7\times10^{-6} \text{ Ms} = 22,9 \text{ Ms}$.

32 300 mW = 0,3 W; 20 MW = 20×10^6 W

33 Sì. La quantità di polvere corrisponde a $2,5$ mg e va fuori dall'intervallo dei pesi con cui lavora la bilancia.

34

5 cm	2 kmol	3 ms	4 hK	1 µA	33 mm	1,5 hg
0,05 m	2000 mol	0,003 s	400 K	0,000001 A	0,033 m	0,15 kg

35 $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1\times10^{-9} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$

$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 100\times10^{-12} \text{ m} = 100 \text{ pm}$

36 In totale abbiamo 30 kg = 30000 g di lavanda, quindi si ottengono 2000 sacchettini da 15 g.

37
- Il tecnico ha inserito la quantità in Mg invece che in mg, quindi il preventivo risulta molto alto.
- Il numero di fogli che avrebbe ricevuto è $N = \frac{25,3\times(1 \text{ Mg})}{2,3 \text{ mg}} = \frac{25,3\times(10^9 \text{ mg})}{2,3 \text{ mg}} = 1,1\times10^{10}$.

4. Tre grandezze fondamentali del SI

38 Il display indica il tempo in secondi, quindi deve avere almeno 6 cifre dopo la virgola.

39 La sveglia va avanti di due minuti ogni ora, quindi Nicola perde $2\frac{\text{min}}{\cancel{\text{h}}}\times8\ \cancel{\text{h}} = 16$ min di sonno.

40 Il numero totale di secondi in un anno vale:

$$N_1 = (365\ \cancel{\text{d}})\left(24\frac{\cancel{\text{h}}}{\cancel{\text{d}}}\right)\left(60\frac{\cancel{\text{min}}}{\cancel{\text{h}}}\right)\left(60\frac{\text{s}}{\cancel{\text{min}}}\right) = 31\,536\,000 \text{ s} = 3,1536\times10^7 \text{ s}$$

Il numero di secondi in 6 ore vale invece $N_2 = (6\ \cancel{\text{h}})\left(60\frac{\cancel{\text{min}}}{\cancel{\text{h}}}\right)\left(60\frac{\text{s}}{\cancel{\text{min}}}\right) = 21\,600 \text{ s} = 2,16\times10^4 \text{ s}$.

Sommando i due dati si ottiene $N_{tot} = 31\,536\,000 \text{ s} + 21\,600 \text{ s} = 31\,557\,600 \text{ s} = 3,15576\times10^7 \text{ s}$.

41 15 anni = (15 × 365 × 24 × 3600) s = 4,7304 × 10^8 s ≈ 5 × 10^8 s

42 10^{10} anni = (365 × 24 × 3600 × 10^{10}) s = 3,1536 × 10^{17} s ≈ 3 × 10^{17} s

43
- 5 h + 30 min = (5 × 3600 + 30 × 60) s = 1,98 × 10^4 s
- 5,30 h = (5,30 × 3600) s = 1,908 × 10^4 s

44
- 3 h + 45 min = (3 × 3600 + 45 × 60) s = 1,35 × 10^4 s
- 3,45 h = (3,45 × 3600) s = 1,98 × 10^4 s = 1,242 × 10^4 s

45 2 h + 25 min + 15 s = (2 × 3600 + 25 × 60 + 15 s) s = 8715 s

46
- 33 settimane corrispondono a 33×7 giorni, cioè a $33\times 7\times 86400\text{ s} = 2,0\times 10^7\text{ s}$.
- Un megasecondo, cioè 1 Ms, equivale a 10^6 s. Quindi si trova $2,0\times 10^7\text{ s} = \dfrac{2,0\times 10^7\text{ s}}{1\text{ Ms}} = 20\text{ Ms}$.

47 Le dimensioni dovrebbero essere $\dfrac{2,7\times 10^6\text{ cm}}{5,4\times 10^4} = 50\text{ cm}$ e $\dfrac{1,8\times 10^6\text{ cm}}{5,4\times 10^4} = 33,3\text{ cm}$.

48 La distanza fra le due città è D = 350 000 × 28 cm = 9 800 000 cm = 98 km.

49 PROBLEMA SVOLTO

50 La distanza percorsa dalla nave, espressa in km, è pari a:
$D_{\text{km}} = (162\text{ M})(1,852\text{ km/M}) = 300\text{ km}$

51
- $l = 227\times 10^6\text{ km} = 227\times 10^9\text{ m}$
- In notazione scientifica la lunghezza precedente risulta $l = 2,27\times 10^{11}$ m, che corrisponde a un ordine di grandezza di 10^{11}.

52 La diagonale dello schermo, espressa in pollici, è $D_{\text{in}} = \dfrac{45,7\text{ cm}}{2,54\text{ cm/in}} = 18\text{ in}$.

53
a. 45,6 m = 0,0456 km = 4560 cm
b. 2,54 cm = 25,4 mm = 0,254 dm
c. 122,9 m = 1,229 hm = 12,29 dam
d. 67,08 cm = 0,6708 m = 0,0006708 km

54 La massa del gioiello ha un valore intermedio tra
$M_1 = (3\times 5\text{ g}) + (1\times 0,5\text{ g}) + (7\times 0,05\text{ g}) + (2\times 0,005\text{ g}) = 15,860\text{ g}$ e
$M_2 = M_1 + 0,005\text{ g} = 15,865\text{ g}$

55
- Dal grafico si vede che la massa diventa 1500 kg dopo 2700 s = 45 min.
- Quando la massa rimane costante il camion si è fermato. La massa rimasta è di 250 kg.

56
a. $1,5\ \mu\text{g} = 15000\text{ ng} = 1,5\times 10^{-17}\text{ Tg} = 1,5\times 10^{-8}\text{ kg}$
b. $1,4\times 10^7\text{ g} = 1,4\times 10^4\text{ kg} = 1,4\times 10^{13}\ \mu\text{g} = 1,4\times 10^{22}\text{ fg}$
c. $3,8\times 10^3\text{ Mg} = 3,8\times 10^{21}\text{ pg} = 3,8\times 10^7\text{ hg} = 3,8\times 10^{12}\text{ mg}$
d. $2,1\times 10^5\text{ Gg} = 2,1\times 10^8\text{ Mg} = 2,1\times 10^{23}\text{ ng} = 2,1\times 10^{17}\text{ mg}$

57
a. $357,8\times 10^2\text{ m} = 35,78\text{ km} = 3,578\times 10^3\text{ dam} = 3,578\times 10^7\text{ mm}$
b. $44,18\times 10^3\text{ hm} = 4,418\times 10^{18}\text{ pm} = 4,418\times 10^{-6}\text{ Tm} = 4,418\times 10^{21}\text{ fm}$

segue

c. $732{,}6\times10^{3}\ \text{Gm} = 7{,}326\times10^{8}\ \text{Mm} = 7{,}326\times10^{11}\ \text{km} = 7{,}326\times10^{26}\ \text{pm}$

d. $7{,}3\ \text{Em} = 7{,}3\times10^{12}\ \text{Mm} = 7{,}3\times10^{21}\ \text{mm} = 7{,}3\times10^{36}\ \text{am}$

58 PROBLEMA SVOLTO

59 La massa del grano, espressa in kilogrammi, è pari a M_{kg} = (220 libbre)(0,453 kg/libbra) = 99,66 kg.

60 $\dfrac{4{,}5\times10^{9}\,\text{anni}}{150\times10^{6}\,\text{anni}} = 30,$ quindi l'errore sarebbe di 30 s.

61
- Il valore dei minuti deve aumentare di uno ogni 60 s. I periodi di *clock* in questo intervallo di tempo sono
$$N = \frac{60\ \text{s}}{0{,}25\times10^{-9}\ \text{s/periodo}} = 2{,}4\times10^{11}\ \text{periodi}\,.$$
- $\Delta t = \left(2{,}0\times10^{9}\ \text{istruzioni}\right)\left(2{,}5\times10^{-10}\,\dfrac{\text{s}}{\text{istruzione}}\right) = 0{,}5\ \text{s}$

62 Consideriamo la lunghezza di un atomo pari al diametro (il doppio del raggio), cioè $382\ \text{pm} = 3{,}82\times10^{-4}\ \mu\text{m}$.

Per ottenere $40\ \mu\text{m}$ servono $N = \dfrac{40\ \mu\text{m}}{3{,}82\times10^{-4}\ \mu\text{m/atomo}} = 1{,}05\times10^{5}$ atomi.

63
- Il numero di macchine si stima come $N = \dfrac{5000\ \text{m}}{4{,}2\ \text{m}} \simeq 1190.$
- Il ponte è lungo 1825 m, cioè $L = \dfrac{1825\ \text{m}}{4{,}2\ \text{m/macchina}} \simeq 435$ macchine.

64 Lo spazio rimasto espresso in metri val: $3{,}2\times10^{-4}\ \text{hm} = 3{,}2\times10^{-4}\times\left(10^{2}\ \text{m}\right) = 3{,}2\times10^{-2}\ \text{m}$. Lo spessore totale del libro è dato da

$$\left(510\ \cancel{\text{pag}}\right)\left(8{,}0\times10^{7}\,\frac{\text{pm}}{\cancel{\text{pag}}}\right) = 510\times\left(8{,}0\times10^{7}\right)\left(10^{-12}\ \text{m}\right) \approx 4{,}1\times10^{-2}\ \text{m}$$

Quindi no, il libro non entrerà nello spazio rimasto.

65
- La massa dell'anello, espressa in grammi, è M_{anello} = 0,1972 g × 10 = 1,972 g.
- La massa del bracciale, espressa in carati, è
$$M_{\text{bracciale}} = M_{\text{bracciale}} = \left(13\ \text{g}\right)\frac{1\ \text{carato}}{0{,}1972\ \text{g}} = 65{,}9\ \text{carati} = 65{,}9\ \text{carati}$$

66 La massa totale del sistema Terra-Luna è data da
$M_{Terra} + M_{Luna} = (597{,}42 + 7{,}37) \times 10^{22}$ kg $= 6{,}0479 \times 10^{24}$ kg

67 La distanza tra Mercurio e Saturno vale
$$1{,}427\times10^{12}\ \text{m} - 5{,}8\times10^{10}\ \text{m} = 142{,}7\times10^{10}\ \text{m} - 5{,}8\times10^{10}\ \text{m} =$$
$$= \left(142{,}7 - 5{,}8\right)\times10^{10}\ \text{m} = 136{,}9\times10^{10}\ \text{m} = 1{,}369\times10^{12}\ \text{m}$$

68 $\dfrac{M_{\text{Sole}}}{m_p} = \dfrac{1{,}99\times10^{30}\ \text{kg}}{1{,}673\times10^{-27}\ \text{kg}} = 1{,}2\times10^{57}$; l'ordine di grandezza è dunque 10^{57}.

69
- Esprimendo le masse in tonnellate il rapporto vale
$$\frac{M}{m_F} = \frac{1{,}22\times10^{5}\ \text{t}}{2{,}3\times10^{4}\ \text{kg}} = \frac{1{,}22\times10^{5}\ \text{t}}{23\ \text{t}} = 5{,}3\times10^{3}$$

- Il numero di fusilli prodotti in un giorno è dato da $N = \frac{m_F}{m} = \frac{2{,}3 \times 10^4\ \text{kg}}{8 \times 10^{-4}\ \text{kg}} = 3 \times 10^7$.
- In un piatto di pasta ci sono $\frac{80\ \text{g}}{0{,}8\ \text{g / fusillo}} \approx 100$ fusilli.

5. L'area e il volume, grandezze derivate

70 No, il valore dell'area è $A = 10^2\ \text{m}^2$.

71 No, resteranno delle parti bianche perché l'area di un adesivo non è contenuta un numero intero di volte in quella del foglio. Infatti l'area del foglio vale $A = 1\ \text{dm}^2 = 100\ \text{cm}^2$, quella di un adesivo vale $a = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0{,}785\ \text{cm}^2$. Il rapporto tra le due aree vale $\frac{A}{a} = \frac{100\ \text{cm}^2}{0{,}785\ \text{cm}^2} = 127{,}4$, che non è un numero intero.

72 A Milano il verde urbano occupa un'area di circa $15\frac{\text{m}^2}{\text{abitante}} \times 1{,}25 \times 10^6\ \text{abitanti} = 1{,}9 \times 10^7\ \text{m}^2 = 19\ \text{km}^2$.

A Napoli, invece, l'area del verde urbano è circa $5\frac{\text{m}^2}{\text{abitante}} \times 3{,}14 \times 10^5\ \text{abitanti} = 1{,}6 \times 10^6\ \text{m}^2 = 1{,}6\ \text{km}^2$.

73
a. $23{,}09\ \text{cm}^2 = 0{,}2309\ \text{dm}^2 = 0{,}002309\ \text{m}^2$
b. $0{,}065\ \text{dam}^2 = 6{,}5\ \text{m}^2 = 6\,500\,000\ \text{mm}^2$
c. $6{,}82\ \text{km}^2 = 682\ \text{hm}^2 = 6\,820\,000\ \text{m}^2$
d. $345{,}7\ \text{cm}^2 = 0{,}03457\ \text{m}^2 = 3{,}457\ \text{dm}^2$
e. $415\ \mu\text{m}^2 = 4{,}15 \times 10^8\ \text{nm}^2 = 4{,}15 \times 10^{-34}\ \text{Tm}^2 = 4{,}15 \times 10^{-16}\ \text{km}^2$
f. $6\ \text{km}^2 = 6 \times 10^6\ \text{m}^2 = 6 \times 10^{24}\ \text{nm}^2 = 6 \times 10^{18}\ \mu\text{m}^2$

74 $A = 9 \times 10^6$ acri $= (9 \times 10^6 \times 4047)\ \text{m}^2 = 36423 \times 10^6\ \text{m}^2 = 3{,}6423 \times 10^{10}\ \text{m}^2$. L'ordine di grandezza è $10^{10}\ \text{m}^2$, che è uguale all'ordine di grandezza dell'area della Puglia.

75 $(90 \times 120)\ \text{m}^2 = 10\,800\ \text{m}^2 = 1{,}08\ \text{ha}$

76 Sì. Infatti il volume della pentola è di $3{,}5\ \text{dm}^3 = 3{,}5$ L, ma l'acqua contenuta in 3 bottiglie occupa un volume totale di $(1{,}5\ \text{L}) \times 3 = 4{,}5$ L.

77
- Il volume finale del palloncino, come si vede sul grafico, è $16\ \text{dm}^3 = 0{,}016\ \text{m}^3$.
- Ha ripreso fiato 2 volte (tratti orizzontali, cioè intervalli di tempo in cui il volume resta costante).
- Tra 4 s e 5 s dall'inizio il volume è aumentato più velocemente perché la curva è più ripida. L'aumento è stato di $6\ \text{dm}^3$.

78 Il metro cubo non è multiplo del metro.

79 PROBLEMA SVOLTO

80
- 1 L corrisponde a $10^{-3}\ \text{m}^3$, quindi si ha $\left(\frac{3}{4} \times 10^{-3}\right)\text{m}^3 = \left(0{,}75 \times 10^{-3}\right)\text{m}^3 = 0{,}00075\ \text{m}^3$.
- $1\ \text{m}^3 = 10^3\ \text{L} = 10^3 \times (10^3\ \text{mL}) = 10^6\ \text{mL}$, da cui
  $0{,}00075\ \text{m}^3 = 0{,}00075 \times 10^6\ \text{mL} = 750\ \text{mL}$

81 ■ $A_b = \pi(D_b/2)^2 = \pi(0,5 \text{ cm})^2 = 0,8 \text{ cm}^2 = 0,8\times10^{-4} \text{ m}^2 = 8\times10^{-5} \text{ m}^2$

$A_{DVD} = \pi(D_{DVD}/2)^2 = \pi(6 \text{ cm})^2 = 1\times10^2 \text{ cm}^2 = 1\times10^{-2} \text{ m}^2$

■ $\dfrac{A_{DVD}}{A_b} = \dfrac{1\times10^{-2} \text{ m}^2}{8\times10^{-5} \text{ m}^2} \approx 1\times10^2$

82 ■ La differenza tra le aree dei due stati:

$A_B - A_I = 8,516\times10^6 \text{ km}^2 - 0,3013\times10^6 \text{ km}^2 = 8,2\times10^6 \text{ km}^2 = 8,2\times10^{12} \text{ m}^2$

■ L'area montagnosa italiana vale $A_I^m = 0,352\times0,3013\times10^6 \text{ km}^2 = 0,106\times10^6 \text{ km}^2$.

Quella brasiliana invece vale $A_B^m = 0,329\times8,516\times10^6 \text{ km}^2 = 2,8\times10^6 \text{ km}^2$.

Quindi il rapporto è

$$\frac{A_I^m}{A_B^m} = \frac{0,106\times10^6 \text{ km}^2}{2,8\times10^6 \text{ km}^2} = 0,038$$

83 PROBLEMA MODELLO a pag. 44

84 ■ Il numero di monete è dato dal rapporto tra la superficie totale della facciata e quella di una singola moneta. Approssimando le monete come quadratini si ottiene

$$n = \frac{(42,0 \text{ m})(6,0 \text{ m})}{(1,625\times10^{-2} \text{ m})(1,625\times10^{-2} \text{ m})} = 9,5\times10^5$$

■ Il progetto costerà $(9,5\times10^5 \text{ monete})\left(0,01\dfrac{€}{\text{moneta}}\right) = 9500€$.

■ La massa totale è $M = (9,5\times10^5)(2,3\times10^{-3} \text{ kg}) = 2,2\times10^3 \text{ kg}$ e l'ordine di grandezza è 10^3 kg.

85 ■ L'area della pista da ballo vale $A_P = \pi r^2 = 3,14\times(3,20 \text{ m})^2 = 32,2 \text{ m}^2$.

L'area che resterà libera per il ballo è data da $A = A_P - A_B = 32,2 \text{ m}^2 - 5,10\times10^4 \text{ cm}^2 = 32,2 \text{ m}^2 - 5,10 \text{ m}^2 = 27,1 \text{ m}^2$

■ L'area occupata dal piano bar avrebbe potuto contenere un numero di persone pari a $N = \dfrac{A_B}{A_{persona}} = \dfrac{5,10 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}^2} = 17$.

86
a. 12,5 mL = 0,0125 L = 1,25 cL
b. 0,674 hL = 674 dL = 67,4 L
c. 0,54 m^3 = 540 000 cm^3 = 540 dm^3
d. 564,9 m^3 = 564 900 dm^3 = 0,5649 dam^3
e. 415 $\mu m^3 = 4,15\times10^{11}$ $nm^3 = 4,15\times10^{-52}$ $Tm^3 = 4,15\times10^{-25}$ km^3

87 ■ La quantità totale di acqua che una persona beve in 50 anni è

$$Q = (8 \text{ bicchieri})\left(\frac{20 \text{ cL}}{\text{bicchiere}}\right)\times365\times50 = 2,92\times10^6 \text{ cL} = 2,92\times10^4 \text{ L}$$

■ Il volume totale in metri cubi vale $V = 2,92\times10^4 \text{ dm}^3 = 29,2 \text{ m}^3$.

88 ■ Il volume del vagone, espresso in m^3, è pari a:

$V = S_{base}\times h = (2,5 \text{ m}\times8,0 \text{ m})\times2,0 \text{ m} = 40 \text{ m}^3$

■ Utilizzando come unità di misura la scatola, il volume risulta $\dfrac{V}{V_{scatola}} = \dfrac{40 \text{ m}^3}{(0,25 \text{ m})^3} = 2560$.

89 ■ $55\times10^9\ \text{m}^3 = 5,5\times10^{13}\ \text{L}$

■ $n = \dfrac{V}{V_{\text{piscina}}} = \dfrac{55\times10^9\ \text{m}^3}{50\ \text{m}\times25\ \text{m}\times2\ \text{m}} = 2,2\times10^7$

6. La densità

90

GRANDEZZA	AUMENTA	DIMINUISCE	NON VARIA
Massa dell'aria			×
Volume dell'aria		×	
Densità dell'aria	×		

91 $d = \dfrac{m}{V} = \dfrac{90\ \text{kg}}{0,075\ \text{m}^3} = 1200\ \text{kg/m}^3$

92 $V = \dfrac{m}{d} = \dfrac{\left(52\times10^{-3}\right)\text{kg}}{7860\ \text{kg/m}^3} = 6,6\times10^{-6}\ \text{m}^3 = 6,6\ \text{cm}^3$

93 ■ 1 kg di mercurio occupa un volume pari a

$V_{\text{mercurio}} = \dfrac{m_{\text{mercurio}}}{d_{\text{mercurio}}} = \dfrac{1\ \text{kg}}{13\,550\ \text{kg/m}^3} = 7,38\times10^{-5}\ \text{m}^3 = 73,8\ \text{cm}^3$

■ $V_{\text{acqua}} = \dfrac{m_{\text{acqua}}}{d_{\text{acqua}}} = \dfrac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{kg/m}^3} = 1,00\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 1000\ \text{cm}^3 > V_{\text{mercurio}}$

quindi, a parità di massa, il mercurio occupa un volume minore rispetto all'acqua.

94 $m = dV = \left(300\ \text{kg/m}^3\right)\left(8,0\times10^{-6}\right)\text{m}^3 = 2400\times10^{-6}\ \text{kg} = 2,4\ \text{g}$

95 $V_{\text{benzina}} = \dfrac{1\ \text{kg}}{0,72\ \text{kg/dm}^3} = 1,39\ \text{dm}^3 = 1,39\ \text{L}$

96 **a.** $7860\ \text{kg/m}^3 = 7860\times10^{-6}\ \text{kg/cm}^3 = 7860\times10^{-3}\ \text{g/cm}^3$
b. $1\ \text{g/cm}^3 = 10^{-3}\ \text{kg/cm}^3 = 10^3\ \text{kg/m}^3$
c. $2,7\ \text{kg/dm}^3 = 2,7\times10^{-3}\ \text{kg/cm}^3 = 2,7\ \text{g/cm}^3$
d. $1000\ \text{kg/m}^3 = 1\ \text{g/cm}^3 = 1\ \text{g/mL} = 1\ \text{kg/L}$

97 ■ A 40° C si ha: $d = 0,9925\ \text{g/cm}^3 = 992,5\ \text{kg/m}^3$.

■ Il volume è aumentato perché la densità è diminuita. All'inizio $V_1 = \dfrac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{kg/m}^3} = 1\ \text{dm}^3$, alla fine

$V_2 = \dfrac{1\ \text{kg}}{972,3\ \text{kg/m}^3} = 1,0284\ \text{dm}^3$. Quindi l'aumento è stato di $V_2 - V_1 = 0,0284\ \text{dm}^3 = 28\ \text{cm}^3$.

98 ■ Alla temperatura di 30 °C il volume è $V_1 = \dfrac{m}{d_1} = \dfrac{1000\ \text{g}}{0,996\ \text{g/cm}^2} = 1004\ \text{cm}^3 = 1,004\ \text{L}$.

■ Alla temperatura di 80 °C il volume è $V_1 = \dfrac{m}{d_2} = \dfrac{1000\ \text{g}}{0,972\ \text{g/cm}^2} = 1029\ \text{cm}^3 = 1,029\ \text{L}$.

■ Secondo la definizione, al diminuire della densità il volume aumenta.

99 Indicando con m_{bp} la massa della bottiglia piena e con m_{bv} la massa della bottiglia vuota, la densità della bibita nella bottiglia è data da:

$$d_{\text{bibita}} = \frac{m_{\text{bibita}}}{V_{\text{bibita}}} = \frac{m_{\text{bp}} - m_{\text{bv}}}{V_{\text{bv}}} = \frac{(1,574 - 0,040)\ \text{kg}}{1,5 \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 1023\ \text{kg/m}^3$$

100 Indicando con m_c la massa del container e con m_m la massa della merce, la densità media del container è data da

$$d = \frac{m_c + m_m}{V} = \frac{\left(1,525 \times 10^7\ \text{g}\right) + \left(2,45 \times 10^6\ \text{g}\right)}{3,83 \times 10^7\ \text{cm}^3} = \frac{17,7 \times 10^6\ \text{g}}{3,83 \times 10^7\ \text{cm}^3} = 4,62 \times 10^{-1}\ \text{g/cm}^3$$

101 Il volume della pietra è dato da $V = \pi r^2 \Delta h = \pi\left(0,050\ \text{m}\right)^2\left(2,0 \times 10^{-3}\ \text{m}\right) = 1,57 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$.

La pietra non può essere d'argento, la densità calcolata è troppo piccola. Controllando la tabella delle densità si può ipotizzare che sia ferro ($d = 7,9 \times 10^3$ kg/m^3).

102
- La massa totale del cilindro è $m = m_{\text{Fe}} + m_{\text{Ti}} = \left(6,86 + 4,39\right)\ \text{kg} = 11,25\ \text{kg}$

  Il volume del ferro è $V_{\text{Fe}} = \dfrac{m_{\text{Fe}}}{d_{\text{Fe}}} = \dfrac{6,86\ \text{kg}}{7860\ \text{kg/m}^3} = 8,7277 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$,

  mentre quello del titanio risulta $V_{\text{Ti}} = \dfrac{m_{\text{Ti}}}{d_{\text{Ti}}} = \dfrac{4,39\ \text{kg}}{4507\ \text{kg/m}^3} = 9,7404 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$,

  così il volume totale del cilindro è $V = V_{\text{Fe}} + V_{\text{Ti}} = \left(8,7277 + 9,7404\right) \times 10^{-4}\ \text{m}^3 = 1,8468 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$.

  La densità media del cilindro risulta, quindi $d = \dfrac{m}{V} = \dfrac{11,25\ \text{kg}}{1,8468 \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 6092\ \text{kg/m}^3$.

- Il volume di piombo con la stessa massa risulta $V_{\text{Pb}} = \dfrac{m}{d_{\text{Pb}}} = \dfrac{11,25\ \text{kg}}{11340\ \text{kg/m}^3} = 9,921 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$.

103 Il volume del materasso è pari a $V = (190 \times 85 \times 10)\ \text{cm}^3 = 161\,500 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$. La sua massa risulta quindi

$$m = dV = \left(50\ \text{kg/m}^3\right)\left(161\,500 \times 10^{-6}\ \text{m}^3\right) = 8,1\ \text{kg}$$

Se il materasso avesse una massa di 208 g, dovrebbe avere una densità pari a

$$d' = \frac{m'}{V} = \frac{208 \times 10^{-3}\ \text{kg}}{161\,500 \times 10^{-6}\ \text{m}^3} = 1,29\ \text{kg/m}^3$$

perciò si dovrebbe utilizzare l'aria.

104 $$m_2 = dV_2 = dl_2^3 = d\left(\frac{l_1}{2}\right)^3 = \frac{dl_1^3}{8} = \frac{m_1}{8} = \frac{64\ \text{kg}}{8} = 8\ \text{kg}$$

105
- Il volume dell'armadio è $V = 1,80\ \text{m} \times 0,45\ \text{m} \times 2,10\ \text{m} = 1,7\ \text{m}^3$.

  Quindi la densità dell'armadio vuoto risulta $d_A = \dfrac{104\ \text{kg}}{1,7\ \text{m}^3} = 61\ \text{kg/m}^3$.

- La densità media dell'armadio con i vestiti risulta $d = \dfrac{\left(104 + 120\right)\ \text{kg}}{1,7\ \text{m}^3} = 1,3 \times 10^2\ \text{kg/m}^3$.

106 PROBLEMA MODELLO a pag. 47

107 La massa di xenon si ottiene dalla differenza tra la massa finale e quella iniziale:

$$m_{\mathrm{Xe}} = (85{,}852 - 85{,}382)\,\mathrm{g} = 0{,}470\,\mathrm{g} = 4{,}70\times10^{-4}\,\mathrm{kg}$$

Il volume occupato dallo xenon è dato da $V = 80\,\mathrm{mL} = 80\times10^{-3}\,\mathrm{dm}^3 = 8{,}0\times10^{-5}\,\mathrm{m}^3$.

Quindi la densità si calcola come $d_{\mathrm{Xe}} = \dfrac{m_{\mathrm{Xe}}}{V_{\mathrm{Xe}}} = \dfrac{4{,}70\times10^{-4}\,\mathrm{kg}}{8{,}0\times10^{-5}\,\mathrm{m}^3} = 5{,}9\ \mathrm{kg/m^3}$.

A parità di volume, la massa di idrogeno vale

$$m_{\mathrm{H}} = d_{\mathrm{H}}V = d_{\mathrm{H}}\frac{m_{\mathrm{Xe}}}{d_{\mathrm{Xe}}} = 0{,}153 m_{\mathrm{Xe}} = 0{,}153\times\left(4{,}70\times10^{-4}\,\mathrm{kg}\right) = 0{,}072\ \mathrm{g}$$

Quindi la massa finale della lampada piena di idrogeno è

$$M = (85{,}382 + 0{,}072)\,\mathrm{g} = 85{,}454\ \mathrm{g}$$

108 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 47.

109
- Per il volume della provetta troviamo

$$V_p = \frac{m}{d_1} = \frac{2{,}8\times10^{-4}\ \mathrm{kg}}{4{,}0\ \mathrm{kg/m^3}} = 7{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{m}^3 = 7{,}0\times10^{-2}\ \mathrm{L} = 70\ \mathrm{mL}$$

- Per ottenere la densità richiesta occorre una massa di azoto pari a

$$m' = V_p d' = \left(7{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{m}^3\right)\left(6{,}0\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right) = 4{,}2\times10^{-4}\ \mathrm{kg}$$

quindi bisogna aggiungere una massa di azoto uguale a

$$(4{,}2 - 2{,}8)\times10^{-4}\ \mathrm{kg} = 1{,}4\times10^{-4}\ \mathrm{kg} = 1{,}4\times10^{-1}\times10^{-3}\ \mathrm{kg} = 0{,}14\ \mathrm{g}$$

110 La densità media è data da $d_{\mathrm{T}} = \dfrac{m_{\mathrm{T}}}{V_{\mathrm{T}}} = \dfrac{m_{\mathrm{T}}}{\frac{4}{3}\pi r_{\mathrm{T}}^3} = \dfrac{5{,}97\times10^{24}\ \mathrm{kg}}{\frac{4}{3}\pi(6{,}37\times10^6\ \mathrm{m})^3} = 5{,}51\times10^3\ \mathrm{kg/m^3}$.

111 C

112 B

113 B

114 C

115 B

116 Il numero di secondi contenuti in 3 giorni è dato da $3\ \mathrm{d}\times24\ \mathrm{h/d}\times3600\ \mathrm{s/h} = 259\,200\ \mathrm{s}$, da cui segue la proporzione x : 40 s = 1 s : 259 200 s. Da questa si ricava che l'errore massimo che può commettere l'orologio di Harris è pari a

$$x = \frac{40\ \mathrm{s}\times1\ \mathrm{s}}{259\,200\ \mathrm{s}} = \frac{1}{6480}\,\mathrm{s}.$$

117 Il numero di giri è dato da $n = \dfrac{L}{2\pi R_{\mathrm{T}}} = \dfrac{10^9\ \mathrm{m}}{2\pi\times6{,}378\times10^6\ \mathrm{m}} = 25$.

118 ▪ $a = 35 \times 10^{-2}$ m; $b = 11 \times 10^{-1}$ m; $c = 15 \times 10^{-3}$ m

$$V = a \times b \times c = \left(35 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)\left(11 \times 10^{-1}\ \text{m}\right)\left(15 \times 10^{-3}\ \text{m}\right) = 5,78 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$$

▪ $m = Vd = \left(5,78 \times 10^{-3}\ \text{m}^3\right)\left(2700\ \text{kg/m}^3\right) = 15,6\ \text{kg}$

119 ▪ $L = 2\left(\dfrac{7,8 \times 10^9}{3}\right)\left(0,35\ \text{m}\right) = 1,82 \times 10^9\ \text{m}$

▪ $n = \dfrac{L}{2\pi R_\text{T}} = \dfrac{1,82 \times 10^9\ \text{m}}{2\pi\left(6,4 \times 10^6\ \text{m}\right)} = 45$

120 Occorrono tre dimezzamenti, quindi:
$t = 3 \times 3,82\ \text{d} = \left(3 \times 3,82 \times 24 \times 3600\right)\text{s} = 990\,144\ \text{s} = 9,90 \times 10^5\ \text{s}$

121 ▪ 3 m^3 equivalgono a 3000 L, da cui $N = \dfrac{3000\ \text{L}}{1,5\ \text{L}} = 2000$.

▪ $\dfrac{2\ \text{min}}{\text{bottiglia}} \times 2000\ \text{bottiglie} = 4000\ \text{min}$

$\left(4000\ \text{min}\right) / \left(60\dfrac{\text{min}}{\text{h}}\right) / \left(24\dfrac{\text{h}}{\text{d}}\right) = 2,8\ \text{d}$

122 La quantità di anidride carbonica prodotta per km da ciascun passeggero è

$$m_\text{treno} / \text{km} = \frac{31\ \text{kg}}{770\ \text{km}} = 0,040\ \text{kg/km}$$

$$m_\text{auto} / \text{km} = \frac{76\ \text{kg}}{770\ \text{km}} = 0,10\ \text{kg/km}$$

$$m_\text{aereo} / \text{km} = \frac{115\ \text{kg}}{770\ \text{km}} = 0,15\ \text{kg/km}$$

123 160 000 000$/100$ = 1 600 000 banconote che hanno una massa di 1 600 000 × 1 g = 1600 kg quindi oltre 145 kg a persona per 11 persone (due borse a testa da oltre 70 kg), impossibile trasportarli.

124 ▪ L'area della superficie di Giove è data da $A = 4\pi r^2 = 4\pi\left(7,14 \times 10^7\ \text{m}\right)^2 = 6,40 \times 10^{16}\ \text{m}^2$.

▪ $d = \dfrac{m}{V} = \dfrac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \dfrac{3m}{4\pi r^3} = \dfrac{3 \times 1,900 \times 10^{27}\ \text{kg}}{4\pi\left(7,14\right)^3 \times 10^{21}\ \text{m}^3} = 1,25 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$

125 Se V è il volume occupato da 80 kg di acqua e V_c il volume occupato da una cellula, la cui forma è approssimata a quella di una sfera, otteniamo

$$n = \frac{V}{V_\text{c}} = \frac{80 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}{\frac{4}{3}\pi\left(5 \times 10^{-6}\ \text{m}\right)^3} \simeq 1,5 \times 10^{14}$$

126 ▪ $V_\text{cellula} = \dfrac{4}{3}\pi\left(\dfrac{D}{2}\right)^3 = \dfrac{\pi}{6}D^3 = \dfrac{\pi}{6}\left(2,5 \times 10^{-5}\ \text{m}\right)^3 = 8,2 \times 10^{-15}\ \text{m}^3$

▪ Volume della porzione di tessuto $= 1,00\ \text{cm}^2 \times 0,10\ \text{mm} = 1,0 \times 10^{-8}\ \text{m}^3$. Quindi:

$N_\text{cellule} = \dfrac{V_\text{tessuto}}{V_\text{cellula}} = \dfrac{1,0 \times 10^{-8}\ \text{m}^3}{8,2 \times 10^{-15}\ \text{m}^3} = 1,2 \times 10^6$, cioè è dell'ordine di 10^6.

127 Il volume totale del virus è dato da $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(50\times10^{-9}\ \text{m}\right)^3 = 5,23\times10^{-22}\ \text{m}^3$.

Nell'ipotesi che esso sia composto per il 90% da acqua, il volume dell'acqua risulta
$V' = 0,9V = 0,9\times5,23\times10^{-22}\ \text{m}^3 = 4,71\times10^{-22}\ \text{m}^3$

Una stima della massa del virus è quindi $m_{\text{virus}} = dV' = (1000\ \text{kg/m}^3)(4,71\times10^{-22}\ \text{m}^3) \approx 5\times10^{-19}\ \text{kg}$.

128
- Il volume raggiunto dai due liquidi sovrapposti risulta pari a
$$V_{\text{tot}} = V_{\text{acqua}} + V_{\text{olio}} = V_{\text{acqua}} + \frac{m_{\text{olio}}}{d_{\text{olio}}} = 0,45\times10^{-3}\ \text{m}^3 + \frac{0,145\ \text{kg}}{920\ \text{kg/m}^3} = 6,08\times10^{-4}\ \text{m}^3 = 608\ \text{mL}$$
- La massa complessiva dei due liquidi risulta:
$$m_{\text{tot}} = m_{\text{acqua}} + m_{\text{olio}} = V_{\text{acqua}}d_{\text{acqua}} + m_{\text{olio}} =$$
$$= (0,45\times10^{-3}\ \text{m}^3\times1000\ \text{kg/m}^3) + 0,145\ \text{kg} = 0,595\ \text{kg} = 595\ \text{g}$$

129
- Il volume occupato dal latte è $V_{\text{latte}} = \frac{m_{\text{latte}}}{d_{\text{latte}}} = \frac{1\ \text{kg}}{1,03\ \text{kg/L}} = 0,97\ \text{L}$.
- Il costo di un litro nel negozio *B* risulta C_B = 1,12€/kg × 1,03 kg/L = 1,15€/L.
- $C_B > C_A$, quindi il prezzo è più conveniente nel negozio *A*.

130 Per percorrere 1 km le due auto consumano rispettivamente:
$$W_{\text{I/km}} = \frac{29\ \text{kWh}}{100\ \text{km}} = 0,29\ \text{kWh/km}$$
$$W_{\text{A/km}} = \frac{14\ \text{kWh}}{100\ \text{km}} = 0,14\ \text{kWh/km}$$
Il risparmio che si avrebbe utilizzando l'auto elettrica invece di quella a idrogeno è dato da:
$\Delta W = (W_{\text{I/km}} - W_{\text{A/km}})L = (0,29\ \text{kWh/km} - 0,14\ \text{kWh/km})\times20\ \text{km} = 3\ \text{kWh}$

Il risparmio percentuale è quindi $R\% = \frac{\Delta W}{W_{\text{I/km}}L} = \frac{3\ \text{kWh}}{(0,29\ \text{kWh/km})(20\ \text{km})} = 0,52 = 52\%$.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 D

2 B

3 **a)** 214 mm = 214×10^{-5} hm = $2{,}14\times10^{-3}$ hm

b) $3\times10^{-12}\,\text{dam} = 3\times10^{-12}\times\left(10^{10}\text{ nm}\right) = 3\times10^{-2}\text{ nm}$

c) $26\text{ cm}^2 = 26\times\left(10^{-2}\text{m}\right)^2 = 26\times10^{-4}\text{ m}^2 = 2{,}6\times10^{-3}\text{ m}^2$

d) $0{,}0063\text{ m}^2 = 0{,}0063\times\left(10^{-6}\,\mu\text{m}\right)^2 = 0{,}0063\times10^{-12}\,\mu\text{m}^2 = 6{,}3\times10^{-15}\,\mu\text{m}^2$

e) $0{,}78\text{ dm}^3 = 0{,}78\times\left(10^{2}\text{mm}\right)^3 = 0{,}78\times10^{6}\text{ mm}^3 = 7{,}8\times10^{5}\text{ mm}^3$

f) $860\text{ s} = 14{,}3\,\text{min}$

g) $250\text{ L} = 250\text{ dm}^3 = 250\times\left(10\,\text{cm}\right)^3 = 2{,}50\times10^{5}\text{ cm}^3$

h) $3{,}7\times10^{-3}\text{ m}^3 = 3{,}7\times10^{-3}\times\left(10\,\text{dm}\right)^3 = 3{,}7\,\text{dm}^3 = 3{,}7\,\text{L} = 3{,}7\times10^{3}\text{ mL}$

4 C

5 La massa del sacco, espressa in kilogrammi, è pari a
M_{sacco} = 4 kg + 0,250 kg + (5 × 0,5) kg + (7 × 0,0650) kg = (4 + 0,250 + 2,5 + 0,455) kg = 7,205 kg

6 $A = \dfrac{\pi r^2}{2} = \dfrac{\pi\left(15{,}2\right)^2}{2} = 363\text{ m}^2\,;\; N = \dfrac{A}{A_\text{p}} = \dfrac{363\text{ m}^2}{30\text{ dm}^2} = 1210$

7
- $d = \dfrac{100\text{ km}}{2{,}222\text{ km/lega}} = 45$ leghe
- Dalla proporzione 2 leghe: 0,5 h = 45 leghe: x, otteniamo
  $x = \dfrac{0{,}5\text{ h}\times45\text{ leghe}}{2\text{ leghe}} = 11{,}25\text{ h} = 11\text{ h }15\text{ min}$

8
- La quantità di acqua necessaria è $V = \pi R^2 h = \pi\left(85\text{ m}\right)^2 1{,}50\text{ m} = 3{,}405\times10^{4}\text{ m}^3 = 3{,}4\times10^{7}\text{ L}$.
- La velocità di riempimento è data da $v = \dfrac{V}{t} = \dfrac{3{,}405\times10^{7}\text{ L}}{7\text{ h}} = \dfrac{3{,}405\times10^{7}\text{ L}}{25200\text{ s}} \simeq 1{,}4\times10^{3}\text{ L/s}$.

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 6,2 libbre = $6{,}2\times16$ once = 99 once
35,6 once = (35,6:16) libbre = 2,23 libbre

2
- Larghezza = $4\times\left(15\,\text{cm}\right)+8\times\left(0{,}70\,\text{cm}\right) = 66$ cm
- Si divide 54 cm per 15 cm ottenendo 3 col resto di 9,0 cm e se ne conclude che la penna entra 3 volte nel senso della lunghezza sul banco ma avanzano 9 cm. Si divide poi 9,0 cm per 0,70 cm ottenendo 13.

3 Dal primo gennaio dell'anno 1 d.C. al primo gennaio 753 d.C. sono passati 752 anni; dal primo gennaio del 476 a.C. al primo gennaio dell'anno 1 d.C. sono passati 476 anni. In totale, gli anni sono 752 + 476 = 1228. Si moltiplica infine il numero di anni per 365 per avere il numero dei giorni, per 24 per avere il numero di ore e per 3600 per quello dei secondi:

$1228 \times 365 \times 24 \times 3600 = 3{,}87 \times 10^{10}$ s

4 Scriviamo i dati in notazione scientifica: $360\,\text{milioni di km}^2 = 3{,}6 \times 10^8\ \text{km}^2 = 3{,}6 \times 10^{14}\ \text{m}^2$.

L'area per ogni essere umano è $\dfrac{3{,}6 \times 10^{14}\ \text{m}^2}{8 \times 10^9} = 4{,}5 \times 10^4\ \text{m}^2 = 45000\ \text{m}^2$ (4 ettari e mezzo).

Ogni persona occupa un'area di $\dfrac{1{,}0\,\text{m}^2}{4} = 0{,}25\ \text{m}^2$, per cui 8 miliardi di persone occupano

$8 \times 10^9 \times 0{,}25\ \text{m}^2 = 2{,}0 \times 10^9\ \text{m}^2$

Il rapporto tra tale area e quella delle terre emerse è $\dfrac{2{,}0 \times 10^9\ \text{m}^2}{3{,}6 \times 10^{14}\ \text{m}^2} = 5{,}6 \times 10^{-6}$.

Tutti gli esseri umani in piedi occupano circa 6 milionesimi della superficie emersa.

5 Sostituendo i prefissi con il corrispondente fattore moltiplicativo, si ha

$500\,\text{nK} = 500 \times 10^{-9}\ \text{K} = 5{,}0 \times 10^{-7}\ \text{K}$

$4{,}0\ \text{TK} = 4{,}0 \times 10^{12}\ \text{K}$

Il loro rapporto è quindi $\dfrac{4{,}0 \times 10^{12}\ \text{K}}{5{,}0 \times 10^{-7}\ \text{K}} = 8{,}0 \times 10^{18}$.

6 Si convertono entrambe le misure in mm:
2,54 cm = 25,4 mm
300 μm = 0,30 mm
La misura del pezzo deve quindi essere:
25,4 mm – 0,30 mm = 25,1 mm

7 $800\ \text{kg/m}^3 = 800 \times [1000\ \text{g} / (100\ \text{cm})^3] = 0{,}8\ \text{g/cm}^3$

$7{,}0\ \text{in}^2 = 7 \times (2{,}54\ \text{cm})^2 = 45\ \text{cm}^2$

$23\ \text{dm}^3/\text{s} = 23 \times (0{,}1\ \text{m})^3 / (0{,}0000278\ \text{h}) = 83\ \text{m}^3/\text{h}$

$18\ \text{km/h} = 18 \times (1000\ \text{m} / 3600\ \text{s}) = 5\ \text{m/s}$

$162\ \text{lb/ft}^3 = 162 \times (0{,}45\ \text{kg}) / (0{,}305\ \text{m})^3 = 2570\ \text{kg/m}^3$

8 Si convertono tutte le misure in metri:

$6{,}23 \times 10^4$ mm = 62,3 m

$3{,}15 \times 10^{-2}$ km = 31,5 m

L'area è quindi $A = \frac{b \times h}{2} = \frac{(31{,}5\ \text{m})(62{,}3\ \text{m})}{2} = 981\,\text{m}^2$.

Si converte in mm^2:

$981\ \text{m}^2 = 981(1000\ \text{mm})^2 = 9{,}81 \times 10^8\ \text{mm}^2$

Si converte in km^2:

$981\ \text{m}^2 = 981\ (0{,}001\ \text{km})^2 = 9{,}81 \times 10^{-4}\ \text{mm}^2$

9 Il volume dell'intera umanità è $62\,\text{dm}^3 \times 8000000000 = 5{,}0 \times 10^{11}\ \text{dm}^3 = 5{,}0 \times 10^8\ \text{m}^3$.

10 Per coprire la potenza di $130\ \text{GW} = 1{,}3 \times 10^{11}\,\text{W}$ occorrono $\frac{1{,}3 \times 10^{11}\ \text{W}}{370\,\text{W}} = 3{,}5 \times 10^8$ pannelli.

Visto che ogni pannello si estende per 1,7 m^2, i pannelli coprono una superficie pari a
$3{,}5 \times 10^8 \times 1{,}7\ \text{m}^2 = 6{,}0 \times 10^8\ \text{m}^2 = 600\,\text{km}^2$

600 km^2 corrispondono allo 0,2% della superficie totale dell'Italia.

11 Il volume della Terra è $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\left(6{,}37 \times 10^6\,\text{m}\right)^3 = 1{,}08 \times 10^{21}\ \text{m}^3$, quindi la densità è

$$d = \frac{m}{V} = \frac{5{,}97 \times 10^{24}\,\text{kg}}{1{,}08 \times 10^{21}\,\text{m}^3} = 5510\,\text{kg/m}^3$$

12
- Per una persona di 70,0 kg, la massa delle ossa è pari a 70 kg $\times$ 7,0% = 4,9 kg, quindi la massa complessiva delle parti molli è 65 kg.

  Il volume occupato dalle ossa è $V = \frac{m}{d} = \frac{4{,}9\ \text{kg}}{1{,}2\ \text{kg/dm}^3} = 4{,}1\ \text{dm}^3$, mentre il volume delle parti molli è

  $$V = \frac{m}{d} = \frac{65\,\text{kg}}{1{,}0\ \text{kg/dm}^3} = 65\,\text{dm}^3$$

  Quindi il volume complessivo è $V_{\text{tot}} = 4{,}1\ \text{dm}^3 + 65\ \text{dm}^3 = 69\ \text{dm}^3$ e la densità è $d = \frac{m}{V} = \frac{70\,\text{kg}}{69\,\text{dm}^3} = 1{,}0\ \text{kg/dm}^3$.

- La risposta non sarebbe cambiata con una persona di massa diversa, perché i rapporti percentuali sarebbero stati gli stessi. Si può verificare questa affermazione ripetendo i calcoli qui sopra lasciando la massa indicata con la lettera *m*.

13 Dal grafico, si ricava che la densità dell'aria a 2000 m di quota è di circa 1 kg/m^3, mentre a 4000 m è di circa 0,8 kg/m^3. A 2000 m di quota, 2,5 kg occupano quindi un volume di $V_1 = \frac{m}{d} = \frac{2{,}5\ \text{kg}}{1{,}0\ \text{kg/m}^3} = 2{,}5\ \text{m}^3$, mentre alla quota di 4000 m il volume diventa $V_2 = \frac{m}{d} = \frac{2{,}5\ \text{kg}}{0{,}80\ \text{kg/m}^3} = 3{,}1\ \text{m}^3$.

L'incremento è quindi di $V_2 - V_1 = 3{,}1\ \text{m}^3 - 2{,}5\ \text{m}^3 = 0{,}6\ \text{m}^3$.

14 Visto che il raggio di una pallina è 6,8 cm : 2 = 3,4 cm, il volume di una pallina è $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(3{,}4\ \text{cm})^3 = 165\,\text{cm}^3$

2000 palline occupano quindi $165\ \text{cm}^3 \times 2000 = 330000\ \text{cm}^3 = 330\ \text{dm}^3$.

Ovviamente, il volume vero del bagagliaio sarà superiore perché comprende anche gli spazi vuoti tra le palline.

15
- La massa della piramide è $m = dV = 2700\,\text{kg/m}^3 \times 2600000\,\text{m}^3 = 7000000000\,\text{kg}$.
- 8 ore corrispondono a 8 h $\times$ 60 min/h = 480 min, quindi una persona potrebbe fare $\frac{80\,\text{min}}{10\,\text{min}} = 48$ viaggi in una giornata di lavoro e asportare 48 $\times$ 20 kg = 960 kg al giorno.

  Occorrerebbero quindi 7 000 000 000 kg / 960 kg/d = 7,3 $\times$ 10^6 d, che corrispondono a $\frac{7{,}3 \times 10^6\ \text{d}}{365\,\text{d/a}} = 20000\,\text{a}$.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 2

La misura

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Gli strumenti di misura

pag. 51

analogici: metro, termometro clinico e bilancia da cucina

digitali: orologio, barometro, termometro

3. L'incertezza di una misura singola

pag. 56

$(0,210 \pm 0,001)\ \text{m} = (21,0 \pm 0,1)\ \text{cm} = (210 \pm 1)\ \text{mm}$

5. L'incertezza relativa

pag. 58

Le incertezze relative delle tre misure sono:

$\frac{\Delta a}{a} = \frac{1\ \text{m}}{5\ \text{m}} = 0,2;\ \frac{\Delta b}{b} = \frac{0,1\ \text{cm}}{5,0\ \text{cm}} = 0,02;\ \frac{\Delta c}{c} = \frac{0,01\ \text{mm}}{0,10\ \text{mm}} = 0,1$

Quindi, la misura più precisa è la seconda, che ha l'incertezza relativa minore.

6. L'incertezza di una misura indiretta

pag. 59

- Sì, si calcola il diametro della biglia e da quello il volume con la formula del volume di una sfera; è una misura indiretta.
- È una misura diretta.

7. Le cifre significative

pag. 62

4; 1; 3; 2; 4

pag. 62

$7,6;\ 12;\ 0,036$

pag. 63

$l = (32,4 \pm 0,2)\ \text{cm}$

$m = (7,9 \pm 0,4)\ \text{kg}$

$t = (91,15 \pm 0,03)\ \text{s}$

TEST

1 B
2 B
3 C
4 D
5 C
6 A
7 C
8 B
9 D

PROBLEMI

1. Gli strumenti di misura

1 La sensibilità non è variata perché la scala graduata dove si legge il valore della misura è la stessa. La precisione invece è diminuita.

2 1 m

3 La bilancia dell'orefice ha una sensibilità maggiore rispetto a quella usata da Luca e Chiara. Infatti, si ha:

$m = \dfrac{330{,}4\ €}{56\ €/g} = 5{,}9\,g$ per la moneta di Luca; $m = \dfrac{341{,}6\ €}{56\ €/g} = 6{,}1\,g$ per la moneta di Chiara.

4 Il tachimetro e la bilancia sono strumenti molto pronti, che reagiscono in modo praticamente istantaneo. Il termometro e lo sfigmomanometro richiedono alcuni minuti per completare la misura.

5 Perché mentre la macchina è in movimento il carburante ha continue e veloci variazioni di livello. Se la prontezza dello strumento fosse troppo alta, la lancetta sarebbe in continuo movimento e sarebbe difficile leggere il valore.

6 La portata è 100 cm^3 e la sensibilità è 1 cm^3.

7
- L'amperometro ha portata 10 A e sensibilità 0,2 A.
- Il termometro ha portata 100 °C e sensibilità 5 °C.

8
- Lo strumento più accurato, quindi più preciso, è il termometro A: i valori misurati variano di poco e sono sempre simili al valore misurato dallo strumento di qualità più alta. Lo stesso non si può dire del termometro B.
- Come si vede, non esiste necessariamente una relazione tra la precisione di uno strumento di misura e la sua sensibilità.

9
- La sensibilità è il valore corrispondente a una singola divisione ed è dato da

  $$\frac{100\text{ mbar}}{20\text{ divisioni}} = \frac{5\text{ mbar}}{\text{divisione}}$$

  La portata è data da

  $$(40\text{ divisioni})\left(\frac{5\text{ mbar}}{\text{divisione}}\right) = 200\text{ mbar}$$
- No. Lo strumento non è abbastanza sensibile. Se provassimo a usarlo la lancetta indicherebbe 0 mbar.

10
- No. La massa di 15 g supera il fondo scala della bilancia di precisione e la bilancia analogica ha sensibilità di 100 mg, quindi troppo grande.
- In questo caso si può usare la bilancia di precisione e la sensibilità massima è di 100 µg.

11 bilancia pesa-persone (A e D) – portata 150 kg e sensibilità 100 g
cronometro del cellulare (D) – portata 1000 h e sensibilità 0,01 s
righello (A) – portata 20 cm e sensibilità 1 mm
metro da sarta (A) – portata 1 m e sensibilità 0,5 cm
tachimetro dell'auto (A e D) – portata 220 km/h e sensibilità 5 km
termometro clinico (A e D) – portata 43 °C e sensibilità 0,1 °C.

12
- A1 è più sensibile: la sua sensibilità è di 0,1 km/h mentre la sensibilità di A2 è di 1 km/h.
- A2 è più preciso, infatti i valori ottenuti si discostano tutti di molto poco dal valore noto. I valori ottenuti con A2 differiscono tra loro al massimo di $(132 \text{ km/h}) - (130 \text{ km/h}) = 2 \text{ km/h}$, mentre quelli ottenuti con A1 di $(135{,}1 \text{ km/h}) - (129{,}1 \text{ km/h}) = 6{,}0 \text{ km/h}$.
- Sulle strade urbane si devono misurare velocità inferiori o vicine a 50 km/h, quindi è meglio usare A2, dato che con A1 la misura può dare un risultato che differisce dal valore noto anche per più di 5 km/h.

2. L'incertezza delle misure

13 I grammi.

14 No, se fosse tarata male, i valori forniti sarebbero tutti superiori o inferiori a 2 kg.

15 Le misure sono affette da un errore sistematico, essendo le misure tutte maggiori di 50,00 g, e anche da errori accidentali (non eliminabili).

16 L'errore casuale.

17 Le misure sono affette da un errore sistematico.

18
- Da un errore sistematico.
- $\Delta L = (15{,}5 - 14{,}8) \text{ km} = 0{,}7 \text{ km}$

  $$\frac{\Delta L}{L}\% = \left(\frac{0{,}7 \text{ km}}{15{,}5 \text{ km}} \times 100\right)\% = 5\%$$

19
- L'errore sulla misura è di tipo sistematico per eccesso: $\Delta T' = (70 - 50) \text{ s} = 20 \text{ s}$.

  In percentuale le misure differiscono dal valore noto di

  $$\frac{\Delta T'}{T_V}\% = \left(\frac{20 \text{ s}}{50 \text{ s}} \times 100\right)\% = 40\%$$
- Le misure di Barbara sono influenzate dal suo tempo di reazione quando avvia e ferma il cronometro, quindi è normale che ottenga risultati diversi da una misura all'altra. Alcuni valori sono in eccesso e altri in difetto, quindi si tratta di errori casuali ineliminabili.

20
- Un atleta a Roma percorre una distanza $\Delta l_1 = nl_1 = 30 \times 50{,}01 \text{ m} = 1500{,}3 \text{ m}$, mentre un atleta a Firenze percorre la distanza $\Delta l_2 = nl_2 = 30 \times 49{,}99 \text{ m} = 1499{,}7 \text{ m}$.
- $d = \Delta l_1 - \Delta l_2 = (1500{,}3 - 1499{,}7) \text{ m} = 0{,}6 \text{ m}$
- No, bisogna considerare anche l'accuratezza della misura del tempo impiegato.

21 PROBLEMA SVOLTO

22
- Il volume misurato di una goccia è $V = 0,045 \text{ mL} = 4,5\times10^{-2}\times10^{-3} \text{ L} = 4,5\times10^{-5} \text{ L}$.
  L'incertezza sul volume è $\Delta V = 5\ \Delta L = 5\times10^{-6} \text{ L} = 0,5\times10^{-5} \text{ L}$. Quindi il volume sperimentale della goccia si può esprimere come $(4,5\pm0,5)\times10^{-5} \text{ L}$.
- Data la misura, il massimo volume di una goccia è $V_{\max} = 5,0\times10^{-5} \text{ L}$; con 20 gocce si ottiene un volume $V_{20} = 20\times5,0\times10^{-5} \text{ L} = 10\times10^{-4} \text{ L} = 1,0 \text{ mL}$, che in effetti è maggiore di 0,85 mL.
  Però il minimo volume della goccia compatibile con la misura è $V_{\min} = 4,0\times10^{-5} \text{ L}$. Quindi 20 gocce possono dare il volume $V'_{20} = 20\times4,0\times10^{-5} \text{ L} = 8,0\times10^{-4} \text{ L} = 0,80 \text{ mL}$; quindi non è detto che 20 gocce siano sufficienti.

23
- Anche se il termostato è tarato male, per scaldare la stanza da 12,0 °C a 20,0 °C (misura in difetto) la temperatura deve comunque aumentare di 8,0 °C. Perciò la massa di pellet necessaria è
  $m_{\text{pellet}} = (0,110 \text{ kg/°C})(8,0)\text{°C} = 0,88 \text{ kg}$
- La temperatura reale della stanza è (20,0 + 1,2) °C = 21,2 °C perché il livello di zero è spostato.

24 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 73.

3. L'incertezza di una misura singola

25 La dimensione è compresa tra $(6,55-0,02)\text{cm} = 6,53 \text{ cm}$ e $(6,55+0,02)\text{cm} = 6,57 \text{ cm}$. Quindi i valori in disaccordo sono: 6,51 e 6,70.

26 Non si può rispondere. La gara finisce in parità perché considerando le incertezze di misura non si può determinare quale massa è maggiore: i funghi di Luisa hanno una massa compresa tra 3,51 kg e 3,61 kg, mentre la massa dei funghi di Carlo è compresa tra 2,7 kg e 3,7 kg.

27
- 0,001 s = 1 ms; 1 s
- $(2,238\pm0,001)\text{s}$

28 Le prime due misure sono in accordo, la terza no.

29
- Il chiodo 2 potrebbe non essere il più corto perché la sua lunghezza massima è 5,00 cm e supera la lunghezza minima del chiodo 1, che è 4,98 cm.
- Il chiodo 3 è il più lungo perché la sua lunghezza minima è 5,03 cm e supera le lunghezze massime degli altri due chiodi.

30 Un calibro.

31
- $\dfrac{(100-80)\text{km/h}}{10} = 2 \text{ km/h}$
- $(90\pm2)\text{km/h}$

32 I due valori corrispondono agli estremi dell'intervallo di valori possibili: $T_{\min} = (T-\Delta T) = 750\text{°C}$, $T_{\max} = (T+\Delta T) = 760\text{°C}$. L'incertezza ΔT corrisponde alla sensibilità del termometro:

$$\Delta T = \frac{T_{\max}-T_{\min}}{2} = \frac{(760-750)\text{°C}}{2} = 5 \text{ °C}$$

33 Le incertezze sulle misure sono rispettivamente 0,05 mm; 0,05 mm; 0,1 g; 0,5 g

34
- $1{,}0\ \text{km}^2$
- $d_{max} = 2\sqrt{2}\ \text{km} = 2{,}8\ \text{km}$

4. L'incertezza di una misura ripetuta

35 $\bar{n} = \dfrac{41+58+41+54+45+51}{6} = \dfrac{290}{6} \approx 48$

36
- Il valore medio è dato da
$$\bar{t} = \frac{t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9+t_{10}}{10} =$$
$$= \frac{(0,75+0,57+0,69+0,48+0,82+0,55+0,65+0,62+0,59+0,42)\text{s}}{10} = 0,61\ \text{s}$$
- La semidispersione massima è
$$e = \frac{x_{max}-x_{min}}{2} = \frac{(0,82-0,42)\text{s}}{2} = 0,2\ \text{s}$$
- Il risultato corretto della misura è quindi (0,6 ± 0,2) s.

37
- Il valore medio delle misure è
$$\bar{l} = \frac{l_1+l_2+l_3+l_4+l_5+l_6+l_7+l_8}{8} =$$
$$= \frac{(3,84+3,79+3,85+3,76+3,80+3,86+3,80+3,78)\text{m}}{8} = 3,81\ \text{m}$$
- $e = \dfrac{(3,86-3,76)\text{m}}{2} = 0,05\ \text{m}$
- $l = (3,81 \pm 0,05)\text{m}$

38
- Il valore medio è dato da
$$\bar{d} = \frac{d_1+d_2+d_3+d_4+d_5+d_6+d_7+d_8+d_9+d_{10}}{10} =$$
$$= \frac{(6,31+6,33+6,32+6,36+6,33+6,30+6,35+6,32+6,34+6,33)\text{cm}}{10} = 6,33\ \text{cm}$$
$$e = \frac{d_{max}-d_{min}}{2} = \frac{(6,36-6,30)\text{cm}}{2} = 0,03\ \text{cm}$$
- Il risultato corretto della misura è quindi (6,33 ± 0,03) cm.

39
- La semidispersione massima è pari alla metà dell'ampiezza dell'intervallo di valori possibili, quindi 2°.
- Il valore medio di 140° è stato ottenuto facendo il rapporto tra la somma di tutte le misure e il numero di misure stesso: $\bar{\alpha} = \dfrac{S}{N}$ da cui $N = \dfrac{S}{\bar{\alpha}} = \dfrac{7\times(360°)}{140°} = 18$.

40 ■ Il valore medio delle misure è $\bar{M} = \dfrac{(1,992 + 2,106 + 2,008)\,\text{kg}}{3} = 2,035\,\text{kg}$.

■ Il risultato è affetto da un errore sistematico per eccesso che si può correggere:
$\bar{M} - (0,120 \text{ kg}) = 1,915 \text{ kg}$

■ Quindi il prezzo delle patate è di $\left(1,50 \dfrac{€}{\text{kg}}\right)(1,915 \text{ kg}) = 2,87€$

41 ■ La media delle misure vale $\bar{N} = \dfrac{(1230 + 1245 + 1198 + 1224 + 1207 + 1228)\,\text{passi}}{6} = 1222$ passi .

La semidispersione massima è $e = \dfrac{(1245 - 1198)}{2} = 24$ passi e va presa come incertezza della misura essendo maggiore della sensibilità (1 passo). Quindi, $N = (1222 \pm 24)$ passi.

■ La camminata del ragazzo non è regolare e costante: da un giorno all'altro può andare più veloce o lento in alcuni tratti, può dover saltare ostacoli ecc. Vibrazioni e sbalzi possono influire sul conteggio dei passi.

■ No. Il numero di passi di differenza che compie quando passa da un ingresso o dall'altro è più piccolo dell'incertezza della misura.

42 $\bar{M} = \dfrac{(7,995 + 8,005 + 8,000 + 7,990 + 7,990)\,\text{kg}}{5} = 8,00 \text{ kg}$; $e = \dfrac{(8,010 - 7,990)\,\text{kg}}{2} = 0,01 \text{ kg}$

La sensibilità della bilancia è $\dfrac{0,05}{100}(10 \text{ kg}) = 0,005 \text{ kg}$. Quindi: $M = (8,00 \pm 0,01)$ kg .

43 ■ Francesca ha un tester con sensibilità di 0,01 mA, quindi il fondo scala è $(0,01 \text{ mA})\dfrac{100}{0,5} = 2 \text{ mA}$.

Riccardo ha un tester con sensibilità di 0,1 mA, quindi il fondo scala è $(0,1 \text{ mA})\dfrac{100}{0,5} = 20 \text{ mA}$.

■ La media delle misure di Francesca è $\dfrac{1,30 + 1,28 + 1,32 + 1,31 + 1,34}{5}$ mA $= 1,31$ mA , mentre la semidispersione massima è $\dfrac{1,35 - 1,29}{2}$ mA $= 0,03$ mA . La sua misura è quindi: $(1,31 \pm 0,03)$ mA .

La media delle misure di Riccardo è 1,3 mA; la semidispersione è nulla, perciò l'incertezza sulla misura è data dalla sensibilità della scala: $\dfrac{(20 \text{ mA}) \times 0,5}{100} = 0,1$ mA . La misura di Riccardo è allora $(1,3 \pm 0,1)$ mA .

44 La media dei 6 valori è 0,785 kg/dm^3; il valore 0,61 kg/dm^3 si allontana dalla media di oltre il 20%, pertanto si può decidere di scartarlo ipotizzando che sia dovuto a uno sbaglio nella misura. La media degli altri 5 valori è 0,82 kg/dm^3 e la loro semidispersione massima è 0,04 kg/dm^3, quindi
$d = (0,82 \pm 0,04)$ kg/dm^3

45

- No, il primo contenitore graduato ha una sensibilità di 0,2 mL, mentre tra le misure della serie ci sono valori ottenibili solo se la sensibilità è di 0,1 mL.
- Il valore medio è $\overline{V}_a = \dfrac{(0{,}1635 + 0{,}1643 + 0{,}1645 + 0{,}1641 + 0{,}1639 + 0{,}1642)\,\text{L}}{6} = 0{,}1641\ \text{L}$

  La dispersione massima è $e = \dfrac{(0{,}1645 - 0{,}1635)\,\text{L}}{2} = 0{,}0005\ \text{L} = 0{,}5\ \text{mL} > 0{,}1\ \text{mL}$

  Il volume dell'ampolla è $V_a = (164{,}1 \pm 0{,}5)\,\text{mL}$ cioè è compreso tra 163,6 mL e 164,6 mL.
- Il volume della fialetta è compreso invece tra 164,0 mL e 164,4 mL. Quindi i due valori sono compatibili considerando le incertezze.
- No, non può essere certo che la fialetta contenga tutto il liquido dell'ampolla. Esistono casi in cui il volume V_a supera quello della fialetta.

5. L'incertezza relativa

46 No. Come incertezza prendiamo il più grande tra l'errore massimo e la sensibilità dello strumento. Vediamo già che la sensibilità genera un errore relativo percentuale che vale circa

$$e_{\%} = \frac{5\ \text{g}}{115{,}12\ \text{g}} \times 100 \approx 4\%$$

47

- $e = \dfrac{(900 - 890)\ \text{cm}}{2} = 5\ \text{cm}$

$$\overline{x} = \frac{(890 + 900)\,\text{cm}}{2} = 895\ \text{cm} \Rightarrow e_r = \frac{5\ \text{cm}}{895\ \text{cm}} = 0{,}056 = 0{,}6\%$$

48

- L'incertezza si calcola come $\Delta T = e_r \times T = 0{,}0002 \times (25{,}000\ \text{min}) = 0{,}005\ \text{min}$.
- Il valore della misura in secondi è $T = (25{,}000\ \text{min})\left(60\dfrac{\text{s}}{\text{min}}\right) = 1500{,}0\ \text{s}$. L'incertezza espressa in secondi invece è $\Delta T = (0{,}005\ \text{min})\left(60\dfrac{\text{s}}{\text{min}}\right) = 0{,}3\ \text{s}$.

  Quindi il risultato della misura è $T \pm \Delta T = (1500{,}0 \pm 0{,}3)\,\text{s}$.

49

- Leggendo la scala graduata il valore della massa è $M_b \pm \Delta M_b = (85{,}5 \pm 0{,}5)\ \text{g} = (8{,}55 \pm 0{,}05) \times 10^{-2}\ \text{kg}$
- L'incertezza della prima misura è pari a 0,1 kg.

  Le incertezze relative sono: $\dfrac{\Delta M_b}{M_b} = \dfrac{0{,}5\ \text{g}}{85{,}5\ \text{g}} = 0{,}006$ e $\dfrac{\Delta M_a}{M_a} = \dfrac{0{,}1\ \text{kg}}{63{,}9\ \text{kg}} = 0{,}002$.

  Quindi la misura fatta con la bilancia digitale è più precisa.

50

- $h = (2150 \pm 5)\,\text{m}$
- $e_r = \dfrac{\Delta h}{h} = \dfrac{5\ \text{m}}{2150\ \text{m}} = 0{,}2\%$
- Resta invariata, perché 0,5 m < 5 m.

51 Le incertezze relative delle due misure sono:

$$e_{r,1} = \frac{0,5\ \text{kg}}{115,0\ \text{kg}} = 4,35 \times 10^{-3} \ \text{e} \ e_{r,2} = \frac{0,02\ \text{kg}}{3,28\ \text{kg}} = 6,10 \times 10^{-3}$$

Poiché $e_{r,1} < e_{r,2}$ la prima misura è più precisa della seconda.

52 $e_{r_1} = \dfrac{0,5\ \text{cm}}{24,5\ \text{cm}} = 2\%$; $e_{r_2} = \dfrac{1\ \text{cm}}{98\ \text{cm}} = 1\%$

La seconda misura è la più precisa.

53
- $e_{\%\text{W}} = \dfrac{0,012\ \text{GeV/c}^2}{80,379\ \text{GeV/c}^2} = 0,015\%$; $e_{\%\text{H}} = \dfrac{0,16\ \text{GeV/c}^2}{125,18\ \text{GeV/c}^2} = 0,13\%$; la misura della massa del bosone W è più precisa perché la sua incertezza relativa è minore.
- Se la massa del bosone W avesse la stessa incertezza relativa della massa bosone di Higgs, la sua incertezza assoluta sarebbe $e_{\text{W}} = \bar{m}_{\text{W}} e_{\%\text{H}} = \left(80,379\ \text{GeV/c}^2\right)\left(0,1278\%\right) = 0,10\ \text{GeV/c}^2$.

  Quindi il modo corretto di esprimere la misura sarebbe $\left(80,4 \pm 0,1\right)\ \text{GeV/c}^2$.

54 L'incertezza relativa della misura di Valeria è (0,01 s)/(1,32 s) = 0,75%; quindi la misura di Valeria è la più precisa.

55 PROBLEMA MODELLO a pag. 78

56 La media delle nuove misure vale $\bar{M} = \dfrac{\left(12,24 + 12,28 + 12,20 + 12,24 + 12,32\right)\ \text{g}}{5} = 12,26\,\text{g}$.

e la semidispersione massima è $e = \dfrac{\left(12,32 - 12,20\right)\text{g}}{2} = 0,06\ \text{g}$.

L'incertezza della misura è proprio e , dato che è più grande della sensibilità della bilancia.

L'errore relativo percentuale di questa misura è quindi $e_r = \dfrac{e}{\bar{M}} = \left(\dfrac{0,06\ \text{g}}{12,26\ \text{g}} \times 100\right)\% = 0,5\% < 0,8\%$

La seconda bilancia permette di effettuare misure molto più precise. Per Giulia è conveniente sostituire la sua prima bilancia con la seconda.

57 Il valore medio è 0,17 A; la semidispersione massima è 0,02 A; l'incertezza relativa è $\dfrac{0,02\ \text{A}}{0,17\ \text{A}} = 0,11$, che in percentuale vale 11%.

58 Dai dati del problema sappiamo che Δt = 0,1 °C e che l'incertezza relativa è $\dfrac{\Delta t}{t} = 0,005$. Si ricava quindi:

$$t = \frac{\Delta t}{\left(\dfrac{\Delta t}{t}\right)} = \frac{0,1\ °\text{C}}{0,005} = 20,0\ °\text{C}. \ \text{Quindi} \ t = \left(20,0 \pm 0,1\right)°\text{C}$$

59 $\bar{d} = \dfrac{e}{e_{\%}} = \dfrac{0,05\ \text{mm}}{2,00/100} = 2,50\ \text{mm}$; $d = \left(2,50 \pm 0,05\right)\text{mm}$

6. L'incertezza di una misura indiretta

60 Maggiore.

61 Il semiperimetro è $p = l_1 + l_2 = 15,4 \text{ cm} + 10,7 \text{ cm} = 26,1 \text{ cm}$.

$\Delta p = \Delta l_1 + \Delta l_2 = (0,1 + 0,1)\text{cm} = 0,2 \text{ cm}$; $p = (26,1 \pm 0,2) \times 10^{-2} \text{ m}$

62 PROBLEMA SVOLTO

63
- $V = abc = (5,4 \times 7,9 \times 11,7)\,\text{cm}^3 = 5,0 \times 10^2 \text{ cm}^3$
- $\dfrac{\Delta a}{a} = \dfrac{0,1 \text{ cm}}{5,4 \text{ cm}} = 1,9\%$; $\dfrac{\Delta b}{b} = \dfrac{0,1 \text{ cm}}{7,9 \text{ cm}} = 1,3\%$; $\dfrac{\Delta c}{c} = \dfrac{0,1 \text{ cm}}{11,7 \text{ cm}} = 0,9\%$

  La somma degli errori relativi, pari circa al 4%, comporta un'incertezza sul volume

  $\Delta V = (5,4 \times 7,9 \times 11,7)\,\text{cm}^3 \times 0,04 = 20 \text{ cm}^3$

  Quindi, $V = (5,0 \pm 0,2) \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

64
- $C = \cancel{2}\pi \dfrac{D}{\cancel{2}} = \pi D = \pi(12,0 \pm 0,1)\,\text{cm} = (37,7 \pm 0,3)\,\text{cm}$
- $A = \pi \dfrac{D^2}{4} = \pi \dfrac{(12,0 \text{ cm})^2}{4} = 113 \text{ cm}^2$; $\dfrac{\Delta D}{D} = \dfrac{0,1 \text{ cm}}{12,0 \text{ cm}} = 8,3 \times 10^{-3}$; $\dfrac{\Delta A}{A} = 2\dfrac{\Delta D}{D} = 17 \times 10^{-3}$

  $\Delta A = A\left(\dfrac{\Delta A}{A}\right) = 113 \text{ cm} \times 17 \times 10^{-3} = 2 \text{ cm}^2$
- $C = (37,7 \pm 0,3)\,\text{cm}$; $A = (113 \pm 2)\,\text{cm}^2$
- $e_r(C) = \dfrac{\Delta C}{C} = \dfrac{0,3 \text{ cm}}{37,7 \text{ cm}} = 0,008$; $e_r(A) = \dfrac{\Delta A}{A} = \dfrac{2 \text{ cm}^2}{113 \text{ cm}^2} = 0,02$

65 $(l_2 - l_1) = [(7,5 - 5,2) \pm (\Delta l_1 + \Delta l_2)]\,\text{cm} = (2,3 \pm 0,6)\,\text{cm}$ (falso)

$p = (l_2 + l_1) \pm (\Delta l_1 + \Delta l_2) = (12,7 \pm 0,6)\,\text{cm}$ (vero)

$$A = l_1 \times l_2 = 39 \text{ cm}^2$$
$$\frac{\Delta l_1}{l_1} = \frac{0,3 \text{ cm}}{5,2 \text{ cm}} = 0,058$$
$$\frac{\Delta l_2}{l_2} = \frac{0,3 \text{ cm}}{7,5 \text{ cm}} = 0,04$$
$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} = 0,058 + 0,04 = 0,098$$
$$\Delta A = A\left(\frac{\Delta A}{A}\right) = (39 \text{ cm}^2)(0,098) = 3,8 \text{ cm} \simeq 4 \text{ cm}^2$$

La misura dell'area è quindi $A = (39 \pm 4)\,\text{cm}^2$ (vero)

66 $T_{\max} - T_{\min} = (25,4 - 8,0)\ °\text{C} = 17,4\ °\text{C}$; $\Delta T = (0,2 + 0,2)\ °\text{C} = 0,4\ °\text{C}$
Quindi, l'escursione termica vale (17,4 ± 0,4) °C.

67 ▪ Il numero di mele date alla signora è $N = \dfrac{1\ \text{kg}}{0{,}1703\ \text{kg}} = 6$.

▪ La massa totale è data da $M = 6\times(170{,}3\ \text{g}) = 1{,}022\ \text{kg}$ e l'incertezza vale
$\Delta M = 6\Delta m = 6\times 0{,}5\ \text{g} = 3\ \text{g}$
Quindi il peso si scrive come $F_P = (1{,}022 \pm 0{,}003)\,\text{kg}$.

68 ▪ Giuseppe ottiene la quantità totale sommando i risultati delle singole misure con il cilindro:
$5\times(150\ \text{mL}) + 40\ \text{mL} = 790\ \text{mL}$
Ogni singola quantità ha un'incertezza di 5 mL. Quindi l'incertezza totale è la somma delle incertezze ed è pari a $6\times(5\ \text{mL}) = 30\ \text{mL}$.
Il risultato della misura fatta in questo modo è $(790 \pm 30)\,\text{mL}$.

▪ Sì. In questo caso esegue una misura diretta perché questo cilindro contiene tutta l'acqua della pentola. Quindi, l'incertezza vale 5 mL.

69 $N = \dfrac{T}{t} = \dfrac{416\ \text{s}}{16\times 10^{-3}\ \text{s}} = 26\times 10^3$

$\dfrac{\Delta t}{t} = 0{,}06$

L'incertezza relativa sul tempo T è data da $\dfrac{\Delta T}{T} = \dfrac{8\ \text{s}}{416\ \text{s}} = 0{,}02$.

L'incertezza associata a N si calcola come $\Delta N = \dfrac{T}{t}\left(\dfrac{\Delta t}{t} + \dfrac{\Delta T}{T}\right) = 26\times 10^3 \times (0{,}06 + 0{,}02) = 2\times 10^3$.

Quindi $N = (26 \pm 2)\times 10^3$.

70 PROBLEMA MODELLO a pag. 80

71 $\bar{V} = \dfrac{(1{,}082 + 1{,}074 + 1{,}080 + 1{,}076 + 1{,}081)\ \text{dm}^3}{5} = 1{,}079\ \text{dm}^3$

$e = \dfrac{(1{,}082 - 1{,}074)\ \text{dm}^3}{2} = 0{,}004\ \text{dm}^3$

Quindi l'altezza ricavata da Sara è $h = \dfrac{\bar{V}}{\pi r^2} = \dfrac{1{,}079\times 10^{-3}\ \text{m}^3}{\pi(0{,}083\ \text{m})^2} = 0{,}050\ \text{m} = 5{,}0\ \text{cm}$.

$$\Delta h = h\left(\frac{\Delta V}{V} + 2\frac{\Delta r}{r}\right) = (5{,}0\ \text{cm})\left[\frac{0{,}004\ \text{dm}^3}{1{,}079\ \text{dm}^3} + 2\times\left(\frac{0{,}1\ \text{cm}}{8{,}3\ \text{cm}}\right)\right] = 0{,}1\ \text{cm}$$

Quindi: $h = (5{,}0 \pm 0{,}1)\,\text{cm}$.

72 ▪ Lucas ha: (34 ± 1) monete da 10 centesimi, corrispondenti a $(3{,}40 \pm 0{,}10)$ €; (56 ± 1) monete da 20 centesimi, corrispondenti a $(11{,}20 \pm 0{,}20)$ €; (44 ± 1) monete da 50 centesimi, corrispondenti a $(22{,}00 \pm 0{,}50)$ €. In tutto ha quindi $(36{,}60 \pm 0{,}80)$ €.

▪ $(1{,}60 \pm 0{,}80)$ €

COMPITI
CAPITOLO 2. La misura
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

73 ■ $m_{\text{mol aria}} = 29,0 \text{ g} = 29,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$; $V_{\text{mol aria}} = 22,4 \text{ L} = 22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$d_{\text{aria}} = \frac{m_{\text{mol aria}}}{V_{\text{mol aria}}} = \frac{29,0 \times \cancel{10^{-3}} \text{ kg}}{22,4 \times \cancel{10^{-3}} \text{ m}^3} = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

■ $m_{\text{aria}} = d_{\text{aria}} V = d_{\text{aria}} Llh = \left(1,29 \text{ kg/m}^3\right)\left(3,0 \times 5,9 \times 2,5\right) \text{m}^3 = 57 \text{ m}^3$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0,1 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,03 \; ; \; \frac{\Delta l}{l} = \frac{0,1 \text{ m}}{5,9 \text{ m}} = 0,02 \; ; \; \frac{\Delta h}{h} = \frac{0,1 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} = 0,04$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta h}{h} = 0,03 + 0,02 + 0,04 = 0,09 \; ; \; \Delta V = V\left(\frac{\Delta V}{V}\right) = (3 \times 5,9 \times 2,5) \text{ m}^3 \times 0,09 = 3,98 \text{ m}^3$$

$$\Delta m_{\text{aria}} = d_{\text{aria}} \Delta V = 1,29 \text{ kg/m}^3 \times 3,98 \text{ m}^3 = 5,1 \text{ kg}$$

Il risultato della misura indiretta della massa di aria può essere espresso come $m_{\text{aria}} = (57 \pm 5) \text{ kg}$.

7. Le cifre significative

74 No, le cifre significative rimangono 4. Gli zeri che deve mettere all'inizio del numero non sono significativi.

75 3; 2; 5; 3; 4

76 ■ Nel calcolare l'aumento della lunghezza, gli studenti hanno messo una cifra in più. Il micrometro ha una sensibilità di 0,01 mm. Eseguendo le sottrazioni i risultati devono essere arrotondati e le cifre dopo la virgola non possono essere più di 2.

■ I valori giusti da mettere sull'asse delle ordinate sono, in ordine decrescente: 1,21 mm; 0,91 mm, 0,60 mm, 0,27 mm.

77 ■ Quattro cifre significative.

■ $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ con 3 cifre significative; $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ con 2 cifre significative;

$G = 7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ con 1 cifra significativa

78 $2,99792 \times 10^8$ m/s; $2,998 \times 10^8$ m/s; $3,0 \times 10^8$ m/s

79
a. 31 cm
b. 60,0 cm
c. 8 g/cm^3
d. 32,40 m

80
a. $\left(50,3 \text{ cm}\right)\pi = 158 \text{ cm}$

b. $\dfrac{7,0 \text{ m}}{2,35 \text{ s}} = 3,0 \text{ m/s}$

c. $12,37 \text{ mL} - 10 \text{ mL} = (12,37 - 10) \text{ mL} = 2 \text{ mL}$

d. $(120 + 2,5 + 0,12) \text{ g} = 122,6 \text{ g} \approx 123 \text{ g}$

81 $0{,}135\ \text{m}\times\sqrt{2}=0{,}191\ \text{m}$

82 $M-m=(4{,}347-0{,}3525)\ \text{kg}=3{,}995\ \text{kg}$; quindi 3 cifre decimali.

83 La variazione di temperatura è $T_2-T_1=120{,}68\ °\text{C}-120{,}53\ °\text{C}=0{,}15\ °\text{C}$.

La variazione di temperatura in un secondo è $\Delta T=\dfrac{T_2-T_1}{0{,}4\ \text{s}}\times 1{,}0\ \text{s}=0{,}4\ °\text{C}$.

84
b. 235,3 g + 73,256 g = 308,6 g
c. 345,2 cm – 2,56 cm = 342,6 cm
d. 21,3 m ÷ 4,1 s = 5,2 m/s
e. 20 kg – 4,0 kg = 16,0 kg
f. 57 – 8 = 49

85 $p=2L+2l=2\times(47{,}18+23{,}5)\,\text{m}=141{,}4\ \text{m}$

86
- $d_{\text{aereo}}=R+h_{\text{aereo}}=(6400\times10^3+6\times10^3)\,\text{m}=6406\times10^3\ \text{m}=6{,}4\times10^6\ \text{m}$
- $d_{\text{sat}}=R+h_{\text{sat}}=(64\times10^5+10^5)\,\text{m}=65\times10^5\ \text{m}=6{,}5\times10^6\ \text{m}$

87 Sono significative solo le cifre che si ottengono come somma di cifre significative.

Poiché 117 g = 0,117 kg, l'unica cifra significativa nella somma con 62,3 kg è quella dei decimi di kg. Quindi la bilancia indica 62,3 kg + 0,1 kg = 62,4 kg.

88 PROBLEMA MODELLO a pag. 82

89
- Si deve calcolare $\pi=\dfrac{C}{D}$, quindi il risultato avrà 3 cifre significative, come la misura di *C*.
- Il risultato è $\pi=\dfrac{21{,}9\ \text{cm}}{6{,}970\ \text{cm}}$.
- Sì, in questo caso le cifre significative sarebbero state 4.

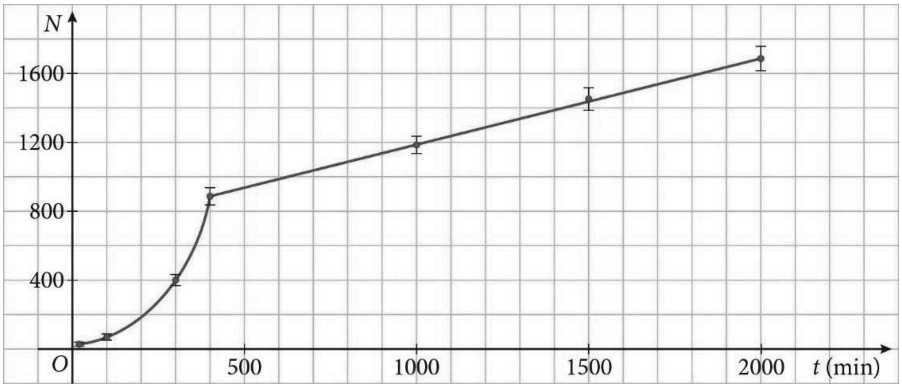
90
- $C_{\text{eolica}}=\dfrac{E_{\text{eolica}}}{N}=\dfrac{9{,}7658\times10^9\ \text{kWh}}{60\ 483\ 973\ \text{abitanti}}=161{,}46\ \text{kWh/abitante}$
- $C_{\text{altra}}=C_{\text{tot}}-C_{\text{eolica}}=(5299-161{,}46)\ \text{kWh/abitante}=5138\ \text{kWh/abitante}$

8. La ricerca sperimentale di una legge fisica

91 La legge $y=\dfrac{1}{5}x$ non descrive sicuramente i dati perché prevede una proporzionalità diretta tra *y* e *x*.

92
- $\Delta T=0{,}02\ \text{s}$ e $\Delta l=0{,}1\ \text{cm}$
- $l=(21{,}2\pm0{,}1)\ \text{cm}$ e $T=(0{,}92\pm0{,}02)\ \text{s}$

93



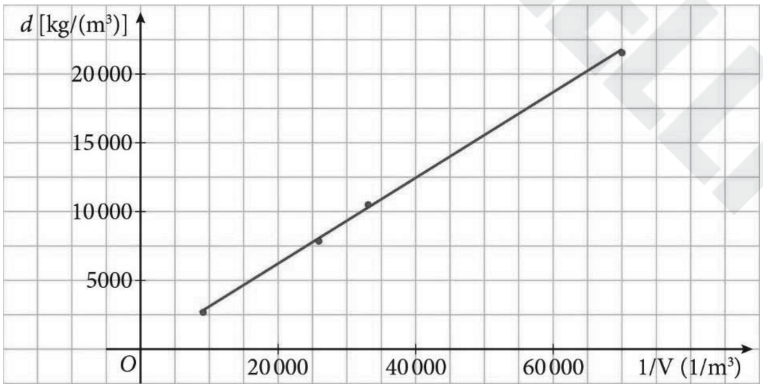
Quindi, l'esperimento non conferma la relazione di proporzionalità diretta da t0 = 20 min.

- Se si prende come istante iniziale t0 ≥ 400 min, invece, si vede che la legge di proporzionalità diretta è ben verificata entro le incertezze.

94

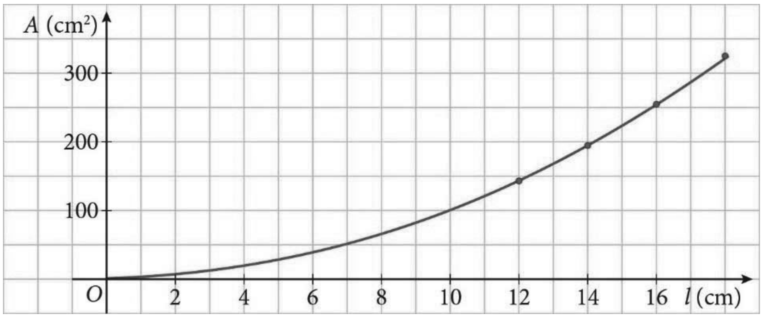
- Dobbiamo calcolare i valori del volume e del suo inverso.

***l* (m)**	***V* (m^3)**	**1/*V* (m^{-3})**
0,024 ± 0,001	$(1,4 \pm 0,2) \times 10^{-5}$	$(7 \pm 1) \times 10^{4}$
0,031 ± 0,001	$(3,0 \pm 0,3) \times 10^{-5}$	$(3,3 \pm 0,3) \times 10^{4}$
0,034 ± 0,001	$(3,9 \pm 0,3) \times 10^{-5}$	$(2,6 \pm 0,2) \times 10^{4}$
0,048 ± 0,001	$(1,1 \pm 0,1) \times 10^{-4}$	$(9,1 \pm 0,6) \times 10^{3}$



- La densità è inversamente proporzionale al volume, quindi è direttamente proporzionale al suo inverso, come si vede dal grafico. La relazione è $d = \frac{m}{V}$.

- Usando, per esempio, il primo dato si ottiene: $M = \left(21520 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(1,4 \times 10^{-5}\ \text{m}^3\right) = 0,30\ \text{kg}$.

95 ■ 

■ $l = \sqrt{A}$

■ Proporzionalità quadratica.

96 B

97 Gruppo D

98 B

99 ■ La sensibilità dello strumento è 0,01 s.

■ La media è pari a $\overline{t} = \frac{\Sigma t_i}{n} = \frac{(1,98+1,64+2,24+1,94+1,84+1,88+2,03+1,72+2,08+1,94)\ \text{s}}{10} = 1,93\ \text{s}$.

Misura	**Valore (s)**	**Scarto** $(\overline{t}-t_n)$	**Scarto quadratico** $(\overline{t}-t_n)^2$
1	1,98	-0,05	0,003
2	1,64	0,29	0,084
3	2,24	-0,31	0,097
4	1,94	-0,01	0,000
5	1,84	0,09	0,008
6	1,88	0,05	0,002
7	2,03	-0,10	0,010
8	1,72	0,21	0,044
9	2,08	-0,15	0,023
10	1,94	-0,01	0,000
Somma	19,29	0,00	0,27

segue

Lo scarto quadratico medio vale

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})^2}{n}}\ \text{s} = \sqrt{\frac{0,27}{10}}\ \text{s} = 0,16\ \text{s} \approx 0,2\ \text{s}$$

Tuttavia, la semidispersione massima vale $\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} = \frac{(2,24 - 1,64)\text{s}}{2} = 0,3\ \text{s}$.

Quindi il risultato della misura è $T = (1,9 \pm 0,3)$ s; l'incertezza percentuale è (0,3 s/1,9 s)100 = 16%.

100 $\frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{e_a}{\bar{a}} + \frac{e_b}{\bar{b}} + \frac{e_c}{\bar{c}} = \frac{0,3\ \text{cm}}{40,5\ \text{cm}} + \frac{0,2\ \text{cm}}{10,8\ \text{cm}} + \frac{0,1\ \text{cm}}{20,3\ \text{cm}} = 0,03$

$\bar{V} = abc = 40,5\ \text{cm} \times 10,8\ \text{cm} \times 20,3\ \text{cm} = 8879,2\ \text{cm}^3$

$e_V = \frac{\Delta V}{\bar{V}}\bar{V} = 0,03 \times 8879,2\ \text{cm}^3 = 266,4\ \text{cm}^3$

$V = (8900 \pm 300)\,\text{cm}^3 = (8,9 \pm 0,3)\,\text{dm}^3$

101
- Il semiperimetro e l'incertezza valgono
  $p = [(50,32 + 25,48) \pm 0,02]\ \text{m}$
  $e_p = e_1 + e_L = (0,01 + 0,01)\,\text{m} = 0,02\ \text{m}$
  da cui segue che la misura del semiperimetro può essere espressa come
  $p = (75,80 \pm 0,02)\,\text{m}$
- $e_r = \frac{e_p}{p} = \frac{0,02\ \text{m}}{(50,32 + 25,48)\,\text{m}} = 0,0003 = 0,03\%$

102
- Il dislivello si calcola come $h = (1420 - 1050)\,\text{m} = 370\ \text{m}$. L'incertezza vale

  $\Delta h = 0,020 \times (1420\ \text{m}) + 0,020 \times (1050\ \text{m}) = 49\ \text{m} \sim 50\ \text{m}$

  Quindi il risultato si scrive come $h = (370 \pm 50)\text{m}$.
- L'incertezza relativa percentuale vale $e_r(h) = \frac{50}{370} \times 100\,\% = 14\%$.

103
- La velocità di raffreddamento si calcola come $v = \frac{(77,8 - 50,0)\,°\text{C}}{\left(3\ \cancel{\text{min}} \times \frac{60\ \text{s}}{\cancel{\text{min}}}\right) + 40\,\text{s}} = 0,126\ °\text{C/s}$

  con un'incertezza $\Delta v = \left(\frac{0,4\ °\text{C}}{27,8\ °\text{C}} + \frac{1\ \text{s}}{220\ \text{s}}\right)(0,126\ °\text{C/s}) = 0,002\ °\text{C/s}$.
- No: la variazione di temperatura in 1 s è di 0,126 °C e il termometro non ha una sensibilità adeguata.

104 ■ $e_x = 2e_L = 0,2$ cm , quindi $x = (3,3 \pm 0,2)$ cm

■ Detto c l'allungamento della molla per ogni grammo di massa appesa, si ha

$$\bar{c} = \frac{\bar{x}}{\bar{m}} = \frac{3,3 \text{ cm}}{56 \text{ g}} = 0,059 \text{ cm/g}$$

$$\Delta c = \bar{c}\left(\frac{\Delta x}{\bar{x}} + \frac{\Delta m}{\bar{m}}\right) = (0,059 \text{ cm/g})\left(\frac{0,2 \text{ cm}}{3,3 \text{ cm}} + \frac{1 \text{ g}}{56 \text{ g}}\right) = 0,005 \text{ cm/g}$$

105 ■ $A = \pi R^2 = \frac{\pi}{4}D^2 = \frac{\pi}{4}(25,75 \text{ mm})^2 = 520,77 \text{ mm}^2$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta D}{D} = 2\frac{\Delta D}{D} = 2 \times \frac{0,05 \text{ mm}}{25,75 \text{ mm}} = 0,004 \text{ ; } \Delta A = A\left(\frac{\Delta A}{A}\right) = (520,77 \text{ mm}^2)(0,004) = 2,09 \text{ mm}^2$$

Il risultato può essere quindi espresso come $A = (521 \pm 2) \text{ mm}^2$.

Per il perimetro si ha $p = \cancel{2}\pi\frac{D}{\cancel{2}} = \pi D = \pi(25,75 \text{ mm}) = 80,86 \text{ mm}$.

$$\Delta p = \pi \Delta D = \pi(0,05 \text{ mm}) = 0,2 \text{ mm}$$

che può essere quindi espresso come $p = (80,9 \pm 0,2)$ mm.

■ $V = Ah = (521 \text{ mm}^2)(2,20 \text{ mm}) = 1146 \text{ mm}^3$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta s}{s} = 0,004 + \frac{0,05 \text{ mm}}{2,20 \text{ mm}} = 0,03$$

$$\Delta V = V\left(\frac{\Delta V}{V}\right) = (1146 \text{ mm}^3)(0,03) = 34 \text{ mm}^3$$

da cui segue che il volume può essere espresso come $V = (1,15 \pm 0,03) \times 10^3 \text{ mm}^3$.

106 L'area relativa alla zona centrale quadrata è $A_{\text{rovere}} = l_1^2 = (1{,}15\ \text{m})^2 = 1{,}32\ \text{m}^2$ mentre per l'incertezza ΔA_{rovere} a essa associata si ha:

$$\frac{\Delta A_{\text{rovere}}}{A_{\text{rovere}}} = \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_1}{l_1} = 2\frac{\Delta l_1}{l_1} = 2\frac{0{,}01\ \text{m}}{1{,}15\ \text{m}} = 0{,}02$$

$$\Delta A_{\text{rovere}} = A_{\text{rovere}}\left(\frac{\Delta A_{\text{rovere}}}{A_{\text{rovere}}}\right) = 1{,}32\ \text{m}^2 \times 0{,}02 = 0{,}03\ \text{m}^2$$

La dimensione della stanza è $A_{\text{stanza}} = Ll = (7{,}50 \times 6{,}00)\ \text{m}^2 = 45{,}00\ \text{m}^2$.

Per l'incertezza ΔA_{stanza} ad essa associata si ha

$$\frac{\Delta A_{\text{stanza}}}{A_{\text{stanza}}} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta l}{l} = \frac{0{,}01\ \text{m}}{7{,}50\ \text{m}} + \frac{0{,}01\ \text{m}}{6{,}00\ \text{m}} = 0{,}003\ ;\ \Delta A_{\text{stanza}} = A_{\text{stanza}}\left(\frac{\Delta A_{\text{stanza}}}{A_{\text{stanza}}}\right) = 45{,}00\ \text{m}^2 \times 0{,}003 = 0{,}135\ \text{m}^2$$

L'area che deve essere coperta dal parquet di betulla è quindi

$$A_{\text{betulla}} = A_{\text{stanza}} - A_{\text{rovere}} = (45{,}00 - 1{,}32)\ \text{m}^2 = 43{,}68\ \text{m}^2$$

$$\Delta A_{\text{betulla}} = \Delta A_{\text{stanza}} + \Delta A_{\text{rovere}} = (0{,}14 + 0{,}03)\ \text{m}^2 = 0{,}17\ \text{m}^2$$

$$A_{\text{betulla}} = (43{,}7 \pm 0{,}2)\ \text{m}^2$$

107
- $C = 2\pi R = 62{,}8\ \text{cm}$ e $\Delta C = C\frac{\Delta R}{R} = 2\pi R\frac{\Delta R}{R} = (62{,}8\ \text{cm})\left(\frac{0{,}1\ \text{cm}}{10\ \text{cm}}\right) = 0{,}6\ \text{cm}$, quindi

  $C = (62{,}8 \pm 0{,}6)\ \text{cm}$
- $e_a = 2$ cm; valore medio = 62,96 cm, quindi $C_b = (63 \pm 2)\ \text{cm}$.

  La misura diretta e la misura indiretta sono in accordo.

108
- L'altezza media della statua è $\overline{h}_s = \frac{236{,}6 + 237{,}5 + 237{,}1 + 236{,}8 + 237{,}4}{5}\ \text{cm} = 237{,}1\ \text{cm}$.

  La semidispersione massima associata è $e_s = \frac{237{,}5 - 236{,}6}{2}\ \text{cm} = 0{,}45\ \text{cm} = 0{,}5\ \text{cm}$.

  Poiché $e_s = 0{,}5\ \text{cm} > 0{,}1\ \text{cm}$ l'incertezza dell'altezza della statua è: $\Delta h_s = 0{,}5\ \text{cm}$.

  L'altezza media del basamento è $\overline{h}_b = \frac{15{,}1 + 15{,}2 + 14{,}8 + 15{,}4 + 15{,}0}{5}\ \text{cm} = 15{,}1\ \text{cm}$.

  La semidispersione massima associata è $e_b = \frac{15{,}4 - 14{,}8}{2}\ \text{cm} = 0{,}3\ \text{cm}$.

  Poiché $e_b = 0{,}3\ \text{cm} > 0{,}1\ \text{cm}$ l'incertezza dell'altezza del basamento è $\Delta h_b = 0{,}3\ \text{cm}$.
- Il valore più attendibile dell'altezza complessiva della statua è $\overline{h}_{\text{tot}} = \overline{h}_{\text{tot}} + \overline{h}_{\text{tot}} = 237{,}1\ \text{cm} + 15{,}1\ \text{cm} = 252{,}2\ \text{cm}$.

  Considerando che l'incertezza dell'altezza complessiva è $\Delta h_{\text{tot}} = \Delta h_s + \Delta h_b = 0{,}5\ \text{cm} + 0{,}3\ \text{cm} = 0{,}8\ \text{cm}$, possiamo esprimere l'altezza complessiva come $h_{\text{tot}} = \overline{h}_{\text{tot}} \pm \Delta h_{\text{tot}} = (252{,}2 \pm 0{,}8)\ \text{cm}$.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 C

3 B

4 B

5
a. 3
b. 2
c. 4
d. 4
e. 6
f. 4
g. 2
h. 3
i. 2

6
- $m = dV = \left(3,05^3 \times 10^{-6}\right)\text{m}^3 \times \left(2,96 \times 10^3\right)\text{kg/m}^3 = 84,0 \times 10^{-3}\ \text{kg}$
- $e_r\left(\text{lato}\right) = \dfrac{0,05\ \text{cm}}{3,05\ \text{cm}} = 1,6\% \quad \Rightarrow \quad e_r\left(\text{volume}\right) = 3e_r\left(\text{lato}\right) = 5\%$

  $e_r\left(\text{densità}\right) = \dfrac{60\ \text{kg/m}^3}{2960\ \text{kg/m}^3} = 2\%;$

  essendo $e_r\left(\text{volume}\right) + e_r\left(\text{densità}\right) = 7\%$, segue $e\left(\text{massa}\right) = 84 \times 10^{-3}\ \text{kg} \times 0,07 = 6 \times 10^{-3}\ \text{kg}$.
- Il risultato della misura può essere espresso come $m = (84 \pm 6) \times 10^{-3}$ kg.

7
- $l_{\text{min}} = \left(150,2 - 90,8\right)\text{m} = 59,4\ \text{m};\ \Delta l = \left(0,5 + 0,3\right)\text{m} = 0,8\ \text{m}$

  $l_{\text{min}} = \left(59,4 \pm 0,8\right)\text{m}$
- $A = l_{\text{max}} \cdot l_{\text{min}} = \left(90,8 \times 59,4\right)\text{m}^2 = 5,39 \times 10^3\ \text{m}^2$
- $e_{\text{area}}\% = \left[\left(\dfrac{\Delta l_{\text{max}}}{l_{\text{max}}} + \dfrac{\Delta l_{\text{min}}}{l_{\text{min}}}\right) \times 100\right]\% = 1,7\%$

8

$A_{\text{piastrella}} = \left(15,0 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2 = 225 \times 10^{-4}\ \text{m}^2;\ \Delta A_{\text{piastrella}} = 2\dfrac{\Delta l}{l}A = 15 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$

$A_{\text{minima}} = 0,0210\ \text{m}^2;\ A_{\text{massima}} = 0,0240\ \text{m}^2$

$N_{\text{minimo}} = \dfrac{S}{A_{\text{massima}}} = \dfrac{24\ \text{m}^2}{0,0240\ \text{m}^2} = 1,00 \times 10^3;\ N_{\text{massimo}} = \dfrac{S}{A_{\text{minima}}} = \dfrac{24\ \text{m}^2}{0,0210\ \text{m}^2} = 1,14 \times 10^3$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 La sensibilità corrisponde alla misura dell'ultima cifra del display, quindi è 1 mm.
La portata è il valore con tutte le cifre poste a 9, quindi è 99,999 m.

2 Il muro di Ada misura $l_{\text{Ada}} = 32,002 \text{ mm} \times 8 = 256,016 \text{ mm}$, mentre quello di Bob misura $l_{\text{Bob}} = 31,998 \text{ mm} \times 8 = 255,984 \text{ mm}$.
Quindi, la differenza è $256,016 \text{ mm} - 255,984 \text{ mm} = 0,032 \text{ mm}$.

3 5 minuti equivalgono a 5 min × 60 s/min = 300 secondi. In questo lasso di tempo la fontanella ha riversato
0,1 L/s × 300 s = 30 L
Visto che la capienza del serbatoio potrebbe essere anche di soli 29 L, non possiamo essere sicuri che l'acqua non sia fuoriuscita.

4
- La misura deve essere scritta come (1500 ± 100) g.
- No, perché 1,584 kg rientra nell'intervallo di incertezza della misura svolta a casa, che va da 1,400 kg a 1,600 kg.

5
- Il valore medio è $\dfrac{3,54 \text{ mm} + 3,52 \text{ mm} + 3,55 \text{ mm} + 3,54 \text{ mm} + 3,51 \text{ mm} + 3,53 \text{ mm}}{6} = 3,53 \text{ mm}$.
- La semidispersione massima è $\dfrac{3,55 \text{ mm} - 3,51 \text{ mm}}{2} = 0,02 \text{ mm}$.

6 Per la farina, l'incertezza relativa è $e_{r,\text{farina}} = \dfrac{10 \text{ g}}{250 \text{ g}} = 0,04 = 4,0\%$.

Per il burro, si ottiene $e_{r,\text{ burro}} = \dfrac{10 \text{ g}}{50 \text{ g}} = 0,2 = 20\%$.

7 Il valore medio è $\overline{x} = \dfrac{27,1 \text{ cm} + 26,8 \text{ cm} + 26,5 \text{ cm} + 27,3 \text{ cm} + 27,2 \text{ cm} + 26,7 \text{ cm}}{6} = 26,9 \text{ cm}$.

La semidispersione massima è $e = \dfrac{27,3 \text{ cm} - 26,5 \text{ cm}}{2} = 0,4 \text{ cm}$.

L'incertezza relativa è $e_r = \dfrac{0,4 \text{ cm}}{26,9 \text{ cm}} = 0,015$.

8 L'incertezza è $12\left(0,05 \text{ L}\right) = 0,6 \text{ L}$

9
- $\pi \times 7,0$ cm = 22 cm
- 18,2 g – 3,2 g = 15,0 g
- 2,1 m × 3,2 m = 6,7 m^2
- (0,32 m + 8 cm) = 0,40 m

10 ■ La massa dell'olio si ottiene per differenza tra la massa della provetta piena e quella vuota:
$m = (133 \pm 1)\,\text{g} - (123 \pm 1)\,\text{g} = (10 \pm 2)\,\text{g}$

L'incertezza assoluta è la somma delle incertezze.

■ La densità è $d = \frac{m}{V} = \frac{10\,\text{g}}{14\,\text{cm}^3} = 0,7\ \text{g/cm}^3$. Le incertezze relative su massa e volume sono $e_{r,\text{massa}} = \frac{2\,\text{g}}{10\,\text{g}} = 0,2$ e

$e_{r,\text{volume}} = \frac{2\ \text{cm}^3}{14\ \text{cm}^3} = 0,14$, allora l'incertezza relativa sulla densità è $e_{r,\text{densità}} = e_{r,\text{massa}} + e_{r,\text{volume}} = 0,2 + 0,14 = 0,34$ e

l'incertezza assoluta è $\Delta d = de_{r,\text{densità}} = 0,7\ \text{g/cm}^3 \times 0,34 = 0,2\ \text{g/cm}^3$.

La misura della densità va quindi scritta in questo modo: $(0,7 \pm 0,2)\ \text{g/cm}^3$.

■ L'incertezza percentuale è $e_{\%} = 0,34 \times 100 = 34\%$, ed è eccessiva per i comuni fini pratici.

11 Dall'osservazione del grafico non dovrebbe essere possibile riconoscere alcuna proporzionalità (diretta, inversa, quadratica).

12 Le grandezze non sono legate da proporzionalità inversa, visto che il tempo aumenta all'aumentare della lunghezza. Non si tratta nemmeno di una proporzionalità diretta, perché al raddoppiare della lunghezza il tempo non raddoppia. Potrebbe quindi trattarsi di una proporzionalità quadratica. Per verificarlo, eleviamo al quadrato i tempi.

Lunghezza (cm)	Tempo per cinque oscillazioni elevato al quadrato (s^2)	Tempo per cinque oscillazioni (s)
50	50,41	7,1
60	60,84	7,8
70	70,56	8,4
80	81	9,0
90	90,25	9,5
100	100	10

Si evidenzia che la lunghezza è proporzionale al quadrato dei tempi.

13 La larghezza della parete, approssimata al centimetro, è $L = 12(30,0\ \text{cm}) + 11(1,5\ \text{cm}) = 377\,\text{cm}$ (gli strati di malta interposti tra 12 mattoni sono 11). L'incertezza sulla misura dei mattoni è $\Delta x_{\text{matt}} = 12(0,5\ \text{cm}) = 6\,\text{cm}$, mentre quella sugli strati di malta è $\Delta x_{\text{malta}} = 11(0,3\ \text{cm}) = 3,3\ \text{cm}$.

L'incertezza sulla larghezza del muro è quindi $\Delta L = \Delta x_{\text{matt}} + \Delta x_{\text{malta}} = 3,3\ \text{cm} + 6\,\text{cm} = 9,3\ \text{cm}$.

Essendo l'incertezza dell'ordine di grandezza di 10 cm, approssimiamo la misura e l'incertezza a tale ordine di grandezza: $L = 377\ \text{cm} \simeq 380\,\text{cm}$; $\Delta L = 9,3\ \text{cm} \simeq 10\,\text{cm}$.

La lunghezza della parete può quindi essere scritta in questo modo: $L = (380 \pm 10)\,\text{cm}$.

14

- Per la larghezza L, il metro deve essere riportato 5 volte, quindi l'incertezza è $\Delta L = 1\,\text{cm} \times 5 = 5\,\text{cm}$.
  Analogamente, per la lunghezza l e l'altezza h si ottengono incertezze di 4 cm e 3 cm. Quindi:
  $L = (4{,}52 \pm 0{,}05)$ m e $l = (3{,}82 \pm 0{,}04)$ m, $h = (2{,}95 \pm 0{,}03)$ m
- L'area del soffitto è $A = (4{,}52\ \text{m})(3{,}82\ \text{m}) = 17{,}3\ \text{m}^2$ con un'incertezza

$$\Delta A = (17{,}3\ \text{m}^2)\left(\frac{0{,}05\ \text{m}}{4{,}52\ \text{m}} + \frac{0{,}04\ \text{m}}{3{,}82\ \text{m}}\right) = 0{,}4\ \text{m}^2$$

Poiché con 3 litri l'imbianchino riesce a dipingere $5{,}8\,\frac{\text{m}^2}{\text{L}} \times 3\,\text{L} = 17{,}4\ \text{m}^2$ e il valore massimo dell'area è $17{,}3\ \text{m}^2 + 0{,}4\ \text{m}^2 = 17{,}7\ \text{m}^2$, l'imbianchino deve comprare almeno 4 litri.

15

- Il volume della pallina è $V = \frac{4}{3}\pi(1{,}77\ \text{mm})^3 = 23{,}2\ \text{mm}^3$.

  L'incertezza sul raggio è la metà di quella sul diametro, quindi 0,0075 mm, che approssimiamo a 0,01 mm. L'incertezza sul volume è quindi $\Delta V = (23{,}2\ \text{mm}^3)\left(\frac{0{,}01\ \text{mm}}{1{,}77\ \text{mm}}\right) \times 3 = 0{,}4\ \text{mm}^3$.
- La densità della pallina è $d = \frac{m}{V} = \frac{452\,\text{mg}}{23{,}2\ \text{mm}^3} = 19{,}5\ \text{mg/mm}^3 = 19{,}5\ \text{g/cm}^3 = 19500\,\text{kg/m}^3$ con un'incertezza

$$\Delta d = (19500\,\text{kg/m}^3)\left(\frac{0{,}4\ \text{mm}^3}{23{,}2\ \text{mm}^3} + \frac{1\,\text{mg}}{452\,\text{mg}}\right) = 380\,\text{kg/m}^3$$, che approssimiamo a 400 kg/m^3.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 3

I vettori e le forze

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

2. Le operazioni con i vettori

pag. 90

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} = \sqrt{(3\ \text{m})^2 + (4\ \text{m})^2} = 5\ \text{m}$$

3. Le componenti cartesiane di un vettore

pag. 93

$$s_x = s\cos(-40°) = (15{,}4\ \text{m})(0{,}766\ \text{m}) = 11{,}8\ \text{m}$$
$$s_y = s\sin(-40°) = (15{,}4\ \text{m})(-0{,}643\ \text{m}) = -9{,}90\ \text{m}$$

pag. 93

Le componenti di $-\vec{a}$ sono $-a_x$ e $-a_y$.

7. Le forze di attrito

pag. 101

- Se nessuno spinge la cassa, la forza di attrito è nulla.
- Se la cassa viene spinta ma non si muove, la forza di attrito bilancia la spinta, quindi il suo modulo è 300 N.

TEST

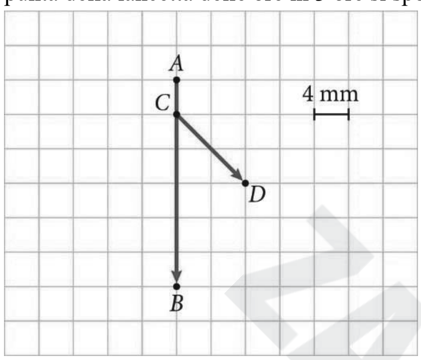
1 B
2 C
3 A
4 D
5 B
6 D
7 A
8 C

PROBLEMI

1. Grandezze scalari e vettoriali

1 Lo spostamento è nullo. La lunghezza del cammino percorso è $L = 78 \times (3{,}3\ \text{km}) = 2{,}6 \times 10^2\ \text{km}$.

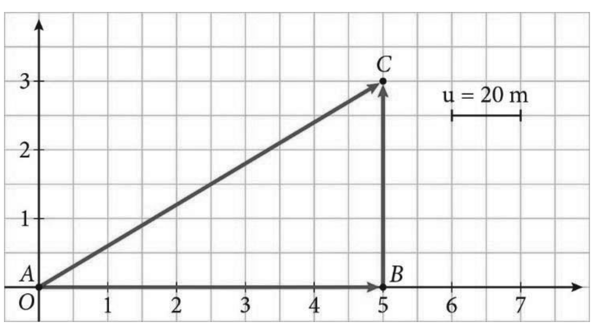
2 La punta della lancetta dei minuti in mezz'ora si sposta dal punto *A* al punto *B* (la lancetta compie mezzo giro). La punta della lancetta delle ore in 3 ore si sposta dal punto *C* al punto *D* (la lancetta compie un quarto di giro).



3
- La distanza percorsa è data da $l = \pi r = 18{,}8$ m, mentre il modulo del vettore spostamento è pari al diametro, per cui $d = 2r = 2 \times 6{,}0\ \text{m} = 12$ m.
- Se compie due giri completi, il modulo del vettore spostamento è 0.

4 La distanza percorsa *d* si calcola sommando la lunghezza dei singoli spostamenti $\overline{AB}$ e $\overline{BC}$ mentre il modulo del vettore spostamento $\overrightarrow{AC}$ si calcola con il teorema di Pitagora. Quindi:

$$d = \overline{AB} + \overline{BC} = 100\ \text{m} + 60\ \text{m} = 160\ \text{m}\ ;\ \left|\overrightarrow{AC}\right| = \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{BC}^2} = \sqrt{(100\ \text{m})^2 + (60\ \text{m})^2} = 117\ \text{m}$$



5 Ogni lato della scacchiera ha 8 caselle quadrate, quindi ogni casella ha lato 16 m/ 8 = 2,0 m.

Il modulo dello spostamento del cavallo nero B8 a C6 è uguale alla lunghezza dell'ipotenusa del triangolo rettangolo che ha come cateti il segmento che congiunge il centro della casella B8 a quello di B6, di lunghezza 2,0 m × 2 = 4,0 m; il segmento che congiunge il centro della casella B6 a quello di C6, di lunghezza 2,0 m. Lo spostamento complessivo del cavallo è quindi $s_{\text{tot}} = \sqrt{(4{,}0\,\text{m})^2 + (2{,}0\,\text{m})^2} = \sqrt{20}\,\text{m} \approx 4{,}5\,\text{m}$.

6
- Lo skateboard percorre tutta la lunghezza della pista, la distanza in verticale del salto e poi di nuovo il tratto da D a B. Il tratto da A a B è lungo:

  $$\overline{AB} = \sqrt{h^2 + l^2} = \sqrt{(0{,}90\ \text{m})^2 + (6{,}2\ \text{m})^2} = 6{,}3\ \text{m}$$

  Il tratto da C a D invece è lungo πR. La distanza totale vale

  $$L_{\text{tot}} = \overline{AB} + 2L + 2\pi R + 2 \times 0{,}70\ \text{m} = (6{,}3 + 9{,}0 + 5{,}0 + 1{,}4)\,\text{m} = 22\ \text{m}$$

- Il vettore spostamento ha la direzione della retta che passa da A e B e il verso da A verso B. Il suo modulo è pari alla lunghezza del tratto $\overline{AB}$, cioè 6,3 m.

2. Le operazioni con i vettori

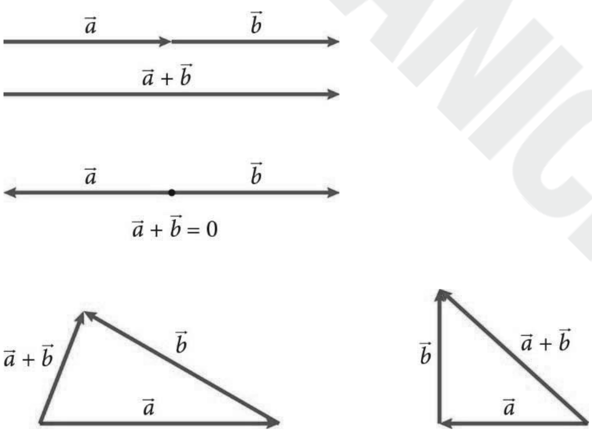
7 Devono essere ortogonali, poiché in un rettangolo le due diagonali hanno la stessa lunghezza.

8
- La somma è nulla.
- $\vec{v}_1 - \vec{v}_2$ e $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ hanno stessa direzione, stesso modulo e verso opposto.

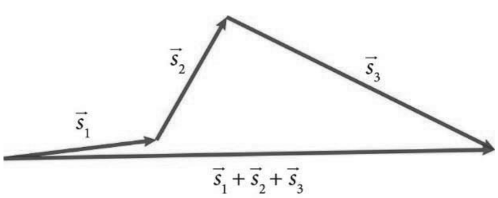
9 No, perché pur essendo vettori indicano grandezze diverse.

10 No, perché la loro somma sia zero devono essere uguali in modulo e direzione, ma opposti in verso.

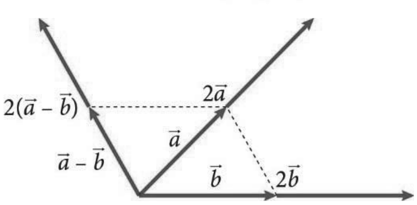
11



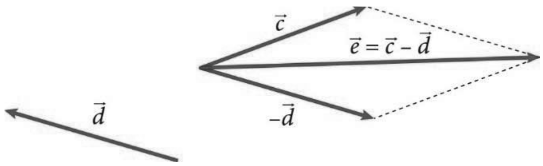
12



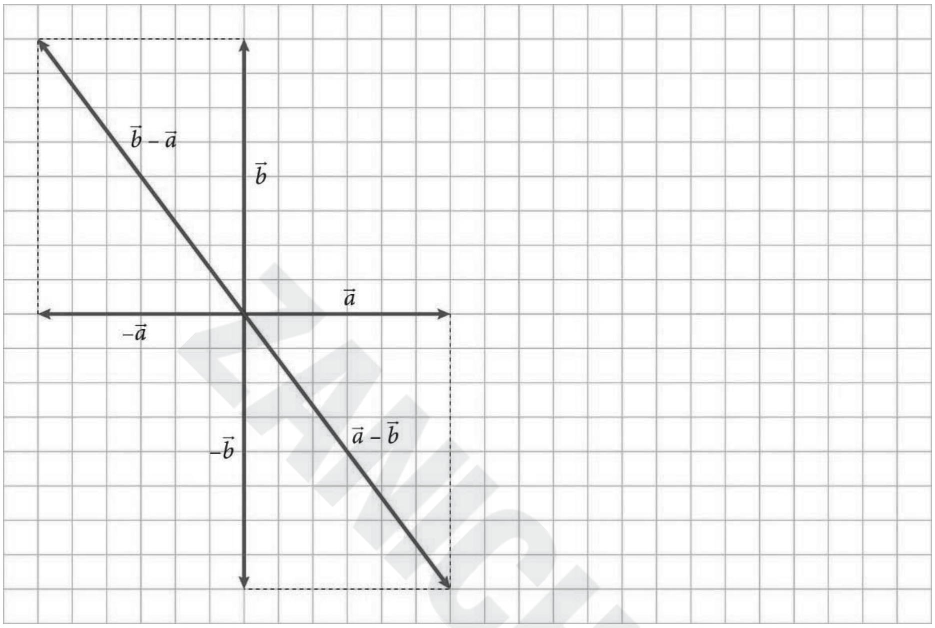
13



14

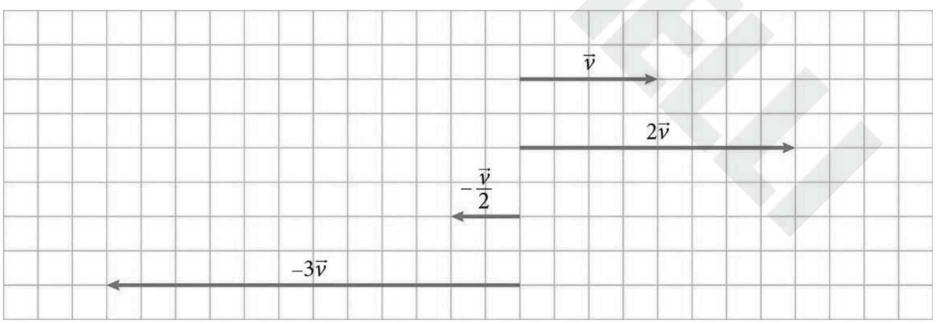


15 ■

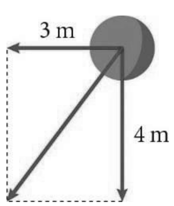


■ I due vettori hanno direzioni parallele, lo stesso modulo e versi opposti.

16

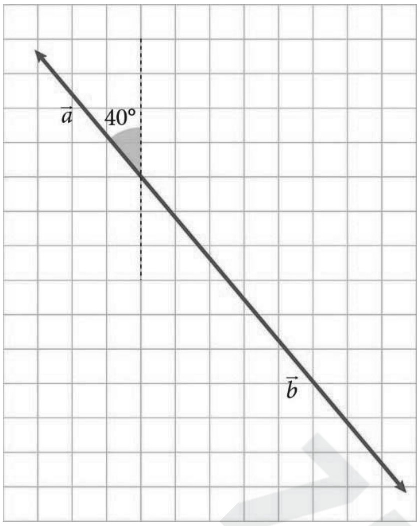


17 ■



■ $l = \sqrt{(3^2 + 4^2)\,\mathrm{m}^2} = 5\ \mathrm{m}$

18 ■

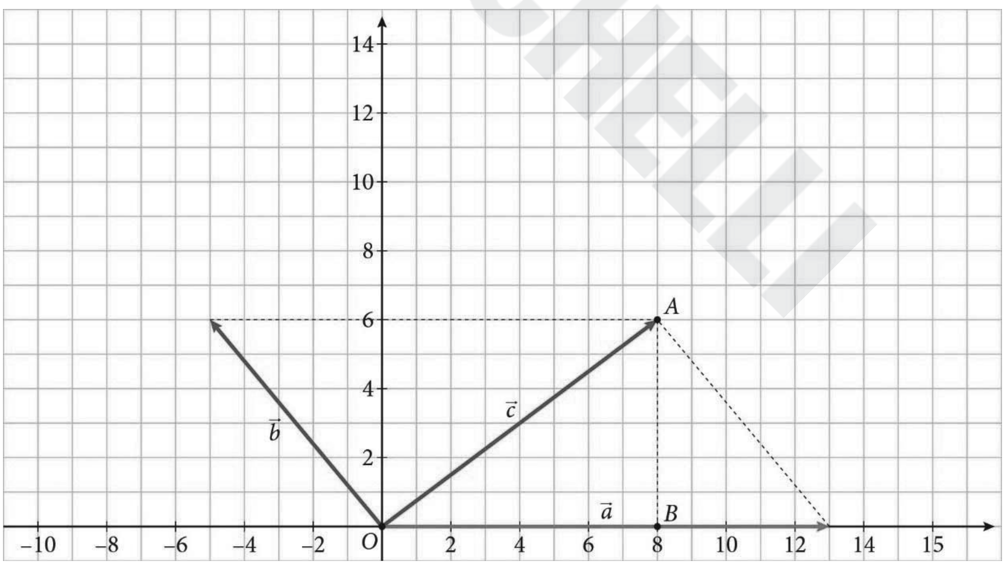


■ Il vettore $\vec{b}$ ha la stessa direzione di $\vec{a}$, verso opposto e modulo $b = ka = 2{,}5 \times 12\ \text{m} = 30\ \text{m}$.

19 Il vettore $\vec{b}$ ha la stessa direzione di $\vec{a}$, verso opposto e modulo $b = ka = 0{,}5 \times 31\ \text{m} = 16\ \text{m}$.

20 PROBLEMA SVOLTO

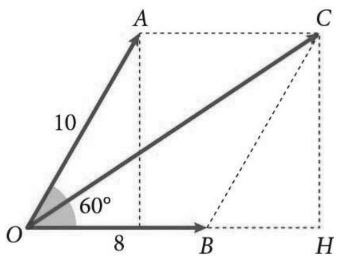
21 ■ Sommiamo i due vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ con la regola del parallelogramma; poi dalla punta A del vettore $\vec{c}$ tracciamo la proiezione B sull'asse orizzontale:



■ Il vettore $\vec{c}$ rappresenta l'ipotenusa del triangolo rettangolo OAB, che ha cateti $\overline{OB} = 8$ e $\overline{AB} = 6$. Quindi la sua lunghezza è data dal teorema di Pitagora:

$$c = \overline{OA} = \sqrt{\overline{OB}^2 + \overline{AB}^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{100} = 10$$

22



Il vettore somma è $\overrightarrow{OC}$, il cui modulo è

$$OC = \sqrt{(OB + BH)^2 + CH^2} = \sqrt{\left[(8+5)^2 + \left(10\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2\right] \text{N}^2} = 16$$

3. Le componenti cartesiane di un vettore

23 $l = \sqrt{s_{\text{sud}}^2 + s_{\text{ovest}}^2} = \sqrt{(300^2 + 400^2)\,\text{km}^2} = 500\ \text{km}$

24 $l = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{26{,}0^2 + (-33{,}0)^2} = 42{,}0$

25 $\sin\alpha = \dfrac{12\ \text{cm}}{20\ \text{cm}} = 0{,}60$

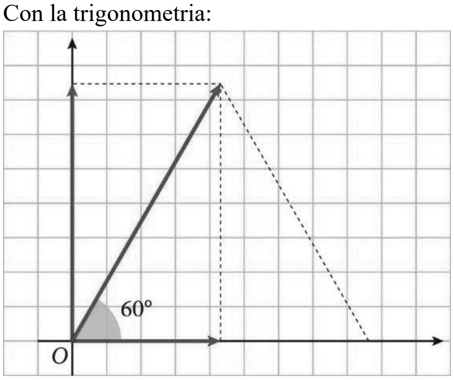
26

- $\cos(\alpha) = \dfrac{9{,}0\ \text{cm}}{14{,}0\ \text{cm}} = 0{,}643$
- $\sin\alpha = \dfrac{\sqrt{(14{,}0\ \text{cm})^2 - (9{,}0\ \text{cm})^2}}{14{,}0\ \text{cm}} = 0{,}766$

27 $c_1 = i \sin 60° = 355\ \text{cm}$

$c_2 = i \cos 60° = 205\ \text{cm}$

28 Con la trigonometria:



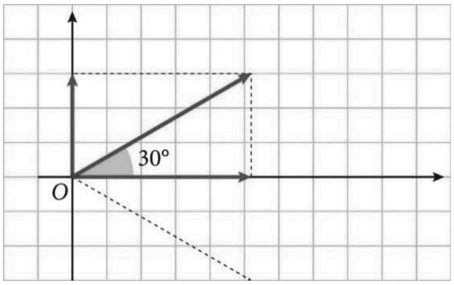
$u_x = u\cos 60° = 6{,}2 \times 0{,}5 = 3{,}1$

$u_y = u\,\text{sen}\, 60° = 6{,}2 \times 0{,}87 = 5{,}4$

Considerando il triangolo equilatero, troviamo

$u_x = \frac{u}{2} = 3,1$ e $u_y = u\frac{\sqrt{3}}{2} \approx 5,4$

29



Con la trigonometria:

$v_x = v\cos 30° = 4,0\ \text{m} \times 0,87 = 3,5\ \text{m}$ e $v_y = u\sin 30° = 4,0\ \text{m} \times 0,5 = 2,0\ \text{m}$

Considerando il triangolo equilatero, troviamo $v_x = v\frac{\sqrt{3}}{2} = 3,5\ \text{m}$ e $v_y = \frac{v}{2} = 2,0\ \text{m}$.

L'angolo con l'asse verticale è $\alpha = 90° - 30° = 60°$.

30 $a_x = a\cos 135° = (12\ \text{cm})\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = -8,5\ \text{cm}$; $a_y = a\sin 135° = (12\ \text{cm})\frac{\sqrt{2}}{2} = 8,5\ \text{cm}$

31 $v_x = v\cos 240° = (25,0\ \text{cm})\left(-\frac{1}{2}\right) = -12,5\ \text{cm}$; $v_y = v\sin 240° = (25,0\ \text{cm})\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -21,7\ \text{cm}$

32 $c_x = a_x + b_x = 10,0\ \text{m}$ e $c_y = a_y + b_y = 1,0\ \text{m}$

33
- $r_x = -2q_x = -2 \times (-8,0) = 16$ e $r_y = -2 \times 10 = -20$
- $s_x = q_x - p_x = -8,0 - 12 = -20$ e $s_y = 10 - (-5,0) = 15$
- $t_x = r_x + p_x = 16 + 12 = 28$ e $t_y = -20 + (-5,0) = -25$

34
1) $c_x = -5a_x = -5 \times (-3,0) = 15$, $c_y = -5a_y = -5 \times 7,0 = -35$
2) $d_x = a_x + b_x = -3,0 + 14 = 11$, $d_y = a_y + b_y = 7,0 + (-6,0) = 1,0$
3) $e_x = b_x - c_x = 14 - 15 = -1,0$, $e_y = b_y - c_y = -6,0 - (-35) = 29$

35 PROBLEMA MODELLO a pag. 110

36
- $s_{1x} = x_B - x_A = 36\ \text{m} - 12\ \text{m} = 24\ \text{m}$; $s_{1y} = y_B - y_A = 16\ \text{m} - 8\ \text{m} = 8\ \text{m}$

  Quindi: $s_1 = \sqrt{(24\ \text{m})^2 + (8\ \text{m})^2} = 25\ \text{m}$. La lunghezza del secondo spostamento è

  $s_2 = \sqrt{(-9\ \text{m})^2 + (18\ \text{m})^2} = 20\ \text{m}$, per cui la distanza del percorso compiuto dal robot è $\Delta s = (25 + 20)\ \text{m} = 45\ \text{m}$.
- Le componenti dello spostamento totale sono

  $s_{\text{tot},x} = s_{1x} + s_{2x} = 24\ \text{m} - 9\ \text{m} = 15\ \text{m}$; $s_{\text{tot},y} = s_{1y} + s_{2y} = 8\ \text{m} + 18\ \text{m} = 26\ \text{m}$

segue

Ne risulta che il modulo dello spostamento totale è

$$s_{tot} = \sqrt{(15\ \text{m})^2 + (26\ \text{m})^2} = 30\ \text{m}$$

- $\alpha = \cos^{-1} \dfrac{s_{tot,x}}{s_{tot}} = \cos^{-1} \dfrac{15\ \text{m}}{30\ \text{m}} = 60°$

37 $c = \sqrt{(a + b\cos 60°)^2 + (b\sin 60°)^2} = 8{,}7\ \text{cm}$

38 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 111.

39 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(5{,}7\ \text{cm})^2 + (-7{,}6\ \text{cm})^2} = 9{,}2\ \text{cm}$

$b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2} = \sqrt{(-8{,}1\ \text{cm})^2 + (4{,}4\ \text{cm})^2} = 9{,}5\ \text{cm}$

4. Le forze

40 Ha torto, perché rimane fermo anche se la somma totale delle forze applicate all'oggetto è nulla.

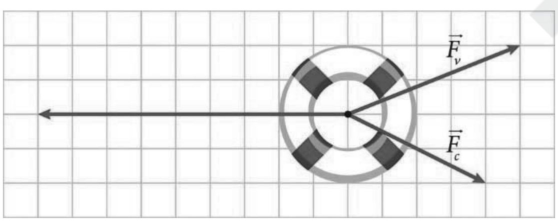
41 No. La forza iniziale mette in moto l'automobilina che prima era ferma. Se poi la velocità cambia ancora fino a farla fermare significa che c'è un'altra forza che agisce (forza d'attrito).

42 $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow 800\ \text{N}$ in direzione orizzontale, verso destra.

43
- $F_{Luigi} = F_r - F_{Mario} = 89\ \text{N} - 35\ \text{N} = 54\ \text{N}$
- $F'_r = F_{Luigi} - F_{Mario} = 54\ \text{N} - 35\ \text{N} = 19\ \text{N}$

44 F_{tot} = (560 + 480 + 600) N – (550 + 430 + 580) N = 80 N verso sinistra.

45



46 $F_x = F\cos(30°) = 2{,}6\ \text{N}$

$F_y = F\sin(30°) = 1{,}5\ \text{N}$

47 Poiché $\vec{F}$ si trova nel terzo quadrante, entrambe le sue componenti sono negative:

$$F_x = -F\cos(240° - 180°) = -F\cos(60°) = -5{,}0\ \text{N} \times \frac{1}{2} = -2{,}5\ \text{N}$$

$$F_x = -F\sin(240° - 180°) = -F\sin(60°) = -5{,}0\ \text{N} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = -4{,}3\ \text{N}$$

48 $102\ \text{g} : 1\ \text{N} = x : 0{,}1\ \text{N};\ x = \dfrac{102\ \text{g} \times 0{,}1\ \text{N}}{1\ \text{N}} = 1 \times 10\ \text{g}$

49 $F = 400 \times (7{,}5 \times 10^4\ \text{N}) = 3{,}0 \times 10^7\ \text{N}$

50
- $F_{tot} = 500\ \text{N} + 400\ \text{N} = 900\ \text{N}$
- $F_{tot} = \sqrt{(500\ \text{N})^2 + (400\ \text{N})^2} = 640\ \text{N}$

51 $a_x = a\cos 127° = (5\ \text{N})(-0{,}6) = -3\ \text{N}$; $a_y = a\sin 127° = (5\ \text{N})0{,}8 = 4\ \text{N}$

$b_x = b\cos 270° = (4\ \text{N})\times 0 = 0\ \text{N}$; $b_y = b\sin 270° = (4\ \text{N})(-1) = -4\ \text{N}$

$F_{\text{tot},x} = 0 \quad \Rightarrow \quad a_x + b_x + F_x = -3\ \text{N} + 0\ \text{N} + F_x = 0 \quad \Rightarrow \quad F_x = 3\ \text{N}$

$F_{\text{tot},y} = 0 \quad \Rightarrow \quad a_y + b_y + F_y = 4\ \text{N} - 4\ \text{N} + F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad F_y = 0\ \text{N}$

La forza $\vec{F}$ ha modulo 3 N, e direzione e verso dell'asse x.

52 $F_{1x} = F_1\cos 30° = (4{,}0\ \text{N})\cos 30° = 3{,}46\ \text{N}$; $F_{1y} = F_1\sin 40° = (4{,}0\ \text{N})\sin 30° = 2{,}0\ \text{N}$

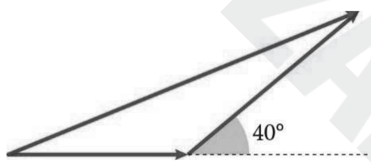
$F_{2x} = -F_2\cos 45° = -(8{,}0\ \text{N})\cos 45° = -5{,}66\ \text{N}$; $F_{2y} = F\sin 45° = (8{,}0\ \text{N})\sin 45° = 5{,}66\ \text{N}$

$F_{3x} = 0\ \text{N}$; $F_{3y} = F_3 = -5{,}0\ \text{N}$

$F_{\text{tot},x} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 3{,}46\ \text{N} - 5{,}66\ \text{N} = -2{,}2\ \text{N}$

$F_{\text{tot},y} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 2{,}0\ \text{N} + 5{,}66\ \text{N} - 5{,}0\ \text{N} = 2{,}7\ \text{N}$

53 ■



■ Il cateto maggiore misura $F_x = F_1 + F_2\cos(40°) = 35\ \text{N} + (50\ \text{N})\cos(40°) = 73\ \text{N}$,

il cateto minore misura $F_y = F_2\sin(40°) = 50\ \text{N}\sin(40°) = 32\ \text{N}$.

Quindi la risultante ha modulo $F_{\text{tot}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(73\ \text{N})^2 + (32\ \text{N})^2} = 80\ \text{N}$.

5. La forza-peso

54 La forza-peso è sempre diretta perpendicolarmente al suolo, verso il basso.

55 Se m è la massa in kg dello studente, allora

$F_{P\text{-Terra}} = (m\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})$

$F_{P\text{-Marte}} = (m\ \text{kg})(3{,}70\ \text{N/kg})$

56 Il peso sarebbe nullo, perché $g = 0$ N/kg.

57 $m = \dfrac{F_P}{g} = \dfrac{8{,}3\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 0{,}85\ \text{kg} = 8{,}5\ \text{hg}$

58 $F_P = mg = (5{,}3\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 52\ \text{N}$

59 $F_P = mg_{\text{M}} = (1{,}00\ \text{kg})(8{,}86\ \text{N/kg}) = 8{,}86\ \text{N}$

60 $F = F_P = mg = (500\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 4{,}9\times 10^3\ \text{N}$

61 $F = \dfrac{F_P}{2} = \dfrac{(27\ \text{kg} + 50\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2} = 3{,}8\times 10^2\ \text{N}$

62 Il cateto maggiore misura $(100\ \text{N})\cos(35°) = 82\ \text{N}$, il cateto minore misura

$(100\ \text{N})\sin(35°) - 4{,}0\ \text{N} = 57\ \text{N} - 4{,}0\ \text{N} = 53\ \text{N}$

Quindi: $F_{\text{tot}} = \sqrt{(82\ \text{N})^2 + (53\ \text{N})^2} = 98\ \text{N}$.

63 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 113.

64 $m = \dfrac{F_{P,\text{T}}}{g_\text{T}} = \dfrac{(8820\ \text{N})}{9{,}80\ \text{N/kg}} = 900\ \text{kg}$; $g_\text{M} = \dfrac{F_{P,\text{M}}}{m} = \dfrac{(3357\ \text{N})}{900\ \text{kg}} = 3{,}73\ \text{N/kg}$

65 $F_{P1} = mg_1 = (60{,}0\ \text{kg})(9{,}78\ \text{N/kg}) = 587\ \text{N}$

$F_{P2} = mg_2 = (60{,}0\ \text{kg})(9{,}83\ \text{N/kg}) = 590\ \text{N}$

La differenza è $\Delta F_P = F_{P2} - F_{P1} = 590\ \text{N} - 587\ \text{N} = 3\ \text{N}$.

66
- La massa della sonda si ricava leggendo sul grafico il valore del suo peso iniziale sulla Terra:
  $m = \dfrac{F_P}{g} = \dfrac{2156\ \text{N}}{9{,}80\ \text{N/kg}} = 220\ \text{kg}$
- La costante g_x si ottiene dal valore del peso della sonda dopo 10 anni (quando è arrivata sul pianeta):
  $g_x = \dfrac{1436\ \text{N}}{220\ \text{kg}} = 6{,}53\ \text{N/kg}$
- Il valore mancante è il peso minimo:
  $F_{P\min} = m\dfrac{g}{7} = (220\ \text{kg})\left(\dfrac{9{,}80\ \text{N/kg}}{7}\right) = 308\ \text{N}$

67
- $g_{\text{Io}} = \dfrac{F_{P\ \text{Io}}}{m} = \dfrac{4615\ \text{N}}{2564\ \text{kg}} = 1{,}800\ \text{N/kg}$
- $g_{\text{Europa}} = \dfrac{F_{P\ \text{Europa}}}{m} = \dfrac{3333\ \text{N}}{2564\ \text{kg}} = 1{,}300\ \text{N/kg}$

6. La forza elastica

68 La forza elastica avrà stesso modulo, stessa direzione e verso opposto.

69 $F = kx \Rightarrow k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{100\ \text{N}}{0{,}15\ \text{m}} = 6{,}7 \times 10^2\ \text{N/m}$

70 $k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{1{,}5\ \text{N}}{0{,}023\ \text{m}} = 65\ \text{N/m}$

71 $x = \dfrac{F}{k} = \dfrac{26{,}2\ \text{N}}{230\ \text{N/m}} = 0{,}114\ \text{m}$

72 $F = kx \Rightarrow k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{0{,}10\ \text{N}}{0{,}20 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 50\ \text{N/m}$

73 Il modulo della forza esercitata dalla molla compressa è

$$F = kx = \left(350\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(0{,}152\,\text{m}) = 53{,}2\,\text{N}$$

Il modulo non cambia quando la molla è allungata della stessa quantità, invece che compressa.

74

n° di pesi	1	2	3	4	5
forza applicata (N)	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98
allungamento (cm)	18	35	53	71	89
costante elastica (N/m)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

75 $$F = kx \Rightarrow x = \frac{F}{k} = \frac{mg}{k} = \frac{(70{,}4\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})}{3{,}29\times10^3\text{ N/m}} = 21{,}0\text{ cm}$$

76
- $F = kx = (200\text{ N/m})(0{,}02\text{ m}) = 4\text{ N}$
- $x' = \dfrac{F}{k} = \dfrac{6\text{ N}}{200\text{ N/m}} = 0{,}03\text{ m}$

77 $$l_f = l_i - \frac{F}{k} = 0{,}50\text{ m} - \frac{120\,\text{N}}{480\,\text{N/m}} = 0{,}25\text{ m}$$

78 $$x = |l_f - l_i| = \frac{F}{k} \Rightarrow l_i = l_f + \frac{F}{k} = 0{,}050\text{ m} + \frac{15{,}0\,\text{N}}{60{,}0\,\text{N/m}} = 0{,}30\text{ m}$$

79
- $k_1 = \dfrac{F_1}{x} = \dfrac{7{,}5\text{ N}}{0{,}080\text{ m}} = 94\text{ N/m}$; $k_2 = \dfrac{F_2}{x} = \dfrac{9{,}0\text{ N}}{0{,}080\text{ m}} = 1{,}1\times10^2\text{ N/m}$
- $x = \dfrac{F_2}{k_1} = \dfrac{9{,}0\text{ N}}{94\text{ N/m}} = 9{,}6\text{ cm}$

80 PROBLEMA SVOLTO

81
- $x = \dfrac{30}{100}L_0 = \dfrac{30}{100}25\text{ cm} = 7{,}5\text{ cm}$

  $k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{50\text{ N}}{7{,}5\times10^{-2}\text{ m}} = 6{,}7\times10^2\text{ N/m}$
- $l_f = l_0 + x = 25\text{ cm} + 7{,}5\text{ cm} = 33\text{ cm}$

82
- $L_f = L_0 - \dfrac{20}{100}L_0 = \dfrac{80}{100}L_0$

  $L_0 = \dfrac{100}{80}L_f = \dfrac{5}{4}\times 20\text{ cm} = 25\text{ cm}$
- $k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{F}{|l_f - l_i|} = \dfrac{75\text{ N}}{5{,}0\times10^{-2}\text{ m}} = 1{,}5\times10^3\text{ N/m}$

7. Le forze di attrito

83 Perché, se sulla strada c'è neve, il coefficiente di attrito radente tra ruota e strada diminuisce e l'auto non riesce a curvare. Mettendo le catene aumenta l'attrito.

84 No, è il contrario, perché la forza di attrito statico è maggiore della forza di attrito dinamico a parità di situazione fisica, quindi per spostare un armadio fermo bisogna esercitare una forza maggiore.

85 È la stessa cosa dal punto di vista dell'attrito, perché l'attrito radente non dipende dall'area di contatto tra le superfici.

86 $F_{s1}^{\max} = \mu_{s1} F_\perp = \mu_{s1} mg = 0,70 \times (1,5\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 10\ \text{N}$

87 $F_s = \mu_s F_\perp = \mu_s mg = 0,27 \times (56\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 1,5 \times 10^2\ \text{N}$

88 $F_d = \mu_d F_\perp = \mu_d mg = 0,30 \times (90\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 2,6 \times 10^2\ \text{N}$

89 $F_d = \mu_d mg = 0,97 \times (620\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 5,9 \times 10^3\ \text{N}$

90 $\mu_s = \dfrac{F_s}{F_\perp} = \dfrac{200\ \text{N}}{1,3\ \text{kN}} = 0,15$

91 $\mu_d = \dfrac{F_d}{F_\perp} = \dfrac{F_d}{F_p} = \dfrac{1,9\ \text{N}}{0,82\ \text{N}} = 2,3$

92 PROBLEMA MODELLO a pag. 116

93 La massa del vaso si ricava dal valore massimo della forza $\vec{F}_S$:

$$m = \frac{F_S}{\mu_s g} = \frac{6,0\ \text{N}}{1,0 \times 9,8\ \text{N/kg}} = 0,61\ \text{kg}$$

Quindi si ricava:

$$\mu_d = \frac{F_d}{mg} = \frac{2,5\ \text{N}}{(0,61\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg})} = 0,42$$

94

- $F_\perp = \dfrac{F_s}{\mu_s} = \dfrac{64\ \text{N}}{0,10} = 640\ \text{N}$

  Dalla forza premente si può ricavare la massa:

  $$F_\perp = mg \Rightarrow m = \frac{640\ \text{N}}{9,8\ \text{N/kg}} = 65\ \text{kg}$$

- $F_d = \mu_d F_\perp = 0,050 \times 640\ \text{N} = 32\ \text{N}$
- $m_{\text{slitta}} = \dfrac{3,4\ \text{N}}{0,050 \times 9,8\ \text{N/kg}} = 6,9\ \text{kg}$

  $m_{\text{legna}} = 65\ \text{kg} - 6,9\ \text{kg} = 58\ \text{kg}$

95 $F_s = \mu_s F_\perp = \mu_s mg \quad \Rightarrow \quad \mu_s = \dfrac{F_s}{mg} = \dfrac{6,0\ \text{N}}{(7,1\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg})} = 0,086$

$F_s' = \mu_s (m + M) g = 0,086 \times (33,1\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 28\ \text{N}$

96 La forza di attrito radente dinamico è data dalla relazione $F_d = \mu_d F_\perp = \mu_d mg$, per cui la forza necessaria per trascinare la cassa prima della partenza (quando l'astronave è sulla Terra) è data da

$F_d = 0{,}38 \times (100\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 3{,}7 \times 10^2\ \text{N}$

Dopo l'atterraggio sulla Luna, ha valore

$F_d = 0{,}38 \times (100\ \text{kg})(1{,}62\ \text{N/kg}) = 62\ \text{N}$

97 $F_s = \mu_s F_\perp = \mu_s mg = 0{,}50 \times (90\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/k})\text{g} = 441\ \text{N}$

Poiché la forza d'attrito è maggiore della forza di Luca, non riuscirà a spostare la libreria.

Affinché $F_s = F_{\text{Francesco}}$, deve valere $m' = \dfrac{F_s}{\mu_s g} = \dfrac{300\ \text{N}}{0{,}50 \times (9{,}8\ \text{N/kg})} = 61\ \text{kg}$.

Francesco deve ridurre la massa della libreria a 61 kg, rimuovendo 29 kg di libri.

98
- $F_s = \mu_s F_\perp = 0{,}70 \times 350\ \text{N} = 2{,}5 \times 10^2\ \text{N}$
- $F_d = \mu_d F_\perp = 0{,}30 \times 350\ \text{N} = 1{,}1 \times 10^2\ \text{N}$
- $F_{d2} = \mu_d F_{\perp 2} = 0{,}30 \times 78\ \text{N} = 23\ \text{N}$

99 B

100 A

101 A e D

102 D

103 A

104 C

105 $s_{\text{tot}} = 120\ \text{m} - 0{,}40\ \text{m} - 0{,}40\ \text{m} = 0{,}40\ \text{m}$ verso destra ; $\Delta s_{\text{tot}} = 0{,}1\ \text{m} + 0{,}1\ \text{m} + 0{,}1\ \text{m} = 0{,}3\ \text{m}$

106
- $F_P = mg = 82\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{N/kg} = 8{,}0 \times 10^2\ \text{N}$
- $F_\parallel = F_P \sin(30°) = (82\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})\dfrac{1}{2} = 4{,}0 \times 10^2\ \text{N}$

  $F_\perp = F_P \cos(30°) = (82\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})\dfrac{\sqrt{3}}{2} = 6{,}9 \times 10^2\ \text{N}$

107 $F_\parallel = F_P \sin(47°) = mg \sin(47°) = (65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/k})\sin(47°) = 4{,}7 \times 10^2\ \text{N}$

$F_\perp = F_P \cos(47°) = mg \cos(47°) = (65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})\cos(47°) = 4{,}3 \times 10^2\ \text{N}$

108 Dalla legge di Hooke, si ha $F_1 : x_1 = F_2 : x_2$.

$10\ \text{N} : 5\ \text{cm} = 8\ \text{N} : x_2 \quad x_2 = 4\ \text{cm}$

$l_2 = l_0 - x_2 = 15\ \text{cm} - 4\ \text{cm} = 11\ \text{cm}$

109
- $F_d = \mu_d F_\perp = \mu_d mg = 0{,}11 \times 280\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{N/kg} = 3{,}0 \times 10^2\ \text{N}$
- $F_c = F_d = 3{,}0 \times 10^2\ \text{N}$
- $F = kx \Rightarrow x = \dfrac{F}{k} = \dfrac{0{,}30\ \text{kN}}{50\ \text{kN/m}} = 6{,}0\ \text{mm}$

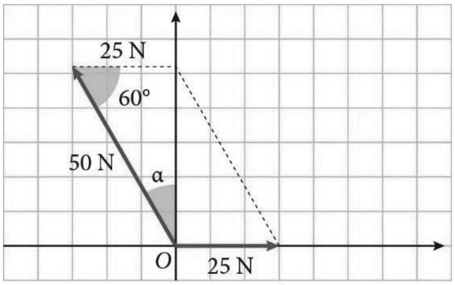
110
- (5 + 3 + 1 + 3) m × 2 = 24 m
- I vettori spostamento sono uguali, quindi la loro differenza è il vettore nullo.

111 $F_{\text{tot},x} = F_{1x} + F_{2x} = F_1 + F_2 \cos 135° = 50\ \text{N} + (25\ \text{N})\cos 135° = 32\ \ \text{N}$

$F_{\text{tot},y} = F_{1y} + F_{2y} = 0\ \text{N} + F_2 \cos 135° = (25\ \text{N})\sin 135° = 18\ \ \text{N}$

$F_{\text{tot}} = \sqrt{F^2_{\text{tot},x} + F^2_{\text{tot},y}} = \sqrt{32^2 + 18^2}\ \text{N} = 37\ \text{N}$

112 ■



La spinta deve avere la componente verso ovest pari a –25 N. Di conseguenza deve avere direzione di 30° a ovest rispetto alla direzione sud-nord.

■ $F_{\text{sud-nord}} = F_{\text{motore}} \cos\alpha = (50\ \text{N})\cos 30° = 43\ \text{N}$

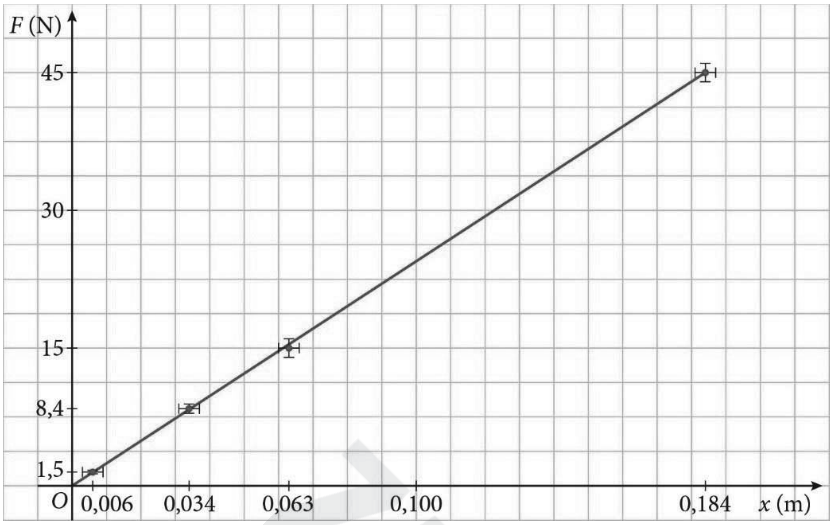
113 $s_{12} = \sqrt{\left(\frac{105\ \text{m}}{2} - 16{,}5\ \text{m}\right)^2 + \left(\frac{68{,}0\ \text{m} - 40{,}3\ \text{m}}{2}\right)^2} = 38{,}6\ \text{m}$

$s_{23} = \sqrt{\left(\frac{105\ \text{m}}{2} - 11{,}0\ \text{m}\right)^2 + \left(\frac{68{,}0\ \text{m}}{2}\right)^2} = 53{,}6\ \text{m}$

Per cui la lunghezza totale del percorso è $l_{\text{tot}} = s_{12} + s_{23} = 92{,}2\ \text{m}$.

114 Nel grafico si deve riportare l'allungamento della molla $x = (L - L_0)$ in funzione della forza esercitata dalla molla stessa: $F = kx$. Dal grafico si vede che la relazione è di proporzionalità diretta, quindi le misure confermano la legge di Hooke entro gli errori sperimentali.

F **(N)**	***l – l₀*** **(m)**
1,47 ± 0,3	0,006 ± 0,003
8,42 ± 0,5	0,034 ± 0,003
14,7 ± 1	0,063 ± 0,003
45,1 ± 1	0,184 ± 0,003



- Si ottiene $\overline{k} = \dfrac{(245+248+233+244{,}6)\ \text{N/m}}{4} = 243\ \text{N/m}$.

- La molla può reggere, senza rompersi, una massa di $m_{\max} = \dfrac{F_{\max}}{g} = \dfrac{75\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 7{,}7\ \text{kg}$.

115 Quando viene appesa la massa m ognuna delle due molle si allunga di un tratto x.
Nel primo caso (molle in parallelo) il blocco si sposta verso il basso di un tratto x e si ha $F_{\text{tot}} = F_1 + F_2 = 2F$ cioè $k_{\text{tot}}(x) = kx + kx$, quindi $k_{\text{tot}} = 2k$.

Nel secondo caso (molle in serie) il blocco si sposta di un tratto $2x$ e vale $\dfrac{F_{\text{tot}}}{k_{\text{tot}}} = \dfrac{F_1}{k_1} + \dfrac{F_2}{k_2}$

ma, poiché le molle sono in serie, vale $F_1 = F_2 = F_{\text{tot}}$, da cui

$$\frac{F}{k_{\text{tot}}} = 2 \times \frac{F}{k} \Rightarrow k_{\text{tot}} = \frac{k}{2}$$

116
- $F = F_P = mg = (20\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 1{,}96\times10^2\ \text{N} \simeq 2{,}0\times10^2\ \text{N}$

- $k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{196\ \text{N}}{0{,}03\ \text{m}} = 6{,}53\times10^3\ \text{N/m} \simeq 6{,}5\times10^3\ \text{N/m}$; se si usa il risultato approssimato della domanda precedente, si ottiene $k = \dfrac{F}{x} = \dfrac{200\ \text{N}}{0{,}03\ \text{m}} \simeq 6{,}7\times10^3\ \text{N/m}$.

- $x' = \dfrac{Mg}{k} = \dfrac{(55\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)}{6{,}53\times10^3\ \text{N/m}} = 0{,}0825\ \text{m} = 8{,}25\ \text{cm}$
  $h' = h - x' = 55$ cm – 8,25 = 47 cm

117 ■ L'intensità della forza elastica vale $F_e = ks = (301 \text{ N/m})(1{,}50 \times 10^{-2} \text{ m}) = 4{,}52 \text{ N}$.

■ In condizioni di riposo la forza elastica equilibra la forza-peso, quindi
$$F_e = F_P = mg \Rightarrow m = \frac{F_P}{g} = \frac{4{,}52 \text{ N}}{9{,}81 \text{ N/kg}} = 0{,}460 \text{ kg}$$

■ La forza-peso corrispondente a $m' = 1{,}20$ kg è $F_P' = m'g = (1{,}20 \text{ kg})(9{,}81 \text{ N/kg}) = 11{,}8 \text{ N}$.

Di conseguenza l'accorciamento della molla è $s' = \frac{F_e'}{k} = \frac{F_P'}{k} = \frac{11{,}8 \text{ N}}{301 \text{ N/m}} = 0{,}0391 \text{ m} = 3{,}91 \text{ cm}$.

La lunghezza della molla diventa $l = l_0 - s' = 27{,}0 \text{ cm} - 3{,}91 \text{ cm} = 23{,}1 \text{ cm}$.

118 ■ La forza per tenere sollevato lo scatolone è mg, la forza premente per tenerlo fermo appoggiato al muro è $\frac{mg}{\mu_s}$, quindi dipende dal coefficiente di attrito statico.

■ Se $\mu_s > 1$, allora conviene appoggiarsi al muro.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B

2 C

3 D

4 C

5 ■ Se i due vettori hanno la stessa direzione e lo stesso verso il vettore somma ha modulo $v = v_1 + v_2 = 3 + 4 = 7$.

■ Se le direzioni dei due vettori formano un angolo di 90° il modulo del vettore somma si calcola come
$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$$

■ Se hanno la stessa direzione, ma verso opposto: $v = v_2 - v_1 = 4 - 3 = 1$.

6 ■ $$\mu_d = \frac{F_d}{F_\perp} = \frac{87{,}4 \text{ N}}{380 \text{ N}} = 0{,}230$$

■ Con la valigia, la forza-peso totale che grava sul pavimento è
$F_\perp' = (380 + 230) \text{ N} = 610 \text{ N}$; quindi la nuova forza di attrito dinamico risulta
$$F_d' = \mu_d F_\perp' = 0{,}230 \times 610 \text{ N} = 140 \text{ N}$$

7 ■ Se il peso aumenta, allora $g_{\text{Nettuno}} > g$.

■ $F_P = mg = (3{,}80 \text{ kg})(9{,}80 \text{ N/kg}) = 37{,}2 \text{ N}$; $F_{P \text{ Nettuno}} = 37{,}2 \text{ N} + 4{,}60 \text{ N} = 41{,}8 \text{ N}$
$$g_{\text{Nettuno}} = \frac{F_{P \text{ Nettuno}}}{m} = \frac{41{,}8 \text{ N}}{3{,}80 \text{ kg}} = 11{,}0 \text{ N/kg}$$

8 $F_e = kx = 2(,3 \times 10^2 \text{ N/m})(0{,}14\ )\text{m} = 32{,}2 \text{ N}$; $F_s > F_e \Rightarrow mg\mu_s > F_e \Rightarrow mg > \frac{F_e}{\mu_s}$
$$mg > \frac{32{,}2 \text{ N}}{0{,}45} \Rightarrow F_P > 72 \text{ N}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Il peso di una mela è $F_P = mg = (0,210\,\text{kg})(9,8\,\text{N/kg}) = 2,1\,\text{N}$. Il sacchetto contiene $n = \dfrac{30,9\,\text{N}}{2,1\,\text{N}} = 15$ mele.

2 L'allungamento della molla è $s = 21,6\,\text{cm} - 16,0\,\text{cm} = 5,6\,\text{cm}$, perciò forza esercitata è

$$F = ks = (140\,\text{N/m})(0,056\,\text{m}) = 7,84\,\text{N}$$

Il modulo della forza elastica è uguale a quello della forza-peso, quindi:

$$m = \frac{F_P}{g} = \frac{7,84\,\text{N}}{9,8\,\text{N/kg}} = 0,80\,\text{kg}$$

3 350 N è il modulo della forza di attrito statico massimo $F_s^{\max} s$ tra cassa e pavimento. Il peso della cassa è

$$F_P = mg = 52\,\text{kg} \times 9,8\,\text{N/kg} = 510\,\text{N}$$

Il peso è anche la forza perpendicolare $F_\perp$ che genera l'attrito. Quindi, invertendo la [10], si ottiene

$$\mu_s = \frac{F_s^{\max}}{F_\perp} = \frac{350\,\text{N}}{510\,\text{N}} = 0,69$$

4
- $4 \times 80\,\text{m} + 3 \times 270\,\text{m} = 1100\,\text{m}$
- $\sqrt{(4 \times 80\,\text{m})^2 + (3 \times 270\,\text{m})^2} = 870\,\text{m}$

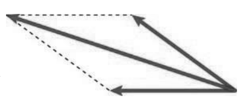
5 Per effetto della sola rotazione terrestre, in 24 ore il monumento torna esattamente dove era e il suo spostamento è quindi nullo.
In 12 ore, invece, la Terra compie esattamente metà giro e il monumento si trova all'estremità opposta di un diametro terrestre:

$$2(6380\,\text{km}) = 12800\,\text{km}$$

In 6 ore, infine, la Terra compie un quarto di giro e il monumento compie uno spostamento corrispondente alla corda che unisce le estremità di due raggi perpendicolari tra di loro. Applicando il teorema di Pitagora al triangolo formato dalla corda e dai due raggi, si ottiene:

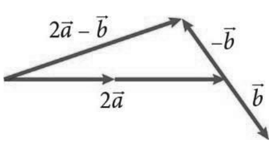
$$\sqrt{(6380\,\text{km})^2 + (6380\,\text{km})^2} = 9020\,\text{km}$$

6
- $\vec{a} + \vec{b}$



- $\vec{a} - \vec{b}$

7 $2\vec{a} - \vec{b}$ lo possiamo ricavare sommando $-\vec{b}$ a $2\vec{a}$: $2\vec{a} + (-\vec{b})$



8 La direzione nella quale viene rilevato l'aereo forma un angolo di 90° – 35° = 55° con l'asse delle ascisse, quindi le coordinate della posizione sono

$x = (12\,\text{km})\cos 55°;\quad y = (12\,\text{km})\sin 55°$

che possiamo scrivere come

$(6{,}9\,\text{km}; 9{,}8\,\text{km})$

9
- Sommiamo le componenti x – 4,0 m + 7,2 m = 3,2 m e le componenti y 2,3 m + 5,3 m = 7,6 m.
 Sottraiamo le componenti x e sottraiamo le componenti y:
 – 4,0 m – 7,2 m = – 11,2 m
 2,3 m – 5,3 m = – 3,0 m
- $\sqrt{(3{,}2\text{m})^2 + (7{,}6\text{m})^2} = 8{,}2\text{m}$

10 $F_P = mg = (2{,}45\,\text{kg})(9{,}81\,\text{N/kg}) = 24{,}0\,\text{N}$

Quindi, deve valere l'uguaglianza $(0{,}0525\,\text{N}\cdot\text{s})n = 24{,}0\,\text{N}$, da cui $n = \dfrac{24{,}0\,\text{N}}{0{,}0525\,\text{N}\cdot\text{s}} = 458\ \dfrac{\text{giri}}{\text{s}}$.

11 Da sinistra a destra, le componenti x delle forze in basso sono

$(5{,}1\,\text{N})\cos 225° = -3{,}6\,\text{N}$; $(3{,}0\,\text{N})\cos 270° = 0\,\text{N}$; $(7{,}1\,\text{N})\cos 300° = 3{,}6\,\text{N}$

Quindi, la loro somma è nulla. Sempre da sinistra a destra, le componenti y delle forze in basso sono

$(5{,}1\,\text{N})\sin 225° = -3{,}6\,\text{N}$; $(3{,}0\,\text{N})\sin 270° = -3{,}0\,\text{N}$; $(7{,}1\,\text{N})\sin 300° = -6{,}1\,\text{N}$

La loro somma è quindi $-12{,}7\,\text{N}$. Il modulo del vettore, che ha componenti $0\,\text{N}$ e $-12{,}7\,\text{N}$, è

$\sqrt{(0\,\text{N})^2 + (-12{,}7\,\text{N})^2} = 12{,}7\,\text{N}$

12
- Il periodo è $T = \dfrac{6{,}27}{\sqrt{9{,}81}} = 2{,}00\,\text{s}$.
- Invertiamo la formula $T = \dfrac{6{,}27}{\sqrt{g}}$ e otteniamo $g = \dfrac{6{,}27^2}{T^2}$.

 Quindi sul pianeta $g = \dfrac{6{,}27^2}{(3{,}26s)^2} = 3{,}70\,\text{N/kg}$ e il peso del pendolo è $F_P = mg = (2{,}25\,\text{kg})(3{,}70\,\text{N/kg}) = 8{,}36\,\text{N}$.

13 0,021 N corrisponde al modulo della forza di attrito statico massimo tra magnete e porta del frigo. Vale quindi l'uguaglianza $0{,}021\,\text{N} = 0{,}15 \times F_\perp$, dalla quale ricaviamo

$F_\perp = \dfrac{0{,}021\,\text{N}}{0{,}15} = 0{,}14\,\text{N}$

14 Il peso del mezzo è $F_{P,\text{mezzo}} = m_{\text{mezzo}}g = (1800\,\text{kg})(9{,}8\,\text{N/kg}) = 17600\,\text{N}$, mentre quello del pedone è $F_{P,\text{pedone}} = m_{\text{pedone}}g = (85\,\text{kg})(9{,}8\,\text{N/kg}) = 833\,\text{N}$. Visto che il ponte ha un comportamento elastico, lo consideriamo come una molla di costante elastica $k = \dfrac{F_{P,\text{mezzo}}}{s_{\text{mezzo}}} = \dfrac{17600\,\text{N}}{0{,}032\,\text{m}} = 5{,}50\times10^5\ \text{N/m}$.

Quindi, al passaggio del pedone il ponte si abbassa di un tratto

$s_{\text{pedone}} = \dfrac{F_{P,\text{pedone}}}{k} = \dfrac{833\,\text{N}}{5{,}50\times10^5\ \text{N/m}} = 1{,}5\times10^{-3}\ \text{m}$

15 ▪ Il peso del cassone è

$F_P = mg = (1,4\times10^3\ \text{kg})(9,8\,\text{N/kg}) = 1,4\times10^4\ \text{N}$

quindi il modulo massimo della forza di attrito statico vale

$F_s^{\max} = \mu_s F_P = 0,45(1,4\times10^4\ \text{N}) = 6,3\times10^3\ \text{N}$

Visto che $\dfrac{6,3\times10^3\ \text{N}}{8,0\times10^2\ \text{N}} = 7,9$, servono 8 tiratori.

▪ 11 tiratori sono in grado di generare una forza di $8,0\times10^2\ \text{N}\times11 = 8,8\times10^3\ \text{N}$.

Se l'attrito deve essere di almeno $8,8\times10^3\ \text{N}$, deve valere l'uguaglianza $F_s^{\max} = \mu_s F_P = 8,8\times10^3\ \text{N}$,

quindi la forza-peso deve essere almeno $F_P = \dfrac{F_s^{\max}}{\mu_s} = \dfrac{8,8\times10^3\ \text{N}}{0,45} = 2,0\times10^4\ \text{N}$ e la massa deve essere

$m = \dfrac{F_P}{g} = \dfrac{2,0\times10^4\ \text{N}}{9,8\,\text{N/kg}} = 2,0\times10^3\ \text{kg}$

Alla massa del cassone, che è $1,4\times10^3\ \text{kg}$, dobbiamo quindi aggiungere

$2,0\times10^3\ \text{kg} - 1,4\times10^3\ \text{kg} = 6,0\times10^2\ \text{kg}$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 4

L'equilibrio dei solidi

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il punto materiale e il corpo rigido

pag. 121

No, perché è un punto materiale traslare, ma non può ruotare.

3. L'equilibrio su un piano inclinato

pag. 124

$$F_E = F_V = F_P \frac{\sqrt{2}}{2}$$

pag. 125

$$\frac{h'}{l'} = \frac{h}{l} \quad \Rightarrow \quad h' = \frac{hl'}{l} = \frac{(1\ \text{m})(1\ \text{m})}{5\ \text{m}} = 0{,}2\ \text{m}$$

4. Gli effetti delle forze su un corpo rigido

pag. 127

La forza totale devrebbe essere nulla.

5. Il momento di una forza

pag. 129

- $\vec{F}_1$
- $\vec{F}_1$ ha il braccio maggiore.

8. Il baricentro

pag. 136

Instabile, perché una piccola variazione della configurazione iniziale farebbe abbassare il baricentro.

TEST

1 C
2 C
3 A
4 A
5 C
6 D
7 D
8 C
9 B
10 D
11 C
12 D
13 A

ESERCIZI

1. Il punto materiale e il corpo rigido

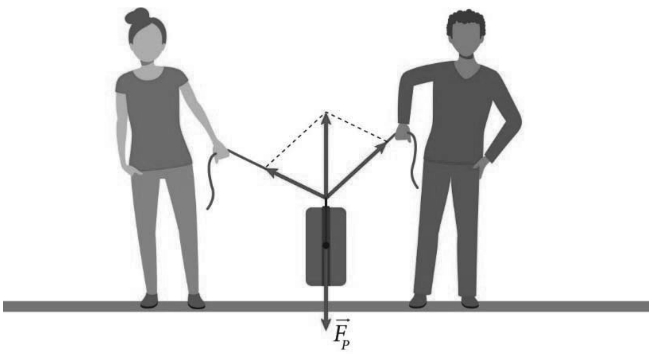
1
- Studiando il moto di rivoluzione attorno al Sole.
- Studiando il moto di rotazione attorno al suo asse.
- Sì, se immaginiamo uno scontro con un meteorite.

2. L'equilibrio del punto materiale

2 No, non ha un valore fissato, dipende dalla forza attiva.

3 No, infatti qualunque corpo che possieda una massa risente della forza di gravità, quindi in assenza di vincoli non può essere in equilibrio.

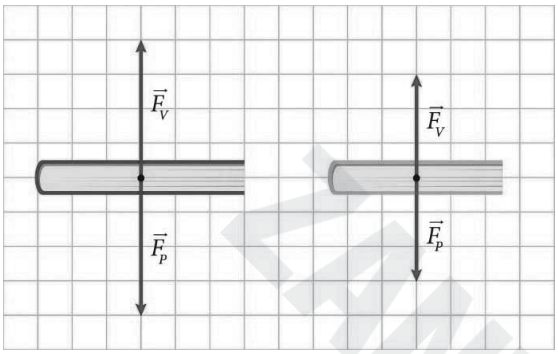
4



5

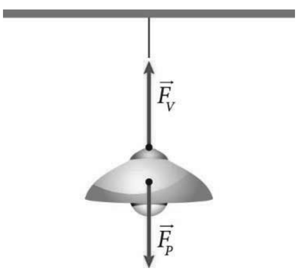
Corpo vincolato	Oggetto o oggetti che costituiscono vincoli
Quadro appeso alla parete	Chiodo
Ruota di bicicletta	Perno, suolo
Albero	Suolo
Lampadario	Soffitto, filo
Equilibrista che cammina su una fune	Fune

6



- No, è maggiore sul libro di massa maggiore. Anche se il vincolo è lo stesso, la forza vincolare è pari in modulo alla forza-peso.

7



$F_P = mg = (3{,}5\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 34\ \text{N}\ ;\ F_V = F_P = 34\ \text{N}$

8 $\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{F}_p + \vec{F}_{V,\text{ramo}} = 0 \quad \Rightarrow \quad F_P = F_{V,\text{ramo}} = 2\ \text{N}$

9 $F_V = F_P = mg \quad \Rightarrow \quad m = \dfrac{F_V}{g} = \dfrac{150\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 15\ \text{kg}$

10 La tensione della fune è uguale alla forza-peso della cassa, cioè
$F_V = (235 \pm 1)\text{kg} \times 9{,}80\ \text{N/kg} = (2303 \pm 9{,}80)\,\text{N} \approx (230 \pm 1) \times 10\,\text{N}$

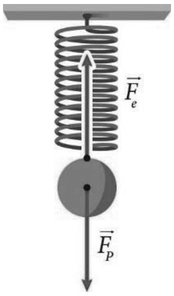
11 Il peso delle tre scatole è uguale al modulo della reazione vincolare. Quindi, la massa complessiva delle scatole è $m_{\text{tot}} = \dfrac{(270 \pm 5)\,\text{N}}{9{,}80\ \text{N/kg}} = (27{,}6 \pm 0{,}5)\,\text{kg}$ e la massa di ciascuna scatola è $m = \dfrac{(27{,}6 \pm 0{,}5)\,\text{kg}}{3} = (9{,}2 \pm 0{,}2)\,\text{kg}$.

12 La forza di reazione vincolare ha modulo uguale a quello della forza-peso della bottiglia. Quindi la massa della bottiglia è $m = \frac{F_P}{g} = \frac{F_V}{g} = \frac{15\,\text{N}}{9{,}8\,\text{N/kg}} \approx 1{,}5\ \text{kg}$.

Trascurando la massa della bottiglia vuota, la densità del liquido al suo interno è $d = \frac{m}{V} = \frac{1{,}5\ \text{kg}}{1{,}5\ \text{dm}^3} = 1{,}0\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

che è uguale alla densità dell'acqua. Quindi la bottiglia contiene acqua.

13

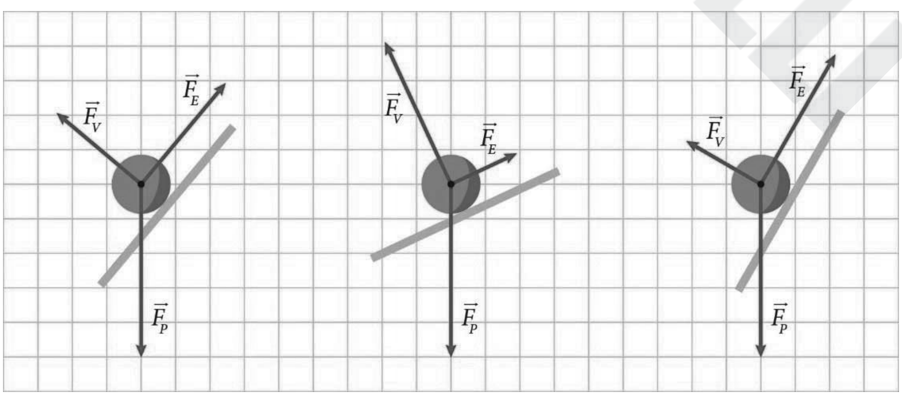


- $F_P = mg = (0{,}250\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 2{,}5\ \text{N}$
- $F_e = F_P = 2{,}5\ \text{N}$
- $k = \frac{F_e}{\Delta x} = \frac{2{,}45\ \text{N}}{0{,}042\ \text{m}} = 58\ \text{N/m}$

14
- $F_e = k\Delta x = 180\ \text{N/m} \times 0{,}2\ \text{m} = 36\ \text{N}$
  $F_s = \mu_s F_P = 0{,}90 \times 27\ \text{N} = 24\ \text{N}$
- Sì, la forza elastica ha modulo maggiore.

3. L'equilibrio su un piano inclinato

15



Il modulo della forza equilibrante raddoppia, infatti è direttamente proporzionale alla forza-peso, che raddoppia al raddoppiare della massa.

16 La forza equilibrante raddoppia la sua intensità, infatti è direttamente proporzionale al peso dell'oggetto, che raddoppia al raddoppiare della massa.

17

Altezza h (m)	Componente parallela $F_{\parallel}$ (N)	Componente perpendicolare $F_{\perp}$ (N)
1,0	7,5	90
2,0	15	89
3,0	23	87
4,0	30	85
6,0	45	78
8,0	60	67
10	75	50

$F_{\parallel}$ aumenta e $F_{\perp}$ diminuisce.

18 $$F_E = F_P \frac{h}{l} = mg\frac{h}{l} = \frac{(15\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})(1{,}5\text{ m})}{10\text{ m}} = 22\text{ N}$$

19 $$F_E = F_P \frac{h}{l} = mg\frac{h}{l} = \frac{(28\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})(1{,}8\text{ m})}{4{,}5\text{ m}} = 1{,}1\times10^2\text{ N}$$

20 $$F_E = F_P \frac{h}{l} = \frac{(150\text{ N})(4{,}0\text{ m})}{10\text{ m}} = 60\text{ N}$$

21 La forza-peso dovuta alla cassa è

$$F_P = mg = (296\text{ kg})\left(9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}\right) = 2904\text{ N} = 2{,}90\times10^3\text{ N}$$

Il modulo della forza equilibrante è uguale a quello della componente della forza-peso parallela alla pedana:

$$F_E = F_{\parallel} = F_P \frac{h}{l} = (2904\text{ N})\left(\frac{41{,}6\text{ cm}}{200\text{ cm}}\right) = 604\text{ N} = 6{,}04\times10^2\text{ N}$$

La forza premente è la componente perpendicolare della forza-peso, quindi

$$F_{\perp} = \sqrt{F_P^2 - F_{\parallel}^2} = \sqrt{(2904\text{ N})^2 - (604\text{ N})^2} = 2840\text{ N} = 2{,}84\times10^3\text{ N}$$

22 $$F_P = mg = (2{,}50\times10^3\text{ kg})(9{,}81\text{ N/kg}) = 2{,}45\times10^4\text{ N} = 24{,}5\text{ kN}$$

La forza equilibrante è uguale in modulo alla componente della forza-peso parallela al piano inclinato. Quindi:

$$F_E = F_{\parallel} = 1{,}64\times10^3\text{ N}$$

Si ha inoltre $F_{\parallel} = F_P \frac{h}{l}$, dove h ed l sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza della rampa, da cui

$$h = \frac{F_{\parallel}}{F_P} l = \frac{1{,}64\times10^3\text{ N}}{24{,}5\times10^3\text{ N}}(33{,}8\text{ m}) = 2{,}26\text{ m}$$

23
- Il valore più attendibile di μ_s è $\bar{\mu}_s = \frac{\bar{F}_{s,\max}}{\bar{F}_{\perp}} = \frac{1{,}9\times10^2\text{ N}}{703\text{ N}} = 0{,}27$.
- L'incertezza relativa su μ_s è $e_r = \frac{\Delta F_{s,\max}}{\bar{F}_{s,\max}} + \frac{\Delta F_{\perp}}{\bar{F}_{\perp}} = \frac{0{,}1\times10^2\text{ N}}{1{,}9\times10^2\text{ N}} + \frac{8\text{ N}}{703\text{ N}} = 0{,}064$.

  Quindi l'incertezza sul valore di μ_s risulta $\Delta\mu_s = e_r\bar{\mu}_s = 0{,}064\times0{,}27 = 0{,}02$.

24 Poiché $h = \frac{F_{\parallel}}{F_P} l$ ed $F_E = F_{\parallel}$, si ha che il valore più attendibile di h è $\overline{h} = \frac{\overline{F}_{\parallel}}{\overline{F}_P} l = \frac{80\ \text{N}}{206\ \text{N}} \times 8{,}5\ \text{m} = 3{,}30\ \text{m}$.

L'incertezza su h è data da $\Delta h = \Delta l \times \frac{\overline{F}_{\parallel}}{\overline{F}_P} + \Delta\left(\frac{F_{\parallel}}{F_P}\right) \times \overline{l}$ e, poiché $\Delta l = 0$, che implica $\overline{l} = l$, si ottiene

$$\Delta h = \Delta\left(\frac{F_{\parallel}}{F_P}\right) \times l = \frac{\overline{F}_{\parallel}}{\overline{F}_P}\left(\frac{\Delta F_{\parallel}}{F_{\parallel}} + \frac{\Delta F_P}{F_P}\right) \times l = \left(\frac{80\ \text{N}}{206\ \text{N}}\right)\left(\frac{2\ \text{N}}{80\ \text{N}} + \frac{3\ \text{N}}{206\ \text{N}}\right)(8{,}5\ \text{m}) = 0{,}1\ \text{m}$$

Si ha infine $h = \overline{h} \pm \Delta h = (3{,}3 \pm 0{,}1)$ m.

25
- $F_{\parallel} = F_P \sin\alpha = (15{,}0 \times 10^3\ \text{N}) \times 0{,}707 = 1{,}06 \times 10^4\ \text{N}$
- $F_{\perp} = F_P \cos\alpha = (15{,}0 \times 10^3\ \text{N}) \times 0{,}707 = 1{,}06 \times 10^4\ \text{N}$

26
- $F_{P-\text{tot}} = N_a F_a + N_b F_b = [(43)(735\ \text{N}) + (25)(343\ \text{N})] = 4{,}0 \times 10^4\ \text{N}$
- $F_{\parallel} = F_E = F_P \sin\alpha = (40 \times 10^3\ \text{N}) \times 0{,}42 = 1{,}7 \times 10^4\ \text{N}$

27
- $F_d = \mu_d F_{\perp} = (0{,}35)(280\ \text{N}) = 98\ \text{N}$
- $m = \frac{F_{\perp}}{g \cos 45°} = \frac{280\ \text{N}}{(9{,}8\ \text{N/kg}) \cos 45°} = 40\ \text{kg}$

28 PROBLEMA MODELLO a pag. 144

29 La forza di attrito statico massima vale

$$F_s^{\max} = \mu_s F_{\perp} = \mu_s F_P \cos(1{,}8°) = 0{,}07 \times (0{,}220\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) \cos(1{,}8°) = 0{,}15\ \text{N}.$$

La forza equilibrante, invece, è data da

$$F_E = F_P \sin(1{,}8°) = (0{,}220\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) \sin(1{,}8°) = 6{,}77 \times 10^{-2}\ \text{N}.$$

Visto che $F_E < F_s^{\max}$, il negoziante può posizionare la statuina sul piano di cristallo.

30
- $F_{\perp} = F_P \cos 35° = (65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) \times 0{,}82 = 5{,}2 \times 10^2\ \text{N}$
  $F_d = \mu_d F_{\perp} = 0{,}10 \times (520\ \text{N}) = 52\ \text{N}$

31 Affinché il fascicolo non scivoli, si deve avere

$$F_s = F_{\parallel} = F_P \sin\alpha = (0{,}100\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) \sin 30° = 0{,}49\ \text{N}$$

Inoltre $F_s \le F_s^{\max}$.

$$F_s \le \mu_s mg \cos\alpha \quad\Rightarrow\quad \mu_s \ge \frac{F_s}{mg\cos\alpha} \quad\Rightarrow\quad \mu_s \ge \frac{(0{,}49\ \text{N})}{(0{,}100\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)\cos 30°} \quad\Rightarrow\quad \mu_s \ge 0{,}58$$

32 $F_s \le \mu_s F_\perp \Rightarrow \mu_s \ge \frac{F_s}{F_\perp} = \frac{F_p \sin 20^\circ}{F_p \cos 20^\circ} = 0,36$

33 Il libro rimane in equilibrio se la forza di attrito statico massima è superiore alla forza equilibrante. La forza di attrito statico massima è data da

$F_s = \mu_s F_\perp = \mu_s F_P \cos\alpha = 0,51(26,4\ \text{N})\cos(25°) = 12\ \text{N}$

per cui $F_s > F_E$, e allora il libro è in equilibrio.

34 Per calcolare il valore del coefficiente di attrito statico μ_s, uguagliamo il valore della forza equilibrante F_E alla forza di attrito massimo F_s al distacco:

$F_s = \mu_s F_\perp = \mu_s F_P \cos\alpha$

$F_E = F_s \quad \Rightarrow \quad F_P \sin\alpha = \mu_s F_P \cos\alpha \quad \Rightarrow \quad \mu_S = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{\sin 30}{\cos 30} = 0,58$

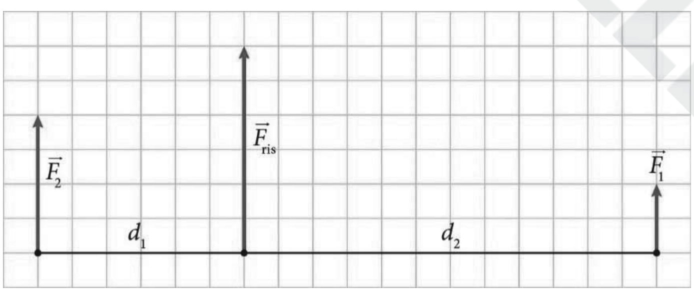
4. Gli effetti delle forze su un corpo rigido

35 I vettori forza-peso delle due masse hanno la stessa intensità e sono paralleli e concordi, la somma è dunque una forza di intensità doppia applicata al centro del bilanciere. La forza applicata per sollevare il bilanciere è parallela e discorde, quindi la risultante avrà il punto di applicazione esterno dalla parte della forza di intensità maggiore.

36 $F_{tot} = F_1 + F_2 = 510\ \text{N} + 430\ \text{N} = 940\ \text{N}$

37
- $F_{tot} = F_1 + F_2 = 100\ \text{N} + 180\ \text{N} = 280\ \text{N}$
- Dalla proporzione $d_1F_1 = d_2F_2$, deduciamo che per $F_1 = F_2$ si ha $d_1 = d_2$, quindi il punto di applicazione della risultante sarebbe al centro della panca.

38 $F_{tot} = \sqrt{F^2_{traghetto} + F^2_{corrente}} = \sqrt{(4,20\times10^4\ \text{N})^2 + (7,10\times10^3\ \text{N})^2} = 4,26\times10^4\ \text{N}$

39
- 

  $F_{tot} = F_1 + F_2 = 200\ \text{N} + 100\ \text{N} = 300\ \text{N}$
- $d_1F_1 = d_2F_2 \quad \Rightarrow \quad d_1 = \frac{d_2F_2}{d_1} = \frac{(0,60\ \text{m})(200\ \text{N})}{100\ \text{N}} = 1,2\ \text{m}$

40 Poiché $F_1d_1 = F_2d_2$, si ricava F_2:

$F_2 = F_1\frac{d_1}{d_2} = 350\ \text{N} \times \frac{1,50\ \text{m}}{2,50\ \text{m}} = 210\ \text{N}$

41
- $F_{tot} = F_1 - F_2 = 60\ \text{N} - 40\ \text{N} = 20\ \text{N}$
- $\dfrac{d_1}{d_2} = \dfrac{F_2}{F_1} \quad \Rightarrow \quad d_1 = d_2 \dfrac{F_2}{F_1} = \left(1{,}50 \times 10^2\ \text{cm}\right) \dfrac{40\ \text{N}}{60\ \text{N}} = 1{,}0\ \text{m}$
- La distanza fra Monica e Gaetano lungo il materassino è (1,50 m – 1,0 m) = 0,50 m.

42
- Gianni esercita una forza maggiore perché il punto di applicazione della forza risultante è sicuramente più vicino a lui che a Paolo. Vale la proporzione

  $$F_G : F_P = d_P : d_G \quad \Rightarrow \quad (F_G - F_P) : F_P = (d_P - d_G) : d_G \quad \Rightarrow$$
  $$240\ \text{N} : F_P = 4{,}00\ \text{m} : 1{,}80\ \text{m} \quad \Rightarrow \quad F_P = 108\ \text{N}$$

- Quindi $F_G = F + F_P = 240\ \text{N} + 108\ \text{N} = 348\ \text{N}$.

43 PROBLEMA MODELLO a pag. 147

44 Ilaria esercita una forza minore perché il punto di applicazione della forza risultante è più lontano da lei che da Lorenzo. Vale la proporzione

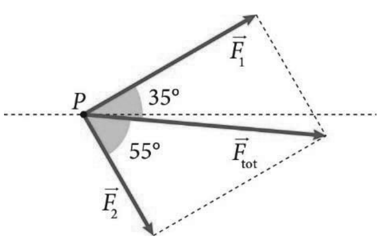
$$F_I : F_L = d_L : d_I \quad \Rightarrow \quad (F_I + F_L) : F_L = (d_L + d_I) : d_I \quad \Rightarrow$$
$$420\ \text{N} : F_L = 1{,}10\ \text{m} : 0{,}60\ \text{m} \quad \Rightarrow \quad F_L = 2{,}3 \times 10^2\ \text{N}$$

Quindi, $F_I = F - F_L = 420\ \text{N} - 229 = 1{,}9 \times 10^2\ \text{N}$.

45 $F_{tot} = F_2 - F_1 = 158\ \text{N} - 59\ \text{N} = 99\ \text{N}$

$$d_2 = d \frac{F_1}{F_{tot}} = \left(0{,}85\ \text{m}\right) \frac{59\ \text{N}}{99\ \text{N}} = 0{,}51\ \text{m}\ ;\ d_1 = d + d_2 = 0{,}85\ \text{m} + 0{,}51\ \text{m} = 1{,}36\ \text{m}$$

46 PROBLEMA SVOLTO

47
- 

- Il modulo della forza risultante è
  $$F_{tot} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{\left(89\ \text{N}\right)^2 + \left(70\ \text{N}\right)^2} = 1{,}1 \times 10^2\ \text{N}.$$

5. Il momento di una forza

48 Perché in questo modo il braccio è massimo.

49 No, è la distanza tra il punto O e la retta che contiene il vettore forza.

50
- Bisogna impugnare la chiave all'estremità.
- La direzione ottimale è quella perpendicolare al manico della chiave.

51
- Nel caso B.
- Sì, nel caso A è zero.

52 $F = \frac{M}{b} = \frac{3{,}6\times10^4\ \text{N}\cdot\text{m}}{12\ \text{m}} = 3{,}0\times10^3\ \text{N}$

$m_{\text{tot}} = \frac{F}{g} = \frac{3{,}0\times10^3\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 3{,}1\times10^2\ \text{kg}$

53 $M = Fb = (9{,}0\ \text{N})(0{,}60\ \text{m}) = 5{,}4\ \text{N}\cdot\text{m}$

54 $b = \frac{M}{F} = \frac{24\ \text{N}\cdot\text{m}}{60\ \text{N}} = 0{,}40\ \text{m}$

55 $b = \frac{M}{F} = \frac{80\ \text{N}\cdot\text{m}}{95\ \text{N}} = 84\ \text{cm}$

56 PROBLEMA MODELLO a pag. 149

57 $b = (30{,}4\ \text{cm})\frac{\sqrt{2}}{2} = 21{,}5\ \text{cm}$

58 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 149.

59 $M_1 = 0\ \text{N}\cdot\text{m}$, infatti il braccio è zero. $M_4 = -M_2$ e la loro somma è zero. L'unica forza attiva è F_3, e il suo braccio è pari a metà della lunghezza della diagonale, ovvero:

$$b_3 = \frac{\sqrt{2}\ l}{2} = \frac{\sqrt{2}\times0{,}030\ \text{m}}{2} = 0{,}021\ \text{m}$$

$$M = F_3 b_3 = (10\ \text{N})(0{,}021\ \text{m}) = 0{,}21\ \text{N}\cdot\text{m}$$

60
$M_1 = 0$

$M_2 = -(20{,}0\ \text{N})(10{,}0\ \text{cm}) = -200\ \text{N}\cdot\text{cm}$

$M_3 = -(20{,}0\ \text{N})(15{,}0\sqrt{2}\ \text{cm}) = -424\ \text{N}\cdot\text{cm}$

61 $M = Fr\sin\alpha \Rightarrow F = \frac{M}{r\sin\alpha} = \frac{40\ \text{N}\cdot\text{m}}{(0{,}35\ \text{m})(\sin 55°)} = 1{,}4\times10^2\ \text{N}$

6. L'equilibrio del corpo rigido

62 Va considerata la distanza fra le rette di applicazione delle forze e non fra i punti di applicazione.

63 Nel primo caso sono nulli sia la forza totale che il momento totale applicati all'oggetto. Nel secondo caso il momento totale è diverso da zero.

64 $M = Fd \Rightarrow d = \frac{M}{F} = \frac{50\ \text{N}\cdot\text{m}}{65\ \text{N}} = 0{,}77\ \text{m}$

65 $M = F2r = Fd = (340\ \text{N})(2{,}4\ \text{m}) = 8{,}2\times10^2\ \text{N}\cdot\text{m}$

66 $M_C = Fd \rightarrow d = \frac{M_C}{F} = \frac{48\ \text{N}\cdot\text{m}}{80\ \text{N}} = 0{,}60\ \text{m}$

67
- La somma delle forze che agiscono sul quadro deve essere nulla.

  $F_P = F_1 + F_2 = 13\ \text{N} + 13\ \text{N} = 26\ \text{N}$, quindi $m = \frac{F_P}{g} = \frac{26\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 2{,}7\ \text{kg}$.

- I vettori momento delle forze vincolari rispetto al punto O sono uguali e opposti perché b e F sono uguali ma producono rotazioni in senso opposto. Il momento della forza-peso è nullo perché non produce rotazione.

68 PROBLEMA SVOLTO

69
- $M_{\text{tot}} = M_1 - M_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad F_1b_1 - F_2b_2 = 0 \quad \Rightarrow$

  $F_2 = \frac{F_1b_1}{b_2} = \frac{m_1gb_1}{b_2} = \frac{(1{,}0\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})(0{,}38)\text{m}}{0{,}23\ \text{m}} = 16\ \text{N}$

- $F_V = F_1 + F_2 = 9{,}8\ \text{N} + 16\ \text{N} = 26\ \text{N}$

70
- $M = Fb = (120\ \text{N})(0{,}17\ \text{m}) = 20\ \text{N}\cdot\text{m}$
- La forza che Luca riesce ad applicare vale 2/3 di F = 120 N, ovvero 80 N. La lunghezza del braccio, cioè del manico dello svitatappi, deve essere allora

  $b_{\text{L}} = \frac{M}{F_{\text{L}}} = \frac{20\ \text{N}\cdot\text{m}}{80\ \text{N}} = 0{,}25\ \text{m}$

71 $F_Mb_M = F_Rb_R \Rightarrow F_M = F_R\frac{b_R}{b_M} = (170\ \text{N})\left(\frac{2{,}12\ \text{m}}{1{,}56\ \text{m}}\right) = 231\ \text{N}$

72
- Poiché i due momenti rispetto a O provocano rotazioni in verso opposto, avranno segno opposto. Il momento della forza esercitata da Lorenzo è positivo (rotazione antioraria), quello della forza esercitata da Giovanni è negativo (rotazione oraria) cioè:

  $M_{\text{L}} = F_{\text{L}}b_{\text{L}} = (151\ \text{N})(0{,}70\ \text{m}) = 106\ \text{N}\cdot\text{m}$

  $M_{\text{G}} = F_{\text{G}}b_{\text{G}} = (200\ \text{N})(0{,}50\ \text{m}) = 100\ \text{N}\cdot\text{m}$

  $M = M_{\text{L}} - M_{\text{G}} = 106\ \text{N}\cdot\text{m} - 100\ \text{N}\cdot\text{m} = 6\ \text{N}\cdot\text{m}$

- La porta si apre.

73 $M = F_Ab_A + F_Bb_B = (2{,}0\ \text{N})(4{,}0\ \text{m}) + (4{,}0\ \text{N})(2{,}0\ \text{m}) = 16\ \text{N}\cdot\text{m}$

74
- $M_C = Fb = (14\text{ N})(0,040\text{ m}) = 0,56\text{ N}\cdot\text{m}$
- In senso orario, quindi il momento della coppia è negativo.

75 $M_{C1} = Fd = (300\text{ N})(0,12\text{ m}) = 36\text{ N}\cdot\text{m}$

76
- $M = dF\dfrac{\sqrt{3}}{2} = (0,80\text{ m})(50,0\text{ N})\dfrac{\sqrt{3}}{2} = 34,6\text{ N}\cdot\text{m}$
- Antiorario.

77 Affinché l'asta sia in equilibrio, la forza risultante totale deve essere nulla, quindi le componenti della forza devono essere

$F_x = -F_1 = -8,0\text{ N}$ e $F_y = -(F_3 - F_2) = -(24,0 - 16,0)\text{N} = -8,0\text{ N}$

Le forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ hanno momento nullo rispetto al punto *O*. Il momento della forza $\vec{F}_3$ vale

$M_3 = -F_3 d = -(24,0\text{ N})(0,400\text{ m}) = -9,60\text{ N}\cdot\text{m}$

La forza $\vec{F}$ deve esercitare un momento uguale e opposto a $\vec{M}_3$ rispetto al punto *O*, quindi dovrebbe essere applicata a una distanza dal punto *O* pari a: $d' = \dfrac{M}{F_y} = \dfrac{9,60\text{ N}\cdot\text{m}}{8,0\text{ N}} = 1,2\text{ m}$, che risulta maggiore della lunghezza dell'asta. Quindi non è possibile trovare la forza $\vec{F}$.

7. Le leve

78 La somma dei momenti è nulla.

79 Considerando il fulcro della leva nel bacino, la forza motrice è esercitata dai muscoli della schiena e la leva è di terzo genere (svantaggiosa). Quindi la forza che si esercita con la schiena è molto intensa e può causare problemi.

80
- La leva è vantaggiosa perché $F_M < F_R$.
- Il rapporto tra i bracci vale $\dfrac{b_M}{b_R} = \dfrac{F_R}{F_M} = \dfrac{10,0}{4,0} = 2,5$.

81 $b_R F_R = b_M F_M \Rightarrow F_R = \dfrac{b_M F_M}{b_R} = \dfrac{(2,5\text{ m})(15\text{ N})}{0,80\text{ m}} = 47\text{ N}$

82 $b_R F_R = b_M F_M \Rightarrow F_M = \dfrac{b_R F_R}{b_M} = \dfrac{(0,080\text{ m})(5,7\text{ N})}{0,055\text{ m}} = 8,3\text{ N}$

83 $F_R = F_M \dfrac{b_M}{b_R} = (15\text{ N})\dfrac{0,060\text{ m}}{0,10\text{ m}} = 9,0\text{ N}$

84
- $b_R F_R = b_M F_M \Rightarrow F_M = \dfrac{b_R F_R}{b_M} = \dfrac{(0,080\text{ m})(12\text{ N})}{0,32\text{ m} + 0,080\text{ m}} = 2,4\text{ N}$
- Secondo genere.
- Vantaggiosa.

85 ▪ La condizione di equilibrio rotazionale è $M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 = 0$, da cui

$$b_1F_1 = b_2F_2 \quad \Rightarrow \quad F_2 = \frac{b_1}{b_2}F_1 = \frac{16\text{ cm}}{48\text{ cm}}(60\text{ N}) = 20\text{ N}$$

▪ Siccome la forza verso l'alto è più intensa della forza verso il basso, la reazione vincolare sarà diretta verso il basso. La condizione di equilibrio rispetto alla traslazione è $F_{\text{tot}} = F_1 - F_2 - R = 0$, da cui $R = F_1 - F_2 = 40\text{ N}$.

86 ▪ Primo genere

▪ $b_RF_R = b_MF_M \Rightarrow F_M = \dfrac{b_RF_R}{b_M} = \dfrac{(1{,}2\text{ cm})(120\text{ N})}{7{,}2\text{ cm}} = 20\text{ N}$

▪ Si verifica il cedimento del tappo.

87 ▪ Terzo genere

▪ $b_RF_R = b_MF_M \Rightarrow F_M = \dfrac{b_RF_R}{b_M} = \dfrac{(0{,}40\text{ m})(34\text{ N})}{0{,}040\text{ m}} = 3{,}4\times10^2\text{ N}$

88 $F_Mb_M = F_Rb_R \Rightarrow b_M = \dfrac{100}{30}b_R = \dfrac{100}{30}\times 2{,}5\text{ cm} = 8{,}3\text{ cm}$

89 $M_M = M_R \Rightarrow F_Mr_M\sin(\alpha_M) = F_Rr_R\sin(\alpha_R) \Rightarrow F_R = \dfrac{F_Mr_M\sin(\alpha_M)}{r_R\sin(\alpha_R)} = \dfrac{(68\text{ N})(1{,}70\text{ m})\sin(35°)}{(0{,}40\text{ m})\sin(75°)} = 1{,}7\times10^2\text{ N}$

90 ▪ $F_R = mg = (22\times10^3\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg}) = 2{,}2\times10^5\text{ N}$

▪ $F_M = F_R\dfrac{b_R}{b_M} = 22\times(10^4\text{ N})\dfrac{3{,}0\text{ m}}{6{,}0\text{ m}} = 1{,}1\times10^5\text{ N}$

91 $F_Mb_M = F_Rb_R \Rightarrow \dfrac{b_M}{b_R} = \dfrac{F_R}{F_M} = \dfrac{mg}{F_M} = \dfrac{(100\text{ kg})(9{,}8\text{ N/k})\text{g}}{195\text{ N}} = 5{,}0 \Rightarrow b_M = 5{,}0b_R$

$b_M + b_R = 2{,}3\text{ m} \Rightarrow 5{,}0b_R + b_R = 2{,}3\text{ m} \Rightarrow b_R = \dfrac{2{,}3\text{ m}}{6{,}0} = 0{,}38\text{ m}$

92 Quando la serranda è sollevata di 35,0 cm i momenti delle forze rispetto al fulcro devono avere moduli uguali. Quindi si ha:

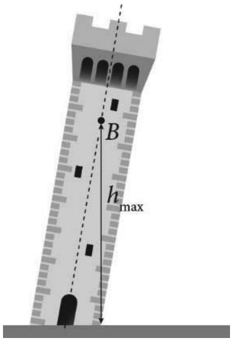
$\dfrac{b_M}{b_R} = \dfrac{F_R}{F_M} = \dfrac{(230\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})}{350\text{ N}} = 6{,}44$; $b_M + b_R = \sqrt{L^2 - h^2} = \sqrt{(2{,}30\text{ m})^2 - (0{,}350\text{ m})^2} = 2{,}27\text{ m}$

$b_R = \dfrac{2{,}27\text{ m}}{6{,}44 + 1} = 31\text{ cm}$

8. Il baricentro

93 Perché deve fare in modo che la verticale passante per il baricentro intersechi la base di appoggio, ora ridotta all'area di un solo piede.

94



95
- Sulla verticale che passa dalla puntina.
- Se si appende la moto per un punto diverso si trova un'altra retta a cui appartiene il baricentro, quindi il baricentro è il punto di intersezione.

96
- Fissando arbitrariamente l'origine all'estremità dell'asta alla quale non è attaccata la sfera, otteniamo che il baricentro dell'asta si trova a una distanza di 7,5 cm dall'origine, mentre il baricentro della sfera si trova a una distanza di 17 cm dalla stessa origine. Quindi la distanza tra i due baricentri è $d = (17 - 7{,}5)\text{ cm} = 9{,}5\text{ cm}$.
- Il baricentro del sistema è più vicino al baricentro della sfera.

97
- Il baricentro del cilindro è nel suo centro, a 3 cm dalla superficie. Il baricentro del manico è nel suo punto medio, a 45 cm dalla sua estremità. Quindi la distanza tra i due baricentri è $(45+3)\text{ cm} = 48\text{ cm}$
- Il cilindro è più pesante del manico, per cui il baricentro della mazza è certamente più vicino al baricentro del cilindro.

98 Calcoliamo la distanza tra il centro della base e il punto di intersezione della verticale passante per il baricentro con il piano a cui appartiene la base. Questa è data da

$$d = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \times 25\text{ cm}\right) : 2 = 14\text{ cm}$$

Essendo maggiore di metà del lato di base, il portaombrelli cade.

99 PROBLEMA SVOLTO

100 Poiché il sistema è in equilibrio, il baricentro si trova sulla verticale che passa per la mano del barista. Il baricentro è il punto rispetto al quale la somma dei momenti delle forze si annulla. Il momento della forza esercitata dal barista è nullo.

$$\begin{cases} F_{P,\text{bicchiere}} b_{\text{bicchiere}} = F_{P,\text{tazzina}} b_{\text{tazzina}} \\ b_{\text{bicchiere}} + b_{\text{tazzina}} = 15\text{ cm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b_{\text{bicchiere}} = \dfrac{F_{P,\text{tazzina}}}{F_{P,\text{bicchiere}}} b_{\text{tazzina}} = \dfrac{2{,}1\text{ N}}{3{,}7\text{ N}} b_{\text{tazzina}} = 0{,}57\ b_{\text{tazzina}} \\ 0{,}57\ b_{\text{tazzina}} + b_{\text{tazzina}} = 15\text{ cm} \Rightarrow b_{\text{tazzina}} = 9{,}6\text{ cm} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} b_{\text{bicchiere}} = 0{,}57\ b_{\text{tazzina}} \\ b_{\text{tazzina}} = 9{,}6\text{ cm} \end{cases}$$

Il baricentro si trova a una distanza di 9,6 cm dalla retta che contiene la direzione della forza-peso della tazzina.

101 I baricentri dei parallelepipedi si trovano nel loro centro geometrico, quindi le loro distanze dall'estremità sinistra sono:

$$x_{\mathrm{m}} = 1{,}0 \text{ cm}$$

$$x_{\mathrm{l}} = \left(2{,}0 + \frac{16{,}0}{2}\right)\text{cm} = 10 \text{ cm}$$

La formula del baricentro dà

$$x = \frac{m_{\mathrm{m}}x_{\mathrm{m}} + m_{\mathrm{l}}x_{\mathrm{l}}}{m_{\mathrm{m}} + m_{\mathrm{l}}} = \frac{(210 \text{ g})(1{,}0 \text{ cm}) + (40 \text{ g})(10 \text{ cm})}{250 \text{ g}} = 2{,}4 \text{ cm}$$

102 A

103 A

104 D

105 A

106 Prima del tentativo di sollevamento, il modulo della forza vincolare esercitata dal pavimento è uguale al modulo della forza-peso che agisce sul sacco:

$$F_E = F_P = (30{,}5 \pm 0{,}5)\text{kg} \times (9{,}80 \text{ N/kg}) = (298{,}9 \pm 4{,}9)\text{N} \approx (299 \pm 5)\text{N}$$

Durante il tentativo di sollevamento, il modulo della forza vincolare è dato dalla differenza tra il peso del sacco e il modulo F della forza che lo tira verso l'alto:

$$F_E = F_P - F = (299 - 198)\text{N} \pm (5 + 2)\text{N} = (101 \pm 7)\text{N}$$

107 $M = F_1 d_1 + F_2 d_2$

Entrambi i momenti sono negativi perché tendono a generare una rotazione in senso orario. Quindi:

$$M = -(17 \text{ N})(0{,}14 \text{ m}) - (13 \text{ N})(0{,}070 \text{ m}) = -3{,}3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

108 La forza-peso si applica nel baricentro che si trova a metà della trave:

$$M = bF_P = \frac{L}{2}mg = \frac{1{,}2 \text{ m}}{2}(65 \text{ kg})(9{,}8 \text{ N/k})\text{g} = 3{,}8 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

109 $F_E = F_P \dfrac{h}{l} \;\Rightarrow\; F_P = F_E \dfrac{l}{h} = (23 \text{ N})\dfrac{82 \text{ cm}}{37 \text{ cm}} = 51 \text{ N}$

$$F_P = mg \;\Rightarrow\; m = \frac{F_P}{g} = \frac{51 \text{ N}}{9{,}8 \text{ N/kg}} = 5{,}2 \text{ kg}$$

110 $\mu_s F_{P\perp} = F_{P\parallel} \;\Rightarrow\; \mu_s F_P \cos 35° = F_P \sin 35° \;\Rightarrow\; \mu_s = \tan 35° = 0{,}70$

111
- $F_P = mg = (50 \text{ kg} + 340 \text{ kg})(9{,}8 \text{ N/kg}) = 3{,}8 \times 10^3 \text{ N}$

  $M_1 = r_1 F_P = (25 \text{ m})(3{,}8 \text{ kN}) = 9{,}6 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$
- $M_2 = r_2 F_P \;\Rightarrow\; r_2 = \dfrac{M_2}{F_P} = \dfrac{72 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3{,}8 \text{ kN}} = 19 \text{ m}$

112
- $d_1 F_1 = d_2 F_2 \;\Rightarrow\; d_2 = \dfrac{d_1 F_1}{F_2} = \dfrac{(13{,}5 \text{ m})(200 \text{ N})}{300 \text{ N}} = 9{,}00 \text{ m}$
- $d = d_1 - d_2 = (13{,}5 - 9{,}0)\text{m} = 4{,}5 \text{ m}$

113 ■ La condizione di equilibrio è $F_{\text{tot},y} = 2T_y - F_P = 0$, ma $T_y = T\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}T$, quindi

$$\sqrt{3}T - F_P = 0 \Rightarrow T = \frac{F_P}{\sqrt{3}} = \frac{(1{,}5\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)}{\sqrt{3}} = 8{,}5\ \text{N}$$

■ All'aumentare dell'angolo con la verticale, la componente verticale della tensione tende a diminuire e per equilibrare la forza-peso il modulo delle tensioni deve aumentare.

114 ■ $M = dF = (2\times 0{,}036\ \text{m})(1{,}5\ \text{N}) = 0{,}11\ \text{N}\cdot\text{m}$

■ Diminuisce.

115 ■ Indicando con F la forza applicata nel punto X, per la condizione di equilibrio sulle forze si ha:
lungo y, $F_3 + F_y = F_2 \Rightarrow F_y = F_2 - F_3 = 29\ \text{N} - 12\ \text{N} = 17\ \text{N}$ nella direzione positiva delle y;
lungo x, $F_1 = F_x \Rightarrow F_x = 10\ \text{N}$ nella direzione negativa delle x.

Si ottiene quindi $F = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} = \sqrt{(10\ \text{N})^2 + (17\ \text{N})^2} = 19{,}7\ \text{N}$.

Per la condizione di equilibrio sui momenti, considerando i momenti rispetto al punto O e tenendo conto che delle componenti di F solo F_y contribuisce al momento, si ha

$$F_3 \cdot \overline{AO} = F_y \cdot \overline{OX} \Rightarrow \overline{OX} = \frac{F_3}{F_y}\overline{AO} = \left(\frac{12\ \text{N}}{17\ \text{N}}\right)(0{,}50\ \text{m}) = 0{,}35\ \text{m}$$

Poiché $\overline{OX} = 0{,}35\ \text{m} < \overline{OB} = 0{,}40\ \text{m}$ il punto X risulta compreso tra A e B.

■ La forza che applica la molla è pari alla sua forza elastica, quindi

$$F_e = F = k\Delta s \Rightarrow \Delta s = \frac{F}{k} = \frac{19{,}7\ \text{N}}{302\ \text{N/m}} = 0{,}065\ \text{m} = 6{,}5\ \text{cm}$$

116 L'allungamento massimo si ha quando la forza elastica ha modulo uguale alla forza d'attrito statica massima:
$F_P = mg = (8{,}0\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 78\ \text{N}$

$$F_s = F_e \quad\Rightarrow\quad \mu_s F_P = k\Delta x \quad\Rightarrow\quad \Delta x = \frac{\mu_s F_P}{k} = \frac{0{,}75(78\ \text{N})}{190\ \text{N/m}} = 0{,}31\ \text{m} = 31\ \text{cm}$$

117 ■ $F_{P\perp} = F_P\cos(\alpha) = (5{,}2\ \text{N})\cos(13°) = 5{,}1\ \text{N}$

■ La forza di attrito statico assume il suo valore massimo e in modulo è uguale a $F_{P\parallel}$:

$$\mu_s F_{P\perp} = F_{P\parallel} \Rightarrow \mu_s = \frac{F_{P\parallel}}{F_{P\perp}} = \frac{1{,}2\ \text{N}}{5{,}1\ \text{N}} = 0{,}23$$

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 Lo scatolone si muove se l'intensità della somma delle forze esercitate da Mario e Lucia è maggiore dell'intensità massima della forza d'attrito statico. La forza d'attrito statico vale
$F_s = \mu_s F_P = \mu_s mg = 0{,}61\times(30\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 1{,}8\times 10^2\ \text{N}$
mentre la forza esercitata da Mario e Lucia è data da
$F_{\text{ML}} = \sqrt{2}F_{\text{M}} = \sqrt{2}\times 131\ \text{N} = 1{,}9\times 10^2\ \text{N}$.
Quindi lo scatolone si muove.

2
- I bracci delle forze rispetto ad O sono $b_L = 30$ cm e $b_G = 45$ cm . Il momento totale rispetto ad O è
  $M_O = M_L + M_G = -b_L F_L + b_G F_G = (-0,30 \text{ m})(80 \text{ N}) + (0,45 \text{ m})(40 \text{ N}) = -6,0 \text{ N} \cdot \text{m}$
  Poiché $M_O < 0$ la rotazione avviene in verso orario.
- Poiché $M_L > M_G$ in valore assoluto, Giovanni non riesce ad entrare.

3 $F_\perp = F_P \cos\alpha = mg\cos\alpha \Rightarrow m = \dfrac{F_\perp}{g\cos\alpha} = \dfrac{13,3 \text{ N}}{9,8 \text{ N/kg} \times \cos(15°)} = 1,4 \text{ kg}$

4
- $M = F_P b = mg\dfrac{l}{2} = (31 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})\left(\dfrac{0,80 \text{ m}}{2}\right) = 1,2 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Indicando con F_C la forza del chiavistello, si ricava
  $F_C b_C = F_P b_P \Rightarrow F_C = F_P \dfrac{b_P}{b_C} = (31 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})\dfrac{1}{2} = 1,5 \times 10^2 \text{ N}$
- Di secondo genere.

5 La forza-peso totale che agisce sul braccio corto è: $F_P = (m+M)g = (5,70 \text{ kg} + 0,45 \text{ kg})\left(9,81 \dfrac{\text{N}}{\text{kg}}\right) = 60,3 \text{ N}$

La lunghezza dell'asta è $l = a + b + c = 1,0$ m . Di conseguenza $a + b = l - c = 1,0 \text{ m} - 0,10 \text{ m} = 0,90 \text{ m}$.
Per la condizione di equilibrio di una leva si ha $F_P a = F_R b$.
Si ottiene quindi un sistema di due equazioni in due incognite dal quale si ricavano i due bracci a e b:

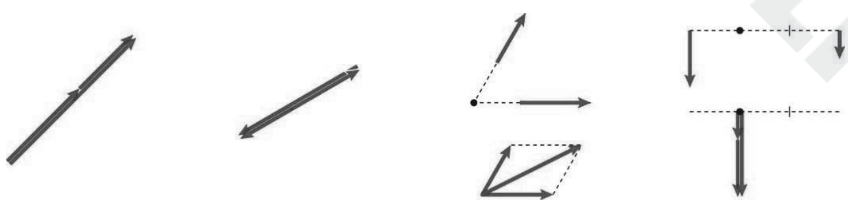
$$\begin{cases} F_P a = F_R b \\ a + b = 0,90 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{F_R b}{F_P} = \dfrac{8,3 \text{ N}}{60,3 \text{ N}} b = 0,138b \\ a + b = 0,90 \text{ m} \end{cases}$$

Risolvendo il sistema si ricava

$$\begin{cases} a = 0,11 \text{ m} \\ b = 0,79 \text{ m} \end{cases}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1



2 Un blocco di pietra pesa $F_P = mg = (2,5 \times 10^3 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg}) = 2,5 \times 10^4 \text{ N}$ e la componente parallela di tale forza-peso è $F_\parallel$. Dividendo $F_\parallel$ per la forza che un solo operaio può esercitare, si ha $\dfrac{F_\parallel}{F} = \dfrac{3,5 \times 10^3 \text{ N}}{300 \text{ N}} = 12$.

Occorrono quindi 12 operai.

3

- Il momento della forza applicata dal meccanico è $M = (250\,\text{N})(0{,}80\text{ m}) = 200\,\text{N}\cdot\text{m}$ ed è il minimo necessario per far cedere la vite. Con una chiave lunga 30 cm la forza avrebbe dovuto essere almeno $F = \frac{M}{b} = \frac{200\,\text{N}\cdot\text{m}}{0{,}30\text{ m}} = 670\,\text{N}$
- Con la chiave da 80 cm ma con un angolo di 70° la forza avrebbe dovuto essere
$$F = \frac{M}{b} = \frac{200\,\text{N}\cdot\text{m}}{(0{,}80\text{ m})\sin 70°} = 270\,\text{N}$$

4

- Quando si mette il tappo, la molla si accorcia di s = 15,0 cm – 14,0 cm = 1,0 cm. Per comprimerla è necessaria una forza $F = ks = (620\,\text{N/m})(0{,}010\text{ m}) = 6{,}2\text{ N}$. La forza esercitata dal tappo è la reazione vincolare $F_{Vt} = F = 6{,}2$ N.
- Sulla molla agiscono tre forze: la reazione vincolare sulla faccia superiore e la forza-peso, dirette verso il basso, e la reazione vincolare sulla faccia inferiore, diretta verso l'alto. Poiché la molla è in equilibrio, la somma di queste forze deve essere nulla.
$$F_P = mg = (0{,}53\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg}) = 5{,}2\text{ N}$$
$$F_{Vb} - F_{Vt} - F_P = 0$$
$$F_{Vb} = F_{Vt} + F_P = 6{,}2\text{ N} + 5{,}2\text{ N} = 11\text{ N}$$

5 Sulla pallina agiscono tre forze: la forza-peso, la forza del filo che la collega alla parete e la forza del filo che la collega al soffitto. Chiamiamo T_s la tensione del filo fissato al soffitto e T_P la tensione del filo collegato alla parete.
Calcoliamo poi la forza-peso che agisce sulla pallina:
$F_p = mg = (0{,}025\text{ kg})(9{,}80\text{ N/kg}) = 0{,}25\text{ N}$

Scriviamo l'equazione che esprime la condizione di equilibrio lungo l'asse y: $T_s \sin 135° - F_p = 0$.
Sostituiamo in essa il valore della forza-peso e risolviamo: $T_s = 0{,}35\text{ N}$.
Scriviamo l'equazione che esprime la condizione di equilibrio lungo l'asse x: $T_s \cos 135° + T_P = 0$.
Sostituiamo a T_s il valore appena trovato e risolviamo: $T_P = 0{,}25\text{ N}$.

6 La forza di attrito statico massima tra il blocco appoggiato e il piano vale
$F_s^{\max} = \mu_s m_2 g = 0{,}56 \times (3{,}5\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg}) = 19\,\text{N}$

Il blocco resta in equilibrio fino a che la tensione della fune non supera tale valore. Sul blocco 1 agiscono invece solo la forza-peso F_{P1} e la tensione della fune, in verso opposto; quindi, la tensione della fune deve essere in modulo uguale al peso del blocco. In formule si ha $F_{P1} = m_1 g = T \le 19\,\text{N}$.

Quindi:
$$m_1 \le \frac{19\,\text{N}}{9{,}81\frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1{,}9\text{ kg}$$

7

- Le due forze sono perpendicolari, quindi il modulo della forza risultante può essere trovato con il teorema di Pitagora:
$$F_{\text{tot}} = \sqrt{(90\,\text{N})^2 + (140\,\text{N})^2} = 170\,\text{N}$$
- Il punto di applicazione si trova all'intersezione delle rette di applicazione, quindi al centro del tavolo.

8

- Le forze sono parallele e hanno lo stesso verso, quindi il modulo della forza risultante è pari alla somma dei loro moduli:
$F_{tot} = F_{Febo} + F_{Gaia} = 130\,N + 160\,N = 290\,N$

- Il punto di applicazione si trova lungo il segmento che congiunge i punti di applicazione delle singole forze, quindi sul bordo destro del tavolo. Chiamiamo x la sua distanza dal punto di applicazione della forza esercitata da Febo e scriviamo la proporzione:
$\frac{x}{1{,}2\text{ m} - x} = \frac{190\text{N}}{160\text{N}}$ da cui $160x = 190 \times (1{,}2\text{m} - x)$
$350x = 230\,\text{m}$
$x = \frac{230}{350}\text{ m} = 0{,}66\text{ m}$

9

- La componente della forza-peso del blocchetto 1 parallela al piano inclinato è
$F_{\parallel} = (1{,}0\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})\sin 30° = 4{,}9\text{ N}$

  Per equilibrare tale forza, occorre una tensione della fune di uguale modulo e diretta verso la carrucola.
  La tensione della fune corrisponde però anche alla forza che equilibra la forza-peso del blocchetto 2 appeso, che deve quindi pesare 4,9 N. La massa m_2 del blocchetto appeso sarà quindi
$m_2 = \frac{F_{\parallel}}{g} = \frac{4{,}9\text{N}}{9{,}8\text{N/kg}} = 0{,}50\text{ kg}$

- La componente perpendicolare della forza-peso del blocchetto 1 sul piano inclinato è
$F_{P\perp} = (1{,}0\text{ kg})(9{,}8\text{ N/kg})\cos 30° = 8{,}5\text{ N}$

  per cui la forza di attrito massima è $F_s^{max} = F_{P\perp}\mu = (8{,}5\text{ N}) \times 0{,}1 = 0{,}85\text{ N}$.
  Abbiamo visto che quando il blocchetto 2 ha una massa di 0,5 kg il sistema è in equilibrio senza bisogno dell'attrito. Se la massa del blocchetto appeso supera 0,5 kg, però, la tensione della fune diventa superiore alla forza parallela e il blocco sul piano inclinato tende a salire. L'attrito può mantenerlo in equilibrio esercitando una forza parallela al piano e diretta verso il basso.
  Scriviamo l'equazione che esprime l'equilibrio del blocco nella direzione del piano inclinato quando la massa del blocco appeso è maggiore di 0,5 kg; prendiamo come verso positivo quello verso l'alto.
$T - F_s - F_{\parallel} = 0$ da cui $T = F_s + F_{\parallel}$.
  Poiché $F_s \leq F_s^{max}$, deve valere $T \leq F_s^{max} + F_{\parallel} = 0{,}85\text{ N} + 4{,}9\text{ N} = 5{,}8\text{ N}$.
  Dato che T è uguale alla forza-peso del blocco appeso, $mg \leq 5{,}8\text{N}$ e quindi
$m \leq \frac{5{,}8\text{N}}{9{,}8\text{N/kg}} = 0{,}59\text{ kg}$

10 Calcoliamo le forze-peso che si esercitano sui tre bambini:
$F_{P1} = (25\text{kg})(9{,}8\text{ N/kg}) = 250\text{N}$; $F_{P2} = (20\text{kg})(9{,}8\text{ N/kg}) = 200\text{N}$

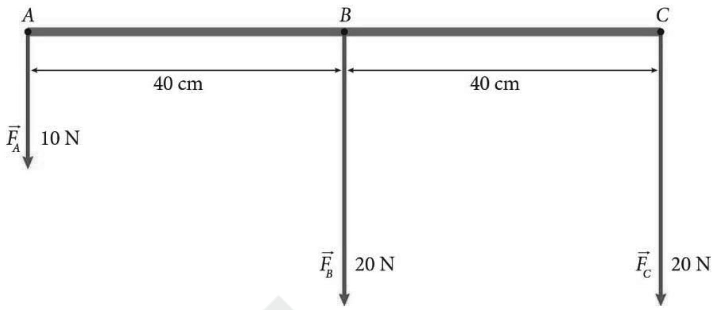
La somma dei momenti delle forze-peso è
$M_{tot} = -(250\text{N})(1{,}6\text{ m}) + (200\text{N})(0{,}80\text{ m}) + (200\text{N})(1{,}2\text{ m}) = 0\,\text{N}\cdot\text{m}$

Quindi l'altalena è in equilibrio.

11

- Detta x la distanza del punto P da A, scriviamo la proporzione $\frac{x}{40\,\text{cm}-x}=\frac{20\,\text{N}}{10\,\text{N}}$.

  Risolvendo rispetto a x troviamo $x = 27\,\text{cm}$.
- La risultante delle forze in A e B ha modulo $F_{AB} = F_A + F_B = 10\,\text{N}+20\,\text{N}=30\,\text{N}$.



La risultante è applicata nel punto P che abbiamo individuato in precedenza. Possiamo sostituirla alle forze in A e B, ottenendo lo schema a fianco. La risultante delle forze in P e C e il suo punto di applicazione Q corrispondono alla risultante e al punto di applicazione di tutte e tre le forze in A, B e C. Per trovare Q procediamo come al punto precedente. Chiamiamo y la distanza di Q da C e calcoliamo la distanza tra P e C: PC = 80 cm – 27 cm = 53 cm.

Impostiamo poi la proporzione $\frac{y}{53\,\text{cm}-y}=\frac{30\,\text{N}}{20\,\text{N}}$ e risolviamo rispetto a y: $y = 32\,\text{cm}$.

12 Per l'equilibrio della leva, la somma dei momenti delle due forze rispetto al fulcro deve essere nulla.
Il braccio di F_1 è dato da $b_1 = (3\,\text{m})\sin 60° = 2{,}6\ \text{m}$, mentre quello di F_2 è $b_2 = (2\,\text{m})\sin 45° = 1{,}4\ \text{m}$.
Scriviamo l'equazione dei momenti all'equilibrio:

$$F_1b_1 - F_2b_2 = 0 \;\Rightarrow\; F_2 = \frac{F_1b_1}{b_2} = \frac{(40\,\text{N})(2{,}6\ \text{m})}{1{,}4\,\text{m}} \;\Rightarrow\; F_2 = 74\ \text{N}$$

13

- Per l'equilibrio della cassa, la tensione T_1 della fune è pari alla forza-peso che si esercita sulla cassa stessa, quindi a $F_P = (12\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 120\,\text{N}$.
- Per l'equilibrio dell'asta, la somma dei momenti rispetto alla base dell'asta delle forze esercitate dalle funi sulla sua estremità deve essere nulla. Detta l la lunghezza dell'asta, il braccio della forza esercitata dalla fune verticale è pari a l. Procedendo come nell'esercizio precedente, ricaviamo che il braccio della forza esercitata dalla fune inclinata è invece $l \times \sin 40°$.

  L'equazione dell'equilibrio rispetto alle rotazioni dell'asta è quindi $-Tl\sin 40° + F_P l \sin 90° = 0$.

  La lunghezza l si semplifica e possiamo ricavare T:

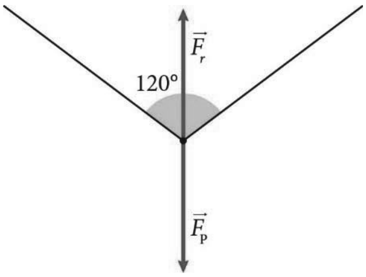
  $$T = \frac{120\,\text{N}}{\sin 40°} = 190\,\text{N}$$

14 Il baricentro G_t della testa di trova a 2,00 cm dalla sommità e il baricentro G_m del manico si trova a 13,0 cm dalla testa.

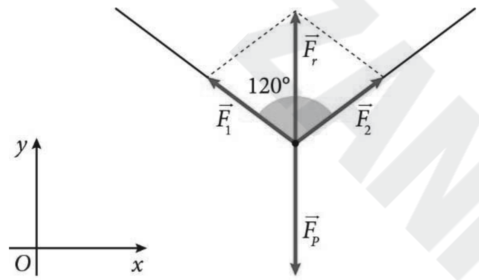
Il baricentro G si trova così 1,60 cm a destra di G_t e 13,4 cm a sinistra di G_m. Impostando la proporzione $\frac{1{,}60\,\text{cm}}{13{,}4\,\text{cm}} = \frac{m_m}{m_t}$

possiamo ricavare la massa m_t della testa del martello: $m_t = \frac{13{,}4\,\text{cm}}{1{,}60\,\text{cm}}(100\,\text{g}) = 838\,\text{g}$.

15 ■ La forza risultante è un vettore uguale e opposto alla forza-peso del sacco.



■ La forza risultante si scompone come mostrato nella figura. I due vettori $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ hanno lo stesso modulo, data la simmetria del sistema e formano un angolo di 60° con la direzione di $\vec{F}_r$. Il loro modulo è uguale di quello della forza-peso (il parallelogramma delle forze è costituito da due triangoli equilateri affiancati).



Il momento della forza-peso calcolato rispetto al punto O è nullo perché il braccio è nullo. I momenti calcolati rispetto ai punti A e B sono uguali e opposti:

$$M_A = -F_P l_{AO} \sin(60°) = -mgl_{AO}\frac{\sqrt{3}}{2} = -(15{,}0 \text{ kg})(9{,}80 \text{ m/s}^2)(1{,}10 \text{ m})\frac{\sqrt{3}}{2} = -140 \text{ N} \cdot \text{m}$$

M_A è negativo perché la forza tende a far ruotare il sacco in senso orario rispetto al punto A.

Quindi si ricava $M_B = -M_A = 140 \text{ N} \cdot \text{m}$. Per una sicurezza maggiore si dovrebbe ridurre l'angolo formato tra i due tratti della fune. In questo modo i moduli di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ sarebbero più piccoli.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 5

L'equilibrio dei fluidi

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

2. La legge di Pascal

pag. 162

Una massa di 1 kg, perché il pistone più grande ha diametro doppio, quindi area quadrupla rispetto al pistone più piccolo.

5. La pressione atmosferica

pag. 168

No, perché l'altezza della colonna di acqua nella cannuccia non può superare i 10,3 m.

6. La legge di Archimede

pag. 170

La bottiglia immersa per metà, riceve una spinta di 4,9 N, pari alla metà della spinta che riceve quando è totalmente immersa.

pag. 171

La moneta affonda nell'olio, cha ha una densità minore dell'argento, ma non nel mercurio, che ha una densità maggiore dell'argento.

Tecnologia e sviluppo sostenibile – Il fracking

Fermati a pensare a pag. 172

La pressione al fondo del pozzo dovuta all'altezza dell'acqua soprastante è

$$p_h = dgh = \left(1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}}\right)\left(310^3\ \text{m}\right) = 30\,\text{Mpa}$$

In cima al pozzo si deve avere una pressione pari a

$$p_{\text{cima}} = 100\,\text{MPa} - 30\,\text{MPa} = 70\,\text{Mpa}$$

TEST

1 B
2 C
3 C
4 D
5 C
6 A
7 D
8 B
9 C
10 C
11 A

ESERCIZI

1. La pressione

1 La forma e il volume del cubo di ferro non cambiano, essendo un solido. Il volume del mercurio non cambia, ma essendo liquido assume la forma del barattolo. L'azoto occupa tutto il volume del nuovo barattolo, quindi il suo volume diventa doppio.

2 Il furgone con ruote più larghe, a parità di peso, esercita pressione minore.

3 Se la larghezza della cinghia che poggia sulla spalla triplica, triplica anche la superficie di contatto. Quindi la pressione si riduce di un fattore tre.

4 Se aumenta la superficie di appoggio, diminuisce la pressione. Con le racchette, gli scarponi affondano di meno nella neve fresca e per gli escursionisti è più facile camminare.

5 La pressione esercitata dalla sciatrice sulla pista è minore di quella esercitata sul piazzale in piano, perché sulla pista bisogna considerare solo la componente della forza-peso perpendicolare al suolo. I solchi, quindi, sono più profondi sul piazzale in piano.

6 $$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{pS}{g} = \frac{\left(2,4 \times 10^3 \text{ Pa}\right)\left(1,0 \text{ m}^2\right)}{9,8 \text{ N/kg}} = 2,4 \times 10^2 \text{ kg}$$

7 La superficie minima è quella che determina, per il mobile, la pressione di $6,0 \times 10^3$ Pa :

$$S_{\min} = \frac{F_P}{p_{\max}} = \frac{mg}{p_{\max}} = \frac{(275 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})}{6,0 \times 10^3 \text{ Pa}} = 0,45 \text{ m}^2$$

8 La massa della donna e la superficie dei suoi piedi sono esattamente doppie di quelle del bambino, la pressione esercitata è allora nei due casi $p_\text{b} = \dfrac{m_\text{b} g}{S_\text{b}}$; $p_\text{d} = \dfrac{m_\text{d} g}{S_\text{d}} = \dfrac{2m_\text{b} g}{2S_\text{b}} = p_\text{b}$. Quindi, le due pressioni sono uguali.

9

- $p_{\text{suole}} = \dfrac{mg}{S_{\text{suole}}} = \dfrac{(65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2(2{,}0\times10^{-2}\ \text{m}^2)} = 1{,}6\times10^4\ \text{Pa}$; $p_{\text{sci}} = \dfrac{mg}{S_{\text{sci}}} = \dfrac{(65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2(16\times10^{-2}\ \text{m}^2)} = 2{,}0\times10^3\ \text{Pa}$
- $\dfrac{p_{\text{suole}}}{p_{\text{sci}}} = \dfrac{1{,}6\times10^4\ \text{Pa}}{2{,}0\times10^3\ \text{Pa}} = 8$

10 La cassa esercita la pressione minima quando è appoggiata sulla sua faccia di superficie massima, avente area $S = (90\times10^{-2}\ \text{m})(75\times10^{-2}\ \text{m}) = 0{,}675\ \text{m}^2$. Quindi, $F_P = mg = (40\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 3{,}92\times10^2\ \text{N}$.

La pressione minima è $p = \dfrac{F_P}{S} = \dfrac{3{,}92\times10^2\ \text{N}}{0{,}675\ \text{m}^2} = 5{,}8\times10^2\ \text{Pa}$.

11 La pressione esercitata sul terreno dal tirannosauro era

$$p_{\text{t}} = \frac{m_{\text{t}}g}{2S_{\text{t}}} = \frac{(6{,}5\times10^3\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2\times(2{,}0\ \text{m}^2)} = 1{,}6\times10^4\ \text{Pa}$$

Per l'aquila reale invece si ha $p_{\text{a}} = \dfrac{m_{\text{a}}g}{2S_{\text{a}}} = \dfrac{(6{,}5\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2\times(2{,}5\times10^{-3}\ \text{m}^2)} = 1{,}3\times10^4\ \text{Pa}$.

Quindi la differenza vale $p_{\text{t}} - p_{\text{a}} = (1{,}6-1{,}3)\times10^4\ \text{Pa} = 3\times10^3\ \text{Pa}$.

Le pressioni esercitate sul terreno sono uguali se

$$m_{\text{a}} = \frac{2p_{\text{t}}S_{\text{a}}}{g} = \frac{2\times(1{,}6\times10^4\ \text{N/m}^2)(2{,}5\times10^{-3}\ \text{m}^2)}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 8{,}2\ \text{kg}.$$

12 Se S è la superficie di appoggio, si ha

$$p_{\max} = \frac{F_{P\ \text{clown}} + F_{P\ \text{scimmia}}}{S} = \frac{(m_{\text{clown}} + m_{\text{scimmia}})g}{S} \Rightarrow$$

$$m_{\text{scimmia}} = \frac{p_{\max}S}{g} - m_{\text{clown}} = \frac{(2{,}5\times10^4\ \text{Pa})(2{,}80\times10^{-2}\ \text{m}^2)}{9{,}8\ \text{N/kg}} - 58\ \text{kg} = 13\ \text{kg}$$

13 Indicando con a e l rispettivamente la larghezza e la lunghezza della lama, si ha

$$a = \frac{S}{l} = \frac{8{,}0\times10^{-6}\ \text{m}^2}{0{,}12\,\text{m}} = 6{,}7\times10^{-5}\ \text{m} = 6{,}7\times10^{-2}\ \text{mm}$$

14 $p = \dfrac{mg}{S} = \dfrac{(70\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{2\times(3{,}0\ \text{cm})(27\ \text{cm})} = 4{,}2\times10^4\ \text{Pa}$

In generale, $p = \dfrac{mg}{2ld}$.

15 $F_P = mg = (50\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 490\ \text{N}$

$S = 2(25\ \text{cm})(5{,}0\ \text{cm}) = 2{,}5\times10^2\ \text{cm}^2 = 2{,}5\times10^{-2}\ \text{m}^2$

$p = \dfrac{F_P}{S} = \dfrac{mg}{S} = \dfrac{490\ \text{N}}{2{,}5\times10^{-2}\ \text{m}^2} = 2{,}0\times10^4\ \text{Pa}$

2. La legge di Pascal

16 La risposta corretta è la c: la pressione è la stessa su tutta la superficie del palloncino e lo comprime senza deformarlo.

17 È necessario esercitare una forza minima di 5000 N sul cilindro di sezione minore. La pressione che ne risulta si trasmette sulla sezione del cilindro più grande esercitando una forza pari a tre volte quella applicata, cioè pari proprio al peso dell'auto.

18 $$F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = (130\ \text{N}) \frac{70{,}1\ \text{cm}^2}{12{,}8\ \text{cm}^2} = 712\ \text{N}$$

19 $$F_1 = F_2 \frac{S_1}{S_2} = (100\cancel{0}\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) \frac{1}{\cancel{10}} = 9{,}8 \times 10^2\ \text{N}$$

20 $$F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = mg \frac{r_2^2}{r_1^2} = (160\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) \frac{(0{,}055\ \text{m})^2}{(0{,}18\ \text{m})^2} = 1{,}5 \times 10^2\ \text{N}$$

21 $$S_2 = \frac{F_2}{F_1} S_1 \Rightarrow r_2^2 = \frac{F_2}{F_1} r_1^2 \Rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{(2000\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s})}{1200\ \text{N}} (0{,}08\ \text{m})^2} = 0{,}32\ \text{m}$$

22 Il peso della lastra è $F_P = mg = (2{,}00 \times 10^3\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 19{,}6 \times 10^3\ \text{N}$. Il rapporto tra i pesi è uguale a quello tra le superfici dei pistoni, quindi $\frac{S_A}{S_B} = \frac{F}{F_P} = \frac{1{,}23 \times 10^3\ \text{N}}{19{,}6 \times 10^3\ \text{N}} = 6{,}28 \times 10^{-2}$.

Questo valore è pari al quadrato del rapporto tra i raggi, da cui deriva la relazione:

$$\frac{r_A}{r_B} = \sqrt{6{,}28 \times 10^{-2}} = 0{,}251 \approx \frac{1}{4}$$

per cui il rapporto tra i raggi è 1:4.

23 $$\frac{S_A}{S_B} = \frac{F/35}{F} \Rightarrow \frac{r_A^2}{r_B^2} = \frac{1}{35} \Rightarrow 2r_B = 2(0{,}10\ \text{m})\sqrt{35} = 1{,}2\ \text{m}$$

24 $$\frac{m_1 g}{S_1} = \frac{m_2 g}{S_2} \Rightarrow m_1 = m_2 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = 74\ \text{kg}$$

25 Il rapporto dato tra le superfici dei due pistoni è uguale a quello tra la forza esercitata sulla singola pinza e quella applicata al pedale. Quindi, la forza sul pedale è

$$F_{\text{pedale}} = \frac{F_{\text{pinza}}}{15} = \frac{(4{,}2 \pm 0{,}3) \times 10^2\ \text{N}}{15} = (28 \pm 2)\ \text{N}$$

26 PROBLEMA MODELLO a pag. 178

27 Il rapporto tra i raggi è 1:5, quello tra le superfici 1:25, uguale al rapporto tra le forze.
Il peso massimo sollevabile è $F_{P\,\text{max}} = (500\ \text{N}) \times 25 = 1{,}25 \times 10^4\ \text{N}$, la massa massima è:

$$m_{\text{max}} = \frac{F_{P\,\text{max}}}{g} = \frac{1{,}25 \times 10^4\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 1{,}3 \times 10^3\ \text{kg}$$

$$\cancel{\pi} r^2 h = \cancel{\pi} R^2 H \Rightarrow r^2 h = 25 r^2 H \Rightarrow H = \frac{h}{25} = \frac{25\ \text{cm}}{25} = 1{,}0\ \text{cm}$$

3. La legge di Stevino

28 Secondo la legge di Stevino, la pressione esercitata da un liquido è proporzionale alla sua densità e alla profondità. Dal cervello alle gambe la pressione aumenta perché aumenta l'altezza della colonna di sangue sovrastante.

29 No, perché la pressione idrostatica aumenta con la profondità e comprimerebbe la cassa toracica impedendo di respirare. Inoltre, la densità del corpo umano è leggermente minore di quella dell'acqua; quindi, per immergersi in profondità si dovrebbe usare una zavorra.

30 $p = gdh = (9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)(105\ \text{m}) = 1{,}06 \times 10^6\ \text{Pa}$

31 No, la pressione viene esercitata anche sulle pareti laterali del recipiente, proporzionalmente alla profondità.

32 La pressione è la stessa su entrambe le biglie, perché sopra di esse c'è una colonna d'acqua della stessa altezza. Quindi, per la legge di Stevino, la pressione è la stessa.

33 Dalla legge di Stevino si ricava

$$d = \frac{p}{gh} = \frac{1{,}2 \times 10^3\ \text{Pa}}{(9{,}8\ \text{N/kg})(0{,}16\ \text{m})} = 7{,}7 \times 10^2\ \text{kg/m}^3$$

34 $$h = \frac{p}{gd} = \frac{3{,}0 \times 10^5\ \text{Pa}}{(9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)} = 30\ \text{m}$$

35 $$p = p_0 + gdh = 1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa} + \left[(9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)(2000\ \text{m} - 0{,}15\ \text{m})\right] = 2{,}0 \times 10^7\ \text{Pa}$$

$$F = pS = p\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = (2{,}0 \times 10^7\ \text{Pa})\pi(0{,}25\ \text{m})^2 = 3{,}9 \times 10^6\ \text{N}$$

36
- Dalla legge di Stevino, ricaviamo
  $\Delta p = dgh = (1{,}225\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})(462\ \text{m}) = 5{,}5 \times 10^3\ \text{Pa}$
- Il rapporto percentuale vale $\dfrac{\Delta p}{p_{\text{atm}}} = \left(\dfrac{5{,}5 \times 10^3\ \text{Pa}}{1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa}} \times 100\right)\% = 5{,}4\%$.

37 PROBLEMA SVOLTO

38
- Dalla legge di Stevino, ricaviamo $h = \dfrac{p}{gd} = \dfrac{3{,}8 \times 10^7\ \text{Pa}}{(9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)} = 3{,}8 \times 10^3\ \text{m} = 3{,}8\ \text{km}$.
- È trascurabile, perché è di due ordini di grandezza inferiore a quella dell'acqua.

39 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 179.

40 La superficie del portellone è $S = \pi r^2 = \pi(0{,}40\ \text{m})^2 = 0{,}50\ \text{m}^2$.
Alla profondità di 120 m la pressione vale
$p = p_0 + dgh = 1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa} + (1030\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})(120\ \text{m}) = 1{,}31 \times 10^6\ \text{Pa}$
quindi la forza sul portellone vale
$F = pS = (1{,}31 \times 10^6\ \text{Pa})(0{,}50\ \text{m}^2) = 6{,}6 \times 10^5\ \text{N}$
che è anche la forza minima necessaria per aprire il portellone.

41 $p = \dfrac{F}{S} = \dfrac{(1{,}6\times10^3\ \text{N})}{8{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^2} = 2{,}0\times10^5\ \text{Pa}\ ;\ h = \dfrac{p-p_0}{gd} = \dfrac{2{,}0\times10^5\ \text{Pa} - 1{,}01\times10^5\ \text{Pa}}{(9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)} = 9{,}8\ \text{m}$

4. I vasi comunicanti

42 Agli ultimi piani ci troviamo più vicini all'altezza del serbatoio. La pressione in corrispondenza del rubinetto è esercitata dalla colonna d'acqua compresa tra l'altezza del piano e quella del serbatoio: questo tratto diminuisce salendo lungo i piani dell'edificio.

43 Il liquido C raggiunge l'altezza maggiore.

44 All'equilibrio, le pressioni alle basi delle due colonne sono uguali. Per la legge di Stevino:

$$d_{\text{acqua}} g h_{\text{acqua}} = d_{\text{Hg}} g h_{\text{Hg}}$$

$$h_{\text{Hg}} = \frac{d_{\text{acqua}}}{d_{\text{Hg}}} h_{\text{acqua}} = \frac{1000\ \text{kg/m}^3}{13600\ \text{kg/m}^3}(10\ \text{cm}) = 0{,}74\ \text{cm}$$

$$\Delta h = h_{\text{H}_2\text{O}} - h_{\text{Hg}} = 10{,}0\ \text{cm} - 0{,}74\ \text{cm} = 9{,}26\ \text{cm}$$

45
- All'equilibrio, le pressioni alle basi delle due colonne sono uguali. Per la legge di Stevino, si ha

$$d_{\text{acqua}} g h_{\text{acqua}} = d_{\text{olio}} g h_{\text{olio}}\ ;\ h_{\text{olio}} = \frac{d_{\text{acqua}}}{d_{\text{olio}}} h_{\text{acqua}} = \frac{1010\ \text{kg/m}^3}{890\ \text{kg/m}^3}(18\ \text{cm}) = 20\ \text{cm}$$

- $h = h_{\text{acqua}} - h_{\text{olio}} = 2\ \text{cm}$

46
- Dalla relazione $\dfrac{h_1}{h_2} = \dfrac{d_2}{d_1}$ otteniamo $\overline{d}_2 = d_1 \dfrac{\overline{h}_1}{\overline{h}_2} = (1000\ \text{kg/m}^3)\times\dfrac{12{,}1\ \text{cm}}{19{,}8\ \text{cm}} = 611\ \text{kg/m}^3$.
- L'incertezza relativa sulla densità del secondo liquido risulta

$$e_r = \frac{\Delta h_1}{\overline{h}_1} + \frac{\Delta h_2}{\overline{h}_2} = \frac{0{,}2\ \text{cm}}{12{,}1\ \text{cm}} + \frac{0{,}2\ \text{cm}}{19{,}8\ \text{cm}} = 0{,}0266$$

- Quindi l'incertezza sulla densità del secondo liquido risulta

$$\Delta\overline{d}_2 = e_r \overline{d}_2 = e_r d_1 \frac{\overline{h}_1}{\overline{h}_2} = 0{,}0266\times(611\ \text{kg/m}^3) = 16\ \text{kg/m}^3$$

$$d_2 = (6{,}1\pm0{,}2)\times10^2\ \text{kg/m}^3$$

47 La pressione al rubinetto è creata dalla colonna d'acqua compresa tra l'altezza del piano e quella del serbatoio:

$$p = \frac{F}{S} = dgh \Rightarrow h = \frac{F}{Sdg} = \frac{24{,}0\ \text{N}}{(1{,}80\times10^{-4}\ \text{m}^2)(1000\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})} = 13{,}6\ \text{m}$$

48 Il mercurio è in equilibrio (il livello nei due vasi è lo stesso) se le pressioni esercitate dalle due colonne di liquidi sono uguali, cioè se: $p_{\text{atm}} + d_{\text{oliva}} g h_{\text{oliva}} = p_{\text{atm}} + d_{\text{soia}} g h_{\text{soia}}$. Quindi si ricava:

$$d_{\text{soia}} = d_{\text{oliva}} \frac{h_{\text{oliva}}}{h_{\text{soia}}} = (916{,}0\ \text{kg/m}^3)\frac{0{,}1220\ \text{m}}{0{,}1212\ \text{m}} = 922{,}0\ \text{kg/m}^3$$

5. La pressione atmosferica

49 Perché viene schiacciata contro il muro dalla pressione atmosferica.

50 Perché la pressione atmosferica che agisce dall'esterno sulla bottiglia non è più bilanciata da un'uguale pressione esercitata dall'interno: quando beviamo, il volume prima occupato dall'acqua viene riempito dall'aria, che subisce un'espansione; la pressione all'interno della bottiglia diminuisce, fino a un valore inferiore a quello della pressione atmosferica.

51 Il vetro non si rompe perché sulla finestra è esercitata la stessa pressione, e quindi la stessa forza, sia dall'interno che dall'esterno.

52 La pressione esercitata dall'Argon nel braccio di sinistra deve essere uguale a quella esercitata allo stesso livello (stessa riga orizzontale rossa della figura) del braccio destro, perché il mercurio è in equilibrio. La pressione del braccio destro è data dalla somma della pressione atmosferica e della pressione idrostatica esercitata dalla colonna di mercurio alta Δh. Pertanto:

$$p_m = p_0 + d_m g\Delta h\ ;\ \Delta h = \frac{p_m - p_0}{d_m g} = \frac{2,0\times10^5\ \text{Pa} - 1,01\times10^5\ \text{Pa}}{\left(13600\ \text{kg/m}^3\right)\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)} = 0,74\ \text{m}$$

53 $$h = \frac{p_0}{d_{\text{mercurio}} g} = \frac{3,3\times10^4\ \text{Pa}}{\left(13,6\times10^3\ \text{kg/m}^3\right)\left(9,8\ \text{N/kg}\right)} = 0,25\ \text{m}$$

54 $$p_a = d_{\text{Hg}} gh\ ;\ h = \frac{p_a}{d_{\text{Hg}} g} = \frac{9,50\times10^4\ \text{Pa}}{\left(1,36\times10^4\ \text{kg/m}^3\right)\left(9,80\ \text{N/kg}\right)} = 0,713\ \text{m}$$

55 La forza necessaria a staccare la ventosa deve essere uguale e opposta a quella esercitata dall'atmosfera sulla superficie della ventosa. Quindi:
$$F = p_{\text{atm}} S = \left(1,013\times10^5\ \text{Pa}\right)(10\times10^{-2}\ \text{m})^2 = 1,0\times10^3\ \text{N}$$

56
- $F = pS = \left(1,01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(62\times10^{-3}\ \text{m}^2\right) = 6,3\times10^3\ \text{N} = 6,3\ \text{kN}$
- Il valore non cambia.

57 $$F = pS = 2\times\left(1,01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(1\times10^{-4}\ \text{m}^2\right) = 2\times10^1\ \text{N}$$

58 Il cartoncino subisce dall'alto la pressione della colonna d'acqua presente nel bicchiere e dal basso la pressione atmosferica. Calcoliamo la pressione della colonna d'acqua:
$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\left(0,20\ \text{kg}\right)\left(9,8\ \text{N/kg}\right)}{40\times10^{-4}\ \text{m}^2} = 4,9\times10^2\ \text{Pa}$$
Il valore ottenuto è molto inferiore alla pressione atmosferica che è $1,013\times10^5$ Pa , quindi l'acqua non cade dal bicchiere.

59
- $p_{\text{assoluta}} = p_0 + p_{\text{relativa}} = 1,01\times10^5\ \text{Pa} + 2,2\times10^5\ \text{Pa} = 3,2\times10^5\ \text{Pa}$
- Lo pneumatico è sgonfio quando la pressione dell'aria interna è uguale a quella atmosferica: in questo caso nessuna forza risultante tiene in tensione la gomma. Quindi $p_{\text{assoluta}} = p_0$ e $p_{\text{relativa}} = 0$.

60 ■ La pressione agisce sulla superficie della navicella esercitando la forza
$$F_M = p_M \pi R^2 = (600\ \text{Pa})\pi(5,0\ \text{m})^2 = 4,7\times 10^4\ \text{N}$$

■ $$\frac{F_M}{F_T} = \frac{p_M}{p_T} = \frac{600\ \text{Pa}}{1,01\times 10^5\ \text{Pa}} = 5,94\times 10^{-3}$$

61 ■ La forza dovuta alla differenza di pressione vale
$$F = \Delta pS = (30\times 10^2\ \text{Pa})(1,8\ \text{m}^2) = 5,4\times 10^3\ \text{N}$$

■ Direzione orizzontale, perpendicolare al portone, verso l'esterno.

62 PROBLEMA SVOLTO

63 La pressione nei tre casi vale rispettivamente:

$$p_{\text{gas}} = p_{\text{aria}} = 1,01\times 10^5\ \text{Pa}$$

$$p_{\text{gas}} = p_{\text{aria}} - gdh = 1,013\times 10^5\ \text{Pa} - (9,80\ \text{N/kg}\times 13,6\times 10^3\ \text{kg/m}^3\times 0,100\ \text{m}) = 8,80\times 10^4\ \text{Pa}$$

In questo caso la pressione del gas è inferiore a quella atmosferica.

$$p_{\text{gas}} = p_{\text{aria}} + gdh = 1,013\times 10^5\ \text{Pa} + (9,80\ \text{N/kg}\times 13,6\times 10^3\ \text{kg/m}^3\times 0,100\ \text{m}) = 1,15\times 10^5\ \text{Pa}$$

In questo caso la pressione del gas è superiore a quella atmosferica.

Se la pressione del gas è il triplo di quella atmosferica siamo in un caso analogo al c): la colonna di mercurio nel ramo di destra è più alta di h metri rispetto a quella di sinistra, perciò

$$p_{\text{gas}} = p_{\text{aria}} + gdh \quad\Rightarrow\quad h = \frac{p_{\text{gas}} - p_{\text{aria}}}{gd} = \frac{3\times 1,013\times 10^5\ \text{Pa} - 1,013\times 10^5\ \text{Pa}}{(9,80\ \text{N/kg})(13,6\times 10^3\ \text{kg/m}^3)} = 1,52\ \text{m}$$

6. La legge di Archimede

64 No. La spinta di Archimede è la stessa perché, a parità di fluido, dipende solo dalle dimensioni dell'oggetto immerso. La sfera di ferro affonda perché la spinta di Archimede è minore della forza-peso.

65 L'anello non è tutto d'oro. Se lo fosse, due masse uguali dello stesso materiale avrebbero anche lo stesso volume, quindi in acqua risentirebbero della stessa spinta di Archimede e la bilancia sarebbe in equilibrio anche sott'acqua. Invece il piatto con l'anello sale, cioè risente di una maggiore spinta di Archimede, quindi il suo volume è maggiore di quello dell'oro: nell'anello, l'oro è stato tagliato con un metallo di densità minore.

66 Con il dinamometro misura il peso del bullone in aria ($F_{P\ \text{aria}}$). Poi immerge il bullone in acqua e con il dinamometro misura il peso in acqua ($F_{P\ \text{acqua}}$). La differenza è: $F_{P\ \text{aria}} - F_{P\ \text{acqua}} = F_A$. Poiché il volume del bullone è uguale al volume di liquido spostato che compare nella legge di Archimede, il volume cercato è
$$V = \frac{F_A}{d_{\text{acqua}}\, g}.$$

67 Andrea troverà un valore intermedio, perché la forza di Archimede che agisce sul cilindro ha un valore intermedio rispetto a quella esercitata dall'acqua e dall'aria. Infatti per le densità vale: $d_{\text{aria}} < d_{\text{olio}} < d_{\text{acqua}}$.

68 No, il livello dell'acqua rimane lo stesso. Il ghiaccio immerso in acqua risale in superficie perché la sua densità è minore di quella dell'acqua. Il cubetto è in equilibrio, quindi il suo peso uguaglia la spinta di Archimede, cioè:

$$F_P = F_A \;\Rightarrow\; d_{\text{ghiaccio}} V_{\text{tot}}\, g = d_{\text{acqua}} V_{\text{immerso}}\, g \;\Rightarrow\; \frac{V_{\text{immerso}}}{V_{\text{tot}}} = \frac{d_{\text{ghiaccio}}}{d_{\text{acqua}}}$$

Il ghiaccio è meno denso dell'acqua (fra 0 °C e 4 °C), quindi a parità di massa occupa un volume maggiore. Quando il cubetto si scioglie e diventa acqua, il volume occupato diminuisce e l'acqua ottenuta dallo scioglimento di V_{immerso} occupa un volume minore di prima. Passando alle masse:

$$\frac{m_{\text{immerso}} / d_{\text{ghiaccio}}}{m_{\text{tot}} / d_{\text{ghiaccio}}} = \frac{d_{\text{ghiaccio}}}{d_{\text{acqua}}} \;\Rightarrow\; \frac{m_{\text{immerso}}}{d_{\text{ghiaccio}}} = \frac{m_{\text{tot}}}{d_{\text{acqua}}}$$

cioè il volume totale di acqua corrispondente al cubetto sciolto (secondo membro dell'uguaglianza sopra) è uguale al volume della parte di cubetto immersa su cui agisce la spinta (primo membro dell'uguaglianza sopra). Quindi il livello dell'acqua non varia.

69
- Il cubo sale perché la spinta di Archimede è maggiore del suo peso.
- La spinta di Archimede dipende dal volume di cubo immerso in acqua. Finché tutto il cubo è sott'acqua, indipendentemente dalla profondità, la spinta di Archimede è sempre la stessa.
- Quando il cubo comincia a emergere la spinta di Archimede diminuisce. Quando la spinta di Archimede (legata al volume di cubo immerso) è diminuita fino al valore del peso del cubo, esso compie alcune oscillazioni intorno a questa posizione di equilibrio, fino a fermarsi.

70 L'elevata salinità fa sì che la densità media delle acque del Mar Morto sia maggiore del 20% circa di quella delle acque oceaniche; i corpi che galleggiano emergono quindi del 20% in più.

71
$$F_A = F_{P,\text{in aria}} - F_{A,\text{in acqua}} = 120{,}0\ \text{N} - 110{,}4\ \text{N} = 9{,}6\ \text{N}$$

$$V = \frac{F_A}{dg} = \frac{9{,}6\ \text{N}}{\left(997\ \text{kg/m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)} = 9{,}8\times10^{-4}\ \text{m}^3$$

$$d = \frac{F_{P,\text{aria}}}{gV} = \frac{120{,}0\ \text{N}}{\left(9{,}8\times10^{-4}\ \text{m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)} = 1{,}2\times10^{4}\ \text{kg/m}^3$$

72
$$F_P = mg = Vdg = \frac{4}{3}\pi r^3 dg = \frac{4}{3}\pi\left[\left(9\times10^{-3}\ \text{m}\right)^3\left(7{,}9\times10^3\ \text{kg/m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)\right] = 2{,}4\times10^{-1}\ \text{N}$$

$$F_A = dgV = \left(1{,}0\times10^3\ \text{kg/m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)\frac{4}{3}\pi\left(9\times10^{-3}\ \text{m}\right)^3 = 3{,}0\times10^{-2}\ \text{N}$$

73 I volumi dei due basamenti sono

$$V_1 = \left(3{,}2\ \text{m}\right)^3 = 3{,}3\times10\ \text{m}^3$$

$$V_2 = \left(4{,}5\ \text{m}\right)^3 = 9{,}1\times10\ \text{m}^3$$

Sui due basamenti agiscono la forza-peso e la spinta di Archimede, che hanno verso opposto e moduli pari a

$$F_{P1} = F_{P2} = mg = \left(1{,}50\times10^5\ \text{kg}\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right) = 1{,}5\times10^6\ \text{N}$$

$$F_{A1} = d_{\text{acqua}}\, g V_1 = \left(1020\ \text{kg/m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)\left(3{,}3\times10^1\ \text{m}^3\right) = 3{,}3\times10^5\ \text{N}$$

$$F_{A2} = d_{\text{acqua}}\, g V_2 = \left(1020\ \text{kg/m}^3\right)\left(9{,}8\ \text{N/kg}\right)\left(9{,}1\times10^1\ \text{m}^3\right) = 9{,}1\times10^5\ \text{N}$$

Dato che $F_{\max} < \left(F_{P1} - F_{A1}\right)$, il blocco 1 non può essere sollevato, mentre il blocco 2 sì.

74 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 183.

75 PROBLEMA MODELLO a pag. 184

76 Il tuo peso è $F_P = mg = (62\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 6{,}1\times10^2\ \text{N}$. Se galleggi in equilibrio, la spinta di Archimede dovuta al tuo volume immerso uguaglia il tuo peso:

$$F_P = F_A = d_{\text{acqua}}gV_{\text{immerso}} \quad\Rightarrow\quad V_{\text{immerso}} = \frac{F_P}{d_{\text{acqua}}g} = \frac{6{,}1\times10^2\ \text{N}}{(1025\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})} = 6{,}0\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

77 Il palloncino sale verso l'alto poiché è riempito con un gas meno denso dell'aria. La forza risultante è data da: $F = F_A - F_P$ da cui $F_P = F_A - F$. La forza di Archimede è data da: $F_A = d_{\text{aria}}Vg$, quindi:

$$F_P = d_{\text{aria}}Vg - F = (1{,}29\ \text{kg/m}^3)\frac{4}{3}\pi(0{,}25\ \text{m})^3(9{,}8\ \text{m/s}^2) - 0{,}712\ \text{N} = 0{,}115\ \text{N}$$

Trascurando la massa dell'involucro di gomma del palloncino, la massa del gas interno è

$$m_{\text{gas}} = \frac{F_P}{g} = \frac{0{,}115\ \text{N}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}0117\ \text{kg}$$

e la sua densità è $d_{\text{gas}} = \dfrac{m_{\text{gas}}}{V} = \dfrac{0{,}0117\ \text{kg}}{\frac{4}{3}\pi(0{,}25\ \text{m})^3} = 0{,}179\ \text{kg/m}^3$.

78

$$d_{\text{liquido}}gV = (m_{\text{aria}} - m_{\text{acqua}})g$$

$$V = \frac{(m_{\text{aria}} - m_{\text{acqua}})}{d_{\text{liquido}}} = \frac{(316-204)\times10^{-3}\ \text{kg}}{830\ \text{kg/m}^3} = 1{,}35\times10^{-4}\ \text{m}^3$$

$$d_{\text{roccia}} = \frac{m_{\text{aria}}}{V} = \frac{316\times10^{-3}\ \text{kg}}{1{,}35\times10^{-4}\ \text{m}^3} = 2{,}34\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

79

- All'equilibrio si ha $d_{\text{legno}}gV_{\text{totale}} = d_{\text{acqua}}gV_{\text{immerso}}$. Poiché $V_{\text{immerso}} = 0{,}56\ V_{\text{tot}}$, si ricava
  $d_{\text{legno}} = 0{,}56\,d_{\text{acqua}} = 0{,}56\times1{,}03\times10^3\ \text{kg/m}^3 = 5{,}8\times10^2\ \text{kg/m}^3$
- La prima equazione diventa $m_{\text{legno}}g = d_{\text{acqua}}gV_{\text{immerso}}$, da cui
  $V_{\text{immerso}} = \dfrac{m_{\text{legno}}}{d_{\text{acqua}}} = 0{,}67\ \text{m}^3$

80 La spinta ascensionale S è la differenza tra la spinta di Archimede e la forza-peso del pallone:

$$S = F_A - F_P = gV(d_{\text{aria}} - d_{\text{elio}}) = s$$
$$= (9{,}8\ \text{m/s}^2)(6{,}54\times10^4\ \text{m}^3)(1{,}29\ \text{kg/m}^3 - 0{,}179\ \text{kg/m}^3) = 7{,}12\times10^5\ \text{N}$$

81 La spinta di Archimede è verso l'alto e vale: $F_A = d_{\text{aria}}Vg$. La mongolfiera inizia a sollevarsi appena la spinta di Archimede F_A uguaglia la forza-peso totale: $F_P = Mg + d_{\text{elio}}gV$. Dall'uguaglianza, ricaviamo

$$V = \frac{M\cancel{g}}{(d_{\text{aria}} - d_{\text{elio}})\cancel{g}} = \frac{190\ \text{kg}}{(1{,}29\ \text{kg/m}^3 - 0{,}179\ \text{kg/m}^3)} = 171\ \text{m}^3$$

82 Senza carico, la spinta ascensionale è

$$F_A - F_P = (d_{\text{aria}} - d_{\text{idrogeno}})Vg - Mg =$$
$$= (9{,}8\ \text{N/kg})\left[(1{,}29\ \text{kg/m}^3 - 0{,}09\ \text{kg/m}^3)(211890\ \text{m}^3) - 118000\ \text{kg}\right] = 1{,}3\times10^6\ \text{N}$$

Il carico pesa $F_{P,\text{carico}} = mg = (100\,000)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 9{,}8\times10^5\ \text{N}$, cioè un valore inferiore alla spinta ascensionale, quindi il dirigibile è in grado di trasportare il carico.

83 $F_P = mg = Vdg = Vd_{\text{Fe}}g = (5,00\times10^{-5}\text{ m}^3)(7,9\times10^{-5}\text{ kg/m}^3)(9,8\text{ N/kg}) = 3,9\text{ N}$

Se la palla galleggia, si ha $F_P = F_A$, quindi:

$$F_A = F_P = d_{\text{Hg}}gV_{\text{imm}} \quad\Rightarrow\quad V_{\text{imm}} = \frac{F_A}{d_{\text{Hg}}g} = \frac{3,9\text{ N}}{(13550\text{ kg/m}^3)(9,8\text{ N/k})\text{g}} = 2,9\times10^{-5}\text{ m}^3$$

84 L'iceberg è in equilibrio, quindi il suo peso uguaglia la spinta di Archimede:

$$F_P = F_A \;\Rightarrow\; d_{\text{ghiaccio}}V_{\text{iceberg}}g = d_{\text{acqua}}V_{\text{immerso}}g = d_{\text{acqua}}\times\frac{9}{10}V_{\text{iceberg}}g \;\Rightarrow$$

$$d_{\text{ghiaccio}} = \frac{9}{10}d_{\text{acqua}} = 9,2\times10^2\text{ kg/m}^3$$

85 Consideriamo un blocco cubico di ghiaccio di lato L. Posto in acqua, il blocco galleggia, quindi:

$$F_A = F_p \;\Rightarrow\; d_a gV_{\text{imm}} = d_g gV_{\text{tot}} \;\Rightarrow\; d_a gL^2h_{\text{imm}} = d_g gL^3 \;\Rightarrow\; h_{\text{imm}} = \frac{d_g}{d_a}L = \frac{d_g}{d_a}(h_{\text{imm}} + h_{\text{em}})$$

Da qui possiamo dedurre che $\dfrac{h_{\text{em}}}{h_{\text{imm}}} = \dfrac{d_a}{d_g} - 1 = \dfrac{1025\text{ kg/m}^3}{917\text{ kg/m}^3} - 1 = 11,8\%$.

86
- Per la condizione di galleggiamento, la massa della boa è
  $m = d_{\text{acqua}}V_{\text{immerso}} = (1025\text{ kg/m}^3)(0,78\times0,90\text{ m}^3) = 7,2\times10^2\text{ kg}$
- Quindi la densità media della boa vale $d = \dfrac{m}{V} = \dfrac{7,2\times10^2\text{ kg}}{0,90\text{ m}^3} = 8,0\times10^2\text{ kg/m}^3$.

87 D

88 B

89 B

90 C

91 La pressione netta sul timpano è data dalla differenza tra quella atmosferica all'interno del corpo e la pressione esterna di $60,0 \times 10^3$ Pa. La forza risultante è perpendicolare al timpano, dall'interno verso l'esterno del corpo.

$$S = \frac{F}{p} = \frac{1,2\text{ N}}{(8,0-6,0)\times10^4\text{ Pa}} = 60\text{ mm}^2$$

92 La superficie del tappo è $S = \pi r^2 = \pi(4,0\times10^{-2}\text{ m})^2 = 5,0\times10^{-3}\text{ m}^2$. Sul tappo agisce una pressione totale di 0,30 atm, quindi $F = pS = 0,30\times(1,01\times10^5\text{ Pa})(5,0\times10^{-3}\text{ m}^2) = 1,5\times10^2\text{ N}$. La forza agisce in direzione verticale verso il basso.

93
- Ricaviamo la massa dal peso della moneta:
  $$m = \frac{F_P}{g} = \frac{0,40\text{ N}}{9,8\text{ m/s}^2} = 0,04\text{ kg}$$
  Calcoliamo quale dovrebbe essere la massa se la moneta fosse interamente d'oro:
  $$m = dV = dSh = (19300\text{ kg/m}^3)\pi(0,015\text{ m})^2(0,003\text{ m}) = 0,04\text{ kg}$$
  Poiché il valore è lo stesso, possiamo concludere che la moneta è interamente d'oro.
- Consideriamo la moneta di rame con lo stesso diametro e forza-peso:
  $$h = \frac{m}{dS} = \frac{F_P}{gdS} = \frac{0,40\text{ N}}{(9,8\text{ m/s}^2)(8960\text{ kg/m}^3)\pi(0,015\text{ m})^2} = 6,4\times10^{-3}\text{ m}$$
- Immergendo la moneta d'oro in acqua, il suo peso diminuisce per la spinta di Archimede verso l'alto:
  $$F_{P,\text{acqua}} = F_p - F_A = F_p - d_{\text{acqua}}Vg = 0,40\text{ N} - (1000\text{ kg/m}^3)\pi(0,015\text{ m})^2(0,003\text{ m})(9,8\text{ m/s}^2) = 0,38\text{ N}$$
  Il dinamometro segnerà perciò 0,38 N.

94 ▪ $V = \frac{m_{\text{imbarcazione}}}{d_{\text{acqua mare}}} = \frac{100 \text{ kg}}{1028 \text{ kg/m}^3} = 0,0973 \text{ m}^3$

▪ Se l'imbarcazione sposta un volume di acqua di mare pari a 0,0973 m^3 e galleggia, la forza di Archimede e la forza-peso dell'imbarcazione devono essere uguali.
Quindi, il volume immerso è pari a $V_{\text{immerso}} = hS$, da cui si ricava di quanto deve essere immersa l'imbarcazione:

$$h = \frac{V_{\text{immerso}}}{S} = \frac{0,0973 \text{ m}^3}{(1,00 \text{ m})(0,500 \text{ m})} = 0,195 \text{ m}$$

95 ▪ $d = \frac{m}{V} = \frac{F_p}{gV} = \frac{1,18 \text{ N}}{(9,8 \text{ m/s}^2)\frac{1}{3}\pi(0,03 \text{ m})^2(0,15 \text{ m})} = 0,85 \text{ g/mL}$

▪ $p = \frac{F_P}{S} = \frac{1,18 \text{ N}}{\pi(0,03 \text{ m})^2} = 4,2\times10^2 \text{ Pa}$

96 ▪ $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow \frac{k\Delta l}{\pi R_1^2} = \frac{mg}{\pi R_2^2} \Rightarrow \Delta l = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \frac{mg}{k} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \frac{mg}{k} = \frac{1}{9}\frac{(500 \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})}{7,50\times10^3 \text{ N/m}} = 7,3\times10^{-2} \text{ m}$

▪ Lo stesso volume di fluido passa da un pistone all'altro:

$$\cancel{\pi}\frac{D_1^2}{\cancel{4}}\Delta x_1 = \cancel{\pi}\frac{D_2^2}{\cancel{4}}\Delta x_2 \Rightarrow \Delta x_2 = \Delta x_1\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 = (7,3\times10^{-2} \text{ m})\frac{1}{9} = 8,1\times10^{-3} \text{ m}$$

97 Il cilindro affonda perché $d_{\text{Zn}} > d_{\text{H}_2\text{O}}$. Sul cilindro agiscono la forza-peso e la spinta di Archimede:

$F_P = mg = d_{\text{Zn}}Vg$, diretta verticalmente verso il basso, $F_A = d_{\text{H}_2\text{O}}Vg$, diretta verticalmente verso l'alto, dove V è il volume del cilindro $V = \pi r^2 h$. La forza totale che agisce sul cilindro coincide in modulo con la reazione vincolare cercata:

$$F_R = F_{\text{tot}} = F_P - F_A = d_{\text{Zn}}Vg - d_{\text{H}_2\text{O}}Vg = Vg\left(d_{\text{Zn}} - d_{\text{H}_2\text{O}}\right) = \pi r^2 hg\left(d_{\text{Zn}} - d_{\text{H}_2\text{O}}\right) =$$
$$= \pi(1,00\times10^{-2} \text{ m})^2(3,00\times10^{-2} \text{ m})(9,81 \text{ N/kg})(7,10\times10^3 - 1,00\times10^3)\text{kg/m}^3 = 0,564 \text{ N}$$

diretta verticalmente verso l'alto.

98 Quando l'oggetto è immerso completamente si ha $F_P - F_A = 1,50$ N. Quindi:

$m_o g - m_{\text{acqua}} g = 1,50 \text{ N} \Rightarrow 1,96 \text{ N} - d_{\text{acqua}}V_{\text{acqua}}g = 1,50 \text{ N} \Rightarrow$

$d_{\text{acqua}}V_{\text{acqua}}g = 1,96 \text{ N} - 1,50 \text{ N} = 0,46 \text{ N}$

Il volume dell'acqua spostata, che è pari a volume dell'oggetto immerso, è

$$V_{\text{acqua}} = V_o = \frac{0,46 \text{ N}}{(1,00\times10^3 \text{ kg/m}^3)(9,80 \text{ N/kg})} = 4,7\times10^{-5}\text{m}^3$$

La densità dell'oggetto è

$$d_o = \frac{m_o}{V_o} = \frac{0,200 \text{ kg}}{4,7\times10^{-5} \text{ m}^3} = 4,3\times10^3 \text{ kg/m}^3 = 4,3 \text{ g/cm}^3$$

99
- $p_{tot} = p_a + dgh = 1{,}013\times10^5\ \text{Pa} + (1000\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{m/s}^2)(2\ \text{m}) = 1{,}2\times10^5\ \text{Pa}$
- $F = p_{tot}S = (1{,}2\times10^5\ \text{Pa})(1{,}0\times10^{-4}\ \text{m}^2) = 12\ \text{N}$
- Non si rompe perché nella parte interna del timpano è presente la pressione atmosferica. La pressione risultante risulta allora solamente di $2{,}3\times10^4\ \text{Pa}$, alla quale corrisponde una forza risultante di 2,3 N.

100 $F = pS = (ghd)\pi r^2 = (9{,}8\ \text{m/s}^2)(20\ \text{m})(1{,}03\times10^3\ \text{kg/m}^3)\pi(0{,}30\ \text{m})^2 = 5{,}7\times10^4\ \text{N}$

101
- $\dfrac{F_P}{F_{max}} = \dfrac{mg}{F_{max}} = \dfrac{(1000\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{350\ \text{N}} = 28$
- $\dfrac{F_P}{A} = \dfrac{F_{max}}{A_{tubo}} \Rightarrow \dfrac{F_P}{F_{max}} = \dfrac{A}{A_{tubo}} \Rightarrow A = \dfrac{F_P}{F_{max}}A_{tubo} = 28\left[\dfrac{\pi}{4}(4{,}00\ \text{cm})^2\right] = 352\ \text{cm}^2$

102
- L'olio sale dalla parte aperta verso l'alto, perché la pressione nella camera è maggiore di quella atmosferica.
- Il dislivello è dato da $h = \dfrac{\Delta p}{dg} = \dfrac{1800\ \text{Pa}}{(850\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})} = 21{,}6\ \text{cm}$.
- $p_{max} = p_0 + h_{max}dg = (32{,}0\times10^{-2}\ \text{m})(850\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 1{,}04\times10^5\ \text{Pa}$

103 $F_A = F_P + T \Rightarrow T = d_{acqua}gV - d_S gV \le T_{max} \Rightarrow$

$$d_S \ge d_{acqua} - \frac{3T_{max}}{4\pi r^3 g} = 1025\ \text{kg/m}^3 - \frac{3\times1{,}7\times10^3\ \text{N}}{4\pi(0{,}60\ \text{m})^3(9{,}8\ \text{N/kg})} = 8{,}3\times10^2\ \text{kg/m}^3$$

104
- $d = \dfrac{m}{V} = \dfrac{100\times10^{-3}\ \text{kg}}{60{,}5\times10^{-6}\ \text{m}^3} = 1{,}65\times10^3\ \text{kg/m}^3$
- $F_A = d_x gV_{imm} = mg \Rightarrow$

$$d_x = \frac{m}{V_{imm}} = \frac{m}{A_b h_{imm}} = \frac{m}{\frac{V}{h_{tot}}h_{imm}} = \frac{m}{V}\frac{h_{tot}}{h_{imm}} = \frac{100\times10^{-3}\ \text{kg}}{60{,}5\times10^{-6}\ \text{m}^3}\frac{9{,}75\times10^{-2}\ \text{m}}{6{,}15\times10^{-2}\ \text{m}} = 2{,}62\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

105 Il peso dell'anfora è $F_P = mg = (95\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 931\ \text{N}$.

La spinta di Archimede sull'anfora vale

$F_A = d_{acqua}gV_{anfora} = (1030\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})(38\times10^{-3}\ \text{m}^3) = 3{,}8\times10^2\ \text{N}$

Quindi il pallone, per emergere, deve risentire di una spinta di Archimede pari almeno a

$F_{A\ pallone} = F_P - F_A = 931\ \text{N} - 3{,}8\times10^2\ \text{N} = 5{,}5\times10^2\ \text{N}$

$$V_{pallone} = \frac{F_{A\ pallone}}{gd_{acqua}} = \frac{5{,}5\times10^2\ \text{N}}{(9{,}8\ \text{N/kg})(1030\ \text{kg/m}^3)} = 0{,}054\ \text{m}^3 = 54\ \text{dm}^3$$

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 D

2 C

3 B

4 A

5 $\frac{F_P}{A} = \frac{F}{A_{\text{tubo}}} \Rightarrow A = \frac{F_P}{F} A_{\text{tubo}} = \frac{(1000\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})}{350\ \text{N}} \left[\frac{\pi}{4}(0{,}400\,\text{m})^2 \right] = 3{,}5\ \text{m}^2$

6 $p_1 = p + \Delta p = p + gd\Delta h = 7{,}8\ \text{kPa} + \left(9{,}8\ \text{N/kg} \times 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg/m}^3 \times 1{,}00\ \text{m}\right) = 18\ \text{kPa}$

7 La spinta di Archimede equilibra la forza-peso della boa e la tensione T della fune, per cui si ha:

$$F_A = F_P + T \quad \Rightarrow \quad T = F_A - F_P = d_{\text{acqua}} g V_{\text{boa}} - m_{\text{boa}} g = g\left(d_{\text{acqua}} V_{\text{boa}} - m_{\text{boa}}\right) =$$

$$= (9{,}8\ \text{N/kg})\left(1020\ \text{kg/m}^3 \times 0{,}015\ \text{m}^3 - 4{,}0\ \text{kg}\right) = 1{,}1 \times 10^2\ \text{N}$$

8 La pressione esercitata su ciascun oblò del robot sottomarino a $3{,}0 \times 10^2$ m di profondità è la somma della pressione dovuta alla colonna d'acqua sovrastante il robot (Stevino) e la pressione atmosferica standard:

$$p = p_0 + p_{fluido} = 1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa} + \left(1{,}03 \times 10^3\ \text{kg/m}^3\right)(9{,}80\ \text{N/kg})\left(3{,}00 \times 10^2\,\text{m}\right) =$$

$$= 1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa} + 30{,}3 \times 10^5\ \text{Pa} = 31{,}3 \times 10^5\ \text{Pa}$$

L'area dell'oblò è $S = \pi r^2 = \pi(0{,}150\ \text{m})^2 = 7{,}07 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$.

Per cui la forza richiesta è $F = pA = \left(3{,}13 \times 10^6\ \text{Pa}\right)\left(7{,}07 \times 10^{-2}\ \text{m}^2\right) = 2{,}21 \times 10^5\ \text{N}$.

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1
- No.
- No.
- Sì.
- Sì.

2
- Poiché la profondità è nulla, anche la pressione è nulla.
- Applicando la legge di Stevino, otteniamo
  $p_h = dgh = \left(1000\,\text{kg/m}^3\right)(9{,}8\ \text{N/kg})(10\,\text{m}) = 9{,}8 \times 10^4\ \text{Pa}$

3 Calcoliamo la forza-peso che si esercita su ciascun mezzo:
$F_P = (2000\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 2{,}0\times10^4\ \text{N}$

L'area a contatto con il terreno dei due cingoli è $S_c = 2(3{,}0\ \text{m})(0{,}30\ \text{m}) = 1{,}8\ \text{m}^2$, mentre quella delle ruote è $S_r = 4(0{,}30\ \text{m})(0{,}20\ \text{m}) = 0{,}24\ \text{m}^2$

Quindi, la pressione a terra del mezzo coi cingoli è $p_c = \dfrac{F_P}{S_c} = \dfrac{2{,}0\times10^4\ \text{N}}{1{,}8\ \text{m}^2} = 1{,}1\times10^4\ \text{Pa}$, mentre quella del mezzo su ruote è $p_r = \dfrac{F_P}{S_r} = \dfrac{2{,}0\times10^4\ \text{N}}{0{,}24\ \text{m}^2} = 8{,}3\times10^4\ \text{Pa}$. Notiamo che la pressione a terra per il mezzo su ruote è molto maggiore di quello cingolato. Come conseguenza, su terreni cedevoli come sabbia o fango il mezzo su ruote tende a sprofondare molto di più, giungendo molto più facilmente a impantanarsi.

4 Il peso della vettura è $F_p = mg = (1200\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 1{,}2\times10^4\ \text{N}$ e il pallone deve quindi sostenere

$\dfrac{1{,}2\times10^4\ \text{N}}{2} = 6{,}0\times10^3\ \text{N}$

Questa forza agisce su una superficie di area 0,20 m^2 ed è quindi necessaria una pressione:

$p = \dfrac{F_\perp}{S} = \dfrac{6{,}0\times10^3\ \text{N}}{0{,}20\ \text{m}^2} = 3{,}0\times10^4\ \text{Pa}$

5 Il peso di galleggiante, piombino, filo e amo deve essere uguale alla spinta di Archimede sulla porzione immersa del galleggiante. Il volume immerso è $V = \dfrac{4}{3}\pi r^3 : 2 = \dfrac{4}{3}\times3{,}14\times\left(1{,}5\times10^{-2}\ \text{m}\right)^3 : 2 = 7{,}1\times10^{-6}\ \text{m}^3$, quindi la spinta di Archimede è $F_A = \left(1000\,\text{kg/m}^3\right)\left(7{,}1\times10^{-6}\ \text{m}^3\right)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 7{,}0\times10^{-2}\ \text{N}$.
Questo è anche il valore della forza-peso dei vari oggetti.

6
- L'area del portellone è data da $S = \pi r^2 = 3{,}14(6{,}0\,\text{m})^2 = 1{,}1\times10^2\ \text{m}^2$. La forza della pressione atmosferica su di esso è $F = pS = \left(1{,}01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(1{,}1\times10^2\ \text{m}^2\right) = 1{,}1\times10^7\,\text{N}$. Questa forza non è compensata da una forza opposta dalla parte interna, visto che è stato fatto il vuoto.
- La forza-peso sul treno è $F_P = mg = \left(500\times10^3\ \text{kg}\right)(9{,}8\,\text{N}/\text{kg}) = 4{,}9\times10^6\ \text{N}$. La forza calcolata in precedenza è circa il doppio del peso del treno.

7 Il tappo è sottoposto a una forza dovuta alla pressione interna dei gas, a una forza dovuta alla pressione atmosferica e a una forza di attrito statico con il collo della bottiglia; su di esso agisce anche la forza-peso, che però è trascurabile rispetto alle altre. La pressione interna è maggiore di quella esterna e la risultante delle forze dovute alle pressioni è quindi diretta verso l'esterno. Il tappo è trattenuto al suo posto solo dall'attrito statico con la bocca della bottiglia; l'attrito statico ha però un valore massimo e il tappo salta quando la forza che tende a far uscire il tappo supera tale valore. L'area della bocca della bottiglia è $S = \pi r^2 = 3{,}14\left(1{,}5\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2 = 7{,}1\times10^{-4}\ \text{m}^2$.

La forza dello spumante sul tappo è quindi $F_i = pS = \left(2{,}5\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(7{,}1\times10^{-4}\ \text{m}^2\right) = 1{,}8\times10^2\ \text{N}$, mentre quella dell'aria all'esterno è $F_e = pS = \left(1{,}01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(7{,}1\times10^{-4}\ \text{m}^2\right) = 72\,\text{N}$.

La forza risultante, che tende a far uscire il tappo, è $F_i - F_e = 1{,}8\times10^2\ \text{N} - 72\,\text{N} = 1{,}1\times10^2\ \text{N}$ e corrisponde alla forza di attrito statico massimo tra tappo e collo della bottiglia. Questa forza corrisponde al peso di una massa di circa 11 kg.

8 $F_P = (150\,\text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 1,5\times10^3\ \text{N}$

La forza-peso del carico si scarica sull'estremità del braccio meccanico che è incernierato all'altra estremità; si tratta quindi di una leva di terzo genere nella quale la forza-peso è la forza resistente e la forza esercitata dal pistone grande quella motrice. Detta F_1 la forza esercitata dal pistone grande, per l'equilibrio della leva possiamo scrivere
$F_1(40\,\text{cm}) = (1500\,\text{N})(190\,\text{cm})$ e quindi $F_1 = 7,1\times10^3$ N.
Le superfici dei pistoni hanno aree
$S_1 = \pi r_1^2 = 3,14(6,0\ \text{cm})^2 = 1,1\times10^2\ \text{cm}^2$; $S_2 = \pi r_2^2 = 3,14(0,80\ \text{cm})^2 = 2,0\ \text{cm}^2$

Per la legge di Pascal possiamo scrivere
$$\frac{7,1\times10^3\ \text{N}}{F_2} = \frac{1,1\times10^2\ \text{cm}^2}{2,0\ \text{cm}^2} \quad\Rightarrow\quad F_2 = 1,3\times10^2\ \text{N}$$
Notiamo che, nonostante la leva svantaggiosa, la forza da esercitare è meno di un decimo di quella da vincere per sollevare il carico.

9
- L'acqua versata nella provetta assume la forma di un cilindro. Il volume di un cilindro è dato da area di base per altezza. Invertendo la formula e tenendo conto che l'area di base corrisponde alla sezione, troviamo l'altezza della colonna d'acqua:
$$h = \frac{V}{S} = \frac{300\,\text{cm}^3}{12\,\text{cm}^2} = 25\,\text{cm}$$
Usiamo la legge di Stevino e ricaviamo la pressione idrostatica:
$$p_{\text{acqua}} = dgh = (1000\,\text{kg/m}^3)(9,8\ \text{N/kg})(0,25\ \text{m}) = 2,5\times10^3\ \text{Pa}$$
- Il peso dell'olio è $F_P = (0,40\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg}) = 3,9\ \text{N}$, quindi la pressione idrostatica che l'olio esercita sull'acqua sottostante è $p_{\text{olio}} = \frac{F_\perp}{S} = \frac{3,9\ \text{N}}{1,2\times10^{-3}\ \text{m}^2} = 3,3\times10^3\ \text{Pa}$.
La pressione idrostatica totale è quindi $p_{\text{acqua}} + p_{\text{olio}} = 2,5\times10^3\ \text{Pa} + 3,3\times10^3\ \text{Pa} = 5,8\times10^3\ \text{Pa}$.

10 Il volume dell'acqua è $V = \frac{m}{d_1} = \frac{50\,\text{g}}{1,0\ \text{g/cm}^3} = 50\,\text{cm}^3$, quindi la colonna d'acqua nel tubo ha un'altezza
$$h_1 = \frac{V}{S} = \frac{50\,\text{cm}^3}{10\,\text{cm}^2} = 5,0\ \text{cm}$$
Visto che il dislivello tra acqua e l'altro liquido è 2,0 cm, la corrispondente colonna dell'altro liquido ha altezza
h_2 = 5,0 cm – 2,0 cm = 3,0 cm
L'equazione per vasi comunicanti contenenti liquidi diversi è
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}$$
da cui
$$d_2 = \frac{h_1}{h_2}d_1 = \frac{5,0\,\text{cm}}{3,0\,\text{cm}}(1000\,\text{kg/m}^3) = 1,7\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

11 ▪ Il peso del carico viene compensato dalla spinta di Archimede del volume immerso aggiuntivo. Calcoliamo il peso del carico $F_P = (1000\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 9{,}8\times10^3\ \text{N}$.

Impostiamo poi l'uguaglianza tra forza-peso aggiuntiva e spinta di Archimede:

$F_A = d_{H_2O} V_{\text{aggiuntivo}} g = 9{,}8\times10^3\ \text{N} \;\Rightarrow\; V_{\text{aggiuntivo}} = 1{,}0\ \text{m}^3$

Questo volume corrisponde a quello di un parallelepipedo di altezza 5 cm e lunghezza 10 m, per cui la larghezza è

$$l = \frac{1{,}0\ \text{m}^3}{(0{,}050\ \text{m})(10\,\text{m})} = 2{,}0\ \text{m}$$

▪ La chiatta è immersa per almeno 1,5 m, per cui il volume immerso minimo è $V = (2{,}0\ \text{m})(10\,\text{m})(1{,}5\ \text{m}) = 30\,\text{m}^3$.

Quindi, la spinta di Archimede minima, che per l'equilibrio corrisponde al peso, è $F_A = d_{H_2O} V g = 2{,}9\times10^5\ \text{N} = F_p$.

La massa minima della chiatta è $F_p = \dfrac{2{,}9\times10^5\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 3{,}0\times10^4\ \text{kg}$.

12 Se versiamo acqua nel bicchiere, questo scende fino a che il bordo si trova a filo della superficie dell'acqua. Versando ancora un po' d'acqua, il bordo va sotto alla superficie, entra altra acqua e il bicchiere va a fondo.
Il volume della parte di bicchiere che inizialmente resta fuori dall'acqua è

$$V = \pi(0{,}03\ \text{m})^2(0{,}03\ \text{m}) = 8{,}5\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

Quando il bicchiere si trova col bordo a filo della superficie la spinta di Archimede aggiuntiva rispetto a quando si trova con il bordo fuori per 30 mm è data da

$$F_A = (1000\,\text{kg/m}^3)(8{,}5\times10^{-5}\ \text{m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 0{,}83\ \text{N}$$

Questa forza è pari alla forza-peso dell'acqua aggiunta, la cui massa è quindi

$$m = \frac{0{,}83\ \text{N}}{9{,}8\ \text{N/kg}} = 0{,}085\ \text{kg} = 85\,\text{g}$$

13 La forza necessaria a mantenere immerso un corpo di massa trascurabile è uguale in modulo alla spinta di Archimede su tale corpo. Possiamo quindi scrivere $F = F_A = dVg$ e ricavare la densità del fluido:

$$d = \frac{F_A}{Vg} = \frac{4{,}5\,\text{N}}{(34\times10^{-6}\ \text{m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})} = 1{,}4\times10^4\ \text{kg/m}^3$$

Usando la legge di Stevino troviamo infine la pressione idrostatica:

$$p_h = dgh = (1{,}4\times10^4\ \text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})(0{,}80\ \text{m}) = 1{,}1\times10^5\ \text{Pa}$$

14 Consideriamo il blocco di alluminio. Il suo volume è $V_{Al} = l^3 = (0{,}18\ \text{m})^3 = 5{,}8\times10^{-3}\ \text{m}^3$ e il suo peso è

$F_{P,Al} = d_{Al}V_{Al}g = (2700\,\text{kg/m}^3)(5{,}8\times10^{-3}\ \text{m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 1{,}5\times10^2\ \text{N}$

La spinta di Archimede alla quale è sottoposto vale $F_{A,Al} = d_{H_2O}V_{Al}g = (1000\,\text{kg/m}^3)(5{,}8\times10^{-3}\ \text{m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 57\,\text{N}$

Il blocco è sottoposto a tre forze: la tensione del filo e la spinta di Archimede verso l'alto e la forza-peso verso il basso. All'equilibrio, la somma di queste tre forze è nulla: $T + F_A - F_P = 0$. Sostituiamo i valori numerici appena trovati e ricaviamo $T = 93\,\text{N}$.

Il blocco di legno è sottoposto alle stesse forze di quello di alluminio, con la differenza che la forza del filo è diretta verso il basso. Se vogliamo che il blocco non affondi, la spinta di Archimede su di esso deve essere maggiore della somma tra la forza-peso e la tensione del filo:

$F_{A,\text{legno}} \geq T + F_{P,\text{legno}}$

Possiamo riscrivere la disequazione come

$$d_{H_2O}V_{\text{legno}}g \geq d_{\text{legno}}V_{\text{legno}}g + T \quad \Rightarrow \quad (d_{H_2O} - d_{\text{legno}})V_{\text{legno}}g \geq T \quad \Rightarrow \quad V_{\text{legno}} \geq \frac{T}{(d_{H_2O} - d_{\text{legno}})g}$$

Sostituendo i valori numerici si ottiene

$$V_l \geq \frac{93\,\text{N}}{(1000\,\text{kg/m}^3 - 850\,\text{kg/m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg})} = 6{,}3\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

15
- Facciamo riferimento al problema modello 75. Indichiamo con d_p la densità del polistirolo e calcoliamo il suo volume V_{tot}:

  $V_{\text{tot}} = l^3 = (0{,}2\ \text{m})^3 = 8{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3$

  Per il cubetto di polistirolo vale l'uguaglianza $\frac{V}{V_{tot}} = \frac{d_p}{d}$, da cui otteniamo

  $$V = \frac{d_p}{d}V_{\text{tot}} = \frac{30\,\text{kg / m}^3}{1000\,\text{kg / m}^3}(8{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3) = 2{,}4\times10^{-4}\ \text{m}^3 = 240\,\text{cm}^3$$

  Ricaviamo la profondità di immersione dividendo il volume immerso per l'area di base: $h = \frac{240\,\text{cm}^3}{(20\,\text{cm})^2} = 0{,}60\ \text{cm}$.

- Il blocchetto di ferro ha volume $V_{Fe} = \frac{m}{d_{Fe}} = \frac{3\,\text{kg}}{7800\,\text{kg/m}^3} = 3{,}8\times10^{-4}\ \text{m}^3 = 380\,\text{cm}^3$, quindi la spinta di Archimede alla quale è sottoposto vale

  $F_A = d_{H_2O}V_{Fe}g = (1000\,\text{kg/m}^3)(3{,}8\times10^{-4}\ \text{m}^3)(9{,}8\ \text{N/kg}) = 3{,}8\ \text{N}$

  Il peso del blocco di ferro è $F_P = mg = (3\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 29\,\text{N}$. Il blocco è sottoposto a tre forze: la tensione del filo e la spinta di Archimede verso l'alto e la forza-peso verso il basso. All'equilibrio, la somma di queste tre forze è nulla $T + F_A - F_P = 0$. Sostituiamo i valori numerici appena trovati e ricaviamo $T = 25\,\text{N}$. La tensione del filo comporta una forza verso il basso sul cubo di polistirolo. Per compensare questa forza aggiuntiva verso il basso, il cubetto di polistirolo deve abbassarsi in modo da aumentare il volume immerso e conseguentemente la spinta di Archimede. La spinta di Archimede del volume immerso aggiuntivo deve equivalere a 25 N:

  $F_A = d_{H_2O}V_{P,\text{aggiuntivo}}g = 25\,\text{N}$

  Sostituiamo i valori noti e otteniamo $V_{P,\text{aggiuntivo}} = 2{,}6\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 2600\,\text{cm}^3$. Calcoliamo l'altezza di questo volume aggiuntivo dividendo per l'area di base:

  $$h = \frac{2600\,\text{cm}^3}{(20\,\text{cm})^2} = 6{,}5\ \text{cm}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 6

La velocità

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il punto materiale in movimento

pag. 189

Anna.

2. La velocità media e istantanea

pag. 192

La velocità media è nulla; la velocità media di percorrenza è $\frac{2(s_2 - s_1)}{2\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{\Delta t}$.

4. Il grafico spazio-tempo

pag. 196

In *C*, dove il coefficiente angolare della retta tangente al grafico è maggiore.

5. Il moto rettilineo uniforme

pag. 198

Si percorrono 6 km in 6 min e 100 m in 6 s.

Tecnologia e sviluppo sostenibile – Gli effetti ambientali della diminuzione dei limiti di velocità

Fermati a pensare a pag. 205

- Alla velocità di 110 km/h si impiega un tempo

  $$t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{100\,\text{km}}{110\,\text{km/h}} = 0{,}91\,\text{h} = 55\ \text{min}$$

  Alla velocità di 130 km/h si impiega un tempo

  $$t_2 = \frac{s}{v_2} = \frac{100\,\text{km}}{130\,\text{km/h}} = 0{,}77\,\text{h} = 46\ \text{min}$$

  Alla velocità di 110 km/h si impiegano 9 minuti in più.
- Per le auto diesel si ha una variazione emissioni pari a circa

  $$\frac{1{,}06 - 1{,}00}{1{,}06} \approx 0{,}06 = 6\%$$

TEST

1 C
2 B
3 D
4 C
5 C
6 C
7 A
8 B
9 A
10 E
11 C
12 B
13 A
14 B

ESERCIZI

1. Il punto materiale in movimento

1

Moto di	Segmento	Arco di circonferenza	Spirale	Circonferenza
Ascensore	×			
Punta di un cavatappi			×	
Bambina su altalena		×		
Cavallo di una giostra per bambini				×

2 Linea retta; circonferenza.

3 Il pallone è fermo rispetto a Claudio, quindi la traiettoria è un punto. Nel sistema di riferimento di Luigi la traiettoria è una circonferenza.

4
- Punto;
- segmento che si sviluppa in avanti rispetto all'origine del sistema di riferimento;
- segmento che si sviluppa indietro rispetto all'origine del sistema di riferimento.

5 Circonferenza; curva cicloide.

6 $P_1(-3; -2)$; $P_2(2;4)$

2. La velocità media e istantanea

7 $\Delta t = (12 \text{ h } 54 \text{ min} - 12 \text{ h } 10 \text{ min}) = 44 \text{ min} = 2640 \text{ s}$

8
- $\Delta t_{\text{treno}} = t_2 - t_1 = 7 \text{ h } 45 \text{ min} - 7 \text{ h } 05 \text{ min} = 40 \text{ min}$

  $\Delta t_{\text{pullman}} = t_4 - t_3 = 7 \text{ h } 55 \text{ min} - 6 \text{ h } 50 \text{ min} = 1 \text{ h } 05 \text{ min}$
- $\Delta t = (\Delta t_{\text{pullman}} - \Delta t_{\text{treno}}) = (1 \text{ h } 05 \text{ min} - 0 \text{ h } 40 \text{ min}) = 25 \text{ min}$

9
- $\Delta l_1 = l_2 - l_1 = (48 - 13) \text{ km} = 35 \text{ km}$
- $\Delta l_2 = l_{\text{tot}} - l_1 = (90 - 13) \text{ km} = 77 \text{ km}$

10 Nel primo caso entrambe le grandezze valgono 9 m; nel secondo lo spostamento è $\Delta s = -6$ m, mentre la distanza percorsa è pari a 6 m.

11 $v_{\text{Roma}} = \dfrac{13,5}{3,6} \text{ m/s} = 3,8 \text{ m/s}$

$v_{\text{Parigi/Berlino}} = \dfrac{23}{3,6} \text{ m/s} = 6,4 \text{ m/s}$

12 $39897 \text{ km/h} = \dfrac{39897}{3,6} \text{ m/s} = 11082,5 = 1,1 \times 10^4 \text{ m/s}$

13 $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{100 \text{ m}}{9,58 \text{ s}} = 10,4 \text{ m/s}$

$v = 1(0,4 \text{ m/s})\left(\dfrac{3600 \text{ s/h}}{1000 \text{ m/km}}\right) = 37,6 \text{ km/h}$

14
- $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{1 \times 10^3 \text{ m}}{(15 \times 60) \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$
- $v = (1 \text{ m/s}) \dfrac{3600 \text{ s/h}}{1000 \text{ m/km}} = 4 \text{ km/h}$

15
- Per Vettel $v_{m,\text{V}} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{61 \times 5,063 \text{ km}}{1 \text{ h} + \dfrac{58}{60} \text{ h} + \dfrac{33,667}{3600} \text{ h}} = 156,3 \text{ km/h}$
- Per Leclerc $v_{m,\text{L}} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{61 \times 5,063 \text{ km}}{1 \text{ h} + \dfrac{58}{60} \text{ h} + \dfrac{36,308}{3600} \text{ h}} = 156,2 \text{ km/h}$

  $\Delta v_m = (156,3 - 156,2) \text{ km/h} = 0,1 \text{ km/h}$

16 $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = -\dfrac{16,1 \times 10^3 \text{ m}}{(12 \times 60) \text{ s}} = -22,36 \text{ m/s} = -80,5 \text{ km/h}$

17 $v_{m,\text{andata}} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{50 \text{ m}}{30 \text{ s}} = 1,7 \text{ m/s}$; $v_{m,\text{ritorno}} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = -\dfrac{50 \text{ m}}{33 \text{ s}} = -1,5 \text{ m/s}$

18 Prima fase: l'atleta corre nel verso negativo, la sua velocità media è $v_1 = -\frac{100 \text{ m}}{12,3 \text{ s}} = -8,13 \text{ m/s}$.

Seconda fase: la velocità media è $v_1 = \frac{100 \text{ m}}{11,9 \text{ s}} = 8,40 \text{ m/s}$.

19
- Il valore più attendibile della velocità media è $\overline{v}_m = \frac{\overline{\Delta s}}{\overline{\Delta t}} = \frac{0,256 \text{ m}}{4,8 \text{ s}} = 5,33 \times 10^{-2} \text{ m/s}$.
- L'incertezza relativa su v_m è $e_r = \frac{\Delta(\Delta s)}{\overline{\Delta s}} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\overline{\Delta t}} = \frac{0,3 \text{ cm}}{25,6 \text{ cm}} + \frac{0,1 \text{ s}}{4,8 \text{ s}} = 0,0326$

  quindi l'incertezza assoluta su v_m è

  $\Delta(v_m) = e_r \times \overline{v}_m = 0,0326 \times 5,33 \times 10^{-2} \text{ m/s} \approx 2 \times 10^{-3} \text{ m/s} = 0,2 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

  Così il risultato ottenuto si scrive come $(5,3 \pm 0,2) \times 10^{-2} \text{ m/s}$.

20 PROBLEMA SVOLTO

21
- In totale la calciatrice ha percorso la distanza $\Delta l = 28 \text{ m} + 39 \text{ m} = 67 \text{ m}$ nel tempo

  $\Delta t = 3,7 \text{ s} + 5,5 \text{ s} = 9,2 \text{ s}$

  Quindi la sua velocità media di percorrenza è $v_{mp} = \frac{67 \text{ m}}{9,2 \text{ s}} = 7,3 \text{ m/s}$.

- Lo spostamento totale della calciatrice è $\Delta s = +28 \text{ m} + (-39 \text{ m}) = -11 \text{ m}$, quindi la sua velocità media sull'intero precorso è

  $$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{-11 \text{ m}}{9,2 \text{ s}} = -1,2 \text{ m/s}$$

22 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 213.

▶ 3. Formule inverse: quanta strada, quanto tempo

23 No, in media percorri 0,5 km in 1 min. Infatti, applicando la formula della velocità media, si ha:

$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{30 \text{ km}}{60 \text{ min}} = \frac{1 \text{ km}}{2 \text{ min}}$ quindi percorri 1 km in 2 minuti

24 La distanza in linea d'aria tra Milano e Bologna è di 201 km:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{201 \text{ km}}{252 \text{ km/h}} = 0,80 \text{ h} = 48 \text{ min}$$

25
- $\Delta s = v_m \Delta t = (20 \text{ km/h})(8,0 \text{ h}) = 1,6 \times 10^2 \text{ km}$
- $\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{575 \text{ km}}{20 \text{ km/h}} = 28,75 \text{ h} = 1 \text{ d } 5 \text{ h}$

26 $v = \frac{120}{3,6} \text{m/s} = 33 \text{ m/s}$; $\Delta s = v_m \Delta t = (33 \text{ m/s})(3,0 \text{ s}) \approx 100 \text{ m}$

27 ▪ $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{40\text{ km}}{24\text{ h}} = 1{,}7\text{ km/h} = 0{,}46\text{ m/s}$

▪ $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v_m} = \dfrac{1000\text{ km}}{1{,}7\text{ km/h}} = 588\text{ h} = 25\text{ d}$

28 $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v_m} = \dfrac{1000\text{ cm}}{45\text{ cm/d}} = 22\text{ d}$

29 $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \dfrac{\Delta s}{v_m} = \dfrac{1500\text{ m}}{8{,}0\text{ m/s}} = 1{,}9\times 10^2\text{ s}$

30 ▪ $\Delta s_{\text{tot}} = (110+90+80)\text{ km} = 280\text{ km};\ \Delta t_{\text{tot}} = 4{,}0\text{ h}$

▪ $v_m = \dfrac{\Delta s_{\text{tot}}}{\Delta t_{\text{tot}}} = \dfrac{280\text{ km}}{4{,}0\text{ h}} = 70\text{ km/h}$

▪ $\Delta t = \dfrac{\Delta s_{\text{tot}}}{v_m'} = \dfrac{280\text{ km}}{130\text{ km/h}} = 2{,}15\text{ h}$

31 PROBLEMA SVOLTO

32 $\Delta s_{\text{tot}} = \Delta s_1 + \Delta s_2 = (200+300)\text{ km} = 500\text{ km}$

$\Delta t_1 = \dfrac{\Delta s_1}{v_1} = \dfrac{200\text{ km}}{80\text{ km/h}} = 2{,}5\text{ h};\ \Delta t_2 = \dfrac{\Delta s_2}{v_2} = \dfrac{300\text{ km}}{120\text{ km/h}} = 2{,}5\text{ h};\ \Delta t_{\text{tot}} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 5{,}0\text{ h}$

$v_m = \dfrac{\Delta s_{\text{tot}}}{\Delta t_{\text{tot}}} = \dfrac{500\text{ km}}{5{,}0\text{ h}} = 1{,}0\times 10^2\text{ km/h}$

33 ▪ $v_m = \dfrac{2{,}8\times 10^4}{3{,}6}\text{ m/s} = 7{,}78\times 10^3\text{ m/s};\ \Delta s_{\text{orbita}} = 2\pi\left(6{,}735\times 10^6\text{ m}\right) = 4{,}230\times 10^7\text{ m};\ \Delta t_{\text{giorno}} = 86\,400\text{ s}$

$\Delta s_{\text{giorno}} = v_m \times \Delta t_{\text{giorno}} = \left(7{,}78\times 10^3\text{ m/s}\right)\left(86{,}400\text{ s}\right) = 672\times 10^6\text{ m}$

$\text{n° orbite/giorno} = \dfrac{\Delta s_{\text{giorno}}}{\Delta s_{\text{orbita}}} = \dfrac{672\times 10^6\text{ m}}{4{,}230\times 10^7\text{ m}} = 15{,}8 \approx 16$

▪ $\Delta s_{\text{lumaca}} = (0{,}013\text{ m/s})(86\,400\text{ s}) = 1{,}1\times 10^3\text{ m}$

34 $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v} = \dfrac{1{,}7\text{ m}}{10^2\text{ m/s}} = 1{,}7\times 10^{-2}\text{ s} \approx 0{,}02\text{ s}$

35 ▪ $t_{\text{lento}} = \dfrac{\Delta s}{v_m} = \dfrac{60\text{ km}}{40\text{ km/h}} = 1{,}5\text{ h}$

$t_{\text{veloce}} = t_{\text{lento}} - 3{,}0\text{ min} = 87\text{ min} = 1\text{ h }27\text{ min}$

▪ $v_{\text{veloce}} = \dfrac{\Delta s}{t_{\text{veloce}}} = \dfrac{60\text{ km}}{(87\text{ min})/(60\text{ min/h})} = 41\text{ km/h}$

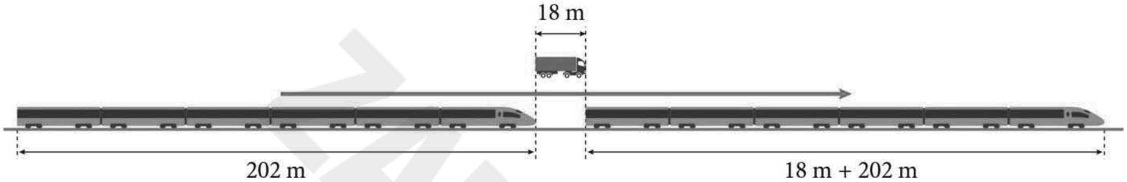
36 ■ La velocità media di Kipchoge a Vienna è $v_{m,\mathrm{V}} = \dfrac{42195\ \mathrm{m}}{(2\times 3600-20)\ \mathrm{s}}\left(3{,}6\,\dfrac{\mathrm{km/h}}{\mathrm{m/s}}\right) = 21{,}156\ \mathrm{km/h}$.

■ La velocità media ottenuta a Berlino è $v_{m,\mathrm{B}} = 21{,}156\ \mathrm{km/h} - 0{,}345\ \mathrm{km/h} = 20{,}811\ \mathrm{km/h}$.

■ Quindi il tempo ottenuto alla maratona di Berlino risulta

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_{m,\mathrm{B}}} = \frac{42{,}195\ \mathrm{km}}{20{,}811\ \mathrm{km/h}} = 2{,}0275\ \mathrm{h} = 2\ \mathrm{h} + 0{,}0275\times(60\ \mathrm{min}) =$$
$$= 2\ \mathrm{h} + 1{,}65\ \mathrm{min} = 2\ \mathrm{h} + 1\ \mathrm{min} + 0{,}65\times(60\ \mathrm{s}) = 2\ \mathrm{h} + 1\ \mathrm{min} + 39\ \mathrm{s}$$

37 Il sorpasso ha inizio nel momento in cui l'estremità anteriore della motrice del treno raggiunge l'estremità posteriore del rimorchio dell'autotreno e si conclude quando l'estremità posteriore del treno supera quella anteriore del camion (v. figura).



Quindi lo spazio percorso dal treno durante il sorpasso è $\Delta s = 18\ \mathrm{m} + 202\ \mathrm{m} = 220\ \mathrm{m}$

e il tempo necessario a percorrerlo è $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v_m} = \dfrac{220\ \mathrm{m}}{\dfrac{300}{3{,}6}\ \mathrm{m/s}} = 2{,}64\ \mathrm{s}$.

▶ 4. Il grafico spazio-tempo

38 ■ La velocità è positiva nel primo tratto, da 0 s a t_A.

■ La velocità è negativa nel terzo e nel quarto tratto, da t_B a t_D.

■ Il treno è fermo da a t_A a t_B.

39 v_A, v_C, v_D, v_B

40 $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{(2200-1500)\ \mathrm{m}}{(5-3)\ \mathrm{min}} = \dfrac{700\ \mathrm{m}}{(2\ \mathrm{min})(60\ \mathrm{s/min})} = 5{,}83\ \mathrm{m/s}$

41 $v_m = \dfrac{\Delta s_{4-1}}{\Delta t} = \dfrac{2\ \mathrm{m}}{3\ \mathrm{s}} = 0{,}7\ \mathrm{m/s}$

42 PROBLEMA SVOLTO

43 ■ $v_{m,A} = \dfrac{s_A - s_0}{\Delta t} = \dfrac{7\ \mathrm{m} - 3\ \mathrm{m}}{1{,}0\ \mathrm{s}} = 4\ \mathrm{m/s}$

■ $v_{m,B} = \dfrac{s_B - s_0}{\Delta t} = \dfrac{10\ \mathrm{m} - 6\ \mathrm{m}}{2{,}0\ \mathrm{s}} = 2\ \mathrm{m/s}$

44 ■ $v_{AB} = \dfrac{s_B - s_A}{\Delta t} = \dfrac{(0-2)\ \mathrm{m}}{(0{,}6-0{,}2)\ \mathrm{s}} = -5\ \mathrm{m/s}$

■ $v_P = \dfrac{(-1{,}5)\ \mathrm{m}}{(0{,}7-0{,}4)\ \mathrm{s}} = -5\ \mathrm{m/s}$

45

- È ferma per 0,5 h dall'istante di partenza.
- La velocità è maggiore nel tratto compreso tra 1,5 h e 2 h.

$$v_{\max} = \frac{(100-40)\ \text{km}}{(2-1{,}5)\ \text{h}} = 120\ \text{km/h}$$

- Nell'ultimo tratto il verso del moto si inverte: $v_{\text{ultimo}} = \frac{(140-170)\ \text{km}}{(3{,}5-3)\ \text{h}} = -\frac{30\ \text{km}}{0{,}5\ \text{h}} = -60\ \text{km/h}$.

46 All'istante $t = 0$ s il pedone inizia a muoversi da A, la velocità $v_{AB} = \frac{s_B - s_A}{\Delta t} = \frac{(0-1)\ \text{m}}{(2-0)\ \text{s}} = -0{,}5\ \text{m/s}$.

Continua alla stessa velocità per un altro metro, fino C, dove arriva all'istante $t = 4$ s. Poi torna indietro e cammina per 3 s nella direzione opposta fino al punto D. La velocità media in questo tratto è

$$v_{CD} = \frac{s_D - s_C}{\Delta t} = \frac{[2-(-1)]\text{m}}{(7-4)\text{s}} = 1\ \text{m/s}$$

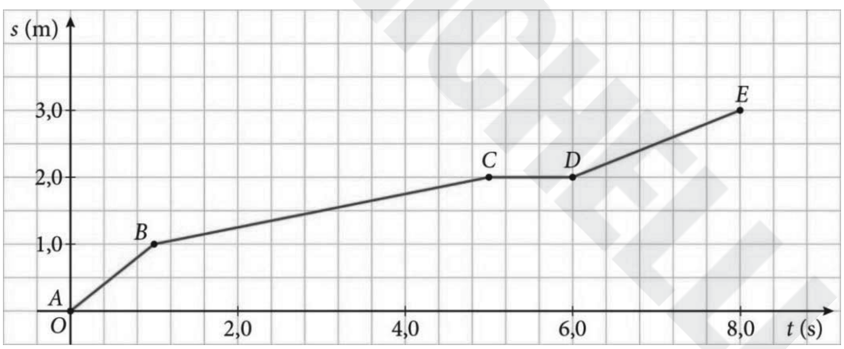
Il pedone si ferma per 3 s (punto E), poi continua nella stessa direzione per 2 s e raggiunge il punto F. La velocità in questo tratto è $v_{EF} = \frac{s_F - s_E}{\Delta t} = \frac{(3-2)\text{m}}{(12-10)\text{s}} = 0{,}5\ \text{m/s}$.

Poi torna indietro verso il punto di partenza e arriva in G dopo 3 s con una velocità

$$v_{FG} = \frac{s_G - s_F}{\Delta t} = \frac{(0-3)\text{m}}{(15-12)\text{s}} = -1\ \text{m/s}$$

47 PROBLEMA MODELLO pag. 216

48

- 

- Nel tratto AB il ramarro si muove alla velocità $v_{m\,AB} = \frac{\Delta s_{AB}}{\Delta t_{AB}} = \frac{(1{,}0-0{,}0)\ \text{m}}{(1{,}0-0{,}0)\ \text{s}} = 1{,}0\ \text{m/s}$.

  Nel tratto BC il ramarro prosegue alla velocità $v_{m\,BC} = \frac{\Delta s_{BC}}{\Delta t_{BC}} = \frac{(2{,}0-1{,}0)\ \text{m}}{(5{,}0-1{,}0)\ \text{s}} = 0{,}25\ \text{m/s}$.

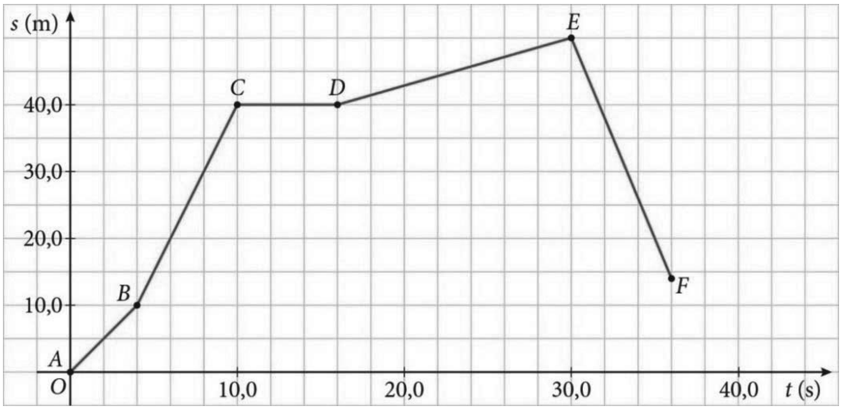
  Nel tratto CD il ramarro si ferma.

  Nel tratto DE il ramarro ricomincia a muoversi alla velocità $v_{m\,DE} = \frac{\Delta s_{DE}}{\Delta t_{DE}} = \frac{(3{,}0-2{,}0)\ \text{m}}{(8{,}0-6{,}0)\ \text{s}} = 0{,}50\ \text{m/s}$.

  Nei primi 5,0 s la velocità media è $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(2{,}0-0{,}0)\ \text{m}}{(5{,}0-0{,}0)\ \text{s}} = 0{,}40\ \text{m/s}$.

- La velocità è maggiore nel tratto AB; è maggiore la pendenza.
- Nei primi 5,0 s la distanza percorsa è di 2,0 m.

49

- 

- La velocità è maggiore nel tratto *BC* poiché è maggiore la pendenza.
- Roberta si ferma nel tratto *CD*; nell'intervallo di tempo Δt_{CD} la posizione non cambia.
- Roberta resta ferma per 6 s.
- Nel tratto *DE* Roberta riprende a camminare. Nel tratto *EF* Roberta torna indietro.
- La velocità media nel tratto *EF* è:
- $$v_{m\,EF} = \frac{\Delta s_{EF}}{\Delta t_{EF}} = \frac{(14,0-50,0)\ \text{m}}{(36,0-30,0)\ \text{s}} = \frac{-36,0\ \text{m}}{6,0\ \text{s}} = -6,0\ \text{m/s}$$

50

- Nel primo tratto (0 s − 2 s) il corpo rimane fermo, nel secondo (2 s – 4 s) si muove con velocità media positiva e percorre 3 m, nel terzo (4 s – 6 s) torna indietro con velocità media negativa e percorre 4 m, nel quarto (6 s – 7 s) continua il moto nella stessa direzione ma diminuisce la velocità e percorre 1 m, mentre nel quinto (7 s – 9 s) si ferma.
- $$v_1 = \frac{(1-1)\,\text{m}}{(2,0-0,0)\ \text{s}} = 0\ \text{m/s}\ ;\ v_2 = \frac{(4-1)\ \text{m}}{(4,0-2,0)\ \text{s}} = 1,5\ \text{m/s}$$
  $$v_3 = \frac{(0-4)\ \text{m}}{(6,0-4,0)\ \text{s}} = -2,0\ \text{m/s}\ ;\ v_4 = \frac{(-1-0)\ \text{m}}{(7,0-6,0)\ \text{s}} = -1,0\ \text{m/s}\ ;\ v_5 = \frac{[-1-(-1)]\ \text{m}}{(9,0-7,0)\ \text{s}} = 0\ \text{m/s}$$

51

- $$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10\ \text{m}}{11\ \text{s}} = 0,91\ \text{m/s}$$
- $$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{4\ \text{m}}{3\ \text{s}} = 1,3\ \text{m/s} \simeq 1\ \text{m/s}$$
- $t = 4$ s e $t = 6$ s
- $t = 3$ s

COMPITI
CAPITOLO 6. La velocità
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

52

- Serena parte subito fortissima, poi inizia gradualmente a rallentare e crolla dopo i 640 m. Chiara invece parte con ritmo moderato, accelerando in progressione continua fino all'arrivo, con un timido *sprint* negli ultimi 180 m. Martina invece parte molto lenta, non riesce a rimontare su Chiara: accelerando negli ultimi 100 m riesce solo ad aggiudicarsi il secondo posto.
- Dal grafico possiamo individuare i tratti più ripidi nei quali ciascuna ragazza ha fatto registrare la velocità maggiore:

  Serena tra 0 m e 120 m: $v_{\text{Serena}} = \dfrac{120\text{ m} - 0\text{ m}}{15\text{ s} - 0\text{ s}} = \dfrac{120\text{ m}}{15\text{ s}} = 8\text{ m/s}$

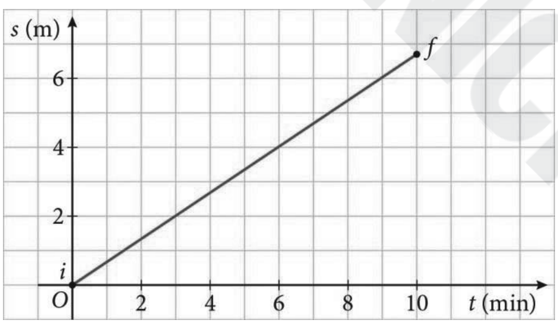
  Chiara tra 820 m e 1000 m: $v_{\text{Chiara}} = \dfrac{1000\text{ m} - 820\text{ m}}{225\text{ s} - 195\text{ s}} = \dfrac{180\text{ m}}{30\text{ s}} = 6\text{ m/s}$

  Martina tra 900 m e 1000 m: $v_{\text{Martina}} = \dfrac{1000\text{ m} - 900\text{ m}}{245\text{ s} - 230\text{ s}} = \dfrac{100\text{ m}}{15\text{ s}} = 6{,}7\text{ m/s}$

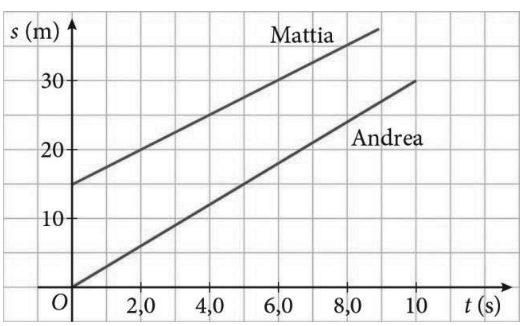
  La velocità maggiore è quella di Serena tra 0 m e 120 m.
- Chiara vince la gara perché arriva a 1000 m in 225 s.

5. Il moto rettilineo uniforme

53 $s_i = 0$ km all'istante $t_f = 10$ min, quindi $s_f = vt = (40\text{ km/h})\left(\dfrac{10\text{ min}}{60\text{ min/h}}\right) = 6{,}7\text{ km}$.



54



55

- $v_A = \dfrac{(7{,}0 - 1{,}0)\text{ km}(1000\text{ m/km})}{(4{,}0 - 0)\text{ min}(60\text{ s/min})} = 25\text{ m/s}$; $v_B = \dfrac{(5{,}0 - 3{,}0)\text{ km}(1000\text{ m/km})}{(4{,}0 - 0)\text{ min}(60\text{ s/min})} = 8{,}3\text{ m/s}$
- Nel punto di intersezione tra le due rette A e B le due automobili si sorpassano.

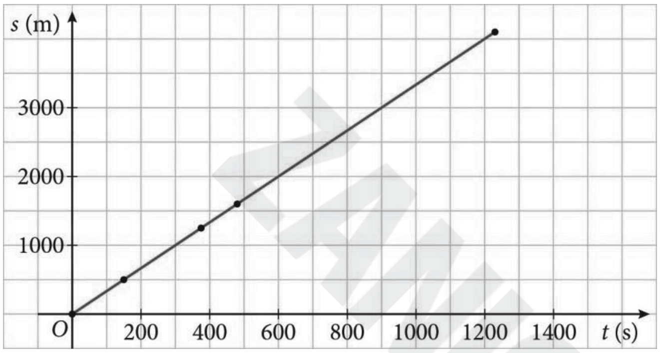
56 ▪ A: $v_A = \dfrac{(80,0-0,0)\ \text{km}}{(80,0-0,0)\,\text{min}\left(\dfrac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\right)} = +60\ \text{km/h}$; B: $v_B = \dfrac{(0,0-40,0)\ \text{km}}{(40,0-0,0)\,\text{min}\left(\dfrac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\right)} = -60\ \text{km/h}$

▪ Il punto d'intersezione delle due rette determina l'istante di tempo e la posizione in cui avviene l'incontro tra le due automobili. (Le due automobili si incontrano all'istante t = 20,0 min e in s = 20,0 km.)

57 ▪ Considerando $t_1 = 0$ s e $s_1 = 0$ m, si ha P_0: $s_1 = 0$ m; $t_1 = 0$ s ; P_1: $s_2 = s_1 + 500\ \text{m} = 500\ \text{m}$; $t_2 = 150$ s ;

P_2: $s_3 = s_2 + 750\ \text{m} = 1250\ \text{m}$; $t_3 = t_2 + 225\ \text{s} = 375\ \text{s}$; P_3: $s_4 = s_3 + 350\ \text{m} = 1600\ \text{m}$; $t_4 = t_3 + 105\ \text{s} = 480\ \text{s}$

P_4: $s_5 = s_4 + 2500\ \text{m} = 4100\ \text{m}$; $t_5 = t_4 + 750\ \text{s} = 1230\ \text{s}$



▪ In tutti i tratti la velocità è costante $\left(v_m = \dfrac{500\ \text{m}}{150\ \text{s}} = \dfrac{750\ \text{m}}{225\ \text{s}} = \dfrac{350\ \text{m}}{105\ \text{s}} = \dfrac{2500\ \text{m}}{750\ \text{s}} = 3{,}33\ \text{m/s}\right)$, quindi il podista si muove di moto rettilineo uniforme. Si nota anche graficamente che i 5 punti giacciono sulla stessa retta.

58 $s = (0{,}4\ \text{mm/d})(30\ \text{d}) = 12\ \text{mm} \simeq 1\ \text{cm}$

59 L'intervallo temporale trascorso dal lancio alla posizione di massima vicinanza è dato dalla differenza delle date di arrivo e di partenza:

14 luglio 2015 – 19 gennaio 2006 = 9 a (di cui 2 bisestili) + 176 d

$t = (9\ \text{a} \times 365\ \text{d/a} + 2 + 176)\ \text{d} = 3463\ \text{d} = 2{,}99 \times 10^8\ \text{s}$

$s = v_m t$

Quindi la distanza percorsa è $s = (2{,}99 \times 10^8\ \text{s})(16{,}26\ \text{km/s}) = 4{,}86 \times 10^9\ \text{km}$.

60 $36\ \text{km/h} = \dfrac{36\ \text{km} \times 1000\ \text{m/km}}{1\ \text{h} \times 3600\ \text{s/h}} = 10\ \text{m/s}$

Per attraversare un'aula lunga 10 m, l'atleta impiegherebbe:

$t = \dfrac{s}{v} = \dfrac{10\ \text{m}}{10\ \text{m/s}} = 1\ \text{s}$

per cui impiegherebbe circa 1 s.

61 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 218.

62
- $v = 30\ \text{km/h} = \dfrac{30}{3,6}\ \text{m/s} = 8,33\ \text{m/s}$
- $s = s_0 + vt = 0\ \text{m} + (8,33\ \text{m/s})t = (8,33\ \text{m/s})t$
- $s(11\ \text{s}) = (8,33\ \text{m/s})(11\ \text{s}) = 92\ \text{m}$
- $t = \dfrac{s}{v} = \dfrac{7000,0\ \text{m}}{8,33\ \text{m/s}} = 840\ \text{s} = 14\ \text{min}$

63 $v = \dfrac{s}{t} = \dfrac{5800\,\text{km}}{3,67\,\text{h}} = 1,58 \times 10^3\ \text{km/h}$

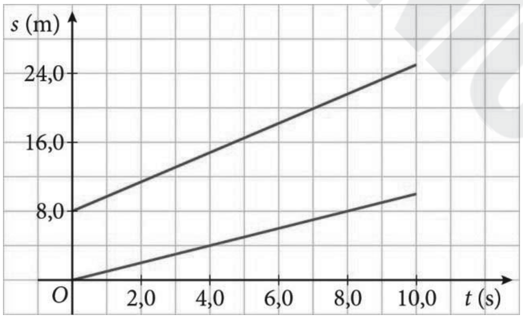
La distanza da Parigi è $d_1 = vt_1 = (1,58 \times 10^3\ \text{km/h})(0,75\,\text{h}) = 1,2 \times 10^3\ \text{km}$.

La seconda distanza va calcolata per un tempo di volo di 2 h e 5 min, per cui si ha:

$$d_2 = vt_2 = (1,58 \times 10^3\ \text{km/h})(2,08\,\text{h}) = 3,29 \times 10^3\ \text{km}$$

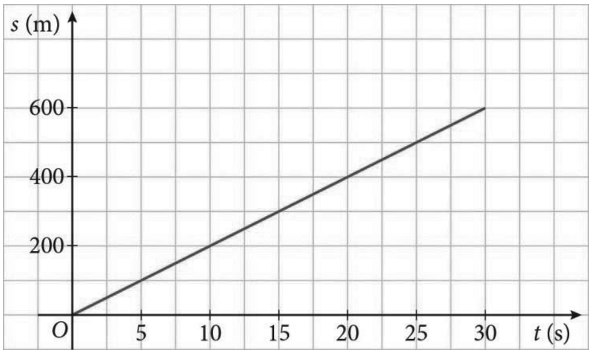
64
- $s = s_0 + vt = 8,2\ \text{m} + (1,7\ \text{m/s})t$
- $s(5,0\ \text{s}) = 8,2\ \text{m} + (1,7\ \text{m/s})(5,0\ \text{s}) = 16,7\ \text{m}$
- $t = \dfrac{s - s_0}{v} = \dfrac{(10,0 - 8,2)\,\text{m}}{1,7\ \text{m/s}} = 1,1\ \text{s}$

65



Le due rette non si intersecano.

66 $2s = vt \;\Rightarrow\; s = \dfrac{1}{2}vt = \dfrac{(1450\ \text{m/s})(0,50\ \text{s})}{2} = 3,6 \times 10^2\ \text{m}$

67
- 

- $s = vt = (20\ \text{m/s})(30 - 10)\text{s} = 4,0 \times 10^2\ \text{m}$

68 PROBLEMA MODELLO a pag. 219

69 $s_A = v_A t = (120\ \text{km/h})t$; $s_B = s_0 + v_B t = 65{,}6\ \text{km} - (90\ \text{km/h})t$

Le due auto si incontrano quando $s_A = s_B$, quindi:

$$t = \frac{65{,}6\ \text{km}}{210\ \text{km/h}} = 0{,}31\ \text{h} = 18\ \text{min}\ 43\ \text{s}$$

70
- Consideriamo come origine il castello di A:

  $s_A = v_A t = (17\ \text{km/h})t$

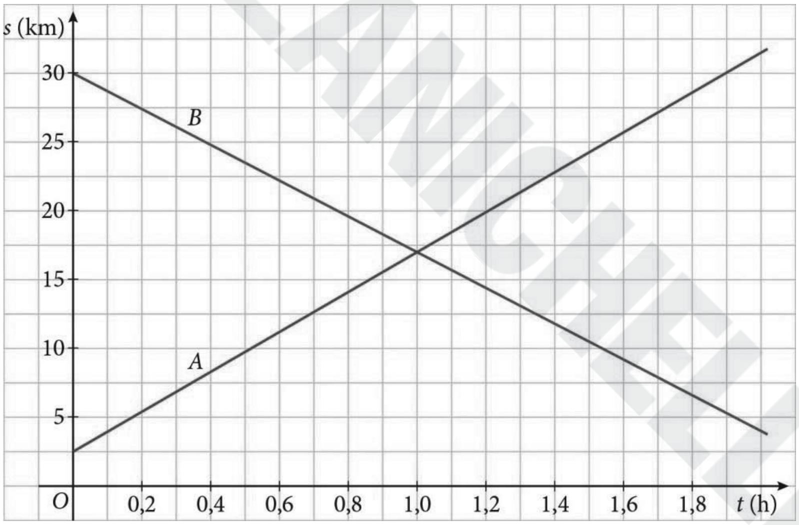
  $s_B = v_B t + s_0 = (-13\ \text{m/s})t + 30\ \text{km}$

- L'istante di tempo in cui si incontrano è dato da

  $$s_A = s_B \Rightarrow (17\ \text{km/h})t = (-13\ \text{km/h})t + 30\ \text{km} \Rightarrow [(17+13)\ \text{km/h}]t = 30\ \text{km} \Rightarrow t = \frac{30\ \text{km}}{30\ \text{km/h}} = 1{,}0\ \text{h}$$

  Il punto di incontro ha una distanza dal castello di A pari a

  $s = vt = (17\ \text{km/h})(1{,}0\ \text{h}) = 17\ \text{km}$



71
- Considerando come origine $s = 0$ m la posizione dell'autogrill: $s_{auto} = (130\ \text{km/h})t$. In 3,0 min il camion transitato per primo ha percorso

  $$s = vt = (100\ \text{km/h})\left(\frac{3{,}0\ \text{min}}{60\ \text{min/h}}\right) = 5{,}0\ \text{km}$$

  $s_{camion} = s_0 + v_{camion} t = 5{,}0\ \text{km} + (100\ \text{km/h})t$

- $s_{auto} = s_{camion} \Rightarrow (130\ \text{km/h})t = 5{,}0\ \text{km} + (100\ \text{km/h})t$

  $$t = \frac{5{,}0\ \text{km}}{30\ \text{km/h}} = 0{,}17\ \text{h} = 10\ \text{min}$$

- $s_{auto} = (130\ \text{km/h})(0{,}17\ \text{h}) = 22\ \text{km}$

72

- Nell'intervallo Δt =10 min, Martina ha già percorso una distanza:

  $s_0 = v_M t = (4,0 \text{ m/s})(600 \text{ s}) = 2,4 \times 10^3 \text{ m}$

  Le leggi orarie di Martina e Laura sono:

  $s_M = s_0 + v_M t = 2,4 \times 10^3 \text{ m} + (4,0 \text{ m/s})t$; $s_L = v_L t = (10 \text{ m/s})t$

- All'incontro: $s_L = s_M$ si ha

  $$v_L t = s_0 + v_M t \Rightarrow \left(\frac{36,0}{3,6}\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)t = 2,4 \times 10^3 \text{ m} + (4,0 \text{ m/s})t$$

  Risolvendo rispetto a t si ottiene $t = 4,0 \times 10^2$ s.

73

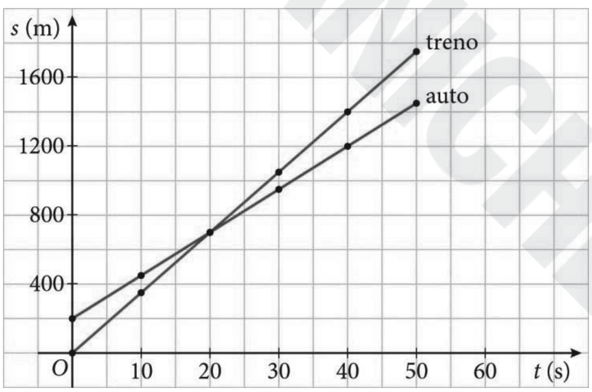
- $s_{\text{treno}} = vt = (35 \text{ m/s})t$: $s_{\text{auto}} = vt + s_0 = (25 \text{ m/s})t + 200 \text{ m}$

- L'istante di tempo in cui il treno raggiunge l'automobile si ricava partendo dalla relazione:

  $s_{\text{treno}} = s_{\text{auto}} \Rightarrow (35 \text{ m/s})t = (25 \text{ m/s})t + 200 \text{ m} \Rightarrow [(35-25)\text{ m/s}]t = 200 \text{ m} \Rightarrow t = 20 \text{ s}$

  Ricavato l'istante, è possibile determinare anche la posizione:

  $s_{\text{treno}} = (35 \text{ m/s})t = (35 \text{ m/s})(20 \text{ s}) = 7,0 \times 10^2 \text{ m} = 0,70 \text{ km}$.

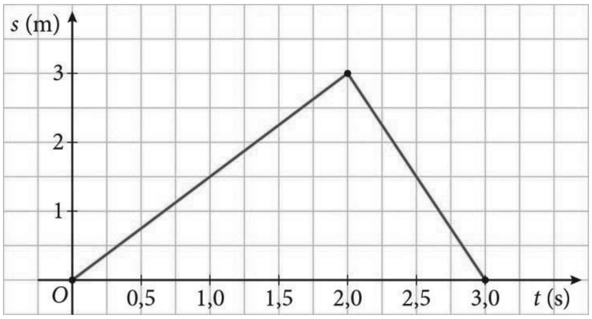


6. Grafici spazio-tempo e velocità-tempo

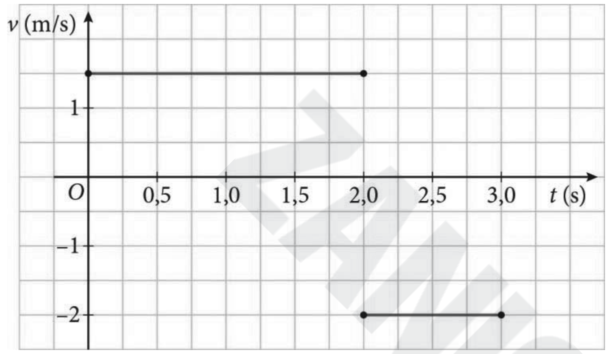
74 Mostra un oggetto fermo.

75 Fino all'istante t = 4 s la mosca si muove con la stessa velocità, tra 4 s e 6 s si muove con una velocità più elevata. All'istante t = 6 s la mosca inverte il verso del moto e si muove con velocità costante fino all'istante t = 7 s. Fra t = 7 s e t = 10 s rallenta il suo moto ma mantiene il verso contrario.

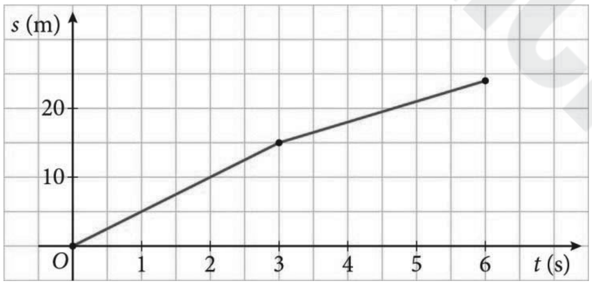
76 ■

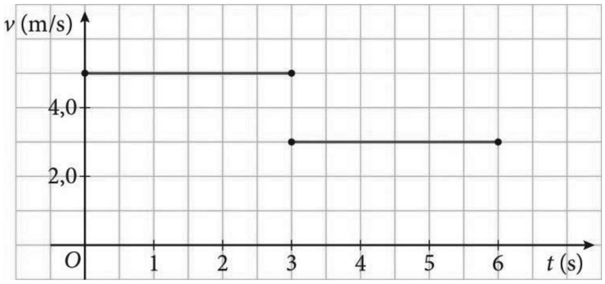

s (m)
3
2
1
O
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
t (s)

■

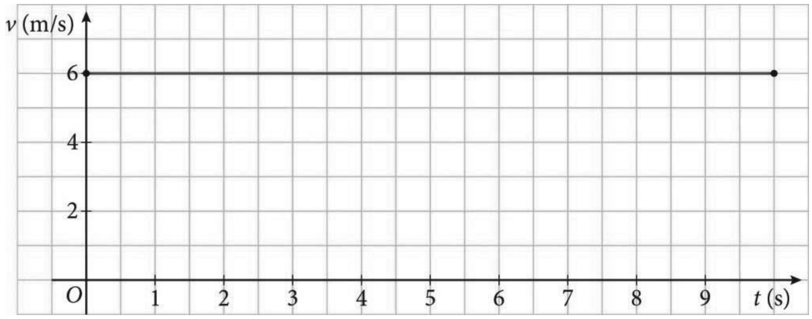

v (m/s)
1
O
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
t (s)
–1
–2

77

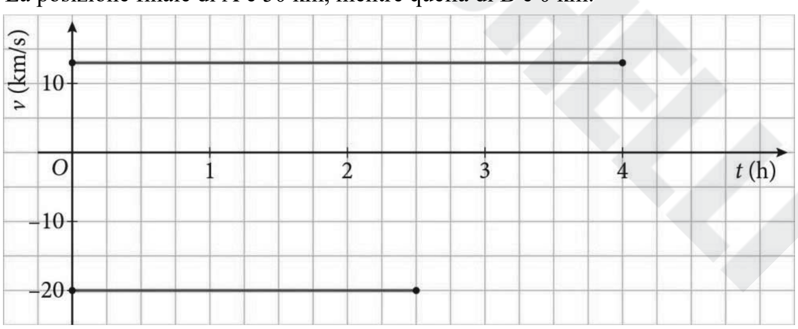

s (m)
20
10
O
1
2
3
4
5
6
t (s)


v (m/s)
4,0
2,0
O
1
2
3
4
5
6
t (s)

78 $v = \dfrac{60\text{ m}}{10\text{ s}} = 6,0\text{ m/s}$



79
- A è nella posizione 0 km, B nella posizione 50 km.
- $v_A = \dfrac{\Delta s_A}{\Delta t_A} = \dfrac{(50-0)\text{ km}}{(4-0)\text{ h}} = 12,5\text{ km/h} = 13\text{ km/h}$; $v_B = \dfrac{\Delta s_B}{\Delta t_B} = \dfrac{(0-50)\text{ km}}{(2,5-0)\text{ h}} = -20\text{ km/h}$
- Graficamente si ha $t = 1,5$ h.
- A è nella posizione 50 km, B nella posizione 0 km.
- Legge oraria per il ciclista A: $s_A = (13\text{ km/h})t$

  Legge oraria per il ciclista B: $s_B = 50\text{ km} - (20\text{ km/h})t$
- I due ciclisti si incontrano provenendo da città diverse, poi proseguono.
  La posizione finale di A è 50 km, mentre quella di B è 0 km.
- 

80
- $v_M = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{(64,0-0,0)\text{ m}}{(8,0-0,0)\text{ s}} = 8,0\text{ m/s}$; $v_L = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{(64,0-16,0)\text{ m}}{(8,0-0,0)\text{ s}} = 6,0\text{ m/s}$
- Marco: $s_0 = 0\text{ m}$; $t_0 = 0\text{ s} \Rightarrow s = v_M t = (8,0\text{ m/s})t$

  Luca: $s_0 = 16\text{ m}$; $t_0 = 0\text{ s} \Rightarrow s = v_L t = 16\text{ m} + (6,0\text{ m/s})t$
- All'incontro: $v_M t = s_0 + v_L t \Rightarrow (8,0\text{ m/s})t = 16\text{ m} + (6,0\text{ m/s})t$
  da cui $t = 8,0$ s, come si poteva ricavare dal grafico.
- $s = 100$ m, quindi $t_M = \dfrac{100,0\text{ m}}{8,0\text{ m/s}} = 12,5\text{ s}$; $t_L = \dfrac{(100,0-16,0)\text{ m}}{6,0\text{ m/s}} = 14\text{ s}$

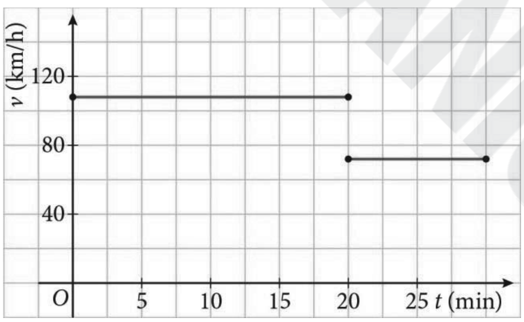
  $\Delta t = t_L - t_M = (14-12,5)\text{s} = 1,5\text{ s}$. Vince Marco con 1,5 s di distacco.

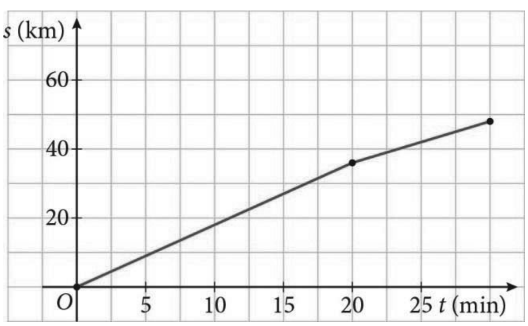
81
- $v_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(-50+20)\ \text{km}}{(1,0-0)\ \text{h}} = -30\ \text{km/h}\ ;\ v_2 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(30-10)\ \text{km}}{(0,5-0)\ \text{h}} = 40\ \text{km/h}$
- $s_1 = s_0 + v_1 t = 10\ \text{km} + (40\ \text{km/h})t$

  $s_2 = s_0 + v_1 t = -20\ \text{km} - (30\ \text{km/h})t$
- $s_1 - s_2 = 275\ \text{km} \Rightarrow 30\ \text{km} + (70\ \text{km/h})t = 275\ \text{km} \Rightarrow t = \frac{245\ \text{km}}{70\ \text{km/h}} = 3,5\ \text{h}$

82
- Nel tratto *OA* il moto è rettilineo uniforme; la mamma di Lorenzo percorre 4,0 km in 40,0 min.
  Nel tratto *AB* si ha una sosta per un intervallo di tempo di 20,0 min.
  Nel tratto *BC* la mamma di Lorenzo torna indietro percorrendo 4,0 km in 60,0 min.
- $v_{OA} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{4,0\ \text{km}}{40\ \text{min} / (60\ \text{min/h})} = 6,0\ \text{km/h}$
- $v_{BC} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{-4,0\ \text{km}}{1,0\ \text{h}} = -4,0\ \text{km/h}$

83 Considerando l'istante in cui l'auto si trova al km 10 dell'autostrada come l'istante iniziale e come l'origine degli assi del diagramma spazio-tempo, i due grafici sono:



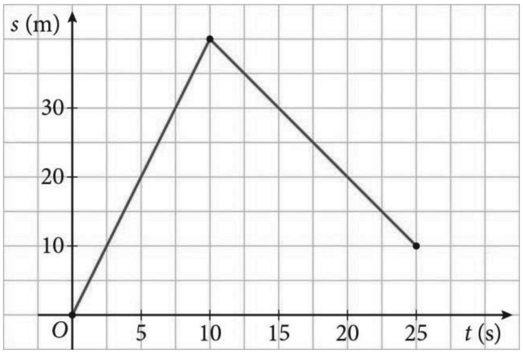


84
- $\Delta s_{\text{tot}} = (80\ \text{km})(0,25\ \text{h}) + (120\ \text{km})\left(\frac{1}{12}\ \text{h}\right) + (100\ \text{km})\left(\frac{\text{h}}{4}\right) = 55\ \text{km}$

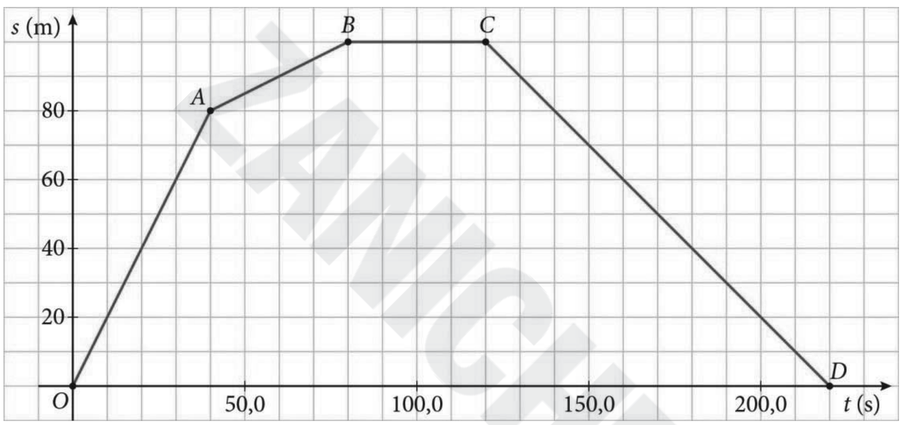
  $v_{mp} = \frac{\Delta s_{\text{tot}}}{\Delta t} = \frac{55\ \text{km}}{7\text{h}/12} = 94\ \text{km/h}$
- $\bar{v} = \left(\frac{80\ \text{km/h} + 100\ \text{km/h} + 120\ \text{km/h}}{3}\right) = 100\ \text{km/h}$
- La media della velocità è maggiore della velocità media lungo l'intero percorso.

85 PROBLEMA MODELLO a pag. 222

86



87

- 

- Le distanze sono $\Delta s_1 = (2{,}0\ \text{m/s})(40{,}0\ \text{s}) = 80\ \text{m}$; $\Delta s_2 = (0{,}5\ \text{m/s})(40{,}0\ \text{s}) = 20\ \text{m}$; $\Delta s_3 = 0\ \text{m}$;
  $|\Delta s_4| = (1{,}0\ \text{m/s})(100\ \text{s}) = 100\ \text{m}$
- Quindi la distanza percorsa da Leonardo è $\Delta l = (80 + 20 + 100)\ \text{m} = 200\ \text{m}$, mentre il suo spostamento vale
  $\Delta s = (80 + 20 - 100)\ \text{m} = 0\ \text{m}$

88 B

89 C

90 C

91 C

92 Indicando con n° s/a il numero di secondi in un anno, si ha

$1\ \text{anno-luce} = (1\ \text{a})(3\times10^5\ \text{km/s})(\text{n° s/a})$

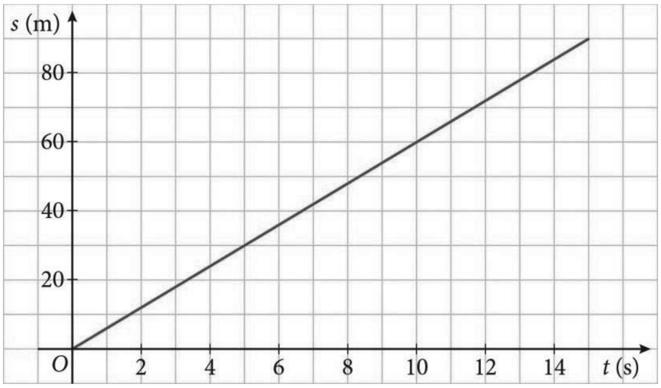
Di conseguenza, la distanza di Andromeda in kilometri è data da

$s = (2{,}56\times10^6\ \text{a})(3\times10^5\ \text{km/s})(\text{n° s/a})$

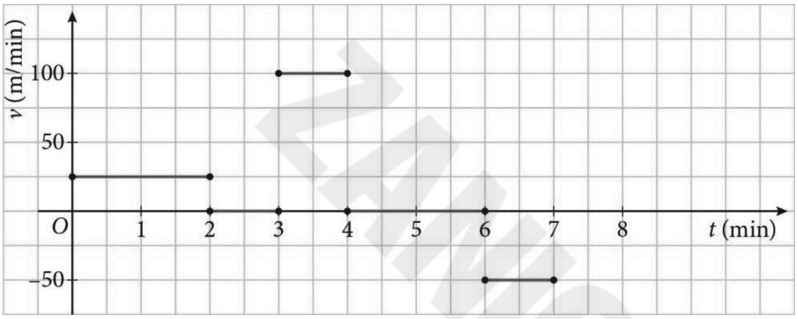
Volendo esprimere il tempo in anni, lo si divide per il numero di secondi/anno:

$$t(\text{a}) = \frac{t(\text{s})}{\text{n° s/a}} = \frac{s}{v}\times\frac{1}{\text{n° s/a}} = \frac{2{,}56\times10^6\ \text{a}\ \times 3\times10^5\ \cancel{\text{km/s}}\times\ \cancel{\text{n° s/a}}}{3\times10^2\ \cancel{\text{km/s}}}\times\frac{1}{\cancel{\text{n° s/a}}} = 2{,}6\times10^9\ \text{a}$$

93



94



95

- Gli intervalli di tempo necessari per percorrere ciascun tratto sono dati dalle relazioni:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta s_1}{v_1} = \frac{45\ \text{km}}{90\ \text{km/h}} = 0{,}50\ \text{h} = 30\ \text{min}$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta s_2}{v_2} = \frac{5\ \text{km}}{50\ \text{km/h}} = 0{,}10\ \text{h} = 6\ \text{min}$$

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta s_3}{v_3} = \frac{65\ \text{km}}{130\ \text{km/h}} = 0{,}50\ \text{h} = 30\ \text{min}$$

Il tempo minimo necessario per completare il percorso è quindi:

$$\Delta t_{\text{tot}} = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = 30\ \text{min} + 6\ \text{min} + 30\ \text{min} = 1\ \text{h}\ 6\ \text{min}$$

- La velocità richiesta risulta

$$v_{mp} = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{(45 + 5{,}0 + 65)\ \text{km}}{1\ \text{h}\ 6\ \text{min}} = \frac{115\ \text{km}}{1{,}1\ \text{h}} = 105\ \text{km/h}$$

96

$$t_{\text{reazione}} = t - \frac{\Delta s}{v} = 9{,}99\ \text{s} - \frac{100\ \text{m}}{10{,}13\ \text{m/s}} = 9{,}99\ \text{s} - 9{,}87\ \text{s} = 0{,}12\ \text{s}$$

97

- Considerando come origine la posizione di Michele, le leggi del moto per i due atleti risultano:

$$s_{\text{M}} = v_{\text{M}} t = (6{,}0\ \text{m/s})\,t$$

$$s_{\text{S}} = s_0 + v_S t = 30\ \text{m} + (5{,}0\ \text{m/s})\,t$$

- Imponendo che le posizioni siano le stesse, si ricava l'istante in cui Michele supera Sandro:

$$s_{\text{M}} = s_{\text{S}} \ \Rightarrow\ (6{,}0\ \text{m/s})\,t = 30\ \text{m} + (5{,}0\ \text{m/s})\,t \ \Rightarrow\ t = 30\ \text{s}$$

98 ■ $$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_1} + \frac{\Delta s}{v_2} + \frac{\Delta s}{v_3} + \frac{\Delta s}{v_4} = \frac{100\ \text{m}}{8{,}0\ \text{m/s}} + \frac{100\ \text{m}}{8{,}5\ \text{m/s}} + \frac{100\ \text{m}}{7{,}8\ \text{m/s}} + \frac{100\ \text{m}}{8{,}7\ \text{m/s}} = 48{,}58\ \text{s}$$

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{400\ \text{m}}{48{,}58\ \text{s}} = 8{,}2\ \text{m/s}$$

■ Sono arrivati prima i ragazzi della prima scuola.

99 ■ Fissiamo l'origine degli assi nel punto di partenza del treno X e sia $t = 0$ l'istante in cui partono entrambi i treni. Il treno Y parte dalla posizione $s_Y = 350$ km.

La legge oraria del treno X è $s_X = v_X t$. Pertanto, al momento dell'incontro il treno X ha percorso la distanza

$$s_X = (100\ \text{km/h})(2\ \text{h}) = 200\ \text{km}$$

■ $$v_Y = \frac{\Delta s_Y}{\Delta t} = \frac{(350 - 200)\ \text{km}}{2\ \text{h}} = \frac{150\ \text{km}}{2\ \text{h}} = 75\ \text{km/h}$$

100 ■ Le leggi orarie dei due mezzi sono:

$s_{\text{scooter}} = vt + s_0 = (10\ \text{m/s})t + 1{,}5\ \text{km}$; $s_{\text{auto}} = vt = (20\ \text{m/s})t$

Imponendo che all'istante generico t le posizioni siano uguali, si ricava l'istante di tempo in cui i due mezzi si incontrano:

■ $$s_{\text{auto}} = s_{\text{scooter}} \Rightarrow (20\ \text{m/s})t = (10\ \text{m/s})t + 1{,}5\ \text{km} \Rightarrow t = \frac{1500\ \text{m}}{10\ \text{m/s}} = 150\ \text{s} = 2{,}5\ \text{min}$$

$$s_{\text{auto}} = s_{\text{scooter}} = (20\ \text{m/s})(150\ \text{s}) = 3000\ \text{m} = 3{,}0\ \text{km}$$

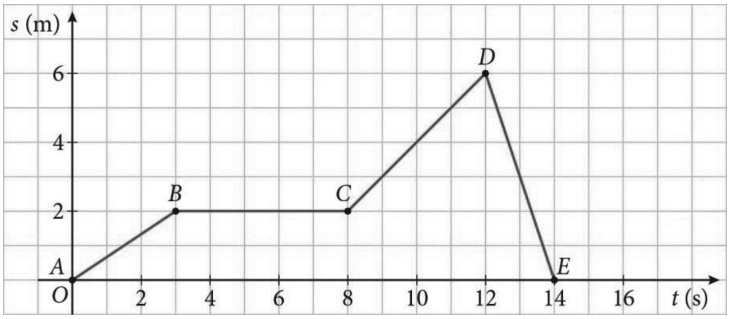
101 ■ Nel primo tratto la formica si muove a velocità costante nel verso positivo; nel secondo tratto la formica è ferma; nel terzo tratto inverte il moto e si muove, quindi, con velocità negativa; nel quarto tratto inverte nuovamente il verso del moto e si muove con velocità positiva, arrivando alla posizione di partenza.

■ $$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{(3-0)\ \text{cm}}{(1-0)\ \text{s}} = 3\ \text{cm/s} = 0{,}03\ \text{m/s}\ ;\ v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \frac{(3-3)\ \text{cm}}{(2-1)\ \text{s}} = 0\ \text{cm/s} = 0\ \text{m/s}$$

$$v_3 = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} = \frac{(-2-3)\ \text{cm}}{(3-2)\ \text{s}} = -5\ \text{cm/s} = -0{,}05\ \text{m/s}\ ;\ v_4 = \frac{\Delta s_4}{\Delta t_4} = \frac{[0-(-2)]\ \text{cm}}{(4-3)\ \text{s}} = 2\ \text{cm/s} = 0{,}02\ \text{m/s}$$

■ Poiché la formica è tornata alla posizione di partenza, il suo spostamento totale è nullo, come quindi la velocità media sull'intero percorso.

102 ■



■ Lo spostamento totale compiuto da Luigi è zero, quindi la velocità media complessiva è:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0}{14\ \text{s}} = 0$$

■ La distanza totale percorsa è:

$$\Delta s_{\text{tot}} = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3 + |\Delta s_4| = 2\ \text{m} + 0\ \text{m} + 4\ \text{m} + 6\ \text{m} = 12\ \text{m}$$

La velocità media sull'intero percorso è:

$$v_m = \frac{\Delta s_{\text{tot}}}{\Delta t} = \frac{12\ \text{m}}{14\ \text{s}} = 0{,}86\ \text{m/s}$$

103 $\Delta s_{\text{tot}} = \Delta s_{\text{giro}} n_{\text{giri}} = (5{,}473\ \text{km}) \times 45 = 246\ \text{km}$

$$\Delta t_{1^a\ \text{auto}} = \frac{\Delta s_{\text{tot}}}{v_{m\ 1^a\ \text{auto}}} = \frac{246\ \text{km}}{243\ \text{km/h}} = 1{,}01\ \text{h}$$

$$n_{\text{giri}\ 2^a\ \text{auto}} = \frac{\Delta s_{\text{tot}} - v_{m\ 2^a\ \text{auto}} \times \Delta t_{1^a\ \text{auto}}}{\Delta s_{\text{giro}}} = \frac{246\ \text{km} - (232\ \text{km/h})(1{,}01\ \text{h})}{5{,}473\ \text{km}} \approx 2\ \text{giri}$$

per cui la seconda macchina deve compiere ancora 2 giri prima di tagliare il traguardo.

104 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B

2 D

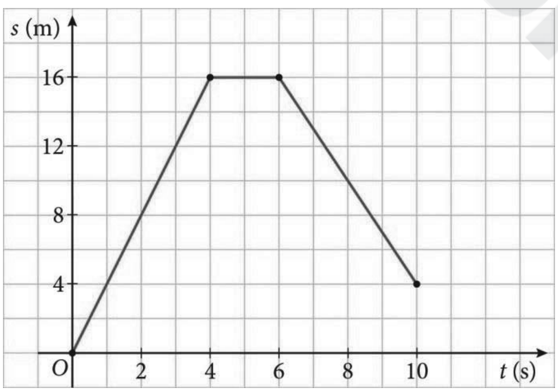
3 D

4 C

5
- La velocità è 0 m/s all'inizio, massima a 50 s, poi decrescente, 0 m/s a 100 s
- $\Delta s = 180\text{ m} - 20\text{ m} = 160\text{ m}$

6
- $$v_{\text{pantera}} = \left(\frac{100}{3,6}\right)\text{m/s} = 28\text{ m/s}$$
  $$v_{\text{antilope}} = \left(\frac{85}{3,6}\right)\text{m/s} = 24\text{ m/s}$$
  $$s_{\text{pantera}} = (28\text{ m/s})t$$
  $$s_{\text{antilope}} = 15\text{ m} + (24\text{ m/s})t$$
- Le posizioni dopo 20 s sono:
  $$s_{\text{pantera}} = vt = (28\text{ m/s})(20\text{ s}) = 5,6\times10^2\text{ m}$$
  $$s_{\text{antilope}} = s_0 + vt = 15\text{ m} + (24\text{ m/s})(20\text{ s}) = 5,0\times10^2\text{ m}$$
- Sì.

7



8
- $$\Delta t_B = \frac{\Delta s_B}{v_B} = \frac{100\text{ m}}{8,40\text{ m/s}} = 11,9\text{ s}$$
  $$\Delta t_A = \frac{\Delta s_A}{v_A} = \frac{98\text{ m}}{8,10\text{ m/s}} = 12,1\text{ s}$$
  quindi vince *B*.
- Calcoliamo quanti metri, dei 98 m che lo separavano dall'arrivo, sono percorsi da *A* nel tempo che *B* impiega a tagliare il traguardo:
  $$\Delta s_A = v_A \Delta t_B = (8,10\text{ m/s})(11,9\text{ s}) = 96,4\text{ m}$$
  Quindi *A*, per giungere al traguardo, deve ancora percorrere:
  $$\Delta s = (98,0 - 96,4)\text{ m} = 1,6\text{ m}$$
  che corrisponde al distacco da *B*.

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Poiché la velocità media è data da $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ si ha

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{800\ \text{m}}{(48{,}0\ \text{km/h})\left(\frac{1000\ \text{m}}{\text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)} = 60{,}0\ \text{s}$$

2 Utilizzando la legge oraria, si ottiene $s = 0{,}253\ \text{m} + (1{,}30\ \text{m/s})(30{,}1\ \text{s}) = 39{,}4\ \text{m}$.

3 La legge oraria del moto di Alida è $s_A = (5{,}0\ \text{km/h})t = (1{,}4\ \text{m/s})t$.

La legge oraria del moto di Simone è $s_S = 18\ \text{m} + (5{,}0\ \text{km/h})t = 18\ \text{m} + (1{,}4\ \text{m/s})t$.

4 Per ciascun tratto della spezzata si ha $v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$. Quindi:

tratto AB → $v = \frac{(4{,}0-0)\ \text{m}}{(2{,}0-0)\ \text{s}} = 2{,}0\ \text{m/s}$;

tratto BC → $v = \frac{(4{,}0-4{,}0)\ \text{m}}{(5{,}0-2{,}0)\ \text{s}} = 0\ \text{m/s}$;

tratto CD → $v = \frac{(3{,}0-7{,}0)\ \text{m}}{(10-7{,}0)\ \text{s}} = -1{,}3\ \text{m/s}$;

tratto DE → $v = \frac{(7{,}0-4{,}0)\ \text{m}}{(7{,}0-5{,}0)\ \text{s}} = 1{,}5\ \text{m/s}$;

tratto EF → $v = \frac{(3{,}0-3{,}0)\ \text{m}}{(12-10)\ \text{s}} = 0\ \text{m/s}$.

5 Considerando come posizione iniziale il km 100 dell'autostrada A19, si ha

$$s_1 = v_1 t = \left(90\ \text{km/h} \times \frac{1000\ \text{m}}{\text{km}} \times \frac{\text{h}}{3600\ \text{s}}\right)(10 \times 60\ \text{s}) = 15000\ \text{m} = 15\ \text{km}$$

$$s_2 = v_2 t = \left(102\ \text{km/h} \times \frac{1000\ \text{m}}{\text{km}} \times \frac{\text{h}}{3600\ \text{s}}\right)(10 \times 60\ \text{s}) = 17000\ \text{m} = 17\ \text{km}$$

Pertanto, la distanza delle due auto è

$$\Delta s = s_2 - s_1 = 17\ \text{km} - 15\ \text{km} = 2\ \text{km}$$

6 La distanza percorsa dalla freccia, e quindi la distanza dal bersaglio, è

$$\Delta s = vt = \left(\frac{252}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)(0{,}57\ \text{s}) = (70\ \text{m/s})(0{,}57\ \text{s}) = 40\ \text{m}$$

7 Il tempo impiegato nel primo tratto di percorrenza è

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{130\ \text{km}}{90\ \text{km/h}} = 1{,}44\ \text{h} = 86{,}7\ \text{min}$$

Il tempo impiegato nel secondo tratto di percorrenza è

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{110\ \text{km}}{85\ \text{km/h}} = 1{,}29\ \text{h} = 77{,}6\ \text{min}$$

L'intervallo di tempo totale da quando l'autobus ha imboccato l'autostrada a quando è arrivato a destinazione è

$\Delta t_{\text{tot}} = t_1 + t_2 + t_3$, dove t_3 è il tempo di sosta nell'area di servizio. Quindi:

$$\Delta t_{\text{tot}} = 86{,}7\ \text{min} + 77{,}6\ \text{min} + 20\,\text{min} = 184{,}3\ \text{min} = 184\ \text{min} = 3\ \text{h}\ 04\ \text{min}$$

L'orario di arrivo è 10:04.

8 Le leggi orarie del moto sono:

$$s_{\text{B}} = v_{\text{B}} t$$
$$s_{\text{W}} = 300\ \text{m} + v_{\text{W}} t$$

avendo considerato come istante iniziale quello in cui *Willy* vede *Beep Beep*.

Nell'istante in cui *Willy* e *Beep Beep* si trovano affiancati, si ha

$s_{\text{B}} = s_{\text{W}} \Rightarrow v_{\text{B}} t = 300\ \text{m} + v_{\text{W}} t \Rightarrow (v_{\text{B}} - v_{\text{W}})\, t = 300\ \text{m}$ e quindi

$$t = \frac{300\ \text{m}}{(v_{\text{B}} - v_{\text{W}})} = \frac{300\ \text{m}}{\left[(85-70)\ \text{km/h}\right](1000\ \text{m/km})\left(\dfrac{1}{3600}\ \text{h/s}\right)} = 72\ \text{s}$$

Lo spostamento di Willy in 7,0 s è dato da

$$\Delta s_{\text{W}} = s_{\text{W}} - 300\ \text{m} = v_{\text{W}} t = \left(\frac{70}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)(72\ \text{s}) = 1400\ \text{m} = 1{,}4\ \text{km}$$

9 Lo spostamento di Alice all'interno della galleria fino al momento in cui ha sentito il suono del clacson è

$$\Delta s_{\text{A}} = v_{\text{A}} t_{\text{A}} = \left(\frac{102}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)(2{,}00\ \text{s}) = 56{,}6\ \text{m}$$

Lo spostamento del suono emesso dal clacson fino a raggiungere Alice è

$$\Delta s_{\text{S}} = v_{\text{S}} t_{\text{S}} = (340\ \text{m/s})(2{,}57\ \text{s}) = 874\ \text{m}$$

La lunghezza della galleria è pertanto

$$l = \Delta s_{\text{A}} + \Delta s_{\text{S}} = 56{,}6\ \text{m} + 874\ \text{m} = 931\ \text{m}$$

10 ■ Considerando come positivo lo spostamento del treno A, le leggi orarie del moto sono

$$s_A = v_A t$$
$$s_B = (170\text{ m}) - v_B t$$

Nel momento in cui i due treni s'incrociano si ha

$$s_A = s_B \Rightarrow v_A t = (170\text{ m}) - v_B t \Rightarrow t = \frac{170\text{ m}}{v_A + v_B} = \frac{170\text{ m}}{\frac{136+169}{3,6}\text{ m/s}} = 2,01\text{ s}$$

■ Il punto di incrocio tra i due treni è la distanza percorsa dal treno A in 2,01 s. Si ha

$$s_I = v_A t = \left(\frac{136}{3,6}\text{ m/s}\right)(2,01\text{ s}) = 75,9\text{ m}$$

11 ■ Considerando come istante iniziale l'istante in cui il drone B dista 278 m dal drone A, le leggi orarie del moto dei due droni sono

$$s_B = v_B t = (41\text{ km/h})t$$
$$s_A = (278\text{ m}) + v_A t = (278\text{ m}) + (30\text{ km/h})t$$

Nel momento in cui il drone A raggiunge il drone B si ha

$$s_B = s_A \Rightarrow (41\text{ km/h})t = (278\text{ m}) + (30\text{ km/h})t$$

e quindi $t = \dfrac{(278\text{ m})}{\left(\dfrac{41-30}{3,6}\text{ m/s}\right)} = 91\text{ s}$.

■ Dopo 91 s dall'istante iniziale, le distanze percorse dai due droni sono

$$\Delta s_B = s_B = v_B t = \left(\frac{41}{3,6}\text{ m/s}\right)(91\text{ s}) = 1036\text{ m}$$

$$\Delta s_A = s_A - (278\text{ m}) = v_A t = \left(\frac{30}{3,6}\text{ m/s}\right)(91\text{ s}) = 758\text{ m}$$

12 ■ Indicando con N il numero di giri e con l la lunghezza della pista, si ha

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{Nl}{\Delta t} = \frac{N2\pi r}{\Delta t} = \frac{10\times 2\pi(300\text{ m})}{(3\times 60+53)\text{ s}} = \frac{10\times 1885\text{ m}}{233\text{ s}} = 81\text{ m/s} = 291\text{ km/h}$$

■ Indicando con N' il nuovo numero di giri e con v' il nuovo valore della velocità, si ha

$$N' = \frac{v'\Delta t}{2\pi r} = \frac{\left(\frac{332}{3,6}\text{ m/s}\right)(233\text{ s})}{2\pi(300\text{ m})} = 11,4$$

COMPITI
CAPITOLO 6. La velocità
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

13 ■ Indicando con $\overline{AB}$, $\overline{BC}$, e $\overline{CD}$ i tre tratti percorsi dal dromedario, poiché $\Delta s = vt$, si ha

$$\overline{AB} = \left(\frac{12}{3,6}\ \text{m/s}\right)(10\times 60)\ \text{s} = 2000\ \text{m}$$

$$\overline{BC} = \left(\frac{9,6}{3,6}\ \text{m/s}\right)(5,0\times 60)\ \text{s} = 800\ \text{m}$$

$$\overline{CD} = \left(\frac{11}{3,6}\ \text{m/s}\right)(7,2\times 60)\ \text{s} = 1320\ \text{m}$$

La distanza complessiva percorsa dal dromedario è

$$d = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} = 2000\ \text{m} + 800\ \text{m} + 1320\ \text{m} = 4120\ \text{m} = 4,1\ \text{km}$$

■ La velocità media di percorrenza, calcolata sull'intero percorso, è

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{4120\ \text{m}}{(10+5,0+7,2)(60\ \text{s})} = 3,1\ \text{m/s}$$

14 ■ La velocità media del motoscafo all'andata è $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{222\ \text{m}}{38\ \text{s}} = 5,84\ \text{m/s} = 21\ \text{km/h}$.

■ La velocità media del motoscafo al ritorno è $v' = v - 0,30v = 0,70v = (0,70)(5,84\ \text{m/s}) = 4,1\ \text{m/s}$.

Il tempo impiegato nello spostamento di ritorno è $\Delta t' = \dfrac{\Delta s}{v'} = \dfrac{222\ \text{m}}{4,1\ \text{m/s}} = 54\ \text{s}$.

Il tempo totale dello spostamento, andata più ritorno, è

$$\Delta t_{\text{tot}} = \Delta t + \Delta t' = 38\ \text{s} + 54\ \text{s} = 92\ \text{s} = 1\ \text{min}\ 32\ \text{s}$$

L'orario in cui Luigi vede tornare il motoscafo davanti a lui è quindi: 15:08:45.

15 ■ Considerando come istante iniziale $t = 0$ s il momento in cui Carmen passa davanti alla pasticceria, le leggi orarie del moto sono:

per Carmen $s_C = v_C t = (19\ \text{km/h})t = (5,3\ \text{m/s})t$;

per Giacomo $s_G = d - v_G t = 327\ \text{m} - (11\ \text{km/h})t = 327\ \text{m} - (3,1\ \text{m/s})t$.

■ Dopo $\Delta t = 10$ s la posizione di Carmen è $s_C = v_C t = (5,3\ \text{m/s})(10\ \text{s}) = 53\ \text{m}$, mentre quella di Giacomo è $s_G = d - v_G t = 327\ \text{m} - (3,1\ \text{m/s})(10\ \text{s}) = 296\ \text{m}$. La distanza tra i due è quindi $d_{(10\ \text{s})} = s_G - s_C = 296\ \text{m} - 53\ \text{m} = 243\ \text{m}$

■ Nell'istante in cui Carmen e Giacomo si incontrano si ha

$$s_G = s_C \Rightarrow v_C t = d - v_G t \Rightarrow t = \frac{d}{v_C + v_G} = \frac{327\ \text{m}}{5,3\ \text{m/s} + 3,1\ \text{m/s}} = 39\ \text{s}$$

Quindi,

$$s_C = v_C t = (5,3\ \text{m/s})(39\ \text{s}) = 2,1\times 10^2\ \text{m}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 7

L'accelerazione

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. L'accelerazione media e istantanea

pag. 228

- Verso sinistra.
- Maggiore

2. Il moto rettilineo uniformemente accelerato con velocità iniziale nulla

pag. 235

$$\Delta s_1 = s_1 - s_0 = \frac{1}{2} g \left(\Delta t\right)^2 \text{ ; } \Delta s_2 = s_2 - s_0 = \frac{1}{2} g \left(2\Delta t\right)^2 = 4\Delta s_1$$

3. Il moto rettilineo uniformemente accelerato con partenza in velocità

pag. 238

- 40 m
- $a = 5 \text{ m/s}^2$

4. Il lancio verticale verso l'alto

pag. 240

- Affinché la palla raggiunga un'altezza doppia, la velocità iniziale deve aumentare di un fattore $\sqrt{2}$, infatti:

$$s_{\max} = \frac{{v_0}^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad s'_{\max} = \frac{{v_0}'}{2g} = \frac{\left(\sqrt{2}v_0\right)^2}{2g} = 2s_{\max}$$

- Anche il tempo di volo, di conseguenza, aumenta di un fattore $\sqrt{2}$:

$$t_{\max} = \frac{v_0}{g} \quad \Rightarrow \quad t'_{\max} = \frac{v'_0}{g} = \frac{\sqrt{2}v_0}{g} = \sqrt{2}\, t_{\max}$$

Tecnologia e sviluppo sostenibile – L'accelerazione della fusione dei ghiacciai

- Tra il 1970 e il 1990 si è persa una quantità d'acqua equivalente alla velocità

$$v_1 = \frac{(-5-0)\,\text{m}}{20\,\text{anni}} = -0,25\frac{\text{m}}{\text{anno}}$$

Tra il 2000 e il 2020 la velocità è

$$v_2 = \frac{(-25-(-10))\,\text{m}}{20\,\text{anni}} = -0,75\frac{\text{m}}{\text{anno}}$$

- $$a = \frac{v_2 - v_1}{30\,\text{anni}} = \frac{-0,75\dfrac{\text{m}}{\text{anno}} - \left(-0,25\dfrac{\text{m}}{\text{anno}}\right)}{30\,\text{anni}} = 0,017\frac{\text{m}}{\text{anno}^2}$$

TEST

1 C
2 B
3 C
4 B
5 C
6 A
7 A
8 D
9 B
10 A
11 B

ESERCIZI

1. L'accelerazione media e istantanea

1 Hanno ragione entrambi. L'accelerazione può essere scritta nella forma

$$a = 3,6\frac{\text{km/s}}{\text{h}}$$

che è coerente con l'interpretazione che ne dà Sofia, sia nella forma

$$a = 3,6\frac{\text{km/s}}{\text{h}} = 3,6\frac{10^3\ \text{m/s}}{3600\ \text{s}} = \frac{1\ \text{m/s}}{\text{s}}$$

che è in accordo con l'interpretazione di Giulio.

2 Marta parte da ferma e accelera fino a raggiungere una velocità costante. Arrivata al traguardo, procede con accelerazione negativa, diminuendo la propria velocità fino a fermarsi.

3 $$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\frac{36}{3,6}\ \text{m/s} - \frac{90}{3,6}\ \text{m/s}}{18\ \text{s}} = -0,83\ \text{m/s}^2$$

4
- $$a_{m\,1} = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{(60-50)\,\text{km/h}}{(30-15)\,\text{s}} = \frac{10\ \text{km/h}}{15\ \text{s}} = \frac{10\,000\ \text{m}}{(3600\ \text{s})(15\ \text{s})} = 0,19\ \text{m/s}^2$$
- $$a_{m\,2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = \frac{(0-63)\,\text{km/h}}{(75-45)\,\text{s}} = \frac{-63\ \text{km/h}}{30\ \text{s}} = \frac{-63\,000\ \text{m}}{(3600\ \text{s})(30\ \text{s})} = -0,58\ \text{m/s}^2$$

5 $$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{100\ \text{m}}{3,6\ \text{s}}\right)}{15,3\ \text{s}} = 1,82\ \text{m/s}^2$$

6 $$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{(49-85)\,\text{km/h}}{-1,0\,\text{m/s}^2} = \frac{-36\,\text{km/h}}{-1,0\,\text{m/s}^2} = \frac{-10\,\text{m/s}}{-1,0\,\text{m/s}^2} = 10\ \text{s}$$

7 $$\Delta v = \frac{259-30}{3,6}\ \text{m/s} = 63,6\ \text{m/s} \ \Rightarrow\ \Delta t = \frac{\Delta v}{a_m} = \frac{63,6\ \text{m/s}}{2,40\ \text{m/s}^2} = 26,5\ \text{s}$$

8 $$\Delta v = \frac{50-123}{3,6}\ \text{m/s} = -20,3\ \text{m/s} \ \Rightarrow\ \Delta t = \frac{\Delta v}{a_m} = \frac{-20,3\ \text{m/s}}{-3,11\ \text{m/s}^2} = 6,53\ \text{s}$$

9 $$\Delta v = a_m\,\Delta t = (5,1\ \text{m/s}^2)(1,8\ \text{s}) = 9,2\ \text{m/s}$$

10
- L'accelerazione media dell'automobile è $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(30/3,6)\ \text{m/s}}{6,3\ \text{s}} = 1,3\ \text{m/s}^2$.
- Dopo 6,3 s, l'accelerazione dell'auto diminuisce al 59% del valore precedente:
  $a'_m = 0,59 \times a_m = 0,59 \times 1,3\ \text{m/s}^2 = 0,78\ \text{m/s}^2$
  Il tempo necessario per raggiungere i 42 km/h è dato da
  $$\Delta t' = \frac{\Delta v}{a'_m} = \frac{(42/3,6)\ \text{m/s} - (30/3,6)\ \text{m/s}}{0,78\ \text{m/s}^2} = \frac{(12/3,6)\ \text{m/s}}{0,78\ \text{m/s}^2} = 4,3\ \text{s}$$

11
- $$\Delta v = (100-0)\,\text{km/h} = \left(\frac{100}{3,6}\right)\text{m/s} = 27,8\ \text{m/s} \ \Rightarrow\ a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27,8\ \text{m/s}}{4,2\ \text{s}} = 6,6\ \text{m/s}^2$$
- Riducendo l'intervallo di tempo a 3,5 s, l'aumento percentuale dell'accelerazione è
  $$\frac{a'_m - a_m}{a_m} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t'} - \frac{\Delta v}{\Delta t}}{a_m} = \frac{\frac{27,8\ \text{m/s}}{3,5\ \text{s}} - \frac{27,8\ \text{m/s}}{4,2\ \text{s}}}{6,6\ \text{m/s}^2} = 0,20 \ \Rightarrow\ 20\%$$

12 $$\Delta v = v_2 - v_1 = a_m\,\Delta t \ \Rightarrow\ v_2 = v_1 + a_m\,\Delta t = 6,3\ \text{m/s} + (1,7\ \text{m/s}^2)(2,9\ \text{s}) = 6,3\ \text{m/s} + 4,9\ \text{m/s} = 11,2\ \text{m/s}$$

13
- $$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{(10-0)\,\text{m/s}}{(2,5-0)\,\text{s}} = 4,0\ \text{m/s}^2$$
- $$\frac{a'_m - a_m}{a_m} = \frac{2,0\ \text{m/s}^2 - 4,0\ \text{m/s}^2}{4,0\ \text{m/s}^2} = -0,50 \ \Rightarrow\ 50\%$$

14 Indichiamo con a_A l'accelerazione media dell'auto e con a_M quella della moto. L'auto raggiunge la velocità di 100 km/h in un intervallo di tempo pari a

$$\Delta t_A = \frac{\Delta v}{a_A} = \frac{(100/3,6)\ \text{m/s}}{2,1\ \text{m/s}^2} = 13\ \text{s}$$

Quindi, per raggiungere la velocità di 100 km/h la moto impiega un intervallo di tempo pari a $\Delta t_M = (13 - 3,0)\ \text{s} = 10\ \text{s}$ e l'accelerazione media della moto è

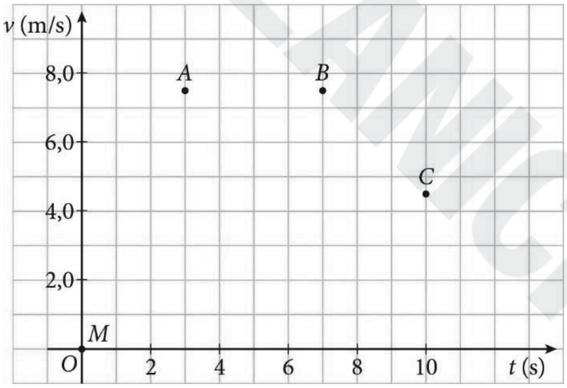
$$a_M = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{100/3,6\ \text{m/s}}{10\ \text{s}} = 2,8\ \text{m/s}^2$$

2. Il grafico velocità-tempo

15 «Andrea cammina su un marciapiede con velocità sostenuta, ma successivamente ha un'accelerazione negativa, per cui la sua velocità diminuisce fino a diventare nulla.»

16 Hanno entrambe la stessa accelerazione di 1 m/s^2, perché i punti iniziali e finali relativi all'intervallo di tempo considerato sono uguali.

17



18 PROBLEMA SVOLTO

19
$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,4\ \text{m/s} - 2,2\ \text{m/s}}{7,0\ \text{s} - 3,0\ \text{s}} = \frac{3,2\ \text{m/s}}{4,0\ \text{s}} = 0,80\ \text{m/s}^2$$

20
- L'accelerazione istantanea è uguale alla pendenza della retta tangente nel punto P:
$$a(t = 3\ \text{s}) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_P - v_1}{t_P - t_1} = \frac{(5-2)\ \text{m/s}}{(3-0)\ \text{s}} = 1\ \text{m/s}^2$$
- L'accelerazione istantanea è nulla agli istanti $t = 6$ s e $t = 10$ s.

21
- $$a_{m\,1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s}}{30\ \text{s} - 0\ \text{s}} = \frac{10\ \text{m/s}}{30\ \text{s}} = 0,33\ \text{m/s}^2$$
- $$a_{m\,2} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25\ \text{m/s} - 10\ \text{m/s}}{40\ \text{s} - 20\ \text{s}} = \frac{15\ \text{m/s}}{20\ \text{s}} = 0,75\ \text{m/s}^2$$
- L'accelerazione è massima nel primo tratto, è negativa nel secondo ed è zero nel terzo.

22

- Nel tratto *OA* l'auto accelera (quindi ha un'accelerazione positiva); nel tratto *AB* l'accelerazione è nulla, quindi l'auto si muove a velocità costante e pari a 80 km/h; nel tratto *BC* l'auto decelera (quindi ha un'accelerazione negativa); nel tratto *CD* l'accelerazione è nulla, quindi l'auto si muove a velocità costante e pari a 60 km/h; nel tratto *DE* l'auto decelera nuovamente; nel tratto *EF* l'auto si muove alla velocità costante di 40 km/h (accelerazione nulla). L'accelerazione è massima nel tratto *OA*.

- $$a_{OA}=\frac{\Delta v_{OA}}{\Delta t_{OA}}=\frac{22\ \text{m/s}-0\ \text{m/s}}{(0{,}25\ \text{h})(3600\ \text{s}/)\text{h}}=0{,}025\ \text{m/s}^2$$

$$a_{AB}=\frac{\Delta v_{AB}}{\Delta t_{AB}}=0\ \text{m/s}^2$$

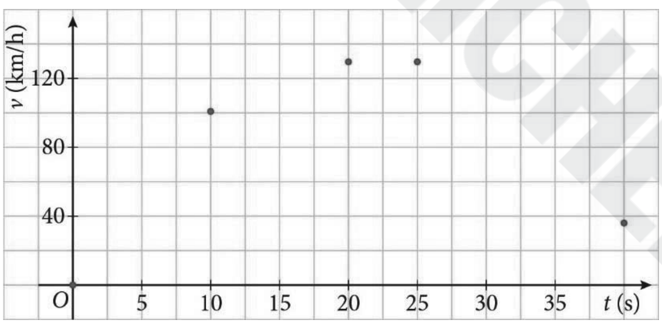
$$a_{BC}=\frac{\Delta v_{BC}}{\Delta t_{BC}}=\frac{\frac{60}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\text{s}}-\frac{80}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\text{s}}}{(1\ \text{h})(3600\ \text{s/h})}=-1{,}5\times10^{-3}\ \text{m/s}^2$$

$$a_{CD}=\frac{\Delta v_{CD}}{\Delta t_{CD}}=0\ \text{m/s}^2\quad a_{DE}=\frac{\Delta v_{DE}}{\Delta t_{DE}}=\frac{\frac{40}{3{,}6}\text{m/s}-\frac{60}{3{,}6}\text{m/s}}{(0{,}5\ \text{h})(3600\ \text{s/h})}=-3{,}1\times10^{-3}\ \text{m/s}^2$$

$$a_{EF}=\frac{\Delta v_{EF}}{\Delta t_{EF}}=0\ \text{m/s}^2$$

- $$a_{OF}=\frac{\Delta v_{OF}}{\Delta t_{OF}}=\frac{\frac{40}{3{,}6}\text{m/s}-0\ \text{m/s}}{(4{,}0\ \text{h})(3600\ \text{s/h})}=7{,}7\times10^{-4}\ \text{m/s}^2\ \text{s}$$

23

- 

- Le accelerazioni medie sono:

$$a_{m1}=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{\left(\frac{100{,}8}{3{,}6}\right)\text{m/s}-0\ \text{m/s}}{10\ \text{s}-0\ \text{s}}=2{,}8\ \text{m/s}^2$$

$$a_{m2}=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{\left(\frac{129{,}6}{3{,}6}\right)\text{m/s}-\left(\frac{100{,}8}{3{,}6}\right)\text{m/s}}{20\ \text{s}-10\ \text{s}}=0{,}80\ \text{m/s}^2$$

$$a_{m3}=\frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}=\frac{\left(\frac{129{,}6}{3{,}6}\right)\text{m/s}-\left(\frac{129{,}6}{3{,}6}\right)\text{m/s}}{25\ \text{s}-20\ \text{s}}=0\ \text{m/s}^2$$

$$a_{m4}=\frac{\Delta v_4}{\Delta t_4}=\frac{\left(\frac{36{,}0}{3{,}6}\right)\text{m/s}-\left(\frac{129{,}6}{3{,}6}\right)\text{m/s}}{40\ \text{s}-25\ \text{s}}=-1{,}7\ \text{m/s}^2$$

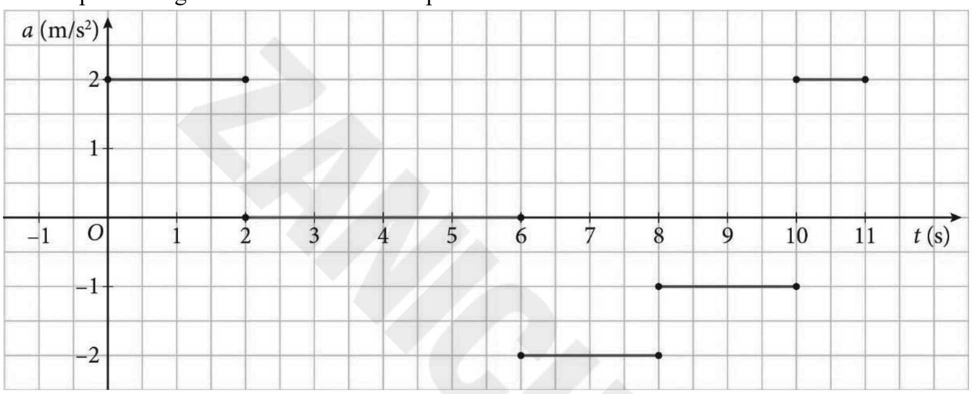
24 ■ L'atleta parte da fermo e fino a t = 2 s accelera con un'accelerazione positiva; tra t = 2 s e t = 6 s l'accelerazione è nulla, quindi il fondista corre a velocità costante e pari a 4 m/s; tra t = 6 s e t = 8 s l'atleta rallenta fino a fermarsi e invertire il moto ripartendo con un piccolo scatto (tra t = 8 s e t = 10 s) che gli fa raggiungere la velocità (in valore assoluto) di 2 m/s; infine inverte repentinamente il moto rallentando fino a fermarsi all'istante t = 11 s.

$$a_{0-2} = \frac{4\text{ m/s}}{2\text{ s}} = 2\text{ m/s}^2\,;\; a_{2-6} = \frac{0\text{ m/s}}{4\text{ s}} = 0\text{ m/s}^2\,;\; a_{6-8} = \frac{-4\text{ m/s}}{2\text{ s}} = -2\text{ m/s}^2\,;\; a_{8-10} = \frac{-2\text{ m/s}}{2\text{ s}} = -1\text{ m/s}^2\,;$$

$$a_{10-11} = \frac{2\text{ m/s}}{1\text{ s}} = 2\text{ m/s}^2$$

L'accelerazione media complessiva è nulla, dal momento che le velocità iniziale e finale sono uguali.

■ Il corrispondente grafico accelerazione-tempo è



25 ■ Nel tratto OA lo slittino accelera (quindi ha un'accelerazione positiva), nel tratto AB continua ad accelerare con accelerazione positiva, ma minore rispetto al tratto OA. Nel tratto BC l'accelerazione è nulla, quindi lo slittino si muove a velocità costante e pari a 10,0 m/s.
Infine, nel tratto CD lo slittino decelera (quindi l'accelerazione è negativa).

■ $$a_{OA} = \frac{\Delta v_{OA}}{\Delta t_{OA}} = \frac{6{,}0\text{ m/s} - 0\text{ m/s}}{6{,}0\text{ s} - 0\text{ s}} = \frac{6{,}0\text{ m/s}}{6{,}0\text{ s}} = 1{,}0\text{ m/s}^2$$

$$a_{AB} = \frac{\Delta v_{AB}}{\Delta t_{AB}} = \frac{10{,}0\text{ m/s} - 6{,}0\text{ m/s}}{14{,}0\text{ s} - 6{,}0\text{ s}} = \frac{4{,}0\text{ m/s}}{8{,}0\text{ s}} = 0{,}50\text{ m/s}^2$$

$$a_{BC} = \frac{\Delta v_{BC}}{\Delta t_{BC}} = 0\text{ m/s}^2$$

$$a_{CD} = \frac{\Delta v_{CD}}{\Delta t_{CD}} = \frac{6{,}0\text{ m/s} - 10{,}0\text{ m/s}}{28{,}0\text{ s} - 24{,}0\text{ s}} = -\frac{4{,}0\text{ m/s}}{4{,}0\text{ s}} = -1{,}0\text{ m/s}^2$$

■ L'accelerazione istantanea all'istante t = 16,0 s è data dal coefficiente angolare della retta tangente nel punto considerato. Poiché in quel punto la tangente è orizzontale, ne consegue che l'accelerazione istantanea è nulla.

26 ■ L'accelerazione è massima quando la pendenza della retta tangente al grafico velocità-tempo in un determinato istante è massima; questo si verifica per t = 1,00 s, t = 3,00 s; dato che la funzione è periodica, si avrà anche per t = 5,00 s, t = 7,00 s, ecc.

■ L'accelerazione è negativa quando il grafico è inclinato verso il basso (quindi tra 0 e 0,5 s, tra 1,5 e 2,5 s, ecc.). Il suo valore assoluto è massimo quando la pendenza della retta tangente al grafico è massima; questo si verifica per t = 0,00 s, t = 2,00 s, ecc.

27

- $a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{(8-0)\,\text{m/s}}{(2-0)\,\text{s}} = 4\ \text{m/s}^2$

- Per ricavare l'accelerazione istantanea si può osservare che la retta tangente passa per il punto di tangenza di coordinate (1 s; 2 m/s) e per il punto (2 s; 6 m/s); per semplicità li indichiamo con A e B. Pertanto, si ha
$a(t = 1\,\text{s}) = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_B - v_A}{t_B - t_A} = \dfrac{(6-2)\,\text{m/s}}{(2-1)\,\text{s}} = 4\ \text{m/s}^2$

28

- $a(t = 1\,\text{s}) = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{(0-6)\,\text{m/s}}{(2-1)\,\text{s}} = -6\ \text{m/s}^2$

- $a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{6\ \text{m/s} - 9\ \text{m/s}}{1\ \text{s}} = -3\ \text{m/s}^2$

29

- L'accelerazione è minima in $t = 1{,}0$ s.

- $a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{2{,}0\ \text{m/s}}{2{,}0\ \text{s}} = 1{,}0\ \text{m/s}^2$

- $a(t = 1{,}0\,\text{s}) = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{(1{,}0 - 0{,}5)\,\text{m/s}}{(1{,}0 - 0)\,\text{s}} = 0{,}50\ \text{m/s}^2$

3. Il moto uniformemente accelerato con velocità iniziale nulla

30

- Il foglio di carta subisce l'effetto della forza di attrito dell'aria, che invece è trascurabile per la gomma. La gomma cadrà verticalmente di moto uniformemente accelerato, mentre il foglio di carta cadrà in modo vario e imprevedibile, deviando dalla verticale.

- Nel secondo caso il foglio di carta oppone minore resistenza all'aria e cadrà in modo simile alla gomma.

31 Perché qualsiasi misura con cronometri comandati manualmente sarebbe affetta da notevoli incertezze sperimentali dato il valore di g.

32 Il grafico spazio-tempo esprime la posizione del corpo in funzione del tempo e non la sua posizione nel piano o nello spazio.

33 Nessuno; la velocità è nulla nell'istante iniziale.

34

- $s = \dfrac{1}{2}gt^2 = \dfrac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}5\ \text{s})^2 = 11\ \text{m}$

- $v = gt = (9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}5\ \text{s}) = 15\ \text{m/s}$

35

- $v = a\Delta t = (10\ \text{m/s}^2)(8{,}0\ \text{s}) = 80\ \text{m/s}$

- $s = \dfrac{1}{2}gt^2 = \dfrac{1}{2}(10\ \text{m/s}^2)(8{,}0\ \text{s})^2 = 3{,}2 \times 10^2\ \text{m}$

36

- $a = \dfrac{v}{t} = \dfrac{\dfrac{100}{3{,}6}\ \text{m/s}}{2{,}5\ \text{s}} = 11\ \text{m/s}^2$

- $s = \dfrac{1}{2}at^2 = \dfrac{1}{2}(11\ \text{m/s}^2)(2{,}5\,\text{s})^2 = 34\,\text{m}$

37 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2{,}5\,\cancel{m}}{9{,}8\,\frac{\cancel{m}}{s^2}}} = 0{,}71\ s$

38 $t = \frac{v}{g} = \frac{21{,}0\ m/s}{9{,}8\ m/s} = 2{,}1\ s$

39
- $v = gt = (9{,}8\ m/s^2)(1{,}3\ s) = 13\ m/s$
- $s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(9{,}8\ m/s^2)(1{,}3\ s)^2 = 8{,}3\ m$

40 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30{,}0\ m/s - 0{,}0\ m/s}{3{,}0\ s} = 10\ m/s^2;\ v = at = (10\ m/s^2)t$

41 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{40}{3{,}6}\right) m/s}{7{,}5\ s} = 1{,}5\ m/s^2;\ s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(1{,}5\ m/s^2)(7{,}5\ s)^2 = 42\ m$

42 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 500\ m}{9{,}8\ m/s^2}} = 10\ s$

43 $t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{6g}} = \sqrt{\frac{2 \times 4200\ m}{6 \times 9{,}8\ m/s^2}} = 12\ s$

44 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(1{,}4\ m)}{(9{,}8\ m/s^2)/6}} = 1{,}3\ s$

45 $v = gt = (3{,}7\ m/s^2)(35\ s) = 7{,}6\ m/s \simeq 130\ m/s;\ s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(3{,}7\ m/s^2)(35\ s)^2 = 2{,}3\ km$

46 $s_G = s_A \Rightarrow 5{,}0\ m + \frac{1}{2}(1{,}2\ m/s^2)(3{,}0\ s)^2 = \frac{1}{2}a_A(3{,}0\ s)^2 \Rightarrow a_A = \frac{10\ m + (1{,}2\ m/s^2)(9{,}0\ s^2)}{(9{,}0\ s^2)} = 2{,}3\ m/s^2$

47 PROBLEMA MODELLO a pag. 251

48 $v = \sqrt{2g\Delta s} = \sqrt{2(9{,}8\ m/s^2)(20\ m)} = 20\ m/s$

49 $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9{,}8\ m/s^2)(13\ m)} = 16\ m/s$

50 Se non ci fosse l'attrito con l'aria la velocità finale d'impatto sarebbe

$v = \sqrt{2gs} = \sqrt{2(9{,}8\,m/s^2)(2{,}5\,m)} = \sqrt{49\,m^2/s^2} = 7{,}0\,m/s$

La velocità d'impatto reale dovuta all'attrito è $v_a = \frac{21}{3{,}6} m/s = 5{,}8\,m/s$. La perdita percentuale di velocità è quindi

$\frac{v - v_a}{v} \times 100\% = \frac{1{,}2}{7{,}0} \times 100\% = 17\%$

51 $t=\frac{v}{g}=\frac{6,0\ \text{m/s}}{9,8\ \text{m/s}^2}=0,6\ \text{s}$

$s=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)\left(6,0\ \text{m/s}\right)^2=1,8\ \text{m}$

52 Il tempo di caduta è $\Delta t=\frac{\Delta v}{g}$, quindi l'altezza del muretto è

$s=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{\Delta v}{g}\right)^2=\frac{1}{2}\frac{\Delta v^2}{g}\quad\Rightarrow\quad s=\frac{1}{2}\frac{\left(5,0\ \text{m/s}\right)^2}{9,8\ \text{m/s}^2}=1,3\ \text{m}$

53
- $v=gt=\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)\left(1,3\ \text{s}\right)=13\ \text{m/s}$
- $h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)\left(1,3\ \text{s}\right)^2=8,3\ \text{m}$

54 L'accelerazione è $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$, per cui la distanza percorsa è data da

$s=\frac{1}{2}a\left(\Delta t\right)^2=\frac{1}{2}\frac{\Delta v}{\Delta t}\left(\Delta t\right)^2=\frac{1}{2}\Delta v\Delta t=\frac{1}{2}\left(3,6\ \text{m/s}\right)\left(5,0\ \text{s}\right)=9,0\ \text{m}$

55 $\begin{cases} s=\frac{1}{2}at_1^2 \\ v=at_1 \end{cases}\Rightarrow$

$\frac{s}{v}=\frac{\left(1/2\right)at_1^2}{at_1}=\frac{t_1}{2}\quad\Rightarrow\quad t_1=\frac{2s}{v}=\frac{2\left(45\ \text{m}\right)}{17\ \text{m/s}}=5,3\ \text{s}\ ;\ a=\frac{v}{t_1}=\frac{17\ \text{m/s}}{5,3\ \text{s}}=3,2\ \text{m/s}^2$

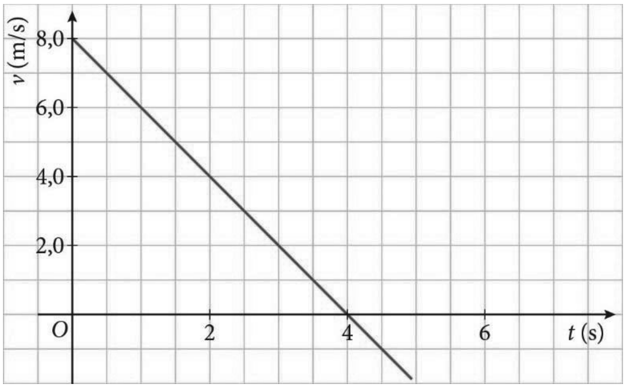
56
- $t=\frac{2s}{v}=\frac{2\left(610\ \text{m}\right)}{100\ \text{m/s}}=12,2\ \text{s}$
- $a=\frac{v}{t}=\frac{100\ \text{m/s}}{12,2\ \text{s}}=8,20\ \text{m/s}^2$

57 $a=\frac{v}{t};\ \ s=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{v}{\cancel{t}}t^{\cancel{2}}\Leftrightarrow t=\frac{2s}{v}=\frac{3,0\times10^3\ \text{m}}{\frac{3,0\times10^2}{3,6}\text{m/s}}=36\ \text{s}$

▶ 4. Il moto uniformemente accelerato con partenza in velocità

58 No: nella legge $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ compaiono due termini, il primo direttamente proporzionale al tempo, il secondo direttamente proporzionale al quadrato del tempo; poiché sono proporzionalità differenti, non esiste alcuna proporzionalità tra distanza percorsa e tempo impiegato.

59



$v = 8{,}0 \text{ m/s} + (-2{,}0 \text{ m/s}^2)t$

60 Dal grafico si deduce che la velocità iniziale è 5 m/s, mentre l'accelerazione è data dalla pendenza del grafico. Utilizzando i due punti estremi del grafico, si ricava

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{2{,}0 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}^2$$

Quindi la legge è $v = 5{,}0 \text{ m/s} + 10t$.

L'area sotto il grafico tra 1 s e 2 s è la distanza percorsa:

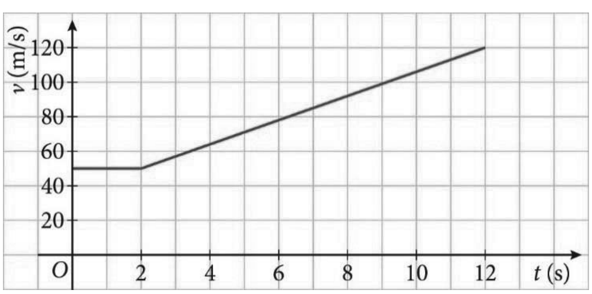
$$\Delta s = \frac{1}{2}(25 \text{ m/s} + 15 \text{ m/s})(2{,}0 \text{ s} - 1{,}0 \text{ s}) = 20 \text{ m}$$

61 $$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{18}{3{,}6} \text{ m/s}\right)(1{,}5 \text{ s}) + \frac{1}{2}(2{,}0 \text{ m/s}^2)(1{,}5^2 \text{ s}^2) = 9{,}8 \text{ m}$$

62 $$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{32}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}}}\right)(8{,}0\cancel{\text{s}}) + \frac{1}{2}\left(0{,}40\frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}^2}}\right)(8{,}0^2 \cancel{\text{s}^2}) = 84 \text{ m}$$

63 $$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{(5{,}0 - 3{,}0)\times 10^{-2} \text{ m/s}}{5{,}0\times 10^{-3} \text{ m/s}^2} = 4{,}0 \text{ s}$$

64 Un grafico coerente con i dati forniti è il seguente:



65 No, perché la distanza di frenata è proporzionale al quadrato della velocità.

66 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 253.

67 ▪ $t = \dfrac{v - v_0}{a} = \dfrac{0\ \text{m/s} - \dfrac{120}{3,6}\ \text{m/s}}{\left(-3,0\ \text{m/s}^2\right)} = \dfrac{\left(-33,3\ \text{m/s}\right)}{\left(-3,0\ \text{m/s}^2\right)} = 11\ \text{s}$

▪ $d = s = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2 = \left(33,3\ \text{m/s}\right)\left(11\ \text{s}\right) + \dfrac{1}{2}\left(-3,0\ \text{m/s}^2\right)\left(11\ \text{s}\right)^2 = 1,9\times10^2\ \text{m}$

68 ▪ $108\ \text{km/h} = \dfrac{108}{3,6}\ \text{m/s} = 30\ \text{m/s}$

$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = -\dfrac{30\ \text{m/s}}{3,9\ \text{s}} = -7,7\ \text{m/s}^2$

▪ La distanza di arresto si ricava dalla relazione seguente dove la velocità finale è zero:

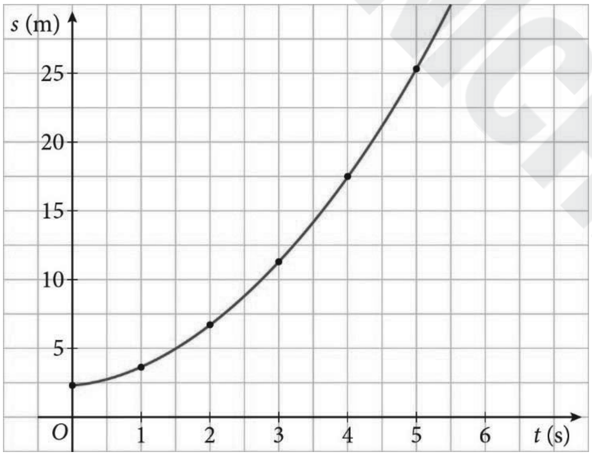
$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \;\Rightarrow\; \Delta s = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2a} = \dfrac{0 - \left(30\ \text{m/s}\right)^2}{2(-7,7\ \text{m/s}^2)} = 58\ \text{m}$

69 ▪ Dal confronto con la legge $s = s_0 + v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$ del moto uniformemente accelerato si ricava

$s_0 = 2,3\ \text{m}$

$v_0 = 0,60\ \text{m/s}$

$a = 1,6\ \text{m/s}^2$

▪ 

70 ▪ $v_1 = a_1 t_1 = \left(2,0\ \text{m/s}^2\right)\left(3,0\ \text{s}\right) = 6,0\ \text{m/s}$

▪ $h_1 = \dfrac{1}{2}a_1 t_1^{\,2} = \dfrac{1}{2}\left(2,0\ \text{m/s}^2\right)\left(3,0\ \text{s}\right)^2 = 9,0\ \text{m}$

▪ $0 = v_1 - a_2 t_2 \;\Rightarrow\; t_2 = \dfrac{v_1}{a_2} = \dfrac{6,0\ \text{m/s}}{1,5\ \text{m/s}^2} = 4,0\ \text{s}$

▪ $h_2 = h_1 + v_2 t + \dfrac{1}{2}a_2 t_2^{\,2} = 9\ \text{m} + \left(6,0\ \text{m/s}\right)\left(4,0\ \text{s}\right) - \dfrac{1}{2}\left(1,5\ \text{m/s}^2\right)\left(4,0\ \text{s}\right)^2 = 21\ \text{m}$

71 PROBLEMA MODELLO a pag. 253

72 Il valore dell'accelerazione (negativa) dell'auto si ricava come segue:

$$a : g = 61 : 100 \;\Rightarrow\; a = \frac{g}{100} \times 61 = \frac{9{,}8\ \text{m/s}^2}{100} \times 61 = 6{,}0\ \text{m/s}^2$$

Ricaviamo il tempo necessario per fermarsi ($v = 0$ m/s) in 10 m

$$v = v_0 + (-a)t \quad\Rightarrow\quad 0 = v_0 - at \quad\Rightarrow\quad v_0 = at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}(-a)t^2 = at^2 - \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}at^2 \quad\Rightarrow\quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 10\ \text{m}}{6{,}0\ \text{m/s}^2}} = 1{,}8\ \text{s}$$

73
- $v_0 = v - at = \dfrac{90}{3{,}6}\,\text{m/s} - \left(2{,}5\ \text{m/s}^2\right)\left(6{,}0\ \text{s}\right) = 10\ \text{m/s}$
- $s = v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2 = \left(10\ \text{m/s}\right)\left(6{,}0\ \text{s}\right) + \dfrac{1}{2}\left(2{,}5\ \text{m/s}^2\right)\left(6{,}0\ \text{s}\right)^2 = 1{,}1 \times 10^2\ \text{m}$

74

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{\dfrac{25 - 90}{3{,}6}\,\text{m/s}}{24\ \text{s}} = -0{,}75\ \text{m/s}^2$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{90}{3{,}6}\ \frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}}}\right)\left(24\cancel{\text{s}}\right) + \frac{1}{2}\left(-0{,}75\ \frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}^2}}\right)\left(24^2\,\cancel{\text{s}^2}\right) = 3{,}8 \times 10^2\,\text{m}$$

75 PROBLEMA SVOLTO

76
- Convertiamo la velocità in m/s:

  $$v = 30\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{30}{3{,}6}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8{,}3\ \text{m/s}$$

  L'accelerazione dell'auto è negativa e può essere ricavata dalla relazione $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$.

  Poiché la moto si ferma, la velocità finale è $v = 0$ m/s. Quindi:

  $$a = -\frac{v_0^2}{2\Delta s} = -\frac{\left(8{,}3\ \text{m/s}\right)^2}{2\left(9{,}0\ \text{m}\right)} = -3{,}8\ \text{m/s}^2$$

- Il tempo di frenata è dato da

  $$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 8{,}3\ \text{m/s}}{-3{,}8\ \text{m/s}^2} = 2{,}2\ \text{s}$$

77 La velocità finale è

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gs} = \sqrt{\left(3{,}5\ \text{m/s}\right)^2 + 2\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(5{,}5\ \text{m}\right)} = 11\ \text{m/s}$$

78 ■ $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = (3{,}0\ \text{mm/a})(76\ \text{a}) + \frac{1}{2}(0{,}084\ \text{mm/a}^2)(76\ \text{a})^2 = 4{,}7 \times 10^2\ \text{mm} = 47\ \text{cm}$

■ $\Delta s = s_{\text{acc}} - s_{\text{unif}} = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(0{,}084\ \text{mm/a}^2)(76\ \text{a})^2 = 2{,}4 \times 10^2\ \text{mm} = 24\ \text{cm}$

Quindi, oltre metà dell'innalzamento sarebbe dovuta all'accelerazione.

79 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad \Rightarrow \quad a = 2\left(\frac{s - v_0 t}{t^2}\right) = 2\frac{750\ \text{m} - \left(\frac{75}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)(15\ \text{s})}{(15\ \text{s})^2} = 3{,}9\ \text{m/s}^2$

80 Il tempo che impiega il blocco di neve ad arrivare a terra è $t = \frac{v}{g} = \frac{14\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 1{,}429\ \text{s}$.

Quindi, l'altezza da cui il blocco cade è $s_{\text{tot}} = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}429\ \text{s})^2 = 10\ \text{m}$.

Il tempo che il blocco impiega dal cornicione a quando passa davanti agli occhi di Roberta è

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s_1}{g}} = \sqrt{\frac{2(10\ \text{m} - 9\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}45\ \text{s}$$

Quindi, la velocità del blocco all'istante t_1 è $v = gt = (9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}45\ \text{s}) = 4{,}4\ \text{m/s}$.

81 $v = 130\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{130}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\text{s}} = 36{,}1\ \text{m/s}$

Calcoliamo la distanza percorsa durante il tempo di reazione (cioè prima di iniziare a frenare con accelerazione negativa costante):

$$s_r = v_0 t_r = (36{,}1\ \text{m/s})(1{,}0\ \text{s}) = 36\ \text{m}$$

Quindi, la distanza di frenata è $\Delta s = s_{\text{tot}} - s_r = 110\ \text{m} - 36\ \text{m} = 74\ \text{m}$.

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta s} = \frac{(0 - 36{,}1^2)\text{m}^2/\text{s}^2}{2(74\ \text{m})} = -8{,}8\ \text{m/s}^2$$

Quindi, il tempo di frenata è $t = -\frac{v_0}{a} = \frac{-36{,}1\ \text{m/s}}{-8{,}8\ \text{m/s}^2} = 4{,}1\ \text{s}$ e il tempo totale di arresto è $t_{\text{tot}} = t_r + t = 5{,}1\ \text{s}$.

82 La distanza percorsa durante il tempo di reazione è $s_r = v_0 t_r = \left(\frac{90}{3{,}6}\text{m/s}\right)(0{,}80\ \text{s}) = 20\ \text{m}$.

Da $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ si ricava $\Delta s = \frac{0 - v_0^2}{2a} = \frac{-(25\ \text{m/s})^2}{2 \times (-9{,}0\ \text{m/s}^2)} = 35\ \text{m}$. Quindi:

$$s = \Delta s + s_r = 35\ \text{m} + 20\ \text{m} = 55\ \text{m}$$

No, non riuscirebbe a fermarsi prima del blocco.

5. Il lancio verticale verso l'alto

83 Le sfere raggiungono la stessa altezza, poiché partono con la stessa velocità iniziale e sono rallentate nello stesso modo dall'accelerazione di gravità, che rappresenta l'unica causa, dato che possiamo trascurare l'attrito con l'aria.

84 No. Sì, nel punto di massima altezza.

85 Il grafico E. Se trascuriamo l'attrito con l'aria, l'accelerazione della palla lanciata è quella di gravità.

86
- Il sasso *A* arriva a terra con velocità maggiore, perché ha una velocità iniziale.
- Hanno entrambi la stessa accelerazione.

87 Scegliendo come verso positivo quello verso l'alto, si ha

$$v = v_0 + (-g)t = 7{,}0\ \text{m/s} - (9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}50\ \text{s}) = 2{,}1\ \text{m/s}$$

88 Scegliendo come verso positivo quello verso l'alto, si ha

$$v_0 = v - (-g)t = 2{,}0\ \text{m/s} + (9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}40\ \text{s}) = 5{,}9\ \text{m/s}$$

89 PROBLEMA SVOLTO

90 $$0 = v_0 + (-g)t \ \Rightarrow\ t = \frac{v_0}{g} = \frac{4{,}3\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}44\ \text{s}$$

Nel punto più alto la velocità è nulla.

91
- Fissiamo il verso positivo dell'asse verticale in alto e l'origine nel punto di lancio, quindi l'accelerazione di gravità è negativa, $-g$. Nel punto di massima altezza $v = 0$ m/s. Si ha

$$v^2 = v_0^2 + 2g\Delta s \ \Rightarrow\ 0 = v_0^2 + 2(-g)s \ \Rightarrow\ s = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(10\ \text{m/s})^2}{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 5{,}1\ \text{m}$$

- Il tempo in cui la pallina resta in aria è il tempo di volo, pari al doppio del tempo di salita:

$$t = 2\frac{-v_0}{-g} = 2\frac{v_0}{g} = 2\left(\frac{10\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}\right) = 2{,}0\ \text{s}$$

92
- Fissiamo il verso positivo dell'asse verticale in alto, quindi la velocità finale è pari a zero e $a = -g$:

$$v = v_0 + (-g)t \Rightarrow 0 = v_0 - gt \ \Rightarrow\ t = \frac{v_0}{g} = \frac{5{,}2\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}53\ \text{s}$$

- $$\Delta s_{max} = \frac{-v_0^2}{2(-g)} = \frac{(5{,}2\ \text{m/s})^2}{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 1{,}4\ \text{m}$$

  da cui segue che l'altezza massima raggiunta da terra è data da
  $h_{max} = s_0 + \Delta s_{max} = 0{,}20\ \text{m} + 1{,}4\ \text{m} = 1{,}6\ \text{m}$

93 ■ L'altezza massima si ottiene quando la velocità verticale è nulla:

$$v = v_0 - gt = 0 \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v_0}{g}$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 = \frac{v_0^2}{g} - \frac{1}{2}g\frac{v_0^2}{g^2} = \frac{v_0^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad v_0 = \sqrt{2gs} = \sqrt{2\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(2{,}45\ \text{m}\right)} = 6{,}9\ \text{m/s}$$

■ Sulla Luna $g = 1{,}6\ \text{m/s}^2$, quindi:

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{6{,}9\ \text{m/s}}{1{,}6\ \text{m/s}^2} = 4{,}3\ \text{s}$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 = \left(6{,}9\ \text{m/s}\right)\left(4{,}3\ \text{s}\right) - \frac{1}{2}\left(1{,}6\ \text{m/s}^2\right)\left(4{,}3\ \text{s}\right)^2 = 15\ \text{m}$$

94 ■ $h = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 = \left(11\ \text{m/s}\right)\left(2{,}0\ \text{s}\right) + \frac{1}{2}\left(-9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(2{,}0\ \text{s}\right)^2 = 2{,}4\ \text{m}$

■ Il tempo per raggiungere l'altezza massima è

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{15\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 1{,}5\ \text{s}$$

quindi all'istante $t = 2{,}0$ s la pallina sta scendendo.

95 PROBLEMA MODELLO a pag. 256

96 ■ Fissiamo il verso positivo dell'asse verticale in alto e l'origine nel punto di lancio, quindi l'accelerazione di gravità è negativa, $-g$. Nel punto di massima altezza $v = 0$ m/s. Si ha

$$v^2 = v_0^2 + 2g\Delta s \quad \Rightarrow \quad 0 = v_0^2 + 2gs \quad \Rightarrow$$

$$v_0 = \sqrt{-2(-g)s} = \sqrt{-2(-9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}30\ \text{m})} = 2{,}4\ \text{m/s}$$

■ $t_1 = 2\frac{-v_0}{-g} = 2\frac{v_0}{g} = 2\left(\frac{2{,}4\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}\right) = 0{,}49\ \text{s}$

■ Calcoliamo il tempo impiegato ad arrivare dalla posizione iniziale fino a terra, con velocità iniziale uguale in valore assoluto alla velocità iniziale di lancio ma verso opposto:

$$s = v_{02}t_2 + \frac{1}{2}(-g)t_2^2 \quad \Rightarrow \quad -0{,}90\ \text{m} = (-2{,}4\ \text{m/s})t_2 + \frac{1}{2}(-9{,}8\ \text{m/s}^2)t_2^2 \quad \Rightarrow$$

$$(4{,}9\ \text{m/s}^2)t_2^2 + (2{,}4\ \text{m/s})t_2 - 0{,}90\ \text{m} = 0 \quad \Rightarrow$$

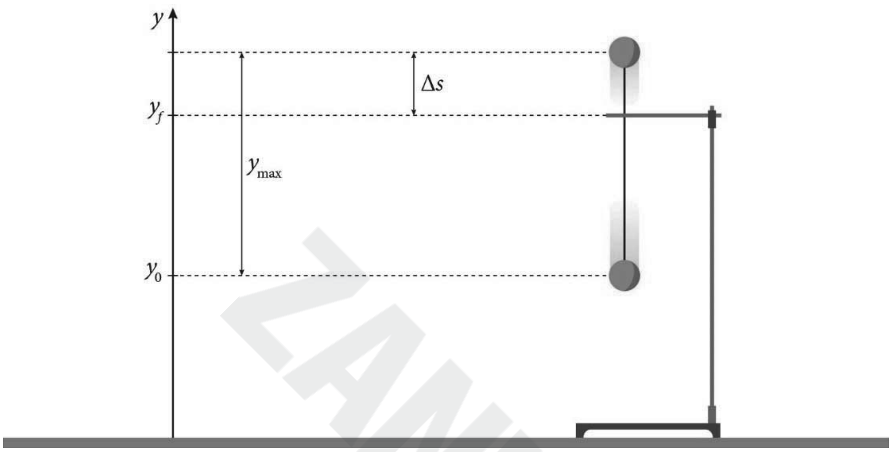
$$t_2 = \frac{-1{,}2\ \text{m/s} \pm \sqrt{(1{,}2)^2\ \text{m}^2/\text{s}^2 + 4{,}41\ \text{m}^2/\text{s}^2}}{4{,}9\ \text{m/s}^2} = 0{,}25\ \text{s}$$

Scartiamo la soluzione negativa (non accettabile) per il tempo. Quindi:

$$t = t_1 + t_2 = (0{,}49 + 0{,}25)\,\text{s} = 0{,}74\ \text{s}\ .$$

97 La quota massima raggiunta dalla pallina rispetto alla posizione iniziale, y_0 è $y_{max} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(5,3 \text{ m/s})^2}{2 \times (9,8 \text{ m/s}^2)} = 1,43 \text{ m}$.

Il tempo impiegato dalla pallina per raggiungere la massima altezza è $t_{max} = \frac{v_0}{g} = \frac{5,3 \text{ m/s}}{9,8 \text{ m/s}^2} = 0,54 \text{ s}$.



Il tratto percorso in discesa è dato da $\Delta s = (y_{max} + y_0) - y_f = (1,0 \text{ m} + 1,43 \text{ m}) - 2,0 \text{ m} = 0,43 \text{ m}$.

Il tempo di discesa è $t_{discesa} = \sqrt{\frac{2\Delta s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (0,43 \text{ m})}{9,8 \text{ m/s}^2}} = 0,30 \text{ s}$.

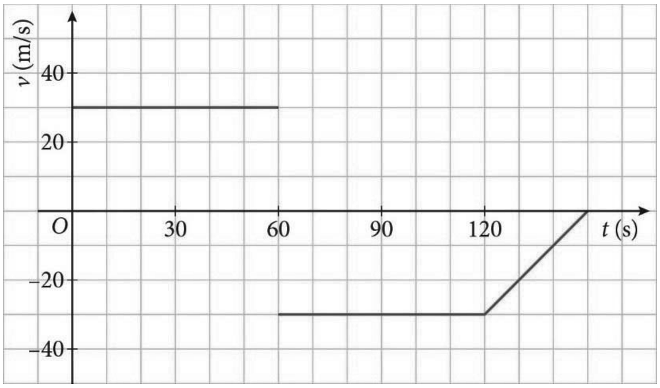
Il tempo totale trascorso in aria dalla pallina è $t_{tot} = t_{max} + t_{discesa} = (0,54 + 0,30) \text{ s} = 0,84 \text{ s}$.

6. La legge di Archimede

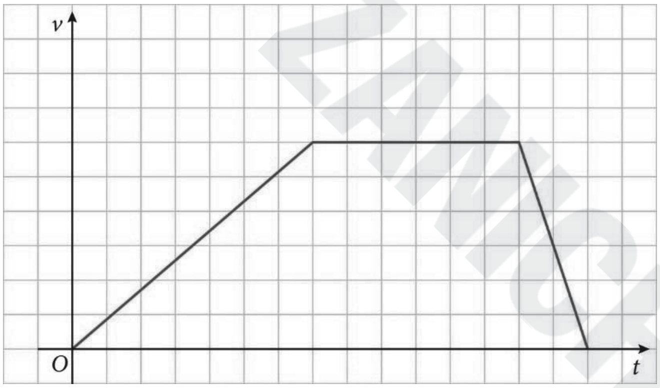
98 Una palla lanciata verso l'alto diminuisce la sua velocità, perché l'accelerazione di gravità è nel verso opposto; pertanto, la massima velocità si ha al momento del lancio.

99 Grafico spazio-tempo:
una possibile interpretazione del grafico è la seguente: all'istante t = 0 Luigi (linea rossa) si trova pochi metri oltre il cancello di casa (assunto come origine dello spostamento) e cammina con passo costante verso il fondo della strada. Nello stesso istante suo fratello Marco (linea blu) in bicicletta sbuca a tutta velocità da una strada laterale e gli viene incontro frenando con decelerazione costante. I due fratelli si incrociano nell'istante a cui corrisponde l'intersezione delle linee del grafico. Marco oltrepassa il cancello di casa per entrare nel passo carraio (ordinata negativa nel grafico).
Grafico velocità-tempo:
una possibile interpretazione del grafico è la seguente: all'istante t = 0 un aereo (linea rossa) è lanciato sulla pista di decollo, accelerando uniformemente. Nello stesso istante un aereo militare viene agganciato dal cavo di arresto di una portaerei (assimilabile ad una grande molla) che lo frena con accelerazione via via crescente nel tempo, fino ad arrestarlo (la velocità è nulla nel punto di intersezione della linea blu con l'asse del tempo) e farlo tornare lievemente indietro (ordinate negative della linea blu). L'intersezione delle linee nel grafico indica che in quell'istante i due aerei hanno la stessa velocità istantanea.

100



101 Un possibile grafico potrebbe essere il seguente:



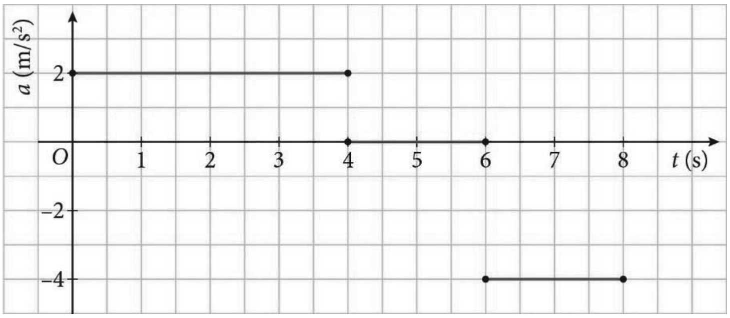
102 Il primo.

103
- $a_1 = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{8\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s}}{4\ \text{s} - 0\ \text{s}} = 2\ \text{m/s}^2$

  $a_2 = 0\ \text{m/s}^2$

  $a_3 = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{0\ \text{m/s} - 8\ \text{m/s}}{8\ \text{s} - 6\ \text{s}} = -4\ \text{m/s}^2$

- Il grafico accelerazione-tempo è

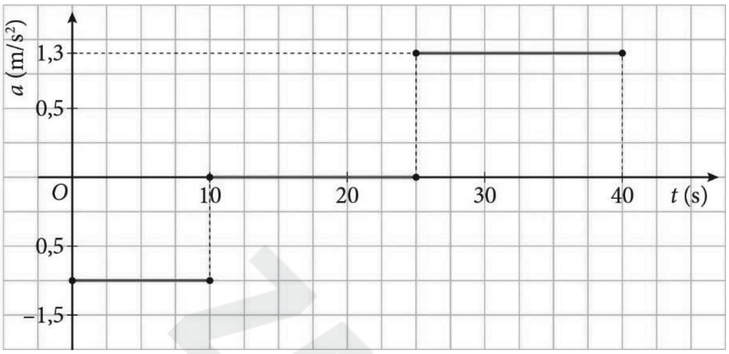


104 ■ $a_1 = \dfrac{20\ \text{m/s} - 30\ \text{m/s}}{10\ \text{s}} = -1{,}0\ \text{m/s}^2$

$a_2 = 0\ \text{m/s}^2$

$a_3 = \dfrac{40\ \text{m/s}^2 - 20\ \text{m/s}^2}{15\ \text{m/s}^2} = 1{,}3\ \text{m/s}^2$

■



■ $s_1 - s_0 = (30\ \text{m/s})(10\ \text{s}) + \dfrac{1}{2}(-1{,}0\ \text{m/s}^2)(10\ \text{s})^2 = 2{,}5 \times 10^2\ \text{m}$

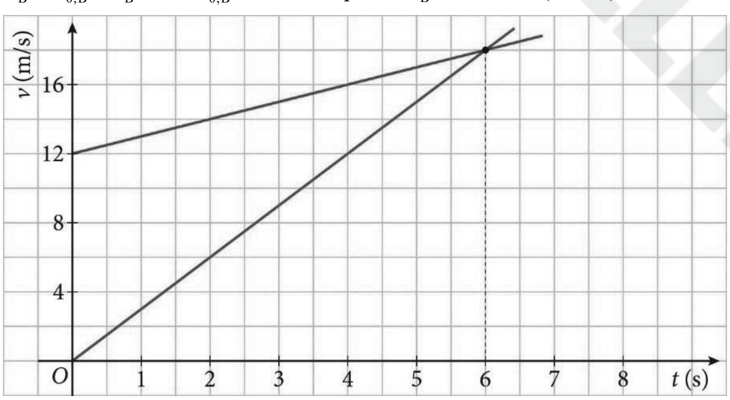
$s_2 - s_1 = (20\ \text{m/s})(15\ \text{s}) = 3{,}0 \times 10^2\ \text{m}$

$s_3 - s_2 = (20\ \text{m/s})(15\ \text{s}) + \dfrac{1}{2}(1{,}3\ \text{m/s}^2)(15\ \text{s})^2 = 4{,}5 \times 10^2\ \text{m}$

$s_{\text{tot}} = 2{,}5 \times 10^2\ \text{m} + 3{,}0 \times 10^2\ \text{m} + 4{,}5 \times 10^2\ \text{m} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{m}$

105 ■ $v_{\text{A}} = v_{0,\text{A}} + a_{\text{A}} t$ con $v_{0A} = 0\ \text{m/s}$, quindi $v_{\text{A}} = (3\ \text{m/s}^2)t$

$v_{\text{B}} = v_{0,\text{B}} + a_{\text{B}} t$ con $v_{0,\text{B}} = 12\ \text{m/s}$, quindi $v_{\text{B}} = 12\ \text{m/s} + (1\ \text{m/s}^2)t$



■ Le due auto hanno la stessa velocità all'istante di tempo in cui $v_A = v_B$, cioè:

$(3\ \text{m/s}^2)t = 12\ \text{m/s} + (1\ \text{m/s}^2)t \Rightarrow t = \dfrac{12\ \text{m/s}}{2\ \text{m/s}^2} = 6\ \text{s}.$

■ In quell'istante di tempo, le due auto si muovono alla velocità di 18 m/s.

106 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 257.

107 2

108 A

109 B

110 C

111 A

112 Il tempo impiegato per raggiungere l'altezza massima è $t_{\max} = \frac{v_0}{g} = \frac{10\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 1{,}0\ \text{s}$.

L'altezza massima è $s_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(10\ \text{m/s})^2}{2\times(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 5{,}1\ \text{m}$. Quindi la palestra deve essere alta più di 5,1 m.

113
- $$t = -\frac{v_0}{a} = -\frac{\left(\frac{50}{3{,}6}\right)\text{m/s}}{\left(-3{,}5\ \text{m/s}^2\right)} = 4{,}0\ \text{s}$$
- Indicando con s la distanza tra lo scooter e il semaforo, con v_0 la velocità iniziale dello scooter e con a il modulo della sua accelerazione, durante la frenata lo scooter percorre una distanza

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{50}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)(4{,}0\ \text{s}) + \frac{1}{2}\left(-3{,}5\ \text{m/s}^2\right)(4{,}0\ \text{s}) = 27\ \text{m}$$

per cui non riesce a fermarsi prima del semaforo.
- Per fermarsi prima del semaforo è necessaria un'accelerazione di maggiore intensità.

Combinando le relazioni $t = -\frac{v_0}{a}$ e $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$, otteniamo $s = -\frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a}$, da cui segue

$$a = -\frac{v_0^2}{2s} \Rightarrow a = -\frac{(13{,}9\ \text{m/s})^2}{2\times 25\ \text{m}} = -3{,}9\ \text{m/s}^2$$

114
- Cadendo a causa della gravità, per raggiungere la velocità di 100 km/h è necessario un tempo pari a

$$t = \frac{v}{g} = \frac{\left(\frac{100}{3{,}6}\right)\text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 2{,}8\ \text{s}$$

- L'altezza da cui dovrebbe cadere un oggetto, da fermo, per raggiungere la stessa velocità è

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}\frac{v^2}{g} = \frac{1}{2}\frac{\left[\left(\frac{100}{3{,}6}\right)\text{m/s}\right]^2}{\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)} = 39\ \text{m}$$

115
- L'accelerazione del sangue è

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{26\times10^{-2}\ \text{m/s}}{0{,}16\ \text{s}} = 1{,}6\ \text{m/s}^2$$

- La distanza percorsa è data da

$$d = \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 = \frac{1}{2}\Delta v\Delta t = \frac{1}{2}\left(26\times10^{-2}\ \text{m/s}\right)(0{,}16\ \text{s}) = 2{,}1\ \text{cm}$$

116

- Il tempo di caduta è

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 5{,}0\ \text{m}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}}=1{,}0\ \text{s}$$

- Se il tempo di caduta raddoppia, la distanza percorsa diventa il quadruplo, cioè 20 m. L'aumento è di 15 metri, cioè del 300%.

117

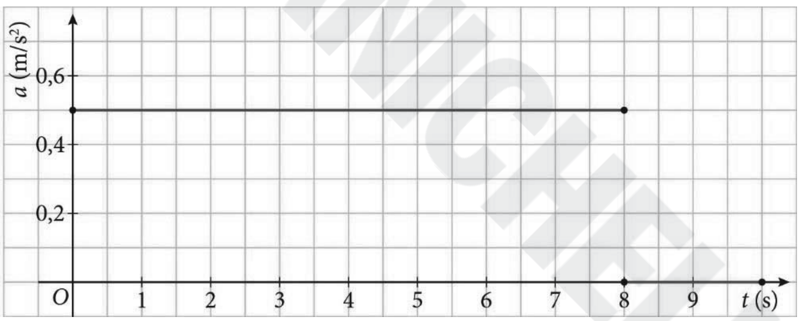
- Alberto corre in avanti, con accelerazione costante per i primi 8 s:

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{6\ \text{m/s}-2\ \text{m/s}}{8\ \text{s}-0\ \text{s}}=0{,}5\ \text{m/s}^2$$

Poi corre a velocità costante.

Biagio corre nel verso negativo per i primi 2 s, rallentando, poi inverte il verso della sua corsa; nei primi 8 s ha la stessa accelerazione di Alberto. Dopo 8 s, anche Biagio corre a velocità costante.

- La velocità di Alberto è sempre maggiore di quella di Biagio, per cui i due, al più, sono affiancati in un solo istante (le loro posizioni iniziali non sono note).
- Come visto nel primo punto, le accelerazioni dei due corridori, nei primi 8 s, sono uguali tra loro e pari a 0,5 m/s^2.
- Il grafico accelerazione-tempo è identico per entrambi:



- La distanza percorsa è uguale, in modulo, all'area tra il grafico e l'asse delle ascisse, cioè 6 m.

118 Indichiamo con $h_{1\text{-max}}$ l'altezza raggiunta nel primo lancio e con $h_{2\text{-max}}$ quella raggiunta nel secondo.

Calcoliamo l'altezza massima nel primo lancio, ricavando la velocità iniziale dal tempo t_{max}:

$$v_0=t_{\text{max}}\,g=(1{,}3\ \text{s})(9{,}8\ \text{m/s}^2)=12{,}7\ \text{m/s}$$

$$h_{1-\text{max}}=\frac{v_{01}^2}{2g}=\frac{(12{,}7\ \text{m/s})^2}{2\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)}=8{,}3\ \text{m}$$

Poiché $h_{2-\text{max}}=\frac{1}{2}h_{1-\text{max}}$, si ha

$$v_{02}=\sqrt{2gh_{2-\text{max}}}=\sqrt{gh_{1-\text{max}}}=\sqrt{\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(8{,}3\ \text{m}\right)}=9{,}0\ \text{m/s}$$

119 ■ Quando il semaforo diventa rosso la velocità dell'auto è

$$v = v_0 + at = \left(\frac{120}{3,6}\ \text{m/s}\right) + \left(-3,0\ \text{m/s}^2\right)\left(10\ \text{s}\right) = 3,3\ \text{m/s} = 12\ \text{km/h}$$

■ $$d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(\frac{120}{3,6}\ \text{m/s}\right)\left(10\ \text{s}\right) + \frac{1}{2}\left(-3,0\ \text{m/s}^2\right)\left(10\ \text{s}\right)^2 = 183\ \text{m}$$

Perciò l'auto è a 7 m dal semaforo.

120 La distanza percorsa è uguale, in modulo, all'area tra il grafico e l'asse delle ascisse, cioè 6 m.

121 **Agnese:** $s_A = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(2,0\ \text{m/s}^2)(3,0\ \text{s})^2 = 9,0\ \text{m}$

Alla fine della fase di accelerazione Agnese ha raggiunto una velocità

$v = at = (2,0\ \text{m/s}^2)(3,0\ \text{s}) = 6,0\ \text{m/s}$

che mantiene per (100 – 9,0) m = 91 m. Il tempo impiegato a percorrere a velocità costante 91 m è

$$t = \frac{s}{v} = \frac{91\ \text{m}}{6,0\ \text{m/s}} = 15\ \text{s}$$

Quindi, per percorrere 100 m, Agnese impiega in totale (15 + 3,0) s = 18 s.

Giacomo: $s_G = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(1,3\ \text{m/s}^2)(4,0\ \text{s})^2 = 10\ \text{m}$

Alla fine della fase di accelerazione Giacomo ha raggiunto una velocità

$v = at = (1,3\ \text{m/s}^2)(4,0\ \text{s}) = 5,2\ \text{m/s}$

che mantiene per (100 – 10) m = 90 m. Il tempo impiegato a percorrere a velocità costante 90 m è

$$t = \frac{s}{v} = \frac{90\ \text{m}}{5,2\ \text{m/s}} = 17\ \text{s}$$

quindi in totale Giacomo impiega (17 + 4,0)s = 21 s a percorrere 100 m.

Agnese arriva (21 – 18) s = 3 s prima di Giacomo al traguardo con un distacco
$s_{dis} = v_G t_{dis} = (5,2\ \text{m/s})(3\ \text{s}) \simeq 16\ \text{m}$

122 Al tempo t_1 la velocità è $v_1 = 31\ \text{km/h}$, al tempo t_2 la velocità è $v_2 = 47\ \text{km/h}$. L'accelerazione è $a = \frac{v_2}{t_2} = \frac{v_1}{t_1}$, per cui la distanza percorsa all'istante t_1 è

$$s = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2}a\left(\frac{v_1}{a}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{v_1^2}{a} = \frac{1}{2}\frac{v_1^2}{v_2}t_2 = \frac{1}{2}\frac{\left[\left(31/3,6\right)\text{m/s}\right]^2}{\left(47/3,6\right)\text{m/s}}\left(2,1\ \text{s}\right) = 6,0\ \text{m}$$

123 Il tempo impiegato dal pallone per tornare al suolo dopo il calcio è

$$t = 2\frac{v_0}{g} = 2\frac{8,0\,\frac{\cancel{m}}{\cancel{s}}}{9,8\,\frac{\cancel{m}}{s^{\cancel{2}}}} = 1,6\ \text{s}\ ;\ a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2\times 2,5\ \text{m}}{(1,6\ \text{s})^2} = 1,9\ \text{m/s}^2$$

124 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B

2 B

3 A

4 C

5
- $$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2\times(1,5\times 10^2\ \text{m})}{(12\ \text{s})^2} = 2,1\ \text{m/s}^2$$
- $$v_f = at = (2,1\ \text{m/s}^2)(12\ \text{s}) = 25\ \text{m/s}$$

6
- $$a = -\frac{v_0^2}{2s_{\text{stop}}} = -\frac{(112/3,6\ \text{m/s})^2}{2\times(1,3\times 10^2\ \text{m})} = -3,7\ \text{m/s}^2$$
- $$t = \frac{v_0}{-a} = \frac{112/3,6\ \text{m/s}}{3,7\ \text{m/s}^2} = 8,4\ \text{s}$$

7
- Per giungere alla massima altezza il sasso impiega il tempo t_1:
  $$t_1 = \frac{v_0}{g} = \frac{10\ \text{m/s}}{9,8\ \text{m/s}^2} = 1,0\ \text{s}$$
- L'altezza massima è
  $$h = h_0 + v_0 t_1 - \frac{1}{2}g t_1^2 = 1,0\ \text{m} + (10\ \text{m/s})(1,0\ \text{s}) - \frac{1}{2}(9,8\ \text{m/s}^2)(1,0\ \text{s})^2 = 6,1\ \text{m}$$
- Per cadere dal punto di massima altezza fino a terra il sasso impiega un tempo pari a
  $$t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2\times 6,1\ \text{m}}{9,8\ \text{m/s}^2}} = 1,1\ \text{s}$$
  per cui tocca il suolo dopo
  $$t_1 + t_2 = 1,0\ \text{s} + 1,1\ \text{s} = 2,1\ \text{s}$$

8 Scegliamo come origine il suolo e come verso positivo quello verso l'alto. Le posizioni iniziali delle palline lanciate da Massimo e Adele sono, rispettivamente, $s_{0M} = 16$ m e $s_{0A} = 0$ m e le velocità iniziali sono $v_{0M} = 0$ m/s e $v_{0A} = 10$ m/s.

L'istante di tempo in cui le due palline sono alla stessa altezza è dato da

$$s_{0M} + v_{0M}t - \frac{1}{2}gt^2 = s_{0A} + v_{0A}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad t = \frac{s_{0A} - s_{0M}}{v_{0M} - v_{0A}} = 1{,}6 \text{ s}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Il primo corpo impiega un tempo $t_1 = \sqrt{\frac{2s}{a_1}} = \sqrt{\frac{2(12{,}8 \text{ m})}{1{,}85 \text{ m/s}^2}} = 3{,}72$ s, quindi il secondo corpo impiega un tempo

$t_2 = 2t_1 = 7{,}44$ s. Quindi:

$$a_2 = \frac{2s}{t_2^2} = \frac{2(12{,}8 \text{ m})}{(7{,}44 \text{ s})^2} = 0{,}462 \text{ m/s}^2$$

Notiamo che a un tempo doppio corrisponde un'accelerazione pari a un quarto.

2 $v_0 = \sqrt{v_0^2 - 2as} = \sqrt{(5{,}0 \text{ m/s})^2 - 2(-9{,}8 \text{ m/s}^2)(10 \text{m})} = 11 \text{m/s}$

3 Se trascuriamo il tempo impiegato dal suono a risalire, possiamo supporre che il tempo di caduta sia uguale a 1,6 s e possiamo ricavare la distanza percorsa dal sassolino, che è la profondità del pozzo:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(9{,}8 \text{ m/s}^2)(1{,}6 \text{ s})^2 = 12{,}5 \text{ m}$$

4 Sostituendo la distanza *d*, otteniamo

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2(0{,}25 \text{ m})}{2{,}0 \text{ m/s}^2}} = 0{,}50 \text{ s}$$

Per la distanza 4*d* otteniamo

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(4 \times 0{,}25\text{m})}{2{,}0 \text{ m/s}^2}} = 1{,}0 \text{ s}$$

Per la distanza 9*d* otteniamo

$$t_3 = \sqrt{\frac{2(9 \times 0{,}25\text{m})}{2{,}0 \text{ m/s}^2}} = 1{,}5 \text{ s}$$

Il secondo e il terzo valore sono rispettivamente il doppio e il triplo del primo, come volevamo verificare.

5 La variazione di velocità è

$$\Delta v_1 = 14\,\text{km/h} - 50\,\text{km/h} = -36\,\text{km/h} = -10\,\text{m/s}$$

quindi l'accelerazione vale

$$a = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{-10\,\text{m/s}}{3{,}2\ \text{s}} = -3{,}1\ \text{m/s}^2$$

Per arrestarsi, l'ulteriore variazione di velocità deve essere

$$\Delta v_2 = 0\,\text{km/h} - 14\,\text{km/h} = -14\,\text{km/h} = -3{,}9\ \text{m/s}$$

Invertendo la formula che definisce l'accelerazione, troviamo

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta v_2}{a} = \frac{-3{,}9\ \text{m/s}}{-3{,}1\ \text{m/s}^2} = 1{,}2\ \text{s}$$

6
1. 3
2. 6
3. 1
4. 2
5. 5
6. 4

7 Convertiamo 90 km/h in m/s:

$$90\,\text{km/h} = \frac{90}{3{,}6}\ \text{m/s} = 25\,\text{m/s}$$

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$a = \frac{2\Delta s - 2v_0 t}{t^2} = \frac{2(150\,\text{m}) - 2(25\,\text{m/s})(5{,}0\,\text{s})}{(5{,}0\,\text{s})^2} = 2{,}0\,\text{m/s}^2$$

8 La pallina di Luisa arriva a terra dopo un tempo

$$t_L = \sqrt{\frac{2s}{a_1}} = \sqrt{\frac{2(30\,\text{m})}{(9{,}8\ \text{m/s}^2)}} = 2{,}5\ \text{s}$$

La pallina di Alex deve arrivare a terra prima o contemporaneamente a quella di Luisa. Se arriva contemporaneamente, vuol dire che impiega un tempo

$$t_A = 2{,}5\,\text{s} - 0{,}50\,\text{s} = 2{,}0\,\text{s}$$

Scriviamo l'equazione del moto di caduta con partenza in velocità:

$$s = v_0 t_A + \frac{1}{2} g t_A^{\ 2}$$

Risolviamo rispetto a v_0 e troviamo

$$v_0 = \frac{s - \frac{1}{2} g t_A^{\ 2}}{t_A} = \frac{30\,\text{m} - \frac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)(2{,}0\,\text{s})^2}{2{,}0\,\text{s}} = 5{,}2\ \text{m/s}$$

9 ■ Il tempo di caduta dell'oggetto è

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a_1}} = \sqrt{\frac{2(2{,}5\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}71\ \text{s}$$

In tale intervallo di tempo la pallina percorre una distanza

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(3{,}6\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}51\ \text{s}\right)^2 = 0{,}91\ \text{m}$$

■ Per percorrere una distanza pari alla metà, ossia 0,91/2 m = 0,46 m, la pallina impiega un tempo

$$t' = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2(0{,}46\ \text{m})}{3{,}6\ \text{m/s}^2}} = 0{,}51\ \text{s}$$

In tale intervallo di tempo, l'oggetto cade per una distanza

$$s' = \frac{1}{2}gt'^2 = \frac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}51\ \text{s}\right)^2 = 1{,}3\ \text{m}$$

quindi anch'esso ha percorso metà della distanza.

10 Il tempo di caduta dell'oggetto è

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a_1}} = \sqrt{\frac{2(2{,}5\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}71\ \text{s}$$

In tale intervallo di tempo la pallina percorre una distanza

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(3{,}6\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}51\ \text{s}\right)^2 = 0{,}91\ \text{m}$$

Per percorrere una distanza pari alla metà, ossia 0,91 m : 2 = 0,46 m, la pallina impiega un tempo

$$t' = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2(0{,}46\ \text{m})}{3{,}6\ \text{m/s}^2}} = 0{,}51\ \text{s}$$

In tale tempo, l'oggetto cade per una distanza

$$s' = \frac{1}{2}gt'^2 = \frac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}51\ \text{s}\right)^2 = 1{,}3\ \text{m}$$

quindi anch'esso ha percorso metà della distanza.

11 La palla cade per un tempo

$$t = \sqrt{\frac{2(3{,}0\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}78\ \text{s}$$

La velocità della palla subito prima di toccare il suolo è

$$v_{\text{prima}} = gt = \left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}78\ \text{s}\right) = 7{,}6\ \text{m/s}$$

Dopo il rimbalzo, la palla si muove verso l'alto con una velocità

$$v_{\text{dopo}} = 7{,}6\ \text{m/s} - \frac{20}{100}\left(7{,}6\ \text{m/s}\right) = 6{,}1\ \text{m/s}$$

L'altezza massima è

$$s_{\max} = \frac{2v_{\text{dopo}}^2}{g} = \frac{\left(6{,}1\ \text{m/s}\right)^2}{2\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)} = 1{,}9\ \text{m}$$

12 La moto raggiunge l'auto a una distanza dal punto di partenza data da

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(3{,}0 \text{ m/s}^2\right)\left(13 \text{ s}\right)^2 = 2{,}5\times10^2 \text{ m}$$

L'auto percorre questa distanza in un tempo paria a 2 s + 13 s = 15 s. La velocità dell'auto è

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2{,}5\times10^2 \text{ m}}{15 \text{ s}} = 17 \text{ m/s} = 61 \text{ km/h}$$

13
- Convertiamo la velocità dell'auto in m/s: $63{,}0 \text{ km/h} = \frac{63{,}0}{3{,}60} \text{ m/s} = 17{,}5 \text{ m/s}$.
  Nell'intervallo di tempo impiegato dalla persona alla guida per reagire l'auto procede a velocità costante e percorre $\Delta s = v\Delta t = \left(17{,}5 \text{ m/s}\right)\left(0{,}800 \text{ s}\right) = 14{,}0 \text{ m}$, quindi si trova a 28,0 m – 14,0 m = 14,0 m dal masso.
  Lo spazio di arresto è $\Delta s_{\text{stop}} = \frac{-v_0^2}{2a} = \frac{-\left(17{,}5 \text{ m/s}\right)^2}{2\left(-8{,}10 \text{ m/s}^2\right)} = 18{,}9 \text{ m}$, quindi l'auto colpisce il masso.
- $v = \sqrt{2a\Delta s + v_0^2} = \sqrt{2\left(-8{,}10 \text{ m/s}^2\right)\left(14{,}0 \text{ m}\right) + \left(17{,}5 \text{ m/s}\right)^2} = 8{,}91 \text{ m/s}$
  Si tratta di una velocità ancora superiore a 30 km/h.

14 Convertiamo la differenza delle velocità in m/s:

$$v_2 - v_1 = 8{,}6 \text{ km/h} = \frac{8{,}6}{3{,}6} \text{ m/s} = 2{,}4 \text{ m/s}$$

Detta v_{01} la velocità iniziale dell'auto più lenta, possiamo scrivere la velocità iniziale v_{02} dell'auto più veloce come $v_{02} = v_{01} + 2{,}4 \text{ m/s}$.
Le formule delle velocità delle due auto sono

$$v_1 = v_{01} + a_1 t = v_{01} + \left(8{,}0 \text{ m/s}^2\right)t$$

$$v_2 = v_{02} + a_2 t = v_{01} + 2{,}4 \text{ m/s} + \left(7{,}2 \text{ m/s}^2\right)t$$

Uguagliandole otteniamo

$$v_{01} + \left(8{,}0 \text{ m/s}^2\right)t = v_{01} + 2{,}4 \text{ m/s} + \left(7{,}2 \text{ m/s}^2\right)t$$

$$\left(0{,}8 \text{ m/s}^2\right)t = 2{,}4 \text{ m/s} \Rightarrow t = \frac{2{,}4 \text{ m/s}}{0{,}8 \text{ m/s}^2} = 3 \text{ s}$$

15 Chiamiamo s_1 la posizione del corpo superiore e s_2 quella del corpo inferiore. Fissato un sistema di riferimento rivolto verso il basso e con l'origine nel punto in cui si trova l'oggetto superiore, valgono le formule

$$s_1 = \frac{1}{2}gt^2$$

$$s_2 = s_{02} + \frac{1}{2}gt^2$$

Quindi la distanza tra i due corpi, al passare del tempo, è

$$s_2 - s_1 = s_{02} + \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}gt^2 = s_{02} = 1{,}2\ \text{m}$$

e resta evidentemente invariata.

- Quando parte l'oggetto in alto, l'oggetto in basso è già in moto da 0,40 s. Ha quindi percorso una distanza

$$\Delta s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}40\ \text{s}\right)^2 = 0{,}78\ \text{m}$$

che si aggiunge alla distanza di 1,2 m iniziale, portando la distanza totale a

$$s_{02} = 1{,}2\ \text{m} + 0{,}78\ \text{m} = 2{,}0\ \text{m}$$

Inoltre, l'oggetto in basso ha raggiunto la velocità

$$v_{02} = \left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}40\ \text{s}\right) = 3{,}9\ \text{m/s}$$

Scriviamo di nuovo le equazioni del moto

$$s_1 = \frac{1}{2}gt^2$$

$$s_2 = s_{02} + v_{02}t + \frac{1}{2}gt^2$$

e calcoliamo la distanza tra i due corpi:

$$s_2 - s_1 = s_{02} + v_{02}t + \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}gt^2 = s_{02} + v_{02}t = 2{,}0\ \text{m} + \left(3{,}9\ \text{m/s}\right)t$$

Questa formula ci dice che la distanza aumenta al passare del tempo. Dopo 1,0 s la distanza vale $5{,}9\,\text{m}$ e dopo 2,0 s vale $9{,}8\,\text{m}$.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 8

I moti nel piano

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Le grandezze vettoriali per descrivere i moti nel piano

pag. 262
Lo spostamento totale è nullo.

pag. 264
Acceleratore e freno.

2. Il moto circolare uniforme

pag. 267

- Su uno dei cavalli più esterni: maggiore è la distanza dal centro, maggiore è il modulo della velocità.
- No, la velocità angolare sarebbe la stessa.

pag. 268

La velocità angolare è uguale; l'accelerazione centripeta di Livio è minore di quella di Samuel.

TEST

1 D
2 B
3 A
4 B
5 A
6 C
7 A
8 A
9 D
10 B
11 B
12 D
13 B
14 B
15 D

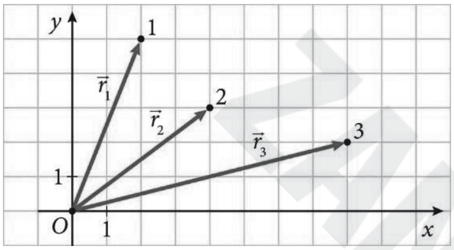
ESERCIZI

1. Le grandezze vettoriali per descrivere i moti nel piano

1 No, la distanza segnata dal contapassi indica la lunghezza dell'arco percorso, mentre la lunghezza del vettore spostamento è quella del segmento che unisce il punto di partenza a quello di arrivo.

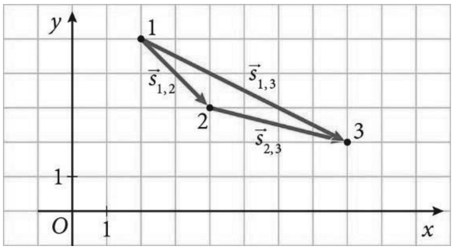
2 No, per determinare il modulo del vettore velocità bisogna anche avere informazioni sul tempo che l'oggetto impiega a percorrere una data distanza, che non sono deducibili dalla traiettoria.

3 Sì, perché il vettore velocità media è definito come rapporto tra il vettore spostamento e l'intervallo di tempo durante il quale lo spostamento avviene.

4
- Le coordinate delle tre posizioni sono (2;5), (4;3) e (8;2).
-


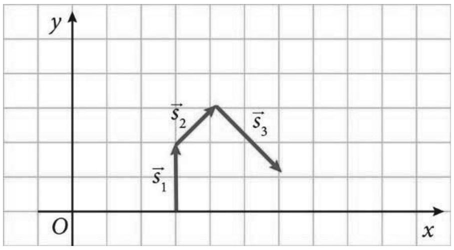
I vettori posizione hanno lunghezza rispettivamente

$r_1 = \sqrt{2^2 + 5^2} = \sqrt{29} = 5,4;\ r_2 = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5;\ r_3 = \sqrt{8^2 + 2^2} = \sqrt{68} = 8,2$

-


La relazione tra i vettori spostamento è $\vec{s}_{1,3} = \vec{s}_{1,2} + \vec{s}_{2,3}$.

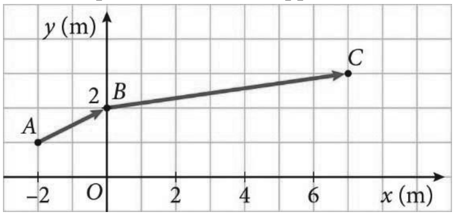
5



COMPITI
CAPITOLO 8. I moti nel piano
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

6

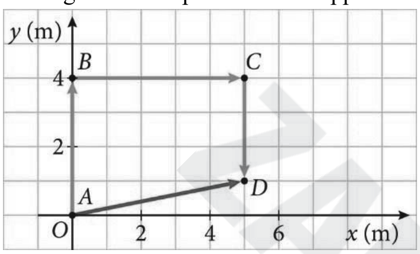
- I vettori spostamento sono rappresentati nella figura:



- $\Delta s_{AB} = \sqrt{(2\ \text{m})^2 + (1\ \text{m})^2} = 2{,}2\ \text{m}$; $\Delta s_{BC} = \sqrt{(7\ \text{m})^2 + (1\ \text{m})^2} = 7{,}1\ \text{m}$

7

- Il disegno dei tre spostamenti è rappresentato nella figura, insieme al vettore spostamento totale:

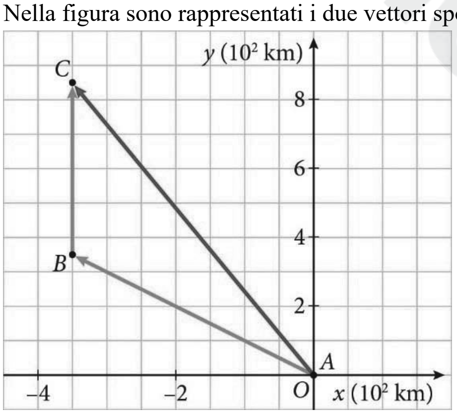


- Il vettore spostamento totale, da A a D, ha lunghezza pari a

$\Delta s_{AD} = \sqrt{(5\ \text{m})^2 + (1\ \text{m})^2} = 5{,}1\ \text{m}$

8

- Nella figura sono rappresentati i due vettori spostamento e quello totale:

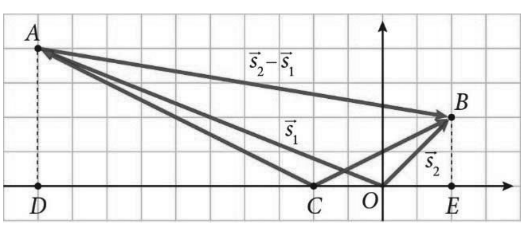


- Nel primo tratto, i due spostamenti verso nord e verso ovest sono

$$\Delta x = \Delta y = \frac{495\ \text{km}}{\sqrt{2}} = 350\ \text{km}$$

Lo spostamento totale è $\Delta s_{AC} = \sqrt{(350\ \text{km})^2 + (850\ \text{km})^2} = 919\ \text{km}$.

9



- $\left|\Delta\vec{S}\right| = \left|\vec{S}_2 - \vec{S}_1\right| = \sqrt{(1{,}0\ \text{m} + 5{,}0\ \text{m})^2 + (2{,}0\ \text{m} - 4{,}0\ \text{m})^2} = 6{,}3\ \text{m}$
- Posto $DC = x$, si ha $CO = 5{,}0\ \text{m} - x$. Quindi, per il teorema di Pitagora,
  $\overline{AC}^2 = x^2 + 16\ \text{m}^2$ e $\overline{BC}^2 = (5{,}0\ \text{m} - x + 1{,}0\ \text{m})^2 + 4\ \text{m}^2$
  $x^2 + 16\ \text{m}^2 + (6{,}0\ \text{m} - x)^2 + 4{,}0\ \text{m}^2 = 40\ \text{m}^2 \ \Rightarrow\ x^2 - (6{,}0\ \text{m})x + 8\ \text{m}^2 = 0$
  le cui soluzioni sono $x = 4{,}0$ m e $x = 2{,}0$ m. La soluzione $x = 4{,}0$ m è quella che corrisponde alla figura: $\overline{AC} + \overline{BC} = \sqrt{32}\ \text{m} + \sqrt{8}\ \text{m} = 8{,}5\ \text{m}$

10 PROBLEMA SVOLTO

11 Dalla figura si deduce che Arezzo si trova 20 km più a Nord e 60 km più a Est rispetto a Siena. Quindi

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{\sqrt{(60\ \text{km})^2 + (20\ \text{km})^2}}{(70\ \text{km/h})} = 0{,}9\ \text{h} = 54\ \text{min}\ 13\ \text{s}$$

12

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{\sqrt{(3{,}0\ \text{m})^2 + (1{,}0\ \text{m})^2}}{(0{,}50\ \text{m/s})} = 6{,}3\ \text{s}$$

13
- I vettori velocità iniziale e finale hanno stessa direzione nord-sud ma verso opposto.
  Il vettore $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ è diretto verso sud e ha modulo $\Delta v = (130\ \text{m/s}) + 100\ \text{m/s} = 230\ \text{m/s}$.
- Il modulo dell'accelerazione media è $a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{230\ \text{m/s}}{25\ \text{s}} = 9{,}2\ \text{m/s}^2$.

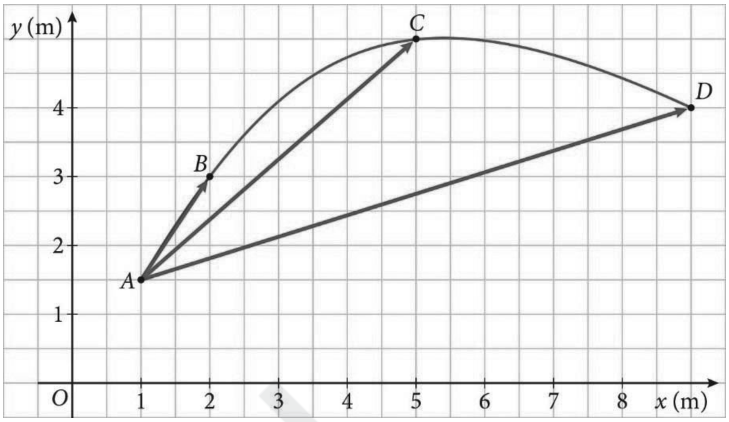
14
- I moduli dei vettori componenti del vettore variazione di velocità sono:
  $\Delta v_x = v_x{}' - v_x = (65 - 40)\ \text{km/h} = 25\ \text{km/h} = 6{,}9\ \text{m/s}$
  $\Delta v_y = \left|v_y{}' - v_y\right| = \left|(43 - 86)\right|\ \text{km/h} = 43\ \text{km/h} = 12\ \text{m/s}$
  Quindi i moduli dei vettori componenti del vettore accelerazione media sono:
  $a_{mx} = \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t} = \dfrac{6{,}9\ \text{m/s}}{5{,}0\ \text{s}} = 1{,}4\ \text{m/s}^2$; $a_{my} = \dfrac{\Delta v_y}{\Delta t} = \dfrac{12\ \text{m/s}}{5{,}0\ \text{s}} = 2{,}4\ \text{m/s}^2$
- Alla fine, il modulo del vettore velocità istantanea è
  $v = \sqrt{(65\ \text{km/h})^2 + (43\ \text{km/h})^2} = 78\ \text{km/h}$

15

$$\left|v_x\right| = \left|\frac{\Delta x}{\Delta t}\right| = \left|\frac{-2{,}0\ \text{m/s}}{7{,}4\ \text{s}}\right| = 0{,}27\ \text{m/s}\ ;\ \left|v_y\right| = \left|\frac{\Delta y}{\Delta t}\right| = \left|\frac{4{,}0\ \text{m/s}}{7{,}4\ \text{s}}\right| = 0{,}54\ \text{m/s}$$

$$v = \sqrt{v_x{}^2 + v_y{}^2} = \sqrt{(0{,}27\ \text{m/s})^2 + (0{,}54\ \text{m/s})^2} = 0{,}60\ \text{m/s}$$

16 ■ I tre vettori spostamento sono rappresentati nella figura:



■ I moduli della velocità medie durante ciascuno spostamento valgono rispettivamente

$$v_{AB} = \frac{\Delta s_{AB}}{\Delta t_{AB}} = \frac{\sqrt{(1{,}0\ \text{m})^2 + (1{,}5\ \text{m})^2}}{(1{,}0\ \text{s})} = 1{,}8\ \text{m/s}$$

$$v_{AC} = \frac{\Delta s_{AC}}{\Delta t_{AC}} = \frac{\sqrt{(4{,}0\ \text{m})^2 + (3{,}5\ \text{m})^2}}{(2{,}5\ \text{s})} = 2{,}1\ \text{m/s}$$

$$v_{AD} = \frac{\Delta s_{AD}}{\Delta t_{AD}} = \frac{\sqrt{(8{,}0\ \text{m})^2 + (2{,}5\ \text{m})^2}}{(6{,}0\ \text{s})} = 1{,}4\ \text{m/s}$$

2. Il moto circolare uniforme

17 ■ Il punto giallo impiega lo stesso tempo della lancetta per compiere un giro completo, quindi il suo periodo è un minuto.

■ No, rispetto alla punta della lancetta esso percorre nello stesso intervallo di tempo (1 secondo) una circonferenza più piccola (esattamente la metà) di quella percorsa dalla punta della lancetta, dunque ha una velocità minore (esattamente la metà).

18 Nel moto circolare uniforme la velocità è inversamente proporzionale al periodo, per cui il prodotto di queste due grandezze è costante.

19 Per compensare le differenti distanze dal centro delle corsie, secondo la relazione $\alpha = \frac{l}{r}$.

20 Poiché la velocità tangenziale è costante e il raggio diminuisce, la velocità angolare della corona più piccola aumenta (e quindi la velocità della bici).

21 $75°\ \text{in radianti} = \frac{\pi}{180°} \times 75° = \frac{5}{12}\pi$

$\frac{\pi}{8}\ \text{rad in gradi} = \frac{180°}{\cancel{\pi}} \times \frac{\cancel{\pi}}{8} = 22{,}5°$

22 $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(1{,}2\ \text{m})}{2{,}1\ \text{s}} = 3{,}6\ \text{m/s}$

23 ■ $f = \dfrac{45 \text{ giri}}{1 \text{ min}} = \dfrac{45 \text{ giri}}{60 \text{ s}} = 0,75 \text{ Hz}$

■ $\omega = 2\pi f = 2\pi(0,75 \text{ Hz}) = 4,7 \text{ rad/s}$

24 ■ Il periodo della rotazione terrestre è di 24 h, quindi la velocità con cui ci muoviamo mentre dormiamo è

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi(4,5\times10^3 \text{ km})}{24 \text{ h}} = 1,2\times10^3 \text{ km/h} = 3,3\times10^2 \text{ m/s}$$

■ Le due velocità sono dello stesso ordine di grandezza.

25 ■ Il periodo risulta $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{0,037 \text{ Hz}} = 27 \text{ s}$.

■ La velocità angolare si ottiene come $\omega = 2\pi f = 2\pi(0,037 \text{ Hz}) = 0,23 \text{ rad/s}$.

26 ■ $f = \dfrac{1 \text{ giro}}{3,2 \text{ s}} = 0,31 \text{ Hz}$

■ $\omega = 2\pi f = 2\pi(0,31 \text{ Hz}) = 1,9 \text{ rad/s}$

27 ■ La velocità angolare si calcola con la formula: $\omega = \dfrac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ dove $\Delta\alpha$ è espresso in radianti e Δt in secondi. L'angolo spazzato corrisponde a $24°15' = 24° + \left(\dfrac{15}{60}\right)^{\circ} = 24,25°$; $\Delta\alpha = \dfrac{\pi \Delta g°}{180°} = \dfrac{\pi\times24,25°}{180°} = 0,4232 \text{ rad}$.

Quindi si ottiene

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{0,4232 \text{ rad}}{300 \text{ s}} = 1,41\times10^{-3} \text{ rad/s}$$

■ $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi}{1,41\times10^{-3} \text{ rad/s}} = 4,46\times10^3 \text{ s}$

28 $T = \dfrac{t}{\text{numero di cicli}} = \dfrac{10 \text{ s}}{20} = 0,50 \text{ s}$

$f = \dfrac{1}{T} = 2,0 \text{ Hz}$

29

	raggio orbitale medio ($\times 10^6$ m)	**periodo** (d)	**frequenza** (hz)	**velocità lungo l'orbita** (m/s)	**velocità angolare** (rad/s)
Mimas	185,5	0,942	$1,229 \times 10^{-5}$	14 321	$7,720 \times 10^{-5}$
Enceladus	238,0	1,370	$8,448 \times 10^{-6}$	12 633	$5,308 \times 10^{-5}$
Tethys	294,7	1,888	$6,130 \times 10^{-6}$	11 351	$3,852 \times 10^{-5}$
Titano	1222	15,94	$7,261 \times 10^{-7}$	5575	$4,562 \times 10^{-6}$
Hyperion	1481	21,28	$5,439 \times 10^{-7}$	5061	$3,417 \times 10^{-6}$

30 ■ $\omega = 2\pi f = 2\pi \dfrac{7,81}{60} \text{ giri/s} = 0,818 \text{ rad/s}$

■ $v = \omega r = (0,818 \text{ rad/s})(109 \text{ m}) = 89,2 \text{ m/s}$

31
- $\omega = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{\pi/2 \text{ rad}}{0,60 \text{ s}} = 2,6 \text{ rad/s}$
- $f = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{2,6 \text{ rad/s}}{2\pi} = 0,41 \text{ Hz}; \ T = \dfrac{1}{f} = 2,4 \text{ s}$
- $v = \omega r = (2,6 \text{ rad/s})(0,50 \text{ m}) = 1,3 \text{ m/s}$

32
- Quando le ruote completano un giro la bicicletta si è spostata di una distanza uguale alla circonferenza della ruota: $d = 2\pi r = 2\pi(0,30 \text{ m}) = 1,9 \text{ m}$
- La velocità della bicicletta è uguale a quella della rotazione della ruota:
$v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi(0,30 \text{ m})}{0,43 \text{ s}} = 4,4 \text{ m/s}$
- $\omega = \dfrac{v}{r} = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{2\pi}{0,43 \text{ s}} = 15 \text{ rad/s}$

33
- Il periodo di rotazione è $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{0,60 \text{ Hz}} = 1,7 \text{ s}$ e la velocità angolare è
$\omega = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{2\pi}{1,666666} = 3,8 \text{ rad/s}$
- La circonferenza del rocchetto misura $C = \pi d = \pi(0,060 \text{ m}) = 0,19 \text{ m}$.
Il numero di giri che deve compiere per srotolare tutto il filo (trascurando lo spessore del filo) è dato da
$N = \dfrac{L}{C} = \dfrac{5,7 \text{ m}}{0,19 \text{ m/giro}} = 30 \text{ giri}$
Quindi impiega un tempo totale $\Delta t = TN = (1,66666 \text{ s}) \times 30 = 50 \text{ s}$.

34
- $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{3,0 \times 10^3 \text{ giri/min}} = \dfrac{60 \text{ s}}{3,0 \times 10^3 \text{ giri}} = 0,020 \text{ s}$
- $v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi(4,0 \times 10^{-3} \text{ m})}{0,020 \text{ s}} = 1,3 \text{ m/s}$
- $\omega = \dfrac{v}{r} = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{2\pi}{0,020 \text{ s}} = 3,1 \times 10^2 \text{ rad/s}$

35 Le velocità di Claudio e dell'ombra sono direttamente proporzionali alle loro distanze dal lampione; indicando con v_{AB} la velocità tenuta nel tratto AB e con v_P la velocità nel tratto di raggio 3,0 m, si ha:

$$v_{AB} : v_P = r_{AB} : r_P \ \Rightarrow \ v_P = \frac{v_{AB} r_P}{r_{AB}} = \frac{(0,80 \text{ m/s})(3,0 \text{ m})}{1,2 \text{ m}} = 2,0 \text{ m/s}$$

36
- $f = \dfrac{3 \text{ giri}}{2,7 \text{ s}} = 1,1 \text{ Hz}$ e quindi $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1,1 \text{ Hz}} = 0,91 \text{ s}.$
- La velocità della rotazione è $v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi(1,32 \text{ m} + 0,78 \text{ m})}{0,91 \text{ s}} = \dfrac{2\pi(2,1 \text{ m})}{0,91 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$.

37
- $f = \dfrac{36 \text{ giri}}{1 \text{ min}} = \dfrac{6 \text{ giri}}{10 \text{ s}} = 0{,}60 \text{ Hz}$
- $v = 2\pi r f = 2\pi(0{,}1 \text{ m})(0{,}6 \text{ Hz}) = 0{,}38 \text{ m/s}$

38
- $T = \dfrac{2\pi r}{v} = \dfrac{2\pi(30{,}5 \text{ m})}{(2{,}70/3{,}6) \text{ m/s}} = 256 \text{ s}$
- $\omega = \dfrac{v}{r} = \dfrac{(2{,}70/3{,}6) \text{ m/s}}{30{,}5 \text{ m}} = 2{,}46 \times 10^{-2} \text{ rad/s}$
- $\Delta\theta = \omega\Delta t = (2{,}46 \times 10^{-2} \text{ rad/s})(37 \text{ s}) = 0{,}91 \text{ rad} = 52°$

39 La direzione del vettore accelerazione è uguale alla direzione della variazione di velocità, non a quella del vettore velocità.

40 No, il vettore velocità è sempre tangente alla circonferenza, mentre il vettore accelerazione centripeta è sempre lungo il raggio.

41 No, un'accelerazione perpendicolare a quella centripeta sarebbe diretta come il vettore velocità che quindi varierebbe in modulo.

42 $r = \dfrac{v^2}{a_c} = \dfrac{\left[\left(\dfrac{72}{3{,}6}\right) \text{ m/s}\right]^2}{2{,}9 \text{ m/s}^2} = \dfrac{(20 \text{ m/s})^2}{2{,}9 \text{ m/s}^2} = 1{,}4 \times 10^2 \text{ m}$

43 PROBLEMA SVOLTO

44
- Il periodo di rotazione delle turbine è $T = \dfrac{1 \text{ min}}{75{,}0} = \dfrac{60 \text{ s}}{75{,}0} = 0{,}800 \text{ s}$. La frequenza è

  $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{0{,}800 \text{s}} = 1{,}25 \text{ Hz}$
- La velocità di rotazione delle parti più lontane dall'asse di rotazione è $v = \dfrac{2\pi r}{T}$.

  Sostituiamo questa espressione nella formula dell'accelerazione centripeta:

  $$a_c = \frac{v^2}{r} = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 \frac{1}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2\left(\dfrac{10{,}4 \text{m}}{2}\right)}{(0{,}800 \text{ s})^2} = 321 \text{ m/s}^2$$

45
- $a_{C\max} = \dfrac{v^2}{r} = (2\pi r f)^2 \dfrac{1}{r} = 4\pi^2 f^2 r = 4\pi^2 (0{,}76 \text{ Hz})^2 (8{,}8 \text{ m}) = 2{,}0 \times 10^2 \text{ m/s}^2 \approx 20\, g$
- La corrispondente velocità massima è $v_{\max} = \sqrt{a_{C\max} r} = \sqrt{(2{,}0 \times 10^2 \text{ m/s}^2)(8{,}8 \text{ m})} = 42 \text{ m/s}$.

46 $\omega = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{\pi/6 \text{ rad}}{0{,}25 \text{ s}} = 2{,}1 \text{ rad/s};\ a_c = \omega^2 r = (2{,}1 \text{ rad/s})^2 (0{,}53 \text{ m}) = 2{,}3 \text{ m/s}^2$

47
- L'accelerazione centripeta è $a_c = \dfrac{v^2}{r} = \dfrac{(3 \text{ m/s})^2}{5 \text{ m}} = 2 \text{ m/s}^2$.
- Il periodo è $T = \dfrac{2\pi r}{v} = \dfrac{2\pi \times 5 \text{ m}}{3 \text{ m/s}} = 10 \text{ s}$, mentre la frequenza è $f = \dfrac{v}{2\pi r} = \dfrac{3 \text{ m/s}}{2\pi(5 \text{ m})} = 0{,}1 \text{ Hz}$.

48 ■ $r = \dfrac{v^2}{a_c} = \dfrac{(720 \text{ km/h})^2}{4 \times 9{,}8 \text{ m/s}^2} = \dfrac{\left[\left(\dfrac{720}{3{,}6}\right) \text{m/s}\right]^2}{4 \times 9{,}8 \text{ m/s}^2} = 1{,}02 \times 10^3 \text{ m} = 1{,}02 \text{ km}$

■ $T = \dfrac{2\pi r}{v} = \dfrac{2\pi v}{a_c} = \dfrac{2\pi(720 \text{ km/h})}{4 \times 9{,}8 \text{ m/s}^2} = \dfrac{\pi\left(\dfrac{720}{3{,}6}\right) \text{m/s}}{2 \times 9{,}8 \text{ m/s}^2} = 32{,}1 \text{ s}$

49 ■ In 6 s (pari a 1/4 di periodo) il trenino ha percorso 1/4 della pista circolare. Quindi il vettore velocità è ruotato di 90° rispetto alla direzione iniziale. Il vettore variazione di velocità è diretto verso il centro della circonferenza e ha modulo dato dal teorema di Pitagora:

$$\Delta v = \sqrt{v^2 + v^2} = \sqrt{2}v = \sqrt{2}\,\frac{2\pi r}{T} = \sqrt{2} \times \frac{2\pi(0{,}61 \text{ m})}{24 \text{ s}} = 0{,}23 \text{ m/s}$$

■ $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{0{,}23 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = 0{,}04 \text{ m/s}^2$; $a_c = \dfrac{v^2}{r} = \dfrac{4\pi^2 r}{T^2} = \dfrac{4\pi^2(0{,}61 \text{ m})}{(24 \text{ s})^2} = 0{,}038 \text{ m/s}^2$

50 ■ $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{6{,}28 \text{ rad}}{3600 \text{ s}} = 1{,}7 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$

■ $v = \omega r = (1{,}7 \times 10^{-3} \text{ rad/s})(0{,}85 \text{ m}) = 1{,}5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

■ $a_c = \omega^2 r = (1{,}7 \times 10^{-3} \text{ rad/s})^2 (0{,}85 \text{ m}) = 2{,}5 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$

51 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 283.

52 PROBLEMA MODELLO a pag. 283

53 ■ Dalle formule $a = \omega^2 r$ e $v = \omega r$ dividendole membro a membro si ottiene

$$\frac{a}{v} = \frac{\omega^2 \cancel{r}}{\cancel{\omega} \cancel{r}} = \omega = \frac{2498 \text{ m/s}^2}{47{,}7 \text{ m/s}} = 52{,}37 \ \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 52{,}37 \ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s/min}}{2\pi \text{ rad/giro}} = 500 \text{ rpm}$$

■ Dalla relazione $\omega = 2\pi/T$ si ricava $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi}{52{,}37 \text{ rad/s}} = 0{,}120 \text{ s}$.

■ Il raggio della girante si calcola dalla relazione $v = \omega r$

$$r = \frac{v}{\omega} = \frac{47{,}7 \text{ m/s}}{52{,}37 \text{ rad/s}} = 0{,}911 \text{ m}$$

Infine, il diametro della girante è $D = 2r = 2 \times 0{,}911 \text{ m} = 1{,}82 \text{ m}$.

▶ 3. Il moto parabolico dei proiettili

54 Se l'attrito con l'aria non è trascurabile, la velocità orizzontale della valigia è minore di quella dell'aereo e la valigia rimane indietro. Altrimenti, lo spostamento orizzontale della valigia e dell'aereo sono uguali.

55 L'atleta si dà una spinta verso l'alto. Le forze orizzontali sull'atleta e sullo skateboard sono trascurabili, quindi sia l'atleta sia lo skateboard mantengono la stessa velocità orizzontale.

56 Atterrerà sull'auto. La gravità non ha alcun effetto sulla velocità lungo l'asse x.

57

- $x = v_0 t \;\Rightarrow\; t = \dfrac{2{,}5\ \text{m}}{1{,}4\ \text{m/s}} = 1{,}8\ \text{s}$
- $y = \dfrac{1}{2}gt^2 = \left(4{,}9\ \text{m/s}^2\right)\left(1{,}8\ \text{s}\right)^2 = 16\ \text{m}$

58

- Calcoliamo il tempo di caduta dalla legge della posizione sull'asse verticale:

  $-h = -\dfrac{1}{2}gt^2 \;\Rightarrow\; t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} = \sqrt{\dfrac{2\times\left(11\ \text{m}\right)}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 1{,}5\ \text{s}$
- Sostituiamo nell'equazione della posizione lungo l'asse orizzontale:

  $\Delta x = v_0 t \;\Rightarrow\; v_0 = \dfrac{\Delta x}{t} = \dfrac{1{,}9\ \text{m}}{1{,}5\ \text{s}} = 1{,}3\ \text{m/s}$

59

- $y = -\dfrac{1}{2}gt^2 \;\Rightarrow\; \left(-3{,}1\ \text{m}\right) = -\left(4{,}9\ \text{m/s}^2\right)t^2 \;\Rightarrow\; t = \sqrt{\dfrac{3{,}1\ \text{m}}{4{,}9\ \text{m/s}^2}} = 0{,}80\ \text{s}$
- $x = v_0 t = \left(3{,}2\ \text{m/s}\right)\left(0{,}80\ \text{s}\right) = 2{,}5\ \text{m}$

60

- L'altezza del punto di lancio rispetto alla superficie del lago è

  $h = \dfrac{1}{2}gt^2 = \dfrac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}55\ \text{s}\right) = 1{,}5\ \text{m}$
- La velocità iniziale della pietra è $v_{0x} = \dfrac{x}{t} = \dfrac{10\ \text{m}}{0{,}55\ \text{s}} = 18\ \text{m/s}$.

61

- Il tempo di caduta del blocchetto è $t = \sqrt{\dfrac{2\Delta y}{g}} = \sqrt{\dfrac{2\left(1{,}7\ \text{m}\right)}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}59\ \text{s}$.

  Lo spostamento orizzontale del blocchetto vale $\Delta x = vt = \left(2{,}4\ \text{m/s}\right)\left(0{,}59\ \text{s}\right) = 1{,}4\ \text{m}$.
- Il modulo dello spostamento totale è, quindi, $\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{\left(1{,}4\ \text{m}\right)^2 + \left(1{,}7\ \text{m}\right)^2} = 2{,}2\ \text{m}$.

62 PROBLEMA SVOLTO

63

- Il tempo di caduta è $t = \dfrac{x}{v_0} = \dfrac{40\ \text{m}}{8{,}0\ \text{m/s}} = 5{,}0\ \text{s}$. Dalla legge della posizione sull'asse verticale troviamo *g*:

  $-h = -\dfrac{1}{2}gt^2 \;\Rightarrow\; g = \dfrac{2h}{t^2} = \dfrac{2\times\left(20\ \text{m}\right)}{\left(5{,}0\ \text{s}\right)^2} = 1{,}6\ \text{m/s}^2$

  Il romanzo è ambientato sulla Luna.
- $v_{fy} = -g\Delta t = -\left(1{,}6\ \text{m/s}^2\right)\left(5{,}0\ \text{s}\right) = -8{,}0\ \text{m/s}$
- $v = \sqrt{{v_{0x}}^2 + {v_{fy}}^2} = \sqrt{\left(8{,}0\ \text{m/s}\right)^2 + \left(-8{,}0\ \text{m/s}\right)^2} = 11\ \text{m/s}$

64

- $t = \dfrac{x}{v_0} = \dfrac{150\ \text{m}}{350\ \text{m/s}} = 0{,}429\ \text{s}$
- In verticale il proiettile si sposta di $\dfrac{1}{2}gt^2 = \dfrac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}429\ \text{s}\right)^2 = 0{,}90\ \text{m}$.
- $v_y = -gt = -\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(0{,}429\ \text{s}\right) = -4{,}2\ \text{m/s}$

65 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 285.

66 La legge del moto uniformemente accelerato fornisce il tempo t di caduta (tempo di volo):

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}9\ \text{m}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}62\ \text{s}$$

La legge del moto orizzontale è $x = v_0 t$, quindi:

$$x = v_0 t = (6{,}7\ \text{m/s})(0{,}62\ \text{s}) = 4{,}2\ \text{m}$$

67
- Il tempo di caduta del bicchiere è $\Delta t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}71\ \text{m}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}38\ \text{s}$.
- La velocità orizzontale del bicchiere è $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0{,}53\ \text{m}}{0{,}38\ \text{s}} = 1{,}4\ \text{m/s}$, che rimane costante durante la caduta ed è anche la velocità del bicchiere al momento del distacco dal tavolo.

68 La velocità orizzontale del peso è $v_{0x} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{12{,}2\ \text{m}}{1{,}7\ \text{s}} = 7{,}2\ \text{m/s}$. Quindi:

$$v_{0y} = \sqrt{v_0^2 - v_{0x}^2} = \sqrt{(11{,}0\ \text{m/s})^2 - (7{,}2\ \text{m/s})} = 8{,}3\ \text{m/s}$$

Infine, otteniamo la massima quota del lancio: $y_{\max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{(8{,}3\ \text{m/s})^2}{2 \times (9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 3{,}5\ \text{m}$.

69 $$v_{0x} = \frac{x}{t} = \frac{6{,}3\ \text{m}}{\sqrt{\frac{2y_f}{-g}}} = (6{,}3\ \text{m})\sqrt{\frac{-9{,}8\ \text{m/s}^2}{2 \times (-8{,}4\ \text{m})}} = 4{,}8\ \text{s}$$

70 PROBLEMA MODELLO a pag. 286

71
- Le componenti della velocità iniziale sono:

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos\alpha = (6{,}5\ \text{m/s})\cos 42{,}6° = 4{,}8\ \text{m/s} \\ v_{0y} = v_0 \sin\alpha = (6{,}5\ \text{m/s})\sin 42{,}6° = 4{,}4\ \text{m/s} \end{cases}$$

Per l'indipendenza dei moti simultanei, il movimento verticale della pallina si può studiare come se fosse quello di un corpo lanciato verso l'alto con velocità iniziale pari a v_{0y}. La massima quota raggiunta è

$$y_{\max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{(4{,}4\ \text{m/s})^2}{2 \times 9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}99\ \text{m}$$

- $L = v_{0x}\Delta t$, dove il tempo di volo Δt, visto che il tempo di caduta è uguale al tempo di salita, è dato da $\Delta t = 2t_{\max} = 2\frac{v_{0y}}{g}$. Si ha quindi $L = 2v_{0x}\frac{v_{0y}}{g} = 2(4{,}8\ \text{m/s})\frac{4{,}4\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 4{,}3\ \text{m}$

72 $$y_{\max} = \frac{{v_{0y}}^2}{2g} = \frac{\left[(7{,}5\ \text{m/s})\sin 60°\right]^2}{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 2{,}2\ \text{m}$$

73 $$y_{\max} = \frac{{v_{0y}}^2}{2g} = \frac{\left[(30\ \text{m/s})\sin 30°\right]^2}{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 11\ \text{m};\ L = v_{0x}\Delta t = \left[(30\ \text{m/s})\cos 30°\right]2\frac{(30\ \text{m/s})\sin 30°}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 80\ \text{m}$$

74 ■ $x = v_0 t = (12\ \text{m/s})t\ ;\ y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\left(4{,}9\ \text{m/s}^2\right)t^2$

■ $x = v_0 t = (12\ \text{m/s})(1{,}6\ \text{s}) = 19\ \text{m}\ ;\ y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\left(4{,}9\ \text{m/s}^2\right)(1{,}6\ \text{s})^2 = -13\ \text{m}$

75 B

76 E

77 B

78 A

79 ■ $v = \sqrt{a_c r} = \sqrt{\left(1{,}4\times10^5\ \text{m/s}^2\right)(0{,}10\ \text{m})} = 1{,}2\times10^2\ \text{m/s}$

■ $\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}} = \sqrt{\frac{1{,}4\times10^5\ \text{m/s}^2}{0{,}10\ \text{m}}} = 1{,}2\times10^3\ \text{rad/s}$

■ $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r}{a_c}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}10\ \text{m}}{1{,}4\times10^5\ \text{m/s}^2}} = 5{,}3\times10^{-3}\ \text{s}$

80 ■ La frequenza di rotazione è $f = \frac{90\ \text{giri}}{1{,}0\ \text{min}} = \frac{90\ \text{giri}}{60\ \text{s}} = 1{,}5\ \text{Hz}$ e il periodo è

$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{90\ \text{giri/min}} = \frac{1}{1{,}5\ \text{giri/s}} = 0{,}67\ \text{s}$

■ La velocità del sasso è $v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = 2\pi(0{,}60\ \text{m})(1{,}5\ \text{Hz}) = 5{,}7\ \text{m/s}$.

■ L'accelerazione centripeta è $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 r f^2 = 4\pi^2(0{,}60\ \text{m})(1{,}5\ \text{Hz})^2 = 53\ \text{m/s}^2$.

81 ■ L'arco di circonferenza da P a Q è 1/6 dell'orbita, quindi $PQ = \frac{2\pi r}{6} = 2\pi\frac{5{,}00\times10^7\ \text{m}}{6} = 5{,}24\times10^7\ \text{m}$.

■ La velocità del satellite è $v = \frac{PQ}{\Delta t} = \frac{5{,}24\times10^7\ \text{m}}{18{,}5\times10^3\ \text{s}} = 2{,}83\times10^3\ \text{m/s}$.

■ $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{6\times18{,}5\times10^3\ \text{s}} = 5{,}66\times10^{-5}\ \text{rad/s}$

82 ■ $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(0{,}35\ \text{m})}{\left(\frac{50}{3{,}6}\ \text{m/s}\right)} = 0{,}16\ \text{s}$

■ La frequenza di rotazione, diminuita del 20%, è pari a $f' = 0{,}80\,f$. Il nuovo periodo, in rapporto al vecchio, è

$\frac{T'}{T} = \frac{f}{f'} = \frac{1}{0{,}8} = 1{,}25$, quindi è aumentato del 25%.

83 ■ La frequenza del moto dell'elettrone è $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}5\times10^{-16}\ \text{s}} = 6{,}7\times10^{15}\ \text{Hz}$.

■ La velocità è $v = \frac{2\pi R_0}{T} = \frac{2\pi\left(5{,}3\times10^{-11}\ \text{m}\right)}{1{,}5\times10^{-16}\ \text{s}} = 2{,}2\times10^6\ \text{m/s}$.

84

- $v = \sqrt{ra_r} = \sqrt{(5{,}70\ \text{m})(180\ \text{m/s}^2)} = 32{,}0\ \text{m/s}$
- $f = \dfrac{v}{2\pi r} = \dfrac{32{,}0\ \text{m/s}}{2\pi(5{,}7\ \text{m})} = 0{,}894\ \text{Hz}$

85

- $r_{\text{max}} = \dfrac{a_{\text{max}}}{\omega^2} = \dfrac{19{,}6\ \text{m/s}^2}{(12{,}0\ \text{rad/s}^2)} = 0{,}136\ \text{m}$

  $v_{\text{max}} = \omega r_{\text{max}} = (12{,}0\ \text{rad/s})(0{,}136\ \text{m}) = 1{,}63\ \text{m/s}$
- Dimezza.

86

- $v_1 = \omega r_1 = 2\pi(15\ \text{giri/60 s})(0{,}40\ \text{m}) = 0{,}63\ \text{m/s}$
- $v_2 = \omega r_2 = 2\pi(15\ \text{giri/60 s})(0{,}40\ \text{m} - 0{,}18\ \text{cm}) = 0{,}3456\ \text{m/s} \simeq 0{,}35\ \text{m/s}$
- $a_c = \dfrac{{v_2}^2}{r_2} = \dfrac{(0{,}3456\ \text{m/s})^2}{0{,}22\ \text{m}} = 0{,}54\ \text{m}$; se si usa il risultato approssimato della seconda risposta si ottiene 0,56 m/s.

87

- La distanza percorsa in verticale è l'ordinata (a meno del segno) dell'ultima immagine, quindi 5,5 m.
- L'accelerazione verticale della pallina è quella di gravità.
- Dalla legge del moto verticale ricaviamo il tempo impiegato per raggiungere il suolo:

  $y = -\dfrac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\dfrac{-2y}{g}} = \sqrt{\dfrac{2\times 5{,}5\ \text{m}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 1{,}06\ \text{s}$
- Le immagini sono 4, per cui l'intervallo di tempo trascorso tra un'immagine e la successiva è

  $\Delta t = \dfrac{t}{3} = \dfrac{1}{3}\sqrt{\dfrac{-2y}{g}} = \dfrac{1}{3}\sqrt{\dfrac{2\times 5{,}5\ \text{m}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}35\ \text{s}$
- La velocità orizzontale del lancio si ricava dalla legge del moto orizzontale e dalle coordinate della seconda immagine:

  $x = v_0\Delta t \quad \Rightarrow \quad v_0 = \dfrac{x}{\Delta t} = \dfrac{9{,}0\ \text{m}}{1{,}06\ \text{s}} = 8{,}5\ \text{m/s}$

88

- $t_{\text{max}} = \dfrac{v_{0y}}{g} = \dfrac{(750/3{,}6\ \text{m/s})\sin 45°}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 15\ \text{s}$

  $\Delta t = 2t_{\text{max}} = 2\times 15{,}03\ \text{s} = 30\ \text{s}$
- $L = v_{0x}\Delta t = [(750/3{,}6\ \text{m/s})\cos 45°]\,2(15\ \text{s}) = 4{,}4\times 10^3\ \text{m}$

89

- $v_{0y} = \sqrt{gy_{\text{max}}} = \sqrt{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}4\ \text{m})} = 5{,}2\ \text{m/s}$

  $t_{\text{max}} = \dfrac{v_{0y}}{g} = \dfrac{5{,}2\ \text{m/s}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}53\ \text{s}$

  $v_{0x} = \dfrac{L}{2t_{\text{max}}} = \dfrac{4{,}2\ \text{m}}{2(0{,}53\ \text{s})} = 4{,}0\ \text{m/s}$
- $v = \sqrt{{v_{0x}}^2 + {v_{0y}}^2} = \sqrt{(5{,}2\ \text{m/s}) + (4{,}0\ \text{m/s})} = 6{,}6\ \text{m/s}$

90 Fissiamo l'asse y positivo rivolto verso l'alto con origine nel punto di lancio. La biglia ha percorso, verso il basso, una distanza dall'origine di 1,39 m (quindi la sua coordinata verticale è −1,39 m) nel lancio con velocità minima e 1,28 m (coordinata verticale −1,28 m) nel lancio con velocità massima.
Dalla legge della posizione per la coordinata y si ricava

$$-h = -\frac{1}{2}gt^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2\times(1{,}39\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}53\ \text{s}; \quad t_2 = \sqrt{\frac{2\times(1{,}28\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}} = 0{,}51\ \text{s}$$

Dalla legge della coordinata orizzontale otteniamo

$$v_{01} = \frac{x}{t_1} = \frac{1{,}9\ \text{m}}{0{,}53\ \text{s}} = 3{,}6\ \text{m/s}$$

$$v_{02} = \frac{x}{t_2} = \frac{1{,}9\ \text{m}}{0{,}51\ \text{s}} = 3{,}7\ \text{m/s}$$

91
- Quando la macchina ha compiuto un giro completo, la direzione del suo moto è cambiata di 360°, per cui il suo periodo è $T_1 = \frac{360°}{30°}\Delta t = 12\times 1{,}5\ \text{s} = 18\ \text{s}$, e la velocità è $v = \frac{2\pi r_1}{T_1} = \frac{2\pi(0{,}31\ \text{m})}{18\ \text{s}} = 0{,}11\ \text{m/s}$.
- $a_1 = a_2 \Rightarrow \frac{v_1^2}{r_1} = \frac{v_2^2}{r_2} \Rightarrow v_2 = v_1\sqrt{\frac{r_2}{r_1}} = (0{,}11\ \text{m/s})\sqrt{\frac{0{,}46\ \text{m}}{0{,}31\ \text{m}}} = 0{,}13\ \text{m/s}$

92 Fissiamo il verso dell'asse verticale in basso, quindi $a = g$. Calcoliamo $x = v_{0x}t$ dove, per la geometria dei triangoli rettangoli con angoli di 30° e 60°, $v_{0x} = \frac{v_0\sqrt{3}}{2} = \frac{(2{,}0\ \text{m/s})\sqrt{3}}{2} = 1{,}7\ \text{m/s}$.

Inoltre, $v_{0y} = \frac{v_0}{2} = \frac{2{,}0\ \text{m/s}}{2} = 1{,}0\ \text{m/s}$. Da $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$, si ricava

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2gy \quad \Rightarrow \quad v_y = \sqrt{v_{0y}^2 + 2gy} = \sqrt{(1{,}0\ \text{m/s})^2 + 2\times(9{,}8\ \text{m/s})(3{,}0\ \text{m})} = 7{,}7\ \text{m/s}$$

Quindi da $v_y = v_{0y} + gt$ ricavo $t = \frac{v_y - v_{0y}}{g} = \frac{7{,}7\ \text{m/s} - (1{,}0\ \text{m/s})}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}68\ \text{s}$.

Infine, $x = v_{0x}t = v_{0y}t = (1{,}7\ \text{m/s})(0{,}68\ \text{s}) = 1{,}2\ \text{m}$.

93
- La cinghia non slitta sulle ruote, per cui i bordi delle ruote si muovono con la stessa velocità della cinghia e quindi con velocità uguali tra loro.
- $v_1 = \frac{2\pi R_1}{T_1} = v_2 = \frac{2\pi R_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{R_2}{R_1}$

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1}T_1 = \frac{R_2}{R_1 f_1} = \frac{0{,}30\ \text{m}}{(0{,}20\ \text{m})(3{,}0\ \text{Hz})} = 0{,}50\ \text{s}$$

94 Esercizio con il foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 D

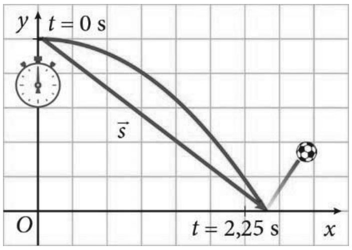
2 C

3 D

4 B

5 $v = \omega r = (8,5 \text{ rad/s})(0,90 \text{ m} + 0,68 \text{ m}) = 13 \text{ m/s}$

6

- 

  I moduli dei vettori componenti sono $|s_x| = 33 \text{ m}$ e $|s_y| = 25 \text{ m}$.

- I moduli dei componenti del vettore velocità media sono

$$|v_x| = \frac{|s_x|}{\Delta t} = \frac{33 \text{ m}}{2,25 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$$

$$|v_y| = \frac{|s_y|}{\Delta t} = \frac{25 \text{ m}}{2,25 \text{ s}} = 11 \text{ m/s}$$

mentre il modulo del vettore velocità è

$$|v| = \sqrt{|v_x|^2 + |v_y|^2} = \sqrt{(15 \text{ m/s})^2 + (11 \text{ m/s})^2} = 19 \text{ m/s}$$

7

- La frequenza è

$$f = \frac{v}{2\pi r} = \frac{(0,30 \text{ m/s})}{2\pi(0,040 \text{ m})} = 1,2 \text{ Hz}$$

- L'accelerazione centripeta di un punto sul bordo del mulinello è

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(0,30 \text{ m/s})^2}{0,040 \text{ m}} = 2,3 \text{ m/s}^2$$

8 Poiché la velocità di rotazione delle due pulegge è la stessa in modulo, nei due casi si ha: $v = 2\pi r_A f_A = 2\pi r_B f_B$.
Confrontando le due equazioni:

$$f_A r_A = f_B r_B \Rightarrow r_A = \left(\frac{f_B}{f_A}\right) r_B = \frac{500 \text{ giri/min}}{5000 \text{ giri/min}} r_B = \frac{1}{10} r_B$$

da cui segue:

$$D_A = \left(\frac{f_B}{f_A}\right) D_B = \frac{1}{10}(80 \text{ cm}) = 8,0 \text{ cm}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1

- $$v_{m,x} = \frac{\Delta s_x}{\Delta t} = \frac{-8,0\ \text{m}}{8,0\ \text{s}} = -1,0\ \text{m/s}$$
  $$v_{m,y} = \frac{\Delta s_y}{\Delta t} = \frac{12\ \text{m}}{8,0\ \text{s}} = 1,5\ \text{m/s}$$
- Il modulo della velocità è $v = \sqrt{(-1,0\ \text{m/s})^2 + (1,5\ \text{m/s})^2} = 1,8\ \text{m/s}$.
- Invertiamo le formule precedenti e troviamo gli spostamenti da Q a R:
  $$\Delta s_x = v_{m,x}\Delta t = (-1,0\ \text{m/s})(4,2\ \text{s}) = -4,2\ \text{m}$$
  $$\Delta s_y = v_{m,y}\Delta t = (1,5\ \text{m/s})(4,2\ \text{s}) = 6,3\ \text{m}$$
  Quindi, la posizione di R è data da
  $$s_{x,R} = s_{x,Q} + \Delta s_x = 8\ \text{m} + (-4,2\ \text{m}) = 3,8\ \text{m}$$
  $$s_{y,R} = s_{y,Q} + \Delta s_y = 18\ \text{m} + 6,6\ \text{m} = 25\,\text{m}$$

2 Nel punto più alto il proiettile procede in direzione orizzontale, quindi il modulo della sua velocità corrisponde al modulo della componente orizzontale del vettore velocità iniziale:

$$v_{0x} = v = 35\,\text{m/s}$$

Il modulo della componente verticale della velocità iniziale è

$$v_{0y} = \sqrt{2gy_{\max}} = \sqrt{2(9,8\ \text{m/s}^2)(100\,\text{m})} = 44\ \text{m/s}$$

3

- Convertiamo la velocità in m/s: $720\ \text{km/h} = \frac{720}{3,6}\ \text{m/s} = 200\ \text{m/s}$.

  In 24 s l'aereo percorre una distanza di $\Delta s = v\Delta t = (200\ \text{m/s})(24\ \text{s}) = 4,8\ \text{km}$.

  Questo valore è anche la lunghezza della semicirconferenza, quindi il raggio della traiettoria è
  $$r = \frac{\Delta s}{\pi} = \frac{4,8\ \text{km}}{3,14} = 1,5\ \text{km}$$
- La velocità finale è uguale in modulo a quella iniziale ma ha verso opposto. L'accelerazione è quindi
  $$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{200\ \text{m/s} - (-200\ \text{m/s})}{24\ \text{s}} = 17\ \text{m/s}^2$$
- $$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(200\ \text{m/s})^2}{1,5\times 10^3\ \text{m}} = 27\,\text{m/s}^2$$

4

- $$T = 164,9\ \text{a} = 164,9\times 365\times 24\times 3600\ \text{s} = 5,200\times 10^9\ \text{s}$$
  $$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,200\times 10^9\ \text{s}} = 1,923\times 10^{-10}\ \text{Hz}\ ;\ \omega = 2\pi f = 2\pi(1,923\times 10^{-10}\ \text{Hz}) = 1,208\times 10^{-9}\ \text{rad/s}$$
- $$v = \omega r = (1,208\times 10^{-9}\ \text{rad/s})(4,498\times 10^9\ \text{km}) = 5,434\ \text{km/s}$$
  $$a_c = \omega^2 r = (1,208\times 10^{-9}\ \text{rad/s})^2(4,498\times 10^9\ \text{km}) = 6,564\times 10^{-9}\ \text{m/s}^2$$

5

- $f = 9000 \text{ giri/min} = \dfrac{9000}{60} \text{ giri/s} = 150 \text{ Hz}$; $\omega = 2\pi f = 2\pi(150\,\text{Hz}) = 940 \text{ rad/s}$

  $a_c = \omega^2 r = (940 \text{ rad/s})^2 (8{,}0\times10^{-2} \text{ m}) = 7{,}1\times10^4 \text{ m/s}^2$

- Invertiamo la formula dell'accelerazione centripeta:

  $$\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}} = \sqrt{\frac{1{,}0\times10^5 \text{ m/s}^2}{8{,}0\times10^{-2} \text{ m}}} = 1{,}1\times10^3 \text{ rad/s}$$

  $$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1{,}1\times10^3 \text{ rad/s}}{2\pi} = 1{,}8\times10^2 \text{ Hz}$$

6 La velocità della palla è $v = 2\pi rf = 2\pi(1{,}0 \text{ m})(2 \text{ Hz}) = 13 \text{ m/s}$ e corrisponde alla velocità iniziale di un moto di caduta con velocità iniziale non nulla e diretta verso l'alto. Quindi:

$$s_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(13 \text{ m/s})^2}{2(9{,}8 \text{ m/s}^2)} = 8{,}6 \text{ m}$$

7

- Poiché il lancio avviene in orizzontale, la velocità di lancio corrisponde alla componente orizzontale della velocità ed è quindi data da

  $$v_0 = v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{200 \text{ m}}{5{,}0 \text{ s}} = 40 \text{ m/s}$$

- L'altezza di lancio corrisponde alla distanza percorsa in 5,0 s in una caduta da fermo:

  $$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}(9{,}8 \text{ m/s}^2)(5{,}0 \text{ s})^2 = 1{,}2\times10^2 \text{ m}$$

8

- Le componenti della velocità iniziale sono:

  $v_{0x} = v_0 \cos\alpha = (17\,\text{m/s})\cos 60° = 8{,}5 \text{ m/s}$; $v_{0y} = v_0 \sin\alpha = (17\,\text{m/s})\sin 60° = 15\,\text{m/s}$

  La distanza del muro è data da

  $x = v_{0x}t = (8{,}5 \text{ m/s})(1{,}8 \text{ s}) = 15\,\text{m}$

- L'altezza a cui si trova la palla nel momento in cui colpisce il muro è

  $$y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 = (15\,\text{m/s})(1{,}8 \text{ s}) - \frac{1}{2}(9{,}8 \text{ m/s}^2)(1{,}8 \text{ s})^2 = 11 \text{ m}$$

9

- Fissiamo un sistema di riferimento con l'asse delle x diretto da ovest a est e l'asse y diretto da sud a nord. La direzione nord-est corrisponde a un angolo di 45° con il semiasse positivo delle x; quindi, le componenti delle velocità iniziale sono:

  $v_{x,i} = (10\,\text{m/s})\cos 45° = 7{,}1 \text{ m/s}$; $v_{y,i} = (10\,\text{m/s})\sin 45° = 7{,}1 \text{ m/s}$

  La direzione nord corrisponde a un angolo di 90° con il semiasse positivo delle x; quindi, le componenti delle velocità finale sono:

  $v_{x,f} = (10\,\text{m/s})\cos 90° = 0 \text{ m/s}$; $v_{y,f} = (10\,\text{m/s})\sin 90° = 10 \text{ m/s}$

  Scriviamo in componenti l'equazione vettoriale [3] e sostituiamo i valori noti:

  $$a_{m,x} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{-7{,}1 \text{ m/s}}{120\text{s}} = -0{,}059 \text{ m/s}^2 \ ; \ a_{m,y} = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = \frac{2{,}9 \text{ m/s}}{120\text{s}} = 0{,}024 \text{ m/s}^2$$

- Il modulo dell'accelerazione media è
$$a=\sqrt{\left(-0{,}059\,\text{m/s}^2\right)^2+\left(0{,}024\,\text{m/s}^2\right)^2}=0{,}064\ \text{m/s}^2$$
- Invertiamo la [3] e troviamo le variazioni di velocità lungo i due assi:
$$\Delta v_x=a_{m,x}\Delta t=\left(-0{,}059\ \text{m/s}^2\right)(40\,\text{s})=-2{,}4\ \text{m/s}\,;\ \Delta v_y=a_{m,y}\Delta t=\left(0{,}024\ \text{m/s}^2\right)(40\,\text{s})=0{,}96\ \text{m/s}$$
Quindi la velocità finale è data da
$$v_{x,f}=v_{x,i}+\Delta v_x=0\ \text{m/s}+(-2{,}4\ \text{m/s})=-2{,}4\ \text{m/s}\,;\ v_{y,f}=v_{y,i}+\Delta v_y=10\ \text{m/s}+0{,}96\ \text{m/s}=11\ \text{m/s}$$

10 Ricordando che $t_{\text{volo}}=2t_{\max}$, ricaviamo $t_{\max}=7{,}2\ \text{s}$. Quindi:
$$v_{0y}=gt_{\max}=\left(9{,}81\ \text{m/s}^2\right)(7{,}2\,\text{s})=70{,}6\ \text{m/s}$$
Risaliamo dalla componente y alla componente x:
$$v=\frac{v_{0y}}{\sin\alpha}=\frac{70{,}6\ \text{m/s}}{\sin 60°}=81{,}6\ \text{m/s}\ \Rightarrow\ v_{0x}=v\cos\alpha=(81{,}6\ \text{m/s})\cos 60°=40{,}8\ \text{m/s}$$
La distanza a cui ricade il proiettile è $x=v_{0x}t=(40{,}8\ \text{m/s})(14{,}4\ \text{s})=588\ \text{m}$.

11 Fissiamo un sistema di riferimento con origine nel punto di caduta, asse delle ascisse orizzontale, diretto verso destra, e asse delle ordinate verticale, diretto verso l'alto. Il sistema è orientato in modo che il corpo provenga da sinistra.
Fissiamo $t=0$ all'istante in cui il pallone cade a terra.
La velocità, al momento della caduta, forma un angolo di 64° rispetto al semiasse positivo delle x, verso il basso.
L'angolo da usare è quindi − 64°.
Troviamo le componenti della velocità per $t=0$:
$$v_{0x}=v\cos\alpha=(27\,\text{m/s})\cos(-64°)=12\ \text{m/s}\,;\ v_{0y}=v\cos\alpha=(27\,\text{m/s})\sin(-64°)=-24\ \text{m/s}$$
La posizione richiesta è quella per $t=-1{,}2\,\text{s}$, quindi le coordinate sono:
$$x=v_{0x}t=(12\ \text{m/s})(-1{,}2\ \text{s})=-14\,\text{m}$$
$$y=v_{0y}t-\frac{1}{2}gt^2=(-24\ \text{m/s})(-1{,}2\ \text{s})-\frac{1}{2}\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)(-1{,}2\ \text{s})^2=22\ \text{m}$$

12
- Invertiamo la formula [10] del capitolo «L'accelerazione» e sostituiamo i valori noti:
$$v=\sqrt{2a\Delta s+v_0^2}=\sqrt{2\left(2{,}0\times10^3\ \text{m/s}^2\right)(0{,}40\ \text{m})+(0\ \text{m/s})^2}=40\ \text{m/s}$$
- Ricaviamo le componenti della velocità iniziale:
$$v_{0x}=v\cos\alpha=(40\,\text{m/s})\cos 40°=31\ \text{m/s}\,;\ v_{0y}=v\cos\alpha=(40\,\text{m/s})\sin 40°=26\ \text{m/s}$$
Il tempo di volo è $t_{\text{volo}}=\dfrac{2v_{0y}}{g}=\dfrac{2(26\ \text{m/s})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}=5{,}3\ \text{s}$. La gittata è $x=v_{0x}t_{\text{volo}}=(31\ \text{m/s})(5{,}3\ \text{s})=1{,}6\times10^2\ \text{m}$.

13
- Nel tempo occorso ad attraversare il burrone, l'auto non deve essere scesa più di 5,6 m; quindi, il tempo che ha impiegato ad attraversarlo deve essere minore o uguale a $t_{\max}=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=\sqrt{\dfrac{2(5{,}6\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2}}=1{,}1\ \text{s}$.
In un intervallo di tempo minore o uguale a $t_{\max}$ l'auto deve percorrere 15 m in orizzontale. Quindi, la sua velocità iniziale deve essere almeno pari a $v_0=v_x=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{15\,\text{m}}{1{,}1\ \text{s}}=14\ \text{m/s}$.
- La componente verticale della velocità finale è $v_y=gt=\left(-9{,}8\ \text{m/s}^2\right)(1{,}1\ \text{s})=-11\ \text{m/s}$.
- No. Un aumento della velocità iniziale comporta un aumento del modulo della velocità finale ma non modifica la sua componente lungo l'asse verticale.

14 ■ Un'accelerazione di 3,0 g corrisponde a $3{,}0g = 3{,}0\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right) = 30\ \text{m/s}^2$.

La velocità in curva è $v = \sqrt{a_c r} = \sqrt{\left(30\ \text{m/s}^2\right)\left(83\ \text{m}\right)} = 50\ \text{m/s} = 180\ \text{km/h}$.

■ Dalla legge oraria del moto uniformemente accelerato con partenza in movimento $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

si ha $a = \frac{2\left(s - v_0 t\right)}{t^2} = \frac{2\left[220\ \text{m} - \left(50\ \text{m/s}\right)\left(3{,}3\ \text{s}\right)\right]}{\left(3{,}3\ \text{s}\right)^2} = 10\ \text{m/s}^2$.

15 $v_s = 36{,}0\ \text{km/h} = \frac{36{,}0}{3{,}6}\ \text{m/s} = 10{,}0\ \text{m/s}$ e $v_d = 32{,}4\ \text{km/h} = \frac{32{,}4}{3{,}6}\ \text{m/s} = 9{,}0\ \text{m/s}$

Indichiamo con x la distanza della ruota posteriore destra dal centro della curva. Il furgone curva a destra perché la ruota posteriore sinistra è più veloce, quindi la distanza della ruota posteriore sinistra dal centro della curva è $x + 2{,}0$ m.

Poiché vale la relazione $v = \omega r$, possiamo scrivere:

$9{,}0\ \text{m/s} = \omega x$ per la ruota destra

$10{,}0\ \text{m/s} = \omega\left(x + 2{,}0\ \text{m}\right)$ per la sinistra

Riscriviamo la seconda equazione come $10{,}0\ \text{m/s} = \omega x + \omega \times 2{,}0\ \text{m}$ e sostituiamo al termine ωx il valore fornito dalla prima equazione, tenendo presente che la velocità angolare è la stessa per entrambe le ruote.

$10{,}0\ \text{m/s} = 9{,}0\ \text{m/s} + \omega\left(2{,}0\ \text{m}\right)$. Risolviamo rispetto a ω e troviamo $\omega = 0{,}50\ \text{rad/s}$.

Sostituiamo nella prima equazione e ricaviamo x:

$9{,}0\ \text{m/s} = \left(0{,}50\ \text{rad/s}\right)x \quad \Rightarrow \quad x = 18\ \text{m}$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 9

I principi della dinamica

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il primo principio della dinamica

pag. 292

Ogni pianeta, dalla propria posizione lungo l'orbita, inizierebbe a percorrere la retta tangente all'orbita.

2. I sistemi di riferimento inerziali

pag. 293

Ricade in mano.

4. Il secondo principio della dinamica

pag. 298

$F = 7\text{ N}$: dimezzando la massa, a parità di accelerazione la forza deve essere dimezzata.

pag. 299

L'accelerazione aumenterebbe perché, a parità di forza, è inversamente proporzionale alla massa.

5. Le proprietà della forza-peso

pag. 300

Se la velocità è costante, la forza di reazione vincolare è uguale in modulo alla forza-peso:
$F_V = F_P = (62\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2) = 6{,}1\times10^2\text{ N}$

6. Il terzo principio della dinamica

pag. 302

La forza esercitata tramite la fune non può essere determinante per la vittoria. Infatti, per il terzo principio della dinamica, la forza con cui una squadra tira l'altra ha sempre lo stesso modulo della forza con cui viene tirata dall'altra. La squadra che prevale, cioè che riesce ad accelerare all'indietro, è quella che esercita sul terreno la forza in avanti maggiore e quindi, sempre per il terzo principio, riceve in risposta dal terreno la spinta all'indietro maggiore.

TEST

1 D
2 B
3 A
4 B
5 C
6 C
7 D
8 A
9 B
10 C
11 C

ESERCIZI

1. Il primo principio della dinamica

1 Spinta muscolare esercitata dal tuffatore sul trampolino; forza elastica esercitata dal trampolino sul tuffatore; forza di gravità esercitata dalla Terra sul tuffatore; forza di attrito dinamico esercitata dall'acqua sul tuffatore.

2
- La forza esercitata dalle ruote sulla pista.
- La forza d'attrito tra le ruote e il terreno sabbioso.

3 No. La somma vettoriale della forza del motore dell'auto, regolata dal pedale dell'acceleratore, e delle forze d'attrito è zero.

4 Per il primo principio della dinamica, la palla mantiene la velocità che aveva nel punto in cui cessa di agire su di essa la forza del filo (cioè la forza centripeta). Poiché il vettore velocità istantanea è sempre tangente alla traiettoria, la palla seguirà la direzione tangente.

5 All'istante che separa le fasi *A* e *B*; nella fase *C*; all'istante che separa le fasi *C* e *D*.

6 Affinché la slitta si muova a velocità costante, il modulo della forza di attrito dinamico deve essere uguale a quello della forza $F = 20$ N applicata da Ettore. Calcoliamo F_d:

$$F_d = \mu_d mg = 0{,}16(12 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2) = 19 \text{ N}$$

Poiché $F > F_d$, la slitta non si muove a velocità costante.

7
- La forza da applicare deve essere uguale in modulo e direzione e opposta in verso alla forza di attrito dinamico, che vale $F = F_d = \mu_d mg = 0{,}70 \times (30 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2) = 2{,}1 \times 10^2 \text{ N}$.
- La massa dell'acqua contenuta nelle bottiglie aggiunte alla spesa è $m' = 6 \times 1{,}5$ kg $= 9{,}0$ kg. Quindi l'aumento di forza ΔF è dato da $\Delta F = |\Delta F_d| = \mu_d m'g = 0{,}70 \times (9{,}0 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2) = 62 \text{ N}$.

8 Il corpo si muove a velocità costante, quindi la somma vettoriale delle forze deve essere uguale a zero. Sommiamo prima le due forze che agiscono in orizzontale, ottenendo una forza risultante di 4 N verso sinistra e poi, con la regola del parallelogramma, sommiamo questa risultante con la prima forza, ottenendo $F=\sqrt{(4\ \text{N})^2+(6\ \text{N})^2}=7\ \text{N}$ inclinata a destra e verso l'alto.

9 PROBLEMA SVOLTO

10 $F_e = F_P \;\Rightarrow\; k=\dfrac{F_P}{\Delta x}=\dfrac{(70\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)}{0,0080\ \text{m}}=8,6\times10^4\ \text{N/m}$

2. I sistemi di riferimento inerziali

11 Perché è un sistema non inerziale in cui i panni risentono di una forza apparente diretta verso le pareti del cestello. Viste da un osservatore esterno, le gocce d'acqua tendono a mantenere la propria velocità per inerzia e a fuoriuscire dai fori della parete del cestello.

12 Ci troviamo in un sistema di riferimento inerziale, quindi la costante elastica vale 70 N/m.

13 Visto che il moto è rettilineo, la formula vettoriale $\vec{v}_2=\vec{v}+\vec{v}_1$ si può esprimere come $v_2=v+v_1$, con $v=2,5\ \text{m/s}$ e $v_1=-1,2\ \text{m/s}$. Così si ottiene $v_2=(2,5-1,2)\text{m/s}=1,3\ \text{m/s}$.

14 La velocità $v_{\text{c,f}}$ della canoa rispetto alla corrente del fiume è la differenza tra la velocità $v_{\text{c,o}}$ della canoa secondo l'osservatore sulla riva e quella del fiume rispetto all'osservatore $v_{\text{f,o}}$:

$$v_{\text{c,f}}=v_{\text{c,o}}-v_{\text{f,o}}=\left[\left(\frac{22}{3,6}\right)\text{m/s}\right]-3,0\ \text{m/s}=3,1\ \text{m/s}$$

La distanza tra l'osservatore e la canoa dopo $\Delta t = 8,0$ s è

$$d=v_{\text{c,o}}\Delta t=\left[\left(\frac{22}{3,6}\right)\text{m/s}\right]\times 8,0\ \text{s}=49\ \text{m}$$

15 Il sistema di riferimento S_1 (in cui le scale mobili sono ferme) ha una velocità $v=1,2$ m/s rispetto al sistema di riferimento S_2 (in cui è la base delle scale a essere ferma). In S_1 la velocità della persona è $v_1=1,4\ \text{m/s}$; in S_2 la sua velocità è $v_2=v+v_1=(1,2+1,4)\text{m/s}=2,6\ \text{m/s}$.

16
- La velocità $\vec{v}_2$ del cavallo rispetto alla strada (sistema di riferimento S_2) ha modulo $v_2=27\ \text{km/h}$ e il valore della velocità $\vec{v}$ della bicicletta (sistema di riferimento S_1) rispetto alla strada è $v=-18\ \text{km/h}$.
- Dalla relazione $v_2=v+v_1$ otteniamo
  $v_1=v_2-v=27\ \text{km/h}-(-18\ \text{km/h})=45\ \text{km/h}$

17 La velocità $\vec{v}_2$ della palla rispetto al pavimento (sistema di riferimento S_2) ha modulo $v_2=5,0\ \text{cm/s}$ e il valore della velocità $\vec{v}$ del limone, che è uguale a quella del nastro trasportatore (sistema di riferimento S_1), rispetto al pavimento è $v=40\ \text{cm/s}$.
Dalla relazione $v_2=v+v_1$ otteniamo $v_1=v_2-v=5,0\ \text{cm/s}-(40\ \text{cm/s})=-35\ \text{cm/s}=-0,35\ \text{m/s}$

18
- Nel primo caso l'automobilina ha velocità e accelerazione nulle nel sistema di riferimento del pullman: $v = 0$ m/s e $a = 0$ m/s^2.
- Quando il pullman inizia a frenare, l'automobilina continua, per inerzia, il suo moto uniforme sfuggendo in avanti con $v = at$ m/s e $a = 0{,}5$ m/s^2.

19
- Nel primo caso l'automobilina si muove di moto rettilineo uniforme alla stessa velocità del pullman, cioè $v = 25$ m/s, e accelerazione $a = 0$ m/s^2.
- Quando il pullman inizia a rallentare, l'automobilina continua, per inerzia, il suo moto uniforme con $v = 25$ m/s e $a = 0$ m/s^2.

20
- Lo skateboard risente di una forza apparente, avente direzione parallela ai binari e diretta all'indietro rispetto al moto del treno.
- La distanza percorsa in un tempo di 4,0 s è $s = \frac{1}{2}at^2 = 0{,}5 \times \left(1{,}5\ \text{m/s}^2\right)\left(4{,}0\ \text{s}\right)^2 = 12\ \text{m}$.

21 Indicando con $\vec{v}$ la velocità del delfino rispetto alla riva (sistema di riferimento S_2), si ha $\vec{v} = \vec{v}_D + \vec{v}_C$ dove $\vec{v}_D$ è la velocità del delfino rispetto alla corrente (sistema di riferimento S_1) e $\vec{v}_C$ è la velocità della corrente rispetto alla riva. I tre vettori formano un triangolo rettangolo. Applicando il teorema di Pitagora, si ottiene

$$v = \sqrt{v_D^2 + v_C^2} = \sqrt{\left(8{,}8\ \text{m/s}\right)^2 + \left(6{,}6\ \text{m/s}\right)^2} = 11\ \text{m/s}$$

22 La velocità $\vec{v}_{p,s}$ del proiettile rispetto al suolo è la somma della velocità $\vec{v}_{p,t}$ del proiettile rispetto al treno e della velocità $\vec{v}_{t,s}$ del treno rispetto al suolo. Poiché queste ultime sono perpendicolari, si ha

$$v_{p,s} = \sqrt{\left(v_{p,t}\right)^2 + \left(v_{t,s}\right)^2} = \sqrt{\left(100\ \text{m/s}\right)^2 + \left(40{,}0\ \text{m/s}\right)^2} = 108\ \text{m/s}$$

23 $v = \sqrt{v_b^2 + v_c^2} = \sqrt{\left(7{,}0\ \text{m/s}\right)^2 + \left(4{,}0\ \text{m/s}\right)^2} = 8{,}1\ \text{m/s}$

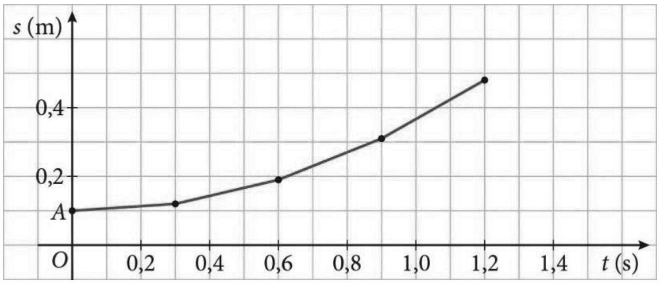
3. Forza, accelerazione e massa

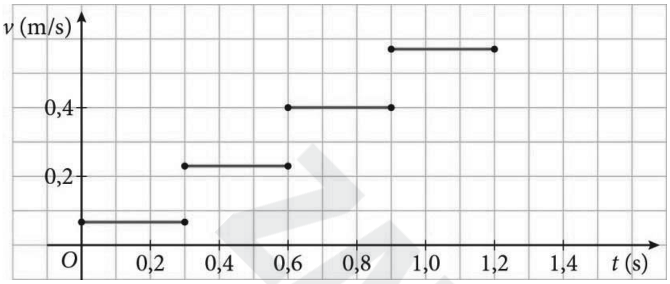
24 È giusta: significa che l'accelerazione è costante.

25 Non è detto che la velocità si dimezzi: certamente l'accelerazione si dimezza. Se il corpo aveva una velocità iniziale v_0 prima dell'effetto della forza, si ha $v = v_0 + at$, quindi v e a non sono direttamente proporzionali.

26

***t* (s)**	0,0		0,30		0,60		0,90		1,20
***s* (m)**	0,10		0,12		0,19		0,31		0,48
***v* (m/s)**		**0,067**		**0,23**		**0,40**		**0,57**	
***a* (m/s²)**			**0,54**		**0,57**		**0,56**		

■




27 $a = \frac{2}{3}\left(0,72\ \text{m/s}^2\right) = 0,48\ \text{m/s}^2$

28
- Le casse cadono dal camion in virtù del principio di inerzia.
- Poiché l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa, il suo valore aumenta. In formule:

$$m_2 = \frac{3}{4}m_1 \quad \Rightarrow \quad |a_2| = \frac{4}{3}|a_1| = |a_1| + \frac{1}{3}|a_1|$$

Poiché il tempo di frenata è inversamente proporzionale all'accelerazione, diminuisce. In formule:

$$t_2 = \frac{v}{|a_2|} = \frac{v}{\frac{4}{3}|a_1|} = \frac{3}{4}\frac{v}{|a_1|} = \frac{3}{4}t_1 = t_1 - \frac{1}{4}t_1$$

29 Data la proporzionalità diretta tra la forza e l'accelerazione, si ha

$$F : 0,8\ \text{m/s}^2 = x : 1,2\ \text{m/s}^2 \quad \text{da cui} \quad x = F\frac{1,2\ \text{m/s}^2}{0,80\ \text{m/s}^2} = F \times 1,5$$

La forza deve aumentare di 1,5 volte, ovvero del 50%.

30 A causa della proporzionalità diretta tra F e a, possiamo scrivere

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta a}{a} = \frac{(2,4-2,0)\ \text{m/s}^2}{2,0\ \text{m/s}^2} = 0,2 \cong 20\%$$

COMPITI
CAPITOLO 9. I principi della dinamica
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

4. Il secondo principio della dinamica

31 Accelera verso l'alto a causa della forza dovuta alla resistenza dell'aria sul paracadute. L'accelerazione è diretta verso l'alto perché, per la seconda legge di Newton, all'azione di una forza in una data direzione corrisponde un'accelerazione in quella direzione. L'effetto risultante è una diminuzione della velocità.

32 $$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2\ \text{m/s}}{4\ \text{s}} = 0,5\ \text{m/s}^2$$

$$m = \frac{F}{a} = \frac{20\ \text{N}}{0,5\ \text{m/s}^2} = 4 \times 10\ \text{kg}$$

33 Applicando il secondo principio della dinamica, abbiamo:

$$m = \frac{F}{a} \approx \frac{10^{-23}\ \text{N}}{10^{7}\ \text{m/s}^2} = 10^{-30}\ \text{kg}$$

34 $$|a| = \left| -\frac{F}{m} \right| = \frac{3000\ \text{N}}{1,5 \times 10^{3}\ \text{kg}} = 2\ \text{m/s}^2$$

35 Aumenta, perché diminuisce la massa totale del camion.

36 $$a = \frac{F}{m} = \frac{1,25\ \text{N}}{8,27 \times 10^{-2}\ \text{kg}} = 15,1\ \text{m/s}^2$$

37
- Il valore più attendibile della forza è $\overline{F} = m\overline{a} = (0,125\ \text{kg})(11,7\ \text{m/s}^2) = 1,46\ \text{N}$.
- L'incertezza relativa è $e_r = \frac{\Delta m}{\overline{m}} + \frac{\Delta a}{\overline{a}} = \frac{5\ \text{g}}{125\ \text{g}} + \frac{0,2\ \text{m/s}^2}{11,7\ \text{m/s}^2} = 0,057$.
- Così l'incertezza assoluta sulla forza vale $\Delta F = e_r \overline{F} = 0,057(1,46\ \text{N}) = 0,08\ \text{N}$ e il risultato ottenuto si scrive come $F = (1,46 \pm 0,08)\ \text{N}$.

38 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 308.

39 PROBLEMA SVOLTO

40 $$F_{\text{media}} = m\frac{|\Delta v|}{\Delta t} = m\frac{v_{\text{iniziale}}}{\Delta t}$$

$$\Delta t = m\frac{v_{\text{iniziale}}}{F_{\text{media}}} = (77,0\ \text{kg})\frac{40/3,6\ \text{m/s}}{2,59 \times 10^{3}\ \text{N}} = 0,330\ \text{s}$$

41
- $F = ma = (25\ \text{kg})(0,95\ \text{m/s}^2) = 24\ \text{N}$
- La forza deve compensare l'effetto della forza di attrito, quindi deve superare la forza precedente di una quantità

  $$F_d = \mu_d mg = 0,18 \times (25\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 44\ \text{N}$$

  Il nuovo valore della forza sarà

  $$F' = F + F_d = 24\ \text{N} + 44\ \text{N} = 68\ \text{N}$$

42 ■ Nel primo tratto, si ha $F = ma = (800\ \text{kg})(0{,}50\ \text{m/s}^2) = 4{,}0\times10^2\ \text{m}$.
Nel secondo tratto, si ha $F = 0$ N.

■ $v = at = (0{,}50\ \text{m/s}^2)(10\ \text{s}) = 5{,}0\ \text{m/s}$

■ $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = (5{,}0\ \text{m/s})(15\ \text{s}) + \frac{1}{2}(0{,}50\ \text{m/s}^2)(10\ \text{s})^2 = 1{,}0\times10^2\ \text{m}$

43 ■ $F = ma = (200\ \text{kg})(3{,}0\ \text{m/s}^2) = 6{,}0\times10^2\ \text{N}$

■ $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(3{,}0\ \text{m/s}^2)(10\ \text{s})^2 = 1{,}5\times10^2\ \text{m}$

44 La forza risultante che agisce sulla corda è data dalla relazione:

$$F = F_{\text{Riccardo}} - F_{\text{Giada}} = ma$$

da cui si ricava che la forza con la quale sta tirando Riccardo è

$$F_{\text{Riccardo}} = ma + F_{\text{Giada}} = (0{,}75\ \text{kg})(1{,}25\ \text{m/s}^2) + 16{,}0\ \text{N} = 16{,}9\ \text{N}$$

45 A parità di forza del motore, la massa del sistema diminuisce, quindi l'accelerazione aumenta:

$$a_1 m_1 = a_2 m_2 \quad\Rightarrow\quad a_2 = a_1\frac{m_1}{m_2} = (0{,}5\ \text{m/s}^2)\frac{1500\ \text{kg}}{1200\ \text{kg}} = 0{,}6\ \text{m/s}^2$$

46 PROBLEMA MODELLO a pag. 310

47 Lungo l'orizzontale si ha:

$$\vec{F}_{\text{prop}} + \vec{f}_a = m\vec{a} \;\Rightarrow\; f_a = F_{\text{prop}} - ma = 5{,}0\times10^2\ \text{N} - (2{,}8\,\text{kg})(15\ \text{m/s}^2) = 4{,}6\times10^2\ \text{N}$$

48 La somma delle forze lungo la verticale è nulla, quindi

$$\vec{f}_a + \vec{F}_P = 0{,}0\ \text{N} \;\Rightarrow\; f_a = F_P = mg = (70{,}0\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 6{,}9\times10^2\ \text{N}$$

Lungo l'orizzontale, si ha

$$\vec{F}_{\text{vento}} + \vec{f}_a = m\vec{a} \;\Rightarrow\; f_a = F_{\text{vento}} - ma = 90{,}0\ \text{N} - (70{,}0\,\text{kg})(0{,}50\ \text{m/s}^2) = 55\ \text{N}$$

5. Le proprietà della forza-peso

49 ■ Falso: la forza-peso è direttamente proporzionale alla massa e quella del piombo è maggiore.
■ Vero: su entrambe agisce l'accelerazione di gravità g.

50 L'unica forza agente è la forza-peso del tuffatore. Il moto è uniformemente accelerato, quindi

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad\Rightarrow\quad t=\sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2\times10{,}0\ \text{m}}{9{,}80\ \text{m/s}^2}} = 1{,}43\ \text{s}\ ;\ v = v_0 + gt = 0 + (9{,}80\ \text{m/s}^2)(1{,}43\ \text{s}) = 14{,}0\ \text{m/s}$$

51 ■ No, perché la forza-peso è minore sulla Luna.
■ Si fa lo stesso sforzo perché la massa del rilevatore non cambia.

52 La forza ascensionale deve vincere la forza-peso dell'elicottero e farlo sollevare da terra. Fissando come verso positivo quello verso l'alto, si ha $m\vec{a} = \vec{F}_{asc} + \vec{F}_P$. Passando ai moduli, si ottiene $ma = F_{asc} - mg$.

$$F_{asc} = ma + mg = m(a+g) = (4500 \text{ kg})\left[2,0 \text{ m/s}^2 + 9,8 \text{ m/s}^2\right] = 5,3\times10^4 \text{ N}$$

53 Applicando il secondo principio della dinamica, otteniamo

$$F_{asc} - F_P = ma \;\Rightarrow\; F_{asc} = m\left(g + \frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = (365 \text{ kg})\left(9,8 \text{ m/s}^2 + \frac{3,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s}^2}\right) = 3,8\times10^3 \text{ N}$$

54 Dalla relazione $F_P - F = ma$ si ricava la forza sul secchio diretta verso l'alto:

$$F = F_P - ma = mg - ma = m(g-a) = (7,8 \text{kg})(9,8 \text{m/s}^2 - 0,4 \text{m/s}^2) = 73 \text{N}$$

55 PROBLEMA SVOLTO

56 Fissiamo la direzione verticale positiva verso l'alto.

- Nel sistema di riferimento inerziale dell'ascensore fermo, la tua forza-peso è 800 N, indicata dalla bilancia ferma. Nel caso dell'ascensore che sale con accelerazione costante positiva, su di te agiscono due forze: la forza-peso $\vec{F}_P$, diretta verso il basso, e la forza perpendicolare $\vec{F}_{bil}$ applicata sui tuoi piedi dalla bilancia, diretta verso l'alto. Applicando la seconda legge di Newton alla direzione verticale, otteniamo

$$ma = F_{bil} - F_P \;\Rightarrow\; a = \frac{F_{bil} - F_P}{m} = \frac{F_{bil} - F_P}{\frac{F_P}{g}} = \frac{g(F_{bil} - F_P)}{F_P} = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2)\left[(900-800)\text{ N}\right]}{800 \text{ N}} = 1,2 \text{ m/s}^2$$

- Nel caso dell'ascensore che rallenta con accelerazione costante negativa, su di te agiscono due forze: la forza-peso $\vec{F}_P$, diretta verso il basso, e la forza perpendicolare $\vec{F}_{bil}$ applicata sui nostri piedi dalla bilancia, diretta verso l'alto. Applicando la seconda legge di Newton alla direzione verticale, otteniamo

$$ma = F_{bil} - F_P \;\Rightarrow\; a = \frac{F_{bil} - F_P}{m} = \frac{F_{bil} - F_P}{\frac{F_P}{g}} = \frac{g(F_{bil} - F_P)}{F_P} = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2)\left[(750-800)\text{ N}\right]}{800 \text{ N}} = -0,61 \text{ m/s}^2$$

6. Il terzo principio della dinamica

57
- Con una forza uguale e contraria a quella applicata dall'atleta alla sbarra, ovvero 500 N.
- La forza è applicata dalla sbarra all'atleta, come reazione a quella applicata dall'atleta alla sbarra.

58 Sì, perché l'aria che esce dal palloncino esercita una forza sull'aria esterna al palloncino stesso, che a sua volta agisce sul palloncino e lo sposta.

59
- Il mobile non si sposta perché la forza d'attrito che agisce tra il mobile e il pavimento è molto maggiore della forza esercitata dalla biglia.
- Se la biglia e il mobile fossero posti su un cuscino d'aria compressa ognuno riceverebbe una forza uguale in valore e opposta in verso, che in assenza di attrito determina un'accelerazione per ciascun oggetto inversamente proporzionale alla rispettiva massa.

60 La forza impressa dal fucile al proiettile è uguale in modulo e contraria in verso a quella che il proiettile imprime al fucile e che quest'ultimo imprime rinculando sulla spalla del tiratore.

61 $F = ma = (500 \text{ kg})(2,50 \text{ m/s}^2) = 1,25 \text{ kN}$

62 $a_2 = a_1\left(\dfrac{m_1}{m_2}\right) = \left(4,2 \text{ m/s}^2\right)\dfrac{0,240 \text{ kg}}{0,360 \text{ kg}} = 2,8 \text{ m/s}^2$

Il verso di $\vec{a}_2$ è opposto a quello di $\vec{a}_1$.

63 $\vec{F}_{\text{canotto}} = -\vec{F}_{\text{remi}}$. Il verso è opposto rispetto alla spinta sui remi, l'intensità è la stessa, cioè 50,0 N.

$$a_{\text{canotto}} = \frac{F_{\text{canotto}}}{m_{\text{canotto}} + m_{\text{Marco}}} = \frac{50 \text{ N}}{4,4 \text{ kg} + 65 \text{ kg}} = 0,72 \text{ m/s}^2$$

64 PROBLEMA MODELLO a pag. 312

65
- Le due accelerazioni sono

$$a_1 = \frac{F}{m_1} = \frac{58,3 \text{ N}}{36,2 \text{ kg}} = 1,61 \text{ m/s}^2; \quad a_2 = \frac{F}{m_2} = \frac{58,3 \text{ N}}{42,2 \text{ kg}} = 1,38 \text{ m/s}^2$$

- Le due velocità finali sono

$$v_1 = a_1\Delta t_1 = \left(1,61 \text{ m/s}^2\right)\left(0,87 \text{ s}\right) = 1,4 \text{ m/s}$$
$$v_2 = a_2\Delta t_1 = \left(1,38 \text{ m/s}^2\right)\left(0,87 \text{ s}\right) = 1,2 \text{ m/s}$$

- Visto che i due oggetti si muovono in versi opposti, la loro distanza alla fine della spinta è

$$\Delta s_1 = \frac{1}{2}a_1\left(\Delta t_1\right)^2 + \frac{1}{2}a_2\left(\Delta t_1\right)^2 = \frac{1}{2}\left(a_1 + a_2\right)\left(\Delta t_1\right)^2 = \frac{1}{2}\left[\left(1,61+1,38\right)\text{m/s}^2\right]\left(0,87 \text{ s}\right)^2 = 1,1 \text{ m}$$

- La loro distanza finale è

$$\Delta s_2 = \Delta s_1 + v_1\Delta t_2 + v_2\Delta t_2 = \Delta s_1 + \left(v_1 + v_2\right)\Delta t_2 = 1,1 \text{ m} + \left[\left(1,4+1,2\right)\text{m/s}\right]\left(1,2 \text{ s}\right) = 4,2 \text{ m}$$

66 $a = \dfrac{F}{m_{\text{Terra}}} = \dfrac{mg}{m_{\text{Terra}}} = \dfrac{\left(0,850 \text{ kg}\right)\left(9,8 \text{ m/s}\right)^2}{5,976\times10^{24} \text{ kg}} = 1,39\times10^{-24} \text{ m/s}^2$

67
- $F_1 = m_1 a_1 = \left(50 \text{ g}\right)\left(3,7 \text{ m/s}^2\right) = 0,19 \text{ N}$
- $F_2 = F_1 = 0,19 \text{ N}$, con verso opposto a F_1.
- $a_2 = \dfrac{1}{2}a_1 = \dfrac{1}{2}\left(3,7 \text{ m/s}^2\right) = 1,9 \text{ m/s}^2$

  La direzione dell'accelerazione è sempre uguale a quella della forza.

68
- Il camion e il rimorchio hanno la stessa accelerazione e per il terzo principio la forza con cui il camion tira il rimorchio è in modulo uguale a quella con cui il rimorchio frena il camion:

$$\left|\vec{F}_{\text{rimorchio-camion}}\right| = \left|-\vec{F}_{\text{camion-rimorchio}}\right| = m_{\text{rimorchio}}a = \left(2,0\times10^3 \text{ kg}\right)\left(0,50 \text{ m/s}^2\right) = 1,0\times10^3 \text{ N}$$

- $F_{\text{motore}} = F_{\text{camion}} + F_{\text{camion-rimorchio}} = \left(m_{\text{camion}} + m_{\text{rimorchio}}\right)a = \left(10,0\times10^3 \text{ kg}\right)\left(0,50 \text{ m/s}^2\right) = 5,0\times10^3 \text{ N}$

69

- A serbatoio pieno, auto e benzina hanno la stessa accelerazione: per il terzo principio della dinamica, la forza $\vec{F}_{\text{a-b}}$ con cui l'automobile trasporta la benzina è uguale in modulo e opposta in verso alla forza $\vec{F}_{\text{b-a}}$ che la benzina esercita sul telaio dell'auto. Quindi
  $\left|\vec{F}_{\text{b-a}}\right| = \left|-\vec{F}_{\text{a-b}}\right| = m_{\text{b}}a = (110\,\text{kg})(16,7\ \text{m/s}^2) = 1,84\times10^3\ \text{N}$
- La forza esercitata dagli pneumatici deve mantenere in movimento sia l'auto sia la benzina, quindi
  $F_{\text{motore}} = (m_a + m_b)a = (910\ \text{kg})(16,7\ \text{m/s}^2) = 1,52\times10^4\ \text{N}$

70 La forza risultante sul terreno è data dalla somma vettoriale della forza-peso e della spinta del piede:

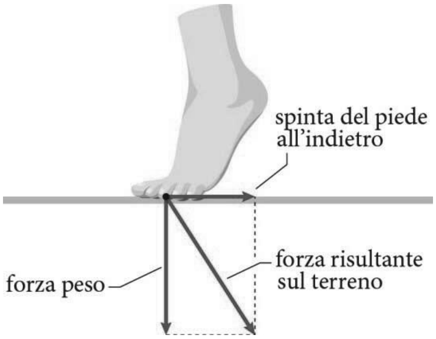
$F_{\text{spinta}} = ma_{\text{spinta}} = (60\ \text{kg})(2,0\ \text{m/s}^2) = 120\ \text{N} = 1,2\times10^2\ \text{N}$

$F_P = mg = (60\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 588\ \text{N} = 5,9\times10^2\ \text{N}$

$F_{\text{tot}} = \sqrt{F_{\text{spinta}}^2 + F_P^2} = \sqrt{1,2^2 + 5,9^2}\,(10\ \text{N}) = 6,0\times10^2\ \text{N}$

Calcolo l'angolo di inclinazione della forza totale rispetto alla verticale:

$$\alpha = \cos^{-1}\frac{F_P}{F_{\text{tot}}} = \cos^{-1}\frac{5,9\times10^2\ \text{N}}{6,0\times10^2\ \text{N}} = 11°$$



71 Con la seconda legge della dinamica si trova l'accelerazione della palla:

$F = m_{\text{p}}a = (1,50\,\text{kg})(520\,\text{m/s}^2) = 780\,\text{N}$

Per il terzo principio della dinamica, la stessa forza si applica in verso opposto al cannone, imprimendogli un'accelerazione $a_{\text{c}} = \frac{-F}{m_{\text{c}}} = \frac{-780\,\text{N}}{750\,\text{kg}} = -1,04\ \text{m/s}^2$.

72 D

73 A

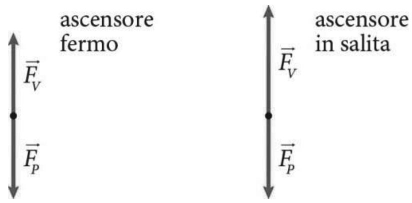
74

- Per il secondo principio della dinamica $\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{F}_P + \vec{F}_{\text{bil}} = m\vec{a}$.
  Prima che l'ascensore inizi a muoversi la ragazza è ferma, quindi la sua accelerazione (verticale) è nulla. Ne consegue che $\vec{F}_p = -\vec{F}_{\text{bil}}$.
  Considerando positivo il verso della forza diretta verticalmente verso l'alto e passando ai moduli:
  $F_{\text{bil}} = mg = (49\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 4,8\times10^2\ \text{N}$
- L'ascensore sale con moto uniformemente accelerato partendo da fermo. Perciò:

  $$v = at \quad\Rightarrow\quad a = \frac{v}{t} = \frac{2,7\ \text{m/s}}{1,3\ \text{s}} = 2,0\ \text{m/s}^2$$

  $$F_{\text{bil}} - F_P = ma \quad\Rightarrow\quad F_{\text{bil}} = F_P + ma = m(g+a) = (49\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2 + 2,0\ \text{m/s}^2) = 5,8\times10^2\ \text{N}$$

75

■ 

■ Quando l'ascensore è fermo si ha
$|F_V| = mg = (75{,}0\ \text{kg})(9{,}80\ \text{m/s}^2) = 735\ \text{N}$

■ Quando l'ascensore sale si ha
$|F_V| = mg + ma = m(g+a) = (75{,}0\ \text{kg})(9{,}80 + 0{,}80)\,\text{m/s}^2 = 795\ \text{N}$

76 Dalla seconda legge di Newton si ricava la massa di Igor:

$$m = \frac{F_P}{g} = \frac{588\ \text{N}}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 60\ \text{kg}$$

Dalla terza legge di Newton si ricava che

$$\vec{F}_{\text{parete-Igor}} = -\vec{F}_{\text{Igor-parete}} \Rightarrow F = ma = (60\ \text{kg})(3{,}00\ \text{m/s}^2) = 1{,}8\times10^2\ \text{N}$$

77 **a.** Nel primo caso si ha $a_1 = \dfrac{F}{m} = \dfrac{0{,}86\ \text{N}}{0{,}33\ \text{kg}} = 2{,}6\ \text{m/s}^2$.

b. Nel secondo caso si ha

$$F' = F - F_d = F - \mu_d mg = 0{,}86\ \text{N} - 0{,}12\times(0{,}33\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 0{,}47\ \text{N} \Rightarrow$$

$$a_2 = \frac{F'}{m} = \frac{0{,}47\ \text{N}}{0{,}33\ \text{kg}} = 1{,}4\ \text{m/s}^2$$

78

$$F_{\text{tot}} = 12{,}0\ \text{N} - F_d = 12{,}0\ \text{N} - \mu_d mg = 12{,}0\ \text{N} - 0{,}30\times(3{,}0\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 3{,}18\ \text{N}$$

$$a = \frac{F_{\text{tot}}}{m} = \frac{3{,}18\ \text{N}}{3{,}0\ \text{kg}} = 1{,}1\ \text{m/s}^2$$

79 La spinta dei motori vale $F = m_{\text{tot}}a = (2400+1400)\ \text{kg}\times 31\ \text{m/s}^2 = 11{,}78\times10^4\ \text{N}$.

Dopo che il combustibile è stato parzialmente utilizzato, l'accelerazione vale

$$a = \frac{F}{m} = \frac{11{,}78\times10^4\ \text{N}}{(2400+600)\ \text{kg}} = 39\ \text{m/s}^2$$

80

■ $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{15{,}0\ \text{N}}{0{,}420\ \text{kg}} = 35{,}7\ \text{m/s}^2$

■ $v = at = (35{,}7\ \text{m/s}^2)(0{,}12\ \text{s}) = 4{,}3\ \text{m/s}$

■ $s = \dfrac{1}{2}at^2 = \dfrac{1}{2}(35{,}7\ \text{m/s}^2)(0{,}12\ \text{s})^2 = 0{,}26\ \text{m}$

81

■ Le due accelerazioni hanno versi opposti e valgono rispettivamente

$$a_A = \frac{F}{m_A} = \frac{(30\ \text{N})}{50\ \text{kg}} = 0{,}60\ \text{m/s}^2;\quad a_F = \frac{F}{m_F} = \frac{30\ \text{N}}{70\ \text{kg}} = 0{,}43\ \text{m/s}^2$$

segue

- La distanza percorsa dai due pattinatori dopo 1,0 s vale rispettivamente

$$s_A = \frac{1}{2}a_A t^2 = \frac{1}{2}\left(0,60 \text{ m/s}^2\right)\left(1,0 \text{ s}\right)^2 = 0,30 \text{ m}$$

$$s_F = \frac{1}{2}a_F t^2 = \frac{1}{2}\left(0,43 \text{ m/s}^2\right)\left(1,0 \text{ s}\right)^2 = 0,22 \text{ m}$$

Pertanto, dopo 1,0 s la distanza tra i due pattinatori sarà

$$s_{tot} = s_A + s_F = 0,30 \text{ m} + 0,22 \text{ m} = 0,52 \text{ m}$$

82 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = v_0 t + \frac{1}{2}\left(\frac{F}{m}\right)t^2 = \left(0,96 \text{ m/s}\right)\left(1,5 \text{ s}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{6,2 \text{ N}}{0,5 \text{ kg}}\right)\left(1,5 \text{ s}\right)^2 = 15 \text{ m}$

83
- $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{285-85}{3,6}\right)\text{m/s}}{25 \text{ s}} = 2,2 \text{ m/s}^2$

$$F = ma = \left(4,42\times10^5 \text{ kg}\right)\left(2,2 \text{ m/s}^2\right) = 9,8\times10^5 \text{ N}$$

- $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \left(23,6 \text{ m/s}\right)\left(25 \text{ s}\right) + 0,5\times\left(2,2 \text{ m/s}^2\right)\left(25 \text{ s}\right)^2 = 1,3\times10^3 \text{ m}$

84
- $a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{120-30}{3,6}\right)\text{m/s}}{8,0 \text{ s}} = 3,1 \text{ m/s}^2;\ a_2 = 0 \text{ m/s}^2;\ a_3 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(-33,3 \text{ m/s}\right)}{6,0 \text{ s}} = -5,6 \text{ m/s}^2$
- $F_1 = ma_1 = \left(2100 \text{ kg}\right)\left(3,1 \text{ m/s}^2\right) = 6,5\times10^3 \text{ N}\ ;\ F_2 = 0 \text{ N}$

$$F_3 = ma_3 = \left(2100 \text{ kg}\right)\left(5,6 \text{ m/s}^2\right) = 1,2\times10^4 \text{ N}$$

La forza nel terzo tratto ha verso opposto rispetto alla forza nel primo tratto.
- Il grafico forza-tempo: da 0 s a 8 s è un segmento di retta parallelo all'asse x passante per $F = F_1$; da 8 s a 18 s è un segmento di retta coincidente con l'asse t, cioè corrispondente a $F = F_1 = 0$ N; da 18 s a 24 s è un segmento di retta parallelo all'asse x passante per $F = F_3$.

85
- $50,0 \text{ km/h} = \frac{50,0}{3,6} \text{ m/s} = 13,9 \text{ m/s}$

Distanza percorsa durante il tempo di reazione: $s_r = v_0 t_r = \left(13,9 \text{ m/s}\right)\left(1,20 \text{ s}\right) = 16,7 \text{ m}$.

Distanza utile per arrestare l'auto frenando: $s = 80,0 \text{ m} - 16,7 \text{ m} = 63,3 \text{ m}$.

Da quando il guidatore inizia a frenare il moto dell'auto è uniformemente accelerato con accelerazione negativa:

$$v = v_0 - at \quad \Rightarrow \quad 0 = v_0 - at \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v_0}{a}$$

Sostituendo il valore di t nella legge oraria del moto, otteniamo

$$s = v_0 t - \frac{1}{2}at^2 = v_0\frac{v_0}{a} - \frac{1}{2}a\left(\frac{v_0}{a}\right)^2 = \frac{v_0^2}{a} - \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a} = \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a}$$

$$a = \frac{v_0^2}{2s} = \frac{\left(13,9 \text{ m/s}\right)^2}{2\times63,3 \text{ m}} = 1,53 \text{ m/s}^2$$

La forza frenante è pertanto $F = ma = \left(1800 \text{ kg}\right)\left(1,53 \text{ m/s}^2\right) = 2,75\times10^3 \text{ N}$.

- Il tempo di frenata è $t = \frac{v_0}{a} = \frac{13,9 \text{ m/s}}{1,53 \text{ m/s}^2} = 9,08 \text{ s}$.

Il tempo totale di arresto è $t_{tot} = t + t_r = 9,08 \text{ s} + 1,20 \text{ s} = 10,3 \text{ s}$.

86 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B

2 B

3 B

4 B

5
- $F = ks = (40\ \text{N/m})(5{,}0\times10^{-2}\ \text{m}) = 2{,}0\ \text{N}$
- $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{2{,}0\ \text{N}}{0{,}14\ \text{kg}} = 14\ \text{m/s}^2$

6
- $F_{\text{bilancia}} = F_p + F_{\text{ascensore}} \quad \Rightarrow \quad F_{\text{ascensore}} = F_{\text{bilancia}} - F_p = ma$

$$a = \frac{F_{\text{bilancia}} - F_p}{\left(\dfrac{F_p}{g}\right)} = \frac{963\ \text{N} - 836\ \text{N}}{\left(\dfrac{836\ \text{N}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}\right)} = 1{,}17\ \text{m/s}^2$$

- $$|a'| = \frac{|F'_{\text{bilancia}} - F_p|}{\left(\dfrac{F_p}{g}\right)} = \frac{|782\ \text{N} - 836\ \text{N}|}{\left(\dfrac{836\ \text{N}}{9{,}8\ \text{m/s}^2}\right)} = 0{,}633\ \text{m/s}^2$$

7 Combinando le due equazioni $F = (M+m)a_1$ e $F = Ma_2$, si ottiene

$$m = M\frac{(a_2 - a_1)}{a_1} = (900\ \text{kg})\frac{(3{,}3-2{,}4)\,\text{m/s}^2}{2{,}4\ \text{m/s}^2} = 3{,}4\times10^2\ \text{kg}$$

8
- Consideriamo la direzione verso destra come positiva:
  $F = (m_1 + m_2)a$
  $$a = \frac{F}{m_1+m_2} = \frac{25\ \text{N}}{(4{,}3+5{,}4)\,\text{kg}} = 2{,}6\ \text{m/s}^2$$
- La forza che il blocco 1 esercita sul blocco 2 è
  $F_{1\ \text{su}\ 2} = m_2 a = (5{,}4\ \text{kg})(2{,}6\ \text{m/s}^2) = 14\ \text{N}$ verso destra
- Per la terza legge della dinamica, la forza del blocco 2 sul blocco 1 è uguale in valore e opposta in verso a quella del blocco 1 sul blocco 2, cioè $F_{2\ \text{su}\ 1} = 14\ \text{N}$ verso sinistra.

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1
- La forza minima necessaria è uguale alla forza di attrito statico massima:

  $$F = F_{\text{s}}^{\max} = \mu_{\text{s}} mg = 0{,}52\times(85\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 430\,\text{N}$$

- La forza necessaria è uguale alla forza di attrito dinamico:

  $$F = F_{\text{d}} = \mu_{\text{d}} mg = 0{,}42\times(85\,\text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 350\,\text{N}$$

2 La forza necessaria è pari alla forza di attrito:

$$F = F_a = \left(1{,}6\,\mathrm{N\cdot s^2/m^2}\right)\left(\frac{80\ \mathrm{km/h}}{3{,}6\,\dfrac{\mathrm{km/h}}{\mathrm{m/s}}}\right)^2 = 790\,\mathrm{N}$$

3 La velocità della moto di Jacopo rispetto all'auto di Mohena è 110 km/h + 120 km/h = 230 km/h.

Rispetto alla moto di Jacopo il camion è più lento di 35 km/h. Rispetto all'auto di Mohena, il camion si muove alla velocità di 230 km/h − 35 km/h = 195 km/h.

4 La forza esercitata dal motore dell'auto è $F = ma = (950\,\mathrm{kg})(12\,\mathrm{m/s^2}) = 11{,}4\times10^3\ \mathrm{N}$.

L'accelerazione all'uscita dai box è $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{11{,}4\times10^3\ \mathrm{N}}{950\,\mathrm{kg} - 140\,\mathrm{kg}} = 14{,}1\,\mathrm{m/s^2}$.

5 Il rimorchio si muove con la stessa accelerazione del camion e la forza esercitata dal gancio di traino corrisponde alla forza risultante:

$$F = ma = (6000\,\mathrm{kg})(1{,}5\ \mathrm{m/s^2}) = 9000\,\mathrm{N}$$

6 L'accelerazione è data da $a = \dfrac{v_f^2 - v_i^2}{2s} = \dfrac{(5{,}2\ \mathrm{m/s})^2 - 0^2}{2(0{,}85\ \mathrm{m})} = 16\,\mathrm{m/s^2}$.

La forza sul corpo è $F = ma = (5{,}0\ \mathrm{kg})(16\,\mathrm{m/s^2}) = 80\,\mathrm{N}$.

7 Associamo il sistema di riferimento S_2 al mare e il sistema S_1 alla nave. $\vec{v}$ è la velocità di S_1 (nave) rispetto a S_2 (mare), $\vec{v_1}$ è la velocità della palla rispetto a S_1 (nave), e $\vec{v_2}$ è la velocità della palla rispetto a S_2 (mare).

- Quando la palla è ferma sul bordo del canestro, la sua velocità v rispetto alla nave è nulla. La velocità v_2 della palla rispetto al mare è dunque uguale a v, ed è quindi orizzontale e di modulo 27 km/h = 7,5 m/s.

- Un attimo prima di toccare il pavimento, la palla procede verso il basso con una velocità di modulo

  $$v_1 = gt = (9{,}8\ \mathrm{m/s^2})(0{,}79\ \mathrm{s}) = 7{,}7\ \mathrm{m/s}$$

  Si ha $\vec{v}_2 = \vec{v} + \vec{v}_1$ con $\vec{v}_1$ non nulla e perpendicolare a $\vec{v}$.

  Possiamo quindi trovare il modulo di $\vec{v}_2$ con il teorema di Pitagora applicato ai valori di $\vec{v}_1$ e $\vec{v}$:

  $$v_2 = \sqrt{v^2 + v_1^2} = \sqrt{(7{,}5\ \mathrm{m/s})^2 + (7{,}7\ \mathrm{m/s})^2} = 11\ \mathrm{m/s}$$

8 La forza risultante lungo l'asse orizzontale è 18 N – 9 N = 9 N.

Con il teorema di Pitagora, sommiamo la risultante delle forze sull'asse orizzontale con la terza forza perpendicolare alle prime due: $F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(9\,\mathrm{N})^2 + (12\,\mathrm{N})^2} = 15\,\mathrm{N}$.

Il modulo dell'accelerazione è $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{15\,\mathrm{N}}{10\,\mathrm{kg}} = 1{,}5\ \mathrm{m/s^2}$.

9 Il corpo è sottoposto a un'accelerazione di $a=\frac{F}{m}=\frac{1,0\ \text{N}}{2,5\ \text{kg}}=0,40\ \text{m/s}^2$ e alla fine di tale accelerazione la sua velocità è

$v=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{1,0\ \text{m}}{0,20\ \text{s}}=5,0\ \text{m/s}$.

L'accelerazione c'è stata per un intervallo di tempo $\Delta t=\frac{\Delta v}{a}=\frac{5,0\ \text{m/s}}{0,40\ \text{m/s}^2}=13\ \text{s}$.

10 Calcoliamo la massa totale di moto e motociclista: 180 kg + 70 kg = 250 kg e convertiamo la velocità in metri al secondo, ottenendo 25 m/s. In assenza di vento, la forza del motore coincide con la risultante. L'accelerazione è quindi $a=\frac{F}{m}=\frac{1500\ \text{N}}{250\ \text{kg}}=6,0\ \text{m/s}^2$.

Per raggiungere i 90 km/h occorrono $\Delta t=\frac{\Delta v}{a}=\frac{25\ \text{m/s}}{6,0\ \text{m/s}^2}=4,2\ \text{s}$.

In presenza di vento, la risultante è data dalla somma vettoriale tra le forze opposte del motore e dell'attrito del vento: $F_R=1500\ \text{N}-220\ \text{N}=1280\ \text{N}$.

L'accelerazione è quindi $a=\frac{F}{m}=\frac{1280\ \text{N}}{250\ \text{kg}}=5,1\ \text{m/s}^2$.

Per raggiungere i 90 km/h occorrono $\Delta t=\frac{\Delta v}{a}=\frac{25\ \text{m/s}}{5,1\ \text{m/s}^2}=4,9\ \text{s}$.

11 Calcoliamo la forza d'attrito dinamico: $F_d=\mu_d mg=0,60\times(3,0\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg})=18\ \text{N}$.

Sotto l'azione della forza di 27 N, il blocco è sottoposto a una risultante di modulo 27 N – 18 N = 9,0 N

e ha un'accelerazione di $a=\frac{F}{m}=\frac{9,0\ \text{N}}{3,0\ \text{kg}}=3,0\ \text{m/s}^2$, che porta a una velocità finale $v=at=(3,0\ \text{m/s}^2)(5,0\ \text{s})=15\ \text{m/s}$.

Cessata la forza di 27 N, la risultante corrisponde alla forza di attrito. L'accelerazione ha modulo

$a=\frac{F}{m}=\frac{18\ \text{N}}{3,0\ \text{kg}}=6,0\ \text{m/s}^2$

ed è diretta in senso opposto alla velocità. Per passare da 15 m/s all'arresto occorrono $\Delta t=\frac{\Delta v}{a}=\frac{-15\ \text{m/s}}{-6,0\ \text{m/s}^2}=2,5\ \text{s}$.

12
- La pallina è sottoposta a un'accelerazione di $a=\frac{F}{m}=\frac{15\ \text{N}}{0,050\ \text{kg}}=300\ \text{m/s}^2$

  e raggiunge una velocità di $v=at=(300\ \text{m/s}^2)(0,030\ \text{s})=9,0\ \text{m/s}$.

- Per cadere da un'altezza *h* di 1,3 m la pallina impiega un tempo di $\Delta t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times1,3\ \text{m}}{9,8\ \text{m/s}^2}}=0,52\ \text{s}$

  e in tale intervallo di tempo percorre in orizzontale $x=vt=(9,0\ \text{m/s})(0,52\ \text{s})=4,7\ \text{m}$.

13 $F_V=F+F_P=ma+mg=m(a+g)=(70\ \text{kg})(0,8\ \text{m/s}^2+9,8\ \text{m/s}^2)=7,4\times10^2\ \text{N}$.

14 La spinta del motore è $F = ma = (8,8\times10^4\ \text{kg})(1,8\ \text{m/s}^2) = 1,6\times10^5\ \text{N}$.

Quando il motore deve mettere in moto l'intero treno, la massa complessiva è

$8,8\times10^4\ \text{kg} + 4\times(2,3\times10^4\ \text{kg}) = 1,8\times10^5\ \text{kg}$

Quindi, l'accelerazione diventa $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{1,6\times10^5\ \text{N}}{1,8\times10^5\ \text{kg}} = 0,89\ \text{m/s}^2$.

La forza del gancio sull'ultimo vagone corrisponde alla forza risultante su di esso e vale
$F = F_R = (2,3\times10^4\ \text{kg})(0,89\ \text{m/s}^2) = 2,0\times10^4\ \text{N} = 20\,\text{kN}$

15 Per accelerare l'aereo all'accelerazione data occorre una spinta $F = ma = (1,4\times10^4\ \text{kg})(32\ \text{m/s}^2) = 4,5\times10^5\ \text{N}$.

La catapulta della nave deve fornire una spinta $F_{\text{cat}} = 4,5\times10^5\ \text{N} - 8,0\times10^4\ \text{N} = 3,7\times10^5\ \text{N}$.

Per il terzo principio della dinamica, la nave riceve una spinta identica in senso contrario e subisce un'accelerazione
$a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{3,7\times10^5\ \text{N}}{2,9\times10^7\ \text{kg}} = 0,013\ \text{m/s}^2$.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 10

Le forze e il movimento

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. La caduta lungo un piano inclinato

pag. 318

I due blocchi partono assieme dalla cima del piano inclinato e arrivano assieme, perché la loro accelerazione, in assenza di attrito, non dipende dalla massa.

2. La forza centripeta

pag. 319

La forza centripeta che mantiene in traiettoria un'automobile lungo una curva è la forza di attrito statico, che in totale agisce sulle quattro gomme in direzione trasversale. Con l'asfalto bagnato l'automobile esce più facilmente di strada perché la forza di attrito statico ha un valore massimo ridotto rispetto a quando l'asfalto è asciutto.

pag. 319

Perché la forza di attrito, che agisce da forza centripeta per il moto circolare dell'auto in curva, diminuisce se l'asfalto è bagnato e può non essere più sufficiente a mantenere l'auto sulla traiettoria circolare.

3. La gravitazione universale

pag. 321

Per il terzo principio della dinamica, la forza con cui la Terra attrae la Luna è in modulo uguale alla forza con la Luna attrae la Terra.

pag. 323

I due satelliti hanno la stessa velocità, perché la formula della velocità non contiene la massa del satellite.

4. La forza elastica e il moto armonico

pag. 324

Rispetto all'autobus il ragazzo accelera nella direzione dell'autobus ma in verso opposto; rispetto alla strada nella direzione e nel verso dell'autobus.

pag. 326

Se la costante elastica diventa 4 volte minore, il periodo della molla raddoppia.

TEST

1 D
2 A
3 C
4 B
5 C
6 C
7 A
8 B
9 C

ESERCIZI

1. La caduta lungo un piano inclinato

1 L'accelerazione lungo un piano inclinato è $a = g\frac{h}{l}$. Dal momento che $h < l$ (h e l sono, rispettivamente, cateto e ipotenusa di un triangolo rettangolo), allora $a < g$.

2
- No, perché il moto di caduta è uniformemente accelerato.
- A distanze direttamente proporzionali al quadrato del tempo, per esempio il secondo a 1 dm dal primo, il terzo a 4 dm dal primo e così via.

3 $F_{\parallel} = mg\frac{h}{l} = (23,4\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)\left(\frac{0,80\text{ m}}{2,3\text{ m}}\right) = 80\text{ N}$

4 $a_l = g\frac{h}{l} = (9,8\text{ m/s}^2)\frac{18\text{ m}}{80\text{ m}} = 2,2\text{ m/s}^2$

5 PROBLEMA SVOLTO

6 $l = \frac{gh}{a} = \frac{(9,8\text{ m/s}^2)(0,90\text{ m})}{2,1\text{ m/s}^2} = 4,2\text{ m}$

7 $h = l\frac{a}{g} = (16\text{ m})\frac{1,1\text{ m/s}^2}{9,8\text{ m/s}^2} = 1,8\text{ m}$

8 $g_{\text{Luna}} = 1,6\text{ m/s}^2$

$g_{\text{Luna}} = g\frac{h}{l} \Rightarrow \frac{h}{l} = \frac{g_{\text{Luna}}}{g} = \frac{1,6\text{ m/s}^2}{9,8\text{ m/s}^2} = 0,16$

9 Il cavo deve bilanciare il vettore componente della forza-peso parallelo al piano, quindi

$$F = F_{\parallel} = mg\frac{h}{l} = (9,0\times10^3\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)\frac{2,5\text{ m}}{10,0\text{ m}} = 2,2\times10^4\text{ N}$$

10

- La forza che bisogna applicare sulla prima scatola è

$$F = F_{P\parallel} = mg\frac{h}{l} = (19\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)\frac{2{,}1\ \text{m}}{4{,}2\ \text{m}} = 93\ \text{N}$$

- La forza che bisogna applicare alla seconda scatola è

$$F = F_P = mg = (19\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 1{,}9\times 10^2\ \text{N}$$

11

- Il valore più attendibile della lunghezza è

$$\bar{l} = \bar{h}\frac{\bar{g}}{\bar{a}} = (1{,}87\ \text{m})\frac{9{,}80\ \text{m/s}^2}{2{,}90\ \text{m/s}^2} = 6{,}32\ \text{m}$$

- L'incertezza relativa sulla lunghezza vale

$$e_r = \frac{\Delta h}{\bar{h}} + \frac{\Delta a}{\bar{a}} + \frac{\Delta g}{\bar{g}} = \frac{0{,}02\ \text{m}}{1{,}87\ \text{m}} + \frac{0{,}05\ \text{m/s}^2}{2{,}90\ \text{m/s}^2} + \frac{0{,}01\ \text{m/s}^2}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 0{,}03$$

- Quindi l'incertezza sulla lunghezza risulta

$$\Delta l = e_r\bar{l} = 0{,}03\times(6{,}32\ \text{m}) = 0{,}2$$

di conseguenza il risultato ottenuto si può scrivere come $l = (6{,}3 \pm 0{,}2)$ m .

12

- La componente parallela è

$$F_{P\parallel} = mg\frac{h}{l} = (51\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg})\frac{3{,}2\ \text{m}}{16\ \text{m}} = 1{,}0\times 10^2\ \text{N}$$

- La forza-peso del fusto risulta

$$F_P = mg = (51\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 5{,}0\times 10^2\ \text{N}$$

quindi la sua componente perpendicolare alla rampa si trova come

$$F_{P\perp} = \sqrt{F_P^2 - F_{P\parallel}^2} = \sqrt{(5{,}0)^2 - (1{,}0)^2}\times 10^2\ \text{N} = 4{,}9\times 10^2\ \text{N}$$

13

$$a = \frac{v_f - v_i}{t} = \frac{(10\ \text{m/s})}{(6{,}0\ \text{s})} = 1{,}67\ \text{m/s}^2 \simeq 1{,}7\ \text{m/s}^2$$

$$a = g\frac{h}{l} \Rightarrow h = \frac{al}{g} = \frac{(1{,}67\ \text{m/s}^2)(392\ \text{m})}{(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 67\ \text{m}$$

14

- $h = l\dfrac{a}{g} = (7{,}4\ \text{m})\dfrac{2{,}4\ \text{m/s}^2}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 1{,}8\ \text{m}$
- $t = \sqrt{\dfrac{2l}{a}} = \sqrt{\dfrac{2\times 7{,}4\ \text{m}}{2{,}4\ \text{m/s}^2}} = 2{,}5\ \text{s}$

15 PROBLEMA MODELLO pag. 333

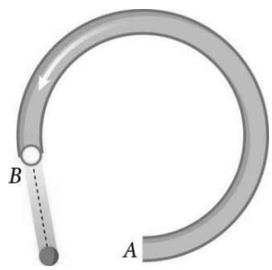
16 $$a = \frac{F_{tot}}{m} = \frac{mg\sin\alpha - \mu_d mg\cos\alpha}{m} = g\left(\sin\alpha - \mu_d\cos\alpha\right) =$$
$$= \left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(\sin 15° - 0{,}12 \times \cos 15°\right) = 1{,}4\ \text{m/s}^2$$
$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2\left(0{,}80\ \text{m}\right)}{1{,}4\ \text{m/s}^2}} = 1{,}1\ \text{s}$$
$$v = at = \left(1{,}4\ \text{m/s}^2\right)\left(1{,}1\ \text{s}\right) = 1{,}5\ \text{m/s}$$

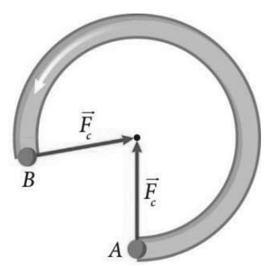
17 $$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v^2}{2s} = \frac{\left(3{,}8\ \text{m/s}\right)^2}{2\left(5{,}2\ \text{m}\right)} = 1{,}4\ \text{m/s}^2$$
$$a = g\frac{h}{l} \Rightarrow h = l\frac{a}{g} = \left(5{,}2\ \text{m}\right)\frac{1{,}4\ \text{m/s}^2}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}74\ \text{m}$$
$$F_{\parallel} = ma = \left(30\ \text{kg}\right)\left(1{,}4\ \text{m/s}^2\right) = 42\ \text{N}$$

18
- $$a = \frac{2l}{t^2} = \frac{2 \times 2{,}6\ \text{m}}{\left(1{,}3\ \text{s}\right)^2} = 3{,}1\ \text{m/s}^2$$
- L'altezza del piano inclinato risulta, quindi
$$h = \frac{al}{g} = \frac{\left(3{,}1\ \text{m/s}^2\right)\left(2{,}6\ \text{m}\right)}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}82\ \text{m}$$
- $$v = at = \left(3{,}1\ \text{m/s}^2\right)\left(1{,}3\ \text{s}\right) = 4{,}0\ \text{m/s}$$

2. La forza centripeta

19
- All'uscita in B la pallina mantiene velocità costante in direzione e valore.



- 

20 Tutti i punti dell'impasto, eccetto il centro di rotazione, tendono a muoversi verso l'esterno in linea retta per il primo principio d'inerzia. La coesione dell'impasto fa sì che l'insieme rimanga compatto, con un addensamento ai bordi.

21 La velocità di un oggetto sulla superficie terrestre è

$$v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi\left(6{,}371\times10^{6}\ \mathrm{m}\right)}{86400\ \mathrm{s}}=4{,}631\times10^{2}\ \mathrm{m/s}$$

Quindi

$$F_c=\frac{mv^2}{r}=\frac{(50\ \mathrm{kg})\left(4{,}631\times10^{2}\ \mathrm{m/s}\right)^2}{(6{,}371\times10^{6}\ \mathrm{m})}=1{,}7\ \mathrm{N}$$

$$F_P=mg=(50\ \mathrm{kg})\left(9{,}8\ \mathrm{m/s^2}\right)=4{,}9\times10^{2}\ \mathrm{N}$$

$$\frac{F_c}{F_P}=\frac{1{,}7\ \mathrm{N}}{4{,}9\times10^{2}\ \mathrm{N}}=3{,}5\times10^{-3}$$

22 $$F_c=m\frac{4\pi^2r}{T^2}=(0{,}105\ \mathrm{kg})\frac{4\pi^2(0{,}80\ \mathrm{m})}{(11\ \mathrm{s})^2}=2{,}7\times10^{-2}\ \mathrm{N}$$

23 $$F_c=m\frac{v^2}{r}=\left(6{,}0\times10^{4}\ \mathrm{kg}\right)\frac{(64\ \mathrm{m/s})^2}{120\ \mathrm{m}}=2{,}0\times10^{6}\ \mathrm{N}$$

24 Da $F_c=m\omega^2r$ otteniamo

$$m=\frac{F_c}{\omega^2r}=\frac{3{,}50\ \mathrm{N}}{(24{,}7\ \mathrm{rad/s})^2\left(6{,}11\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)}=9{,}39\times10^{-2}\ \mathrm{kg}$$

25 $$\omega=\sqrt{\frac{F_c}{mr}}=\sqrt{\frac{27\ \mathrm{N}}{(32\ \mathrm{kg})(0{,}84\ \mathrm{m})}}=1{,}0\ \mathrm{rad/s}$$

26 $$a_c=\frac{4\pi^2r}{T^2}=\frac{4\pi^2\left(1{,}50\times10^{11}\ \mathrm{m}\right)}{(365{,}26\ \mathrm{d})^2(86400\ \mathrm{s/d})^2}=5{,}94\times10^{-3}\ \mathrm{m/s^2}$$

27 $$T=m\omega^2r\ \Rightarrow\ m_{\max}=\frac{T_{\max}}{\omega^2r}=\frac{50\ \mathrm{N}}{(15\ \mathrm{rad/s})^2(0{,}64\ \mathrm{m})}=0{,}35\ \mathrm{kg}$$

28
- $$F_s=\mu_sF_P=0{,}65\times(1100\ \mathrm{kg})\left(9{,}8\ \mathrm{m/s^2}\right)=7{,}0\times10^{3}\ \mathrm{N}$$
  $$v_{\max}=\sqrt{\frac{rF_s^{\max}}{m}}=\sqrt{\frac{(18\ \mathrm{m})(7{,}0\ \mathrm{N})}{1100\ \mathrm{kg}}}=11\ \mathrm{m/s}$$
- $43\ \mathrm{km/h}=\frac{43}{3{,}6}\ \mathrm{m/s}=12\ \mathrm{m/s}>v_{\max}$, quindi l'auto esce di strada.

29 $$r_{\min}=\frac{mv_{\max}{}^2}{F_s^{\max}}=\frac{mv_{\max}{}^2}{\mu_smg}=\frac{v_{\max}{}^2}{\mu_s}=\frac{(50/3{,}6\ \mathrm{m/s})^2}{0{,}85\left(9{,}8\ \mathrm{m/s^2}\right)}=23\ \mathrm{m}$$

30
- La massima forza centripeta ammissibile è
  $$F_c=m\omega^2r=4\pi^2mf^2r=4\pi^2\left(5{,}7\times10^{-2}\ \mathrm{kg}\right)(1{,}1\ \mathrm{Hz})^2(0{,}19\ \mathrm{m})=0{,}52\ \mathrm{N}$$
- Il corrispondente coefficiente di attrito statico risulta
  $$\mu_s=\frac{F_c}{mg}=\frac{0{,}52\ \mathrm{N}}{\left(5{,}7\times10^{-2}\ \mathrm{kg}\right)\left(9{,}8\ \mathrm{m/s^2}\right)}=0{,}93$$

31 $a_c = g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \quad \Rightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{3,0\times10^3\ \text{m}}{9,8\ \text{m/s}^2}} = 1,1\times10^2\ \text{s}$

32
- $a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(1,7\ \text{m/s})^2}{1,3\ \text{m}} = 2,2\ \text{m/s}^2$
- Dalla forza centripeta ricaviamo la massa dell'oggetto:

$$F_c = m\frac{v^2}{r} \quad \Rightarrow \quad m = \frac{F_c}{a_c} = \frac{4,4\ \text{N}}{2,2\ \text{m/s}^2} = 2,0\ \text{kg}$$

33 La forza applicata dal disco sul tappo ha due componenti. La componente verticale è diretta verso l'alto e ha modulo pari a $F_y = mg = 4,9\times10^{-2}\ \text{N}$.

La componente orizzontale è uguale alla forza centripeta:

$F_c = F_x = m\omega^2 r = 1,6\times10^{-3}\ \text{N}$

34 $F_s^{\max} \geq ma_1 \quad \Rightarrow \quad \mu_s mg \geq m\omega^2 r_1 \quad \Rightarrow \quad \mu_s \geq \frac{\omega^2 r_1}{g} \quad \Rightarrow \quad \mu_{s\min} = \frac{(4,0\ \text{rad/s})^2 (0,20\ \text{m})}{9,8\ \text{m/s}^2} = 0,33$

$F_s^{\max} < ma_2 \quad \Rightarrow \quad \mu_s mg < m\omega^2 r_2 \quad \Rightarrow \quad \mu_s < \frac{\omega^2 r_2}{g} \quad \Rightarrow \quad \mu_{s\max} = \frac{(4,0\ \text{rad/s})^2 (0,30\ \text{m})}{9,8\ \text{m/s}^2} = 0,49$

3. La gravitazione universale

35 No, è scorretto perché la forza è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, quindi nella proporzionalità quadratica inversa al raddoppiare della distanza la forza diventa $1/4$ e così via.

36 L'orbita dei pianeti, cioè la loro traiettoria nello spazio, è un'ellisse, non una circonferenza; tuttavia può essere approssimata a una circonferenza. Pertanto la forza di attrazione gravitazionale del Sole può essere approssimata a una forza centripeta.

37 No, solamente quando l'oggetto di massa *m* si trova sulla superficie del corpo celeste o vicino a essa.

38 $F = G\frac{M_T m_L}{r^2} = \left(6,67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\frac{(5,972\times10^{24}\text{kg})(7,35\times10^{22}\ \text{kg})}{(3,84\times10^8\text{m})^2} = 1,99\times10^{20}\ \text{N}$

39 Invertendo la formula della forza di gravitazione universale, otteniamo $m = \frac{Fr^2}{GM_\text{T}}$.

La distanza *r* del satellite dal centro della Terra si ottiene sommando il raggio terrestre alla distanza del satellite dalla superficie terrestre:

$r = 500\ \text{km} + 6371\ \text{km} = 6871\ \text{km} = 6,871\times10^6\ \text{m}$

Quindi

$$m = \frac{(3,5\times10^5\ \text{N})(6,871\times10^6\ \text{m})^2}{\left(6,67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)(5,972\times10^{24}\ \text{kg})} = 4,1\times10^4\ \text{kg}$$

40 $F = G\frac{M_\text{G} m_\text{E}}{r^2} \quad \Rightarrow$

$$r = \sqrt{G\frac{M_\text{G} m_\text{E}}{F}} = \sqrt{\left(6,67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\frac{(480,0\times10^{20}\ \text{kg})(1,898\times10^{27}\ \text{kg})}{1,35\times10^{22}\ \text{N}}} = 6,71\times10^8\ \text{m}$$

41 $F = G\dfrac{mM_G}{r^2} \quad \Rightarrow$

$$m = \frac{Fr^2}{GM_G} = \frac{\left(1{,}64\times10^{22}\ \text{N}\right)\left(1{,}07\times10^{9}\ \text{m}\right)^2}{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(1{,}90\times10^{27}\ \text{kg}\right)} = 1{,}48\times10^{23}\ \text{kg}$$

42 La forza di attrazione gravitazionale Terra-Luna è

$$F = G\frac{m_L M_T}{r^2} = \left(6{,}67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\frac{\left(7{,}35\times10^{22}\ \text{kg}\right)\left(5{,}972\times10^{24}\,\text{kg}\right)}{\left(3{,}84\times10^{8}\ \text{m}\right)^2} = 1{,}99\times10^{20}\ \text{N}$$

Quindi, la forza di attrazione tra le Terra e l'asteroide è

$$F_{\text{T-ast}} = \frac{1}{2000}F = \frac{1{,}99\times10^{20}\ \text{N}}{2000} = 9{,}95\times10^{16}\ \text{N}$$

Tale forza agisce a una distanza dal centro della Terra pari a

$$r = \sqrt{\frac{GmM_T}{F_{\text{T-ast}}}} = \sqrt{\frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(1{,}36\times10^{16}\ \text{kg}\right)\left(5{,}972\times10^{24}\ \text{kg}\right)}{9{,}95\times10^{16}\ \text{N}}} = 7{,}378\times10^{6}\ \text{m}$$

Quindi

$h = r - R_T = 7{,}378\times10^{6}\ \text{m} - 6{,}371\times10^{6}\ \text{m} \simeq 1{,}01\times10^{6}\ \text{m}$

43
- $F_{ss} = G\dfrac{mm}{r_s^2} = \left(6{,}674\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\dfrac{(110\ \text{kg})^2}{(5{,}18\ \text{m})^2} = 3{,}01\times10^{-8}\ \text{N}$
- $F_{sT} = G\dfrac{mM_T}{R_T^2} = \left(6{,}674\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\dfrac{\left(110\ \text{kg}\right)\left(5{,}97\times10^{24}\ \text{kg}\right)}{\left(6{,}37\times10^{6}\text{m}\right)^2} = 1{,}08\times10^{3}\ \text{N}$
- $\dfrac{F_{ss}}{F_{sT}} = \dfrac{3{,}01\times10^{-8}\ \text{N}}{1{,}08\times10^{3}\ \text{N}} = 2{,}79\times10^{-11}$

44 Impostando l'uguaglianza tra le due forze gravitazionali:

$$G\frac{M_{\text{Osiris}}m_{\text{navicella}}}{r^2} = G\frac{M_{\text{Perseo}\,8}m_{\text{navicella}}}{\left(\dfrac{1}{3}r\right)^2}$$

da cui si ricava $M_{\text{Osiris}} = 9M_{\text{Perseo}\,8}$.

45 $v = \sqrt{\dfrac{GM_M}{r}} = \sqrt{\dfrac{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2\right)\left(6{,}42\times10^{23}\ \text{kg}\right)}{7{,}18\times10^{6}\ \text{m}}} = 2{,}44\times10^{3}\ \text{m/s}$

46
- $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R}} = \sqrt{\dfrac{(6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)(5{,}97\times10^{24}\ \text{kg})}{(50\times10^{6}\ \text{m})}} = 2{,}8\times10^{3}\ \text{m/s}$
- La velocità sarebbe la stessa, perché la velocità orbitale non dipende dalla massa del satellite.

47 $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R}} \quad \Rightarrow \quad M = v^2\dfrac{R}{G} = (1{,}6\times10^{3}\ \text{m/s})^2\,\dfrac{(1{,}741\times10^{6}\ \text{m})}{(6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)} = 6{,}7\times10^{22}\ \text{kg}$

48 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 336.

49 ▪ $F_p = mg \;\Rightarrow\; g = \dfrac{F_p}{m} = \dfrac{727\ \text{N}}{82{,}0\ \text{kg}} = 8{,}87\ \text{m/s}^2$

▪ $g = \dfrac{GM}{r^2} \;\Rightarrow\; M = \dfrac{gr^2}{G} = \dfrac{\left(8{,}87\ \text{m/s}^2\right)\left(6{,}05\times10^6\ \text{m}\right)^2}{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)} = 4{,}87\times10^{24}\ \text{kg}$

50 Poiché $\dfrac{F}{m} = g_\text{N} = \dfrac{GM_\text{N}}{r^2}$, si ha:

$$M_\text{N} = \frac{g_\text{N}r^2}{G} = \frac{(1{,}14g)r^2}{G} = \frac{1{,}14\left(9{,}81\ \text{m/s}^2\right)\left(\dfrac{49{,}5\times10^6\ \text{m}}{2}\right)^2}{6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}} = 1{,}03\times10^{26}\ \text{kg}$$

51 ▪ L'accelerazione di gravità di Mercurio è

$$g_\text{Mercurio} = \frac{GM}{R^2} = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(\dfrac{5{,}97\times10^{24}\ \text{kg}}{18}\right)}{\left(\dfrac{6{,}37\times10^6\ \text{m}}{2{,}6}\right)^2} = 3{,}7\ \text{m/s}^2$$

▪ Dividendo per l'accelerazione di gravità terrestre, si ottiene la percentuale richiesta.

$$\frac{g_\text{Mercurio}}{g_\text{Terra}} = \frac{3{,}7\ \text{m/s}^2}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}38 = 38\%$$

52 PROBLEMA MODELLO pag. 336

53 ▪ La forza centripeta è la forza di attrazione gravitazionale Terra-satellite:

$$F = G\frac{M_\text{T}m_\text{s}}{r^2} \;\Rightarrow\; m_\text{s} = \frac{r^2F}{GM_\text{T}} = \frac{\left(23{,}6\times10^6\ \text{m} + 6{,}371\times10^6\ \text{m}\right)^2(333\ \text{N})}{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(5{,}972\times10^{24}\ \text{kg}\right)} = 751\ \text{kg}$$

▪ $$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_\text{T}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\left(23{,}6\times10^6\ \text{m} + 6{,}371\times10^6\ \text{m}\right)^3}{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(5{,}972\times10^{24}\ \text{kg}\right)}} = 5{,}17\times10^4\ \text{s}$$

54 ▪ La velocità richiesta è $v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi\left(6{,}195\times10^7\ \text{m}\right)}{3{,}704\times10^4\ \text{s}} = 1{,}051\times10^4\ \text{m/s}$.

▪ Quindi la massa di Nettuno risulta $M = \dfrac{v^2r}{G} = \dfrac{\left(1{,}051\times10^4\ \text{m/s}\right)^2\left(6{,}195\times10^7\ \text{m}\right)}{6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2} = 1{,}03\times10^{26}\ \text{kg}$.

55 Il raggio dell'orbita del satellite è

$$r = \frac{GM_T}{v^2} = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2\right)\left(5{,}97\times10^{24}\ \text{kg}\right)}{\left(3{,}06\times10^3\ \text{m/s}\right)^2} = 4{,}27\times10^7\ \text{m}$$

L'altezza rispetto alla superfice terrestre è

$$h = r - R_T = 4{,}27\times10^7\ \text{m} - 6{,}37\times10^6\ \text{m} = 3{,}63\times10^7\ \text{m}$$

4. La forza elastica e il moto armonico

56 Nella parte centrale dev'essere massima, mentre deve diminuire fino ad annullarsi alle pareti. Inoltre deve aumentare quando si avvicina al centro della stanza e diminuire quando lo si è oltrepassato.

57 Dal grafico si vede che l'ampiezza è 1,5 m (l'ordinata del punto più alto), i massimi dell'ampiezza si distanziano di 2,0 s (il periodo) e quindi la frequenza è

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}0\ \text{s}} = 0{,}50\ \text{Hz}.$$

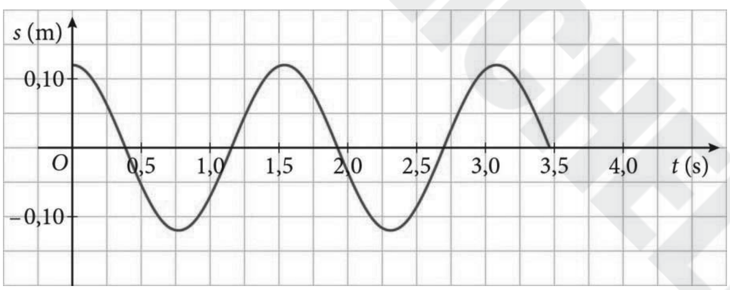
58
- Il periodo del moto è $T = \frac{\Delta t}{n} = \frac{22\ \text{s}}{6} = 3{,}7\ \text{s}$.
- Quindi la sua frequenza risulta $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3{,}7\ \text{s}} = 0{,}27\ \text{Hz}$.

59
- Il tempo impiegato a percorrere il tragitto dal punto più alto al punto più basso è metà del periodo, per cui periodo e frequenza sono rispettivamente

$$T = 2 \times 0{,}770\ \text{s} = 1{,}54\ \text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \times 0{,}770\ \text{s}} = 0{,}649\ \text{Hz}$$

- L'ampiezza dell'oscillazione è 12 cm; il grafico è rappresentato nella figura seguente:



60 $$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{512\ \text{Hz}} = 1{,}95 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$$N = \frac{t}{T} = \frac{300\text{s}}{1{,}95 \times 10^{-3}\text{s}} = 1{,}54 \times 10^{5}$$

61 L'accelerazione è $a = \frac{F}{m} = \frac{ks}{m} = \frac{(3{,}1\ \text{N/m})(4{,}6 \times 10^{-2}\ \text{m})}{7{,}5 \times 10^{-2}\ \text{kg}} = 1{,}9\ \text{m/s}^2$.

62 La forza che imprime l'accelerazione al cubo è la forza elastica della molla, per cui si ha

$$F = ma = ks \Rightarrow k = \frac{ma}{s} = \frac{(9{,}8 \times 10^{-2}\ \text{kg})(1{,}7\ \text{m/s}^2)}{6{,}6 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 2{,}5\ \text{N/m}$$

63 Il tempo che la sfera impiega a tornare indietro è la metà del periodo di oscillazione, per cui impiega lo stesso tempo a tornare, indipendentemente da quanto la molla è stata allungata.

64 $$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}150\ \text{kg}}{40\ \text{N/m}}} = 0{,}38\ \text{s}$$

65 PROBLEMA SVOLTO

66 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow k = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 m = \left(\frac{2\pi}{2,3\text{ s}}\right)^2 (55\text{ kg}) = 4,1\times10^2\text{ N/m}$

67 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 338.

68 Nella posizione di equilibrio si ha $F = mg = ks \Rightarrow \frac{m}{k} = \frac{s}{g}$.

Il periodo di oscillazione è quindi $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{s}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{5,2\times10^{-2}\text{ m}}{9,81\text{ m/s}^2}} = 0,46\text{ s}$.

69 Il rapporto tra i periodi delle due sferette è $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} = \sqrt{\frac{m_1}{1,2m_1}} = \sqrt{\frac{1}{1,2}} = 0,91$.

Quindi $T_2 = \frac{T_1}{0,91} = \frac{0,30\text{ s}}{0,91} = 0,33\text{ s}$.

70
- La costante elastica risulta $k = 4\pi^2\frac{m}{T^2} = 4\pi^2\frac{0,37\text{ kg}}{(0,44\text{ s})^2} = 75\text{ N/m}$.
- La forza richiesta è $F = ks = (75\text{ N/m})(0,056\text{ m}) = 4,2\text{ N}$.

5. Il moto armonico di un pendolo

71 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,30\text{ m}}{9,8\text{ m/s}^2}} = 1,1\text{ s}$

$f = \frac{1}{T} = 0,91\text{ Hz}$

72 $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} = 0,80\text{ m}$

73 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,75\text{ m}}{9,8\text{ m/s}^2}} = 1,7\text{ s}$

74 Il tempo richiesto per 5 oscillazioni del pendolo di Foucault è

$\Delta t = 5T = 5\times2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 10\pi\sqrt{\frac{67\text{ m}}{9,8\text{ m/s}^2}} = 82\text{ s}$

75 Il pendolo dovrebbe avere la lunghezza $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} = \frac{(60\text{ s})^2(9,8\text{ m/s}^2)}{4\pi^2} = 8,9\times10^2\text{ m}$.

76 La legge del periodo del pendolo per piccole oscillazioni è $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,36\text{ m}}{9,8\text{ m/s}^2}}$=1,2 s .

Uguagliamo il periodo trovato a quello della molla per trovare la massa:

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow m = k\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = (23\text{ N/m})\left(\frac{1,2\text{ s}}{2\pi}\right)^2 = 0,84\text{ kg}$

77 $T = \frac{10\text{ s}}{8} = 1,25\text{ s}$

$g = 4\pi^2\frac{l}{T^2} = 4\pi^2\frac{0,45\text{ m}}{(1,25\text{ s})^2} = 11\text{ m/s}^2$

78 Il periodo del pendolo è $T = \dfrac{220}{35}$ s.

Dalla legge del pendolo si ricava $g_{\text{Luna}} = 4\pi^2 \dfrac{l}{T^2} = 4\pi^2 \dfrac{1{,}60\ \text{m}}{\left(\dfrac{220}{35}\ \text{s}\right)^2} = 1{,}6\ \text{m/s}^2$.

79 $g = \dfrac{4\pi^2 l}{T^2} = \dfrac{4\pi^2 (0{,}32\ \text{m})}{\left(\dfrac{60\ \text{s}}{24}\right)^2} = 2{,}0\ \text{m/s}^2$

80
- L'accelerazione di gravità su Marte vale $g_{\text{Marte}} = 4\pi^2 \dfrac{l}{T^2} = 4\pi^2 \dfrac{0{,}96\ \text{m}}{(3{,}2\ \text{s})^2} = 3{,}7\ \text{m/s}^2$.
- La lunghezza richiesta è $l = \dfrac{g_{\text{Marte}} T^2}{4\pi^2} = \dfrac{(3{,}7\ \text{m/s}^2)(1{,}0\ \text{s})^2}{4\pi^2} = 0{,}094\ \text{m}$.

81 A

82 D

83 D

84 B

85 D

86
- $a = g\dfrac{h}{l} = (9{,}8\ \text{m/s}^2)\dfrac{0{,}20\ \text{m}}{2{,}20\ \text{m}} = 0{,}89\ \text{m/s}^2$
- $s = \dfrac{1}{2}at^2 = (0{,}45\ \text{m/s}^2)t^2$
- $s = \dfrac{1}{2}at^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\dfrac{2s}{a}} = \sqrt{\dfrac{2 \times 2{,}20\ \text{m}}{0{,}89\ \text{m/s}^2}} = 2{,}2\ \text{s}$

87
- Il moto lungo il piano inclinato è uniformemente accelerato, perché la macchinina è soggetta a una forza costante $F_{\parallel} = F_p \dfrac{h}{l}$.
  La corrispondente accelerazione è
  $a = g\dfrac{h}{l} = (9{,}8\ \text{m/s}^2)\dfrac{1{,}0\ \text{m}}{2{,}5\ \text{m}} = 3{,}9\ \text{m/s}^2$
- Il tempo necessario a percorrere la pista è
  $s = \dfrac{1}{2}at^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\dfrac{2s}{a}} = \sqrt{\dfrac{2 \times 2{,}5\ \text{m}}{3{,}92\ \text{m/s}^2}} = 1{,}1\ \text{s}$
- Poiché il moto sul pavimento è rettilineo uniforme, la velocità rimane uguale alla velocità v_f posseduta dalla macchinina alla fine della pista:
  $v_f = at = (3{,}9\ \text{m/s}^2)(1{,}1\ \text{s}) = 4{,}4\ \text{m/s}$

88 Sostituiamo l'accelerazione nelle leggi del moto uniformemente accelerato:

$$a = g\frac{h}{l}\ ;\ \begin{cases} l = \frac{1}{2}at^2 \\ v_f = at \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} l = \frac{1}{2}g\frac{h}{l}t^2 \\ v_f = g\frac{h}{l}t \end{cases}$$

Sostituiamo la velocità nella legge della posizione e calcoliamo l:

$$l = \frac{1}{2}v_f t = \frac{1}{2}(40/3{,}6\ \text{m/s})(5{,}7\ \text{s}) = 31{,}6\ \text{m} \simeq 32\ \text{m}$$

Calcoliamo l'altezza dall'equazione della velocità:

$$h = \frac{v_f l}{gt} = \frac{(40/3{,}6\ \text{m/s})(31{,}6\ \text{m})}{(9{,}8\ \text{m/s}^2)(5{,}7\ \text{s})} = 6{,}3\ \text{m}$$

89 Per percorrere la curva a velocità di modulo costante il moto deve essere circolare uniforme.

Per il secondo principio della dinamica la forza centripeta è data da $F_c = ma_c$ dove $a_c = \frac{v^2}{r}$.

Quindi nel primo caso si ha $F_c = m\frac{v^2}{r} = (71+364)\,\text{kg}\frac{(13{,}9\ \text{m/s})^2}{5\ \text{m}} = 1{,}7\times 10^4\ \text{N}$.

Nel secondo caso si ottiene: $F_c = m\frac{v^2}{r} = (71+20+364)\,\text{kg}\frac{(13{,}9\ \text{m/s})^2}{5\ \text{m}} = 1{,}8\times 10^4\ \text{N}$.

90 $$v = \sqrt{\frac{Fr}{m}} = \sqrt{\frac{(78\ \text{N})(75\ \text{m})}{81\ \text{kg}}} = 8{,}5\ \text{m/s}$$

91
- $h = \frac{1}{2}a_1 t_1^2 = \frac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}30\ \text{s})^2 = 0{,}44\ \text{m}$

  $l = \frac{1}{2}a_2 t_2^2 = \frac{1}{2}g\frac{h}{l}t_2^2 \Rightarrow l^2 = \frac{1}{2}ght_2^2 \Rightarrow l = \sqrt{\frac{1}{2}ght_2^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}44\ \text{m})(0{,}45\ \text{s})^2} = 0{,}66\ \text{m}$

- $v_1 = a_1 t_1 = (9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}30\ \text{s}) = 2{,}9\ \text{m/s}$

  $v_2 = a_2 t_2 = g\frac{h}{l}t_2 = (9{,}8\ \text{m/s}^2)\frac{0{,}44\ \text{m}}{0{,}66\ \text{m}}(0{,}45\ \text{s}) = 2{,}9\ \text{m/s}$

92
- Applicando la legge di gravitazione universale si ha

  $$F = G\frac{mM}{R^2} = (6{,}67\times 10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)\frac{(4{,}9\times 10^{24}\ \text{kg})(1{,}0\ \text{kg})}{(6{,}1\times 10^6\ \text{m})^2} = 8{,}8\ \text{N}$$

- $g_V = \frac{F}{m} = \frac{8{,}8\ \text{N}}{1{,}0\ \text{kg}} = 8{,}8\ \text{m/s}^2$

93 ▪ $$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}} = \sqrt{\frac{\left(6,67\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}\right)\left(5,976\times10^{24}\ \mathrm{kg}\right)}{6378\times10^3\ \mathrm{m} + 1000\times10^3\ \mathrm{m}}} = 7,35\times10^3\ \mathrm{m/s}$$

▪ $$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi\frac{7378\times10^3\ \mathrm{m}}{7,35\times10^3\ \mathrm{m/s}} = 6,30\times10^3\ \mathrm{s}$$

94 La forza-peso del blocco è $F_P = mg = (0,510\ \mathrm{kg})(9,8\ \mathrm{m/s^2}) = 5,0\ \mathrm{N}$; la forza totale che agisce sul blocco, invece, è rivolta verso l'alto e vale $F = ma = (0,510\ \mathrm{kg})(4,5\ \mathrm{m/s^2}) = 2,3\ \mathrm{N}$.

Quindi, la forza elastica ha modulo $F_e = F + F_P = (2,3+5,0)\mathrm{N} = 7,3\ \mathrm{N}$.

L'allungamento della molla è $s = L - L_0 = (0,381-0,305)\mathrm{m} = 0,076\ \mathrm{m}$. Così è possibile calcolare

$$k = \frac{F_e}{s} = \frac{7,3\ \mathrm{N}}{0,076\ \mathrm{m}} = 96,1\ \mathrm{N/m}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,510\ \mathrm{kg}}{96,1\ \mathrm{N/m}}} = 0,46\ \mathrm{s}$$

95 ▪ $$\frac{T_\mathrm{T}}{T_\mathrm{L}} = \sqrt{\frac{g_\mathrm{L}}{g_\mathrm{T}}} = \sqrt{\frac{1,6\ \mathrm{m/s^2}}{9,8\ \mathrm{m/s^2}}} = 0,40$$

quindi l'orologio non funzionerà correttamente.

▪ Quando il pendolo segna sulla Luna che sono trascorsi 10 minuti, in realtà sono trascorsi 4 min.

96 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 A

2 A

3 C

4 C

5 Dalla formula dell'accelerazione lungo un piano inclinato si ricava

$$l_{\mathrm{min}} = g\frac{h}{a} = 9\left(,8\ \mathrm{m/s^2}\right)\frac{1,1\ \mathrm{m}}{1,4\ \mathrm{m/s^2}} = 7,7\ \mathrm{m}$$

6 Uguagliando la forza di attrito radente tra pneumatici e asfalto e l'espressione della forza centripeta si ha

$$\mu F_p = m\frac{v^2}{r}$$

Quindi si ottiene

$$v = \sqrt{\frac{\mu F_p r}{m}} = \sqrt{\frac{\mu m g r}{m}} = \sqrt{\mu g r} = \sqrt{0,85\times\left(9,8\ \mathrm{m/s^2}\right)(34\ \mathrm{m})} = 18\ \mathrm{m/s}$$

7 ■ Il periodo del sistema massa-molla è $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,210 \text{ kg}}{8,6 \text{ N/m}}} = 0,98 \text{ s}$.

■ Allora la lunghezza del pendolo risulta $l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2)(0,98 \text{ s})^2}{4\pi^2} = 0,24 \text{ m}$.

8 Invertendo la relazione $F = G\frac{M^2}{r^2}$, si trova

$$r = M\sqrt{\frac{G}{F}} = (7,9\times10^5 \text{ kg})\sqrt{\frac{6,67\times10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2}{3,6\times10^{-8} \text{ N}}} = 3,4\times10^4 \text{ m}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 $l = g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = 9,8 \text{ m/s}^2\left(\frac{60\text{s}}{2\pi}\right)^2 = 890\text{m}$

2 Le accelerazioni per le due gocce sono:

$a_c = \omega^2 r = (2,4 \text{ rad/s})^2 (0,050 \text{ m}) = 0,29 \text{ m/s}^2$

$a_c = \omega^2 r = (2,4 \text{ rad/s})^2 (0,40 \text{ m}) = 2,3 \text{ m/s}^2$

Quindi, le forze sono:

$F_c = ma_c = (1,2\times10^{-4} \text{ kg})(0,29 \text{ m/s}^2) = 3,5\times10^{-5} \text{ N}$

$F_c = ma_c = (1,2\times10^{-4} \text{ kg})(2,3 \text{ m/s}^2) = 2,8\times10^{-4} \text{ N}$

3 La velocità di rotazione del bordo esterno della ruota, ossia del battistrada, è uguale alla velocità di avanzamento dell'auto. Dalla formula inversa della forza centripeta, otteniamo

$$v = \sqrt{\frac{F_c r}{m}} = \sqrt{\frac{(5,0 \text{ N})(0,38 \text{ m})}{0,0045 \text{ kg}}} = 21\text{m/s}$$

4 La condizione richiesta si realizzerebbe se l'accelerazione centrifuga fosse pari alla metà di quella gravitazionale, ossia avesse il valore 9,8 m/s^2: 2 = 4,9 m/s^2.

Ricaviamo la velocità angolare dalla formula dell'accelerazione centripeta:

$$\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}} = \sqrt{\frac{4,9 \text{ m/s}^2}{6,4\times10^6 \text{ m}}} = 8,8\times10^{-4} \text{ rad/s}$$

Il periodo è $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{8,8\times10^4 \text{ s}^{-1}} = 7100\text{s} \approx 2\text{h}$.

5 Usiamo $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ e calcoliamo direttamente la differenza:

$$\Delta T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_1}} - 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_2}} = 2\pi\sqrt{\frac{1,2 \text{ m}}{9,79 \text{ m/s}^2}} - 2\pi\sqrt{\frac{1,2 \text{ m}}{9,83 \text{ m/s}^2}} = 4,5\times10^{-3} \text{ s} = 4,5 \text{ ms}$$

6

- Nella situazione descritta, la distanza tra satellite e Luna è la differenza tra la distanza della Luna dalla Terra e la distanza del satellite dalla Terra: $r_L = 380000\ \text{km} - 42000\ \text{km} = 340000\ \text{km}$.

  Calcoliamo le forze gravitazionali di Terra e Luna sul satellite:

  $$F_\text{T} = G\frac{mM_T}{r_\text{T}^2} = \left(6{,}67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\frac{(3500\,\text{kg})\left(5{,}97\times10^{24}\ \text{kg}\right)}{\left(4{,}2\times10^7\ \text{m}\right)^2} = 790\,\text{N}$$

  $$F_\text{L} = G\frac{mM_L}{r_\text{L}^2} = \left(6{,}67\times10^{-11}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\frac{(3500\,\text{kg})\times\left(7{,}35\times10^{22}\ \text{kg}\right)}{\left(3{,}4\times10^8\ \text{m}\right)^2} = 0{,}15\ \text{N}$$

  Il rapporto tra le forze è quindi $\frac{F_\text{T}}{F_\text{L}} = \frac{790\,\text{N}}{0{,}15\ \text{N}} = 5300$.

- La forza di gravità può essere ricavata dal prodotto della massa di un oggetto per l'accelerazione di gravità presente nel punto dello spazio dove si trova l'oggetto; possiamo quindi riscrivere il rapporto come

  $$\frac{F_\text{T}}{F_\text{L}} = \frac{790\text{N}}{0{,}15\text{N}} = \frac{(3500\ \text{kg})\left(0{,}23\ \text{m/s}^2\right)}{(3500\ \text{kg})\left(0{,}000043\ \text{m/s}^2\right)} = \frac{0{,}23\ \text{m/s}^2}{0{,}000043\ \text{m/s}^2} = 5300$$

  Per una generica massa m del satellite il rapporto diventa

  $$\frac{F_\text{T}}{F_\text{L}} = \frac{m\times0{,}23\text{m/s}^2}{m\times0{,}000043\text{m/s}^2} = \frac{0{,}23\text{m/s}^2}{0{,}000043\text{m/s}^2} = 5300$$

- Tale rapporto non varia al variare della massa.

7 Invertiamo la formula $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ e otteniamo $m = k\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = (600\,\text{N/m})\left(\frac{2{,}2\ \text{s}}{2\pi}\right)^2 = 74\,\text{kg}$.

8 Indichiamo con v_1 la velocità del satellite più veloce e con r_1 il raggio della sua orbita; v_2 e r_2 sono le corrispondenti grandezze del satellite più lento. Vale la semplice relazione $v_1 = 2v_2$:

$\sqrt{\frac{GM_\text{T}}{r_1}} = 2\sqrt{\frac{GM_\text{T}}{r_2}}$ ed elevando al quadrato $\frac{GM_\text{T}}{r_1} = 4\frac{GM_\text{T}}{r_2}$

Semplifichiamo i fattori comuni G e M_T, moltiplichiamo per r_2 e otteniamo $\frac{r_2}{r_1} = 4$.

9

$$V_1 = dV_1 = \frac{4}{3}\pi R_1^3 = \frac{4}{3}\pi\left(6\times10^5\ \text{m}\right)^3 = 9{,}0\times10^{17}\ \text{m}^3;\ V_2 = dV_2 = \frac{4}{3}\pi R_2^3 = \frac{4}{3}\pi\left(1{,}2\times10^6\ \text{m}\right)^3 = 7{,}2\times10^{18}\ \text{m}^3$$

$$M_1 = dV_1 = \left(4500\,\text{kg/m}^3\right)\left(9{,}0\times10^{17}\ \text{m}^3\right) = 4{,}1\times10^{21}\ \text{kg};\ M_2 = dV_2 = \left(4500\ \text{kg/m}^3\right)\left(7{,}2\times10^{18}\ \text{m}^3\right) = 3{,}2\times10^{22}\ \text{kg}$$

$$g_1 = \frac{GM_1}{R_1^2} = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2\right)\left(4{,}1\times10^{21}\ \text{kg}\right)}{\left(6{,}0\times10^5\text{m}\right)^2} = 0{,}76\ \text{m/s}^2$$

$$g_2 = \frac{GM_2}{R_2^2} = \frac{\left(6{,}67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2\right)\left(3{,}2\times10^{22}\ \text{kg}\right)}{\left(1{,}2\times10^6\ \text{m}\right)^2} = 1{,}5\ \text{m/s}^2$$

Osserviamo che il corpo di raggio doppio ha un'accelerazione doppia, in accordo con l'enunciato.

10 Invertiamo la formula $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ e otteniamo $k = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = (2{,}1\ \text{kg})\left(\frac{2\pi}{1{,}2\ \text{s}}\right)^2 = 58\,\text{N/m}$.

La forza massima si ha alla massima elongazione, quindi
$F = kr = (58\,\text{N/m})(0{,}35\ \text{m}) = 20\,\text{N}$

11 Troviamo l'accelerazione per lo scivolo Easy: $a = g\frac{h}{l} = (9,8\ \text{m/s}^2)\frac{8,0\ \text{m}}{16\,\text{m}} = 4,9\ \text{m/s}^2$.

Il tempo di percorrenza è $t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2\times 16\,\text{m}}{4,9\ \text{m/s}^2}} = 2,6\ \text{s}$. Per il tratto inclinato dello scivolo Fool, si ha $a = g\frac{h}{l} = (9,8\ \text{m/s}^2)\frac{8,0\ \text{m}}{10\,\text{m}} = 7,8\ \text{m/s}^2$ e $t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2\times 10\text{m}}{7,8\ \text{m/s}^2}} = 1,6\ \text{s}$. In fondo al tratto inclinato la velocità è $v = at = (7,8\ \text{m/s}^2)(1,6\ \text{s}) = 12\,\text{m/s}$, quindi il tratto orizzontale viene percorso in un tempo di $\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{7,9\ \text{m}}{12\,\text{m/s}} = 0,66\ \text{s}$. Il tempo totale di percorrenza di Fool è quindi $1,6\ \text{s} + 0,66\ \text{s} = 2,3\ \text{s}$.

Osserviamo che, pur partendo dalla stessa altezza ed essendo nel complesso più lungo (10 m + 7,9 m invece di 16 m), Fool viene percorso in un tempo inferiore a quello richiesto per Easy.

12 L'accelerazione di gravità su Cerere è $g = \frac{GM}{R^2} = \frac{(6,67\times 10^{-11}\,\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)(9,4\times 10^{20}\ \text{kg})}{(4,7\times 10^5\ \text{m})^2} = 0,28\ \text{m/s}^2$.

Quindi, il periodo del pendolo è $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_1}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,75\ \text{m}}{0,28\ \text{m/s}^2}} = 10\,\text{s}$.

13 L'accelerazione della slitta è $a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2(2,2\ \text{m})}{(9,5\ \text{s})^2} = 0,049\ \text{m/s}^2$. Invertiamo la formula $a = g\frac{h}{l}$ e otteniamo

$$h = l\frac{a}{g} = (2,2\ \text{m})\frac{0,049\ \text{m/s}^2}{9,8\ \text{m/s}^2} = 0,011\ \text{m} = 1,1\ \text{cm}$$

14 L'accelerazione lungo la discesa dopo la partenza è $a = g\sin\alpha = (9,8\ \text{m/s}^2)(\sin 32°) = 5,2\ \text{m/s}^2$.

Invertiamo la formula $a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2s}$ e calcoliamo che dopo 23 m i convogli raggiungono la velocità di

$$v_f = \sqrt{2as - v_i^2} = \sqrt{2(5,2\ \text{m/s}^2)(23\text{m}) - (0\text{m/s})^2} = 15,5\text{m/s}$$

L'accelerazione centripeta lungo la curva è dunque $a_C = \frac{v^2}{r} = \frac{(15,5\text{m/s})^2}{5,6\ \text{m}} = 43\,\text{m/s}^2$.

15
- L'accelerazione è $a = g\sin\alpha$, quindi in 4,2 s lo slittino raggiunge la velocità $v = a\Delta t = g\sin\alpha\Delta t = (9,81\text{m/s}^2)(\sin 12°)(4,2\text{s}) = 8,6\,\text{m/s}$
- Bambino e slittino insieme pesano $F_P = mg = (35\,\text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 340\,\text{N}$, quindi la componente parallela della forza-peso è $F_{\parallel} = F_P\sin\alpha = (340\,\text{N})(\sin 12°) = 71\,\text{N}$. Quando lo slittino incontra la neve fresca, la risultante delle forze lungo il piano inclinato è F_{tot} = 160 N – 71 N = 89 N e l'accelerazione diventa $a = \frac{F_{tot}}{m} = \frac{89\,\text{N}}{35\,\text{kg}} = 2,5\ \text{m/s}^2$, in senso contrario al moto. Quindi, il tempo di arresto è $\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{-8,4\ \text{m/s}}{-2,5\ \text{m/s}^2} = 3,4\ \text{s}$.
- Durante la fase di accelerazione lo slittino percorre una distanza di $\Delta s = \frac{1}{2}at^2 = 0,5(2,0\ \text{m/s}^2)(4,2\ \text{s})^2 = 18\,\text{m}$, mentre, durante la fase di rallentamento, percorre una distanza $\Delta s = \frac{1}{2}at^2 = 0,5(2,5\ \text{m/s}^2)(3,4\ \text{s})^2 = 14\,\text{m}$, per un totale di 18 m + 14 m = 32 m.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 11

Il lavoro e l'energia

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il lavoro di una forza

pag. 345

- Nullo
- Positivo
- Negativo

2. La potenza

pag. 348

$P = (0{,}735\ \text{kW})(80\ \text{CV}) \simeq 59\ \text{kW}$

pag. 348

$P\Delta t = (320\ \text{kW})(0{,}5\ \text{h}) = 160\ \text{kWh}$

4. L'energia potenziale

pag. 351

- La risposta dipende dalla massa della persona. Per esempio, su una persona di 60 kg che sale una rampa di scale di 2,0 m, la forza-peso compie un lavoro $W_{F_P} = -mgh \simeq -(60\ \text{kg})(10\ \text{m/s}^2)(2{,}0\ \text{m}) = -1200\ \text{J}$.
- Sulla stessa persona che scende la stessa rampa, il lavoro della forza-peso è $W_{F_P}' = -W_{F_P} = 1200\ \text{J}$.

pag. 353

- All'aumentare della quota, l'energia potenziale gravitazionale della mongolfiera aumenta.

Se la mongolfiera viene alleggerita, a parità di quota la sua energia potenziale gravitazionale diminuisce.

5. L'energia meccanica

pag. 356

Per la conservazione dell'energia meccanica, che non dipende dalla pendenza, i due carrelli arrivano in fondo con la stessa energia cinetica. Poiché hanno la stessa massa, anche le loro velocità finali sono uguali in modulo.

TEST

1 A
2 B
3 B
4 C
5 B
6 C
7 A
8 A
9 D
10 D
11 B

ESERCIZI

1. Il lavoro di una forza

1 Per il terzo principio della dinamica, l'auto esercita su Luca una forza uguale e contraria a quella applicata da Luca sull'auto. Gli spostamenti dell'auto e di Luca sono invece uguali anche nel verso. Pertanto il lavoro compiuto dall'auto su Luca è $-W$.

2 Dalla formula del lavoro $L = Fs$ si ricava la formula inversa:

$$F = \frac{W}{s} = \frac{125\ \text{N}}{2{,}4\ \text{m}} = 52\ \text{N}$$

3 Il lavoro è dato dalla formula $W = F_P h$.

Dalla formula inversa otteniamo $h = \dfrac{W}{F_P} = \dfrac{W}{mg} = \dfrac{11\ \text{J}}{(0{,}29\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 3{,}9\ \text{m}$.

4
- Quando il bilanciere viene sollevato l'atleta compie un lavoro positivo:
  $W_1 = Fs = (510\ \text{N})(0{,}60\ \text{m}) = 3{,}1\times10^2\ \text{J}$
- Quando il bilanciere viene abbassato la forza applicata dall'atleta è in verso opposto allo spostamento, per cui il lavoro è negativo:
  $W_2 = -Fs = -(510\ \text{N}\times0{,}60\ \text{m}) = -3{,}1\times10^2\ \text{J}$

5 Il lavoro totale compiuto dalla forza-peso è dato da: $W = W_1 + W_2 = -F_P h_1 - F_P h_2 = -F_p h$. Quindi si ricava

$$h = \frac{-W}{F_P} = \frac{-W}{mg} = \frac{4{,}54\times10^2\ \text{J}}{(8{,}30\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 5{,}6\ \text{m}$$

6 La forza si ricava come $F = \dfrac{W}{s\cos 60°} = \dfrac{630\ \text{J}}{(50\ \text{m})\left(\dfrac{1}{2}\right)} = 25\ \text{N}$.

7 Il lavoro compiuto dalla forza-peso è nullo perché essa è sempre diretta verticalmente verso il basso e forma un angolo di 90° con il vettore spostamento (che è orizzontale).
$W = F_P s \cos 90° = 0\ \text{J}$

8 $W = -Fs = -\left(3{,}4\times10^5\ \text{N}\right)\left(62\ \text{m}\right) = -2{,}1\times10^7\ \text{J}$

9 $W = Fs\cos\alpha = \left(60\ \text{N}\right)\left(2{,}6\ \text{m}\right)\cos120° = -78\ \text{J}$

10 La forza centripeta della corda è sempre perpendicolare allo spostamento della palla, per cui il lavoro è nullo.

11 $W = \dfrac{1}{2}ks_0^2 = \dfrac{1}{2}\left(850\ \text{N/m}\right)\left(0{,}239\ \text{m}\right)^2 = 24{,}3\ \text{J}$

12 Ricaviamo la costante elastica dalla formula del lavoro compiuto sulla molla:

$$W = \frac{1}{2}ks^2 \Rightarrow k = \frac{2W}{s^2} = \frac{2\times6{,}00\ \text{J}}{\left(17{,}5\times10^{-3}\ \text{m}\right)^2} = 3{,}92\times10^4\ \text{N/m}$$

13 Il lavoro della forza-peso è $W_P = mgh = \left(0{,}200\ \text{kg}\right)\left(9{,}81\ \dfrac{\text{N}}{\text{kg}}\right)\left(0{,}076\ \text{m}\right) = 0{,}15\ \text{J}$.

Si ha quindi $W_P = W_e = \dfrac{1}{2}ks^2 \Rightarrow s = \sqrt{\dfrac{2W_P}{k}} = \sqrt{\dfrac{2\times0{,}15\ \text{J}}{750\ \text{N/m}}} = 0{,}020\ \text{m} = 20\ \text{mm}$.

14
- L'accelerazione dell'auto si ricava dalla legge del moto uniformemente accelerato $a = \dfrac{2s}{t^2}$, per cui la forza esercitata dal motore è $F = ma = m\dfrac{2s}{t^2} = \left(1500\ \text{kg}\right)\dfrac{2\times75\ \text{m}}{\left(5\ \text{s}\right)^2} = 9\times10^3\ \text{N}$.
- Il lavoro compiuto da questa forza è $W = Fs = \left(9\times10^3\ \text{N}\right)\left(75\ \text{m}\right) = 7\times10^5\ \text{J}$.

15 $W = F_{\parallel}s \quad \Rightarrow \quad s = \dfrac{W}{F_{\parallel}} = \dfrac{W}{F\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}} = 2\left(\dfrac{W}{F\sqrt{3}}\right) = 2\left(\dfrac{848\ \text{J}}{98{,}5\ \text{N}\times\sqrt{3}}\right) = 9{,}94\ \text{m}$

16 Dall'espressione del lavoro si ottiene

$$W = F\Delta s\cos\alpha \Rightarrow F = \frac{W}{\Delta s\cos\alpha} = \frac{1{,}15\times10^3\ \text{J}}{\left(6{,}50\ \text{m}\right)\left(\cos45{,}0°\right)} = 250\ \text{N}$$

17
- Il lavoro compiuto da Gianni è

  $W_G = F_{\text{Gianni}}s\cos\alpha = \left(400\ \text{N}\right)\left(12\ \text{m}\right)\cos45° = 3{,}4\times10^3\ \text{J}$

  allo stesso modo, quello di Anna è

  $W_A = F_{\text{Anna}}s\cos\beta = \left(480\ \text{N}\right)\left(12\ \text{m}\right)\cos36° = 4{,}7\times10^3\ \text{J}$

- Il lavoro totale W_{tot} è la somma dei singoli lavori, per cui si trova

  $W_{\text{tot}} = W_G + W_A = 3{,}4\times10^3\ \text{J} + 4{,}7\times10^3\ \text{J} = 8{,}1\times10^3\ \text{J}$

18
- Il lavoro totale compiuto è: $W = s\left[F_1\cos(45°) + F_2\cos(30°)\right]$

  Si ricava lo spostamento del cancello (che è lungo la guida):

  $$s = \frac{W}{F_1\cos(45°) + F_2\cos(30°)} = \frac{435\,\text{J}}{(110\,\text{N})\times\frac{\sqrt{2}}{2} + (85\,\text{N})\times\frac{\sqrt{3}}{2}} = 2{,}9\,\text{m}$$

- I In questo caso il lavoro sarebbe aumentato, perché i vettori componenti delle due forze paralleli allo spostamento sarebbero stati più grandi.

19 PROBLEMA SVOLTO

20 $F_A - mg = ma$

dove m è la massa dell'oggetto, F_A il modulo della forza rivolta verso l'alto e a il modulo dell'accelerazione che è rivolta verso l'alto.

$$F_A = m(a+g) = (0{,}900\ \text{kg})(8{,}98 + 9{,}81)\,\text{m/s}^2 = 16{,}9\ \text{N}$$

Lo spostamento dell'oggetto è $\Delta h = h_f - h_i = 3{,}00\ \text{m} - 1{,}80\ \text{m} = 1{,}20\ \text{m}$.

Il lavoro compiuto dalla forza F_A è $W = F_A\Delta h = (16{,}9\ \text{N})(1{,}20\ \text{m}) = 20{,}3\ \text{J}$.

2. La potenza

21 Poiché la potenza è direttamente proporzionale al lavoro compiuto W, un aumento del 50% del lavoro corrisponde a un aumento del 50% della potenza; al contrario, una diminuzione del 50% dell'intervallo di tempo Δt, cioè il suo dimezzamento, corrisponde al raddoppio della potenza, cioè a un aumento del 100%. Quindi è meglio diminuire Δt.

22 $$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{(100\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(15\ \text{m})}{40\ \text{s}} = 3{,}7\times10^2\ \text{W}$$

23 $$\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{6{,}6\times10^4\ \text{J}}{33\times10^3\ \text{W}} = 2{,}0\ \text{s}$$

24
- Il lavoro compiuto dalla prima gru è $W_1 = 3mgh = 3(6{,}8\,\text{kg})(9{,}8\,\text{m/s}^2)(90\,\text{m}) = 1{,}8\times10^4\ \text{J}$.

  Il lavoro compiuto dalla seconda è $W_2 = Mgh = (250\,\text{kg})(9{,}8\,\text{m/s}^2)(90\,\text{m}) = 2{,}2\times10^5\ \text{J}$.

  Quindi la seconda gru ha compiuto un lavoro maggiore della prima.

- La potenza sviluppata dalla prima gru è $P_1 = \frac{W_1}{\Delta t_1} = \frac{1{,}8\times10^4\,\text{J}}{5{,}0(60\,\text{s})} = 60\ \text{W}$.

  Quella della seconda nave è $P_2 = \frac{W_2}{\Delta t_2} = \frac{2{,}2\times10^5\,\text{J}}{30(60\,\text{s})} = 1{,}2\times10^2\ \text{W}$.

  Quindi la seconda gru ha l'argano più potente.

25 Convertiamo la potenza sviluppata in watt:

$P = 30$ cavalli-vapore $= 30(7{,}452\times10^2\ \text{W}) = 2{,}236\times10^3\ \text{W}$

Il tempo impiegato per spostare un carico di massa $m = 2{,}0\times10^3\ \text{kg}$, posto all'altezza h =15 m, è

$$\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{mgh}{P} = \frac{(2{,}0\times10^3\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(15\ \text{m})}{30\times(7{,}452\times10^2\ \text{W})} = 13\ \text{s}$$

26 ■ $W = (4,0\,\text{N})(2,6\,\text{m}) = 10\,\text{J}$

■ Poiché la forza $F = 4,0$ N è costante, il blocco percorre la distanza $d = 2,6$ m muovendosi di moto rettilineo uniformemente accelerato; l'accelerazione è $a = \dfrac{F}{m}$.

Il tempo necessario per spostare il blocco si ottiene dalla legge del moto uniformemente accelerato

$d = \dfrac{1}{2}a\Delta t^2 \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \sqrt{\dfrac{2d}{a}} = \sqrt{\dfrac{2dm}{F}}$, quindi la potenza media sviluppata è

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{Fd}{\Delta t} = Fd\sqrt{\frac{F}{2dm}} = F\sqrt{\frac{Fd}{2m}} = (4,0\text{ N})\sqrt{\frac{(4,0\text{ N})(2,6\text{ m})}{2\times 0,80\text{ kg}}} = 10\text{ W}$$

■ La distanza percorsa dal blocco si ottiene dalla legge del moto uniformemente accelerato $d = \dfrac{1}{2}a\Delta t^2 = \dfrac{1}{2}\dfrac{F}{m}\Delta t^2$, quindi la potenza media sviluppata è $P = \dfrac{W}{\Delta t} = \dfrac{Fd}{\Delta t} = \dfrac{F}{\Delta t}\times\dfrac{F\Delta t^2}{2m} = \dfrac{F^2\Delta t}{2m} = \dfrac{(4,0\text{ N})^2(2,3\text{ s})}{2\times 0,80\text{ kg}} = 23\text{ W}$.

27 ■ L'accelerazione dell'aereo deve essere $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{(290/3,6)\text{ m/s}}{8,0\,\text{s}} = 10\text{ m/s}^2$ quindi la forza sull'aereo vale

$F = Ma = (300\times 10^3\text{ kg})(10\,\text{m/s}^2) = 3,0\times 10^6\,\text{N}$

■ La distanza percorsa in fase di decollo è $s = \dfrac{1}{2}at^2 = \dfrac{1}{2}(10\,\text{m/s}^2)(8,0\,\text{s})^2 = 3,2\times 10^2\,\text{m}$.

La potenza sviluppata nel decollo è data da

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{Fs}{\Delta t} = \frac{(3,0\times 10^6\text{ N})(3,2\times 10^2\text{ m})}{8,0\text{ s}} = 1,2\times 10^8\text{ W} = 1,2\times 10^2\text{ MW}$$

28 ■ Il lavoro è lo stesso in entrambi i casi ed è dato da

$$W = mgh = (12\,\text{kg})(9,8\,\text{m/s}^2)(1,0\,\text{m}) = 1,2\times 10^2\text{ J} = \frac{1,2\times 10^2\text{ J}}{3,6\times 10^6\text{ J/kWh}} = 3,3\times 10^{-5}\,\text{kWh}$$

■ Se lo scatolone viene sollevato in verticale (secondo caso) la potenza vale: $P_2 = \dfrac{W}{\Delta t}$. Nel primo caso, usando un piano inclinato, il tempo impiegato è doppio rispetto al secondo caso.

Quindi $P_1 = \dfrac{W}{2\Delta t} = \dfrac{1}{2}P_2$.

29 Dalla definizione di potenza, otteniamo

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta W = P\Delta t = (9,8\text{ kW})(10\text{ s}) = 98\text{ kJ}$$

Dalla definizione di lavoro di una forza, otteniamo

$$\Delta W = Fs\cos 0° \Rightarrow F = \frac{\Delta W}{s} = \frac{98\times 10^3\text{ J}}{20\text{ m}} = 4,9\times 10^3\text{ N}$$

Poiché il sollevamento avviene a velocità costante, il modulo della forza applicata dalla gru per sollevare il corpo è pari alla forza-peso che agisce sul corpo, $F = F_P$. Allora la massa dell'oggetto è

$$m = \frac{F_P}{g} = \frac{4,9\times 10^3\text{ N}}{9,8\text{ m/s}^2} = 500\text{ kg}$$

30 Dall'espressione della potenza, $P = \dfrac{W}{\Delta t}$, si ricava il lavoro compiuto dal cestello:

$$W = P\Delta t = \left(1{,}13\times 10^3 \text{ W}\right)\left(7{,}2 \text{ s}\right) = 8{,}14 \text{ kJ}$$

Il modulo della forza esercitata dal cestello eguaglia quello della forza-peso, $F = F_P$, perché lo spostamento avviene a velocità costante.

Poiché spostamento e forza applicata hanno entrambi direzione verticale e stesso verso, si ha

$$W = F\Delta h = F_p\Delta h \;\Rightarrow\; \Delta h = \frac{W}{F_p} \;\Rightarrow \Delta h = \frac{W}{M_{\text{tot}}g} = \frac{W}{\left(m_1+m_2+m_c\right)g} = \frac{8{,}14\times 10^3 \text{ J}}{\left[\left(68+75+50\right)\text{kg}\right]\left(9{,}8 \text{ N/kg}\right)} = 4{,}3 \text{ m}$$

31
- $\Delta t = 5{,}0\,\text{min} = 3{,}0\times 10^2\text{ s}$

  $$W = P\Delta t = \left(60\times 10^3\text{ s}\right)\left(3{,}0\times 10^2\text{ s}\right) = 1{,}8\times 10^7\text{ J}$$

- $v = 72\,\text{km/h} = 20\,\text{m/s}\,;\; \Delta s = v\Delta t = \left(20\,\text{m/s}\right)\left(3{,}0\times 10^2\text{ s}\right) = 6{,}0\times 10^3\text{ m}$

  $$F = \frac{W}{\Delta s} = \frac{1{,}8\times 10^7\text{ J}}{6{,}0\times 10^3\text{ m}} = 3{,}0\times 10^3\text{ N} = 3{,}0\,\text{kN}$$

32 Il modulo della forza esercitata dall'argano è uguale al modulo della forza di attrito radente.
$F = \mu_d mg = 0{,}91\left(930\,\text{kg}\right)\left(9{,}8\,\text{m/s}^2\right) = 8{,}3\times 10^3\text{ N}$

Il lavoro compiuto dalla forza vale $W = F\Delta s = \left(8{,}3\times 10^3\text{ N}\right)\left(8{,}5\,\text{m}\right) = 7{,}1\times 10^4\text{ J}$.

Il tempo impiegato è $\Delta t = \dfrac{W}{P} = \dfrac{7{,}1\times 10^4\text{ J}}{1{,}2\times 10^3\text{ W}} = 59\,\text{s}$.

33 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 366.

▶ 3. L'energia cinetica

34 L'energia cinetica è direttamente proporzionale al quadrato della velocità, per cui se la velocità raddoppia l'energia cinetica quadruplica. Il grafico che rappresenta correttamente l'energia cinetica in funzione della velocità è quello rosso, indicato con *A*.

35 $K = \dfrac{1}{2}\left(100\,\text{kg}\right)\left(38\times\dfrac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}}\right)^2 = 5{,}6\times 10^3\text{ J}$

36 Dal teorema dell'energia cinetica, otteniamo:

- $$W_{\text{tot},1} = \frac{1}{2}\left(1200\,\text{kg}\right)\left[\left(80\times\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}}\right)^2 - \left(60\times\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}}\right)^2\right] = 1{,}3\times 10^5\text{ J}$$
- $$W_{\text{tot},2} = \frac{1}{2}\left(1200\,\text{kg}\right)\left[\left(100\times\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}}\right)^2 - \left(80\times\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}}\right)^2\right] = 1{,}7\times 10^5\text{ J}$$

37 Da $K = mv^2/2$ troviamo

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\times 0{,}34\text{ J}}{0{,}210\text{ kg}}} = 1{,}8\text{ m/s}$$

38 Dal teorema dell'energia cinetica si ricava che per fermare la pallina di massa $m = 0{,}1$ kg e velocità iniziale $v_0^2 = 30$ m/s ; il lavoro da compiere è

$$W = \Delta K = -\frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}(0{,}10\ \text{kg})(30\ \text{m/s})^2 = -45\ \text{J}$$

39 Il lavoro che compie è uguale all'energia cinetica finale perché il trolley era inizialmente fermo. La massa del trolley si ricava da $m = \frac{2K_f}{v^2} = \frac{2W}{v^2} = \frac{2\times(2{,}9\ \text{J})}{(0{,}80\ \text{m/s})^2} = 9{,}1\ \text{kg}$.

40 Combinando l'equazione $W = Fs$ con $K = \frac{1}{2}mv^2$ si ottiene, per $W = K$, la relazione:

$$v = \sqrt{\frac{2Fs}{m}} = \sqrt{\frac{2\times(7{,}8\times10^{-2}\ \text{N})(0{,}55\ \text{m})}{0{,}010\ \text{kg}}} = 2{,}9\ \text{m/s}$$

41 $K_f = K_i + W \Rightarrow$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}mv_i^2 + (-\mu_d mgs) \Rightarrow \mu_d = \frac{v_i^2 - v_f^2}{2gs} = \frac{(15\ \text{m/s})^2 - (13\ \text{m/s})^2}{2(9{,}8\ \text{m/s}^2)(40\ \text{m})} = 0{,}07$$

42 $$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mv^2}{2\Delta t} = \frac{(640\ \text{kg})(100/3{,}6\ \text{m/s})^2}{2(1{,}8\ \text{s})} = 1{,}4\times10^5\ \text{W}$$

43 PROBLEMA MODELLO a pag. 367

44
- $\Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}(60\times10^{-3}\ \text{kg})\left[0-(4{,}0\ \text{m/s})^2\right] = -0{,}48\ \text{J}$
- $\Delta K = W = W_P = -0{,}48\ \text{J}$
- $W_p = -F_P s \Rightarrow s = -\frac{W_P}{F_P} = -\frac{-0{,}48\ \text{J}}{(60\times10^{-3}\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 0{,}82\ \text{m}$

45
- La macchina alla fine si ferma, quindi la variazione di energia è

  $$\Delta K = K_f - K_i = 0\ \text{J} - K_i = -\frac{1}{2}mv_i^2 = -\frac{1}{2}(860\ \text{kg})(5{,}0/3{,}6\ \text{m/s})^2 = -8{,}3\times10^2\ \text{J}$$
- Dal teorema dell'energia cinetica $W = \Delta K$ e il lavoro è resistente, quindi si ha $-Fs = \Delta K$

  da cui si ricava $F = \frac{8{,}3\times10^2\ \text{J}}{0{,}080\ \text{m}} = 1{,}0\times10^4\ \text{N} = 10\ \text{kN}$.

4. L'energia potenziale

46 Se la molla è in condizione di riposo, cioè non è né compressa né allungata, la sua energia potenziale elastica è nulla. L'energia potenziale elastica invece non può essere negativa, in quanto è proporzionale alla costante elastica (positiva) e al quadrato della deformazione (non negativo).

47 Poiché l'energia potenziale elastica è direttamente proporzionale al quadrato della deformazione, non importa se viene compressa o dilatata, ma solo di quanto, per cui l'energia potenziale elastica è la stessa in entrambi i casi.

48 $U = mgh = (80\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(50\ \text{m}) = 39\ \text{kJ}$

49 $W_1 = -F_A d_1 = -(24\ \text{N})(8{,}2\ \text{m}) = -2{,}0\times10^2\ \text{J}$

$W_2 = -F_A d_2 = -(24\ \text{N})(7{,}6\ \text{m}) = -1{,}8\times10^2\ \text{J}$

50 ■ Il punto del grafico che ha la massima altezza è quello di ascissa 2,0 m a cui corrisponde un'energia potenziale di 1,2 J.

■ $U = mgh \quad \Rightarrow \quad m = \frac{U}{gh} = \frac{1{,}2\ \text{J}}{(9{,}8\ \text{m/s}^2)(2{,}0\ \text{m})} = 0{,}061\ \text{kg}$

51 Dato che la rana si trova a un'altezza minore rispetto al suolo, la sua energia potenziale gravitazionale è diminuita, precisamente è dimezzata. Infatti i gradini sono tutti uguali, quindi passa da un'altezza 4h a 2h.

$$U_f = 2mgh = \frac{4mgh}{2} = \frac{U_i}{2}$$

Dal secondo gradino, dove si trova adesso, dovrebbe risalire di altri 4 gradini. Infatti:

$$U_f' = 2mgh + 4mgh = 6mgh = 3 \times (mg2h)$$

52 **a.** Rispetto al suolo l'altezza è 7,4 m, per cui l'energia potenziale gravitazionale risulta

$$U_1 = mgh_1 = (3{,}6\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(7{,}4\ \text{m}) = 2{,}6 \times 10^2\ \text{J}$$

b. Rispetto al tendone l'altezza è $h_2 = 7{,}4\ \text{m} - 2{,}6\ \text{m} = 4{,}8\ \text{m}$ e l'energia potenziale gravitazionale è data da

$$U_2 = mgh_2 = (3{,}6\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(4{,}8\ \text{m}) = 1{,}7 \times 10^2\ \text{J}$$

53 $$g_{\text{M}} = \frac{U_{\text{M}}}{mh} = \frac{3{,}11 \times 10^7\ \text{J}}{(380\ \text{kg})(22{,}0 \times 10^3\ \text{m})} = 3{,}72\ \text{m/s}^2$$

54 $$U_e = \frac{1}{2}ks^2 = \frac{1}{2}(52\ \text{N/m})(5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m})^2 = 0{,}065\ \text{J}$$

55 Dalla relazione $U_e = \frac{1}{2}ks^2$ si ricava la costante elastica della molla:

$$k = \frac{2U_e}{s^2} = \frac{2 \times 0{,}01\ \text{J}}{(0{,}01\ \text{m})^2} = 0{,}2 \times 10^3\ \text{N/m}$$

56 L'energia potenziale elastica è uguale all'area sotto il grafico tra $x_1 = 0$ e $x_2 = 0{,}20$ m; in queste posizioni la forza è $F_1 = 0\ \text{N}$ e $F_2 = 40\ \text{N}$:

$$U_e = \frac{1}{2}(F_2 - F_1)(x_2 - x_1) = \frac{1}{2}(40{,}0\ \text{N})(0{,}2\ \text{m}) = 4{,}0\ \text{J}$$

57 $$U_B - U_A = -W = -(-2{,}4\ \text{J}) = 2{,}4\ \text{J}$$

58 Dalla relazione $U_B - U_A = -W$ ricaviamo:

$$U_B = U_A - W = 1{,}4\ \text{J} - (-3{,}7\ \text{J}) = 5{,}1\ \text{J}$$

59 L'energia potenziale elastica della molla vale

$$U_e = \frac{1}{2}ks^2 = \frac{1}{2}(5{,}0 \times 10^4\ \text{N/m})(0{,}050\ \text{m})^2 = 63\ \text{J}$$

L'energia potenziale gravitazionale del bambino invece

$$U_g = mgh = mg(s_0 - s) = (15\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}60\ \text{m - } 0{,}050\ \text{m}) = 81\ \text{J}$$

Quindi $U_g > U_e$.

60 Dalla relazione $U = mgh$ ricaviamo la distanza tra l'aquila e il ramo più basso:

$$h = \frac{U}{mg} = \frac{460\ \text{J}}{(5{,}4\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 8{,}7\ \text{m}$$

L'altezza h' del ramo più basso rispetto al suolo, quindi, è la differenza tra l'altezza $H = 12$ m del ramo su cui sta l'aquila e l'altezza h:

$$h' = H - h = 12\ \text{m} - 8{,}7\ \text{m} = 3{,}3\ \text{m}$$

61 ■ La massa della sveglia si ricava sapendo che $U_p = 60U_s$, quindi

$$m_s = \frac{m_p g h_p}{60 g h_s} = \frac{m_p h_p}{60 h_s} = \frac{(0,400\ \text{kg})(1,280\ \text{m})}{60\times(0,040\ \text{m})} = 0,21\ \text{kg}$$

■ Il cubo si trova sul secondo scaffale, quindi la sua energia potenziale gravitazionale è

$$U_c = m_c g h = (0,080\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)(0\ \text{m}) = 0\ \text{J}$$

■ La forza-peso compie un lavoro resistente:

$$W = -F_P(h_3 - h_2) = -F_P h = -(45\ \text{N})(0,60\ \text{m}) = -27\ \text{J}$$

62 La massa totale m_{tot} è data dalla somma della massa $m_{\text{alpinista}}$ = 76 kg dell'alpinista e della massa $m_{\text{attrezzatura}}$ dell'attrezzatura che pesa $F_P = 49\ \text{N}$:

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{alpinista}} + m_{\text{attrezzatura}} = m_{\text{alpinista}} + \frac{F_P}{g}$$

Assumendo trascurabile la velocità dell'alpinista, il lavoro che compie per salire di un tratto h è uguale all'energia potenziale gravitazionale in quel punto, prendendo come livello di riferimento il livello di partenza:

$$h = \frac{U}{m_{\text{tot}} g} = \frac{W}{m_{\text{tot}} g} = \frac{W}{\left(m_{\text{alpinista}} + \frac{F_P}{g}\right)g} = \frac{W}{m_{\text{alpinista}} g + F_P} = \frac{6,2\times10^4\ \text{J}}{(76\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) + 49\ \text{N}} = 78\ \text{m}$$

63 L'energia cinetica del pallone lanciato da Carlos è

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,450\ \text{kg})\left(\frac{115}{3,6}\ \text{m/s}\right)^2 = 2,3\times10^2\ \text{J}$$

Il pallone dovrebbe trovarsi a un'altezza dal suolo pari a

$$h = \frac{U}{mg} = \frac{2,3\times10^2\ \text{J}}{(0,450\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)} = 52\ \text{m}$$

64 PROBLEMA SVOLTO

65 Nella situazione iniziale, l'energia potenziale della molla è

$$U_A = \frac{1}{2}ks_A^2 = \frac{1}{2}\left(500\ \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(0,018\ \text{m})^2 = 8,1\times10^{-2}\ \text{J}$$

Dopo l'allungamento, la deformazione della molla è $s_B = (0,018 - 0,007)\text{m} = 1,1\times10^{-2}\ \text{m}$; quindi l'energia potenziale finale della molla risulta

$$U_B = \frac{1}{2}ks_B^2 = \frac{1}{2}\left(500\ \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(1,1\times10^{-2}\ \text{m})^2 = 3,0\times10^{-2}\ \text{J}$$

Dalla relazione $\Delta U = U_B - U_A = -W$ ricaviamo il lavoro della forza elastica, che risulta

$$W = U_A - U_B = 8,1\times10^{-2}\ \text{J} - 3,0\times10^{-2}\ \text{J} = 5,1\times10^{-2}\ \text{J}$$

66 ■ $$k = \frac{F}{s} = \frac{500\ \text{N}}{0,10\ \text{m}} = 5000\ \text{N/m}$$

■ $$U_e = \frac{1}{2}ks^2 = \frac{1}{2}(5000\ \text{N/m})(0,10\ \text{m})^2 = 25\ \text{J}$$

67 La costante elastica è data dalla relazione $k = \frac{2U}{s^2}$, per cui la forza da applicare alla molla per tenerla compressa di 12 cm è $F = ks = \frac{2U}{s^2}s = \frac{2U}{s} = \frac{2\times3,6\ \text{J}}{0,12\ \text{m}} = 60\ \text{N}$.

COMPITI
CAPITOLO 11. Il lavoro e l'energia
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

68 ■ All'equilibrio la forza elastica della molla ha stesso modulo e verso opposto alla forza-peso dell'oggetto:

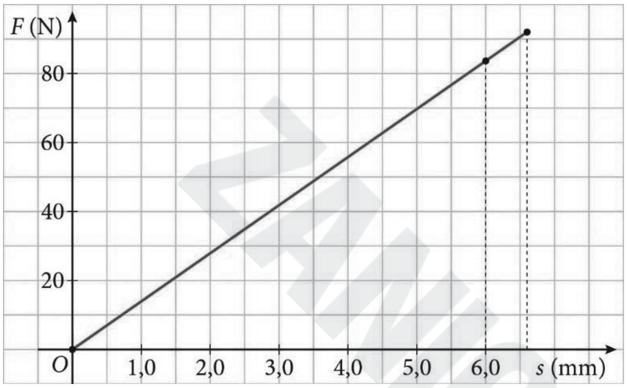
$$F_{e2} = (M+m)g = (8,4\ \text{kg} + 1,0\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 92\ \text{N}$$

La costante elastica si ricava dalla prima condizione di equilibrio:

$$k = \frac{F_{e1}}{s_1} = \frac{Mg}{s_1} = \frac{(8,4\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)}{0,0060\ \text{m}} = 1,372 \times 10^4\ \text{N/m}$$

Quindi l'allungamento della molla alla fine vale $s_2 = \frac{F_{e2}}{k} = \frac{92\ \text{N}}{1,372 \times 10^4\ \text{N/m}} = 6,7\ \text{mm}$.

■ Il grafico è il seguente:



■ Il lavoro è dato dalla differenza di due aree nel grafico forza-allungamento, e si tratta di un lavoro resistente:

$$W = -\left(\frac{1}{2}ks_2^{\,2} - \frac{1}{2}ks_1^{\,2}\right) = \frac{1}{2}k\left(s_1^{\,2} - s_2^{\,2}\right) = \frac{1}{2}\left(1,372 \times 10^4\ \text{N/m}\right)\left[(0,0060\ \text{m})^2 - (0,0067143\ \text{m})^2\right] =$$

$$= -6,1 \times 10^{-2}\ \text{J}$$

69 $$\Delta s = \sqrt{\frac{2U_e}{k}} = \sqrt{\frac{2 \times 2,92\ \text{J}}{380\ \text{N/m}}} = 0,124\ \text{m}$$

70 $$U_g = mgh = (0,150\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg})(0,95\ \text{m}) = 1,4\ \text{J} \ \Rightarrow\ \Delta s = +\sqrt{\frac{2U_e}{k}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,4\ \text{J}}{370\ \text{N/m}}} = 0,087\ \text{m}$$

71 La molla è in equilibrio quando è compressa fino a $s = \frac{mg}{k} = \frac{(1,5\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)}{230\ \text{N/m}} = 6,4 \times 10^{-2}\ \text{m}$.

In questa condizione, l'energia potenziale elastica della molla U_e è

$$U_e = \frac{1}{2}ks^2 = \frac{1}{2}(230\ \text{N/s})\left(6,4 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2 = 0,47\ \text{J}$$

Visto che il disco è sceso rispetto alla condizione di riferimento, nella fase finale la sua energia potenziale gravitazionale U_g è negativa e vale

$$U_g = -mgs = -(1,5\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)\left(6,4 \times 10^{-2}\ \text{m}\right) = -0,94\ \text{J}$$

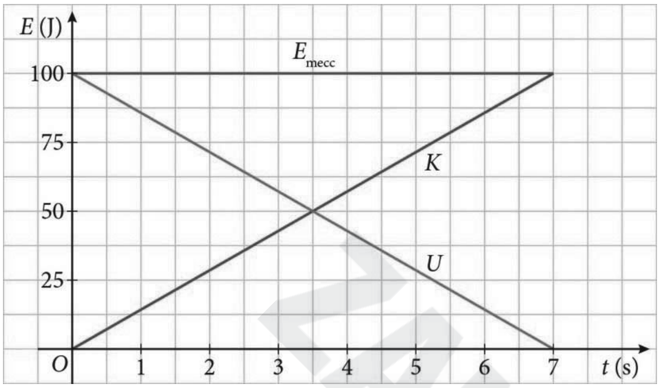
Quindi, l'energia potenziale totale del sistema risulta

$$U = U_e + U_g = 0,47\ \text{J} + (-0,94\ \text{J}) = -0,47\ \text{J}$$

5. L'energia meccanica

72 No: l'energia meccanica è la somma dell'energia cinetica (che è nulla o positiva) e dell'energia potenziale, e dunque è maggiore o al più uguale all'energia potenziale gravitazionale.

73 L'energia potenziale è la differenza tra l'energia meccanica e l'energia cinetica; il suo grafico è mostrato in verde nella seguente figura:



74
- L'energia cinetica prima di toccare il suolo K_f è uguale all'energia potenziale gravitazionale iniziale $U_i = mgh_i$ del sasso all'altezza di $h = 0{,}94$ m:
  $$K_f = U_i = mgh_i = (0{,}35\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)(0{,}94\text{ m}) = 3{,}2\text{ J}$$
- Poiché l'energia potenziale gravitazionale $U = mgh$ è direttamente proporzionale all'altezza, quando il sasso è a metà della caduta ha perso metà dell'energia potenziale, che si è trasformata in energia cinetica. Tale energia cinetica risulta pari a $K = \dfrac{U_i}{2} = 1{,}6\text{ J}$.

75
$$U_i = mgh = (0{,}0765\text{ kg})(9{,}80\text{ m/s}^2)(4{,}83\text{ m}) = 3{,}62\text{ J}$$
$$K_i = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(0{,}0765\text{ kg})(12{,}1\text{ m/s})^2 = 5{,}60\text{ J}$$
$$K_f = U_i + K_i \ \Rightarrow\ \frac{1}{2}mv^2 = 3{,}62\text{ J} + 5{,}60\text{ J} = 9{,}22\text{ J}$$
$$v = \sqrt{\frac{2(U_i + K_i)}{m}} = \sqrt{\frac{2(9{,}22\text{ J})}{0{,}0765\text{ kg}}} = 15{,}5\text{ m/s}$$

76 Trascurando l'attrito dell'aria, dal principio di conservazione dell'energia meccanica ricaviamo:
$$mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2 = mgh_f \ \Rightarrow\ h_f = h_i + \frac{v_i^2}{2g} = 1{,}0\text{ m} + \frac{\left(\dfrac{50}{3{,}6}\text{ m/s}\right)^2}{2(9{,}8\text{ m/s}^2)} = 10{,}8\text{ m}$$

77 PROBLEMA MODELLO a pag. 370

78
$$mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B \ \Rightarrow\ v_B = \sqrt{2g(h_A - h_B)} = \sqrt{2(9{,}8\text{ m/s}^2)(30\text{ m} - 5\text{ m})} = 22\text{ m/s}$$
$$mgh_A = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgh_C \ \Rightarrow\ h_C = h_A - \frac{v_C^2}{2g} = 30\text{ m} - \frac{(16\text{ m/s})^2}{2(9{,}8\text{ m/s}^2)} = 17\text{ m}$$

79 $U_i + K_i = U_f + K_f$ da cui

$$mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2 = mgh_f + \frac{1}{2}mv_f^2 \quad \Rightarrow \quad h_i = \frac{v_f^2}{2g} - \frac{v_i^2}{2g} = \frac{(3{,}1\ \text{m/s})^2 - (1{,}1\ \text{m/s})^2}{2\times 9{,}8\ \text{m/s}^2} = 0{,}43\ \text{m}$$

80 La conservazione dell'energia meccanica, dall'istante in cui la macchinina parte all'istante in cui sta per toccare la molla, si scrive come $\frac{1}{2}mv_0{}^2 = mgh + \frac{1}{2}mv_f{}^2$.

Si ricava $h = \dfrac{v_0{}^2 - v_f{}^2}{2g} = \dfrac{(5{,}7\ \text{m/s})^2 - (1{,}8\ \text{m/s})^2}{2\times(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 1{,}5\ \text{m}$.

Per il teorema dell'energia cinetica, la molla per fermare la macchinina, compie un lavoro pari all'energia cinetica posseduta dal giocattolo nell'istante in cui sta per toccarla. Tale lavoro (resistente) diventa energia potenziale elastica della molla:

$$\frac{1}{2}mv_f{}^2 = \frac{1}{2}ks^2$$

Si ricava la compressione della molla: $s = \sqrt{\dfrac{mv_f{}^2}{k}} = \sqrt{\dfrac{(0{,}650\ \text{kg})(1{,}8\ \text{m/s})^2}{1{,}3\times 10^3\ \text{N/m}}} = 4{,}0\ \text{cm}$.

6. L'energia totale

81 A ogni rimbalzo l'energia meccanica della pallina non viene conservata e una sua frazione viene convertita in altre forme di energia. L'energia potenziale e la conseguente altezza massima raggiunta dopo ogni rimbalzo è così via via sempre minore.

82 $\Delta U = mg\Delta h = (0{,}600\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}30 - 0{,}80)\ \text{m} = 2{,}9\ \text{J}$

83 L'energia trasformata in altre forme sarà la differenza, in valore assoluto, tra l'energia totale finale e l'energia totale iniziale, quindi:

$$\Delta E = E_{\text{tot}2} - E_{\text{tot}1} = \frac{1}{2}mv_f^2 - mgh =$$

$$= \frac{1}{2}(90\ \text{kg})(5{,}0\ \text{m/s})^2 - (90\ \text{kg}\times 9{,}8\ \text{m/s}^2 \times 500\ \text{m}) = -4{,}4\times 10^5\ \text{J}$$

Il segno meno indica che il sistema ha perso $4{,}4 \times 10^5$ J di energia meccanica.

84

- L'energia meccanica iniziale della pallina coincide con l'energia cinetica.
  $K_i = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}(5{,}8\times 10^{-2}\ \text{kg})(6{,}5\ \text{m/s})^2 = 1{,}2\ \text{J}$
- La variazione di energia è $\Delta E = \frac{1}{10}K_i = 0{,}12\ \text{J}$.
- L'energia meccanica finale è uguale all'energia potenziale:
  $U_f = K_i - \Delta E = 1{,}2\ \text{J} - 0{,}12\ \text{J} = 1{,}1\ \text{J}$

  da cui si ricava l'altezza:
  $h = \dfrac{U_f}{mg} = \dfrac{1{,}1\ \text{J}}{(5{,}8\times 10^{-2}\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 1{,}9\ \text{m}$

85 A

86 C

87
- La forza d'attrito è $F_d = \mu F_{P\perp} = \mu F_P \cos(\alpha)$. L'angolo α si ricava come:

$$\cos(\alpha) = \frac{-W_{F_d}}{s\mu F_P} = \frac{3,7\times10^4\,\text{J}}{(60\,\text{m})(0,40)(1,8\times10^3\,\text{N})} = 0,86 \text{ quindi } \alpha = 31°$$

- Il lavoro compiuto dal contadino è dato da
$W = Fs\cos(31°) = (200\,\text{N})(60\,\text{m})\cos(31°) = 1,0\times10^4\,\text{J}$

88 Dal teorema dell'energia cinetica, il lavoro compiuto per fermare la bicicletta è

$$W = -F\Delta x = \Delta K \quad\Rightarrow\quad F = -\frac{\Delta K}{\Delta x} = \frac{\frac{1}{2}mv_i^2}{\Delta x} = \frac{(87\text{ kg})\left(\frac{30}{3,6}\text{ m/s}\right)^2}{2\times5,0\text{ m}} = 6,0\times10^2\text{ N}$$

89
- Il lavoro compiuto per trasportare un passeggero di massa $m = 75$ kg lungo il tratto verticale di altezza $h = 70$ m è uguale all'aumento di energia potenziale gravitazionale:
$W = mgh = (75\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)(70\text{ m}) = 5,1\times10^4\text{ J}$

- Il lavoro della forza-peso è resistente e vale $W_p = -mgh = -23(75\text{ kg})(9,8\,\text{m/s}^2)(70\text{ m}) = -1,2\times10^6\text{ J}$.

- Il tempo di salita del tratto verticale a velocità $v = 1,6$ m/s è $\Delta t = \frac{h}{v}$ e la potenza sviluppata per trasportare 23 persone è $P = \frac{W_{tot}}{\Delta t} = 23mgv = 23\times(75\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)(1,6\text{ m/s}) = 2,7\times10^4\text{ W}$.

90
- Dal teorema dell'energia cinetica:

$$W = \Delta K = \frac{1}{2}m\left(v_f^2 - v_i^2\right) = \frac{1}{2}(1200\text{ kg})\left[\left(\frac{100}{3,6}\text{m/s}\right)^2 - \left(\frac{30}{3,6}\text{m/s}\right)^2\right] = 4,2\times10^5\text{ J}$$

- Il risultato non dipende dal tempo necessario per l'aumento della velocità, che invece gioca un ruolo nella potenza sviluppata dal motore.

91
- L'energia potenziale gravitazionale nella posizione finale di altezza h_f è uguale alla somma dell'energia potenziale gravitazionale nella posizione iniziale di altezza h_i e dell'energia cinetica iniziale:

$$mgh_f = mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2 \quad\Rightarrow\quad h_f = h_i + \frac{v_i^2}{2g} = 4,0\text{ m} + \frac{(4,2\text{ m/s})^2}{2\times9,8\text{ m/s}^2} = 4,9\text{ m}$$

- Il risultato non dipende dalla lunghezza del tratto orizzontale.

92 Dalla formula dell'energia potenziale elastica ricaviamo il massimo allungamento che può avere la molla:

$$U_e = \frac{1}{2}k(\Delta s)^2 \quad\Rightarrow\quad \Delta s = \sqrt{\frac{2U_e}{k}} = \sqrt{\frac{2\times140\text{ J}}{5,4\times10^3\text{ N/m}}} = 0,23\text{ m}$$

Perciò la massima lunghezza che può raggiungere la molla è $s_{max} = s_0 + \Delta s = 24\text{ cm} + 23\text{ cm} = 47\text{ cm}$.

93 La costante elastica della molla è $k = \frac{F}{s_0} = \frac{312 \text{ N}}{0,338 \text{ m}} = 923 \text{ N/m}$. Quindi, il lavoro richiesto è

$$W = \frac{1}{2}ks_0^2 = \frac{1}{2}(923 \text{ N/m})(0,338 \text{ m})^2 = 52,7 \text{ J}$$

94 Assumiamo che l'energia potenziale gravitazionale sia nulla nella posizione iniziale: l'energia meccanica iniziale è l'energia potenziale elastica dovuta alla compressione di $\Delta x = 0,20 \text{ m}$ della molla di costante elastica $k = 20 \text{ N/m}$, mentre l'energia meccanica finale è l'energia potenziale gravitazionale dovuta al raggiungimento dell'altezza *h*. Applicando il principio di conservazione dell'energia si ottiene:

$$\frac{1}{2}k\Delta x^2 = mgh \quad \Rightarrow \quad h = \frac{k\Delta x^2}{2mg} = \frac{(20 \text{ N/m})(0,20 \text{ m})^2}{2\times(0,025 \text{ g})(9,8 \text{ m/s}^2)} = 1,6 \text{ m}$$

95 Lo spostamento lungo la pista è $s = v\Delta t = (0,23 \text{ m/s})(15\times 60 \text{ s}) = 2,1\times 10^2 \text{ m}$.

Dato che i soccorritori spostano la barella a velocità costante, la forza che esercitano ha modulo:

$$F = F_{\parallel} + F_{\text{att}} = mg\sin(25°) + F_{\text{att}}$$

La potenza è

$$P = \frac{Fs}{\Delta t} = \frac{-W_{F_P} - W_{F_{\text{att}}}}{\Delta t} = \frac{mg\sin(25°)s}{\Delta t} + \frac{(-W_{F_{att}})}{\Delta t} = \frac{(110 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)\sin 25°(2,1\times 10^2 \text{ m})500 \text{ J}}{15\times(60 \text{ s})} = 1,1\times 10^2 \text{ W}$$

96
- $K_A + U_A = \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}(2300 \text{ kg})(20 \text{ m/s})^2 + (2300 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)(43 \text{ m}) =$

  $= 4,6\times 10^5 \text{ J} + 9,7\times 10^5 \text{ J} = 1,43\times 10^6 \text{ J}$

- $K_B + U_B = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B = \frac{1}{2}(2300 \text{ kg})(17 \text{ m/s})^2 + (2300 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)(34 \text{ m}) =$

  $= 3,3\times 10^5 \text{ J} + 7,7\times 10^5 \text{ J} = 1,10\times 10^6 \text{ J}$

- La differenza di energia meccanica tra i punti *A* e *B* è
  $W = 1,43\times 10^6 \text{ J} - 1,10\times 10^6 \text{ J} = 3,3\times 10^5 \text{ J}$
  Quindi, il lavoro resistente compiuto dalle forze di attrito è $-W = -3,3\times 10^5 \text{ J}$.

97 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 B

3 A

4 Il motore si ferma per un secondo quando ha compiuto un lavoro di 340 kJ.

5 La potenza corrisponde alla pendenza del grafico lavoro-tempo, che è possibile ricavare da due punti del grafico:

$$P' = \frac{W_1 - W_2}{t_1 - t_2} = \frac{1{,}6\times10^3\ \text{W} - 0{,}8\times10^3\ \text{W}}{4{,}0\ \text{s} - 2{,}0\ \text{s}} = 4{,}0\times10^2\ \text{W}$$

6
- L'energia cinetica finale dell'auto è

$$K_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}(1000\ \text{kg})\left(\frac{144}{3{,}6}\text{m/s}\right)^2 = 8{,}0\times10^5\ \text{J}$$

- $$K_i = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}(1000\ \text{kg})\left(\frac{72}{3{,}6}\text{m/s}\right)^2 = 2{,}0\times10^5\ \text{J}$$

Dal teorema dell'energia cinetica si ricava il lavoro:
$W = K_f - K_i = 8{,}0\times10^5\ \text{J} - 2{,}0\times10^5\ \text{J} = 6{,}0\times10^5\ \text{J}$

7
- Trascurando l'effetto dell'aria, possiamo applicare il principio di conservazione dell'energia meccanica $U_i + K_i = U_f + K_f$ per ricavare la velocità v_1 quando il peso è ad altezza $h_1 = 4{,}0$ m :

$$mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 \quad \Rightarrow \quad v_1 = \sqrt{2g\left(h_i - h_1\right)} = \sqrt{2\times\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(10\ \text{m} - 4\ \text{m}\right)} = 11\ \text{m/s}$$

- Ricaviamo l'altezza h_2 quando la velocità del peso è $v_2 = 6{,}0$ m/s :

$$mgh_i + \frac{1}{2}mv_i^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_1 - \frac{v_2^2}{2g} = 10\ \text{m} - \frac{(6{,}0\ \text{m/s})^2}{2\times9{,}8\ \text{m/s}^2} = 8{,}2\ \text{m}$$

8
- All'inizio il blocchetto è fermo, perciò la sua energia cinetica è nulla.
- $U_i = \frac{1}{2}ks_i^2 = \frac{1}{2}(100\ \text{N/m})(0{,}126\ \text{m})^2 = 0{,}794\ \text{J}$
- Quando la molla è nella posizione di riposo la sua energia potenziale elastica è nulla.
- L'energia potenziale elastica della molla viene trasferita al blocchetto di ghiaccio, quando la molla torna nella posizione di riposo, sotto forma di energia cinetica. Quindi, l'energia cinetica K_f acquisita dal blocchetto di ghiaccio è uguale all'energia potenziale elastica iniziale della molla:
$K_f = U_i = 0{,}794\ \text{J}$
- La velocità finale del blocchetto v_f si ricava dall'energia cinetica K_f :

$$v_f = \sqrt{\frac{2K_f}{m}} = \sqrt{\frac{2\times0{,}794\ \text{J}}{0{,}0941\ \text{kg}}} = 4{,}11\ \text{m/s}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1

- La forza-peso che si esercita sulla palla è $F_P = mg = (0,62\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 6,1\ \text{N}$.
  La forza-peso è verticale e diretta verso il basso, parallela allo spostamento, quindi il lavoro è
  $W = F_P h = (6,1\ \text{N})(3,1\ \text{m}) = 19\ \text{J}$
- Lo spostamento è maggiore dell'altezza e la sua lunghezza è uguale a quella del piano inclinato:
  $l = \dfrac{h}{\sin\alpha} = \dfrac{3,1\ \text{m}}{\sin 30°} = 6,2\ \text{m}$
  La direzione dello spostamento forma un angolo di 30° con l'orizzontale, quindi di 60° con la verticale e anche con la forza-peso. Il lavoro è dato allora da $W = F_P l \cos\alpha = (6,1\ \text{N})(6,2\ \text{m})\cos 60° = 19\ \text{J}$.
  Notiamo che il lavoro è lo stesso del caso precedente.

2 Il lavoro fatto per caricare la molla è $W = \dfrac{1}{2}ks^2 = 0,5(850\ \text{N/m})(0,42\ \text{m})^2 = 75\ \text{J}$ e diventa energia potenziale elastica.

Questa energia, quando la freccia viene lanciata, si trasforma in energia cinetica della freccia. Invertendo la formula dell'energia cinetica, otteniamo

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\times(75\ \text{J})}{0,025\ \text{kg}}} = 77\ \text{m/s}$$

3 La gru compie un lavoro pari a $W = F_P h = (300\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)(4,0\ \text{m}) = 12\,000\ \text{J}$. In 3,0 s, quindi la potenza erogata è

$P = \dfrac{W}{\Delta t} = \dfrac{12\,000\ \text{J}}{3,0\ \text{s}} = 4\,000\ \text{W}$. Per sollevare il secondo carico occorre un lavoro

$W = F_P h = (400\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2)(20\ \text{m}) = 78\,000\ \text{J}$

Quindi, sarà necessario un tempo pari a $\Delta t = \dfrac{W}{P} = \dfrac{78\,000\ \text{J}}{4\,000\ \text{W}} = 20\ \text{s}$.

4 La velocità iniziale e finale sono uguali, quindi non c'è stata variazione di energia cinetica. Per il teorema dell'energia cinetica, questo implica che il lavoro totale delle forze è nullo. La forza di attrito ha però compiuto un lavoro

$W_{\text{attrito}} = -F_d \Delta s = -(8,8\ \text{N})(3500\ \text{m}) = -31000\ \text{J}$

Allora, ciclista deve aver compiuto un lavoro opposto, ossia 31 000 J. Visto che tale lavoro è stato fatto in 11 minuti e 40 secondi, ossia $(11\times 60)\text{s} + 40\text{s} = 700\text{s}$, la potenza è stata pari a

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{31000\ \text{J}}{700\ \text{s}} = 44\ \text{W}$$

5 Il lavoro da fare corrisponde alla somma del lavoro necessario per caricare la molla e del lavoro necessario a muovere la freccetta contro la forza di attrito. Il primo è dato da

$$W_{\text{molla}} = \frac{1}{2}ks^2 = 0,5(110\ \text{N/m})(0,055\ \text{m})^2 = 0,17\ \text{J}$$

mentre il secondo è

$$W_{\text{attrito}} = F_d \Delta s = (0,78\ \text{N})(0,055\ \text{m}) = 0,043\ \text{J}$$

per un totale di 0,17 J + 0,043 J = 0,21 J.

6 Convertiamo la velocità in metri al secondo, $81\,\text{km/h} = \left(\frac{81}{3,6}\right)\text{m/s} = 22,5\ \text{m/s}$, e calcoliamo l'attrito al quale è sottoposta la roulotte:

$$F_a = \left(1,6\ \text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2\right)\left(22,5\ \text{m/s}\right)^2 = 810\,\text{N}$$

Questa forza, se la velocità si mantiene costante, è uguale in modulo alla forza F esercitata sul gancio di traino per mantenere la roulotte in movimento. In un secondo, la roulotte percorre $\Delta s = vt = \left(22,5\ \text{m/s}\right)\left(1,0\ \text{s}\right) = 22,5\ \text{m}$

Quindi, il lavoro compiuto su di essa è $W = F\Delta s = \left(810\,\text{N}\right)\left(22,5\ \text{m}\right) = 18000\ \text{J}$.

Calcoliamo la potenza:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{18000\ \text{J}}{1,0\ \text{s}} = 18000\,\text{W} = 18\,\text{kW}$$

7 Convertiamo la velocità in metri al secondo, $90\,\text{km/h} = \left(\frac{90}{3,6}\right)\text{m/s} = 25\,\text{m/s}$, e usiamo il teorema dell'energia cinetica per trovare il lavoro necessario a portare l'auto a 90 km/h partendo da ferma:

$$W_{\text{tot}} = K - K_0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = 0,5\left(1400\,\text{kg}\right)\left(25\,\text{m/s}\right)^2 - 0,5\left(1400\,\text{kg}\right)\left(0\,\text{m/s}\right)^2 = 4,4\times10^5\ \text{J}$$

L'intervallo di tempo è $\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{4,4\times10^5\ \text{J}}{36\times10^3\ \text{W}} = 12\,\text{s}$.

8 La pietra appena lanciata ha energia cinetica $K = \frac{1}{2}mv^2 = 0,5\left(18\,\text{kg}\right)\left(3,2\ \text{m/s}\right)^2 = 92\ \text{J}$.

Il lavoro della forza d'attrito vale $W_{\text{attrito}} = \Delta K = 0\,\text{J} - 92\,\text{J} = -92\,\text{J}$.

Il modulo della forza di attrito è $F_d = \mu mg = 0,013\left(18\,\text{kg}\right)\left(9,8\ \text{m/s}^2\right) = 2,3\ \text{N}$.

Invertiamo la definizione di lavoro di una forza resistente $W_{\text{attrito}} = -F_{\text{d}}\Delta s$ e troviamo la distanza:

$$\Delta s = -\frac{W_{\text{attrito}}}{F_{\text{d}}} = -\frac{-92\,\text{J}}{2,3\ \text{N}} = 40\,\text{m}$$

9

- Quando la molla viene rilasciata compie un lavoro

  $$W_{\text{molla}} = \frac{1}{2}ks^2 = 0,5\left(950\,\text{N/m}\right)\left(0,14\ \text{m}\right)^2 = 9,3\ \text{J}$$

  Questo lavoro diviene energia potenziale, per cui vale $W_{\text{molla}} = mgh$. Possiamo ricavare l'altezza raggiunta:

  $$h = \frac{W_{\text{molla}}}{mg} = \frac{9,3\ \text{J}}{\left(0,40\ \text{kg}\right)\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)} = 2,4\ \text{m}$$

- Nel secondo caso, il dado raggiunge un'altezza di 2,4 m anche se risale un piano inclinato. L'altezza di 2,4 m, in un piano inclinato di 30°, corrisponde a una lunghezza di $\frac{2,4\ \text{m}}{\sin 30°} = 4,8\ \text{m}$.

10 L'area sotto il grafico nel tratto corrispondente ai primi 50,0 metri è quella di un rettangolo, per cui il lavoro vale
$W_{\text{I}} = (3000\,\text{N})(50,0\ \text{m}) = 150\ \text{kJ}$
L'area del secondo tratto è quella di un trapezio e vale
$$W_{\text{II}} = \frac{1}{2}(3000\,\text{N} + 5000\,\text{N})(60,0\ \text{m}) = 240\ \text{kJ}$$
Il lavoro totale della forza frenante, tenendo conto che si tratta di una forza resistente, è quindi
$-(150\,\text{kJ} + 240\ \text{kJ}) = -390\ \text{kJ}$
Tale lavoro è uguale alla variazione dell'energia cinetica $K - K_0 = -390\ \text{kJ}$ e, visto che l'energia cinetica finale *K* è nulla, si ha $K_0 = 390\ \text{kJ}$, da cui
$$v_0 = \sqrt{\frac{2K_0}{m}} = \sqrt{\frac{2(3,9\times10^5\ \text{J})}{2350\,\text{kg}}} = 18,2\ \text{m/s}$$

11
- La velocità della scatola dopo che si è staccata dalla molla è $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,5\ \text{m}}{1,0\ \text{s}} = 1,5\ \text{m/s}$.

  Quindi la sua energia cinetica è $K = \frac{1}{2}mv^2 = 0,5(0,015\ \text{kg})(1,5\ \text{m/s})^2 = 0,017\ \text{J}$.

  Questa energia, visto che la scatola partiva da fermo, corrisponde al lavoro della molla.
  $W = K = 0,017\ \text{J}$

  La costante elastica è $k = \frac{2W}{s^2} = \frac{2(0,017\ \text{J})}{(0,010\ \text{m})^2} = 340\,\text{N/m}$.

- Il lavoro compiuto dalla molla è lo stesso, quindi 0,017 J. La scatola si ferma quando la forza di attrito ha compiuto un lavoro opposto, ossia – 0,017 J, e ha quindi riportato a zero l'energia cinetica della scatola.
  La forza di attrito ha modulo $F_d = \mu mg = 0,20(0,015\ \text{kg})(9,8\ \text{m/s}^2) = 0,029\ \text{N}$

  quindi la distanza percorsa è $\Delta s = -\frac{W}{F_{\text{d}}} = -\frac{-0,017\ \text{J}}{0,029\ \text{N}} = 0,59\ \text{m} = 59\,\text{cm}$.

12 Il lavoro svolto è il 60% dell'energia assorbita in un'ora:
$W = 60\% \cdot E = 0,6 \times P\Delta t$
Il lavoro svolto per sollevare una massa *m* di un'altezza *h* è $W = mgh$, da cui
$$m = \frac{W}{gh} = \frac{0,6(900\,\text{W})(3600\,\text{s})}{(9,8\ \text{m/s}^2)(6,00\ \text{m})} = 33\times10^3\ \text{kg}$$

13 La distanza del pianeta dal centro della Terra è $6,37\times10^6\ \text{m} + 9,00\times10^5\ \text{m} = 7,27\times10^6\ \text{m}$.

La formula che fornisce la velocità orbitale è $v = \sqrt{\frac{GM_{\text{T}}}{r}}$.

Se sostituiamo questa espressione di *v* nella formula dell'energia cinetica, otteniamo
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{GM_{\text{T}}}{r}}\right)^2 = \frac{1}{2}m\frac{GM_{\text{T}}}{r} = \frac{GmM_{\text{T}}}{2r}$$

Sostituiamo i valori noti e otteniamo: $K = \frac{(6,67\times10^{-11})(1300\ \text{kg})(5,97\times10^{24}\ \text{kg})}{2(7,27\times10^6\ \text{m})} = 3,6\times10^{10}\ \text{J} = 36\,\text{GJ}$.

14 Poniamo pari a zero l'altezza del punto più basso. La distanza in verticale del bambino nella sua posizione iniziale dal punto di aggancio della catena è $d=\sqrt{(2{,}5\ \text{m})^2-(2{,}0\ \text{m})^2}=1{,}5\ \text{m}$.

L'altezza del bambino nella sua posizione iniziale è quindi $h_i=2{,}5\ \text{m}-1{,}5\ \text{m}=1{,}0\ \text{m}$.

Poiché l'energia potenziale iniziale U_i si trasforma in energia cinetica K_f nel punto più basso, si ha

$$v_f=\sqrt{\frac{2K_f}{m}}=\sqrt{\frac{2U_i}{m}}=\sqrt{\frac{2mgh_i}{m}}=\sqrt{2gh_i}=\sqrt{2\left(9{,}8\,\text{m/s}^2\right)(1{,}0\,\text{m})}=4{,}4\ \text{m/s}$$

15

- $E_\text{m}=mgh+\frac{1}{2}mv^2$ e $K_i=\frac{1}{2}mv_i^2=0{,}5(20{,}0\ \text{kg})(1000\,\text{m/s})^2=1{,}00\times10^7\ \text{J}=10000\,\text{kJ}$.

  Poiché l'altezza è nulla, si ha $E_{\text{m},i}=mgh_i+\frac{1}{2}mv_i^2=mg\cdot0+K_i=10000\,\text{kJ}$. Nel punto più alto l'energia meccanica è diminuita di 7 000 kJ: $E_{\text{m,hmax}}=10000\ \text{kJ}-7000\ \text{kJ}=3000\ \text{kJ}$.

  L'energia cinetica invece vale $K_\text{hmax}=\frac{1}{2}mv_\text{hmax}^2=0{,}5(20{,}0\ \text{kg})(500\ \text{m/s})^2=2{,}50\times10^6\ \text{J}=2500\,\text{kJ}$,

  quindi l'energia potenziale è pari a $U_\text{hmax}=E_\text{m,hmax}-K_\text{hmax}=3000\ \text{kJ}-2500\ \text{kJ}=500\ \text{kJ}$.

  L'altezza massima è $h_\text{hmax}=\frac{U_\text{hmax}}{mg}=\frac{5\times10^5\ \text{J}}{(20\ \text{kg})\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)}=2550\,\text{m}$.

- Nel momento in cui cade a terra l'energia meccanica del proiettile è $E_\text{m,cad}=3000\ \text{kJ}-2000\ \text{kJ}=1000\ \text{kJ}$ e, visto che l'altezza è di nuovo nulla, corrisponde all'energia cinetica al momento della caduta K_cad. Invertiamo la relativa formula e troviamo

  $$v_\text{cad}=\sqrt{\frac{2K_\text{cad}}{m}}=\sqrt{\frac{2\left(1\times10^6\ \text{J}\right)}{20\,\text{kg}}}=316\ \text{m/s}$$

- Il lavoro compiuto dalla forza-peso quando il proiettile si conficca in terra per 4,00 m è minore o uguale a $W_\text{peso}=mgh=(20\,\text{kg})(9{,}81\ \text{N/kg})(4{,}00\ \text{m})=785\,\text{J}$

  Un valore trascurabile rispetto all'energia meccanica al momento della caduta calcolata al punto precedente. La forza di attrito col terreno deve svolgere un lavoro opposto al valore dell'energia cinetica, per annullarla, quindi pari a –1000 kJ. Invertiamo la formula e otteniamo

  $$F_\text{d}=-\frac{W_\text{attrito}}{\Delta s}=-\frac{-1{,}00\times10^6\ \text{J}}{4{,}00\ \text{m}}=250\ \text{kN}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 12

La quantità di moto e il momento angolare

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il vettore quantità di moto

pag. 375

$$v = \frac{p}{m} = \frac{3,6\ \text{kg} \cdot \text{m/s}}{0,045\ \text{kg}} = 80\ \text{m/s}$$

2. L'impulso di una forza e la variazione della quantità di moto

pag. 376

$$F = \frac{(10\ \text{N})(1,6\ \text{s})}{4\ \text{s}} = 4\ \text{N}$$

4. Gli urti

pag. 379

Sì, perché si sono conservate sia l'energia cinetica totale sia la quantità di moto totale.

pag. 380

$$v = \frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(53\ \text{kg})(5,6\ \text{m/s})}{75\ \text{kg} + 53\ \text{kg}} = 2,3\ \text{m/s}$$

Tecnologia e sviluppo sostenibile – L'energia eolica

- La variazione di velocità angolare delle pale è
  $$\Delta\omega = \frac{\Delta L}{3I} = \frac{3Fr\Delta t}{mr^2} = \frac{3F\Delta t}{mr} = \frac{31070\ \text{N}60\ \text{s}}{3000\ \text{kg}30\ \text{m}} = 2,1\text{rad/s}$$

- La frequenza corrispondente alla velocità angolare del punto precedente è $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2,1\text{rad/s}}{2\pi} = 0,33\,\text{s}^{-1}$

  Quindi, ogni minuto le pale compiono un numero di giri pari a
  $$(60\text{s})\,f = (60\text{s})(0,33\text{s}^{-1}) \approx 20$$

- La velocità della punta di una pala è data da:
  $$v = 2\pi rf = 2\pi(30\,\text{m})(0,33\,\text{s}^{-1}) = 62\,\text{m/s}$$

TEST

1 C
2 C
3 B
4 C
5 C
6 C
7 D
8 C
9 B
10 D
11 B
12 B
13 D

ESERCIZI

1. Il vettore quantità di moto

1 Sì. Nel moto rettilineo uniforme il vettore velocità rimane costante: non cambia modulo, né direzione, né verso, per cui anche la quantità di moto, che differisce dalla velocità per un fattore costante (la massa), è costante.

2 No. Nel moto circolare uniforme il vettore velocità cambia direzione, per cui anche la quantità di moto, che differisce dalla velocità per un fattore costante (la massa), cambia direzione. A rimanere costante è il modulo della quantità di moto.

3 $$p = mv = (1{,}0\ \text{kg})\left(\frac{100}{3{,}6}\ \text{m/s}\right) = 28\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

4 La quantità di moto dello sciatore è $p_s = m_s v = (80\ \text{kg})\left(\frac{36}{3{,}6}\ \text{m/s}\right) = 8{,}0\times10^2\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$; quella del motoscafo è

$$p_m = m_m v = (550\ \text{kg})\left(\frac{36}{3{,}6}\ \text{m/s}\right) = 5{,}5\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

5 $$p_{min} = mv_{min} = 1000\ \text{kg}\left(\frac{20}{3{,}6}\ \text{m/s}\right) = 6\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

$$p_{max} = mv_{max} = 1000\ \text{kg}\left(\frac{40}{3{,}6}\ \text{m/s}\right) = 1\times10^4\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

La quantità di moto dell'auto dell'utilitaria sarà compresa tra $6\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$ e $1\times10^4\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$.

6 La quantità di moto totale del sistema è $p = (m_1 + m_2)v$, Quindi si ricava la massa della bici:

$$m_2 = \frac{p}{v} - m_1 = \frac{610\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{32/3{,}6\ \text{m/s}} - 60\,\text{kg} = 8{,}6\ \text{kg}$$

7 Le due quantità di moto sono uguali in modulo, ma non in direzione e verso:

$$p_1 = p_2 = mv = (1500\ \text{kg})(120\ \text{km/h})\left(\frac{1}{3,6}\ \frac{\text{m/s}}{\text{km/h}}\right) = 5,00\times10^4\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad \Rightarrow \quad p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{2p_1^2} = \sqrt{2}p_1 = 7,07\times10^4\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

8
- La quantità di moto dell'addestratore è

$$p_{\text{add}} = Mv_{\text{add}} = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2} = \sqrt{(12\ \text{kg}\times2,0\ \text{m/s})^2 + \left(\frac{12}{2}\ \text{kg}\times2,0\times2\ \text{m/s}\right)^2} =$$

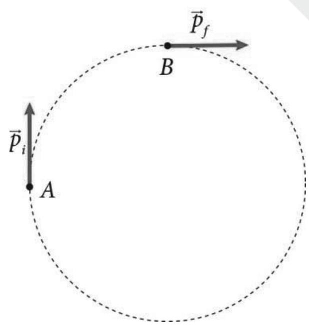
$$= \sqrt{(24\ \text{kg}\cdot\text{m/s})^2 + (24\ \text{kg}\cdot\text{m/s})^2} = 34\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

Poiché la quantità di moto dell'addestratore è nella stessa direzione della quantità totale delle scimmie, la quantità di moto totale del sistema è

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{add}} + p_{\text{tot scimmie}} = 34\ \text{kg}\cdot\text{m/s} + 34\ \text{kg}\cdot\text{m/s} = 68\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

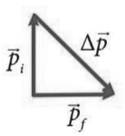
- La velocità dell'addestratore è data da $v_{\text{add}} = \frac{p_{\text{add}}}{M} = \frac{34\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{60\ \text{kg}} = 0,57\ \text{m/s}$.

9 Quando l'auto ha compiuto un quarto di giro si trova nel punto B:



La quantità di moto ha cambiato direzione ma non modulo: $p = mv$.

La variazione $\Delta\vec{p}$ della quantità di moto è mostrata nella figura seguente:



e il suo modulo è $\Delta p = p\sqrt{2} = mv\sqrt{2} = 9,1\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$.

2. L'impulso di una forza e la variazione della quantità di moto

10 L'impulso è uguale all'area sottesa al grafico:

$I = F\Delta t = (12\ \text{N})(15\ \text{s}) = 1,8\times10^2\ \text{N}\cdot\text{s}$

11 Sì, perché la direzione dell'accelerazione varia, quindi deve esserci una forza che induce tale variazione.

12 $I = F\Delta t = (50\ \text{N})(30\ \text{s}) = 1,5\times10^3\ \text{N}\cdot\text{s}$

13

- Da $\Delta p = p_f = Ft$ calcoliamo il valore più attendibile dell'intervallo di tempo come

$$\overline{t} = \frac{\overline{p}_f}{\overline{F}} = \frac{290\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{180\ \text{N}} = 1{,}61\ \text{s}$$

- $$e_r = \frac{\Delta F}{\overline{F}} + \frac{\Delta p_f}{\overline{p}_f} = \frac{3\ \text{N}}{180\ \text{N}} + \frac{6\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{290\ \text{kg}\cdot\text{m/s}} = 0{,}037$$

- Quindi l'incertezza sul tempo risulta

$\Delta t = e_r\overline{t} = 0{,}037\times 1{,}61\ \text{s} = 0{,}06\ \text{s}$. Il risultato si scrive, allora, come $t = (1{,}61 \pm 0{,}06)\ \text{s}$.

14 La forza fa rallentare il giocatore, l'impulso della forza è in modulo

$$I = -F\Delta t = -(90\ \text{N})(4{,}0\ \text{s}) = -3{,}6\times 10^2\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$

L'impulso corrisponde alla variazione della quantità di moto, cioè in moduli: $I = p_f - p_0$.

Quindi si ricava $p_f = I + p_0 = I + mv_0 = -3{,}6\times 10^2\ \text{kg}\cdot\text{m/s} + 380\ \text{kg}\cdot\text{m/s} = 20\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$.

15 PROBLEMA MODELLO a pag. 389

16

- Prendiamo come positivo il verso della velocità finale e applichiamo il teorema dell'impulso:

$$F_m = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m\Delta v}{\Delta t} = \frac{(80\ \text{kg})\left[(5{,}0-(-55{,}0))/3{,}6\ \text{m/s}\right]}{0{,}20\ \text{s}} = 6{,}7\times 10^3\ \text{N}$$

- La forza media con l'airbag è

$$F_{m,\ \text{airbag}} = \frac{m\Delta v}{\Delta t_{\text{airbag}}} = \frac{(80\ \text{kg})\left[(5{,}0-(-55{,}0))/3{,}6\ \text{m/s}\right]}{1{,}5\ \text{s}} = 8{,}9\times 10^2\ \text{N}$$

17 L'impulso I dovuto alla forza F applicata per $\Delta t = 0{,}30\ \text{s}$ è uguale alla quantità di moto acquisita dal carrello

$$p = mv:\ mv = F\Delta t \quad\Rightarrow\quad F = \frac{mv}{\Delta t} = \frac{(1{,}3\ \text{kg})(4{,}4\ \text{m/s})}{0{,}30\ \text{s}} = 19\ \text{N}$$

18 $$F_1\Delta t_1 = F_2\Delta t_2 \quad\Rightarrow\quad F_2 = \frac{F_1\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{(100\ \text{N})(3{,}0\ \text{s})}{1{,}0\ \text{s}} = 3{,}0\times 10^2\ \text{N}$$

19

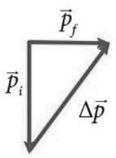
- $p_1 = mv_1 = (0{,}30\ \text{kg})(2{,}7\ \text{m/s}) = 0{,}81\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$; $p_2 = p_1 + I = 0{,}81\ \text{kg}\cdot\text{m/s} + 0{,}11\ \text{N}\cdot\text{s} = 0{,}92\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$

$$v_2 = \frac{p_2}{m} = \frac{0{,}92\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{0{,}30\ \text{kg}} = 3{,}1\ \text{m/s}$$

- $p_2 = p_1 + I = 0{,}81\ \text{kg}\cdot\text{m/s} - 0{,}11\ \text{N}\cdot\text{s} = 0{,}70\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$

$$v_2 = \frac{p_2}{m} = \frac{0{,}70\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{0{,}30\ \text{kg}} = 2{,}3\ \text{m/s}$$

20 ■



■ $p_i = (0,250 \text{ kg})(2,0 \text{ m/s}) = 0,500 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ verso sud

$p_f = (0,250 \text{ kg})\left(\dfrac{2,0 \text{ m/s}}{4}\right) = 0,125 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ verso est

$I = \sqrt{(0,125^2 + 0,50^2)} \text{ kg m/s} = 0,52 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

▶ 3. La conservazione della quantità di moto

21 Poiché la quantità di moto si conserva e quella iniziale è nulla, anche quella finale deve essere nulla, cioè i due carrelli devono avere quantità di moto opposte.

22 Poiché la quantità di moto si conserva e quella iniziale è nulla, le quantità di moto della ragazza e dello starnuto devono essere opposte:

$$p_{\text{starnuto}} = -m_{\text{ragazza}} v_{\text{ragazza}} = -(49 \text{ kg})(-2,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}) = 98 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

23 PROBLEMA SVOLTO

24 $m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad \Rightarrow \quad m_1 = m_2 \dfrac{v_2}{v_1} = (54 \text{ kg}) \dfrac{(4,0 \text{ m/s})}{(4,5 \text{ m/s})} = 48 \text{ kg}$

25 Il movimento dell'astronauta e del satellite avviene lungo una retta, per cui possiamo trascurare la natura vettoriale della quantità di moto e usare valori negativi per le velocità dirette verso lo Space-Shuttle. All'inizio le quantità di moto dell'astronauta $p_{i\ \text{astronauta}}$ e del satellite $p_{i\ \text{Shuttle}}$ sono nulle; a seguito della spinta, la quantità di moto totale non cambia, per cui si ha:

$$p_{f\ \text{astr}} + p_{f\ \text{Shuttle}} = p_{i\ \text{astr}} + p_{i\ \text{Shuttle}} = 0 \quad \Rightarrow \quad m_{\text{astr}} v_{f\ \text{astr}} + m_{\text{Shuttle}} v_{f\ \text{Shuttle}} = 0$$

Da questa relazione ricaviamo la velocità dell'astronauta:

$$v_{f\ \text{astr}} = -\frac{m_{\text{Shuttle}} v_{f\ \text{Shuttle}}}{m_{\text{astr}}} = -\frac{(1350 \text{ kg})(0,15 \text{ m/s})}{80 \text{ kg}} = -2,5 \text{ m/s}$$

Avendo scelto di usare valori negativi per le velocità dirette verso lo Space-Shuttle, la velocità dell'astronauta sarà 2,5 m/s, nel verso dello Space-Shuttle.

26 PROBLEMA MODELLO a pag. 390

27 Poiché le correnti ascensionali producono una spinta tale da bilanciare la forza-peso, consideriamo la sola direzione orizzontale. La quantità di moto totale iniziale è $p_{\text{tot},i} = p_{1,i} + p_{2,i} = m_1 v_1 + m_2 v_2$.

Dopo la cattura del pesce, l'aquila e il pesce hanno la stessa velocità. Quindi:

$$p_{\text{tot},f} = p_{1,f} + p_{2,f} = m_1 v_{1,f} + m_2 v_{2,f} = (m_1 + m_2) v_f$$

In assenza di forze d'attrito e con la risultante delle forze esterne nulla, per il principio di conservazione della quantità di moto, si ha $p_{\text{tot},i} = p_{\text{tot},f} \Rightarrow m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$. Quindi:

$$v_f = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(8,3\ \text{kg})\left(\dfrac{40}{3,6}\ \text{m/s}\right) + (1,6\ \text{kg})(1,0\ \text{m/s})}{8,3\ \text{kg} + 1,6\ \text{kg}} = 9,5\ \text{m/s} = 34\ \text{km/h}$$

28 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 391.

▶ 4. Gli urti

29 Applicando il principio di conservazione della quantità di moto, la velocità v_f con cui proseguono i due pattinatori di massa $m_1 = 70\ \text{kg}$ e $m_2 = 50\ \text{kg}$ che inizialmente hanno velocità $v_1 = 4,0\ \text{m/s}$ e $v_2 = -4,0\ \text{m/s}$ è data dalla relazione:

$$v_f = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(70\ \text{kg} \times 4,0\ \text{m/s}) + [50\ \text{kg} \times (-4,0\ \text{m/s})]}{70\ \text{kg} + 50\ \text{kg}} = 0,67\ \text{m/s}$$

Avendo assunto come positiva la velocità iniziale di lui, il risultato positivo della velocità finale indica che i due pattinatori proseguono nel verso iniziale di lui.

30 Applicando il principio di conservazione della quantità di moto si ricava la velocità finale dei due vagoni:

- $m_1 v_{i1} = (m_1 + m_2) v_f \quad \Rightarrow \quad v_f = \dfrac{m_1 v_{i1}}{m_1 + m_2} = \dfrac{(1,4 \times 10^3\ \text{kg})(0,50\ \text{m/s})}{2,8 \times 10^3\ \text{kg}} = 0,25\ \text{m/s}$
- $v_f = \dfrac{m_1 v_{i1} + m_2 v_{i2}}{m_1 + m_2} = \dfrac{(1,4 \times 10^3\ \text{kg} \times 0,50\ \text{m/s}) + (1,4 \times 10^3\ \text{kg} \times 0,30\ \text{m/s})}{2,8 \times 10^3\ \text{kg}} = 0,40\ \text{m/s}$

31
- Dalla conservazione della quantità di moto $m_1 v_{1,i} + 0 = m_1 v_{1,f} + m_2 v_{2,f}$, si ha

$$v_{1,f} = \frac{m_1 v_{1,i} - m_2 v_{2,f}}{m_1} = \frac{(6,0\,\text{kg})(8,2\,\text{m/s}) - (1,6\,\text{kg})(15\,\text{m/s})}{6,0\,\text{kg}} = 4,2\ \text{m/s}$$

- La palla procede in avanti con la velocità $v_{1,f}$, per la legge di conservazione della quantità di moto. Infatti, la velocità finale calcolata è positiva.

32 ▪ Applicando il principio di conservazione della quantità di moto si ricava la massa m_2 del secondo carrello:

$$m_1 v_{i1} = (m_1 + m_2) v_f \quad \Rightarrow \quad m_2 = m_1 \left(\frac{v_{i1}}{v_f} - 1 \right) = 2{,}6 \text{ kg} \left(\frac{3{,}2 \text{ m/s}}{2{,}1 \text{ m/s}} - 1 \right) = 1{,}4 \text{ kg}$$

▪ Prima dell'urto l'energia cinetica totale del sistema è quella del primo carrello:

$$K_i = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} (2{,}6 \text{ kg})(3{,}2 \text{ m/s})^2 = 13 \text{ J}$$

Dopo l'urto l'energia cinetica dei due carrelli uniti è

$$K_f = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_f^2 = \frac{1}{2} (2{,}6 \text{ kg} + 1{,}4 \text{ kg})(2{,}1 \text{ m/s})^2 = 8{,}8 \text{ J}$$

Quindi, nell'urto sono dissipati circa 4 J di energia meccanica.

33 Applicando il principio di conservazione della quantità di moto ai due carrelli di massa $m_1 = 0{,}250 \text{ kg}$ e $m_2 = 0{,}150 \text{ kg}$, che inizialmente hanno velocità $v_1 = 1{,}2 \text{ m/s}$ e $v_2 = 2{,}0 \text{ m/s}$, si ricava la velocità v_{f2} del secondo carrello a seguito dell'urto:

$$v_{f2} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_1 v_{f1}}{m_2} = \frac{(0{,}25 \text{ kg} \times 1{,}2 \text{ m/s}) + (0{,}15 \text{ kg} \times 2{,}0 \text{ m/s}) - (0{,}25 \text{ kg} \times 1{,}8 \text{ m/s})}{0{,}15 \text{ kg}} = 1{,}0 \text{ m/s}$$

34 PROBLEMA SVOLTO

35 ▪ Dai valori delle energie cinetiche ricaviamo le velocità finali $v_{1,f}$ e $v_{2,f}$ dei due palloni:

primo pallone: $K_{1,f} = \frac{1}{2} m v_{1,f}^2 \quad \Rightarrow \quad v_{1,f} = \sqrt{\frac{2K_{1,f}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}18 \text{ J}}{0{,}225 \text{ kg}}} = 3{,}24 \text{ m/s}$

secondo pallone: $K_{2,f} = \frac{1}{2} m v_{2,f}^2 \quad \Rightarrow \quad v_{2,f} = \sqrt{\frac{2K_{2,f}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 7{,}4 \times 10^{-2} \text{ J}}{0{,}225 \text{ kg}}} = 0{,}811 \text{ m/s}$

▪ $m v_{1,i} = m v_{1,f} + m v_{2,f} \quad \Rightarrow \quad v_{1,i} = v_{1,f} + v_{2,f} = 3{,}24 \text{ m/s} + 0{,}811 \text{ m/s} = 4{,}05 \text{ m/s}$

▪ Calcoliamo le energie cinetiche iniziale e finale del sistema dei due palloni:

$$K_i = K_{1,i} = \frac{1}{2} m v_{1,i}^2 = \frac{1}{2} (0{,}225 \text{ kg})(4{,}05 \text{ m/s})^2 = 1{,}85 \text{ J}$$

$$K_f = K_{1,f} + K_{2,f} = 1{,}18 \text{ J} + 7{,}4 \times 10^{-2} \text{ J} = 1{,}25 \text{ J}$$

▪ Parte dell'energia cinetica iniziale è stata dissipata, per cui l'urto non è perfettamente elastico.

5. Il momento angolare

36 Come in una centrifuga, quando si esercita la forza sul sedile con la mano per un tempo Δt, si produce un momento torcente M che fa variare il momento angolare di una quantità $\Delta L = M \Delta t$. Poiché non variano né la distanza dall'asse di rotazione né la massa dei passeggeri sulla giostrina, allora deve essere il valore della velocità ad aumentare.

37 Scalare.

38 $$L = rmv = \frac{d}{2} mv = \left(\frac{7{,}7 \times 10^8 \text{ m}}{2} \right) (7{,}4 \times 10^{22} \text{ kg})(1{,}0 \times 10^3 \text{ m/s}) = 2{,}8 \times 10^{34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

39 Dall'espressione del momento angolare nel moto circolare si ottiene

$$L = mrv \quad \Rightarrow \quad v = \frac{L}{mr} = \frac{1{,}2\times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{(80 \text{ kg})(30 \text{ m})} = 5{,}0 \text{ m/s}$$

40 $L = m\omega r^2 = (2{,}0\times 10^{-3} \text{ kg})(1{,}4 \text{ rad/s})(0{,}18 \text{ m})^2 = 9{,}1\times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$

41 Dalla relazione $L = m\omega r^2$ si ottiene

$$\omega = \frac{L}{mr^2} = \frac{1{,}9\times 10^3 \ \dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}}}{(45 \text{ kg})(4{,}0 \text{ m})^2} = 2{,}6 \text{ rad/s} = 25 \text{ rpm}$$

42 Dalla formula del momento angolare troviamo

$$L = I\omega = (6{,}5\times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2)\left(4{,}3\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 2{,}8\times 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$$

43 Dalla relazione $L = I\omega$ e tenendo conto che $\omega = 597 \text{ rpm} = 597\times\left(\dfrac{2\pi}{60} \text{ rad/s}\right) = 62{,}5 \text{ rad/s}$ si ottiene

$$I = \frac{L}{\omega} = \frac{5{,}45 \ \dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}}}{62{,}5 \text{ rad/s}} = 8{,}72\times 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

44 $\dfrac{L_T}{L_M} = \dfrac{r_T m_T v_T}{r_M m_M v_M} = \dfrac{10}{(1{,}5)(0{,}82)} = 8{,}1$

45 In questa situazione il momento angolare si conserva, per cui vale la condizione $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$, da cui si trova

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{I_1}{I_2} = \left(8{,}2\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)\frac{12 \text{ kg}\cdot\text{m}^2}{9{,}7 \text{ kg}\cdot\text{m}^2} = 10 \text{ rad/s}$$

46 Poiché il momento angolare si conserva si ha

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \Rightarrow I_2 = I_1\frac{\omega_1}{\omega_2} = (20{,}5 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)\left(\frac{2{,}51 \text{ rad/s}}{0{,}402 \text{ rad/s}}\right) = 128 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

47
- Il momento angolare iniziale della centrifuga è

  $$L_1 = I\omega_1 = (0{,}45 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)\left(51\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 23 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$$

- Il motore determina una variazione del momento angolare che vale:
  $\Delta L = M\Delta t = (3{,}2 \text{ N}\cdot\text{m})(3{,}7 \text{ s}) = 12 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$
  Così il momento angolare finale della centrifuga risulta
  $L_2 = L_1 + \Delta L = (23+12) \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s} = 35 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$

  e la sua velocità angolare finale è $\omega_2 = \dfrac{L_2}{I} = \dfrac{35 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{0{,}45 \text{ kg}\cdot\text{m}^2} = 78 \text{ rad/s}$.

48

- $m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A \Rightarrow v'_A = v_A + \frac{m_B}{m_A} v_B = -2,0 \text{ m/s}$
- L'urto è anelastico perché l'energia cinetica totale non si conserva:

$$K_i = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = 85 \text{ J}$$

$$K_f = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 = 10 \text{ J}$$

- $\Delta K = -75 \text{ J}$

49 Indichiamo con m la massa dei vagoncini e con v_1 e v_2 le loro velocità finali. Dalla conservazione della quantità di moto abbiamo

$$mv_1 + mv_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v_2 = -v_1$$

La condizione di conservazione dell'energia diventa, allora

$$\frac{1}{2} ks^2 = \frac{1}{2} mv_1^2 + \frac{1}{2} mv_2^2 \quad \Rightarrow \quad ks^2 = 2mv_1^2$$

Calcoliamo allora il modulo delle velocità:

$$|v_2| = |v_1| = \sqrt{\frac{ks^2}{2m}} = \sqrt{\frac{(500 \text{ N/m})(0,057 \text{ m})^2}{2(0,36 \text{ kg})}} = 1,5 \text{ m/s}$$

50 $$L_P = L_A \quad \Rightarrow \quad r_P m v_P = r_A m v_A \quad \Rightarrow \quad v_P = \frac{v_A r_A}{r_P} = \frac{(9,1 \times 10^2 \text{ m/s})(5,2 \times 10^2 \text{ m})}{(8,8 \times 10^{10} \text{ m})} = 5,4 \times 10^4 \text{ m/s}$$

51 $$\frac{L_A}{m} = r_A v_A = (1,52 \times 10^{11} \text{ m})(2,93 \times 10^4 \text{ m/s}) = 4,45 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{L_P}{m} = r_P v_P = (1,47 \times 10^{11} \text{ m})(3,03 \times 10^4 \text{ m/s}) = 4,45 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$$

52

- $\omega_i = \frac{2\pi}{T_i} = \frac{2\pi}{(30,0 \text{ d})(24 \text{ h/d})(3600 \text{ s/h})} = 2,42 \times 10^{-6} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- Il momento angolare si conserva:

$$L_i = I_i \omega_i = \frac{2}{5} m r_i^2 \omega_i; \quad L_f = I_f \omega_f = \frac{2}{5} m r_f^2 \omega_f$$

$$L_i = L_f \Rightarrow r_i^2 \omega_i = r_f^2 \omega_f$$

$$\omega_f = \left(\frac{r_i}{r_f}\right)^2 \omega_i = \left(\frac{7,00 \times 10^5 \text{ km}}{15,0 \text{ km}}\right)^2 (2,42 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}) = 5,27 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$$

$$f_f = \frac{\omega_f}{2\pi} = \frac{5,27 \times 10^3 \text{ s}^{-1}}{2\pi} \simeq 839 \text{ Hz}$$

53 $$I_A = mr^2 + m(2r)^2 = 5mr^2; \; I_B = mr^2 + mr^2 = 2mr^2$$

Quando il sistema ruota intorno ad A il momento d'inerzia è maggiore, infatti una delle due sfere rimanenti, la sfera C, ha distanza doppia dall'asse di rotazione.

54 Nel sistema di riferimento in cui Dimorphos è fermo prima dell'urto, la velocità della sonda DART coincide con la velocità di impatto relativa v_i. In questo sistema di riferimento, dopo l'urto l'asteroide si muoverà con una velocità di circa 0,5 mm/s. Assumendo l'urto completamente anelastico, abbiamo:

$$m_{\text{DART}} v_i = \left(m_{\text{DART}} + m_{\text{Dimorphos}}\right) v_f \Rightarrow$$
$$v_i = \frac{m_{\text{DART}} + m_{\text{Dimorphos}}}{m_{\text{DART}}} v_f \approx \frac{m_{\text{Dimorphos}}}{m_{\text{DART}}} v_f =$$
$$= \frac{5\times10^9 \text{ kg}}{5{,}5\times10^2 \text{ kg}}\left(5\times10^{-4} \text{ m/s}\right) = 4{,}55\times10^3 \text{ m/s} \approx 2\times10^4 \text{ km/h}$$

Nella seconda riga abbiamo trascurato la massa della sonda rispetto a quella dell'asteroide.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B

2 D

3 A

4 C

5 Il modulo della quantità di moto della prima auto è $p_1 = m_1 v_1 = (1100 \text{ kg})(29 \text{ m/s}) = 3{,}2\times10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$.

Quello della seconda auto risulta $p_2 = m_2 v_2 = (1300 \text{ kg})(20 \text{ m/s}) = 2{,}6\times10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$.

Visto che i due vettori quantità di moto sono perpendicolari tra loro, il modulo della loro somma è

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{\left(3{,}2\times10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}\right)^2 + \left(2{,}6\times10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}\right)^2} = 4{,}1\times10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$$

6 $$\bar{F} = \frac{|\Delta p|}{\Delta t} = \frac{10{,}1 \text{ kg}\cdot\text{m/s} - 4{,}3 \text{ kg}\cdot\text{m/s}}{0{,}52 \text{ s}} = 11 \text{ N}$$

7 $$L = m\omega r^2 = \left(4{,}867\times10^{24} \text{ kg}\right)\left(3{,}24\times10^{-7} \text{ rad/s}\right)\left(1{,}082\times10^{11} \text{ m}\right)^2 = 1{,}85\times10^{40} \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$$

8
- Dal principio di conservazione della quantità di moto ricaviamo la velocità v_1' del blocco di metallo dopo l'urto:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$
$$\Rightarrow \quad v_1' = \frac{m_1 v_1 + m_2\left(v_2 - v_2'\right)}{m_1} = \frac{(0{,}2 \text{ kg}\times 4{,}0 \text{ m/s}) + \left[(0{,}12 \text{ kg})(-5{,}0 \text{ m/s})\right]}{0{,}2 \text{ kg}} = 1{,}0 \text{ m/s}$$

- L'energia cinetica totale prima dell'urto è quella del solo blocco di metallo:

$$K_i = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2}(0{,}2 \text{ kg})(4{,}0 \text{ m/s})^2 = 1{,}6 \text{ J}$$

mentre quella finale è la somma di quelle dei due blocchi:

$$K_f = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 = \frac{1}{2}(0{,}2 \text{ kg})(1{,}0 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2}(0{,}12 \text{ kg})(5{,}0 \text{ m/s})^2 = 1{,}6 \text{ J}$$

Quindi l'urto è elastico.

ALLENATI CON ALTRI 10 ESERCIZI

1

- Convertiamo le velocità in metri al secondo:

$$9,0\ \text{km/h} = \left(\frac{9,0}{3,6}\right)\ \text{m/s} = 2,5\ \text{m/s}$$

$$36\,\text{km/h} = \left(\frac{36}{3,6}\right)\ \text{m/s} = 10\ \text{m/s}$$

I moduli delle quantità di moto iniziale e finale sono, rispettivamente:

$$p_i = mv_i = (380\,\text{kg})(2,5\ \text{m/s}) = 950\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$$

$$p_f = mv_f = (380\,\text{kg})(10\,\text{m/s}) = 3800\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$$

Quindi la variazione è $\Delta p = 3800\,\text{kg}\cdot\text{m/s} - 950\,\text{kg}\cdot\text{m/s} = 2900\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$.

- I moduli della quantità di moto iniziale e della quantità di moto finale sono uguali e pari a $3800\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$. Poiché le due quantità di moto sono vettori che formano un angolo di 90° tra di loro, si ha
$\Delta p = 3800\,\text{kg}\cdot\text{m/s}\times\sqrt{2} = 5400\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$

2

- Convertiamo la velocità in metri al secondo: $90\,\text{km/h} = \left(\frac{90}{3,6}\right)\ \text{m/s} = 25\,\text{m/s}$. Il modulo della quantità di moto iniziale è $p = mv = (1400\,\text{kg})(25\,\text{m/s}) = 35000\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$, mentre quella finale è nulla. La variazione è quindi
$\Delta p = 0\,\text{kg}\cdot\text{m/s} - 35000\,\text{kg}\cdot\text{m/s} = -35000\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$
- La forza frenante corrisponde alla risultante delle forze. Dal teorema dell'impulso si ha
$I = \Delta p = -35000\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$
- Invertiamo la formula $I = F\Delta t$ e otteniamo $F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{-35000\,\text{kg}\cdot\text{m/s}}{9,2\ \text{s}} = 3800\,\text{N}$.

3

La velocità angolare della giostra in piena velocità è $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{6,20\ \text{s}} = 1,01\ \text{rad/s}$.

Quando la giostra si mette in movimento il momento angolare varia da zero a
$L_f = I\omega = (8400\,\text{kg}\cdot\text{m}^2)(1,01\ \text{rad/s}) = 8480\,\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s} = \Delta L$

Invertiamo la [10] e troviamo $M_{\text{tot}} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{8480\,\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{5,5\ \text{s}} = 1540\,\text{N}\cdot\text{m}$.

4

- Prima dell'urto un vagone è fermo e quindi ha quantità di moto nulla, mentre l'altro ha quantità di moto $p = mv = m(10\,\text{km/h})$. Tale quantità di moto corrisponde anche a quella del sistema e si conserva dopo l'urto. La velocità dei due vagoni dopo che si sono agganciati è $v = \frac{p}{m} = \frac{m(10\,\text{km/h})}{2m} = 5,0\ \text{km/h}$.
- Prima dell'urto la quantità di moto totale è $p = mv_1 + mv_2 = m(15\ \text{km/h}) + m(-10\ \text{km/h}) = m(5,0\ \text{km/h})$.
La velocità dei due vagoni dopo che si sono agganciati è $v = \frac{p}{m} = \frac{m(5,0\ \text{km/h})}{2m} = 2,5\ \text{km/h}$.

5 ■ Spingendo Arianna con la forza indicata, Bernardo riceve una forza uguale e contraria per un intervallo di tempo uguale. L'impulso sia della forza su Arianna sia della forza su Bernardo ha lo stesso modulo e corrisponde al modulo della loro quantità di moto finale. Le loro velocità sono quindi:

$v_A = \frac{p}{m_A} = \frac{F\Delta t}{m_A} = \frac{(62\,\text{N})(0,44\text{ s})}{48\,\text{kg}} = 0,57\text{ m/s}$ e $v_B = \frac{p}{m_B} = \frac{F\Delta t}{m_B} = \frac{(62\,\text{N})(0,44\text{ s})}{55\,\text{kg}} = 0,50\text{ m/s}$.

■ La forza esercitata da Bernardo è una forza interna al sistema costituito da lui e Arianna. Non può quindi cambiare la quantità di moto totale del sistema e, visto che all'inizio entrambi erano fermi, tale quantità di moto resta nulla anche dopo la spinta.

6 ■ Usiamo la formula [10] per trovare la variazione del momento angolare:

$\Delta L = M_{\text{tot}}\Delta t = (1,4\text{ N}\cdot\text{m})(2,0\text{ s}) = 2,8\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$

L'asta parte da ferma, quindi il suo momento angolare iniziale è nullo e la variazione coincide col valore finale.

$L_f = L_i + \Delta L = \Delta L = 2,8\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$

Se l'asta ruota intorno ad A, la massa in B dista 0,45 m dal centro di rotazione e la massa in B dista dal centro il doppio di tale valore, ossia 2 × 0,45 m = 0,90 m.

Il momento d'inerzia dell'asta è dunque $I = mr_1^2 + mr_2^2 = (2,1\text{ kg})(0,45\text{ m})^2 + (2,1\text{ kg})(0,90\text{ m})^2 = 2,1\text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

La velocità angolare raggiunta vale $\omega_f = \frac{L_f}{I} = \frac{2,8\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{2,1\text{ kg}\cdot\text{m}^2} = 1,3\text{ rad/s}$.

■ Il momento angolare finale dell'asta è lo stesso, perché uguale è il momento delle forze e il tempo per il quale viene applicato. Il momento d'inerzia è invece diverso perché il punto di rotazione si è spostato ed è

$I = mr_1^2 + mr_2^2 = (2,1\text{ kg})(0,45\text{ m})^2 + (2,1\text{ kg})(0,45\text{ m})^2 = 0,85\text{ kg}\cdot\text{m}^2$

La velocità angolare finale è quindi $\omega_f = \frac{L_f}{I} = \frac{2,8\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{0,85\text{ kg}\cdot\text{m}^2} = 3,3\text{ rad/s}$.

7 ■ Prima dell'urto il bersaglio è fermo e quindi ha quantità di moto nulla, mentre la freccia ha quantità di moto:

$p = m_f v_f = (0,080\text{ kg})(25\,\text{m/s}) = 2,0\text{ kg}\cdot\text{m/s}$

La quantità di moto iniziale del sistema è quindi uguale a 2,0 kg · m/s e coincide con quella finale. La velocità di freccia e bersaglio dopo l'urto sarà dunque $v = \frac{p}{m_b + m_f} = \frac{2,0\text{ kg}\cdot\text{m/s}}{2,4\text{ kg} + 0,080\text{ kg}} = 0,81\text{ m/s}$.

■ La forza d'attrito col piano del bersaglio con la freccia conficcata è

$F_d = \mu_d mg = 0,30 \times (2,48\text{ kg})(9,81\text{ m/s}^2) = 7,3\text{ N}$

e agisce in senso inverso al moto. Dopo l'urto della freccia, questa forza corrisponde alla forza risultante. Applichiamo il teorema dell'impulso e ricaviamo

$\Delta t = \frac{\Delta p}{F_d} = \frac{-2,0\text{ kg}\cdot\text{m/s}}{-7,3\text{ N}} = 0,27\text{ s}$

8 Per la conservazione dell'energia meccanica $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2\left(9,8\ \text{m/s}^2\right)\left(0,60\ \text{m}\right)} = 3,4\ \text{m/s}$. La quantità di moto del carrello è $p = mv = \left(0,30\ \text{kg}\right)\left(3,4\ \text{m/s}\right) = 1,0\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$; è anche quella del sistema e si conserva dopo l'urto. La velocità dei carrelli dopo che si sono incastrati è quindi $v = \dfrac{p}{m} = \dfrac{1,0\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{0,80\ \text{kg}} = 1,3\ \text{m/s}$.

9 Il tempo di caduta del proiettile è $\Delta t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} = \sqrt{\dfrac{2\times\left(100\,\text{m}\right)}{\left(9,81\ \text{m/s}^2\right)}} = 4,52\ \text{s}$ e la sua velocità orizzontale è

$v_x = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{2100\,\text{m}}{4,52\ \text{s}} = 465\,\text{m/s}$. Questo significa che la quantità di moto del proiettile subito dopo lo sparo è

$p = mv_x = \left(20\,\text{kg}\right)\left(465\,\text{m/s}\right) = 9300\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$. Poiché la quantità di moto iniziale del sistema era nulla e tale resta dopo lo sparo, il cannone deve avere una quantità di moto opposta. Possiamo quindi ricavare il modulo della sua velocità di rinculo:

$$v = \frac{p}{m} = \frac{9300\,\text{kg}\cdot\text{m/s}}{2500\,\text{kg}} = 3,7\ \text{m/s}$$

10 La velocità del carello di minor massa è $v_1 = \dfrac{\Delta s_1}{\Delta t} = \dfrac{0,75\ \text{m}}{1,2\ \text{s}} = 0,63\ \text{m/s}$, quindi il modulo della sua quantità di moto è

$p_1 = m_1 v_1 = \left(0,15\ \text{kg}\right)\left(0,63\ \text{m/s}\right) = 0,095\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$.

Poiché la quantità di moto iniziale totale era nulla e tale resta dopo l'azione della molla, il carrello di massa maggiore deve avere una quantità di moto p_2 opposta. Possiamo quindi ricavare il modulo della sua velocità:

$$v_2 = \frac{p_2}{m_2} = \frac{0,095\ \text{kg}\cdot\text{m/s}}{0,25\ \text{kg}} = 0,38\ \text{m/s}$$

e il tempo che impiega a percorrere la distanza indicata:

$$\Delta t = \frac{\Delta s_2}{v_2} = \frac{0,64\ \text{m}}{0,38\ \text{m/s}} = 1,7\ \text{s}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 13

La temperatura e i gas

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Il termometro e le scale di temperatura

pag. 395

$\Delta T = 35 \pm 0,5\ °C - 25 \pm 0,5\ °C = 10\ °C \pm 1\ °C$

pag. 398

- L'energia cinetica media raddoppia.
- Aumenta del fattore $\dfrac{(80+273)\,K}{(40+273)\,K} = 1,3$.

2. La dilatazione termica

pag. 400

Il termometro ad acqua non sarebbe adatto perché, a partire da 4 °C, il volume dell'acqua aumenta sia se la temperatura sale sia se la temperatura scende, quindi in un termometro il livello di acqua nel tubicino si alzerebbe in entrambi i casi e non si potrebbe distinguere tra un aumento e una diminuzione di temperatura.

4. Volume e pressione di un gas a temperatura costante

pag. 408

Gli urti delle molecole contro le pareti aumentano.

5. Il gas perfetto

pag. 410

$N = 1,70\times10^{24}$ è il numero di molecole in 2,83 mol di metano, quindi la loro massa è

$m = \left(1,70\times10^{24}\right)\left[16,0\left(1,6605\times10^{-27}\ \text{kg}\right)\right] = 45,2\ \text{g}$

TEST

1 A
2 C
3 A
4 C

segue

5 B

6 D

7 D

8 A

9 D

10 C

11 D

12 C

ESERCIZI

1. Il termometro e le scale di temperatura

1 Perché abbiamo bisogno di temperature fisse, che non cambino a seconda dell'esperimento considerato.

2 (–18 + 273) K= 255 K; unità kelvin simbolo K.

3 L'aumento di temperatura in gradi Celsius è pari all'aumento di temperatura in kelvin:

$\Delta t = 20\ °\text{C} \Rightarrow \Delta T = 20\ \text{K}$

$T_f = T_i + \Delta T = 298\ \text{K} + 20\ \text{K} = 318\ \text{K} \Rightarrow t_f = (318 - 273)°\text{C} = 45\ °\text{C}$

4 $T_{\text{Mars}} = 210\ \text{K} \Rightarrow t_{\text{Mars}} = (T_{\text{Mars}} - 273)°\text{C} = (210 - 273)°\text{C} = -63\ °\text{C}$

$T_{\text{Venus}} = 726\ \text{K} \Rightarrow t_{\text{Venus}} = (T_{\text{Venus}} - 273)°\text{C} = (726 - 273)°\text{C} = 453\ °\text{C}$

5 È in arrivo una corrente d'aria fredda dai Balcani, che provocherà una diminuzione della temperatura di 10 in media. Le temperature minime toccheranno i 268 K.

6 $\Delta t = \Delta T = (36 - 7)°\text{C} = 29\ °\text{C} = 29\ \text{K}$

7 $t_f = -210\ °\text{C} \Rightarrow T_f = -210 + 273 = 63\ \text{K}$

$\Delta T = T_{eb} - T_f = 77 - 63 = 14\ \text{K}$

8 Sì. La temperatura di 322,0 K corrisponde a $(322,0 - 273,2)°\text{C} = 48,8\ °\text{C}$. Questa temperatura è maggiore di quella di fusione della cera.

9
- $t = -89,2\ °\text{C} \;\Rightarrow\; T = (t + 273)\text{K} = (-89,2 + 273)\text{K} = 184\ \text{K}$
- $\Delta t = \Delta T = [-49,6 - (-89,2)]°\text{C} = 39,6\ °\text{C} = 39,6\ \text{K}$

10 $K_{\text{media}} = \dfrac{3}{2}k_{\text{B}}T = \dfrac{3}{2}(1,381 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(455\ \text{K}) = 9,42 \times 10^{-21}\ \text{J}$

11 $K_{\text{media}} = \dfrac{3}{2}k_{\text{B}}T = \dfrac{3}{2}(1,381 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(273 + 17)\text{K} = 6,0 \times 10^{-21}\ \text{J}$

12
- $K_{\text{media}} = \dfrac{3}{2}k_{\text{B}}T = \dfrac{3}{2}(1,381 \times 10^{-23}\ \text{J/K})\left(\dfrac{512\ \text{K}}{2}\right) = 5,30 \times 10^{-21}\ \text{J}$
- $\Delta K_{\text{media}} = K_{f,\text{media}} - K_{i,\text{media}} = \dfrac{3}{2}k_{\text{B}}\dfrac{T}{2} - \dfrac{3}{2}k_{\text{B}}T = -\dfrac{3}{2}k_{\text{B}}\dfrac{T}{2} = -\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{3}{2}k_{\text{B}}T\right)$

13 $$\Delta K_{\text{media}} = \frac{3}{2}k_B\Delta T \quad \Rightarrow \quad T_f = T_i + \frac{2\Delta K_{\text{media}}}{3k_B} = 295\ \text{K} + \frac{2\times 3,20\times 10^{-22}\ \text{J}}{3\times 1,381\times 10^{-23}\ \text{J/K}} = 310\ \text{K}$$

2. La dilatazione termica

14 No: quello che interessa è la variazione di temperatura, che non cambia se espressa in kelvin o gradi Celsius.

15 No, non è corretto, e si può vedere ad esempio dalla formula $l = l_i(1+\lambda\Delta t)$. È corretto invece dire che la variazione di lunghezza della barra è proporzionale alla variazione di temperatura.

16 Prima aumenta (fino a 0 °C), poi diminuisce.

17 $$l = l_i\left(1+\lambda\Delta t\right) = \left(25,47\ \text{km}\right)\left[1+\left(2,31\times 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(55,0-12,5\right)°\text{C}\right] = 25,50\ \text{km}$$

18 $$\Delta V = V - V_i = \alpha V_i \Delta t = \left(182\times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}\right)\left(10,0\ \text{cm}^3\right)\left(373-273\right)\text{K} = 182\times 10^{-3}\ \text{cm}^3 = 0,182\ \text{cm}^3$$

19 $$\Delta V = V_i \alpha \Delta t = \left(270\ \text{L}\right)\left(210\times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(90\ °\text{C} - 10\ °\text{C}\right) = 4,5\ \text{L}$$

20 $$\alpha = 3\lambda = 3\times\left(7,5\times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}\right) = 23\times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$$

21 Si trova $a = 3\lambda = 3\left(1,4\times 10^{-5}\ \text{K}^{-1}\right) = 4,2\times 10^{-5}\ \text{K}^{-1}$

22 Il coefficiente di dilatazione volumica dell'olio di oliva è $\alpha = 7,2\times 10^{-4}\ \text{K}^{-1} = 7,2\times 10^{-4}\ °\text{C}^{-1}$

Applicando la relazione $V = V_i\left(1+\alpha\Delta T\right)$, si ottiene che il volume finale è

$$V = 2,00\ \text{L}\times\left[1+\frac{7,2\times 10^{-4}}{°\text{C}}\times\left(32,0-15,0\right)\ °\text{C}\right] = 2,02\ \text{L}$$

23 L'aumento di volume del petrolio vale 31 L mentre l'aumento di temperatura vale 70 K. Quindi, si ottiene

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_i \Delta T} = \frac{31\ \text{L}}{\left(430\ \text{L}\right)\left(70\ \text{K}\right)} = 1,0\times 10^{-3}\ \text{K}^{-1}$$

24 L'aumento di volume richiesto è 0,65 L; quindi si ottiene

$$\Delta T = \frac{\Delta V}{\alpha V_i} = \frac{0,65\ \text{L}}{\left(7,2\times 10^{-4}\ \text{K}^{-1}\right)\left(19,35\ \text{L}\right)} = 47\ \text{K}$$

25 $$\Delta T = \frac{\Delta l}{l_i \lambda} = \frac{\left(5,059\,\text{m} - 5,000\,\text{m}\right)}{\left(5,000\,\text{m}\right)\left(1,18\times 10^{-5}\,\text{K}^{-1}\right)} = 1000\,\text{K}$$

$$\Delta t = 1000\,°\text{C}$$

$$t_i = t_f - \Delta t = 1000\,°\text{C} - 1000\,°\text{C} = 0\,°\text{C}$$

L'operazione si svolge d'inverno.

26 PROBLEMA SVOLTO

27 $\Delta l = l_i \lambda \Delta t \quad \Rightarrow \quad \lambda = \dfrac{\Delta l}{l \Delta t_i} = \dfrac{2,42\times10^{-3}\ \text{m}}{(1,5\ \text{m})(90-20)\,°\text{C}} = 2,3\times10^{-5}\ \text{K}^{-1}$

28 $\Delta T = \dfrac{\Delta l}{\lambda l_i} = \dfrac{3,1\times10^{-3}\ \text{m}}{(1,8\times10^{-5}\ \text{K}^{-1})(2,40\ \text{m})} = 72\ \text{K}$

29 $\Delta l = l_i \lambda \Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \dfrac{\Delta l}{l_i \lambda} = \dfrac{0,15\ \text{cm}}{(55\ \text{cm})(16,5\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})} = 1,65\times10^{2}\ °\text{C}$

$t = t_0 + \Delta t = (20+165)\,°\text{C} = 1,85\times10^{2}\ °\text{C} \simeq 1,9\times10^{2}\ °\text{C}$

30 $\lambda = \dfrac{802\ \text{mm} - 801\ \text{mm}}{(800,5\ \text{mm})(40\ °\text{C})} = 3,1\times10^{-5}\ °\text{C}^{-1}$

31
- $\Delta l = l_i \lambda \Delta t = (1,500\times10^{3}\ \text{m})(14\times10^{-6}\ \text{K}^{-1})[40-(-10)]\text{K} = 1,05\ \text{m}$
- $l_f = l_i + \Delta l = 1,500\times10^{3}\ \text{m} + 1\ \text{m} = 1,501\times10^{3}\ \text{m}$

32 Calcoliamo l'accorciamento del binario dovuto all'escursione termica:

$\Delta l = l_i \lambda \Delta t = (48,00\ \text{m})(1,3\times10^{-5}\ °\text{C}^{-1})[-23,2-42,6]\,°\text{C} = -4,1\times10^{-2}\ \text{m}$

$l_f = l_i + \Delta l = 48,00\ \text{m} - 0,041\ \text{m} = 47,96\ \text{m}$

33 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 418

34 PROBLEMA MODELLO a pag. 419

35 Il coefficiente di dilatazione volumica è $\alpha = 3\lambda$, si ha quindi

$V = V_i(1+\alpha\Delta t) = V_i(1+3\lambda\Delta t) \quad \Rightarrow$

$$\Delta t = \frac{1}{3\lambda}\left(\frac{V}{V_i}-1\right) = \frac{1}{3\lambda}\left(\frac{V_i+0,023V_i}{V_i}-1\right) = \frac{1}{3\times1,65\times10^{-5}\ °\text{C}^{-1}}(1,013-1) = 2,6\times10^{2}\ °\text{C}$$

36
- Il volume iniziale V_i viene calcolato come somma dei volumi di un parallelepipedo e di una piramide:

  $$V_i = A_b \times h_1 + \frac{A_b \times h_2}{3} = (1,80\ \text{cm})^2(5,40\ \text{cm}) + \frac{(1,80\ \text{cm})^2(4,3\ \text{cm})}{3} = 22,14\ \text{cm}^3$$

  La variazione percentuale di volume è

  $$\frac{V-V_i}{V_i}\times100 = \frac{(22,20-22,14)\text{cm}^3}{22,14\,\text{cm}^3}\times100 = 2,71\times10^{-3}\times100 \simeq 0,27\,\%$$

- Applicando la relazione inversa per la dilatazione volumica si ottiene

  $$\Delta t = \frac{\Delta V}{3\lambda V_i} = \frac{2,71\times10^{-3}}{3(11,8\times10^{-6}\ °\text{C})} \simeq 76,55\ °\text{C} \simeq 77\ °\text{C}$$

37 La variazione di volume dovuta all'incremento di temperatura è

$$\Delta V = V - V_i = \alpha V_i \Delta t = \left(0{,}53\times10^{-3}\ °C^{-1}\right)\left(120\ dm^3\right)\left(30\ °C\right) = 1{,}91\ dm^3 = 1{,}91\times10^3\ cm^3$$

$$h_i = \frac{V_i}{S} = \frac{120\times10^3\ cm^3}{\pi\frac{(50{,}0\ cm)^2}{4}} = 61{,}1\ cm$$

$$h_f = \frac{V}{S} = \frac{V_i + \Delta V}{S} = \frac{\left(120\times10^3 + 1910\right)\ cm^3}{\pi\frac{(50{,}0\ cm)^2}{4}} = 62{,}1\ cm$$

$\Delta h = h_f - h_i = (62{,}1 - 61{,}1)\ cm = 1{,}0\ cm > 0$ Poiché il risultato è positivo l'altezza è aumentata.

38 $$V = V_i\left(1+\alpha\Delta t\right) \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{3\lambda}\left(\frac{V}{V_i}-1\right)$$

$$t = t_i + \Delta t = 20\ °C + \frac{1}{3\times\left(12\times10^{-6}\ °C^{-1}\right)}\left(\frac{12{,}4\ cm^3}{12{,}2\ cm^3}-1\right) = 475\ °C \approx 5\times10^2\ °C$$

39 $$V = V_i\left(1+\alpha\Delta t\right) \quad\Rightarrow\quad \Delta t = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{V}{V_i}-1\right) = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{V}{0{,}942V}-1\right) = \frac{1}{\alpha}0{,}06157$$

$$t = t_i + \Delta t = 20\ °C + \frac{0{,}06157}{1{,}12\times10^{-3}\ °C^{-1}} = 75\ °C$$

3. Trasformazioni di un gas a pressione o volume costante

40 Il gas subisce una trasformazione isocora.

41 Il volume, trattandosi di un recipiente rigido e chiuso ermeticamente.

42 Perché l'aumento del volume finale (per la prima legge di Gay-Lussac) potrebbe far esplodere la scatola.

43 Una trasformazione isocora.

44 $$V = \frac{V_0}{T_0}T = \left(\frac{2{,}50\times10^{-4}\ m^3}{273\ K}\right)(35+273)\ K = 2{,}8\times10^{-4}\ m^3$$

45 $$\frac{V_f}{T_f} = \frac{V_i}{T_i} \Rightarrow \frac{2V_i}{T_f} = \frac{V_i}{T_i} = \frac{V_o}{T_0} \Rightarrow T_f = 2T_i \Rightarrow T_i = \frac{T_f}{2} = \frac{800\ K}{2} = 400\ K$$

46
- $$V = V_0\left(1+\alpha t\right) \Rightarrow \alpha = \frac{V - V_0}{V_0 t} = \frac{4{,}8\times10^{-3}\ m^3 - 2{,}5\times10^{-3}\ m^3}{2{,}5\times10^{-3}\ m^3 \times 251\ °C} = 3{,}7\times10^{-3}\ °C^{-1}$$
- $$\frac{1}{273\ °C^{-1}} = 3{,}7\times10^{-3}\ °C$$

47 PROBLEMA SVOLTO

48 $$V_1 = V_0(1+\alpha t_1)\ ;\ V_2 = V_0\left(1+\alpha t_2\right) \quad\Rightarrow\quad V_2 = V_1\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_1} = (2{,}50\ L)\frac{1+\left(100\ °C / 273\ °C\right)}{1+\left(20\ °C / 273\ °C\right)} = 3{,}18\ L$$

49 $$\frac{V_f}{T_f}=\frac{V_i}{T_i}\Rightarrow T_f=\frac{V_f}{V_i}T_i=\frac{3V_i}{V_i}T_i=3T_i$$

$$\Delta T=T_f-T_i=3T_i-T_i=2T_i=2\times(20+273)\text{ K}=586\text{ K}=586\text{ °C}$$

50 $$T=\frac{T_0}{p_0}p=\frac{[(273+16)\text{K}]}{5,0\times10^5\text{ Pa}}(5,5\times10^5\text{ Pa})=317,9\text{ K}=44,9\text{°C}\simeq45\text{°C}$$

51 $$T=\frac{T_0}{P_0}p=\frac{[(273+0)\text{K}]}{1000\text{ mmHg}}(1012\text{ mmHg})\simeq276\text{ K}=3,3\text{ °C}$$

52 $$V_f=\frac{T_f}{T_i}V_i\Rightarrow\Delta V=V_f-V_i=\frac{T_f}{T_i}V_i-V_i=\left(\frac{T_f}{T_i}-1\right)V_i$$

$$\Delta V_{\%}=\frac{\Delta V}{V_i}=\frac{\left(\frac{T_f}{T_i}-1\right)V_i}{V_i}=\left(\frac{T_f}{T_i}-1\right)=\frac{(100+273)\text{K}}{273\text{ K}}-1=0,37=37\%$$

53 $$\frac{V_f}{T_f}=\frac{V_i}{T_i}\Rightarrow T_f=\frac{V_f}{V_i}T_i=\frac{V_i+\frac{1}{10}V_i}{V_i}T_i=\frac{11}{10}\times273\text{ K}=300\text{ K}=27\text{ °C}$$

54
- $$\frac{V_f}{T_f}=\frac{V_i}{T_i}\Rightarrow V_i=\frac{T_i}{T_f}V_f=\frac{(120+273)\text{K}}{(15+273)\text{ K}}(3,0\times10^{-3}\text{ m}^3)=4,1\times10^{-3}\text{ m}^3$$
- La trasformazione è rappresentata da una retta orizzontale posizionata in corrispondenza del valore 101 kPa. Il punto iniziale corrisponde al volume maggiore (4,1 L) e la trasformazione procede nel verso della riduzione del volume fino al valore 3,0 L.

55
- La trasformazione avviene a volume costante, quindi si applica la seconda legge di Gay-Lussac. Dal grafico e dal testo si vede che si ha: $T_i=293\text{ K}$, $T=353\text{ K}$ e $p_i=1,60\times10^5\text{ Pa}$.
- Così troviamo
$$p=p_i\frac{T}{T_i}=(1,60\times10^5\text{ Pa})\frac{353\text{ K}}{293\text{ K}}=1,93\times10^5\text{ Pa}$$

56 $$T=\frac{V}{V_i}T_i=\frac{9}{10}V_i\frac{1}{V_i}T_i=\frac{9}{10}T_i=\frac{9}{10}(298\text{ K})=268\text{ K}$$

$$\Delta T=(298-268)\text{K}=30\text{ K}$$

Dato che per ogni kilometro di altitudine la temperatura varia di 10 K, l'altitudine richiesta è di circa 3 km.

57 $$V_f=V_i\frac{T_f}{T_i}=8,50\,\text{dm}^3\frac{(56+273)\text{K}}{(32+273)\text{ K}}=9,17\,\text{dm}^3$$

$$\Delta V=V_f-V_i=9,17\,\text{dm}^3-8,50\,\text{dm}^3=0,67\,\text{dm}^3$$

$$\Delta h=\frac{\Delta V}{\pi r^2}=\frac{0,67\times10^3\text{ cm}^3}{\pi(13\,\text{cm})^2}=1,3\,\text{cm}$$

58 Usiamo la relazione $\frac{p}{T}=\frac{p_i}{T_i}$ in cui le temperature sono temperature assolute. Trasformiamo le temperature da gradi centigradi a gradi Kelvin:

$$T_i=(273+42)\text{K}=315\text{ K} \text{ e } T=(273+68)\text{K}=341\text{ K}$$

Esprimiamo la pressione finale come $p=p_i+xp_i=(1+x)p_i$, dove abbiamo usato il segno positivo perché la temperatura finale è maggiore di quella iniziale, quindi la pressione aumenta:

$$\frac{p}{T}=\frac{p_i}{T_i} \Rightarrow \frac{(1+x)p_i}{T}=\frac{p_i}{T_i}$$

Semplificando, otteniamo

$$1+x=\frac{T}{T_i} \Rightarrow x=\frac{T}{T_i}-1=\frac{341\text{K}}{315\text{K}}-1=0,083$$

Per come è definito, $x=\frac{p-p_i}{p_i}$ è la variazione di pressione rispetto alla pressione iniziale. La variazione percentuale è, quindi, dell'8,3%.

59 La bombola è sigillata, quindi il volume del gas è costante. Dalla seconda legge di Gay-Lussac troviamo

$$\frac{p}{T_i+\Delta T}=\frac{p_i}{T_i} \Rightarrow pT_i=p_i(T_i+\Delta T) \Rightarrow T_i=\Delta T\frac{p_i}{p-p_i}=(142\text{ K})\frac{2,18\text{ atm}}{1,00\text{ atm}}=310\text{ K}$$

Quindi, la temperatura finale è $T_f=(310+141)\text{ K}=452\text{ K}$.

60

$$\frac{p_f}{T_f}=\frac{p_i}{T_i} \Rightarrow \frac{(p_i+2,8\times10^4\text{ Pa})}{T_f}=\frac{p_i}{T_i}$$

$$p_i=\frac{(2,8\times10^4\text{ Pa})T_i}{T_f-T_i}=\frac{(2,8\times10^4\text{ Pa})(293\text{ K})}{45\text{ K}}=1,8\times10^5\text{ Pa}$$

$$p_f=1,8\times10^5\text{ Pa}+2,8\times10^4\text{ Pa}=2,1\times10^5\text{ Pa}$$

61

- $$p_f=\frac{T_f}{T_i}p_i=\frac{(-80+273)\text{K}}{273\text{ K}}(1,70\times10^5\text{ P})\text{a}=1,20\times10^5\text{ Pa}$$
- $$T_f=\frac{p_f}{p_i}T_i=\frac{2\times1,20\times10^5\text{ Pa}}{1,70\times10^5\text{ Pa}}(273\text{ K})=385\text{ K}=112\text{ °C}$$

62 Dato che $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$, si ha $\frac{1}{T_1}=\frac{2}{T_2}$. Allora $T_2=2T_1$, che corrisponde a un aumento del 100%. Oppure,

$$\Delta T_{\%}=\frac{T_f-T_i}{T_i}=\frac{\frac{p_f}{p_i}T_i-T_i}{T_i}=\frac{p_f}{p_i}-1=\frac{2p_i}{p_i}-1=1=100\%$$

COMPITI
CAPITOLO 13. La temperatura e i gas
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

4. Volume e pressione di un gas a temperatura costante

63 Per la legge di Stevino, la pressione diminuisce muovendosi dal fondo verso la superficie, quindi le bollicine diventano più grandi, come previsto dalla legge di Boyle (minor pressione, maggiore volume).

64 $$V = \frac{p_i}{p}V_i = \frac{(1,4\times10^5\ \text{Pa})(9,8\times10^{-5}\ \text{m}^3)}{2,3\times10^5\ \text{Pa}} = 6,0\times10^{-5}\ \text{m}^3 = 60\ \text{cm}^3$$

65 $$\frac{V_i}{V} = \frac{p}{p_i} = \frac{2}{3}$$

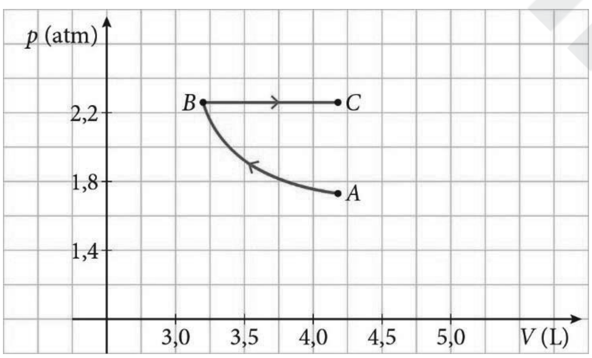
66 $$V_f = \frac{p_iV_i}{p_f} = \frac{(101,5\times10^3\ \text{Pa})(1,28\times10^{-3}\ \text{m}^3)}{110\times10^3\ \text{Pa}} = 1,18\times10^{-3}\ \text{m}^3$$

67 $$pV = p_iV_i \Rightarrow p = p_i\frac{V_i}{V} = (1,2\ \text{atm})\frac{27\ \text{L}}{30\ \text{L}} = 1,1\ \text{atm}$$

68
- $$\overline{V} = \overline{V}_i\frac{\overline{p}_i}{\overline{p}} = (16,3\ \text{L})\frac{2,96\times10^5\ \text{Pa}}{1,39\times10^5\ \text{Pa}} = 34,7\ \text{L}$$
  $$e_r = \frac{\Delta V_i}{\overline{V}_i} + \frac{\Delta p_i}{\overline{p}_i} + \frac{\Delta p}{\overline{p}} = \frac{0,1\ \text{L}}{16,3\ \text{L}} + \frac{0,04\times10^5\ \text{Pa}}{2,96\times10^5\ \text{Pa}} + \frac{0,01\times10^5\ \text{Pa}}{1,39\times10^5\ \text{Pa}} = 2,7\times10^{-2}$$
- Quindi l'incertezza sul volume finale è $\Delta V = e_r\overline{V} = 2,7\times10^{-2}\times34,7\ \text{L} = 0,9\ \text{L}$; il risultato ottenuto va quindi scritto come $V = (34,7\pm0,9)\ \text{L}$.

69 PROBLEMA MODELLO a pag. 422

70



Nel tratto *A-B*, per la legge di Boyle, si ha

$$p_AV_A = p_BV_B \Rightarrow V_B = \frac{p_A}{p_B}V_A = \frac{1,73\ \text{atm}}{2,26\ \text{atm}}(4,18\ \text{L}) = 3,2\ \text{L}$$

Nel tratto B-C, per la prima legge di Gay-Lussac, si ha

$$\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C} \Rightarrow T_C = \frac{V_C}{V_B}T_B = \frac{V_A}{V_B}T_B = \frac{4,18\ \text{L}}{3,20\ \text{L}}(303\ \text{K}) = 396\ \text{K}$$

71 ■ $pV = P_i V_i \;\Rightarrow\; V = \frac{p_i V_i}{p} = \frac{(8,0\ \text{atm})(400\ \text{mL})}{1,0\ \text{atm}} = 3,2\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 3,2\ \text{L}$

■ $T = 20\ °\text{C} = 293\ \text{K}$; $T_1 = 52\ °\text{C} = 325\ \text{K}$

Dalla prima legge di Gay-Lussac, $V_1 = \frac{V}{T}T_1 = \frac{(3,2\times10^{-3}\ \text{m}^3)(325\ \text{K})}{293\ \text{K}} = 3,5\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 3,5\ \text{L}$.

72 $p_i + \frac{20}{100}p_i = 350\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; p_i = \frac{350\ \text{kPa}}{1+0,20} = 292\ \text{kPa}$

$\frac{V_f}{V_i} = \frac{p_i}{p_f} = \frac{292\ \text{kPa}}{350\ \text{kPa}} = 0,83$

Il volume del gas è diminuito del 17%.

5. Il gas perfetto

73 **d**. Il neon perché si trova a temperatura ambiente e lontano dal suo punto di liquefazione

74 La mole di ossigeno.

75 $n = \frac{N}{N_A} = \frac{3,42\times10^{24}}{6,022\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}} = 5,68\ \text{mol}$

76 $\frac{9,3\times10^{-26}\ \text{kg}}{1,66\times10^{-27}\ \text{kg/u}} = 56\ \text{u}$

77 $m = 19,00\ \text{u} = 19,00\times1,66054\times10^{-27}\ \text{kg} = 3,155\times10^{-26}\ \text{kg}$

78 Sulla tavola periodica leggiamo che le masse atomiche del carbonio e dell'ossigeno sono rispettivamente $\mathcal{M}_\text{C} = 12,01\ \text{g/mol}$ e $\mathcal{M}_\text{O} = 16,00\ \text{g/mol}$.
Quindi si ha
$\mathcal{M}_{\text{CO}_2} = \mathcal{M}_\text{C} + 2\mathcal{M}_\text{O} = (12,01 + 2\times16,00)\ \text{g/mol} = 44,01\ \text{g/mol}$

79 ■ Sulla tavola periodica leggiamo che le masse atomiche del carbonio e dell'idrogeno sono rispettivamente $\mathcal{M}_\text{C} = 12,01\ \text{u}$ e $\mathcal{M}_\text{H} = 1,00784\ \text{u}$.
Quindi si ha
$\mathcal{M}_{\text{CH}_4} = [12,011 + 4(1,00784)]\ \text{u} = 16,04\ \text{u}$

■ $m = \mathcal{M}(1,6605\times10^{-27}\ \text{kg}) = 2,664\times10^{-26}\ \text{kg}$; se si usa il risultato approssimato della prima domanda si ottiene $2,663\times10^{-26}\ \text{kg}$

80 PROBLEMA SVOLTO

81 Il numero di moli di Na contenuti nella capsula è $n = \frac{N}{N_A} = \frac{1,49\times10^{23}}{6,022\times10^{23}} = 0,2474\ \text{mol}$.

Ricaviamo adesso la massa di Na corrispondente:
$m = n\mathcal{M} = (0,2474\ \text{mol})(23,0\ \text{g/mol}) = 5,69\ \text{g}$

82 Dall'equazione dei gas perfetti $pV = nRT$ si ottiene

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(2{,}00\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(273{,}15\ \text{K})}{4{,}052\times10^{5}\ \text{Pa}} = 11{,}2\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 11{,}2\ \text{L}$$

83 $$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(1{,}0\ \text{mol})(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(21+273)\ \text{K}}{1{,}4\times10^{5}\ \text{Pa}} = 1{,}7\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

84 $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{(1{,}05\times10^{5}\ \text{Pa})\frac{4}{3}\pi(15{,}0\times10^{-2}\ \text{m})^3}{(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1})(28{,}0+273)\ \text{K}} = 0{,}593\ \text{mol}$$

85 $$T = \frac{pV}{nR} = \frac{(6{,}18\times10^{5}\ \text{Pa})(9{,}00\times10^{-2}\ \text{m}^3)}{(22{,}7\ \text{mol})[8{,}3145\ \text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]} = 295\ \text{K}$$

86 $$V = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h = \pi(7{,}0\times10^{-2}\ \text{m})^2(0{,}92\ \text{m}) = 1{,}42\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{(14{,}8\ \text{mol})(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(293\ \text{K})}{1{,}42\times10^{-2}\ \text{m}^3} = 2{,}54\times10^{6}\ \text{Pa}$$

$$\Delta p = \left(\frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta h}{h} + 2\frac{\Delta D}{D}\right)p = \left(\frac{0{,}1}{14{,}8} + \frac{2\ \text{K}}{293\ \text{K}} + \frac{1\ \text{cm}}{92\ \text{cm}} + 2\frac{0{,}5\ \text{cm}}{14\ \text{cm}}\right)(2{,}54\times10^{6}\ \text{Pa}) =$$

$$= 0{,}2\times10^{6}\ \text{Pa}$$

$$p = (2{,}5\pm0{,}2)\times10^{6}\ \text{Pa}$$

87 $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{(20{,}2\times10^{6}\ \text{Pa})(0{,}01795\ \text{m}^3)}{(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(293\ \text{K})} = 149\ \text{mol}$$

$$m = Mn = (149\ \text{mol})\left(32{,}0\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 4{,}77\ \text{kg}$$

88 Il numero di moli è $n = \frac{pV}{RT} = \frac{(202\times10^{3}\ \text{Pa})(36{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3)}{(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(290\ \text{K})} = 3{,}02\ \text{mol}$

Quindi la massa dell'azoto in kilogrammi è $m = (3{,}02\ \text{mol})\left(14{,}0\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 42{,}3\ \text{g} = 4{,}23\times10^{-2}\ \text{kg}$

89
- $V_i = \frac{nRT_i}{p_i} = \frac{(1{,}5\ \text{mol})(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(15+273)\ \text{K}}{1{,}1\times10^{5}\ \text{Pa}} = 3{,}3\times10^{-2}\ \text{m}^3 = 33\ \text{L}$
- $T_f = \frac{p_f V_f}{nR} = \frac{(1{,}1\times10^{5}\ \text{Pa})(38\times10^{-2}\ \text{K})}{(1{,}5\ \text{mol})(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})} = 335\ \text{K} = 62\ °\text{C}$
- $m = (1{,}5\ \text{mol})\left(20\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 30\ \text{g} = 0{,}030\ \text{kg}$

90 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 423.

91 B

92 C

93 A

94 $$p_A = \frac{nRT_A}{V_A} = \frac{3\times\left(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(400\ \text{K}\right)}{20\times10^{-3}\ \text{m}^3} = 5{,}0\times10^5\ \text{Pa} = 4{,}9\ \text{atm}$$

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow V_B = \frac{T_B}{T_A}V_A = \left(\frac{300\ \text{K}}{400\ \text{K}}\right)\left(20\times10^{-3}\ \text{m}^3\right) = 15\times10^{-3}\ \text{m}^3$$

95 $$\Delta V_1 = \alpha V_i \Delta t_1 \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{\Delta V_1}{V_i \Delta t_1} = \frac{0{,}075\ \text{L}}{1{,}000\ \text{L}\times100\ \text{K}} = 7{,}5\times10^{-4}\ \text{K}^{-1}$$

$$\Delta V_2 = \alpha V_i \Delta t_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta t_2 = \frac{\Delta V_2}{V_i\alpha} = \frac{0{,}004\ \text{L}}{\left(1{,}075\ \text{L}\right)\left(7{,}5\times10^{-4}\ \text{K}^{-1}\right)} = 5\ \text{K} = 5\ °\text{C}$$

96 La lunghezza di un segmento a –10 °C è pari a

$$l = l_i + l_i\lambda\Delta t = 55{,}00\ \text{m} + \left[\left(55{,}00\ \text{m}\right)\left(13\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(-30\ °\text{C}\right)\right] = 54{,}98\ \text{m}$$

La differenza di lunghezza nel corso dell'anno sarà quindi al massimo

$$\Delta l = \left(54{,}98\ \text{m}\right)\left(13\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(48\ °\text{C}\right) = 34\ \text{mm}$$

Dividendo per 2 il valore precedentemente calcolato (perché l'allungamento è in entrambi i sensi), si ricava

$$\frac{34\ \text{mm}}{2} = 17\ \text{mm}$$

Poiché lo spazio fra due segmenti è pari a 18,00 mm, significa che ogni estremo ha a disposizione una distanza massima di (18,00/2) mm = 9,00 mm. E poiché 9,00 mm è minore di 17 mm, la distanza tra i segmenti non è sufficiente.

97 Nello stato iniziale (stato 0) il gas è descritto dai parametri (p_0; V_0; T_0) = (101 kPa; 25,0 L; 300 K).
Attraverso una trasformazione isobara il gas passa dallo stato 0 allo stato 1.
Tramite la prima legge di Gay-Lussac ricaviamo il volume raggiunto dal gas (a pressione costante):

$$V_1 = \frac{V_0}{T_0}T_1 = \left(\frac{25{,}0\ \text{L}}{300\ \text{K}}\right)\left(400\ \text{K}\right) = 33{,}3\ \text{L}$$

Quindi, nello stato 1 il gas è caratterizzato dai seguenti parametri:
(p_1; V_1; T_1) = (101 kPa; 33,3 L; 400 K)
Infine, tramite una trasformazione isoterma, in cui il volume si dimezza, il gas passa dallo stato 1 allo stato 2. Tramite la legge di Boyle si ricava la pressione finale del gas:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad \Rightarrow \quad p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2} = \frac{p_1V_1}{\frac{1}{2}V_1} = 2p_1 = 2\times101\ \text{kPa} = 202\ \text{kPa}$$

Nello stato 2 il gas è caratterizzato, quindi, dai seguenti parametri:
(p_2; V_2; T_2) = (202 kPa; 16,7 L; 400 K)

98

- Dalla relazione $\Delta l = l_0\lambda\Delta t$ si ricavano gli allungamenti delle due lamine:

  $$\Delta l_{\text{Fe}} = \left(1{,}2\times10^{-5}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(10{,}0\ \text{cm}\right)\left(150\ °\text{C}\right) = 0{,}18\ \text{mm}$$

  $$\Delta l_{\text{Zn}} = \left(3{,}0\times10^{-5}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(10{,}0\ \text{cm}\right)\left(150\ °\text{C}\right) = 0{,}45\ \text{mm}$$

- $\Delta l_{\text{Zn}} - \Delta l_{\text{Fe}} = \left(0{,}45 - 0{,}18\right)\ \text{mm} = 0{,}27\ \text{mm}$
- Le lamine si incurvano dalla parte della lamina che si allunga di meno.

99

- Il numero di moli di gas è dato da

  $$n = \frac{p_iV_i}{RT_i} = \frac{\left(3{,}0\times1{,}01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(30\times10^{-3}\,\text{m}^3\right)}{\left(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(20+273\right)\text{K}} = 3{,}7\ \text{mol}$$

segue

- Indicando con il pedice I e II le grandezze relative ai palloncini di tipo I e di tipo II si ha che $p_I = p_{II} = p_f = 1{,}3$ atm . Tenendo conto che $T_i = T_f$, il volume del gas nelle condizioni finali è

$$V_f = \frac{nRT_f}{p_f} = \frac{(3{,}7\ \text{mol})(8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(293\ \text{K})}{1{,}3\times 1{,}01\times 10^5\ \text{Pa}} = 0{,}069\ \text{m}^3 = 69\ \text{L}$$

Questo valore è il volume complessivo di gas che può essere contenuto nei palloncini.
Tenendo conto che il numero di palloncini da riempire deve essere un numero intero si ha:

$N_I = \dfrac{V_f}{V_I} = \dfrac{69\ \text{L}}{3{,}5\ \text{L}} = (19{,}7) = 19$, numero di palloncini riempiti di tipo I.

$N_{II} = \dfrac{V_f - N_I \times V_I}{V_{II}} = \dfrac{69\ \text{L} - 19\times 3{,}5\ \text{L}}{2{,}0\ \text{L}} = 1$, numero di palloncini riempiti di tipo II.

100 $V_i = \dfrac{4}{3}\pi r^3 = \dfrac{4}{3}\pi(0{,}120\ \text{m})^3 = 7{,}24\times 10^{-3}\ \text{m}^3$; $m_{\text{Ne}} = (0{,}900\ \text{kg/m}^3)(7{,}24\times 10^{-3}\ \text{m}^3) = 6{,}52\times 10^{-3}\ \text{kg} = 6{,}52\ \text{g}$

$$n = \frac{6{,}52\ \text{g}}{20{,}18\ \text{g/mol}} = 0{,}323\ \text{mol}$$

$$\frac{\Delta V_{\text{Fe}}}{\Delta V_{\text{Ne}}} = \frac{V_i(1+\alpha\Delta t) - V_i}{\dfrac{nRT}{p} - V_i} = \frac{(1+\alpha\Delta t) - 1}{\dfrac{nRT}{pV_i} - 1} = \frac{\alpha(\Delta t)\, pV_i}{nRT - pV_i} =$$

$$= \frac{(36\times 10^{-6}\ {}^\circ\text{C}^{-1})(45{,}0\ {}^\circ\text{C})(1{,}01\times 10^5\ \text{Pa})(7{,}24\times 10^{-3}\ \text{m}^3)}{(0{,}323\ \text{mol}\times 8{,}3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\times 318\ \text{K}) - (1{,}01\times 10^5\ \text{Pa}\times 7{,}24\times 10^{-3}\ \text{m}^3)} =$$

$$= 9{,}66\times 10^{-3}$$

$$\frac{\Delta V_{\text{Fe}}}{\Delta V_{\text{He}}} = \frac{\cancel{V_0}\alpha_{\text{Fe}}\cancel{t}}{\cancel{V_0}\alpha_{\text{He}}\cancel{t}} = \frac{3\lambda_{\text{Fe}}}{1/(273\ \text{K})} = (273\ \text{K})\times 3\times(1{,}18\times 10^{-5}\ \text{K}^{-1}) = 9{,}66\times 10^{-3}$$

101 $K_{\text{m,trasl}} = \dfrac{3}{2}k_B T \quad\Rightarrow\quad T = \dfrac{2K_{\text{m,trasl}}}{3k_B} = \dfrac{2\times 6{,}0\times 10^{-21}\ \text{J}}{3\times 1{,}381\times 10^{-23}\ \dfrac{\text{J}}{\text{K}}} = 290\ \text{K} = 17{,}0\ {}^\circ\text{C}$

Troviamo la pressione dall'equazione di stato del gas perfetto tenendo conto che il numero di moli è $n = \dfrac{N}{N_A}$:

$$pV = nRT \quad\Rightarrow\quad p = \frac{nRT}{V} = \frac{NRT}{N_A V}$$

Sostituendo i valori numerici, otteniamo

$$p = \frac{(4{,}0\times 10^{24})\left(8{,}3145\ \dfrac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(290\ \text{K})}{(6{,}022\times 10^{23}\ \text{mol}^{-1})(50\times 10^{-3}\ \text{m}^3)} = 3{,}2\times 10^5\ \text{Pa} = 3{,}2\ \text{bar}$$

102
- La pressione all'interno del contenitore è

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{(0{,}660\ \text{mol})[8{,}3145\ \text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})](313\ \text{K})}{(1{,}20\times 10^{-2}\ \text{m}^2)(0{,}300\ \text{m})} = 4{,}77\times 10^5\ \text{Pa}$$

- Tenendo conto della pressione atmosferica, la pressione fornita dalla molla è $p_m = 3{,}76\times 10^5\ \text{Pa}$, quindi la sua deformazione è

$$s = \frac{F}{k} = \frac{p_m S}{k} = \frac{(3{,}76\times 10^5\ \text{Pa})(1{,}20\times 10^{-2}\ \text{m}^2)}{1{,}81\times 10^4\ \text{N/m}} = 0{,}249\ \text{m}$$

103 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 C

3 D

4 D

5 $\Delta l = l_0 \lambda \Delta t = (0{,}30 \text{ m})(9 \times 10^{-6} \text{ °C})(65 \text{ °C}) = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$

6 Per la prima legge di Gay-Lussac:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad \text{V}_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{90 + 273 \text{ °K}}{25 + 273 \text{ °K}} (13{,}0 \text{ dm}^3) = 15{,}8 \text{ dm}^3$$

$$h_1 = \frac{V_1}{S} = \frac{13{,}0 \times 10^3 \text{cm}^3}{\pi \left(\frac{30{,}0}{2} \text{ cm} \right)^2} = 18{,}4 \text{ cm} \; ; \; h_2 = \frac{V_2}{S} = \frac{15{,}8 \times 10^3 \text{cm}^3}{\pi \left(\frac{30{,}0}{2} \text{ cm} \right)^2} = 22{,}4 \text{ cm}$$

$$\Delta h = 22{,}4 \text{ cm} - 18{,}4 \text{ cm} = 4{,}0 \text{ cm}$$

7 $V_f = V_i - 0{,}60 V_i = 0{,}40 V_i$ **;** $p_i V_i = p_f V_f \Rightarrow p_f = \frac{p_i V_i}{V_f} = p_i \frac{V_i}{0{,}40 V_i} = \frac{101 \times 10^3 \text{ Pa}}{0{,}40} = 253 \text{ kPa}$

$$h = \frac{253 \text{ kPa} - 101 \text{ kPa}}{\frac{101 \text{ kPa}}{10 \text{ m}}} = 15 \text{ m}$$

8
- Per la legge di Archimede, il palloncino dovrebbe avere la stessa densità dell'aria nella stanza; quindi, il volume che dovrebbe avere il palloncino è
$$V = \frac{m}{d} = \frac{0{,}0100 \text{ kg}}{1{,}204 \text{ kg/m}^3} = 8{,}31 \text{ dm}^3$$
- $$n = \frac{10 \text{ g}}{4{,}00 \text{ g/mol}} = 2{,}50 \text{ mol}$$
$$T = \frac{pV}{nR} = \frac{(1{,}01 \times 10^5 \text{ Pa})(0{,}00831 \text{ m})^3}{(2{,}50 \text{ mol})(8{,}3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})} = 40{,}4 \text{ K}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Poiché $T_{\max} - T_{\min} = 10 \text{ K} = 10 \text{ °C}$, si ottiene $T_{\min} = T_{\max} - 10 \text{ °C} = 17 \text{ °C} - 10 \text{ °C} = 7{,}0 \text{ °C}$.

2 Applicando la relazione $l = l_i (1 + \lambda \Delta T)$ e considerando che $\Delta T = 400 \text{ K} - (20 + 273) \text{ K} = 107 \text{ K}$, si ottiene $l = 77{,}2 \text{ cm} \times (1 + 1{,}65 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1} \times 107 \text{ K}) = 77{,}3 \text{ cm}$

3 Dalla relazione $V = V_i (1 + \alpha \Delta T)$, si ottiene

$$\frac{V - V_i}{V_i} = \frac{\Delta V}{V_i} = \alpha \Delta T = 1{,}81 \times 10^{-4} \text{ °C}^{-1} \times (14{,}5 - 120) \text{ °C} = -0{,}019 = -1{,}91 \text{ \%}$$

Il volume finale è quindi $V = 100 \text{ ml} \times [1 + 1{,}81 \times 10^{-4} \text{ °C}^{-1} \times (14{,}5 - 120) \text{ °C}] = 98{,}1 \text{ ml}$.

4 Per la prima legge di Gay-Lussac si ha $V = V_0(1+\alpha t)$, quindi

$$V - V_0 = V_0 \alpha t \Rightarrow t = \frac{V - V_0}{V_0 \alpha} = \frac{3{,}1\ \text{L} - 2{,}4\ \text{L}}{(2{,}4\ \text{L})\left(\frac{1}{273\ °\text{C}}\right)} = 80\ °\text{C}$$

5 Dalla seconda legge di Gay-Lussac si ha

$$\Delta p = p_0 \alpha \Delta t = (3{,}2\ \text{atm})\left(\frac{1}{273\ °\text{C}}\right)(95-25)\ °\text{C} = 0{,}82\ \text{atm}$$

6 Dall'equazione di stato del gas perfetto $pV = nRT$ si ottiene $V = \frac{nRT}{p} = \frac{(2{,}04\,\text{mol})\left(0{,}0821\frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(298\,\text{K})}{1{,}0\,\text{atm}} = 50\,\text{L}$

7 Per la legge di Boyle $pV = p_i V_i$, quindi $p\frac{V_i}{2} = p_i V_i \Rightarrow p = 2p_i = 2\times 2{,}3\times 10^5\ \text{Pa} = 4{,}6\times 10^5\ \text{Pa}$.

8 Dalla massa atomica si ricava che la massa molare è $M = 4{,}00$ g/mol.

Il numero di moli di elio è $n = \frac{m}{M} = \frac{12\ \text{g}}{4{,}00\ \text{g/mol}} = 3{,}0$ moli. Dall'equazione di stato del gas perfetto si ottiene

$$pV = nRT \Rightarrow T = \frac{pV}{nR} = \frac{(4{,}2\ \text{atm})(3{,}7\ \text{L})}{(3{,}0\ \text{mol})\left(0{,}0821\ \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)} = 63\ \text{K} = -210\ °\text{C}$$

9
- Poiché $K_m = \frac{3}{2}k_B T$, si ottiene

$$T = \frac{2K_m}{3k_B} = \frac{2\times 6{,}46\times 10^{-21}\ \text{J}}{3\times 1{,}38\times 10^{-23}\ \frac{\text{J}}{\text{K}}} = 312\ \text{K} = 39\ °\text{C}$$

La nuova temperatura è $T' = 39\ °\text{C}\times 2 = 78\ °\text{C} = (78+273)\ \text{K} = 351\ \text{K}$.
Quindi la nuova energia cinetica media delle molecole sarà

$$K'_m = \frac{3}{2}k_B T' = \frac{3}{2}\left(1{,}38\times 10^{-23}\ \frac{\text{J}}{\text{K}}\right)(351\ \text{K}) = 7{,}27\times 10^{-21}\ \text{J}$$

10
- Dalla legge della dilatazione lineare si ottiene

$$\frac{\Delta l}{l_i} = \lambda \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{\Delta l}{l_i}\frac{1}{\lambda} = \left(\frac{0{,}10}{100}\right)\left(\frac{1}{2{,}31\times 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}}\right) = 43{,}3°\text{C}$$

- $l = l_i(1+\lambda\Delta T) = (1760\,\text{mm})\left(1+2{,}31\times 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}\right)(75{,}0\,°\text{C}) = 1763\,\text{mm}$

11 ■ Dalla legge della dilatazione volumica si ottiene

$$\frac{\Delta V}{V_i} = \alpha\Delta T = 3\lambda\Delta T \quad \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{\Delta V}{V_i}\frac{1}{3\Delta T} = \left(\frac{3,90}{100}\right)\left(\frac{1}{3\times 431\ °\text{C}}\right) = 3,02\times 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}$$

■ Il lato del blocco dopo la dilatazione è dato da

$$V = V_i\left(1+\alpha\Delta T\right) \quad \Rightarrow \quad l^3 = l^3_i\left(1+3\lambda\Delta T\right) \quad \Rightarrow$$

$$l = l_i\sqrt[3]{1+3\lambda\Delta T} = \left(3,60\ \text{cm}\right)\sqrt[3]{1+3\times\left(3,02\times 10^{-5}\ °\text{C}^{-1}\right)\left(431\ °\text{C}\right)} = 3,65\ \text{cm}$$

12 Il numero di moli del gas è

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{5,10\times 10^{23}}{6,02\times 10^{23}} = 0,847\ \text{mol}$$

Dall'equazione di stato del gas perfetto si ha

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{\left(0,847\ \text{mol}\right)\left(8,3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left(87+273\right)\ \text{K}}{5,0\times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 5,1\times 10^5\ \text{Pa} = 5,0\ \text{atm}$$

13 ■ La massa di kripton è $m = dV = \left(3,71\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(2,40\times 10^{-3}\ \text{m}^3\right) = 8,90\times 10^{-3}\ \text{kg} = 8,90\ \text{g}$. Poiché la massa molare del cripton è $M = 83,8\ \text{g/mol}$, il numero di moli è

$$n = \frac{m}{M} = \frac{8,90\ \text{g}}{83,8\ \text{g/mol}} = 0,106\ \text{mol}$$

Applicando la legge dei gas perfetti, si ottiene

$$pV = nRT \quad \Rightarrow$$

$$T = \frac{pV}{nR} = \frac{\left(1,11\times 10^5\ \text{Pa}\right)\left(2,40\times 10^{-3}\ \text{m}\right)^3}{\left(0,106\ \text{mol}\right)\left(8,3145\ \text{J/mol}\cdot\text{K}\right)} = 302\ \text{K} = 29,3\ °\text{C}$$

■ Il numero di molecole del gas è

$$N = nN_A = \left(0,106\ \text{mol}\right)\left(6,022\times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}\right) = 6,38\times 10^{22}$$

Quindi:

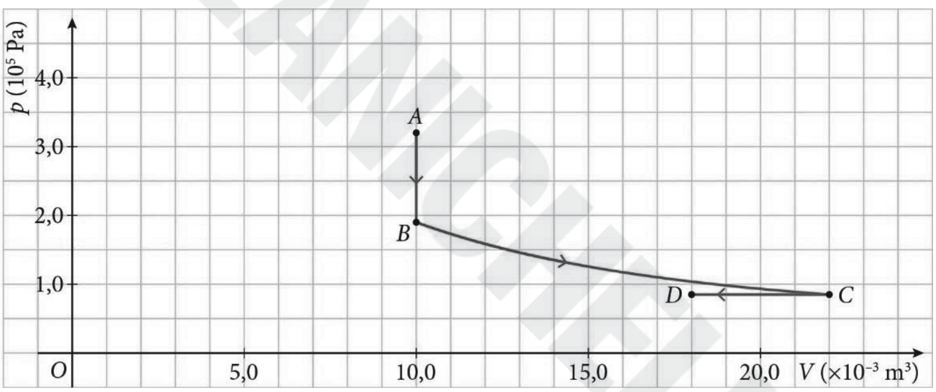
$$K_m = \frac{3}{2}k_BT = \frac{3}{2}\left(1,38\times 10^{-23}\ \frac{\text{J}}{\text{K}}\right)\left(302\ \text{K}\right) = 6,25\times 10^{-21}\ \text{J}$$

14 ■ $$pV = p_oV_0 \Rightarrow V = \frac{p_oV_0}{p} = \frac{\left(6,4\ \text{atm}\right)\left(800\ \text{ml}\right)}{1,0\ \text{atm}} = 5,1\times 10^3\ \text{ml} = 5,1\ \text{L}$$

■ $$pV = nRT \Rightarrow n = \frac{pV}{RT} = \frac{\left(1,0\ \text{atm}\right)\left(5,1\ \text{L}\right)}{\left(0,0821\ \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left(20+273\right)\ \text{K}} = 0,21\ \text{mol}$$

15

- Indicando con A il punto che nel piano p-V rappresenta le condizioni iniziali del gas e con B, C e D i punti rappresentativi delle condizioni raggiunte nelle successive trasformazioni, si ha:
  1) Per il tratto AB
     la trasformazione è isocora, pertanto
     $$\frac{p_A}{T_A}=\frac{p_B}{T_B}\Rightarrow T_B=\frac{p_B}{p_A}T_A=\left(\frac{1,9\times10^5\ \text{Pa}}{3,2\times10^5\ \text{Pa}}\right)\left(1,1\times10^2+273\right)\ \text{K}=227\ \text{K}=-46\ °\text{C}$$
  2) Per il tratto BC
     la trasformazione è isoterma, pertanto, tenendo conto che $V_B=V_A$
     $$p_BV_B=p_CV_C\Rightarrow p_C=p_B\frac{V_B}{V_C}=\left(1,9\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(\frac{10\times10^{-3}\ \text{m}^3}{22\times10^{-3}\ \text{m}^3}\right)=8,6\times10^4\ \text{Pa}$$
  3) Per il tratto CD
     la trasformazione è isobara, pertanto, tenendo conto che $T_C=T_B$
     $$\frac{V_C}{T_C}=\frac{V_D}{T_D}\Rightarrow V_D=\frac{T_D}{T_C}V_C=\frac{\left(-87+273\right)\ \text{K}}{227\ \text{K}}\left(22\times10^{-3}\ \text{m}^3\right)=18\times10^{-3}\ \text{m}^3$$
- Il grafico delle trasformazioni nel piano p-V è



Svolgimenti degli esercizi del capitolo 14

Il calore

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

2. La capacità termica e il calore specifico

pag. 430

A parità di calore Q trasferito e massa m, l'aumento di temperatura $\Delta T = \dfrac{Q}{cm}$ è maggiore per la sostanza che ha il calore specifico più piccolo, quindi il piombo.

3. Il calorimetro

pag. 432

$$T_e = \frac{\cancel{c}\cancel{m}\left(T_1 + T_2\right)}{\cancel{c}\left(2\cancel{m}\right)} = \frac{10\ °\text{C} + 50\ °\text{C}}{2} = 30\ °\text{C}$$

4. La propagazione del calore

pag. 433

Il legno, che è un buon isolante termico.

6. I passaggi tra stati di aggregazione

pag. 436

Un pezzo di ghiaccio che fonde assorbe calore dall'ambiente, quindi lo raffredda; la scodella d'acqua che diventa ghiaccio cede calore all'ambiente, quindi lo riscalda.

pag. 437

- Occorre più energia per fondere 1 kg di acqua che 1 kg si stagno, perché il calore latente di fusione del ghiaccio è maggiore di quello dello stagno.
- Occorre più energia per 1 kg di ghiaccio che per 2 kg di stagno, perché il calore latente di fusione del ghiaccio è maggiore di quello dello stagno oltre cinque volte quello dello stagno.

TEST

1 B
2 B
3 A
4 A

segue

5 A
6 D
7 C
8 A
9 B

ESERCIZI

1. L'equivalenza tra calore e lavoro

1 Il calore fluisce dal corpo a temperatura maggiore a quello a temperatura minore, in questo caso dall'acqua al frigorifero.

2 Il notevole attrito dovuto alla frenata ad alta velocità ne aumenta notevolmente la temperatura, e la ventilazione favorisce un flusso di calore dai freni all'atmosfera.

3 Il calore è un modo per trasferire energia, non è la quantità di energia posseduta da un corpo.

4 Il ghiaccio fonde più in fretta perché si fornisce energia al sistema acqua-ghiaccio mediante il lavoro esercitato su di esso.

5 La temperatura indicata sale mentre il termometro viene strofinato: il lavoro delle forze di attrito fornisce energia al sistema.

6 $$m = \frac{W}{gh} = \frac{Q}{gh} = \frac{4186 \text{ J}}{(9{,}8 \text{ m/s}^2)(1{,}00 \text{ m})} = 427 \text{ kg}$$

$$\frac{m}{2} = 214 \text{ kg}$$

7 $$9{,}0 \text{ kcal} = 9{,}0\times10^3 \text{ cal} = (9{,}0\times10^3 \text{ cal})(4{,}186 \text{ J/cal}) = 3{,}8\times10^4 \text{ J}$$

8 $$3{,}9\times10^5 \text{ J} = (3{,}9\times10^5 \text{ J})\left(\frac{1}{4{,}186} \text{ cal/J}\right) = 9{,}3\times10^4 \text{ cal}$$

9 $$\Delta E = 1{,}00 \text{ kcal} = (1{,}00 \text{ kcal})(4186 \text{ J/kcal}) = 4{,}19\times10^3 \text{ J}$$

10 L'energia potenziale della forza-peso del martello si trasforma, durante la caduta, in energia cinetica. All'istante dell'urto l'energia cinetica si trasferisce alla lastra di ferro riscaldandolo.
$U = mg\Delta h = (0{,}4 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2)(4{,}0 \text{ m}) = 16 \text{ J}$

Esprimendolo in calorie, si ha $\frac{16 \text{ J}}{4{,}186 \text{ J/cal}} = 3{,}8 \text{ cal}$.

11
- Trasformiamo le kilocalorie in joule. Sappiamo che 1 cal = 4,186 J ≈ 4,2 J, quindi:

  $$P = 1500 \text{ kcal/d} = \frac{1{,}5\times10^6 \text{ cal}}{24 \text{ h}\times3600 \text{ s/h}} = \frac{1{,}5\times10^6\times4{,}2 \text{ J}}{86\,400 \text{ s}} = 73 \text{ W}$$

  Per il solo fatto di essere vivo, un essere umano emette quindi circa 73 J di energia al secondo, che corrisponde a un ordine di grandezza di 10^2 W.
- Per produrre l'energia di una stufa termica da 1 kW ci vorrebbero poco più di una dozzina di esseri umani, in particolare un numero di persone pari a $\frac{10^3 \text{ W}}{73 \text{ W}} = 14$.

12 ■ $W = nmgh$, per salire n scalini; per smaltire tutta la colazione $W = \Delta E$, quindi

$$n = \frac{\Delta E}{mgh} = \frac{(200\ \text{kcal})(4186\ \text{J/kcal})}{(65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}22\ \text{m})} = 6{,}0\times10^3$$

■ Luigi sale 39 scalini, per cui l'energia che consuma è pari a

$$W = nmgh = 39\times(65\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)(0{,}22\ \text{m}) = 5{,}5\ \text{kJ} = 1{,}3\ \text{kcal}$$

13 ΔE è l'energia fornita dal pranzo, P è la potenza esercitata nella pedalata, W è il lavoro richiesto per pedalare per un tempo Δt. Vogliamo che $W = \Delta E$:

$$W = P\Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{\Delta E}{P} = \frac{(500\ \text{kcal})(4186\ \text{J/kcal})}{1{,}5\times10^6\ \text{J/h}} = 1{,}4\ \text{h} = 1\ \text{h}\ 24\ \text{min}$$

14 ■ Un litro di benzina ha una massa $M = 0{,}68$ kg e la sua combustione libera un'energia pari a $Q_{\text{tot}} = (43{,}6\ \text{MJ/kg})M$ Solo il 25% di questa energia è usata dall'auto, quindi l'energia sprecata nella combustione è

$$Q = (1-0{,}25)Q_{\text{tot}} = 0{,}75\times(43{,}6\ \text{MJ/kg})(0{,}68\ \text{kg}) = 22\ \text{MJ}$$

■ Il numero di pedalate è $\dfrac{22\times10^6\ \text{J}}{2{,}1\times10^6\ \text{J}} = 10$.

2. La capacità termica e il calore specifico

15 $$c = \frac{C}{m} = \frac{5775\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}}{15{,}0\ \text{kg}} = 385\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$$

16 $$C = cm = (129\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(1{,}0\times10^{-3}\ \text{kg}) = 0{,}13\ \text{J/K}$$

17 $$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{2600\ \text{J}}{2{,}0\ \text{K}} = 1{,}3\times10^3\ \text{J/K}$$

18 ■ $$C = mc = (2{,}1\ \text{kg})[2{,}4\times10^2\ \text{J}/(\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C})] = 4{,}7\times10^2\ \text{J}/^\circ\text{C}$$

■ $$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{11{,}8\ \text{kJ}}{(2{,}1\ \text{kg})(25\ {}^\circ\text{C})} = 2{,}2\times10^2\ \text{J}/(\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C})$$

19 $$Q = cm\Delta T = \left(897\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(2{,}5\ \text{kg})(10\ \text{K}) = 2{,}2\times10^4\ \text{J}$$

20 $$Q = C\Delta T \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{-1{,}75\times10^6\ \text{J}}{(25-535)\ \text{K}} = 3{,}43\ \text{kJ/K}$$

21 $$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{3{,}0\ \text{kJ}}{(0{,}33\ \text{kg})(39\ \text{K})} = 2{,}3\times10^2\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

22 Il calore specifico è compatibile con quello del rame.

23 ■ $Q = W = mgh$ e $Q = C\cdot\Delta T$

$$\Delta T = \frac{mgh}{C} = \frac{(0{,}500+0{,}500)\ \text{kg}\times(9{,}80\ \text{m/s}^2)(4810)\ \text{m}}{4186\ \text{J/K}} = 11{,}3\ \text{K}$$

segue

- Utilizzando la proporzionalità diretta tra energia potenziale iniziale e dislivello, si ottiene
$$h' = h\frac{\Delta T'}{\Delta T} = (4810\ \text{m})\frac{82\ \text{K}}{11{,}3\ \text{K}} = 3{,}5\times10^4\ \text{m}$$

24 $$m = \frac{W}{c\Delta T} = \frac{Fs}{c\Delta T} = \frac{(180\ \text{N})(10\ \text{m})}{[449\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})](2{,}5\ \text{K})} = 1{,}6\ \text{kg}$$

25 PROBLEMA SVOLTO

26
- L'energia erogata dal forno e assorbita dall'acqua è
$$Q = cm\Delta T = (4186\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(1{,}0\ \text{kg})(72\ \text{K}) = 3{,}0\times10^5\ \text{J}$$
La potenza erogata dal forno è $P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{3{,}0\times10^5\ \text{J}}{10\times 60\ \text{s}} = 5{,}0\times10^2\ \text{W}$.
- $$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{3{,}0\times10^5\ \text{J}}{(4186\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(2{,}0\ \text{kg})} = 36\ °\text{C}$$
$$T_f = T_i + \Delta T = 25\ °\text{C} + 36\ °\text{C} = 61\ °\text{C}$$

27
- $$Q = mc\Delta T = (1{,}32\ \text{kg})\left(897\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(58{,}7\ \text{K}) = 6{,}95\times10^4\ \text{J}$$
$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{6{,}95\times10^4\ \text{J}}{180\ \text{s}} = 386\ \text{W}$$
- Per il rame si otterrebbe
$$\Delta T' = \frac{Q}{mc'} = \frac{6{,}95\times10^4\ \text{J}}{(1{,}32\ \text{kg})[385\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]} = 137\ \text{K}$$

28
- Per prima cosa calcoliamo la capacità termica:
$$C = cm = \left(4186\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(1{,}68\times10^6\ \text{kg}) = 7{,}03\times10^9\ \text{J/K}$$
- $$Q = C\Delta T = (7{,}03\times10^9\ \text{J/K})(13\ \text{K}) = 9{,}1\times10^{10}\ \text{J}$$

29
- $\Delta E = cm\Delta T = 4186\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\times10\ \text{kg}\times33\ \text{K} = 1{,}4\ \text{MJ}$ (in un'ora); in un minuto l'energia fornita è quindi
$$\Delta E(1\ \text{min}) = \frac{\Delta E}{60} = 23\ \text{kJ}$$
- In un'ora di cyclette l'energia, espressa in kilocalorie, è data dalla relazione
$$\Delta E = \frac{1{,}4\times10^6\ \text{J}}{4186\ \text{J/kcal}} = 3{,}3\times10^2\ \text{kcal}$$

30 $$\Delta T_{\text{Al}} = \frac{Q}{c_{\text{Al}}m_{\text{Al}}} = \frac{1{,}5\ \text{kJ}}{(897\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(0{,}45\ \text{kg})} = 3{,}7\ \text{K}\ ;\ \Delta T_{\text{Cu}} = \frac{Q}{c_{\text{Cu}}m_{\text{Cu}}} = \frac{1{,}5\ \text{kJ}}{(385\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(0{,}45\ \text{k})\text{g}} = 8{,}7\ \text{K}$$
$$T_{\text{Cu}} - T_{\text{Al}} = \Delta T_{\text{Cu}} - \Delta T_{\text{Al}} = 8{,}7\ \text{K} - 3{,}7\ \text{K} = 5{,}0\ \text{K} = 5{,}0\ °\text{C}$$

31 $$T = T_0 + \Delta T = T_0 + \frac{Q}{cm} = 14\ °\text{C} + \frac{5{,}0\ \text{kcal}}{(1{,}00\ \text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot°\text{C}^{-1})(0{,}20\ \text{kg})} = 14\ °\text{C} + 25\ °\text{C} = 39\ °\text{C}$$

32 La densità superficiale di energia assorbita dal pannello solare è il 70% di quella in arrivo dal Sole:

$$\frac{\Delta E}{m^2} = 0,70 \times \left(\frac{\Delta E_{Sole}}{m^2}\right) = 0,70 \times (0,180\ kWh/m^2)(365 \times 24)h = 1,1 \times 10^3\ kWh/m^2$$

L'energia necessaria per scaldare 95 m^3 d'acqua è

$$Q = cm\Delta t = (4186\ J/°C^{-1} \cdot kg^{-1})(95 \times 10^3\ kg)(45 - 10)°C =$$
$$= 1,39 \times 10^{10}\ J = 3,9 \times 10^3\ kWh$$

L'area minima del pannello solare per soddisfare il fabbisogno della famiglia è

$$A = \frac{Q}{\frac{\Delta E}{m^2}} = \frac{3,9 \times 10^3\ kWh}{1,1 \times 10^3\ kWh/m^2} = 3,5\ m^2$$

3. Il calorimetro

33 Il suo calore specifico deve essere piccolo per riuscire a variare facilmente la propria temperatura e per sottrarre pochissimo calore al sistema.

34 $c_1 = 4186\ J/(kg \cdot K)$; $t_1 = 20\ °C$; $m_1 = 50\ g$; $t_e = 40\ °C$; $t_2 = 150\ °C$; $m_2 = 100\ g$

$c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 = c_1 m_1 t_e + c_2 m_2 t_e$; $c_2 m_2 (t_e - t_2) = c_1 m_1 (t_1 - t_e)$

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_e)}{m_2 (t_e - t_2)} = \frac{[4186\ J/(kg \cdot K)](0,05\ kg)(-20\ °C)}{(0,1\ kg)(-110\ °C)} = 3,8 \times 10^2\ J/(kg \cdot K)$$

35 L'equazione del bilancio energetico impone $m_2 c_2 (t_e - t_1) + m_1 c_1 (t_e - t_2) = 0$ da cui

$$c_2 = \frac{m_1 c_1 (t_e - t_1)}{m_2 (t_2 - t_e)} = \frac{(1,25\,kg)[4186\ J/(kg \cdot K)](15,30\,°C - 12,50\,°C)}{(1,02\,kg)(76,4\,°C - 15,3\,°C)} \simeq 235\ J/(kg \cdot K)$$

Il calore specifico è compatibile con quello dell'argento.

36 Le temperature iniziali dell'acqua e del piombo, espresse in kelvin, sono

$$T_1 = [(15\ °C/°C) + 273]\ K = 288\ K \text{ e } T_2 = [(90\ °C/°C + 273]\ K = 363\ K$$

Quindi, la temperatura di equilibrio è

$$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} =$$
$$= \frac{(4186\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1})(0,50\ kg)(288\ K) + (130\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1})(0,30\ kg)(363\ K)}{(4186\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1})(0,50\ kg) + (130\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1})(0,30\ kg)} = 289\ K = 16\ °C$$

37 Risolvendo l'equazione del bilancio energetico si ottiene

$$t_e = \frac{m_1 c t_1 + m_2 c t_2}{m_1 c + m_2 c} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{(1,35\ kg)(26,2\ °C) + (1,74\ kg)(82,5\ °C)}{(1,35\ kg) + (1,74\ kg)} = 57,9\ °C$$

38 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 449.

39 PROBLEMA MODELLO a pag. 449

40
- La quantità di calore richiesta è
$$Q_2 = cm_2\Delta T_2 = \left(4186\ \text{J}\cdot°\text{C}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)\left(0{,}240\ \text{kg}\right)\left(31\ °\text{C} - 66\ °\text{C}\right) = -3{,}5\times10^4\ \text{J}$$
- Dalla relazione $\cancel{c}m_1\left(T_e - T_1\right) + \cancel{c}m_2\left(T_e - T_2\right) = 0$, otteniamo
$$m_1 = m_2\frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} = \left(0{,}240\ \text{kg}\right)\frac{66\ °\text{C} - 31\ °\text{C}}{31\ °\text{C} - 17\ °\text{C}} = 0{,}60\ \text{kg}$$

41 Dalla relazione $c_1m_1\left(T_e - T_1\right) + c_2m_2\left(T_e - T_2\right) = 0$, si ricava
$$T_2 = T_e + \frac{c_1m_1\left(T_e - T_1\right)}{c_2m_2} = 300\ \text{K} + \frac{\left(4186\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)\left(20{,}0\ \text{kg}\right)\left(300 - 299\right)\text{K}}{\left(449\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)\left(3{,}500\ \text{kg}\right)} = 353\ \text{K} = 80\ °\text{C}$$

4. La propagazione del calore

42 Sul lavello d'acciaio, perché il suo coefficiente di conducibilità termica è molto più alto di quello del legno.

43 Perché il legno, che ha bassa conducibilità termica, aiuta a diminuire la dispersione di calore dall'interno verso l'esterno.

44 La forma degli spaghetti segue le correnti convettive con cui il calore si trasmette nell'acqua.

45 Perché due vetri, se separati da un'intercapedine di aria, hanno una conducibilità termica molto più bassa di quella del vetro singolo.

46
- $$Q_1 = \lambda\frac{S\left(T_F - T_A\right)\Delta t}{d_1} = \left[80\ \text{W}/\left(\text{m}\cdot\text{K}\right)\right]\frac{\left(0{,}2\ \text{m}^2\right)\left(225\ \text{K}\right)\left(600\ \text{s}\right)}{0{,}0021\ \text{m}} = 1{,}0\times10^9\ \text{J}$$
- $$Q_2 = \lambda\frac{S\left(T_F - T_A\right)\Delta t}{d_2} = \left[80\ \text{W}/\left(\text{m}\cdot\text{K}\right)\right]\frac{\left(0{,}2\ \text{m}^2\right)\left(225\ \text{K}\right)\left(600\ \text{s}\right)}{0{,}0042\ \text{m}} = 5{,}1\times10^8\ \text{J}$$

47 A causa della differenza di temperatura, il calore fluisce dal nostro corpo all'aria. Se non c'è vento, l'aria vicina alla pelle si riscalda e il flusso di calore si riduce; in condizioni di vento, invece, il calore viene trasportato per convezione e il nostro corpo risulta sempre a contatto con aria fredda.

48 La superficie della parete è pari a:
$$S = 5{,}0\ \text{m}\times3{,}5\ \text{m} = 17{,}5\ \text{m}^2$$
mentre l'intervallo di tempo espresso in secondi risulta:
$$\Delta t = 24\ \text{h}\times3600\ \text{s/h} = 8{,}64\times10^4\ \text{s}$$
La quantità di calore che passa, nell'arco di una giornata, dalla stanza all'ambiente esterno è dunque:
$$Q = \lambda_c S\frac{\Delta T}{d}\Delta t = \frac{\left(0{,}20\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(17{,}5\ \text{m}^2\right)\left(13\ \text{K}\right)\left(8{,}64\times10^4\ \text{s}\right)}{0{,}20\ \text{m}} = 2{,}0\times10^7\ \text{J}$$

49 $$\frac{Q}{\Delta t} = \lambda S\frac{\Delta T}{d} \Rightarrow \Delta t = \frac{Qd}{\lambda S\Delta T} = \frac{\left(125\,000\ \text{J}\right)\left(0{,}050\ \text{m}\right)}{\left[430\ \text{W}/\left(\text{m}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0{,}0050\ \text{m}^2\right)\left(29\ \text{K}\right)} = 1{,}0\times10^2\ \text{s}$$

50 $$\Delta T = \frac{Q}{\Delta t}\frac{d}{\lambda S} = \left(150\times10^3\ \text{J/s}\right)\frac{0,060\ \text{m}}{\left[80\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\right]\left(2,0\ \text{m}^2\right)} = 56\ \text{K} = 56\ °\text{C}$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T \quad \Rightarrow \quad T_2 = (12+56)\,°\text{C} = 68\ °\text{C}$$

51 $$\frac{Q}{\Delta t} = \lambda\frac{l_1 l_2}{d}\Delta T = \lambda\frac{6\cancel{d}l_2}{\cancel{d}}\Delta T = 6\lambda l_2 \Delta T \quad \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{Q}{\Delta t}\frac{1}{6 l_2 \Delta T} = \frac{2,8\times10^3\ \text{J}}{60\ \text{s}}\frac{1}{6\times(0,20\ \text{m})(42\ \text{K})} = 0,93\,\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

52
- $$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{3,24\times10^6\ \text{J}}{60\ \text{s}} = 54\ \text{kW}$$
- $$Q = \frac{\lambda S \Delta T \Delta t}{d} = \frac{\left[400\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\right]\left(2350\times10^{-4}\ \text{m}^2\right)(23\ \text{K})(60\ \text{s})}{0,040\ \text{m}} = 3,2\times10^6\ \text{J}$$

53
- $$S = \frac{Qd}{\lambda_1 \Delta T \Delta t} = \frac{\left(311\times10^3\ \text{J}\right)(0,10\ \text{m})}{\left(0,20\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)(24\ \text{K})(3600\ \text{s})} = 1,8\ \text{m}^2$$
- A parità di altre condizioni, raddoppiando lo spessore, il calore trasferito si dimezza. Infatti eseguendo il calcolo con $D = 2d = 0{,}20$ cm otteniamo $Q = 1{,}56\times10^5\ \text{J}$.

54 La lattina con la superficie riflettente ha riflesso una maggiore quantità di radiazione infrarossa e si è riscaldata meno, viceversa quella nera.

55 Il termoscanner rileva le radiazioni infrarosse emesse dai passeggeri e calcola la temperatura del loro corpo.

▶ 5. L'energia interna

56 La definizione che abbiamo introdotto vale per gas, liquidi e solidi.

57 Quando aumenta la temperatura, cresce l'energia cinetica media delle molecole del gas, quindi l'energia totale aumenta.

▶ 6. I passaggi tra stati di aggregazione

58 È meglio aggiungere del ghiaccio, perché assorbe calore aggiuntivo per passare dalla fase solida alla fase liquida.

59
- Il sudore che evapora dalla pelle sottrae al corpo la quantità di calore necessaria a passare dalla fase liquida a quella aeriforme. L'elevato calore necessario per la vaporizzazione dell'acqua è responsabile del refrigerio che procura l'evaporazione del sudore sulla pelle.
- Se l'aria circostante è molto umida, allora l'evaporazione è inibita e il sudore scivola sulla pelle senza evaporare.

60 L'acqua che imbeve il panno bagnato evapora continuamente. L'acqua per evaporare ha bisogno di assorbire molta energia (ha un alto calore latente di vaporizzazione). L'energia necessaria viene in parte prelevata dall'aria circostante, ma in parte è sottratta anche al volume racchiuso nel panno. Ecco perché il nonno ha ragione: la bottiglia si mantiene più fresca dell'ambiente un po' più a lungo.

61 Nulla: il sistema è già all'equilibrio termico.

62
- Il vapore acqueo iniziale passa direttamente a ghiaccio.
- Brinamento

63 Se il corpo si trova alla temperatura di fusione o di ebollizione, il calore fornito serve per indebolire o spezzare i legami fra molecole.

64 In una giornata calda l'energia cinetica media delle molecole di acqua è maggiore ed è più probabile che una di esse acquisti energia sufficiente a rompere i legami con le molecole circostanti.

65 $\Delta \mathrm{E} = L_f m = \left(23{,}0\times 10^3 \text{ J/kg}\right)\left(5{,}00\times 10^{-2} \text{ kg}\right) = 1{,}15 \text{ kJ}$

66 $m = \dfrac{\Delta \mathcal{E}}{L_f} = \dfrac{4{,}15\times 10^6 \text{ J}}{334\times 10^3 \text{ J/kg}} = 12{,}4 \text{ kg}$

67 $\Delta \mathcal{E} = L_f m = \left(59{,}2\times 10^3 \text{ J/kg}\right)\left(0{,}508 \text{ kg}\right) = 3{,}0\times 10^4 \text{ J}$

68 $m = \dfrac{\Delta \mathcal{E}}{L_f} = \dfrac{4{,}5\times 10^3 \text{ J}}{38\times 10^3 \text{ J/kg}} = 0{,}12 \text{ kg}$

69 $L_f = \dfrac{\Delta \mathcal{E}}{m} = \dfrac{1{,}0\times 10^4 \text{ J}}{0{,}44 \text{ kg}} = 2{,}3\times 10^4 \text{ J/kg}$

Questo è il calore latente del piombo. La sua temperatura di fusione è 601 K.

70 $m = \dfrac{Q}{L_v} = \dfrac{6{,}8\times 10^3 \text{ J}}{294\times 10^3 \text{ J/kg}} = 0{,}023 \text{ kg}$

71 $V = \dfrac{m}{\rho} = \dfrac{Q}{\rho L_v} = \dfrac{3{,}3\times 10^5 \text{ J}}{\left(860 \text{ kg/m}^3\right)\left(0{,}854\times 10^6 \text{ J/kg}\right)} = 4{,}5\times 10^{-4} \text{ m}^3 = 0{,}45 \text{ L}$

72
- $\bar{L}_v = \dfrac{\bar{Q}}{\bar{m}} = \dfrac{3{,}843\times 10^5 \text{ J}}{0{,}450 \text{ kg}} = 8{,}54\times 10^5 \text{ J/kg}$
- $e_r = \dfrac{3 \text{ g}}{450 \text{ g}} + \dfrac{0{,}005\times 10^5 \text{ J}}{3{,}843\times 10^5 \text{ J}} = 8\times 10^{-3}$

$\Delta L_v = e_r \bar{L}_v = \left(8\times 10^{-3}\right)\left(8{,}54\times 10^5 \text{ J/kg}\right) = 7\times 10^3 \text{ J/kg} = 0{,}07\times 10^5 \text{ J/kg}$

Così il risultato è $L_v = \left(8{,}54 \pm 0{,}07\right)\times 10^5 \text{ J/kg}$.

73
- Per fondere deve assorbire l'energia $\Delta E = mL_f = \left(0{,}070 \text{ kg}\right)\left(3{,}34\times 10^5 \text{ J/kg}\right) = 2{,}3\times 10^4 \text{ J}$.
- $\Delta E = mgh \quad \Rightarrow \quad h = \dfrac{\Delta E}{mg} = \dfrac{mL_f}{mg} = \dfrac{L_f}{g} = \dfrac{3{,}34\times 10^5 \text{ J/kg}}{9{,}8 \text{ m/s}^2} = 34 \text{ km}$

74 PROBLEMA MODELLO a pag. 453

75 Calore necessario per portare il lingotto a 232 °C:

$$Q_1 = cm\Delta t = [230\ \text{J}/(\text{kg}\cdot°\text{C})](1{,}0\ \text{kg})(232\,°\text{C} - 14\,°\text{C}) = 5{,}0\times10^4\ \text{J}$$

Calore necessario per fondere il lingotto a 232 °C:

$$Q_2 = L_f m = (59{,}2\times10^3\ \text{J/kg})(1{,}0\ \text{kg}) = 5{,}9\times10^4\ \text{J}$$

Calore totale:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 5{,}0\times10^4\ \text{J} + 5{,}9\times10^4\ \text{J} = 1{,}09\times10^5\ \text{J}$$

76 La sottrazione di calore provoca quattro fenomeni: la condensazione del vapore, il raffreddamento dell'acqua ottenuta fino a 0 °C, il congelamento dell'acqua, il raffreddamento del ghiaccio ottenuto. Dalla formula $Q = -L_v m - c_{H_2O} m \Delta T_{H_2O} - L_f m - c_{\text{ghiaccio}} m \Delta T_{\text{ghiaccio}}$, ricaviamo la massa:

$$m = \frac{-Q}{L_v + c_{H_2O}\Delta T_{H_2O} + L_f + c_{\text{ghiaccio}}\Delta T_{\text{ghiaccio}}} =$$

$$= \frac{4{,}3\times10^5\ \text{J}}{(2\,258\,000\ \text{J/kg}) + [4186\ \text{J/(kg}\cdot\text{K)}](100\ \text{K}) + (334\,000\ \text{J/kg}) + [2000\ \text{J/(kg}\cdot\text{K)}](31{,}5\ \text{K})} = 0{,}14\ \text{kg}$$

77 Durante il raffreddamento dell'acqua il ghiaccio assorbe il calore

$$Q = cm\Delta T = \left(4186\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(0{,}120\ \text{kg})(40\ \text{K}) = 2{,}0\times10^4\ \text{J}$$

La massa di ghiaccio disciolto è, quindi, $m = \dfrac{Q}{L_f} = \dfrac{2{,}0\times10^4\ \text{J}}{3{,}34\times10^5\ \text{J/kg}} = 0{,}060\ \text{kg} = 60\ \text{g}$.

78 Prima il ghiaccio si riscalda fino a $0\ °\text{C}$ assorbendo una quantità di calore pari a $\Delta Q_1 = cm\Delta T$.

Poi il ghiaccio fonde, assorbendo una quantità di calore pari a $\Delta Q_2 = L_f m$.

Il calore totale assorbito è

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 = m(c\Delta T + L_f) = (0{,}040\ \text{kg})\left[\left(2000\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(20\ \text{K}) + (3{,}34\times10^5\ \text{J/m})\right] = 1{,}5\times10^4\ \text{J}$$

79
- La temperatura della paraffina solida cresce fino ad arrivare al punto di fusione; quindi, il materiale fonde restando a temperatura costante. Quando tutta la paraffina è passata alla fase liquida, la sua temperatura torna a crescere a causa del calore che assorbe.
- Il calore assorbito dalla paraffina durante il passaggio di stato è dato da

  $$\Delta Q = P\Delta t = (3{,}5\ \text{kW})(132 - 42)\text{s} = (3{,}5\ \text{kW})(90\ \text{s}) = 315\ \text{kJ}$$

  da cui possiamo ricavare il calore latente di fusione:

  $$L_f = \frac{\Delta Q}{m} = \frac{315\ \text{kJ}}{1{,}5\ \text{kg}} = 2{,}1\times10^5\ \text{J/kg}$$

80 Il processo è costituito da: 1) raffreddamento fino alla temperatura di solidificazione; 2) solidificazione; 3) raffreddamento fino alla temperatura finale.
Limitatamente al processo di solidificazione, avremo

$$Q_s = -P\Delta t_f = -mL_f \quad \Rightarrow \quad L_f = \frac{P}{m}\Delta t_f = \frac{1{,}7\times10^4\ \text{J/s}}{1{,}5\ \text{kg}} 30\ \text{s} = 3{,}4\times10^5\ \text{J/kg}$$

81 Il lavoro compiuto dallo sciatore contro la forza di attrito dinamico è pari a $W = F_d \Delta s = \mu_d mg \Delta s$, mentre l'energia necessaria per far fondere la neve è pari a $\Delta\mathcal{E}_f = L_f m_{\text{neve}}$. Ponendo $\Delta\mathcal{E} = W$ si ricava la distanza necessaria per sciogliere 500 g di neve:

$$\Delta s = \frac{L_f m_{\text{neve}}}{\mu_d mg} = \frac{\left(334\times 10^3 \text{ J/kg}\right)\left(0,500 \text{ kg}\right)}{0,05\times\left(82 \text{ kg}\right)\left(9,8 \text{ m/s}\right)^2} = 4,2 \text{ km}$$

82
- Il calore specifico dell'alcol etilico, espresso nelle unità SI, è

$$c = 0,581 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} = \left(581 \text{ cal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(4,186 \text{ J/cal}\right) = 2,43\times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

l'intervallo di tempo complessivo è $\Delta t = \left(7\times 60 + 20\right)\text{s} = 440 \text{ s}$. La temperatura di ebollizione dell'alcol è 78 °C, perciò la variazione di temperatura, espressa in kelvin, è

$$\Delta T = T_{\text{eb}} - T_i = \left(78-22\right)\text{°C} = 56 \text{ °C} = 56 \text{ K}$$

La massa dell'alcol etilico è quindi

$$m = \frac{Q}{c\Delta T} = \frac{P\Delta t}{c\Delta T} = \frac{\left(1750 \text{ W}\right)\left(440 \text{ s}\right)}{\left(2,43\times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(56 \text{ K}\right)} = 5,7 \text{ kg}$$

- Partendo dalla relazione $\Delta\mathcal{E} = P\Delta t$, si ricava

$$\Delta \text{E} = L_v m \quad\Rightarrow\quad \Delta t = \frac{L_v m}{P} = \frac{\left(854\times 10^3 \text{ J/kg}\right)\left(5,7 \text{ kg}\right)}{1750 \text{ W}} = 2,8\times 10^3 \text{ s} = 46 \text{ min}$$

83 B

84 B

85 A

86 $K = \Delta E = 8\left(8,4 \text{ cal}\right)\left(4,186 \text{ J/cal}\right) = 370 \text{ J}$

$$K = \frac{mv_0^2}{2} \quad\Rightarrow\quad v_0^2 = \frac{2K}{m} \quad\Rightarrow\quad v_0 = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\times 370 \text{ J}}{4,00 \text{ kg}}} = 13,6 \text{ m/s}$$

87
$$T_E = \frac{c_A m_A T_A + c_p m_p T_p + CT_A}{c_A m_A + c_p m_p + C} =$$

$$= \frac{\left[4186 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,3 \text{ kg}\right)\left(20,0 \text{ °C}\right) + \left[129 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,03 \text{ kg}\right)\left(100,0 \text{ °C}\right)}{\left[4186 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,3 \text{ kg}\right) + \left[129 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,03 \text{ kg}\right) + \left(70,0 \text{ J/K}\right)} +$$

$$+ \frac{\left(70,0 \text{ J/K}\right)\times\left(20,0 \text{ °C}\right)}{\left[4186 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,3 \text{ kg}\right) + \left[129 \text{ J/}\left(\text{kg}\cdot\text{K}\right)\right]\left(0,03 \text{ kg}\right) + \left(70,0 \text{ J/K}\right)} = 20,2 \text{ °C}$$

88
$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{\lambda S\Delta T}{d} \quad\Rightarrow\quad \Delta t = \frac{Qd}{\lambda S\Delta T} = \frac{\left(7,6\times 10^3 \text{ J}\right)\left(4,0\times 10^{-3} \text{ m}\right)}{\left[2,5\times 10^{-2} \text{ W/}\left(\text{m}\cdot\text{K}\right)\right]\left(4,5\times 10^{-2} \text{ m}^2\right)\left(45 \text{ K}\right)} = 600,4 \text{ s} = 10 \text{ min}$$

89 ■ L'azoto liquido passa dalla temperatura di fusione a quella di ebollizione, ovvero da 63 K a 77 K, in (103 – 49) s = 54 s. Il calore specifico è dato dalla relazione $Q = cm\Delta T$; il calore assorbito dall'ambiente può essere espresso in funzione della potenza come $Q = P\Delta t$.

Eguagliando queste due equazioni si ricava il calore specifico dell'azoto liquido:

$$c_{\mathrm{N}} = \frac{P\Delta t}{m\Delta T} = \frac{(450\ \mathrm{W})(54\ \mathrm{s})}{(0{,}850\ \mathrm{kg})(14\ \mathrm{K})} = 2{,}0\ \mathrm{kJ/(kg \cdot K)}$$

■ L'ebollizione dell'azoto copre un intervallo di tempo pari a (481 – 103) s = 378 s:

$$L_v = \frac{Q}{m} = \frac{P\Delta t}{m} = \frac{(450\ \mathrm{W})(378\ \mathrm{s})}{0{,}850\ \mathrm{kg}} = 200 \times 10^3\ \mathrm{J/kg} = 200\ \mathrm{kJ/kg}$$

90 Il calore è disperso in parte dalla parete in mattoni e in parte dalla finestra, che denotiamo di seguito rispettivamente con gli indici *m* e *f*:

$$S_f = 2{,}0\ \mathrm{m}^2;\ \ S_m = (5{,}0 \times 3{,}0)\mathrm{m}^2 - S_f = 13\ \mathrm{m}^2$$

$$Q = \lambda_m S_m \frac{\Delta T}{d_m}\Delta t + \lambda_f S_f \frac{\Delta T}{d_f}\Delta t = \left(\frac{\lambda_m S_m}{d_m} + \frac{\lambda_f S_f}{d_f}\right)\Delta T \Delta t =$$

$$= \left(\frac{0{,}36\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}} \times 13\ \mathrm{m}^2}{0{,}25\ \mathrm{m}} + \frac{0{,}93\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}} \times 2\ \mathrm{m}^2}{0{,}014\ \mathrm{m}}\right) \times 16\ \mathrm{K} \times 1\ \mathrm{s} = 2{,}4\ \mathrm{kJ}$$

91 Il calore necessario a fondere il ghiaccio è $Q = L_f m$. La stessa quantità di calore attraversa il fondo della pentola in Δt = 14,0 s:

$$Q = \lambda_c S \frac{\Delta T}{d}\Delta t = L_f m$$

$$\Rightarrow\ \Delta T = \frac{L_f m d}{\lambda_c S \Delta t} = \frac{3(34 \times 10^3\ \mathrm{J/kg})(0{,}550\ \mathrm{kg})(15{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{m})}{(16\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}})\pi(0{,}070\ \mathrm{m})^2(14{,}0\ \mathrm{s})} = 8{,}0 \times 10^2\ \mathrm{K}$$

$$T_{\text{fornello}} = T_{\text{ghiaccio}} + \Delta T = 8{,}0 \times 10^2\ {}^\circ\mathrm{C}$$

92 $$80\% K = Q_f \ \Rightarrow\ 80\%\left(\frac{1}{2}m_p v^2\right) = L_f m_g \ \Rightarrow$$

$$m_g = \frac{1}{2}80\%\frac{(F_P/g)v^2}{L_f} = 40\%\frac{F_P v^2}{g L_f} = 40\%\frac{(550\ \mathrm{N})\left(\frac{20{,}0}{3{,}6}\ \mathrm{m/s}\right)^2 3}{(9{,}8\ \mathrm{m/s^2})(334 \times 10^3\ \mathrm{J/kg})} = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg}$$

93 $$Q_1 = \frac{\lambda_{\mathrm{L}} S \Delta T \Delta t}{d_{\mathrm{L}}} = \frac{[0{,}20\ \mathrm{W/(m \cdot K)}](5{,}2\ \mathrm{m}^2)(14\ \mathrm{K})(3600\ \mathrm{s})}{0{,}25\ \mathrm{m}} = 2{,}1 \times 10^5\ \mathrm{J}$$

Si calcola la λ totale: $\dfrac{d}{\lambda} = \dfrac{d_{\mathrm{L}}}{\lambda_{\mathrm{L}}} + \dfrac{d_{\mathrm{V}}}{\lambda_{\mathrm{V}}}$

$$\lambda = \frac{d\lambda_{\mathrm{V}}\lambda_{\mathrm{L}}}{d_{\mathrm{V}}\lambda_{\mathrm{L}} + d_{\mathrm{L}}\lambda_{\mathrm{V}}} = \frac{(0{,}70\ \mathrm{m})[0{,}043\ \mathrm{W/(m \cdot K)}][0{,}20\ \mathrm{W/(m \cdot K)}]}{(0{,}20\ \mathrm{m})[0{,}20\ \mathrm{W/(m \cdot K)}] + (0{,}25\ \mathrm{m})[0{,}043\ \mathrm{W/(m \cdot K)}]} = 11{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{W/(m \cdot K)}$$

$$Q_2 = \frac{\lambda S \Delta T \Delta t}{d} = \frac{[0{,}11\ \mathrm{W/(m \cdot K)}](5{,}2\ \mathrm{m}^2)(14\ \mathrm{K})(3600\ \mathrm{s})}{0{,}70\ \mathrm{m}} = 4{,}4 \times 10^4\ \mathrm{J}$$

94 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 A

3 B

4 C

5 $$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} =$$
$$= \frac{\left(4186 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)(30{,}0 \text{ kg})(303 \text{ K}) + \left(897 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)(12{,}0 \text{ kg})(420 \text{ K})}{\left(4186 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)(30{,}0 \text{ kg}) + \left(897 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\right)(12{,}0 \text{ kg})} = 312 \text{ K}$$

6
- $C = cm = cdV = cd\left(\pi r^2 \frac{2}{3} h\right) \Rightarrow$
$$C = \left(4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(1{,}00\times10^3 \text{ kg/m}^3\right)\frac{2}{3}\pi(2{,}0 \text{ m})^2 (12 \text{ m}) = 4{,}2\times10^8 \text{ J/K}$$
- $Q = C\,\Delta T = \left(4{,}2\times10^8 \text{ J/K}\right)(15 \text{ K}) = 6{,}3\times10^9 \text{ J}$

7
- $$Q = \lambda_c S \frac{\Delta T}{d}\Delta t = \frac{\left(0{,}93 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(1{,}5 \text{ m}^2\right)(10 \text{ K})\times 8{,}0\times(60 \text{ s})}{0{,}010 \text{ m}} = 6{,}7\times10^5 \text{ J}$$
- Il pannello di polistirolo isola di più, perché il suo coefficiente di conducibilità termica è minore di quello del vetro.

8
- L'azoto assorbe calore inizialmente per vaporizzare e poi per riscaldarsi:
$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 = L_v m + cm\Delta t = \left(0{,}198\times10^6 \text{ J/kg}\right)(30 \text{ kg}) + \left[1038 \text{ J/}(\text{kg}\cdot\text{K})\right](30 \text{ kg})(246 \text{ K}) =$$
$$= 5{,}94\times10^6 \text{J} + 7{,}66\times10^6 \text{J} = 13{,}6\times10^6 \text{J} = 1{,}4 \times 10^7 \text{J}$$
- Ricaviamo la durata complessiva del processo con una semplice proporzione rispetto alla durata della fase di vaporizzazione che (3600 s):
$$\Delta t_v : Q_v = \Delta t_{\text{tot}} : Q_{\text{tot}} \quad \Rightarrow \quad \Delta t_{\text{tot}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{Q_v}\Delta t_v = \frac{13{,}6\times10^6 \text{ J}}{5{,}94\times10^6 \text{ J}}(3600 \text{ s}) = 8242 \text{ s} = 2 \text{ h } 17 \text{ min}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Poiché la potenza è data da $P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$, l'energia assorbita, e quindi consumata, dal termoventilatore è
$$\Delta Q = \Delta E = P\Delta t = \left(2{,}10\times10^3 \text{ J/s}\right)(3600 \text{ s}) = 7{,}56\times10^6 \text{ J} = 1{,}81\times10^6 \text{ cal} = 1{,}81\times10^3 \text{ kcal}$$

2 $$Q = cm\Delta T = \left(449 \ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(7{,}32 \text{ kg})(930-15) \text{ K} = 3{,}01\times10^6 \text{ J} = 3{,}01 \text{ MJ}$$

3 Indicando con il pedice 1 le grandezze relative all'acqua e con il pedice 2 quelle relative alla grafite, dalla conservazione dell'energia si ottiene
$$t_e = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} = \frac{\left[4186 \text{ J/}(\text{kg}\cdot°\text{C})\right](0{,}560 \text{ kg})(30 \text{ °C}) + \left[709 \text{ J/}(\text{kg}\cdot°\text{C})\right](0{,}095 \text{ kg})(147 \text{ °C})}{\left[4186 \text{ J/}(\text{kg}\cdot°\text{C})\right](0{,}560 \text{ kg}) + \left[709 \text{ J/}(\text{kg}\cdot°\text{C})\right](0{,}095 \text{ kg})} = 33 \text{ °C}$$

4 Dalla relazione $Q_v = mL_v$ si ottiene

$$m = \frac{Q_v}{L_v} = \frac{35 \times 10^3 \text{ J}}{0{,}377 \times 10^6 \text{ J/kg}} = 93 \times 10^{-3} \text{ kg} = 93 \text{ g}$$

5 La quantità di calore assorbita dall'acqua è

$Q_{H_2O} = c_{H_2O} m_{H_2O} \left(t_e - t_{H_2O}\right)$, da cui si ricava la temperatura iniziale dell'acqua:

$$t_{H_2O} = t_e - \frac{Q_{H_2O}}{c_{H_2O} m_{H_2O}} = 29 \text{ °C} - \frac{31 \times 10^3 \text{ J}}{\left(4186 \dfrac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}\right)(0{,}50 \text{ kg})} = 14 \text{ °C}$$

6 Dalla relazione che fornisce il calore di condensazione si ottiene

$$Q_c = -L_v m \quad \Rightarrow \quad L_v = \frac{Q_c}{-m} = \frac{-0{,}690 \times 10^6 \text{ J}}{-1{,}35 \text{ kg}} = 0{,}511 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

Questo valore di L_v corrisponde al metano, CH_4.

7 Convertendo le calorie in Joule si ha: $60 \times 10^5 \text{ cal} = \left(60 \times 10^5 \text{ cal}\right)\left(4{,}186 \text{ J/cal}\right) = 25 \times 10^6 \text{ J}$.

La potenza dissipata è

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{25 \times 10^6 \text{ J}}{20 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}} = 21 \times 10^3 \text{ W} = 21 \text{ kW}$$

8

- Dalla relazione $\dfrac{Q}{\Delta t} = \dfrac{\lambda S \Delta T}{d}$, si ottiene

$$\Delta T = \frac{Q}{\Delta t}\frac{d}{\lambda S} = \frac{36{,}8 \times 10^3 \text{ J}}{10{,}3 \text{ s}} \frac{2{,}50 \times 10^{-3} \text{ m}}{\left(240 \dfrac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)\left(100 \times 10^{-3} \text{ m}\right)\left(14{,}3 \times 10^{-3} \text{ m}\right)} = 26{,}0 \text{ K} = 26{,}0 \text{ °C}$$

Indicando con N il numero di alette che formano il dissipatore, la potenza totale assorbita è

$$P = N\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 10 \times \frac{36{,}8 \times 10^3 \text{ J}}{10{,}3 \text{ s}} = 35{,}7 \times 10^3 \text{ W} = 35{,}7 \text{ kW}$$

9

- Dalla relazione $C = cm$ si ricava $m = \dfrac{C}{c} = \dfrac{1{,}81 \times 10^3 \text{ J/kg}}{385 \dfrac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 4{,}70 \text{ kg}$.

- Il calore scambiato è dato da $Q = cm\Delta T = \left(385 \dfrac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(4{,}70 \text{ kg})(17{,}0 \text{ K}) = 30{,}8 \times 10^3 \text{ J} = 30{,}8 \text{ kJ}$

10 Calcoliamo le quantità di calore somministrate in ciascuna fase del processo di riscaldamento.

- Durante il riscaldamento da 15,6 °C a 327 °C si ha

$$Q_1 = cm\left(t_f - t_i\right) = \left(129 \ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(0{,}300\ \text{kg})(327 - 15{,}6)\ \text{K} = 12{,}1\times10^3\ \text{J}$$

- Durante la fusione completa si ha

$$Q_2 = L_f m = \left(23{,}0\times10^3\ \text{J/kg}\right)(0{,}300\ \text{kg}) = 6{,}90\times10^3\ \text{J}$$

- Durante il riscaldamento da 327 a 412 °C:

$$Q_3 = cm\left(t_{fin} - t_f\right) = \left(129 \ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(0{,}300\ \text{kg})(412 - 327)\ \text{K} = 3{,}29\times10^3\ \text{J}$$

Pertanto il calore totale somministrato è

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \left(12{,}1\times10^3 + 6{,}90\times10^3 + 3{,}29\times10^3\right)\ \text{J} = 22{,}3\times10^3\ \text{J} = 22{,}3\ \text{kJ}$$

11 La superficie della lastra è $S = 40\ \text{cm}\times 60\ \text{cm} = 2400\ \text{cm}^2 = 0{,}24\ \text{m}^2$.

L'intervallo di tempo in secondi è $\Delta t = 12\ \text{h}\times 3600\ \text{s/h} = 43\times10^3\ \text{s}$.

La quantità di calore in Joule è $Q = 3{,}6\times10^6\ \text{cal} = 3{,}6\times10^6\ \text{cal}\times\dfrac{4{,}186\ \text{J}}{\text{cal}} = 15\times10^6\ \text{J}$.

Dalla relazione $\dfrac{Q}{\Delta t} = \dfrac{\lambda S \Delta T}{d}$ si ottiene

$$d = \frac{\lambda S\Delta T}{Q}\Delta t = \frac{\left(0{,}93\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\right)\left(0{,}24\ \text{m}^2\right)(8{,}0\ \text{K})}{15\times10^6\ \text{J}}\times 43\times10^3\ \text{s} = 5{,}1\times10^{-3}\ \text{m} = 5{,}1\ \text{mm}$$

12
- Indicando con il pedice 1 le grandezze relative all'acqua e con il pedice 2 quelle relative al metallo, dalla relazione che fornisce la temperatura di equilibrio si ottiene:

$$c_2 = \frac{c_1 m_1\left(t_e - t_1\right)}{m_2\left(t_2 - t_e\right)} = \frac{\left(4186\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(1{,}74\ \text{kg})(19{,}1 - 18{,}3)\ \text{K}}{\left(82{,}6\times10^{-3}\ \text{kg}\right)(319 - 19{,}1)\ \text{K}} = 235\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

- Al calore specifico calcolato corrisponde l'argento.

13 La quantità di calore Q è data da

$$Q = c_{H_2O} m_{H_2O} \Delta T_{H_2O} = \left(4186\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right)(10\ \mathrm{kg})(96-10)\ \mathrm{K} = 3{,}6\times10^6\ \mathrm{J}$$

Dalla relazione $\dfrac{Q}{\Delta t} = \dfrac{\lambda S \Delta T}{d}$ si ricava

$$\Delta t = \frac{Q}{\lambda S \Delta T} d = \frac{3{,}6\times10^6\ \mathrm{J}}{\left(400\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m \cdot K}}\right)(1{,}7\ \mathrm{m}\times0{,}90\ \mathrm{m})(18+10)\ \mathrm{K}}(0{,}018\ \mathrm{m}) = 3{,}8\ \mathrm{s}$$

14
- Usando $Q = cm\Delta T$ e considerando che $Q = 20\ \mathrm{cal} = (20\ \mathrm{cal})(4{,}176\ \mathrm{J/cal}) = 84\ \mathrm{J}$, si ottiene

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{84\ \mathrm{J}}{(50\times10^{-3}\ \mathrm{kg})(12\ \mathrm{K})} = 1{,}4\times10^2\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$$

- Il calore specifico non varia, mentre la capacità termica raddoppierebbe, essendo direttamente proporzionale alla massa.

15
- La temperatura richiesta è quella corrispondente al tratto orizzontale del grafico e vale 420 °C.
- La massa dello zinco è data da $m = dV = (7140\ \mathrm{kg/m^3})(0{,}25\,\mathrm{m}\times0{,}150\,\mathrm{m}\times0{,}062\,\mathrm{m}) = 16{,}6\,\mathrm{kg}$.

Nel primo tratto il calore fornito durante il riscaldamento dello zinco solido è

$$Q_1 = cm(T_f - T_i) = \left(388\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right)(16{,}6\ \mathrm{kg})(420-30)\ \mathrm{K} = 2{,}51\times10^6\ \mathrm{J}$$

Nel secondo tratto, corrispondente alla fusione dello zinco, il calore fornito è

$$Q_2 = L_f m = (112\times10^3\ \mathrm{J/kg})(16{,}6\ \mathrm{kg}) = 1{,}86\times10^6\ \mathrm{J}$$

Nel terzo e ultimo tratto il calore fornito allo zinco liquido è

$$Q_3 = cm(T_f - T_i) = \left(388\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right)(16{,}6\ \mathrm{kg})(700-420)\ \mathrm{K} = 1{,}80\times10^6\ \mathrm{J}$$

Dal grafico si deducono gli intervalli di tempo in cui avvengono i tre processi termici (riscaldamento del solido, fusione e riscaldamento del liquido):

$$\Delta t_1 = 600\ \mathrm{s}\ ;\ \Delta t_2 = (1920-600)\ \mathrm{s} = 1320\ \mathrm{s}\ ;\ \Delta t_3 = (2400-1920)\ \mathrm{s} = 480\ \mathrm{s}$$

Infine, il ritmo con cui è fornito il calore, ovvero i flussi di calore, sono per ciascun tratto

$$\frac{Q_1}{\Delta t_1} = \frac{2{,}51\times10^6\ \mathrm{J}}{600\ \mathrm{s}} = 4{,}18\times10^3\ \mathrm{J/s}\ ;\ \frac{Q_2}{\Delta t_2} = \frac{1{,}86\times10^6\ \mathrm{J}}{1320\ \mathrm{s}} = 1{,}41\times10^3\ \mathrm{J/s}\ ;\ \frac{Q_3}{\Delta t_3} = \frac{1{,}80\times10^6\ \mathrm{J}}{480\ \mathrm{s}} = 3{,}75\times10^3\ \mathrm{J/s}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 15

La termodinamica

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Gli scambi di energia tra un sistema e l'ambiente

pag. 458

No, impossibile riportare il sistema e l'ambiente nelle condizioni iniziali.

2. Il lavoro termodinamico

pag. 462

Il lavoro compiuto sarebbe lo stesso, ossia l'area racchiusa dal triangolo.

3. Il primo principio della termodinamica

pag. 464

- Una trasformazione isoterma o una trasformazione ciclica.
- In entrambi i casi il fatto che la temperatura finale del gas perfetto sia uguale a quella iniziale indica che non c'è stata alcuna variazione di energia interna. Quindi, per il primo principio della termodinamica, il calore assorbito Q è uguale al lavoro compiuto W: $Q = W = 1\ \text{kJ}$.

4. Le trasformazioni adiabatiche

pag. 466

Il gas compie più lavoro se l'espansione è isoterma, perché l'area sotto la curva verde è maggiore.

5. Le macchine termiche

pag. 468

Acqua che bolle (100 °C) e ghiaccio (0 °C).

pag. 469

Il motore di un'auto elettrica è 3-4 volte più efficiente di quello di un'auto a benzina e circa 10 volte più efficiente di quello di una locomotiva a vapore.

6. La macchina di Carnot

pag. 472

- L'energia interna del gas perfetto aumenta quando aumenta la temperatura, cioè nella compressione adiabatica (quarta fase).
- L'energia interna del gas perfetto si conserva quando la temperatura è costante, quindi nell'espansione isoterma (prima fase) e nella compressione isoterma (terza fase).

Tecnologia e sviluppo sostenibile – Una macchina termica nell'oceano

Fermati a pensare a pag. 474

Il rendimento massimo della centrale è dato dal rendimento di Carnot tra le sorgenti a temperature di 27 °C (sulla superficie del mare) e 4 °C (nelle acque profonde):

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{(4+273)\,\text{K}}{(27+273)\,\text{K}} = 0{,}077$$

TEST

1 A
2 B
3 D
4 B
5 D
6 A
7 C
8 B
9 B
10 C
11 C
12 A
13 B
14 C

ESERCIZI

1. Gli scambi di energia tra un sistema e l'ambiente

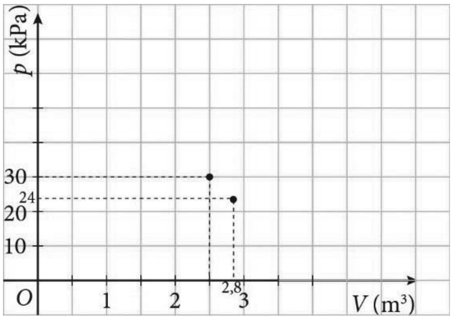
1 La temperatura del fiato è più alta di quella dell'aria invernale, pertanto soffiando sulle mani facciamo aumentare la loro energia interna. La temperatura di un piatto caldo è invece più alta di quella del fiato; quindi, se soffiamo su un piatto caldo diminuiamo la sua energia interna, con conseguente diminuzione della sua temperatura.

2 È diminuita perché è diminuito il numero di atomi.

3 $U = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2}(3{,}5 \times 10^{22})(1{,}38 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(290\ \text{K}) = 2{,}1 \times 10^{2}\ \text{J}$

4 $V_B = 1{,}12V_A = 1{,}12 \times 2{,}5\ \text{m}^3 = 2{,}8\ \text{m}^3$

$p_B = 0{,}80\,p_A = 0{,}80 \times 30\ \text{kPa} = 24\ \text{kPa}$



5 $U = \dfrac{3}{2}Nk_BT = \dfrac{3}{2}nN_Ak_BT \;\Rightarrow\; T = \dfrac{2U}{3nN_Ak_B} = \dfrac{2 \times 10 \times 10^3\ \text{J}}{3 \times (2{,}00\ \text{mol})(6{,}022 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1})(1{,}38 \times 10^{-23}\ \text{J/K})} =$

$= 401\ \text{K}$

6 $U = \dfrac{3}{2}Nk_BT \;\Rightarrow\; T = \dfrac{2U}{3Nk_B} = \dfrac{2}{3} \times \dfrac{780\ \text{J}}{(1{,}381 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(2{,}1 \times 10^{23})} = 1{,}8 \times 10^2\ \text{K}$

7 Un gas monoatomico ha tre gradi di libertà. Quindi la variazione di energia interna è

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2} \times (1{,}3\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(58 - 30)\ \text{K} = 4{,}5 \times 10^2\ \text{J}$$

8 $\Delta U = \dfrac{3}{2}Nk_B\Delta T \;\Rightarrow\; N = \dfrac{2\Delta U}{3k_B\Delta T} = \dfrac{2 \times 98{,}2\ \text{J}}{3 \times (1{,}381 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(81{,}7\ \text{K})} = 5{,}80 \times 10^{22}$

9 $U = \dfrac{3}{2}Nk_BT \;\Rightarrow\; N = \dfrac{2U}{3k_BT} = \dfrac{2}{3} \times \dfrac{523\ \text{J}}{(1{,}38 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(312\ \text{K})} = 8{,}10 \times 10^{22}$

2. Il lavoro termodinamico

10 No, se non c'è variazione di volume il lavoro è nullo.

11 No, è vero per un'espansione isobara.

12 Il secondo sistema compie un lavoro maggiore. Tracciando un grafico qualitativo è possibile dimostrare che l'area sotto il grafico del secondo sistema è maggiore: l'area del primo è un rettangolo, l'area del secondo è un trapezio rettangolo che contiene il rettangolo.

13 PROBLEMA SVOLTO

14 $W = p\Delta V = 210\ \text{kPa} \times (75 - 20) \times 10^{-6}\ \text{m}^3 = 12\ \text{J}$

15 Isolando la pressione nella formula per il lavoro isobaro, otteniamo

$$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{-1{,}1 \times 10^4\ \text{J}}{(25 - 48) \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = \frac{-1{,}1 \times 10^4\ \text{J}}{-23 \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 4{,}8 \times 10^5\ \text{Pa}$$

16 $A = \dfrac{(b_2 + b_1)h}{2} = W = \dfrac{(200 + 100)\ \text{kPa} \times (3{,}00 - 1{,}50)\ \text{m}^3}{2} = 225\ \text{kJ}$

17 Il lavoro è negativo, visto che è l'ambiente a compiere lavoro sul sistema. La compressione è isobara, quindi il lavoro è $W = p\Delta V$. Ricaviamo V_f:

$$W = p(V_f - V_i) \Rightarrow V_f = \frac{W}{p} + V_i = \frac{-350\ \text{J}}{150\times10^3\ \text{Pa}} + \left(4{,}1\times10^{-3}\ \text{m}^3\right) = 1{,}8\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 1{,}8\ \text{L}$$

18 $$W = p\Delta V \Rightarrow \Delta V = \frac{W}{p} \Rightarrow V_1 = V_2 - \Delta V = V_2 - \frac{W}{p} = 45\ \text{dm}^3 - \frac{9000\ \text{J}}{5{,}0\times10^5\ \text{Pa}} = 27\ \text{dm}^3$$

19 $$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1{,}7\times10^4\ \text{J}}{(38-15)\times10^{-3}\ \text{m}^3} = 7{,}4\times10^5\ \text{Pa}$$

20 $$\Delta V = V_{\text{finale}} - V_{\text{iniziale}} = \frac{1}{3}\left(4{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3\right) - \left(4{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3\right) = -2{,}7\times10^{-3}\ \text{m}^3$$

$$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{-5{,}4\times10^2\ \text{J}}{-2{,}7\times10^{-3}\ \text{m}^3} = 2{,}0\times10^5\ \text{Pa}$$

21 PROBLEMA MODELLO a pag. 479

22
- $W_{\text{tot}} = \Delta p \Delta V = \left[(70\ \text{kPa}) - (30\ \text{kPa})\right]\left[\left(40\times10^{-3}\ \text{m}^3\right) - \left(13\times10^{-3}\ \text{m}^3\right)\right] = 1{,}1\times10^3\ \text{J}$
- Cambia solo il segno.

23
- Il lavoro è eseguito sul sistema.
- $1{,}0\ \text{L} = 1{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3$

$$W = p\Delta V = p\left(\frac{3}{4}V_1 - V_1\right) = \left(89\times10^3\ \text{Pa}\right)\left[\left(\frac{3}{4}-1\right)\times1{,}0\times10^{-3}\ \text{m}^3\right] = -22\ \text{J}$$

24
- Compie lavoro.
- $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

$$W = p\Delta V = p\frac{4}{3}\pi\left[\left(\frac{3d_1}{2}\right)^3 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^3\right] =$$

$$= \left(57\times10^3\ \text{Pa}\right)\frac{4}{3}\pi\left[\left(\frac{3\times1{,}8}{2}\right)^3 - \left(\frac{1{,}8}{2}\right)^3\right]\ \text{m}^3 = 4{,}5\times10^6\ \text{J}$$

3. Il primo principio della termodinamica

25 Proviene dall'energia interna del sistema.

26 No, non è corretto parlare di energia interna, ma di *variazione* dell'energia interna.

27 Il gas deve fornire calore all'ambiente circostante. Per il primo principio della termodinamica, se la temperatura non cambia $\Delta U = 0$, quindi $Q = W$. Poiché il volume diminuisce, il sistema esegue un lavoro negativo, cioè subisce una compressione dall'esterno, quindi anche $Q < 0$, cioè il sistema cede energia all'esterno.

28 Isobara: grigia; isocora: verde.

29 Il calore Q è positivo perché viene assorbito dal gas e il lavoro W è positivo in quanto è svolto dal sistema. Quindi si trova $\Delta U = Q - W = 500\ \text{J} - 1300\ \text{J} = -800\ \text{J}$.

30 $$\Delta U = Q - W = 30\ \text{J} - (-40\ \text{J}) = 70\ \text{J}$$

31 $\Delta U = Q - W = 100\ \text{J} - 200\ \text{J} = -100\ \text{J}$

32 $W = Q - \Delta U = (2500 - 1500)\ \text{J} = 1000\ \text{J}$

33 $Q = W + \Delta U = (640\ \text{kJ}) + (-250\ \text{kJ}) = 390\ \text{kJ}$

34 Dal primo principio della termodinamica $\Delta U = Q - W$ si ottiene $Q = \Delta U + Q = (37 \pm 2)\ \text{J} + [-(71 \pm 3)\ \text{J}] = (-34 \pm 5)\ \text{J}$.

35 Il lavoro compiuto dal gas è $W = Q - \Delta U = (14,3 - 10,2)\ \text{kJ} = 4,1\ \text{kJ}$.

Di conseguenza l'aumento di volume del gas vale $\Delta V = \dfrac{W}{p} = \dfrac{4,1 \times 10^3\ \text{J}}{5,45 \times 10^5\ \text{Pa}} = 7,5 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 = 7,5\ \text{L}$.

36 Poiché la trasformazione è isoterma la variazione di energia interna è nulla e tenendo conto che il lavoro subito è negativo, si ha $\Delta U = 0 = Q - W \Rightarrow Q = W = -4,7\ \text{kJ}$.

Essendo $Q < 0$, si tratta di energia ceduta all'esterno.

37 PROBLEMA SVOLTO

38
- $\Delta U = Q - p\Delta V = (2,25 \times 10^5\ \text{J}) - (3,60 \times 10^5\ \text{Pa})(13,5 \times 10^{-3}\ \text{m}^3) = 2,20 \times 10^5\ \text{J}$
- Aumenta.

39 $\Delta U + p\Delta V = Q \quad \Rightarrow \quad \Delta V = \dfrac{Q - \Delta U}{p} = \dfrac{(3,0\ \text{kcal})(4186\ \text{J/kcal}) - 7,6 \times 10^3\ \text{J}}{(1,2\ \text{atm})(101\ \text{kPa/atm})} = 41 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$

$V_2 = V_1 + \Delta V = 5,0 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 + 41 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 = 46 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 = 4,6 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$

40 $\Delta U = \dfrac{3}{2} N k_B \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \dfrac{2\Delta U}{3Nk_B}$

$$T_1 = T_2 - \Delta T = T_2 - \frac{2\Delta U}{3Nk_B} = T_2 - \frac{2(Q - W)}{3Nk_B} = 341\ \text{K} - \frac{2 \times [218\ \text{J} - (-149\ \text{J})]}{3 \times 5,71 \times 10^{23} \times 1,381 \times 10^{-23}\ \text{J/K}} = 310\ \text{K}$$

41 Il lavoro necessario a sollevare la massa di 70 kg è
$W = mgh = (70\ \text{kg})(9,8\ \text{N/kg})(12\ \text{m}) = 8,2 \times 10^3\ \text{J} = 8,2\ \text{kJ}$

Per il primo principio si ha $\Delta U = Q - W = 25\ \text{kJ} - 8,2\ \text{kJ} = 17\ \text{kJ}$.

42
- Isoterma, perché la grande massa d'acqua esterna funziona come un gigantesco termostato e il pistone scende lentamente per comprimere il gas.
- Poiché la temperatura è costante, l'energia interna non varia e quindi $\Delta U = 0\ \text{J}$.
- Il lavoro è compiuto sul sistema che viene compresso quindi ha segno negativo:
  $W = Fs = (955\ \text{J})(-0,100\ \text{m}) = -95,5\ \text{J}$

  Dal primo principio della termodinamica segue
  $\Delta U = Q - W \quad \Rightarrow \quad Q = \Delta U + W = 0\ \text{J} + (-95,5\ \text{J}) = -95,5\ \text{J}$

43
- In una compressione il lavoro è subito dal sistema, quindi è negativo. Per conoscere l'energia che il sistema trasferisce dobbiamo calcolare il calore scambiato:
  $\Delta U = Q - W \quad \Rightarrow \quad Q = \Delta U + W = 400\ \text{J} - 1500\ \text{J} = -1100\ \text{J}$
- Il calore è negativo, quindi è ceduto all'ambiente. L'energia è scambiata con l'ambiente sotto forma di calore.

44 Il neon è un gas monoatomico e poiché il volume rimane costante si ha

$$\Delta U = \frac{3}{2} N k_B \Delta T = Q - W = Q \quad \Rightarrow \quad N = \frac{2}{3}\frac{Q}{k_B \Delta T} = \frac{2}{3} \times \frac{2245\ \text{J}}{\left(1,381 \times 10^{-23}\ \text{J/K}\right)\left(50\ \text{K}\right)} = 2,2 \times 10^{24}$$

45 La descrizione mostra che si tratta di una trasformazione isobara. Troviamo quindi il numero di moli del gas:

$$n = \frac{2Q}{5R\Delta T} = \frac{2\left(659\ \text{J}\right)}{5\left[8,3145\ \text{J}/\left(\text{mol}\cdot\text{K}\right)\right]\left(326\ \text{K} - 297\ \text{K}\right)} = 1,1\ \text{mol}$$

Di conseguenza, il gas è formato da $N = nN_A = \left(1,1\ \text{mol}\right)\left(6,022 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}\right) = 6,6 \times 10^{23}$ molecole.

46 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 482.

4. Le trasformazioni adiabatiche

47 Aumenta. $\Delta U = -W$: il lavoro è negativo, quindi la variazione di energia interna è positiva.

48 Il gas si espande quindi compie un lavoro positivo. Il gas si raffredda poiché nell'espansione adiabatica $Q = 0$, quindi l'energia interna del gas diminuisce ($\Delta U = -W$).

49 $\Delta U_1 = Q$ e $\Delta U_2 = -W$

$$\Delta U_{\text{tot}} = Q + (-W) = 450\ \text{J} - 630\ \text{J} = -180\ \text{J}$$

50
- Adiabatica.
- $\Delta U = -W = -2,0\ \text{J}$

51 $\Delta U = \frac{3}{2} N k_B \Delta T = -W$

$$\Delta T = \frac{2}{3}\frac{\Delta U}{N k_B} = \frac{2}{3}\frac{(-W)}{N k_B} = \frac{2}{3} \times \frac{(-29\ \text{J})}{\left(7,1 \times 10^{22}\right)\left(1,38 \times 10^{-23}\ \text{J/K}\right)} = -20\ \text{K}$$

52 $\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = -W \Rightarrow$

$$W = -\Delta U = -\frac{3}{2} n N_A k_B \Delta T = -\frac{3}{2}\left(6,022 \times 10^{23}\right)\left(1,381 \times 10^{-23}\right)\ \frac{\text{J}}{\text{K}} \times \left(-50,0\ \text{K}\right) = 624\ \text{J}$$

53 $$\Delta U = -W_{\text{sist}} = -\left(-W_F\right) = -\left(-Fs\right) \quad \Rightarrow \quad s = \frac{\Delta U}{F} = \frac{87\ \text{J}}{295\ \text{N}} = 0,29\ \text{m} = 29\ \text{cm}$$

5. Le macchine termiche

54 L'automobile con il rendimento più alto, cioè del 24%; infatti per compiere lo stesso lavoro dell'altra avrà consumato meno carburante.

55 $W = Q_2 - |Q_1| = 2700\ \text{J} - 1200\ \text{J} = 1500\ \text{J}$

56 Poiché $W = Q_2 - |Q_1|$, avendo indicato con Q_2 il calore assorbito e con $|Q_1|$ quello ceduto, si ottiene:

$$|Q_1| = Q_2 - W = 100\ \text{kJ} - 25\ \text{kJ} = 75\ \text{kJ}$$

57 $$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{75\ \text{kJ}}{225\ \text{kJ}} = 0,33 = 33\%$$

58 $$\eta = \frac{W}{Q_2} \Rightarrow Q_2 = \frac{W}{\eta} = \frac{400 \times 10^3 \text{ J}}{0,08} = 5 \text{ MJ}$$

59 $$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - |Q_1|}{Q_2} = \frac{1,4 \times 10^7 \text{ J} - 9,1 \times 10^6 \text{ J}}{1,4 \times 10^7 \text{ J}} = 35\%$$

60
- Il lavoro compiuto è $W = Q_2 - |Q_1| = (790 - 610) \text{ J} = 180 \text{ J}$.
- Il rendimento risulta $\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{180 \text{ J}}{790 \text{ J}} = 0,23 = 23\%$.

61
- Il lavoro compiuto è $W = p_0 V_0 = (2,1 \times 10^5 \text{ Pa})(3,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 8,0 \times 10^2 \text{ J}$.
- La temperatura nello stato A risulta
$$T_A = \frac{p_0 V_0}{nR} = \frac{8,0 \times 10^2 \text{ J}}{(0,26 \text{ mol})[8,3145 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]} = 3,7 \times 10^2 \text{ K}$$

62
- Il consumo totale annuo di carburante è pari a: $(3,0 \times 10^4 \text{ km})/(12 \text{ km/L}) = 2,5 \times 10^3$ L. Visto che il rendimento della vettura $r = W/Q_2$ è del 25%, il 75% del carburante bruciato è dissipato mediante scambio di calore, cioè $(2,5 \times 10^3 \text{ L}) \times 75\% = 1,9 \times 10^3$ L
- Con un rendimento aumentato del 5%, il carburante che non si converte in lavoro utile risulta pari a $(2,5 \times 10^3 \text{ L}) \times 70\% = 1,8 \times 10^3$ L
  Il risparmio annuo di carburante è quindi di $(1,9 \times 10^3 \text{ L} - 1,8 \times 10^3 \text{ L}) = 1,0 \times 10^2$ L.
  Il risparmio totale annuo è $(30 \times 10^6 \text{ vetture})(1,0 \times 10^2 \text{ L/vettura}) = 3 \times 10^9 \text{ L}$.

63 Il calore fornito al motore dell'automobile dalla combustione del carburante risulta
$$Q_2 = (3800 \times 10^3 \text{ J/m}^3)(5,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 1,9 \times 10^4 \text{ J}$$
Il rendimento è quindi
$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - |Q_1|}{Q_2} = \frac{1,9 \times 10^4 \text{ J} - 14\,000 \text{ J}}{1,9 \times 10^4 \text{ J}} = 0,26 = 26\%$$

64 Il calore ceduto, espresso in joule, è $|Q_1| = 36 \text{ cal} = (36 \text{ cal})(4,186 \text{ J/cal}) = 151 \text{ J}$.

Il rendimento risulta quindi pari a $\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - |Q_1|}{Q_2} = \frac{200 \text{ J} - 151 \text{ J}}{200 \text{ J}} = 0,25 = 25\%$.

65 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 483.

6. La macchina di Carnot

66 Perché in questo modo si aumenta il rendimento della macchina termica centrale termoelettrica.

67 Il rapporto T_1/T_2 deve essere molto piccolo, quindi le due temperature devono essere il più possibile differenti tra loro.

68 Dato che entrambe utilizzano refrigeranti a temperatura ambiente, il rendimento massimo (ovvero quello di una macchina di Carnot) di una centrale termoelettrica è maggiore di quello di una centrale nucleare poiché la temperatura della sua sorgente calda è più elevata.

69 Il rendimento massimo che si può ottenere lavorando con quelle temperature è pari a
$$\eta = 1 - \frac{323 \text{ K}}{473 \text{ K}} = 0,32$$
Un motore con un rendimento maggiore che lavori fra tali temperature non può dunque esistere.

70 $$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{280\ \text{K}}{1600\ \text{K}} = 0,825 = 82,5\%$$

71 $$\eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300\text{K}}{400\text{K}} = 0,25 = 25\%$$

72 $$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1,1\times 10^3\ \text{K}}{2,3\times 10^3\ \text{K}} = 1 - 0,48 = 0,52$$

73 $$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow T_1 = T_2(1-\eta) = (700\ \text{K})(1-0,360) = 448\ \text{K}$$

7. Il secondo principio della termodinamica

74 No, ad esempio il frigorifero la realizza. È impossibile realizzare una trasformazione il cui *unico* risultato sia quello di far passare calore da un corpo più freddo a uno più caldo.

75 Per funzionare senza mai fermarsi, la macchina dovrebbe tornare sempre a uno stesso stato iniziale; in caso contrario, la sua temperatura, o qualche altro suo parametro interno, crescerebbe oltre i limiti di funzionamento. Ciò equivale però a compiere una trasformazione il cui unico risultato è assorbire energia da una sorgente calda e produrre lavoro, in violazione dell'enunciato di Lord Kelvin.

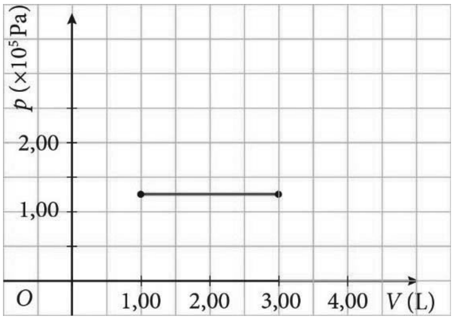
76 Esprimono entrambi una condizione di impossibilità fisica.

77 C

78 B

79 Combinando la formula $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$ con $m = nM$, otteniamo

$$m = \frac{2}{3}\frac{M\Delta U}{R\Delta T} = \frac{2}{3}\frac{(4,00\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1})(9,50\ \text{kJ})}{(8,3145\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(403-343)\ \text{K}} = 50,8\ \text{g}$$

80
- $$W = p\Delta V \Rightarrow p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{250\ \text{J}}{(3,00-1,00)\times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 125\ \text{kPa}$$
- 

81

- $W = p\Delta V \Rightarrow \Delta V = V_2 - V_1 = \dfrac{W}{p} \Rightarrow$

$$V_1 = V_2 - \frac{W}{p} = 45\ \text{dm}^3 \times \left(\frac{10^{-3}\ \text{m}^3}{\text{dm}^3}\right) - \frac{4500\ \text{J}}{2,5\times10^5\ \text{Pa}} = 2,7\times10^{-2}\ \text{m}^3 = 27\ \text{dm}^3$$

- La temperatura iniziale del gas è $T_1 = \dfrac{pV_1}{nR} = \dfrac{(2,5\times10^5\ \text{Pa})(2,7\times10^{-2}\ \text{m}^3)}{(2,6\ \text{mol})[8,3145\ \text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]} = 3,1\times10^2\ \text{K}$; quella finale risulta $T_2 = T_1\dfrac{V_2}{V_1} = (3,1\times10^2\ \text{K})\dfrac{4,5\times10^{-2}\ \text{m}^3}{2,7\times10^{-2}\ \text{m}^3} = 5,2\times10^2\ \text{K}$. Quindi, la variazione di energia interna del gas è

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}(2,6\ \text{mol})\left(8,3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(5,2-3,1)\times10^2\ \text{K} = 6,8\times10^3\ \text{J}$$

82

- $pV = nRT \quad \Rightarrow \quad \dfrac{p_f}{p_i} = \dfrac{T_f}{T_i} \quad \Rightarrow \quad p_f = p_i\dfrac{T_f}{T_i} = (1,5\ \text{atm})\left(101\ \dfrac{\text{kPa}}{\text{atm}}\right)\dfrac{(273+65)\,\text{K}}{(273+10)\,\text{K}} = 1,8\times10^5\ \text{Pa}$

- $\Delta U = \dfrac{3}{2}nRT = \dfrac{3}{2}\dfrac{p_iV}{T_i}\Delta T = \dfrac{3}{2}\times\dfrac{(1,5\ \text{atm})(1013\ \text{kPa/atm})(10^{-3}\ \text{m}^3)}{283\ \text{K}}(55\ \text{K}) = 44\ \text{J}$

- $Q = \Delta U = 44\ \text{J}$

83

- In ciclo la variazione di energia interna è nulla.

- $W = \dfrac{1}{2}(140\ \text{kPa})\left[0,32\ \text{m}^3 - 0,06\ \text{m}^3 + 0,22\ \text{m}^3 - 0,06\ \text{m}^3\right] = 29\ \text{kJ}$

84

- Isocora.

- $\Delta U = \dfrac{3}{2}Nk_B\Delta T = Q \quad \Rightarrow$

$$\Delta T = \frac{2}{3}\frac{\Delta U}{Nk_B} = \frac{2}{3}\frac{Q}{Nk_B} = \frac{2}{3}\times\frac{587\ \text{J}}{(7,24\times10^{23})(1,38\times10^{-23}\ \text{J/K})} = 39,2\ \text{K}$$

85

- Adiabatica.

- $W = -\Delta U = -\dfrac{3}{2}Nk_B\Delta T = -\dfrac{3}{2}(4,0\times10^{22})(1,38\times10^{-23}\ \text{J/K})(-16\ \text{K}) = 13\ \text{J}$

86

- $p_2V_2 = \dfrac{p_1V_1}{T_1}T_2$

Essendo $p_1 = p_2$, si ha:

$$T_2 = \frac{T_1}{p_1V_1}p_2V_2 = \frac{5}{2}T_1 = \frac{5}{2}\times300\ \text{K} = 750\ \text{K}$$

- $\Delta U = \dfrac{3}{2}Nk_B\Delta T = \dfrac{3}{2}(1,81\times10^{24})(1,381\times10^{-23}\ \text{J/K})(750-300)\,\text{K} = 1,687\times10^4\ \text{J} \simeq 1,69\times10^4\ \text{J}$

- $\Delta U = Q - p\Delta V$; $\Delta V = V_2 - V_1 = \dfrac{5}{2}V_1 - V_1 = 1,5V_1 = 1,5(74,9\times10^{-3}\ \text{m}^3) = 0,1124\ \text{m}^3 \quad \Rightarrow$

$$Q = \Delta U + p\Delta V = 1,687\times10^4\ \text{J} + (2,00\times10^5\ \text{Pa}\times0,1124\ \text{m}^3) = 3,94\times10^4\ \text{J}$$

87
- $p = 60 \text{ kPa}$
- $\Delta V = (0{,}8 - 0{,}2)\,\text{m}^3 = 0{,}6 \text{ m}^3$
- $W = p\Delta V = (60\times10^3 \text{ Pa})(0{,}6 \text{ m}^3) = 4\times10^4 \text{ J}$

88
- Il calore assorbito è quello prodotto dalla caldaia:

  $Q_{\text{assorbito}} = P\Delta t = (80\times10^3 \text{ kW})(2{,}0 \text{ h})\times\dfrac{3600 \text{ s}}{\text{h}} = 576\times10^6 \text{ J}$

  Pertanto $W_{\text{utile}} = \eta Q_{\text{assorbito}} = 0{,}600\times576\times10^6 \text{ J} = 346\times10^6 \text{ J} = 346 \text{ MJ}$.
- Poiché $W_{\text{utile}} = Q_{\text{assorbito}} - |Q_{\text{ceduto}}|$, si ha:

  $|Q_{\text{ceduto}}| = Q_{\text{assorbito}} - W_{\text{utile}} = 576 \text{ MJ} - 346 \text{ MJ} = 230 \text{ MJ}$

89
- Indicando su un diagramma p-V con A lo stato iniziale, con B il punto in cui finisce l'espansione isoterma e comincia quella isobara, con C lo stato finale, si ha:

  $T_A = T_B;\ p_B = p_C;\ p_C = \dfrac{1}{3}p_A;\ V_C = 4V_A$

  Nel tratto AB (isoterma) si ha:

  $p_AV_A = p_BV_B \Rightarrow V_B = \dfrac{p_AV_A}{p_B} = \dfrac{p_AV_A}{p_C} = \dfrac{p_AV_A}{\frac{1}{3}p_A} = 3V_A$

  Nel tratto BC (isobara) si ha:

  $\dfrac{V_B}{T_B} = \dfrac{V_C}{T_C} \Rightarrow T_C = V_C\dfrac{T_B}{V_B} = 4V_A\dfrac{T_A}{3V_A} = \dfrac{4}{3}T_A = \dfrac{4}{3}\times(25+273)\text{ K} = 397 \text{ K} = 124 \text{ °C}$
- $\Delta U = \dfrac{3}{2}Nk_B\Delta T = \dfrac{3}{2}\times2\times(6{,}022\times10^{23})\left(1{,}381\times10^{-23}\ \dfrac{\text{J}}{\text{K}}\right)(124-25)\text{K} = 2{,}47\times10^3 \text{ J}$

90
- La quantità di calore fornito è $Q = cm\Delta T = \left(4186\ \dfrac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(0{,}018 \text{ kg})(36 \text{ K}) = 2{,}7\times10^3 \text{ J}$.
- Il lavoro compiuto è dato da $W = \dfrac{1}{2}ks^2 = \dfrac{1}{2}(1{,}1\times10^5 \text{ N/m})(0{,}16 \text{ m})^2 = 1{,}4\times10^3 \text{ J}$.
- Quindi la variazione di energia interna è $\Delta U = Q - W = 2{,}7\times10^3 \text{ J} - 1{,}4\times10^3 \text{ J} = 1{,}3\times10^3 \text{ J}$.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 A

3 C

4 B

5 $U_1 = \dfrac{3}{2}Nk_BT_1 = \dfrac{3}{2}(1{,}55\times10^{25})(1{,}38\times10^{-23} \text{ J/K})(273 \text{ K}) = 87{,}6 \text{ kJ}$

6 Da $W = p(V_2 - V_1)$ otteniamo

$$V_2 = V_1 + \frac{W}{p} = 4{,}8 \times 10^{-2}\ \text{m}^3 + \frac{-5{,}6 \times 10^3\ \text{J}}{3{,}3 \times 1{,}01 \times 10^5\ \text{Pa}} = 3{,}1 \times 10^{-2}\ \text{m}^3 = 31\ \text{L}$$

7
- $W = p\Delta V = (130\ \text{kPa})(250 \times 10^{-6}\,\text{m}^3) = 32{,}5\ \text{J}$
- $\Delta U_1 = Q_1 - W = (114{,}0 - 32{,}5)\ \text{J} = 81{,}5\ \text{J}$

  $\Delta U_2 = Q_2 = 27{,}0\ \text{J}$

  $\Delta U_{\text{tot}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 81{,}5\ \text{J} + 27{,}0\ \text{J} = 108{,}5\ \text{J}$

8
- Il rendimento della macchina reale è $\eta_r = 0{,}60\left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = 0{,}60\left(1 - \frac{420\ \text{K}}{1200\ \text{K}}\right) = 0{,}39$.
- Quindi il calore assorbito risulta $Q_2 = \frac{W}{\eta_r} = \frac{2{,}8 \times 10^7\ \text{J}}{0{,}39} = 7{,}2 \times 10^7\ \text{J}$.
- Di conseguenza il modulo del calore ceduto è $|Q_1| = Q_2 - W = (72 - 28)\ \text{MJ} = 44\ \text{MJ}$.

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 $W = p\Delta V$ e $\Delta V = \pi\frac{D^2}{4}\Delta h = \pi\frac{(8{,}2 \times 10^{-2}\ \text{m})^2}{4}(25 \times 10^{-2}\ \text{m}) = 1{,}3 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 \Rightarrow$

$$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{330\ \text{J}}{1{,}3 \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = 2{,}5 \times 10^5\ \text{Pa} = 2{,}5\ \text{atm}$$

2 $$N = \frac{2U}{3k_B T} = \frac{2 \times 7{,}4 \times 10^3\ \text{J}}{3 \times (1{,}3806 \times 10^{-23}\ \text{J/K})(25 + 273)\ \text{K}} = 1{,}2 \times 10^{24}$$

3 Il lavoro associato a un ciclo è dato, in valore assoluto, dall'area del rettangolo:
$|W| = \overline{AB} \times \overline{CD} = (7{,}0 - 1{,}0) \times 10^{-3}\ \text{m}^3 \times (3{,}0 - 1{,}0)(1{,}013 \times 10^5\ \text{Pa}) = 1{,}2 \times 10^3\ \text{J} = 1{,}2\ \text{kJ}$
Poiché, nel piano p-V, il verso di percorrenza è antiorario si ha che $W < 0$ e quindi $W = -1{,}2$ kJ. Il lavoro è subito dal gas.

4
- Poiché V è costante, si ha $W = p\Delta V = 0$ J.
- Dal primo principio della termodinamica si ottiene

  $\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = Q = \frac{3}{2}nR\Delta T$, e quindi

  $$Q = \frac{3}{2}(1\text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(237 - 14{,}0)\ \text{K} = 2{,}78 \times 10^3\ \text{J} = 2{,}78\ \text{kJ}$$

5 Il rendimento di una macchina di Carnot è dato da $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ da cui:

$$T_1 = T_2(1 - \eta) = (730 + 273)\ \text{K} \times (1 - 0{,}51) = 491\ \text{K} = 218\ °\text{C}$$

6 $$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \Rightarrow n = \frac{2}{3} \times \frac{\Delta U}{R\Delta T} = \frac{2}{3} \times \frac{(12{,}9 - 10{,}0) \times 10^3 \text{ J}}{\left(8{,}3145 \ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(86{,}0 \text{ K})} = 2{,}70 \text{ mol}$$

7 Per una macchina termica, il rendimento è $\eta = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2} = 1 - \frac{118 \text{ J}}{327 \text{ J}} = 0{,}64$.

8
- La variazione di energia interna del sistema è

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} \times (1{,}30 \text{ mol}) \left(8{,}3145 \ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(21{,}4 - 13{,}8) \text{ K} = 1{,}23 \times 10^2 \text{ J}$$

- Applicando il primo principio della termodinamica e tenendo conto che la variazione di volume è nulla, si ottiene:

$$Q = \Delta U + p\Delta V = \Delta U = 1{,}23 \times 10^2 \text{ J}$$

- Poiché la trasformazione è isocora, per la seconda legge di Gay-Lussac si ha:

$$V = \text{cost} \Rightarrow \frac{p_i}{T_i} = \frac{p_f}{T_f} \Rightarrow$$

$$p_f = p_i \frac{T_f}{T_i} = (15{,}1 \text{ atm}) \left(1{,}013 \times 10^5 \ \frac{\text{Pa}}{\text{atm}}\right) \frac{(21{,}4 + 273) \text{ K}}{(13{,}8 + 273) \text{ K}} = 1{,}57 \times 10^6 \text{ Pa} = 15{,}5 \text{ atm}$$

9 Calcoliamo la variazione dell'energia interna del gas perfetto:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} (1{,}65 \text{ mol}) \left(8{,}3145 \ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)(10 \text{ K}) = 2{,}06 \times 10^2 \text{ J}$$

Dal primo principio ricaviamo il lavoro compiuto dal gas:

$$W = Q - \Delta U = (1{,}61 - 0{,}206) \text{ kJ} = 1{,}40 \text{ kJ}$$

Il lavoro termodinamico a pressione costante è $W = p\Delta V$, da cui:

$$\Delta V = \frac{W}{p} = \frac{1{,}40 \times 10^3 \text{ J}}{(3{,}20 \text{ atm}) \left(1{,}013 \ \frac{\text{Pa}}{\text{atm}}\right)} = 4{,}32 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

La variazione di volume comporta lo spostamento lineare Δh del pistone:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta V}{\pi r^2} = \frac{4{,}32 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\pi \left(\frac{12{,}0 \times 10^{-2} \text{ m}}{2}\right)^2} = 38{,}2 \text{ cm}$$

10 ■ Dall'equazione di stato dei gas perfetti si ottiene

$$V_f = \frac{nRT_f}{p_f} = \frac{(1{,}0\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(-5{,}6+273)\ \text{K}}{(1{,}0\ \text{atm})\left(\frac{1{,}013\times10^5\ \text{Pa}}{\text{atm}}\right)} = 0{,}022\ \text{m}^3 = 22{,}0\ \text{L}$$

Poiché $V_f = 3V_i$, si ha

$$V_i = \frac{V_f}{3} = \frac{0{,}022\ \text{m}^3}{3} = 7{,}3\times10^{-3}\ \text{m}^3 = 7{,}3\ \text{L}$$

Quindi, la temperatura iniziale è

$$T_i = \frac{p_iV_i}{nR} = \frac{(4{,}7\ \text{atm})\left(\frac{1{,}013\times10^5\ \text{Pa}}{\text{atm}}\right)(7{,}3\times10^{-3}\ \text{m}^3)}{(1{,}0\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)} = 418\ \text{K} = 145\ °\text{C}$$

■ Per il principio della termodinamica, e tenendo conto che la trasformazione è adiabatica, si ha
$\Delta U = Q - W = -W \Rightarrow W = -\Delta U$

e poiché $\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_f - T_i)$ si ottiene infine

$$W = -\frac{3}{2}nR(T_f - T_i) = \frac{3}{2}nR(T_i - T_f) = \frac{3}{2}\times(1{,}0\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(145+5{,}6)\ \text{K} = 1{,}9\times10^3\ \text{J} = 1{,}9\ \text{kJ}$$

11 ■ Il calore ceduto alla sorgente fredda è dato da

$$|Q_1| = c_{\text{H}_2\text{O}}m_{\text{H}_2\text{O}}\Delta T = \left(4186\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(129\ \text{kg})(1{,}1\times10^{-4}\ \text{K}) = 59{,}4\ \text{J}$$

Per il primo principio della termodinamica, considerando che in un ciclo la variazione di energia interna del sistema è nulla, si ha:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2} = 1 - \frac{59{,}4\ \text{J}}{18{,}8\ \text{J}} = 0{,}240 = 24{,}0\%$$

12 ■ La variazione di energia interna è data da

$$\Delta U = \frac{3}{2}Nk_B\Delta T = \frac{3}{2}\times(9{,}03\times10^{23})\left(1{,}3806\times10^{-23}\ \frac{\text{J}}{\text{K}}\right)(315\ \text{K}) = 5{,}89\times10^3\ \text{J} = 5{,}89\ \text{kJ}$$

■ Poiché numero di moli è $n = \frac{N}{N_A} = \frac{9{,}03\times10^{23}}{6{,}022\times10^{23}} = 1{,}50\ \text{mol}$

e la trasformazione è isobara, la quantità di calore ricevuta dall'ambiente esterno è

$$Q = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}\times(1{,}50\ \text{mol})\left(8{,}3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(315\ \text{K}) = 9{,}82\times10^3\ \text{J} = 9{,}82\ \text{kJ}$$

■ Dal primo principio della termodinamica si ricava il lavoro compiuto dal gas:
$\Delta U = Q - W \Rightarrow W = Q - \Delta U = 9{,}82\ \text{kJ} - 5{,}89\ \text{kJ} = 3{,}93\ \text{kJ}$

13 ■ Il rendimento teorico è quello associato alla macchina ideale di Carnot. Si ha pertanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = 1 - \eta \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{1-\eta} = \frac{(25+273)\ \text{K}}{1-0,61} = 764\ \text{K} = 491\ °\text{C}$$

■ La quantità di calore scambiata in un'ora per il raffreddamento dell'acqua è

$$|Q| = cm\Delta T = 4186 \times (7,2\times10^3\ \text{kg})(491-25)\ \text{K} = 1,40\times10^{10}\ \text{J}$$

La potenza è quindi

$$P = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{1,40\times10^{10}\ \text{J}}{1\ \text{h} \times \dfrac{3600\ \text{s}}{\text{h}}} = 3,90\times10^6\ \text{W} = 3,90\ \text{MW}$$

14 ■ Per un gas perfetto e una trasformazione isobara si ha $p\Delta V = nR\Delta T$, da cui

$$\Delta T = \frac{p\Delta V}{nR} = \frac{\left(2,5\,\text{atm}\times1,013\times10^5\ \dfrac{\text{Pa}}{\text{atm}}\right)(18-7,2)\times10^{-3}\ \text{m}^3}{(1,6\ \text{mol})\left(8,3145\ \dfrac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)} = 206\ \text{K} = 206\ °\text{C}$$

■ Per un gas perfetto monoatomico si ha

$$Q = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}(1,6\ \text{mol})\left(8,3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(206\ \text{K}) = 6,9\times10^3\ \text{J} = 6,9\ \text{kJ}$$

15 ■ Il lavoro è uguale all'energia potenziale elastica della molla compressa:

$$W = U = \frac{1}{2}ks^2 = \frac{1}{2}(6,50\times10^4\ \text{N/m})(8,40\times10^{-2}\ \text{m})^2 = 229\ \text{J}$$

Poiché per una trasformazione a pressione costante si ha $W = p\Delta V$, si ottiene

$$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{W}{\pi\left(\dfrac{d}{2}\right)^2 \times s} = \frac{229\,\text{J}}{\pi\left(\dfrac{10,0\times10^{-2}\ \text{m}}{2}\right)^2(8,40\times10^{-2}\ \text{m})} = 3,47\times10^5\ \text{Pa} = 3,43\ \text{atm}$$

■ Per un gas perfetto si ha $p\Delta V = nR\Delta T$, quindi $\Delta T = \dfrac{p\Delta V}{nR} = \dfrac{W}{nR} = \dfrac{229\ \text{J}}{(1\ \text{mol})\left(8,3145\ \dfrac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)} = 27,5\ \text{K} = 27,5\ °\text{C}$

■ Per un gas perfetto si ha

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}\times(1\ \text{mol})\left(8,3145\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)(27,5\ \text{K}) = 343\ \text{J}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 16

Le onde, il suono e la luce

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

2. Le onde periodiche

pag. 490

$$\text{frequenza} = \frac{\text{numero di creste}}{\text{intervallo di tempo}} = \frac{6}{30\ \text{s}} = 0,2\ \text{Hz}$$

pag. 492

La lunghezza d'onda e la velocità dell'onda cambiano perché dipendono dal mezzo, la frequenza resta invariata.

pag. 493

- Posto $v \approx 340$ m/s e $\Delta t = 3$ s, la distanza del temporale è
  $\Delta s = v\,\Delta t \approx (340\ \text{m/s})(3\ \text{s}) = 1200\ \text{m} \approx 1\ \text{km}$
- Se Δt è doppio o triplo, Δs è doppia (2 km) o tripla (3 km).

3. Le caratteristiche del suono

pag. 494

Sono maggiori le lunghezze d'onda degli infrasuoni.

5. La luce

pag. 499

$$t = \frac{3,00\times10^{8}\ \text{m/s}}{300\ \text{m}} = 1,00\times10^{6}\ \text{s}$$

pag. 501

Violetta, verde e arancione.

6. La riflessione della luce

pag. 503

Per esempio: 

9. Le lenti

pag. 512

Reale, capovolta e rimpicciolita.

pag. 513

Per le lenti sottili, le immagini reali sono sempre capovolte, mentre le immagini virtuali sono sempre diritte.

TEST

1 D

2 C

3 D

4 B e C

5 D

6 A

7 D

8 B

9 C

10 A

11 D

12 B

13 A

14 C

15 C

16 B

ESERCIZI

1. I moti ondulatori

1
- Onda trasversale.
- Si propaga attraverso i corpi dei tifosi, che si alzano e si abbassano in successione.
- Ogni tifoso si alza e si abbassa, nella direzione perpendicolare al moto dell'onda.

2 Il pennino segue l'onda longitudinale che si propaga nella molla e disegna lo spostamento longitudinale.

3 Il filo trasmette le onde acustiche sotto forma di un'onda trasversale.

4 Un'onda è una perturbazione che si propaga trasportando energia. Un impulso sonoro, per esempio dovuto a uno sparo, produce un'onda sonora che si propaga nell'aria e se raggiunge, per esempio, il ghiaccio o la neve può provocare il distacco di lastroni di ghiaccio e produrre una valanga.

2. Le onde periodiche

5 È necessario conoscere tre grandezze.

6
- L'ampiezza di oscillazione aumenta perché il pendolo viene spinto in accordo con la sua frequenza naturale.
- Perciò avviene il fenomeno della risonanza.

7 $T = 2\text{ s}$

$$f = \frac{1}{T} = 0{,}5\text{ Hz}$$

$a = 3\text{ cm}$

$\lambda = 8\text{ cm}$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{8\text{ cm}}{2\text{ s}} = 4\text{ cm/s} = 0{,}04\text{ m/s}$$

8 $v = \lambda f = \left(662 \times 10^{-3}\text{ m}\right)\left(500\text{ Hz}\right) = 331\text{ m/s}$

9
- $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6{,}0\text{ s}} = 0{,}17\text{ Hz}$
- $\lambda = vT \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\lambda}{T} = \frac{90\text{ m}}{6{,}0\text{ s}} = 15\text{ m/s}$

10 Il periodo delle onde è 2,0 s, la lunghezza d'onda è pari a 6,5 m, dunque la velocità delle onde sarà

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{6{,}5\text{ m}}{2{,}0\text{ s}} = 3{,}3\text{ m/s}$$

11 PROBLEMA SVOLTO

12
- $\Delta t_s = \frac{\Delta s}{v_s} = \frac{1000\text{ m}}{332\text{ m/s}} = 3{,}01\text{ s}$
- Per arrivare sul luogo dell'incidente, l'ambulanza impiega un tempo pari a $\Delta t_a = \frac{\Delta s}{v_a} = \frac{1000\text{ m}}{18{,}50\text{ m/s}} = 54{,}1\text{ s}$

  quindi l'ambulanza arriva con un ritardo $\Delta t_a - \Delta t_s = 54{,}1\text{ s} - 3{,}01\text{ s} = 51{,}1\text{ s}$.

13 $\Delta t = \frac{2d}{v} = \frac{2 \times 76\text{ m}}{340\text{ m/s}} = 0{,}45\text{ s}$

14 $\Delta t = \frac{2d}{v} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{v\Delta t}{2} = \frac{\left(340\text{ m/s}\right)\left(2{,}0\text{ s}\right)}{2} = 3{,}4 \times 10^{2}\text{ m}$

15 $v = \frac{2d}{\Delta t} = \frac{2 \times 0{,}030\text{ m}}{40 \times 10^{-6}\text{ s}} = 1{,}5 \times 10^{3}\text{ m/s}$

16 $d = \frac{v\Delta t}{2} = \frac{\left(1{,}5 \times 10^{3}\text{ m/s}\right)\left(33 \times 10^{-3}\text{ s}\right)}{2} = 25\text{ m}$

17
- Dal grafico: l'ampiezza della rossa è 1 cm e la sua lunghezza d'onda è 2 cm.
- La lunghezza d'onda della verde è 2 cm, quella della blu è 1 cm.
- La lunghezza d'onda.

18 $v = \lambda f = (3{,}07\,\text{m})(110\,\text{Hz})$

$$d = v\Delta t = \lambda f\,\Delta t = (3{,}07\,\text{m})(110\,\text{Hz})(4{,}0\,\text{s}) = 1{,}35 \times 10^3\ \text{m}$$

19 $v = \lambda f = (3{,}5\,\text{m})(440\,\text{Hz}) = 1540\,\text{m/s}\,;\ \Delta t = \dfrac{\Delta s}{v} = \dfrac{30\,\text{m}}{1540\,\text{m/s}} = 0{,}019\,\text{s}$

20 PROBLEMA SVOLTO

21 $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v} = \dfrac{2 \times 10^3\ \text{m}}{332\,\text{m/s}} = 6\ \text{s}$

Gli orologi non sono sincronizzati, perché la differenza di orario fra i due era 10 s anziché 6 s, come appena calcolato. Quindi, il secondo orologio è in ritardo di circa 4 s.

22
- $\dfrac{\lambda_1}{2} = \dfrac{v_1}{2f_1} = \dfrac{18\ \text{m/s}}{2 \times 0{,}18\ \text{Hz}} = 50\ \text{m}$
- $v_2 = \lambda f_2 = \lambda(3f_1) = 3v_1 = 54\ \text{m/s}$

23
- $v = \dfrac{L}{t} = \dfrac{3{,}5\ \text{m}}{1{,}4\ \text{s}} = 2{,}5\ \text{m/s}$

  $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{2{,}5\ \text{m/s}}{3{,}1\ \text{Hz}} = 0{,}81\ \text{m}$
- $n = \dfrac{L}{\lambda} = \dfrac{3{,}5\ \text{m}}{0{,}81\ \text{m}} = 4$

24
- La frequenza risulta pari a $f = \dfrac{3{,}0}{1{,}0\ \text{s}} = 3{,}0\ \text{Hz}$, da cui segue che $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{0{,}36\ \text{m/s}}{3{,}0\ \text{Hz}} = 12 \times 10^{-2}\ \text{m}$
- $\lambda' = 2\lambda = 2\left(\dfrac{v}{f}\right)$, quindi la frequenza viene dimezzata.

25
- La lunghezza d'onda è $\lambda = \dfrac{36\ \text{m}}{8{,}0} = 4{,}5\ \text{m}$; la sua velocità di propagazione è: $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{16\ \text{m}}{5{,}0\ \text{s}} = 3{,}2\ \text{m/s}$.

  Di conseguenza la frequenza dell'onda è $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{3{,}2\ \text{m/s}}{4{,}5\ \text{m}} = 0{,}71\ \text{Hz}$.
- Quindi, in 9,9 s l'onda compie un numero di oscillazioni pari a

  $$N = \frac{9{,}9\ \text{s}}{T} = (9{,}9\ \text{s})\,f = (9{,}9\ \text{s})(0{,}71\ \text{Hz}) = 7$$

26
- $d = v_p t_p = (7{,}50 \times 10^3 \text{m/s})(16{,}0 \text{ s}) = 120 \text{ km}$
- $v_s = \dfrac{d}{t_s} = \dfrac{120 \times 10^3 \text{ m}}{(28+16) \text{ s}} = 2{,}7 \text{ km/s}$

27
- $v = \dfrac{s}{t} = \dfrac{2L}{\Delta t} = \dfrac{2 \times 840 \text{ m}}{4{,}90 \text{ s}} = 343 \text{ m/s}$
- $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{343 \text{ m/s}}{0{,}800 \text{ m}} = 429 \text{ Hz}$
- $T = \dfrac{\lambda}{v} = \dfrac{0{,}800 \text{ m}}{343 \text{ m/s}} = 2{,}33 \times 10^{-3} \text{ s}$

28 La frequenza dell'onda generata è uguale alla frequenza della sollecitazione.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \text{ s}} = 1 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5 \times 10^{-2} \text{ m/s}}{1 \text{ Hz}} = 0{,}05 \text{ m}$$

29
- $v = f\lambda = (11 \times 10^3 \text{ Hz})(0{,}135 \text{ m}) = 1{,}5 \times 10^3 \text{ m/s}$
- $d = \dfrac{v \times \Delta t}{2} = \dfrac{(1{,}5 \times 10^3 \text{m/s})(0{,}40 \text{ s})}{2} = 3{,}0 \times 10^2 \text{m}$

3. Le caratteristiche del suono

30 La cantante emette una nota che ha la frequenza caratteristica del bicchiere; in questo modo l'onda sonora emessa con il canto entra in risonanza con le vibrazioni spontanee del bicchiere e può riuscire a romperlo.

31 La frequenza non varia; la lunghezza d'onda sì.

32 Il suono si propaga con velocità maggiore attraverso il terreno.

33 $f_{\text{camp}} = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{332 \text{ m/s}}{0{,}472 \text{ m}} = 703 \text{ Hz}$

$$f_{\text{cit}} = \frac{v}{\lambda} = \frac{332 \text{ m/s}}{0{,}515 \text{ m}} = 645 \text{ Hz}$$

Il suono più acuto è quello del campanello.

34 Dall'intensità.

35
- $f = \dfrac{1}{T_1} = \dfrac{1}{2 \text{ s}} = 0{,}5 \text{ Hz}$ e $f_2 = \dfrac{1}{T_2} = \dfrac{1}{1 \text{ s}} = 1 \text{ Hz}$

  $f_2 > f_1$, quindi è più acuto il secondo suono.
- $a_1 = 9$ m e $a_2 = 6$ m

  $a_1 > a_2$, quindi il primo suono ha intensità maggiore.

36 Poiché la frequenza della voce delle donne è maggiore di quella degli uomini, sono le donne a emettere un suono più acuto.

37
- $f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,3\ \text{s}} = 3\ \text{Hz}$ e $f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0,6\ \text{s}} = 2\ \text{Hz}$

  $f_1 > f_2$, quindi è più grave il secondo suono.

- $a_1 = 1,5$ m e $a_2 = 2,5$ m

  $a_2 > a_1$, quindi il secondo suono si ode meglio.

38 Usiamo il pedice «C» per Carlo e il pedice «A» per Alice:

$$I_A = \frac{P_A}{4\pi r_A^2} = \frac{(500\,\text{J})\left[(1,0\,\text{min})(60\ \text{s/min})\right]^{-1}}{4\pi(10\,\text{m})^2} = 6,6\times10^{-3}\ \text{W/m}^2$$

$$I_C = \frac{P_C}{4\pi r_C^2} = \frac{(500\,\text{J})\left[(1,0\,\text{min})(60\ \text{s/min})\right]^{-1}}{4\pi(20\,\text{m})^2} = 1,7\times10^{-3}\ \text{W/m}^2$$

39 Dalla formula inversa dell'intensità, si trova:

$$r = \sqrt{\frac{P}{4\pi I}} = \sqrt{\frac{1,76\ \text{W}}{4\pi\left(4,84\times10^{-3}\ \text{W/m}^2\right)}} = 5,38\ \text{m}$$

40 $$P_s = 4\pi r^2 I = 4\pi(5,20\,\text{m})^2\left(6,75\times10^{-5}\,\text{W/m}^2\right) = 2,29\times10^{-2}\ \text{W}$$

$$E = P\Delta t = \left(2,29\times10^{-2}\ \text{W}\right)(30\,\text{s}) = 0,69\ \text{J}$$

41 PROBLEMA MODELLO a pag. 521

42 $$r_2 = r_1\sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = (30\,\text{cm})\sqrt{\frac{1,0\times10^{-9}\ \text{W/m}^2}{(1-0,80)\left(1,0\times10^{-9}\ \text{W/m}^2\right)}} = 67\,\text{cm}$$

43 $$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \Rightarrow P_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2}P_2 = \frac{(150\ \text{m})^2}{(80\ \text{m})^2}(50\ \text{W}) = 1,8\times10^2\ \text{W}$$

44 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 522.

45
- $\Delta t = \frac{2d}{v} = \frac{75\text{m}\times2}{1510\ \text{m/s}} = 0,10\ \text{s}$
- $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1510\ \text{m/s}}{55\times10^3\,\text{Hz}} = 0,027\ \text{m}$

46 $$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{11300\ \text{m}}{33,2\ \text{s}} = 340\ \text{m/s}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340\ \text{m/s}}{22,7\ \text{m}} = 15,0\ \text{Hz}$$

Poiché $f = 15\ \text{Hz} < 20\ \text{Hz}$ si tratta di un infrasuono.

47 Il tempo di ritardo dell'eco è il doppio del tempo impiegato dal suono per raggiungere la zanzara. Quindi la velocità del suono è $v = \dfrac{2 \times 0,811 \text{ m}}{4,84 \times 10^{-3} \text{ s}} = 335 \text{ m/s}$.

Troviamo quindi $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{335 \text{ m/s}}{5,0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 6,7 \times 10^{4} \text{ Hz}$.

La frequenza è superiore a 20 kHz, non udibile dall'orecchio umano perché si tratta di un ultrasuono.

4. La sovrapposizione delle onde

48 PROBLEMA SVOLTO

49
- La lunghezza d'onda del suono è $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{323 \text{ m/s}}{1568 \text{ Hz}} = 0,206 \text{ m}$.
- Le distanze di A dai due altoparlanti contengono rispettivamente $n_1 = \dfrac{1,442 \text{ m}}{0,206 \text{ m}} = 7,00$ e $n_2 = \dfrac{1,030 \text{ m}}{0,206 \text{ m}} = 5,00$ volte la lunghezza d'onda calcolata. Quindi si ha un'interferenza costruttiva perché le due onde sono in fase.

50
- $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{331 \text{ m/s}}{175 \text{ Hz}} = 1,89 \text{ m}$
- Le distanze di P dalle due sorgenti contengono rispettivamente $n_1 = \dfrac{6,62 \text{ m}}{1,89 \text{ m}} = 3,50 = \left(3 + \dfrac{1}{2}\right)$ e $n_2 = \dfrac{10,4 \text{ m}}{1,89 \text{ m}} = 5,50 = \left(5 + \dfrac{1}{2}\right)$ volte la lunghezza d'onda calcolata.

  Le due onde sono in fase (contengono un multiplo semidispari della lunghezza d'onda) quindi l'interferenza prodotta in P è di tipo costruttivo.

5. La luce

51
- $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{2,998 \times 10^{8} \text{ m/s}}{6,402 \times 10^{-7} \text{ m}} = 4,683 \times 10^{14} \text{ Hz}$; $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{4,683 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 2,135 \times 10^{-15} \text{ s}$
- Si tratta di un'onda luminosa nella fascia del rosso.

52
- $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{2,998 \times 10^{8} \text{ m/s}}{2,537 \times 10^{-7} \text{ m}} = 1,182 \times 10^{15} \text{ Hz}$
- $\text{UV}(\lambda < 380 \text{ nm})$

6. La riflessione della luce

53
- 6 passi
- $d = \dfrac{D - 2x}{2} = \dfrac{1,7 \text{ m} - (2 \times 0,30) \text{ m}}{2} = 0,55 \text{ m} = 55 \text{ cm}$

54 Definendo O il punto di giunzione fra i due specchi e considerando gli angoli interni del triangolo rettangolo AOB, vale la relazione:
$$(90° - \alpha_1) + (90° - \alpha_2) + 45° = 180° \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = 45° - \alpha_2 = 45° - 15° = 30°$$

55
- Tracciamo dagli occhi di Alessia i raggi verso gli estremi superiore e inferiore della sua immagine riflessa. Osserviamo che lo specchio deve essere come minimo alto come il segmento BC per consentire la visione completa dell'immagine.
  Alessia ha un'altezza H e si trova a una distanza d dal piccolo specchio rettangolare. Poiché l'immagine si forma dietro lo specchio alla stessa distanza che separa Alessia dallo specchio, posso affermare che gli estremi dello specchio dividono rispettivamente i lati AD e AE a metà.
  In un triangolo qualunque, il segmento che unisce i punti medi di due lati è parallelo al terzo e congruente alla sua metà.
  Quindi BC (la lunghezza minima h dello specchio) è parallelo a DE (l'altezza H della ragazza) e soprattutto lungo quanto la sua metà. Cioè $h = H/2 = 82{,}5$ cm.
  Perché Alessia si possa specchiare tutta intera, lo specchio deve essere come minimo alto quanto la metà della sua altezza.
- La dimensione minima che lo specchio deve avere per restituire l'immagine completa è indipendente dalla distanza d. Pertanto, l'immagine riflessa non cambia anche se Alessia indietreggia.

56 Il raggio di luce viene riflesso con un angolo uguale a quello incidente, quindi lungo la verticale condotta dal punto S la distanza verticale dal punto A deve essere uguale alla lunghezza di $\overline{CA}$. Perciò l'altezza rispetto al pavimento è:
$$h = \overline{SD} - 2\overline{CA} = (4{,}0\ \text{m}) - 2 \times (4{,}0\ \text{m} - 2{,}4\ \text{m}) = 0{,}8\ \text{m}$$

7. Gli specchi sferici

57 1 c; 2 a; 3 b; 4 d

58 Il lato concavo restituisce un'immagine rimpicciolita e capovolta delle colline.
Il lato convesso restituisce un'immagine rimpicciolita e dritta del Casinò.

59
- L'immagine dei raggi solari è reale perché è data dall'intersezione dei raggi riflessi e si forma nel fuoco dello specchio parabolico.
- La caldaia, per raccogliere i raggi, deve essere quindi posta nel fuoco dello specchio.

60

TIPO DI SPECCHIO	OGGETTO	IMMAGINE	INGRANDIMENTO
sferico concavo	nel centro	reale, capovolta	nessuno
sferico convesso	davanti allo specchio	virtuale, diritta	rimpicciolita
sferico concavo	oltre il centro	reale capovolta	rimpicciolita
sferico concavo	tra il centro e il fuoco	reale, capovolta	ingrandita
sferico concavo	tra il fuoco e lo specchio	virtuale, diritta	ingrandita

61 $$d = r - f = r - \frac{r}{2} = \frac{r}{2} = \frac{1{,}5\ \text{m}}{2} = 0{,}75\ \text{m} = 75\ \text{cm}$$

62 Il foglio va posizionato nel fuoco dello specchio, quindi a 20 cm da esso.

Con uno specchio convesso non si possono ottenere immagini reali.

63 Dai dati del problema otteniamo i valori p = 10 cm e q = −15 cm. Il segno meno ci dice che l'immagine (al di là dello specchio) è virtuale, ma questo fatto non è importante per il problema che stiamo risolvendo. Ciò che importa è il valore assoluto (cioè senza segno) di G, cioè:

$$G = \frac{15\text{ cm}}{10\text{ cm}} = 1{,}5 \quad \Rightarrow \quad \overline{A'B'} = G\,\overline{AB} = 1{,}5 \times (4{,}0\text{ cm}) = 6{,}0\text{ cm}$$

64 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 525.

65
- L'immagine ottenuta dallo specchio convesso è virtuale, diritta e rimpicciolita.
- Invertendo la legge dei punti coniugati per gli specchi sferici si ottiene
$$f = \frac{pq}{p+q} = \frac{(1{,}20\text{ m})(-0{,}30\text{ m})}{1{,}20\text{ m} + (-0{,}30\text{ m})} = -\frac{0{,}36}{0{,}90}\text{ m} = -0{,}40\text{ m}$$
- In questo caso, con la distanza focale che ha un valore negativo, il valore del raggio r si ottiene come
$r = 2|f| = 2 \times (40\text{ cm}) = 80\text{ cm}$

66 Tutti gli specchi convessi producono immagini virtuali, diritte e rimpicciolite. Si ha $r = 50$ cm e, poiché lo specchio è convesso, $f = -\frac{r}{2} = -25$ cm, $p = 20$ cm, q è negativa perché l'immagine è virtuale (si forma dietro lo specchio):

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{20\text{ cm}} + \frac{1}{q} = -\frac{1}{25\text{ cm}} \quad \Rightarrow$$

$$\frac{1}{q} = -0{,}040\text{ cm}^{-1} - 0{,}050\text{ cm}^{-1} = -0{,}090\text{ cm}^{-1} \quad \Rightarrow \quad q = -11\text{ cm}$$

67 PROBLEMA MODELLO a pag. 525

68
- $G = -\frac{q}{p} \quad \Rightarrow \quad p = -\frac{q}{G} = -\frac{40\text{ cm}}{-4} = 10\text{ cm}$
- Il raggio dello specchio è $r = \frac{d}{2} = \frac{50\text{ cm}}{2} = 25\text{ cm}$. Di conseguenza la distanza focale è $f = \frac{r}{2} = \frac{25\text{ cm}}{2} = 12{,}5\text{ cm}$.

  Poiché $G = -\frac{q}{p} = -4$ si ottiene: $q = 4p$. Applicando la legge dei punti coniugati $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$, si ottiene

  $$\frac{1}{p} + \frac{1}{4p} = \frac{1}{f} \Rightarrow 4f + f = 4p \Rightarrow 5f = 4p \Rightarrow p = \frac{5}{4}f = \frac{5}{4} \times 12{,}5\text{ cm} = 15{,}6\text{ cm} = 16\text{ cm}$$

  Di conseguenza la distanza in cui si forma l'immagine è
  $q = 4p = 4 \times 16\text{ cm} = 64\text{ cm}$

8. La rifrazione della luce

69 Sì, sempre. Il seno di un angolo acuto è una funzione crescente e quindi, poiché per la legge di Snell il rapporto tra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo rifratto è costante, aumentando il primo angolo aumenta necessariamente anche il secondo.

70 La resina iniettata deve avere lo stesso indice di rifrazione del parabrezza, cioè 1,5.

71 Il raggio luminoso prosegue il suo percorso in linea retta.

72 $$n = \frac{c}{v} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^8\text{ m/s}}{1{,}36} = 2{,}21 \times 10^8\text{ m/s}$$

73 $$n = \frac{c}{v} = \frac{3{,}00 \times 10^8\text{ m/s}}{2{,}254 \times 10^8\text{ m/s}} = 1{,}33$$

74 Dalla relazione $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ si ricava:

$$n_2 = n_1 \frac{v_1}{v_2} = 1 \times \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,82 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1,65$$

75 No, il fenomeno della riflessione totale non si verifica passando da un mezzo meno rifrangente a uno più rifrangente.

76
- Avviene la riflessione totale, quindi l'angolo di incidenza è $\alpha > 49°$.
- Sarebbe uguale all'angolo limite, cioè varrebbe 49°.

77 $$\sin \hat{i} = \frac{n_{\text{acqua}}}{n_{\text{aria}}} \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{acqua}}}{n_{\text{aria}}} \sin \hat{r}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1,33}{1} \sin 30°\right) = 42°$$

78 $$\hat{r} = 90° - 40° = 50°$$

$$\hat{i} = \sin^{-1}\left[\frac{1}{n_{\text{acqua}}} \sin \hat{r}\right] = \sin^{-1}\left[\frac{1}{1,33} \sin 50°\right] = 35°$$

79
- $$n_2 = \frac{c}{v_2} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,90 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1,58$$
- $$\sin(\hat{r}) = \frac{n_1}{n_2} \sin(\hat{i}) = \frac{1}{1,58} \sin 22° = 0,237 \quad \Rightarrow \quad \hat{r} = 13,7°$$

80 $$n = n_1 \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = 1,00 \frac{\sin 50,0°}{\sin 35,2°} = 1,33$$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,33} = 2,26 \times 10^8 \text{ m/s}$$

81 $$n_2 = n_1 \sin(\theta_L) = 1,50 \times \sin(79,5°) = 1,47$$

82 PROBLEMA SVOLTO

83 $$\hat{l} = \sin^{-1} \frac{1}{n_1} = \sin^{-1} \frac{1}{1,77} = 34,4°$$

9. Le lenti

84 Chiara deve usare una lente convergente. Chiara deve posizionare il foglio sul fuoco della lente, in quanto le lenti convergenti convogliano nel fuoco raggi di luce provenienti dall'infinito.
Quando il foglio è alla distanza focale su di esso si vede l'immagine del Sole.

85 La lente dello spioncino è divergente. L'immagine è virtuale e si forma dalla stessa parte dell'ospite. La rappresentazione grafica è uguale alla figura 14 di pagina 120. L'immagine dell'ospite non può essere impressa su uno schermo poiché è virtuale.

86 Le affermazioni sono corrette: se l'oggetto si trova tra il fuoco e il doppio della distanza focale l'immagine è reale e ingrandita, mentre se l'oggetto si trova tra la lente e il fuoco l'immagine è virtuale e ingrandita.
I disegni sono sbagliati: l'immagine $A'B'$ deve essere capovolta e l'immagine $C'D'$ deve essere più grande e più lontana dalla lente.

87
- Per definizione, il potere diottrico è uguale a $\frac{1}{f} = \frac{1}{-0,2 \text{ m}} = -5$ diottrie.
- Divergente, perché $f < 0$ (e anche le diottrie sono negative).

88
- Poiché l'immagine si forma sullo schermo si tratta di una immagine reale. Solo le lenti convergenti sono in grado di produrre immagini reali, perciò la lente di Jane e Paolo è convergente. Ciò significa che $f > 0$. Poiché l'immagine è reale anche $q > 0$.
- $$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{0,50\ \text{m}} + \frac{1}{0,70\ \text{m}} = 3,4\ \text{m}^{-1} = 3,4\ \text{diottrie}$$

89 PROBLEMA MODELLO a pag. 528

90
- $$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{25\ \text{cm}} + \frac{1}{q} = \frac{1}{16\ \text{cm}} \Rightarrow q = \left(\frac{1}{16\ \text{cm}} - \frac{1}{25\ \text{cm}}\right)^{-1} = 0,44\ \text{m}$$
- $$G = -\frac{q}{p} = -\frac{44\ \text{cm}}{25\ \text{cm}} = -1,8$$

91
$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \rightarrow q = \frac{fp}{(p-f)} = \frac{(10\ \text{cm})(7,5\ \text{cm})}{(7,5\ \text{cm} - 10\ \text{cm})} = -30\ \text{cm}$$
$$G = -\frac{q}{p} = -\frac{(-30\ \text{cm})}{7,5\ \text{cm}} = +4$$
G > 0 → immagine dritta; G > 1 → immagine ingrandita

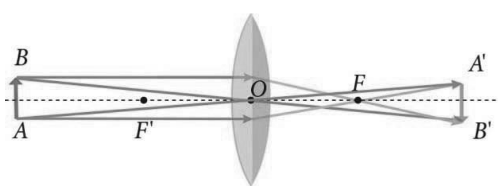
92 B

93 D

94 D

95
- $$f = \frac{n_{\text{giri}}}{1\ \text{min}} n_{\text{fori}} = \frac{1400}{60\ \text{s}} \times 18 = 420\ \text{giri/s} = 4,2 \times 10^2\ \text{Hz}$$
- $$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340\ \text{m/s}}{4,2 \times 10^2\ \text{Hz}} = 0,81\ \text{m}$$

96
$$t_{\text{aria}} = \frac{L}{v_{\text{aria}}} = \frac{850\ \text{m}}{340\ \text{m/s}} = 2,50\ \text{s}$$
$$t_{\text{ferro}} = \frac{L}{v_{\text{ferro}}} = \frac{850\ \text{m}}{5130\ \text{m/s}} = 0,166\ \text{s}$$
$$\Delta t = t_{\text{aria}} - t_{\text{ferro}} = 2,50\ \text{s} - 0,166\ \text{s} = 2,33\ \text{s}$$

97


98
$$\lambda = 8,0 \times 10^{-2}\ \text{m}$$
$$a = 8,0 \times 10^{-2}\ \text{m}$$
$$T = \frac{\lambda}{v} = \frac{8,0 \times 10^{-2}\ \text{m}}{10\ \text{m/s}} = 8,0 \times 10^{-3}\ \text{s}$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8,0 \times 10^{-3}\ \text{s}} = 1,3 \times 10^2\ \text{Hz}$$

99 ■ $v_{\text{suono}} = 332\text{ m/s} = (332 \times 3{,}6)\text{km/h} = 1195\text{ km/h} = 1{,}20 \times 10^3\text{ km/h}$

■ $$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{1195\text{ km/h} - 800\text{ km/h}}{50\dfrac{\text{km/h}}{\text{s}}} = 7{,}9\text{ s}$$

100 ■ $$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \rightarrow q = \frac{fp}{(p-f)} = \frac{(40\text{ mm})(3{,}0 \times 10^3\text{ mm})}{(3{,}0 \times 10^3\text{ mm} - 40\text{ mm})} = 41\text{ mm}$$

■ $q > 0$ → immagine reale

■ $$G = -\frac{q}{p} = -\frac{(41\text{ mm})}{3{,}0 \times 10^3\text{ mm}} = -0{,}014$$

G < 1 → immagine più piccola dell'oggetto

G < 0 → immagine capovolta

101 $$t_2 = \frac{d}{v} = \frac{1280\text{ m}}{340\text{ m/s}} = 3{,}76\text{ s}$$

$$t_1 = t_2 - \Delta t = 3{,}76\text{ s} - 2{,}9\text{ s} = 0{,}86\text{ s}$$

$$v_1 = \frac{d}{t_1} = \frac{1280\text{ m/s}}{0{,}86\text{ s}} = 1{,}5 \times 10^3\text{ m/s}$$

102 Se $q > 0$ si ha

$$p + q = 0{,}30\text{ m} = 30\text{ cm} \rightarrow q = 30\text{ cm} - p\ ; f = 6{,}0\text{ cm}$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{(30\text{ cm} - p)} = \frac{1}{6{,}0\text{ cm}}$$

risolvendo rispetto all'incognita p, si ottiene $p_1 = 22\text{ cm}$; $p_2 = 8{,}3\text{ cm}$.

Se $q < 0$ si ha $q = -(p + 30\text{ cm})$; $f = 6{,}0$ cm

$$\frac{1}{p} - + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{p} - \frac{1}{(p + 30\text{ cm})} = \frac{1}{6{,}0\text{ cm}}$$

risolvendo rispetto all'incognita p, si ottiene $p = 5{,}1\text{ cm}$.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 A

2 B

3 B

4 D

5 $a = 2\text{ m};\ \lambda = 2\text{ m}$

$$v = \left(\frac{80}{3{,}6}\right)\text{m/s} = 22\text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{v}{\lambda} = \frac{22\text{ m/s}}{2\text{ m}} = 1 \times 10\text{ Hz}$$

6 $t_{\text{aria}} = \dfrac{L}{v_{\text{aria}}}$, $t_{\text{acqua}} = \dfrac{L}{v_{\text{acqua}}}$, $\Delta t = t_{\text{aria}} - t_{\text{acqua}}$

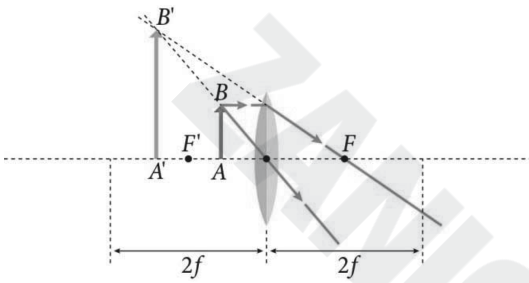
$$L = \frac{v_{\text{aria}} v_{\text{acqua}} \Delta t}{\Delta v} = \frac{(340\ \text{m/s})(1{,}5\times10^3\ \text{m/s})(12\ \text{s})}{(1{,}5\times10^3 - 340)\ \text{m/s}} = 5{,}3\times10^3\ \text{m}$$

7 $\hat{r} = \sin^{-1}\left[\dfrac{n_{\text{aria}}}{n_{\text{vetro}}}\sin(\hat{i})\right] = \sin^{-1}\left[\dfrac{1}{1{,}50}\times\sin(60°)\right] = 35°$

$\Delta\theta = \hat{i} - \hat{r} = 60° - 35° = 25°$

8
- L'immagine è virtuale:

$$q = -\frac{p\times f}{f-p} = -\frac{(120\ \text{mm})(70{,}0\ \text{mm})}{120\ \text{mm} - 70{,}0\ \text{mm}} = -16{,}8\ \text{cm}$$



- $G = -\dfrac{q}{p} = -\dfrac{-168\ \text{mm}}{70{,}0\ \text{mm}} = +2{,}40$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 La lunghezza d'onda è data da $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{1{,}5\times10^3\ \text{m/s}}{1{,}0\times10^5\ \text{s}^{-1}} = 0{,}015\ \text{m} = 15\ \text{mm}$.

2 La distanza d alla quale si trova il relitto è $d = \dfrac{v\Delta t}{2} = \dfrac{(1{,}5\times10^3\ \text{m/s})(0{,}240\text{s})}{2} = 180\,\text{m}$.

3 Poiché $I = \dfrac{P}{4\pi r^2}$, si ha $r = \sqrt{\dfrac{P}{4\pi I}} = \sqrt{\dfrac{144\times10^6\ \text{W}}{4\pi(175\ \text{W/m}^2)}} = 256\ \text{m}$.

4
- Poiché $v = \dfrac{\lambda}{T} = \lambda f$, si ottiene

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3{,}00\times10^8\ \text{m/s}}{4{,}90\times10^{14}\ \text{s}^{-1}} = 6{,}06\times10^{-9}\ \text{m} = 606\,\text{nm}$$

- Il periodo è $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{4{,}90\times10^{14}\ \text{s}^{-1}} = 2{,}04\times10^{-15}\ \text{s} = 2{,}04\ \text{fs}$.

5
- Poiché $h = h'$ si ha: $h' = 20\ \text{cm}$.
- Per uno specchio piano, la distanza dell'oggetto p e quella dell'immagine q sono uguale. Pertanto, la distanza tra l'oggetto e l'immagine è
  $d = 2p = 2\times0{,}50\ \text{m} = 1{,}0\ \text{m}$

6 ▪ Dalla legge dei punti coniugati $\frac{1}{p}=\frac{1}{q}+\frac{1}{f}$ si ottiene

$$q=\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{q}\right)^{-1}=\frac{1}{\frac{1}{0,570\ \text{m}}-\frac{1}{1,80\ \text{m}}}=0,834\ \text{m}=834\ \text{mm}$$

L'ingrandimento è dato da $|G|=\frac{h'}{h}=\left|-\frac{q}{p}\right|=\frac{0,834\ \text{m}}{1,80\ \text{m}}=0,463$.

L'altezza dell'immagine è
$h'=0,463h=0,463\times0,260\ \text{m}=0,120\ \text{m}=120\ \text{mm}$

▪ L'oggetto è più lontano del centro. L'immagine è reale, capovolta e rimpicciolita.

7 Per la legge di Snell si ha $\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{n_2}{n_1}$.

Poiché l'indice di rifrazione dell'acqua è $n_1=1,33$, si ricava

$$n_2=n_1\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=1,33\times\frac{\sin(30,0°)}{\sin(26,5°)}=1,49$$

che è l'indice di rifrazione del plexiglas.

8 ▪ Considerando l'ingresso del raggio luminoso nel diamante ed indicando con n_1 e n_2 gli indici di rifrazione, rispettivamente, dell'aria e del diamante, per la legge di Snell si ha

$\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{n_2}{n_1}$ da cui si ricava l'angolo di rifrazione:

$$\sin\hat{r}=\sin\hat{i}\,\frac{n_1}{n_2}=\sin30°\times\frac{1}{2,42}=0,2066\Rightarrow\hat{r}=12°$$

L'angolo di rifrazione del passaggio aria - diamante, appena trovato, coincide con l'angolo di incidenza del passaggio diamante - aria.
Considerando l'uscita del raggio luminoso dal diamante e indicando con n_1' e n_2' gli indici di rifrazione, rispettivamente, del diamante e dell'aria si ha:

$$\frac{\sin\hat{i}_2}{\sin\hat{r}_2}=\frac{n_2'}{n_1'}=\frac{1}{2,42}\Rightarrow\sin\hat{r}_2=\sin\hat{i}_2\times2,42=\sin12°\times2,42=0,5\Rightarrow\hat{r}_2=30°$$

Il raggio d'uscita ha la stessa direzione del raggio in ingresso.

▪ Il risultato non sarebbe cambiato.

9 ▪ Indicando con 1 il nucleo del cavo e con 2 la guaina, per la legge di Snell, si ha

$\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{n_2}{n_1}$ e considerando l'angolo di rifrazione $\hat{r}$ pari a 90° si ricava l'angolo limite $\hat{i}_L$

$$\sin\hat{i}_L=\frac{n_2}{n_1}=\frac{1,470}{1,495}=0,9833\Rightarrow\hat{i}_L=79,5°$$

▪ Per il secondo cavo si ha

$$\sin\hat{i}_L'=\frac{n_2'}{n_1'}\Rightarrow n_2'=n_1'\sin\hat{i}_L'=1,467\sin81,3°=1,450$$

▪ Il segnale luminoso uscente dal primo cavo entrerebbe nel secondo con un angolo di incidenza massimo sulla guaina di 79,5°, inferiore all'angolo limite del secondo cavo (81,3°). Pertanto, non si avrebbe la riflessione totale e una parte del segnale andrebbe dispersa attraverso la guaina del secondo cavo.

10

- Applicando la legge dei punti coniugati, si ha:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}\Rightarrow\frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}=1,5\ \text{m}^{-1}-\frac{1}{0,60\ \text{m}}\Rightarrow q=-6,0\ \text{m}$$

L'immagine si forma quindi a 6,0 m dalla lente ed è virtuale.

- L'ingrandimento è dato da

$G=-\frac{q}{p}=-\frac{-6,0\ \text{m}}{0,60\ \text{m}}=10$, l'immagine è quindi dritta e ingrandita.

L'altezza dell'immagine è

$$h'=Gh=10\times14\ \text{cm}=140\ \text{cm}=1,4\ \text{m}$$

11 La distanza dell'oggetto dalla parete è $d=q-p=3,2\ \text{m}$.

L'ingrandimento è $G=-\frac{q}{p}=-5$.

Si ha un sistema di due equazioni in due incognite:

$$\begin{cases}q-p=3,2\ \text{m}\\ \frac{q}{p}=5\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}q=5p\\ 5p-p=3,2\ \text{m}\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}p=\frac{3,2\ \text{m}}{4}=0,80\ \text{m}\\ q=5\times0,80\ \text{m}=4,0\ \text{m}\end{cases}$$

Dalla legge dei punti coniugati e tenendo conto che per uno specchio sferico $f=r/2$, si ottiene:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}\Rightarrow r=\frac{2}{\frac{p+q}{pq}}=\frac{2pq}{p+q}=\frac{2\times0,80\ \text{m}\times4,0\ \text{m}}{4,0\ \text{m}+0,80\ \text{m}}=1,3\ \text{m}$$

12

- La lunghezza d'onda è

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{3,00\times10^{8}\ \text{m/s}}{30\times10^{3}\ \text{s}^{-1}}=10\,\text{km}$$

- Poiché la potenza emessa dal dissuasore non cambia durante il suo funzionamento, si ha

$$I_1=\frac{P}{4\pi r_1^2}\ \text{ e }\ I_2=\frac{P}{4\pi r_2^2}$$

Poiché $I_2=\frac{1}{5}I_1$, si ottiene

$$I_2=\frac{P}{4\pi r_2^2}=\frac{1}{5}I_1\Rightarrow\frac{P}{4\pi r_2^2}=\frac{1}{5}\times\frac{P}{4\pi r_1^2}\Rightarrow r_2^2=5r_1^2\Rightarrow r_2=r_1\sqrt{5}=18\ \text{m}\times\sqrt{5}=40\ \text{m}$$

13 Indicando con d la distanza tra Aldo e il punto in cui è caduto il fulmine, si ha

$$d=v_{luce}t_{luce}=ct_l\Rightarrow t_l=\frac{d}{c}\ \text{ e }\ d=v_{\text{suono}}t_{\text{suono}}=v_st_s\Rightarrow t_s=\frac{d}{v_s}$$

Poiché $t_s-t_l=3,0\ \text{s}$, si ottiene

$$\frac{d}{v_s}-\frac{d}{c}=3,0\ \text{s}\Rightarrow\frac{dc-dv_s}{v_sc}=3,0\ \text{s}\Rightarrow$$

$$d=3,0\ \text{s}\times\frac{v_sc}{c-v_s}=(3,0\ \text{s})\frac{(340\ \text{m/s})(300\times10^{6}\ \text{m/s})}{300\times10^{6}\ \text{m/s}-340\ \text{m/s}}=1020\ \text{m}=1,0\ \text{km}$$

14 ▪ L'ingrandimento è dato da

$$|G| = \frac{h'}{h} = \frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0,5 \text{ e } G = -\frac{p}{q} = 0,5 \text{ poiché la lente è divergente.}$$

Dalla legge dei punti coniugati si ha $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$.

Si ottiene un sistema di due equazioni in due incognite (p e q):

$$\begin{cases} \frac{q+p}{pq} = \frac{1}{f} \\ -\frac{q}{p} = 0,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q = -0,5p \\ \frac{-0,5p+p}{p(-0,5p)} = \frac{1}{f} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q = -0,5p \\ \frac{0,5p}{-0,5p^2} = \frac{1}{f} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q = -0,5p \\ -\frac{1}{p} = \frac{1}{f} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} q = -0,5p \\ p = -f \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p = -(-40 \text{ cm}) = 40 \text{ cm} \\ q = -0,5 \times 40 \text{ cm} = -20 \text{ cm} \end{cases}$$

▪ La distanza tra la statuetta e la sua immagine è
$d = p - |q| = 40 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$

15 ▪ La potenza di emissione del suono è $P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{120 \text{ J}}{0,100 \text{ s}} = 1200 \text{ W} = 1,2 \text{ kW}$.

Considerando il suono prodotto da una sorgente puntiforme e che le onde sonore si propagano in tutte le direzioni, dall'espressione dell'intensità dell'onda sonora $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{P}{4\pi l^2}$, avendo indicato con l la lunghezza della rotaia, si ricava:

$$l = \sqrt{\frac{P}{4\pi I}} = \sqrt{\frac{1,2 \times 10^3 \text{ W}}{4\pi(73,7 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2)}} = 36,0 \text{ m}$$

▪ Nell'aria si ha $\Delta t_{\text{aria}} = \frac{l}{v_{\text{aria}}} = \frac{36,0 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0,106 \text{ s} = 106 \text{ ms}$.

Nella rotaia, che è di ferro, si ha $\Delta t_{\text{Fe}} = \frac{l}{v_{\text{Fe}}} = \frac{36,0 \text{ m}}{5130 \text{ m/s}} = 7,02 \times 10^{-3} \text{ s} = 7,02 \text{ ms}$.

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 17

Le cariche e il campo elettrico

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. I corpi elettrizzati e la carica elettrica

pag. 532

No, occorre conoscere il numero di elettroni dell'atomo di ferro.

3. La legge di Coulomb

pag. 538

Ancora F.

5. Il campo elettrico

pag. 544

Il campo elettrico in P_3 deve essere il doppio di E_1, quindi $E_3 = 200$ N/C.

TEST

1 C

2 D

3 C

4 C

5 D

6 A, B, D

7 A

8 A

9 C

10 B

11 A

12 B

13 A

14 A

15 C

16 B

ESERCIZI

1. I corpi elettrizzati e la carica elettrica

1 Se acquista una carica positiva significa che ha ceduto elettroni, quindi la sua massa diminuisce.

2 Perché ogni pera contiene uguali numeri di cariche negative e positive, quindi ciascuna di esse è neutra.

3 $Q = n_p e = 94 \times \left(1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C}\right) = 1{,}5 \times 10^{-17}\ \text{C}$

4 Nel processo il nucleo perde due protoni, che sono presenti nella particella alfa, la cui carica elettrica è il doppio della carica elementare, quindi $3{,}2 \times 10^{-19}\ \text{C}$.

2. La carica elettrica nei conduttori

5 Durante il moto, è possibile che la carrozzeria dell'auto acquisti della carica elettrica per strofinio. La catena o striscia metallica consente di scaricare queste cariche in eccesso a terra ed evita che al momento di toccare la carrozzeria si prenda la scossa.

6

OGGETTO	ISOLANTE	CONDUTTORE
Una penna biro	X	
Interno del cavo del computer		X
Esterno del cavo del computer	X	
Suola delle scarpe	X	
Braccialetto d'argento		X
Le tue dita		X
Ringhiera del balcone		X
Tavolo di legno	X	

7 La carica Q si ripartisce uniformemente su A e B: quando B viene allontanata da A si ha
$Q_A = Q/2$ e $Q_B = Q/2 = 2{,}4$ nC
Quando B è posta a contatto con C, che è scarica, si ha una ripartizione uniforme della carica $Q/2$: $Q_B = Q/4$ e
$Q_C = Q/4 = 1{,}2$ nC
Perciò, alla fine, si ha. $Q_A = Q/2$, $Q_B = Q/4$ e $Q_C = Q/4 = 1{,}2$ nC.

8 La carica complessiva non cambia perché D è inizialmente scarica. Si ha, quindi, una ripartizione uniforme della carica iniziale sulle 4 sfere:
$Q_A = Q_B = Q_C = Q_D = (1/4)Q = 13$ pC

9 Quando le due sfere sono poste a contatto, si ha $Q_A = 3{,}0Q/2 = 1{,}5Q$ e $Q_B = 3{,}0Q/2 = 1{,}5Q$.
Dopo essere rimaste separate nell'aria umida, le due sfere hanno perso una quantità di carica pari a
$Q_d = 1{,}5Q - 1{,}2Q = 0{,}3Q$
Quindi:
$Q_{d,A} = 0{,}3Q$ e $Q_{d,B} = 0{,}3Q$

10 $Q = -8\ \mu\text{C} = -8\times10^{-6}\ \text{C}$

Il numero di elettroni necessari per rendere la sfera neutra è dato da

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{-8\times10^{-6}\ \text{C}}{-1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}} = 5\times10^{13}$$

11 Gli elettroni liberi di muoversi presenti nel metallo facilitano il passaggio di energia partecipando al moto di agitazione termica.

12 Prima del contatto su T_1 c'è un eccesso di elettroni $N_e^{T_1} = \frac{-3{,}8\times10^{-6}\ \text{C}}{-1{,}602\times10^{-19}\ \text{C}} = 2{,}4\times10^{13}$.

Dopo il contatto con T_2 il loro numero dimezza, essendo i due tubi identici:

$N_e'^{T_1} = \frac{2{,}4\times10^{13}}{2} = 1{,}2\times10^{13}$. Un uguale numero sarà presente dopo il contatto su T_2 che era inizialmente neutro.

13
- Analogamente a ciò che accade con le foglie dell'elettroscopio, la grande quantità di cariche dello stesso segno che colpisce l'albero durante il passaggio a terra provoca repulsione tra le parti del tronco.
- Se le due parti del tronco sono pressoché uguali, la carica presente su ciascuna sarà la metà della carica totale del fulmine: $\frac{Q}{2} = \frac{-24{,}6\ \text{C}}{2} = -12{,}3$ C quindi il numero degli elettroni sarà

  $$N = \frac{-12{,}3\ \text{C}}{-1{,}602\times10^{-19}\ \text{C}} = 7{,}7\times10^{19}$$

3. La legge di Coulomb

14 Man mano che le foglioline si allontanano, la forza elettrica di repulsione fra le cariche diminuisce, mentre la forza-peso non varia. Scomponendo le forze lungo due direzioni perpendicolari, e considerando la forza vincolare lungo la direzione delle foglie, si raggiunge una condizione di equilibrio fra i vettori componenti della forza elettrica e della forza-peso perpendicolari alla direzione delle foglie.

15 La forza gravitazionale è solo attrattiva. Invece le forze elettriche possono essere sia repulsive che attrattive: noi percepiamo l'intensità della somma vettoriale di queste forze, che di solito è piccola. Inoltre, la forza di attrazione gravitazionale con la Terra è maggiormente percepibile a causa dell'enorme massa della Terra rispetto alla nostra e della sua vicinanza.

16 A causa della dipendenza dall'inverso del quadrato, la forza vale $F/16$.

17 Per ottenere la stessa forza la distanza d deve diminuire; poiché i nuclei di elio hanno una carica doppia rispetto a quella dell'elettrone, la distanza deve dimezzare.

18 $$F = k_0\frac{|Q_1 Q_2|}{d^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{\left(2{,}0\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(1{,}5\times10^{-8}\ \text{C}\right)}{\left(3{,}0\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2} = 3{,}0\times10^{-4}\ \text{N}$$

19 $$Q_2 = \frac{d^2F}{k_0|Q_1|} = \frac{\left(7{,}0\times10^{-2}\ \text{m}\right)\left(1{,}5\times10^{-3}\ \text{N}\right)}{\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(6{,}3\times10^{-9}\ \text{C}\right)} = 1{,}3\times10^{-7}\ \text{C}$$

20 $$d = \sqrt{\frac{k_0Q^2}{F}} = Q\sqrt{\frac{k_0}{F}} = \left(3{,}0\times10^{-10}\ \text{C}\right)\sqrt{\frac{\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)}{\left(2{,}4\times10^{-3}\ \text{N}\right)}} = 5{,}8\times10^{-4}\ \text{m}$$

21 ■ $$F = k_0 \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} = \left(8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{(2,0\times10^{-6}\ \mathrm{C})\left(1,5\times10^{-12}\ \mathrm{C}\right)}{\left(3,0\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2} = 3,0\times10^{-5}\ \mathrm{N}$$

Direzione: lungo la congiungente delle due cariche. Verso: attrattivo

■ $$F_2 = \frac{F}{4} = 7,5\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

Tra la forza e la distanza esiste una relazione di proporzionalità quadratica inversa.

22 $$r = \sqrt{\frac{k_0|Q_1||Q_2|}{F}} = \sqrt{\frac{(8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})(2\times10^{-9}\ \mathrm{C})(4\times10^{-9}\ \mathrm{C})}{1,6\times10^{-3}\ \mathrm{N}}} = 6,7\ \mathrm{mm}$$

23 $$|Q| = \sqrt{\frac{d^2F}{k_0}} = \sqrt{\frac{\left(2,5\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2\left(4,7\times10^{-4}\ \mathrm{N}\right)}{8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}}} = 5,7\times10^{-9}\ \mathrm{C}$$

24 PROBLEMA MODELLO a pag. 553

25 La sferetta deve essere attratta verso l'alto, quindi la sua carica q deve essere negativa. Imponendo l'uguaglianza dei moduli delle due forze, otteniamo

$$k_0\frac{Q|q|}{r^2} = mg \quad \Rightarrow$$

$$|q| = mg\frac{r^2}{k_0Q} = \left(1,3\times10^{-3}\ \mathrm{kg}\right)\left(9,8\ \mathrm{m/s^2}\right)\frac{\left(0,072\ \mathrm{m}\right)^2}{\left(8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\left(9,7\times10^{-8}\ \mathrm{C}\right)} = 7,6\times10^{-8}\ \mathrm{C}$$

Quindi risulta $q = -7,6\times10^{-8}\ \mathrm{C}$.

26 Inizialmente la forza di Coulomb tra le cariche ha modulo $F = k_0\frac{|Q_1||Q_2|}{d^2}$, in seguito $F' = k_0\frac{|Q_1|\frac{|Q_2|}{2}}{d'^2}$ e affinché

$F' = F$ deve essere $2d'^2 = d^2$, ossia $d' = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{1,0\ \mathrm{m}}{\sqrt{2}} = 0,71\ \mathrm{m}$.

27 ■ Dalla legge di Coulomb, si ha

$$F = k_0\frac{|Q_1||Q_2|}{d^2} \Rightarrow |Q_2| = \frac{Fd^2}{k_0|Q|_1} = \frac{(9,11\times10^{-19}\ \mathrm{N})(4,50\times10^{-5}\ \mathrm{m})^2}{(8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})(3,20\times10^{-19}\ \mathrm{C})} = 6,41\times10^{-19}\ \mathrm{C}$$

Il secondo ione è negativo, poiché i due ioni si attirano (e il primo ha carica positiva).

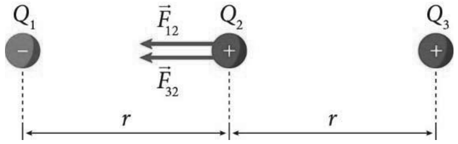
■ Sul secondo ione sono presenti $N = \frac{|Q_2|}{e} = \frac{6,41\times10^{-19}\ \mathrm{C}}{1,60\times10^{-19}\ \mathrm{C}} = 4$ elettroni in eccesso.

28 Uguagliando i moduli delle due forze esercitate sulla prima carica, si ha

$$ks = k_0\frac{|Q_1Q_2|}{d^2} \quad \Rightarrow$$

$$s = \frac{k_0}{k}\frac{|Q_1Q_2|}{d^2} = \frac{8,99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}}{40\ \mathrm{N/m}}\frac{\left(5,8\times10^{-7}\ \mathrm{C}\right)\left(-2,1\times10^{-7}\ \mathrm{C}\right)}{\left(7,2\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2} = 5,3\times10^{-3}\ \mathrm{m}$$

29 Entrambe le forze applicate a Q_2 sono orizzontali e rivolte verso sinistra:



$$F_{12} = k_0 \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{\left(2{,}5\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)\left(3{,}0\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)}{\left(0{,}12\ \mathrm{m}\right)^2} = 4{,}7\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

$$F_{32} = k_0 \frac{|Q_3 Q_2|}{r^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{\left(2{,}5\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)\left(3{,}0\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)}{\left(0{,}12\ \mathrm{m}\right)^2} = 4{,}7\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

La forza totale sulla carica Q_2 è $F_2 = F_{12} + F_{32} = 4{,}7\times10^{-6}\ \mathrm{N} + 4{,}7\times10^{-6}\ \mathrm{N} = 9{,}4\times10^{-6}\ \mathrm{N}$.

30

$$F_{AC} = k_0 \frac{|Q_A Q_C|}{AC^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{\left(73{,}5\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)\left(33{,}8\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)}{\left(0{,}24\ \mathrm{m}\right)^2} = 3{,}9\times10^{-4}\ \mathrm{N}$$

$$F_{BC} = k_0 \frac{|Q_B Q_C|}{BC^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{\left(18{,}1\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)\left(33{,}8\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)}{\left(0{,}12\ \mathrm{m}\right)^2} = 3{,}8\times10^{-4}\ \mathrm{N}$$

La forza totale che agisce sulla carica C è

$F_C = F_{AC} + F_{BC} = 3{,}9\times10^{-4}\ \mathrm{N} + 3{,}8\times10^{-4}\ \mathrm{N} = 7{,}7\times10^{-4}\ \mathrm{N}$

31 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 554.

4. La polarizzazione degli isolanti

32 Il pettine è stato caricato elettrostaticamente, supponiamo negativamente; le gocce di acqua si caricano per induzione, quindi la zona più vicina al pettine si carica positivamente e quella più lontana negativamente. L’attrazione fra cariche vicine è più intensa della repulsione fra cariche lontane, quindi le gocce sono attratte verso il pettine.

33 No, perché negli isolanti gli elettroni sono molto legati ai loro nuclei e, quindi, possono spostarsi molto poco dando origine solo al fenomeno della *polarizzazione*.

34 Nello strofinio con il maglione il palloncino si carica negativamente; avvicinato alla parete determina una polarizzazione della stessa con le cariche positive che restano sbilanciate dalla parte del palloncino e, di conseguenza, si esercita una forza attrattiva.

35
- Sì, i capelli sono attratti a causa del fenomeno della polarizzazione.
- Il palloncino è un isolante.

5. Il campo elettrico

36 Le forze elettriche sono uguali in modulo e direzione, ma hanno verso opposto; l'accelerazione del protone è minore perché la sua massa è maggiore di quella dell'elettrone.

37
- $$E = \frac{F}{q} = \frac{9,0\times10^{-3}\ \text{N}}{1,2\times10^{-9}\ \text{C}} = 7,5\times10^{6}\ \text{N/C}$$
- Il vettore campo elettrico e il vettore forza hanno la stessa direzione e lo stesso verso in quel punto, poiché q è positiva.

38 $$E = \frac{F}{q} = \frac{7,0\times10^{-3}\ \text{N}}{2,8\times10^{-8}\ \text{C}} = 2,5\times10^{5}\ \text{N/C}$$

39 Il campo è nullo, perché, sebbene i moduli siano diversi da zero, la somma vettoriale è nulla.

40 Il campo elettrico è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, per cui sarà 9 volte inferiore.

41 PROBLEMA SVOLTO

42 $$F = Eq = \left(5,0\times10^{6}\ \text{N/C}\right)\left(-2,8\times10^{-9}\ \text{C}\right) = 1,4\times10^{-2}\ \text{N}$$

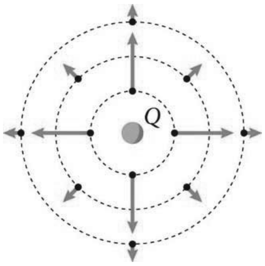
43 $$|Q| = \frac{Er^2}{k_0} = \frac{\left(9,2\times10^{4}\ \text{N/C}\right)\left(0,074\ \text{m}\right)^2}{8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2} = 5,6\times10^{-8}\ \text{C}$$

Poiché il campo elettrico è rivolto verso la carica Q, quest'ultima ha segno negativo.

44 $$E_1 = k_0\frac{Q}{r_1^2} = \left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{0,2\times10^{-9}\ \text{C}}{\left(1\ \text{m}\right)^2} = 2\ \text{N/C}$$

$$E_2 = k_0\frac{Q}{r_2^2} = \left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{0,2\times10^{-9}\ \text{C}}{\left(2\ \text{m}\right)^2} = 0,5\ \text{N/C}$$

$$E_3 = k_0\frac{Q}{r_3^2} = \left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{0,2\times10^{-9}\ \text{C}}{\left(3\ \text{m}\right)^2} = 0,2\ \text{N/C}$$



45 $$E = k_0\frac{Q}{r^2} = \left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{2,0\times10^{-8}\ \text{C}}{\left(2,0\ \text{m}\right)^2} = 45\ \text{N/C}$$

46 $$E = k_0\frac{Q}{r^2} \quad\Rightarrow\quad r = \sqrt{k_0\frac{Q}{E}} = \sqrt{\left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{8,0\times10^{-5}\ \text{C}}{5,0\times10^{5}\ \text{N/C}}} = 1,2\ \text{m}$$

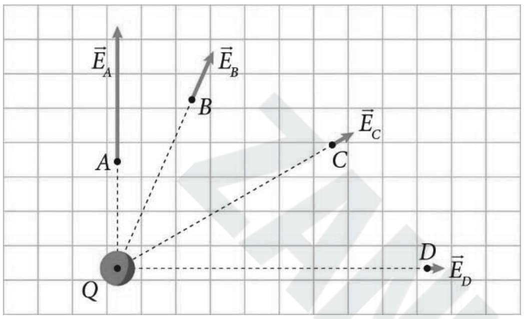
47 ■ $$E(r_A) = k_0 \frac{Q}{r_A^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{8{,}8\times10^{-3}\ \text{C}}{(16\ \text{m})^2} = 3{,}1\times10^5\ \text{N/C}$$

$$E(r_B) = k_0 \frac{Q}{r_B^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{8{,}8\times10^{-3}\ \text{C}}{(26\ \text{m})^2} = 1{,}2\times10^5\ \text{N/C}$$

$$E(r_C) = k_0 \frac{Q}{r_C^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{8{,}8\times10^{-3}\ \text{C}}{(36\ \text{m})^2} = 6{,}1\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E(r_D) = k_0 \frac{Q}{r_D^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{8{,}8\times10^{-3}\ \text{C}}{(45\ \text{m})^2} = 3{,}9\times10^4\ \text{N/C}$$

■



48 ■ Dall'espressione del campo elettrico generato da una carica puntiforme

$$Q = \frac{Ed^2}{k_0} = \frac{\left(2{,}0\times10^4\ \text{N/C}\right)(0{,}40\ \text{m})^2}{\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)} = 3{,}6\times10^{-7}\,\text{C}$$

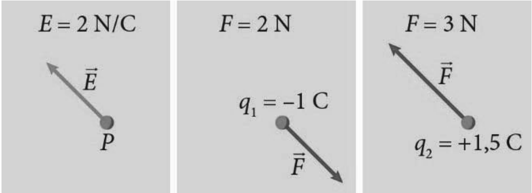
49 $$E = k_0 \frac{e}{r^2} = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)}{\left(0{,}53\times10^{-10}\ \text{m}\right)^2} = 5{,}1\times10^{11}\ \text{N/C}$$

50 $$d = \sqrt{\frac{k_0 Q}{E}} = \sqrt{\frac{\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(7{,}3\times10^{-10}\ \text{C}\right)}{13{,}8\ \text{N/C}}} = 0{,}69\ \text{m}$$

51 $$E = \frac{F_1}{q_1}$$

$$F_2 = q_2 E \quad\Rightarrow\quad q_2 = \frac{F_2}{E} = \frac{F_2}{F_1} q_1 = \frac{25\times10^{-6}\ \text{N}}{17\times10^{-6}\ \text{N}}\left(3{,}8\times10^{-10}\ \text{C}\right) = 5{,}6\times10^{-10}\ \text{C}$$

52



a. $F = |q_1| E = 1\,\text{C}\times 2\ \text{N/C} = 2\ \text{N}$

b. $F = q_2 E = 1{,}5\ \text{C}\times 2\ \text{N/C} = 3\ \text{N}$

53
- La forza che agisce su una carica negativa è verso l'alto.
- $F = qE = 2,4 \times 10^{-17}$ N , diretta verso l'alto.
- La forza-peso è pari a

$$F_P = mg = \left(9,1 \times 10^{-31}\ \text{kg}\right)\left(9,8\ \text{m/s}^2\right) = 8,9 \times 10^{-30}\ \text{N}$$

ed è diretta verso il basso.

54 $E_1 = k_0 \dfrac{Q_1}{D_1^2};\ E_2 = k_0 \dfrac{Q_2}{D_2^2} = k_0 \dfrac{2Q_1}{D_2^2}$

Affinché i due campi siano uguali si deve avere: $D_2 = \sqrt{2}D_1$.

Bisogna dunque allontanarsi di una lunghezza pari a $D_2 - D_1 = (\sqrt{2} - 1)D_1 = 0,8$ m .

55 PROBLEMA MODELLO a pag. 556

56 I campi elettrici generati dalle due cariche hanno la direzione della retta che congiunge le congiunge. Posizionando la carica q_1 a sinistra della carica q_2 , il campo elettrico $\vec{E}_1$ generato dalla prima carica è diretto verso destra, mentre il campo $\vec{E}_2$ generato dalla seconda carica è diretto verso sinistra. I loro moduli sono

$$E_1 = k_0 \frac{q_1}{\left(d/2\right)^2} = 4k_0 \frac{q_1}{d^2} \quad \text{e} \quad E_2 = k_0 \frac{q_2}{\left(d/2\right)^2} = 4k_0 \frac{q_2}{d^2}$$

Poiché i due campi elettrici hanno versi opposti, il modulo del campo elettrico totale è

$$E_{\text{tot}} = \left|E_1 - E_2\right| = 4k_0 \frac{q_1 - q_2}{d^2} = 4 \times \left(8,99 \times 10^9\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2\right) \frac{2,0 \times 10^{-9}\ \text{C}}{\left(0,12\ \text{m}\right)^2} = 5,0 \times 10^3\ \text{N/C}$$

Il campo elettrico totale è diretto verso la carica q_2 .

57 I campi elettrici generati dalle due cariche hanno la direzione della retta che le congiunge. Posizionando la carica q_1 a sinistra della carica q_2 , i campi elettrici $\vec{E}_1$ ed $\vec{E}_2$ generati dalle due cariche sono entrambi diretto verso sinistra. I loro moduli sono

$$E_1 = k_0 \frac{|q_1|}{\left(d/2\right)^2} = 4k_0 \frac{|q_1|}{d^2} \quad \text{e} \quad E_2 = k_0 \frac{q_2}{\left(d/2\right)^2} = 4k_0 \frac{q_2}{d^2}$$

Il modulo del campo elettrico totale è

$$E_{\text{tot}} = E_1 + E_2 = 4k_0 \frac{|q_1| + q_2}{d^2} = 4 \times \left(8,99 \times 10^9\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2\right) \frac{5,6 \times 10^{-9}\ \text{C}}{\left(0,12\ \text{m}\right)^2} = 1,4 \times 10^4\ \text{N/C}$$

Il campo elettrico totale è diretto verso la carica q_1 .

58

- $$E_A = k_0 \frac{|Q_A|}{r_A^2};\; E_B = k_0 \frac{|Q_B|}{r_B^2} \quad \Rightarrow \quad E_C = E_A - E_B = k_0 \left(\frac{|Q_A|}{r_A^2} - \frac{|Q_B|}{r_B^2} \right) =$$

$$= 8{,}99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \times \left[\frac{2{,}50 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{\left(50{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2} - \frac{6{,}75 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{(1{,}50\ \mathrm{m})^2} \right] = 6{,}29 \times 10^4\ \mathrm{N/C}$$

Il campo elettrico risultante è diretto verso A.

- $$E_A = k_0 \frac{|Q_A|}{r_A^2};\; E_B = k_0 \frac{|Q_B|}{r_B^2} \quad \Rightarrow E_D = E_B - E_A = k_0 \left(\frac{|Q_B|}{r_B^2} - \frac{|Q_A|}{r_A^2} \right) =$$

$$= 8{,}99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \times \left[\frac{6{,}75 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{\left(50{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2} - \frac{2{,}50 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{(1{,}5\ \mathrm{m})^2} \right] = 2{,}33 \times 10^5\ \mathrm{N/C}$$

Il campo elettrico risultante è diretto verso B.

59 Nel punto C i campi elettrici generati dalle due cariche hanno verso opposto, mentre nel punto D hanno lo stesso verso:

$$E_C = E_B - E_A = 8{,}99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \times \left[\frac{90{,}0\ \mathrm{C}}{(1{,}0\ \mathrm{m})^2} - \frac{64\ \mathrm{C}}{(4{,}0\ \mathrm{m})^2} \right] \times 10^{-9} = 7{,}7 \times 10^2\ \mathrm{N/C}$$

$$E_D = E_B + E_A = 8{,}99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \times \left[\frac{90{,}0\ \mathrm{C}}{(3{,}0\ \mathrm{m})^2} + \frac{64\ \mathrm{C}}{(8{,}0\ \mathrm{m})^2} \right] \times 10^{-9} = 99\ \mathrm{N/C}$$

60 $$E_C = E_B - E_A = 8{,}99 \times 10^9 \ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \times \left[\frac{3{,}0\ \mathrm{C}}{(0{,}3\ \mathrm{m})^2} + \frac{4{,}0\ \mathrm{C}}{(0{,}6\ \mathrm{m})^2} \right] \times 10^{-9} = 4{,}0 \times 10^7\ \mathrm{N/C}$$

Il campo è diretto lungo il segmento AC nel verso opposto a B.

61

- Imponendo che il campo elettrico totale sia nullo, si ha $k_0 \dfrac{q_1}{d^2} - k_0 \dfrac{q_2}{(L-d)^2} = 0$

  da cui $q_2 = q_1 \left(\dfrac{L-d}{d} \right)^2 = \left(5{,}2 \times 10^{-8}\ \mathrm{C}\right) \left(\dfrac{1{,}0\ \mathrm{m}}{0{,}50\ \mathrm{m}} \right)^2 = 2{,}1 \times 10^{-7}\ \mathrm{C}$.

- Il risultato non dipende dal mezzo.

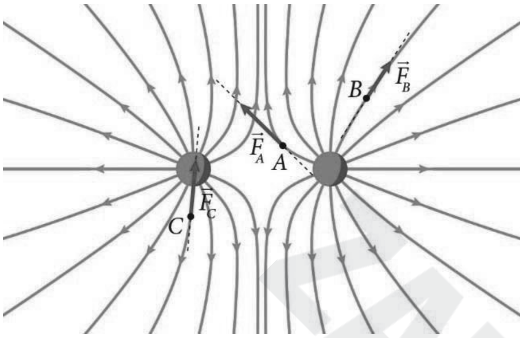
6. Le linee del campo elettrico

62 Sono rette fra loro parallele, con lo stesso verso ed equidistanti.

63 Le linee di campo escono dalla carica positiva ed entrano nella carica negativa; sono più fitte dove il campo è più intenso, ossia vicino alla carica +3*Q*, che presenta una carica (in valore assoluto) tripla rispetto alla carica –*Q*.

64 Il campo è uscente dalla carica +3*Q* ed entrante in –*Q*. Il suo modulo è maggiore vicino alla carica maggiore, in modulo.

65



66

- Quando la sfera 1 viene a contatto con la sfera carica, la carica si divide tra le due e, quindi risulterà $Q = Q_1 = \frac{4{,}8\times10^{-7}\ \text{C}}{2} = 2{,}4\times10^{-7}\ \text{C}$. Successivamente, la sfera che era già carica in precedenza viene posta in contatto con la sfera 2 e la carica si dividerà nuovamente tra le due sfere, per cui $Q_2 = \frac{2{,}4\times10^{-7}\ \text{C}}{2} = 1{,}2\times10^{-7}\ \text{C}$.
- $F = k_0\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} = 8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \times \frac{2{,}4\times10^{-7}\ \text{C}\times1{,}2\times10^{-7}\ \text{C}}{(0{,}030\ \text{m})^2} = 2{,}9\times10^{-1}\ \text{N}$
- $a = \frac{F}{m} = \frac{2{,}9\times10^{-1}\ \text{N}}{0{,}5000\ \text{kg}} = 5{,}8\times10^{-1}\ \text{m/s}^2$

67

- $F_e = F_G \Rightarrow G\frac{m^2}{r^2} = k_0\frac{|Q|^2}{r^2} \Rightarrow$

  $\Rightarrow |Q| = \sqrt{\frac{G}{k_0}}m = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2}{8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}}(9{,}16\times10^{-8}\ \text{kg}) = 7{,}89\times10^{-18}\ \text{C}$

  Poiché le cariche sono negative, il loro valore è $Q = -7{,}89\times10^{-18}\ \text{C}$.
- $n = \frac{|Q|}{e} = \frac{7{,}89\times10^{-18}\ \text{C}}{1{,}60\times10^{-19}\ \text{C}} = 49$

68 Uguaglio i moduli delle forze elastica ed elettrica:

$$k\Delta x = k_0\frac{|Q||Q|}{r^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow\quad k = \frac{k_0}{r^2}\frac{|Q|^2}{\Delta x} = \frac{k_0}{r^2}\frac{Q^2}{(l_0-l_1)} = \frac{8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}{(0{,}098\ \text{m})^2}\times\frac{(3{,}1\times10^{-6}\ \text{C})^2}{0{,}064\ \text{m}} = 1{,}4\times10^2\ \text{N/m}$$

69 $F = qE = \left(5,0\times10^{-8}\ \text{C}\right)\left(7,0\times10^{4}\ \text{N/C}\right) = 3,5\times10^{-3}\ \text{N}$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3,5\times10^{-3}\ \text{N}}{7,1\times10^{-7}\ \text{kg}} = 4,9\times10^{3}\ \text{m/s}^2$$

70 Affinché la forza elettrica sia uguale alla forza-peso del sistema, si deve avere:

$$2mg = k_0\frac{e^2}{r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{k_0e^2}{2mg}} = \sqrt{\frac{\left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(1,6022\times10^{-19}\ \text{C}\right)^2}{2\times\left(9,11\times10^{-31}\ \text{kg}\right)\left(9,80\ \text{m/s}^2\right)}} = 3,59\ \text{m}$$

71
- Gli elettroni mancanti dalle goccioline sono

$$N = \frac{Q_1+Q_2}{e} = \frac{(74\times10^{-9}\ \text{C})+(45\times10^{-9}\ \text{C})}{1,6\times10^{-19}\ \text{C}} = 7,4\times10^{11}$$

- All'equilibrio $F_p = F_e \Rightarrow mg = k_0\dfrac{|Q_1||Q_2|}{d^2} \Rightarrow \quad m = k_0\dfrac{|Q_1||Q_2|}{gd^2} \Rightarrow$

$$m = \frac{(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(74\times10^{-9}\ \text{C})(45\times10^{-9}\ \text{C})}{(9,8\ \text{m/s}^2)(42\times10^{-2}\ \text{m})^2} = 1,7\times10^{-5}\ \text{kg}$$

72 Dalla seconda legge della dinamica: $F = ma = (1,67\times10^{-27}\ \text{kg})(240\ \text{m/s}^2) = 4,00\times10^{-25}\ \text{N}$.
La sfera metallica è assimilabile a una carica puntiforme con tutta la carica concentrata nel suo centro. Perciò la distanza dal protone è $r = d + R = 0,347\ \text{m} + 0,021\ \text{m} = 0,368\ \text{m}$.

$$k_0\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} = F \Rightarrow |Q_2| = \frac{Fr^2}{k_0|Q_1|} = \frac{(4,00\times10^{-25}\ \text{N})(0,368\ \text{m})^2}{(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1,6022\times10^{-19}\ \text{C})} = 3,77\times10^{-17}\ \text{C}$$

Quindi il numero di elettroni contenuti sulla sferetta è $N = \dfrac{Q_2}{e} = \dfrac{3,77\times10^{-17}\ \text{C}}{1,6022\times10^{-19}\ \text{C}} = 2,35\times10^{2}$.

73
- $|Q| = r\sqrt{\dfrac{F}{k_0}} = \left(6,8\times10^{-11}\ \text{m}\right)\sqrt{\dfrac{5,0\times10^{-8}\ \text{N}}{8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}} = 1,6\times10^{-19}\ \text{C}$
- $n_e = 1$

74 Uguagliando le due forze (elastica ed elettrica), si ottiene la deformazione della molla:

$$s = \frac{|q|E}{k} = \frac{\left(6,5\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(1,78\times10^{7}\ \text{N/C}\right)}{5,5\ \text{N/m}} = 0,021\ \text{m}$$

Poiché la carica è negativa, la forza elettrica ha verso opposto al campo elettrico, quindi tenderà a comprimere la molla.

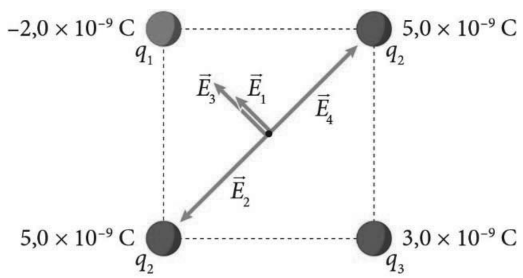
75 Dalla condizione $k_0\dfrac{Q}{(d+x)^2} = \dfrac{3}{4}k_0\dfrac{Q}{d^2}$ (con $x > 0$), si ricava l'equazione $3x^2 + 6dx - d^2 = 0$.

L'unica soluzione positiva è $x = \dfrac{4d\sqrt{3}-6d}{6} = \left(\dfrac{2}{\sqrt{3}}-1\right)d = \left(\dfrac{2}{\sqrt{3}}-1\right)(7,1\ \text{m}) = 1,1\ \text{m}$.

76 Dalla legge di Coulomb, si ha $r = \sqrt{k_0\dfrac{Qq}{F}}$.

Il campo elettrico è $E = k_0\dfrac{Q}{(r/2)^2} = 4k_0\dfrac{Q}{r^2} = 4k_0\dfrac{QF}{k_0Qq} = 4\dfrac{F}{q} = 4\dfrac{1,0\ \text{N}}{2,0\times10^{-6}\ \text{C}} = 2,0\times10^{6}\ \text{N/C}$.

77 ■



- I campi prodotti nel centro del quadrato dalle due cariche positive di valore $5,0\times 10^{9}\ \text{C}$ hanno stessa intensità e direzione ma versi opposti, quindi si annullano.
- I campi prodotti nel centro dalle altre due cariche hanno stessa direzione e verso:

$$E_{\text{ris}} = E_1 + E_3 = k_0\frac{q_1}{r_1^2} + k_0\frac{q_3}{r_3^2} = k_0\left(\frac{q_1}{r_1^2}+\frac{q_3}{r_3^2}\right) = \frac{k_0}{r^2}(q_1+q_3) =$$

$$= \frac{8,99\times 10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}{(0,11\ \text{m})^2}\times\left(2,0\times 10^{-9}\ \text{C} + 3,0\times 10^{-9}\ \text{C}\right) = 3,7\times 10^{3}\ \text{N/C}$$

78

- I due campi elettrici hanno la stessa direzione e versi opposti.
- La loro somma è nulla quando i loro moduli sono uguali: $E_1 = E_2$.
- Coerentemente con i dati, usiamo le notazioni $Q_1 = 7Q$ e $Q_2 = 4Q$; allora possiamo scrivere:

$$E_1 = k_0\frac{7Q}{(d-x)^2};\quad E_2 = k_0\frac{4Q}{x^2}$$

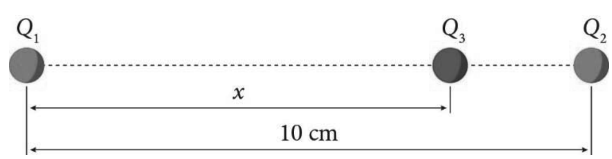
Ricaviamo l'incognita mediante l'equazione $\cancel{k_0}\frac{7\cancel{Q}}{(d-x)^2} = \cancel{k_0}\frac{4\cancel{Q}}{x^2}$ da cui $7x^2 - 4(d-x)^2 = 0$ e quindi

$$3x^2 + 8dx - 4d^2 = 0$$

La soluzione accettabile è quella positiva, cioè

$$x = \frac{2\left(\sqrt{7}-2\right)}{3}d = \frac{2\left(\sqrt{7}-2\right)}{3}(2,00\ \text{m}) = 0,861\ \text{m}$$

79 ■



$$F_{13} = F_{23}$$

$$\frac{\cancel{k_0}Q_1\cancel{Q_3}}{x^2} = \frac{\cancel{k_0}Q_2\cancel{Q_3}}{(r-x)^2} \Rightarrow \frac{x^2}{(r-x)^2} = \frac{Q_1}{Q_2} \Rightarrow \left(\frac{x}{r-x}\right)^2 = \frac{Q_1}{Q_2}$$

segue

$$\frac{x}{r-x} = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}} = \sqrt{\frac{18\ \mu\text{C}}{2{,}0\ \mu\text{C}}} = 3{,}0$$
$$x = 3{,}0(r-x)$$
$$4x = 3{,}0r$$
$$x = \frac{3{,}0r}{4} = \frac{3{,}0\times 10\ \text{cm}}{4} = 7{,}5\ \text{cm}$$

- La carica Q_3 non influisce sul valore di x.

80 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 A

2 B

3 A

4 D

5 $$|Q_2| = \frac{d^2F}{k_0|Q_1|} = \frac{\left(7{,}0\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2\left(1{,}5\times10^{-3}\ \text{N}\right)}{\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(6{,}3\times10^{-9}\ \text{C}\right)} = 1{,}3\times10^{-7}\ \text{C}$$

6
- In A i due campi elettrici hanno la stessa direzione e lo stesso verso; quindi, il campo elettrico totale ha la direzione e il verso che collegano Q_1 con Q_2.
- Il punto A dista 21 cm da Q_2. Il modulo del campo elettrico totale è

$$E = E_1 + E_2 = k_0\left(\frac{Q_1}{r_1^2} + \frac{|Q_2|}{r_2^2}\right) = \left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left[\frac{6{,}3\times10^{-11}\ \text{C}}{\left(0{,}16\ \text{m}\right)^2} + \frac{5{,}4\times10^{-11}\ \text{C}}{\left(0{,}21\ \text{m}\right)^2}\right] = 33\ \text{N/C}$$

7
- $$a = \frac{q_pE}{m_e} = \frac{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(350\ \text{N/C}\right)}{1{,}67\times10^{-27}\ \text{kg}} = 3{,}35\times10^{10}\ \text{m/s}^2$$
- La forza-peso è trascurabile perché in questo caso agisce anche la forza elettrica, che è notevolmente più intensa. Infatti, il rapporto tra le due accelerazioni è

$$\frac{a}{g} = \frac{3{,}35\times10^{10}\ \text{m/s}^2}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 3{,}42\times10^9$$

8 $$|Q_A| = \sqrt{\frac{F_{AB}r^2}{3k_0}} = \sqrt{\frac{\left(0{,}14\times10^{-6}\ \text{N}\right)\left(0{,}1\ \text{m}\right)^2}{3\left(8{,}99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)}} \simeq 0{,}23\ \text{nC}$$

$$Q_A \simeq -0{,}23\ \text{nC}$$
$$Q_B = 3Q_A \simeq -0{,}69\ \text{nC}$$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Dopo il contatto fra A e B, ognuna ha una carica $Q'_A = Q'_B = \dfrac{Q_A + Q_B}{2} = \dfrac{4,0 \text{ nC} + 0 \text{ nC}}{2} = 2,0 \text{ nC}$.

Dopo il contatto fra B e C, ognuna ha una carica $Q'_B = Q'_C = \dfrac{Q'_B + Q_C}{2} = \dfrac{2,0 \text{ nC} + (-6,0 \text{ nC})}{2} = -2,0 \text{ nC}$.

2 Il campo elettrico in P ha modulo

$$E = \frac{F_1}{q_1} = \frac{5,6\times10^{-2} \text{ N}}{3,5\times10^{-5} \text{ C}} = 1,6\times10^{3} \text{ N/C}$$

La carica q_2 subirebbe quindi una forza F_2 di modulo

$$F_2 = q_2 E = \left(2,9\times10^{-4} \text{ C}\right)\left(1,6\times10^{3} \text{ N/C}\right) = 4,6\times10^{-1} \text{ N}$$

3 È la forza repulsiva di Coulomb ad accelerare i due protoni, per cui si ha

$$a = \frac{F}{m} = \frac{k_0 \dfrac{|Q_1||Q_2|}{r^2}}{m} = \frac{\left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\dfrac{\left(1,60\times10^{-19} \text{ C}\right)^2}{\left(2,00\times10^{-2} \text{ m}\right)^2}}{1,67\times10^{-27} \text{ kg}} = 345 \text{ m/s}^2$$

4 La carica vale

$$Q = \frac{E_1 r_1^2}{k_0} = \frac{\left(27 \text{ N/C}\right)\left(0,40 \text{ m}\right)^2}{8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2} = 4,8\times10^{-10} \text{ C}$$

Affinché il campo elettrico abbia modulo 40 N/C, la distanza deve essere

$$r_2 = \sqrt{\frac{k_0 Q}{E_2}} = \sqrt{\frac{\left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(4,8\times10^{-10} \text{ C}\right)}{40 \text{ N/C}}} = 3,3\times10^{-1} \text{ m} = 33 \text{ cm}$$

5 La carica A genera un campo elettrico diretto nel verso positivo e di modulo

$$E_A = k_0 \frac{|Q_A|}{r_A^2} = \left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{3,45\times10^{-6} \text{ C}}{\left(5,00 \text{ m}\right)^2} = 1,24\times10^{3} \text{ N/C}$$

La carica B genera un campo elettrico diretto nel verso negativo e di modulo

$$E_B = k_0 \frac{|Q_B|}{r_B^2} = \left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{3,45\times10^{-6} \text{ C}}{\left(3,00 \text{ m}\right)^2} = 3,45\times10^{3} \text{ N/C}$$

Poiché $E_B > E_A$, il campo elettrico totale è diretto nel verso negativo e ha modulo

$$E = E_B - E_A = \left(3,45 - 1,24\right)\times10^{3} \text{ N/C} = 2,21\times10^{3} \text{ N/C}$$

6 All'equilibrio si ha $F_{\text{elastica}} = F_{\text{elettrica}}$, ovvero $ks = k_0 \dfrac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$, quindi:

$$k = \frac{k_0}{s}\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} = \frac{\left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)}{8,8\times10^{-2} \text{ m}}\frac{\left(4,7\times10^{-6} \text{ C}\right)\left(6,2\times10^{-6} \text{ C}\right)}{\left(30\times10^{-2} \text{ m}\right)^2} = 33 \text{ N/m}$$

7 La forza che Q_1 esercita su Q_3 è repulsiva e diretta verso Q_2. Il suo modulo vale

$$F_{13} = k_0 \frac{|Q_1||Q_3|}{d_{13}^2} = \left(8,99\times10^{9} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\frac{\left(4,5\times10^{-9} \text{ C}\right)\left(2,0\times10^{-9} \text{ C}\right)}{\left(30\times10^{-2} \text{ m}\right)^2} = 9,0\times10^{-7} \text{ N}$$

segue

La forza che Q_2 esercita su Q_3 è attrattiva e diretta verso Q_2. Il suo modulo vale

$$F_{23}=k_0\frac{|Q_2||Q_3|}{d_{23}^2}=\left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{\left(3{,}0\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)\left(2{,}0\times10^{-9}\ \mathrm{C}\right)}{\left(10\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2}=5{,}4\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

La forza totale su Q_3 è diretta verso Q_2 e ha modulo

$$F=F_{13}+F_{23}=9{,}0\times10^{-7}\ \mathrm{N}+5{,}4\times10^{-6}\ \mathrm{N}=6{,}3\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

8 La distanza di ogni carica da P è $d=\sqrt{(30\,\mathrm{cm})^2+(30\,\mathrm{cm})^2}=30\sqrt{2}\,\mathrm{cm}$. Ciascuna carica genera in P un campo elettrico di modulo:

$$E=k_0\frac{Q}{d^2}=\left(8{,}99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\frac{7{,}0\times10^{-4}\ \mathrm{C}}{\left(30\sqrt{2}\times10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2}=3{,}5\times10^7\ \mathrm{N/C}$$

I due campi elettrici sono perpendicolari, per cui il modulo del campo elettrico totale si può calcolare con il teorema di Pitagora:

$$E_{\mathrm{tot}}=\sqrt{E^2+E^2}=E\sqrt{2}=4{,}9\times10^7\ \mathrm{N/C}$$

9 Poiché il campo elettrico è diretto verso il basso, mentre la forza elettrica deve essere diretta verso l'alto per bilanciare la forza-peso, la carica sulla gocciolina deve essere negativa, per cui gli elettroni sono in eccesso.

All'equilibrio $F_P=F_{\mathrm{elettrica}}$, ovvero $mg=|q|E$, quindi:

$$|q|=\frac{mg}{E}=\frac{\left(4{,}0\times10^{-15}\ \mathrm{kg}\right)\left(9{,}81\ \mathrm{m/s^2}\right)}{49\times10^3\ \mathrm{N/C}}=8{,}0\times10^{-19}\ \mathrm{C}$$

Il numero di elettroni in eccesso è $n=\frac{|q|}{|e|}=\frac{8{,}0\times10^{-19}\ \mathrm{C}}{1{,}6\times10^{-19}\ \mathrm{C}}=5$.

10 Il rapporto tra le forze finale e iniziale è

$$\frac{F_f}{F_i}=\frac{k_0\dfrac{|Q_1||Q_2|}{d_f^2}}{k_0\dfrac{|Q_1||Q_2|}{d_i^2}}=\left(\frac{d_i}{d_f}\right)^2$$

Questo rapporto è uguale a 0,80. Poiché $d_f=d_i+2{,}0\,\mathrm{m}$, si ha

$$\left(\frac{d_i}{d_i+2{,}0\,\mathrm{m}}\right)^2=0{,}80\ \Rightarrow\ d_i=\frac{\sqrt{0{,}80}}{1-\sqrt{0{,}80}}2{,}0\,\mathrm{m}=17\,\mathrm{m}$$

11 La carica elettrica di ciascuno ione è positiva e pari alla carica elettrica fondamentale e. Alla distanza r_1 il modulo della forza elettrica è $F=\frac{k_0e^2}{r_1^2}$.

Alla distanza r_2 la forza è data da $F=\frac{k_0e2e}{r_2^2}=\frac{k_0 2e^2}{r_2^2}$. Poiché la forza è la stessa a entrambe le distanze, si ha

$\frac{k_0e^2}{r_1^2}=\frac{k_0 2e^2}{r_2^2}$, da cui si ottiene $r_2=\sqrt{2}r_1=\sqrt{2}\left(6{,}2\,\mathrm{mm}\right)=8{,}8\,\mathrm{mm}$.

12 Affinché il modulo della forza dimezzi, la distanza deve essere moltiplicata per $\sqrt{2}$. Le due cariche devono quindi essere allontanate di $\Delta d=d\sqrt{2}-d=d\left(\sqrt{2}-1\right)=30{,}0\,\mathrm{cm}\left(\sqrt{2}-1\right)=12{,}4\ \mathrm{cm}$.

13 La particella A è soggetta a una forza pari a

$$F = ma = \left(2,4\times10^{-7}\ \text{kg}\right)\left(1,2\times10^{4}\ \text{m/s}^2\right) = 2,9\times10^{-3}\ \text{N}$$

La carica della particella A vale

$$\left|Q_A\right| = \frac{Fr^2}{k_0\left|Q_B\right|} = \frac{\left(2,9\times10^{-3}\ \text{N}\right)\left(10\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{\left(8,99\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(8,0\times10^{-7}\ \text{C}\right)} = 4,0\times10^{-9}\ \text{C} = 4,0\ \text{nC}$$

14 Il modulo della forza F_1 è $F_1 = k_0\dfrac{4Q^2}{r^2}$. Dopo il contatto, la carica totale $5Q$ si distribuisce in parti uguali sulle due sfere, per cui ognuna di esse acquisisce una carica pari a $\dfrac{5}{2}Q$. Il modulo di F_2 è $F_2 = k_0\dfrac{\frac{25}{4}Q^2}{r^2}$.

Si ottiene $\dfrac{F_2}{F_1} = \dfrac{\frac{25}{4}}{4} = \dfrac{25}{16}$.

15 In assenza di campo elettrico, la molla sarebbe allungata di

$$s_0 = \frac{F_P}{k} = \frac{mg}{k} = \frac{\left(76\times10^{-3}\ \text{kg}\right)(9,8\ \text{m/s}^2)}{20\ \text{N/m}} = 3,7\times10^{-2}\ \text{m} = 3,7\ \text{cm}$$

Poiché $s_1 = 1{,}3\ \text{cm} < s_0$ e $q > 0$, il campo elettrico è diretto verso l'alto.

All'equilibrio allora $F_P = F_{\text{elastica}} + F_{\text{elettrica}}$, ovvero $mg = ks_1 + qE$, quindi

$$E = \frac{mg - ks_1}{q} = \frac{\left(76\times10^{-3}\ \text{kg}\right)\left(9,8\ \text{m/s}^2\right) - \left(20\ \text{N/m}\right)\left(1,3\times10^{-2}\ \text{m}\right)}{8,0\times10^{-3}\ \text{C}} = 61\ \text{N/C}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 18

Il potenziale elettrico e la capacità

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. Dall'energia potenziale elettrica al potenziale elettrico

pag. 562

$$W = -\Delta U = 2 \times 10^{-8}\ \text{J}$$

2. Il moto di una carica in un campo elettrico uniforme

pag. 565

L'accelerazione è direttamente proporzionale al rapporto q/m tra la carica e la massa della particella. Le particelle per le quali il rapporto q/m è diverso acquistano un'accelerazione diversa.

3. I condensatori e la capacità elettrica

pag. 568

A parità di carica, il condensatore che ha capacità maggiore è quello che ha la minore differenza di potenziale tra le armature.

4. Il condensatore piano

pag. 570

$$C_1 = \frac{l^2}{4\pi k_0 d} \quad \Rightarrow \quad C_2 = \frac{(l/2)^2}{4\pi k_0\, d/2} = \frac{1}{2} C_1$$

TEST

1 D
2 C
3 B
4 D
5 D
6 A e C
7 C
8 D
9 B

ESERCIZI

1. Dall'energia potenziale elettrica al potenziale elettrico

1 Se l'orbita della traiettoria è circolare e costante, i vettori forza e spostamento formano un angolo di 90° e di conseguenza il lavoro compiuto è nullo.

2
- Nel primo caso U_A è maggiore di U_B; nel secondo caso U_A è minore di U_B; nel terzo caso U_A è minore di U_B.
- Le disuguaglianze si invertono.

3 Le cariche positive *scendono* lungo la differenza di potenziale, cioè si spostano da dove il potenziale è alto verso punti in cui il potenziale è più basso: il moto spontaneo della carica sarà, allora, da *A* verso *B*.

4

Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Vettore o scalare	Dipende dalla carica di prova?
Forza elettrica	$\vec{F}$	N	vettore	sì
Campo elettrico	$\vec{E}$	N/C	vettore	no
Energia potenziale elettrica	U	J	scalare	sì
Potenziale elettrico	V	V	scalare	no

5 Lo spostamento da *A* a *B* ha direzione parallela e verso concorde con le forze del campo, perciò
$$W = Fs = qEs = \left(8,5\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(21\ \text{N/C}\right)\left(0,35\ \text{m}\right) = 6,2\times10^{-8}\ \text{J}$$

6 $$V_B - V_A = \Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{U_B - U_A}{-e} = \frac{\left(2,4-9,6\right)\times10^{-18}\ \text{J}}{-1,602\times10^{-19}\ \text{C}} = 45\ \text{V}$$

7 $$\Delta U = U_B - U_A = q\Delta V = \left(7,11\times10^{-12}\ \text{C}\right)\left(4,25\times10^{3}\ \text{V}\right) = 3,02\times10^{-8}\ \text{J}$$

8 PROBLEMA SVOLTO

9 $$V_A - V_B = Es = \left(580\ \text{N/C}\right)\left(0,0312\ \text{m}\right) = 18,1\ \text{V}$$

10 $$V_A - V_B = Es = \left(1,03\times10^{5}\ \text{N/C}\right)\left(2,14\times10^{-3}\ \text{m}\right) = 220\ \text{V}$$

11 $$V_A - V_B = Es \quad\Rightarrow\quad s = \frac{V_A - V_B}{E} = \frac{48\ \text{V}}{240\ \text{N/C}} = 0,20\ \text{m} = 20\ \text{cm}$$

12 PROBLEMA MODELLO a pag. 577

13
- $U_A = W = qEd = \left(-8,1\times10^{-9}\text{C}\right)\left(3,4\times10^{2}\ \text{N/C}\right)\left(0,23\ \text{m}\right) = -6,3\times10^{-7}\ \text{J}$
- $U_A = -W = -qEd = -\left(-8,1\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(3,4\times10^{2}\ \text{N/C}\right)\left(0,74\ \text{m}\right) = 2,0\times10^{-6}\ \text{J}$

14
- $W = q\Delta V = \left(2,4\times10^{-6}\ \text{C}\right)\left(0,29\ \text{V}\right) = 7,0\times10^{-7}\ \text{J}$
- $\Delta V = Es \quad\Rightarrow\quad s = \dfrac{\Delta V}{E} = \dfrac{0,29\ \text{V}}{4,0\ \text{N/C}} = 7,3\ \text{cm}$

15 $$U = qEd \quad\Rightarrow\quad E = \frac{U}{qd} = \frac{0,81\times10^{-3}\ \text{J}}{\left(2,6\times10^{-6}\ \text{C}\right)\left(0,40\ \text{m}\right)} = 7,8\times10^{2}\ \text{N/C}$$

16 $$W = q\Delta V = 10^{18}\times\left(1,60\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(24,0\ \text{V}\right) = 3,84\ \text{J}$$

17 ■ $W = q\Delta V = \left(-57\times10^{-12}\ \text{C}\right)\left(-66\ \text{V}\right) = 3{,}8\times10^{-9}\ \text{J}$

■ La carica negativa è trascinata verso la lastra positiva e la proiezione dello spostamento lungo la direzione del campo ha verso opposto a $\vec{E}$.

$$\Delta V = E_{\parallel}s = Es_{\parallel} = Es\cos(180° - 60°) = \left(5{,}3\times10^{3}\ \text{N/C}\right)\left(25\times10^{-3}\ \text{m}\right)\left(-0{,}5\right) = -66\ \text{V}$$

18 $\Delta V = Es\cos(30° + 90°) = Es\cos(120°) = \left(4{,}0\ \text{N/C}\right)\left(0{,}020\ \text{m}\right)\left(-0{,}5\right) = -40\ \text{V}$

2. Il moto di una carica in un campo elettrico uniforme

19 $$v = \sqrt{\frac{2(e)(\Delta V)}{m_e}} = \sqrt{\frac{2\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(1{,}02\times10^{3}\ \text{V}\right)}{9{,}1\times10^{-31}\ \text{kg}}} = 1{,}89\times10^{7}\ \text{m/s}$$

Si tratta di una velocità molto alta, che gli elettroni mantengono fino all'impatto con lo schermo.

20 PROBLEMA MODELLO a pag. 579

21 $$v_i = \frac{2eE}{m}t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{mv_i}{2eE} = \frac{\left(6{,}63\times10^{-27}\ \text{kg}\right)\left(1{,}83\times10^{4}\ \text{m/s}\right)}{\left(2\times1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(86{,}9\ \text{N/C}\right)} = 4{,}36\times10^{-6}\ \text{s}$$

$$x = v_i t - \frac{eE}{m}t^2 =$$

$$= \left(1{,}83\times10^{4}\ \text{m/s}\times4{,}36\times10^{-6}\ \text{s}\right) - \left[\frac{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(86{,}9\ \text{N/C}\right)}{6{,}63\times10^{-27}\ \text{kg}}\left(4{,}36\times10^{-6}\ \text{s}\right)^2\right] = 4{,}00\ \text{cm}$$

22 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 580.

23 $$v = at = \frac{eE}{m}t = \frac{\left(1{,}6\times10^{-19}\text{C}\right)\left(1{,}20\ \text{N/C}\right)}{9{,}1\times10^{-31}\ \text{kg}}\left(5{,}2\times10^{-8}\ \text{s}\right) = 1{,}1\times10^{4}\ \text{m/s}$$

24 ■ La velocità iniziale della particella alfa ha modulo

$$v_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0{,}253\ \text{m}}{4{,}82\times10^{-6}\ \text{s}} = 5{,}25\times10^{4}\ \text{m/s}$$

■ Il campo elettrico imprime alla particella un'accelerazione di modulo

$$a = \frac{QE}{m} = \frac{\left(3{,}20\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(11{,}7\ \text{N/C}\right)}{6{,}64\times10^{-27}\ \text{kg}} = 5{,}64\times10^{8}\ \text{m/s}^2$$

■ Mentre la particella alfa si sposta in orizzontale di 25,3 cm, il suo spostamento verticale è

$$\Delta y = \frac{1}{2}a\Delta t^2 = \frac{1}{2}\left(5{,}64\times10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)\left(4{,}82\times10^{-6}\ \text{s}\right)^2 = 6{,}55\times10^{-3}\ \text{m}$$

3. I condensatori e la capacità elettrica

25 $$C = \frac{|Q|}{\Delta V} = \frac{8{,}80\times10^{-6}\ \text{C}}{120\ \text{V}} = 7{,}33\times10^{-8}\ \text{F}$$

26 $$\Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{7{,}2\times10^{-6}\ \text{C}}{2{,}9\times10^{-9}\ \text{F}} = 2{,}5\times10^{3}\ \text{V} = 2{,}5\ \text{kV}$$

27 $Q = C\Delta V = \left(3{,}2\times10^{-9}\ \text{F}\right)\left(4{,}8\ \text{V}\right) = 1{,}5\times10^{-8}\ \text{C}$

28 $Q = C\Delta V = \left(3,0\times10^{-9}\ \text{F}\right)\left(15\ \text{V}\right) = 4,5\times10^{-8}\ \text{C} = 45\ \text{nC}$

29 $C = \dfrac{Q_1}{\Delta V_1} = \dfrac{1,5\times10^{-8}\ \text{C}}{3,5\ \text{V}} = 4,3\times10^{-9}\ \text{F}$

$Q_2 = \text{C}\Delta V_2 = \left(4,3\times10^{-9}\ \text{F}\right)\left(1,5\ \text{V}\right) = 6,4\ \text{nC}$

30 $q = C\Delta V$

$\Delta q = C\left(\Delta V_2 - \Delta V_1\right) = 2,5\times10^{-6}\ \text{F}\times\left(15,0\ \text{V} - 5,0\ \text{V}\right) = 2,5\times10^{-5}\ \text{C}$

4. Il condensatore piano

31 Avvicini le piastre fino a dimezzare la distanza iniziale.

32
- $C_0 = \dfrac{Q}{\Delta V} = \dfrac{8,0\times10^{-8}\ \text{C}}{20\ \text{V}} = 4,0\times10^{-9}\ \text{F} = 4,0\ \text{nF}$
- $C = \varepsilon_r C_0 = 2,3\times 4,0\ \text{nF} = 9,2\ \text{nF}$

33 $C = \dfrac{1}{4\pi k_0}\dfrac{A}{s} = \dfrac{1}{4\pi\left(8,99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)}\dfrac{4,3\times10^{-3}\ \text{m}^2}{1,3\times10^{-3}\ \text{m}} = 2,9\times10^{-11}\ \text{F}$

34 $d = \dfrac{1}{4\pi k_0}\dfrac{A}{C} = \dfrac{90\times10^{-4}\ \text{m}^2}{4\pi\left(8,99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(25,0\times10^{-12}\ \text{pF}\right)} = 3,2\times10^{-3}\ \text{m} = 3,2\ \text{mm}$

35 $\varepsilon_r = \dfrac{C}{C_0} = \dfrac{76\ \text{nF}}{18,1\ \text{nF}} = 4,2$

36 $C = \varepsilon_r\dfrac{A}{4\pi k_0 d} = 5,4\dfrac{8,3\times10^{-3}\ \text{m}^2}{4\pi\left[8,99\times10^9\ \left(\text{N}\cdot\text{m}^2\right)/\text{C}^2\right]\left(6,4\times10^{-4}\ \text{m}\right)} = 6,2\times10^{-10}\ \text{F}$

37 $C = \dfrac{A}{4\pi k_0 s} = \dfrac{l^2}{4\pi k_0 s} \quad\Rightarrow$

$l = \sqrt{4\pi k_0 sC} = \sqrt{4\pi\left(8,99\times10^9\text{m/F}\right)\left(5,0\times10^{-4}\ \text{m}\right)\left(1,7\times10^{-9}\ \text{F}\right)} = 0,31\ \text{m} = 31\ \text{cm}$

38
- $C = \dfrac{1}{4\pi k_0}\dfrac{A}{d} = \dfrac{1}{4\pi\left(8,99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)}\dfrac{\pi\left(11,0\times10^{-2}\ \text{m}^2\right)}{2,50\times10^{-3}\ \text{m}} = 1,35\times10^{-10}\ \text{F} = 135\ \text{pF}$
- $\Delta V = Ed = \left(8,02\times10^4\ \text{N/C}\right)\left(2,50\times10^{-3}\ \text{m}\right) = 201\ \text{V}$
- $Q = C\Delta V = \left(135\ \text{pF}\right)\left(201\ \text{V}\right) = 27,1\ \text{nC}$

39
- $C = \dfrac{A}{4\pi k_0 d} = \dfrac{6,5\times10^{-3}\ \text{m}^2}{4\pi\left[8,99\times10^9\ \left(\text{N}\cdot\text{m}^2\right)/\text{C}^2\right]\left(2,0\times10^{-4}\ \text{m}\right)} = 2,9\times10^{-10}\ \text{F}$
- $\Delta V = Ed = \left(800\ \text{N/C}\right)\left(2,0\times10^{-4}\ \text{m}\right) = 0,16\ \text{V}$
- $Q = C\Delta V = \left(2,9\times10^{-10}\ \text{F}\right)\left(0,16\ \text{V}\right) = 4,6\times10^{-11}\ \text{C}$

40
- $C' - C = C\left(\varepsilon - 1\right) = \left(0,29\ \text{nF}\right)\left(2,10 - 1\right) = 0,319\ \text{nF} \simeq 0,32\ \text{nF}$
- $Q' - Q = \left(C' - C\right)\Delta V = \left(0,319\ \text{nF}\right)\left(0,16\ \text{V}\right) = 51\ \text{pC}$

41 $C = \varepsilon_0 \dfrac{S}{d} = \varepsilon_0 \dfrac{l^2}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \varepsilon_0 \dfrac{l^2}{C}$

Il campo elettrico tra le piastre vale $E = \dfrac{\Delta V}{d} = \dfrac{\Delta V\, C}{\varepsilon_0 l^2}$. La forza sulla carica q vale $F = qE = \dfrac{q\Delta V\, C}{\varepsilon_0 l^2}$ e l'accelerazione è

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q\Delta V\, C}{\varepsilon_0 l^2 m} = \frac{\left(2,0\times10^{-8}\ \text{C}\right)\left(10\ \text{V}\right)\left(1,0\times10^{-12}\ \text{F}\right)}{\left(8,854\times10^{-12}\ \text{C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)\right)\left(0,1\ \text{m}\right)^2\left(3,0\times10^{-10}\ \text{kg}\right)} = 7,5\times10^3\ \text{m/s}^2$$

42 $\Delta V = \dfrac{Q}{C} = \dfrac{Qd}{\varepsilon_0 A} = \dfrac{\left(14\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(5,1\times10^{-3}\ \text{m}\right)}{\left(8,854\times10^{-12}\ \text{F/m}\right)\left(4,2\times10^{-3}\ \text{m}^2\right)} = 1,92\times10^3\ \text{V}$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{q\Delta V}{md} = \frac{\left(2,7\times10^{-13}\ \text{C}\right)\left(1,92\times10^3\ \text{V}\right)}{\left(6,5\times10^{-11}\ \text{kg}\right)\left(5,1\times10^{-3}\ \text{m}\right)} = 1,6\times10^3\ \text{m/s}^2$$

L'accelerazione trovata è circa 160 volte quella di gravità; quest'ultima, quindi, risulta trascurabile.

43 A

44 D

45
- $\Delta V = Es \quad \Rightarrow \quad E = \dfrac{\Delta V}{s} = \dfrac{1,40\times10^9\ \text{V}}{800\ \text{m}} = 1,75\times10^6\ \text{N/C}$
- $F = Ee = \left(1,75\times10^6\ \text{N/C}\right)\left(1,60\times10^{-19}\ \text{C}\right) = 2,80\times10^{-13}\ \text{N}$

46
- $\Delta V = Ed \quad \Rightarrow \quad E = \dfrac{\Delta V}{d} = \dfrac{750\ \text{V}}{15\ \text{m}} = 50\ \text{V/m} = 50\ \text{N/C}$
- $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{qE}{m} = \dfrac{\left(8,6\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(50\ \text{N/C}\right)}{4,2\times10^{-3}\ \text{kg}} = 1,0\times10^{-4}\ \text{m/s}^2$

47
- La pendenza rappresenta la capacità del condensatore.
- $C = 0,50\ \mu\text{F}$

48 La forza-peso e la forza elettrica sono in equilibrio:

$$F_P = F_{\text{elettrica}} \quad \Rightarrow \quad mg = Eq = \frac{\Delta V}{s} q \quad \Rightarrow \quad \Delta V = \frac{mgs}{q} = \frac{\left(1,5\times10^{-12}\ \text{kg}\right)\left(9,80\ \text{m/s}^2\right)\left(0,030\ \text{m}\right)}{2,0\times10^{-15}\ \text{C}} = 2,2\times10^2\ \text{V}$$

49 $C = \dfrac{1}{4\pi k_0} \dfrac{l^2}{\cancel{d}} \varepsilon_r = \dfrac{Q}{E\cancel{d}} \quad \Rightarrow \quad l^2 = \dfrac{4\pi k_0 Q}{E\varepsilon_r} = \dfrac{4\pi\left(8,99\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)\left(34\times10^{-12}\ \text{C}\right)}{\left(120\ \text{N/C}\right)\times130} = 2,5\times10^{-4}\ \text{m}^2$

$l = \sqrt{2,5\times10^{-4}\,\text{m}^2} = 0,016\ \text{m} = 1,6\ \text{cm}$

50 Per la conservazione dell'energia si ha $K_f + U_f = K_i + U_i \Rightarrow \dfrac{1}{2} m v_f^2 + qEx_f = \dfrac{1}{2} m v_i^2 + qEx_i$,

da cui $\dfrac{1}{2} m\left(v_f^2 - v_i^2\right) = qE\left(x_i - x_f\right) \Rightarrow m = \dfrac{2qE\left(x_i - x_f\right)}{v_f^2 - v_i^2}$. Sostituendo i valori numerici si ottiene

$$m = \frac{2\times\left(3,8\times10^{-12}\ \text{C}\right)\left(7,6\times10^6\ \text{N/C}\right)\left(\left(1,20-0,50\right)\times10^{-3}\ \text{m}\right)}{\left(70\ \text{m/s}\right)^2 - \left(50\ \text{m/s}\right)^2} = 1,7\times10^{-11}\ \text{kg}$$

51 ▪ Il campo elettrico rimane invariato con l'inserimento del dielettrico, perché la sorgente di carica fa affluire carica sulle armature per mantenere costante la differenza di potenziale:

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{600\,\text{V}}{2{,}0\times10^{-3}\,\text{m}} = 3{,}0\times10^{5}\ \text{V/m}$$

▪ La capacità del condensatore prima e dopo l'introduzione del dielettrico è

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d} = \left(8{,}854\times10^{-12}\ \text{C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)\right)\frac{40\times10^{-4}\ \text{m}^2}{2{,}0\times10^{-3}\ \text{m}} = 18\ \text{pF}$$

$$C = \varepsilon_0\varepsilon_r \frac{S}{d} = \left(8{,}854\times10^{-12}\ \text{C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)\right)\times 4{,}5\times\frac{40\times10^{-4}\ \text{m}^2}{2{,}0\times10^{-3}\ \text{m}} = 80\ \text{pF}$$

52 ▪ $$a = \frac{qE}{m} = \frac{q\Delta V}{md} = \frac{\left(1{,}60\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(0{,}30\ \text{V}\right)}{\left(9{,}29\times10^{-27}\ \text{kg}\right)\left(0{,}030\ \text{m}\right)} = 1{,}72\times10^{8}\ \text{m/s}^2$$

Quindi, lo ione percorre la distanza $\Delta s = d/2$ nella direzione del campo nel tempo:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2\Delta s}{a}} = \sqrt{\frac{d}{a}} = \sqrt{\frac{0{,}030\ \text{m}}{1{,}72\times10^{8}\ \text{m/s}^2}} = 1{,}3\times10^{-5}\ \text{s}$$

▪ In questo intervallo di tempo, la distanza parallela alle armature percorsa dallo ione è

$$D = v_0\Delta t = \left(1{,}6\times10^{4}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)\left(1{,}3\times10^{-5}\ \text{s}\right) = 0{,}21\ \text{m}$$

53 ▪ $$C = \varepsilon_r C_0 = 3{,}0\times\left(37\pm4\right)\times10^{-12}\ \text{F} = \left(1{,}1\pm0{,}1\right)\times10^{-10}\ \text{F}$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{6{,}5\times10^{-12}\ \text{C}}{1{,}1\times10^{-10}\ \text{F}} = 5{,}9\times10^{-2}\ \text{V}$$

L'incertezza relativa sulla differenza di potenziale vale

$$e_r = \frac{\Delta Q}{\overline{Q}} + \frac{\Delta C}{\overline{C}} = \frac{0{,}1\times10^{-12}\ \text{C}}{6{,}5\times10^{-12}\ \text{C}} + \frac{1\times10^{-11}\ \text{F}}{1{,}1\times10^{-10}\ \text{F}} = 0{,}1$$

Quindi, l'incertezza sulla differenza di potenziale è

$$\Delta\left(\Delta V\right) = e_r\overline{\Delta V} = 0{,}1\times\left(5{,}9\times10^{-2}\right)\ \text{V} = 6\times10^{-3}\ \text{V}$$

La differenza di potenziale si può scrivere come $\Delta V = \left(59\pm6\right)\text{mV}$.

▪ $$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{5{,}9\times10^{-2}\ \text{V}}{8{,}0\times10^{-3}\ \text{m}} = 7{,}4\,\text{N/C}$$

L'incertezza relativa sul modulo del campo elettrico vale

$$e_r = \frac{\Delta\left(\Delta V\right)}{\overline{\Delta V}} + \frac{\Delta d}{\overline{d}} = \frac{6\times10^{-3}\ \text{V}}{5{,}9\times10^{-2}\ \text{V}} + \frac{0{,}5\times10^{-3}\ \text{m}}{8{,}0\times10^{-3}\ \text{m}} = 0{,}16$$

Quindi, l'incertezza sulla differenza di potenziale risulta

$$\Delta E = e_r\overline{E} = 0{,}16\times7{,}4\ \text{N/C} = 1{,}2\ \text{N/C}$$

Il modulo del campo elettrico si può scrivere come $E = \left(7{,}4\pm1{,}2\right)\text{N/C}$.

▪ Con l'introduzione del PVC la capacità triplica, quindi la differenza di potenziale, si riduce di un fattore 3,0. Anche il campo elettrico si riduce di un fattore 3,0 rispetto a quello presente quando tra le armature c'è il vuoto.

54 Esercizio con foglio di calcolo.

- La particella può spostarsi di 1 cm lungo l'asse y prima di urtare l'armatura negativa. Dal grafico si deduce che questa distanza viene percorsa quando la particella si trova a circa 4,5 cm lungo l'asse x. Pertanto, la particella non riesce ad uscire dal condensatore.
- Impostando un valore di velocità iniziale di circa $4,4\times10^{3}$ m/s si osserva che la particella è in grado di raggiungere l'estremità opposta del condensatore. Per valori superiori di velocità, la particella attraversa tutto il condensatore e prosegue la sua traiettoria all'esterno.
- Se si raddoppia il modulo del campo elettrico, si raddoppia anche l'accelerazione subita dalla particella lungo l'asse y. La particella punta così più velocemente verso l'armatura negativa e urta in una posizione lungo l'asse x ridotta rispetto a quella trovata al primo punto.
- Rispetto alla particella alfa, un protone ha una la carica dimezzata e la massa ridotta a un quarto. Dalla [9] si deduce che l'accelerazione subita da un protone è pari al doppio di quella subita dalla particella alfa. Il protone descrive così la stessa traiettoria di una particella alfa nel caso di un campo elettrico raddoppiato in modulo e descritta al punto precedente.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 A

2 B

3 D

4 D

5 $$Q=\frac{\Delta U}{\Delta V}=\frac{-4,4\times10^{-6}\ \text{J}}{(950-380)\ \text{V}}=-7,7\times10^{-9}\ \text{C}$$

6 Per la proporzionalità tra carica e differenza di potenziale otteniamo

$$Q_2=Q_1\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1}=(20\ \text{mC})\frac{4,5\ \text{kV}}{2,5\ \text{kV}}=36\ \text{mC}$$

Quindi la carica è aumentata di 16 mC.

7 $$\varepsilon_r=\frac{4\pi k_0 dC}{A}=\frac{4\pi\left(8,99\times10^{9}\ \text{m/F}\right)\left(6,2\times10^{-4}\ \text{m}\right)\left(5,0\times10^{-10}\ \text{F}\right)}{9,0\times10^{-3}\ \text{m}^2}=3,9$$

8
- $W=q\Delta V=\left(1,6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(1,0\times10^{4}\ \text{V}\right)=1,6\times10^{-15}\ \text{J}$
- $v=\sqrt{\dfrac{2K}{m}}=\sqrt{\dfrac{2\times1,6\times10^{-15}\ \text{J}}{9,1\times10^{-31}\ \text{kg}}}=5,9\times10^{7}\ \text{m/s}$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 La superficie di ciascuna armatura è $A=4\pi k_0 dC$, quindi il raggio è

$$r=\sqrt{\frac{A}{\pi}}=\sqrt{\frac{4\pi k_0 dC}{\pi}}=\sqrt{4k_0 dC}=\sqrt{4\times\left(8,988\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\right)(0,040\ \text{m})\left(10\times10^{-12}\ \text{F}\right)}=0,12\ \text{m}$$

2 Il modulo del campo elettrico è

$$E = \frac{\Delta V_{AB}}{d_{AB}} = \frac{24\ \text{V}}{9{,}0\ \text{cm}} = 2{,}67 \times 10^{2}\ \text{V/m}$$

Quindi, la distanza tra B e C è

$$d_{BC} = \frac{\Delta V_{BC}}{E} = \frac{16\ \text{V}}{2{,}67 \times 10^{2}\ \text{V/m}} = 0{,}060\ \text{m}$$

3 La differenza di potenziale tra i punti A e B è

$$\Delta V = -\frac{W_{A\to B}}{Q} = -\frac{2{,}4 \times 10^{-8}\ \text{J}}{6{,}0 \times 10^{-9}\ \text{C}} = -4{,}0\ \text{V}$$

Il lavoro necessario per la carica Q' è

$$W'_{A\to B} = -Q'\Delta V = \left(-1{,}2 \times 10^{-9}\ \text{C}\right)\left(-4{,}0\ \text{V}\right) = 4{,}8 \times 10^{-9}\ \text{J}$$

4 La differenza di potenziale elettrico tra i due punti è

$$\Delta V = V_B - V_A = 200\,\text{V}$$

Quindi, la variazione di energia potenziale della sfera è

$$\Delta U = q\Delta V = \left(7{,}5 \times 10^{-6}\ \text{C}\right)\left(200\ \text{V}\right) = 1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{J}$$

Il lavoro compiuto dalla forza elettrica è uguale alla variazione di energia potenziale,

$$W = \Delta U = 1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{J}$$

Il modulo della forza elettrica vale

$$F = \frac{W}{\Delta s} = \frac{1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{J}}{0{,}30\ \text{m}} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

5 Il campo elettrico tra le due piastre è

$$E = \frac{U}{qx} = \frac{5{,}7 \times 10^{-8}\ \text{J}}{\left(9{,}5 \times 10^{-8}\ \text{C}\right)\left(0{,}012\ \text{m}\right)} = 50\ \text{N/C}$$

Alla nuova distanza l'energia potenziale è

$$U' = qEx' = \left(9{,}5 \times 10^{-8}\ \text{C}\right)\left(50\ \text{N/C}\right)\left(0{,}020\,\text{m}\right) = 9{,}5 \times 10^{-8}\ \text{J}$$

6 Il modulo del campo elettrico nel condensatore è

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{0{,}84\ \text{V}}{0{,}040\ \text{m}} = 21\ \text{N/C}$$

Quindi, per il secondo principio della dinamica l'accelerazione del protone è

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eF}{m} = \frac{\left(1{,}602 \times 10^{-19}\ \text{C}\right)\left(21\ \text{N/C}\right)}{1{,}673 \times 10^{-27}\ \text{kg}} = 2{,}0 \times 10^{9}\ \text{m/s}^2$$

Dalla legge oraria del moto uniformemente accelerato si ottiene il tempo impiegato dal protone:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}040\ \text{m}}{2{,}0 \times 10^{9}\ \text{m/s}^2}} = 6{,}3 \times 10^{-6}\ \text{s}$$

7 Il moto nella direzione del campo elettrico è un moto uniformemente accelerato, lo spostamento y è

$$y = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$$

segue

Invertendo questa relazione si ottiene il tempo impiegato per attraversare il condensatore:

$$t=\sqrt{\frac{2m\Delta y}{qE}}=\sqrt{\frac{2\times\left(6,64\times10^{-27}\,\mathrm{kg}\right)\left(0,036\,\mathrm{m}\right)}{\left(3,20\times10^{-19}\,\mathrm{C}\right)\left(166\ \mathrm{N/C}\right)}}=3,0\times10^{-6}\ \mathrm{s}$$

Poiché la particella percorre $l=15\,\mathrm{cm}$ per attraversare il condensatore, la velocità iniziale parallela alle armature è

$$v_0=\frac{l}{t}=\frac{0,15\,\mathrm{m}}{3,0\times10^{-6}\ \mathrm{s}}=5,0\times10^4\ \mathrm{m/s}$$

8 La velocità in direzione parallela alle armature rimane costante, $v_0=3,0\times10^4\ \mathrm{m/s}$. La velocità v_y perpendicolare alle armature invece varia, perché in quella direzione il moto è uniformemente accelerato. Al momento indicato nel testo, v_y è

$$v_y=\sqrt{v^2-v_0^2}=\sqrt{\left(5,0\times10^4\ \mathrm{m/s}\right)^2-\left(3,0\times10^4\ \mathrm{m/s}\right)^2}=4,0\times10^4\ \mathrm{m/s}$$

Quindi l'accelerazione nella direzione perpendicolare alle armature, quindi parallela al campo elettrico, è

$$a=\frac{v_y}{t}=\frac{4,0\times10^4\ \mathrm{m/s}}{2,5\times10^{-6}\,\mathrm{s}}=1,6\times10^{10}\ \mathrm{m/s^2}$$

Dal secondo principio della dinamica e dall'espressione della forza elettrica, ricaviamo il modulo del campo elettrico:

$$E=\frac{F}{e}=\frac{ma}{e}=\frac{\left(9,1\times10^{-31}\,\mathrm{kg}\right)\left(1,6\times10^{10}\ \mathrm{m/s^2}\right)}{1,6\times10^{-19}\,\mathrm{C}}=9,1\times10^{-2}\ \mathrm{N/C}$$

9 La capacità del condensatore è $C=\dfrac{Q}{\Delta V}=\dfrac{3,0\times10^{-9}\ \mathrm{C}}{150\,\mathrm{V}}=2,0\times10^{-11}\ \mathrm{F}$. Quando la carica aumenta diventa

$$Q'=3,0\times10^{-9}\ \mathrm{C}+9,0\times10^{-9}\ \mathrm{C}=1,2\times10^{-8}\ \mathrm{C}$$

Quindi, la differenza di potenziale tra le armature diventa

$$\Delta V'=\frac{Q'}{C}=\frac{1,2\times10^{-8}\ \mathrm{C}}{2,0\times10^{-11}\ \mathrm{F}}=600\ \mathrm{V}$$

La differenza di potenziale è aumentata di 450 V.

10 La capacità del condensatore è

$$C=\frac{A}{4\pi k_0 d}=\frac{228\times10^{-4}\ \mathrm{m^2}}{4\pi\left(8,988\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\left(0,020\,\mathrm{m}\right)}=1,0\times10^{-11}\ \mathrm{F}$$

e la carica del condensatore è

$$Q=C\Delta V=\left(1,0\times10^{-11}\ \mathrm{F}\right)\left(15\,\mathrm{V}\right)=1,5\times10^{-10}\ \mathrm{C}$$

Quando le armature vengono allontanate, la differenza di potenziale tra di esse non varia, perché sono collegate alla batteria, cambia invece la capacità del condensatore:

$$C'=\frac{A}{4\pi k_0 d'}=\frac{228\times10^{-4}\ \mathrm{m^2}}{4\pi\left(8,988\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\right)\left(0,036\ \mathrm{m}\right)}=5,6\times10^{-12}\ \mathrm{F}$$

Quindi, la carica del condensatore diventa

$$Q'=C'\Delta V=\left(5,6\times10^{-12}\ \mathrm{F}\right)\left(15\,\mathrm{V}\right)=8,4\times10^{-11}\ \mathrm{C}$$

La quantità di carica che ha abbandonato l'armatura con carica positiva è

$$\Delta Q=Q-Q'=1,5\times10^{-10}\ \mathrm{C}-8,4\times10^{-11}\ \mathrm{C}=6,6\times10^{-11}\ \mathrm{C}=66\ \mathrm{pC}$$

11
- La forza elettrica deve avere la stessa direzione della velocità dell'elettrone, ma verso opposto. Poiché la carica dell'elettrone è negativa, il campo elettrico deve avere verso opposto alla forza elettrica, quindi il campo elettrico deve avere la stessa direzione e lo stesso verso della velocità dell'elettrone.
- L'accelerazione necessaria è $a=\dfrac{v_0}{\Delta t}=\dfrac{6,3\times10^4\ \mathrm{m/s}}{3,0\times10^{-8}\ \mathrm{s}}=2,1\times10^{12}\ \mathrm{m/s^2}$. Dall'espressione della forza elettrica e dal

secondo principio della dinamica otteniamo il modulo del campo elettrico:

$$eE = ma \qquad \Rightarrow \qquad E = \frac{ma}{e} = \frac{\left(9{,}11\times10^{-31}\ \text{kg}\right)\left(2{,}1\times10^{12}\ \text{m/s}^2\right)}{1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}} = 12\ \text{V/m}$$

12 ▪ La sfera si muove verso l'armatura con carica negativa. Possiamo spiegare questo movimento sia con il fatto che la sfera è carica positivamente e quindi viene attratta dall'armatura con carica negativa, sia con il fatto che la sfera è spinta verso dove il potenziale elettrico è più basso, cioè verso l'armatura negativa.

▪ La differenza di potenziale tra le armature del condensatore è

$$\Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{3{,}5\times10^{-8}\ \text{C}}{1{,}4\times10^{-10}\ \text{F}} = 250\ \text{V}$$

Il modulo del campo elettrico nel condensatore è $E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{250\ \text{V}}{0{,}05\ \text{m}} = 5{,}0\times10^{3}\ \text{V/m}$.

Quando la sfera si sposta di 2,0 cm verso l'armatura negativa, dista da questa 1,0 cm; la sua energia potenziale è

$$U = qEx = \left(5{,}2\times10^{-10}\ \text{C}\right)\left(5{,}0\times10^{3}\ \text{V/m}\right)\left(0{,}01\ \text{m}\right) = 2{,}6\times10^{-8}\ \text{J}$$

13 La nuova capacità del condensatore è $C' = \frac{A}{4\pi k_0 d'} = \frac{A}{4\pi k_0 d}\times\frac{d}{d'} = C\times\frac{d}{d'} = \frac{5}{3}C$, mentre la carica resta invariata, dal momento che la batteria è stata disconnessa. La nuova differenza di potenziale quindi è:

$$\Delta V' = \frac{Q}{C'} = \frac{3}{5}\times\frac{Q}{C} = \frac{3}{5}\times\Delta V = \frac{3}{5}\times 20\ \text{V} = 12\ \text{V}$$

14 Il modulo del campo elettrico nel condensatore è $E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{15\ \text{V}}{0{,}025\ \text{m}} = 520\ \text{V/m}$. Dentro il condensatore il protone viene frenato dal campo elettrico, con accelerazione costante di modulo

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(520\ \text{V/m}\right)}{1{,}673\times10^{-27}\ \text{kg}} = 5{,}0\times10^{10}\ \text{m/s}^2$$

L'intervallo di tempo in cui si ferma il protone è

$$\Delta t = \frac{v_0}{a} = \frac{2{,}0\times10^{4}\ \text{m/s}}{5{,}0\times10^{10}\ \text{m/s}^2} = 4{,}0\times10^{-7}\ \text{s}$$

La distanza percorsa in questo intervallo di tempo è

$$y = v_0\Delta t - \frac{1}{2}a\Delta t^2 = \left(2{,}0\times10^{4}\ \text{m/s}\right)\left(4{,}0\times10^{-7}\ \text{s}\right) - \frac{1}{2}\times\left(5{,}0\times10^{10}\ \text{m/s}^2\right)\left(4{,}0\times10^{-7}\ \text{s}\right)^2 = 4{,}0\times10^{-3}\ \text{m}$$

Questa distanza è inferiore alla distanza tra le armature, quindi il protone non raggiunge l'altra armatura.

15 Indichiamo con Q_1 e ΔV_1, rispettivamente, carica e differenza di potenziale tra le armature all'inizio e con Q_2 e ΔV_2 le stesse grandezze dopo la loro variazione. La capacità dev'essere la stessa in entrambi i casi, quindi:

$$\frac{Q_1}{\Delta V_1} = \frac{Q_2}{\Delta V_2} \qquad \Rightarrow \qquad Q_1\Delta V_2 = Q_2\Delta V_1$$

Ma $Q_2 - Q_1 = 5{,}0\times10^{-9}\ \text{C}$ e $\Delta V_2 - \Delta V_1 = 25\ \text{V}$, quindi la relazione precedente può essere così riscritta:

$$Q_1\left(\Delta V_1 + 25\ \text{V}\right) = \left(Q_1 + 5{,}0\times10^{-9}\ \text{C}\right)\Delta V_1$$

Si ottiene:

$$Q_1\left(25\ \text{V}\right) = \left(5{,}0\times10^{-9}\ \text{C}\right)\Delta V_1 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{Q_1}{\Delta V_1} = \frac{5{,}0\times10^{-9}\ \text{C}}{25\ \text{V}}$$

Quindi, la capacità è

$$C = \frac{Q_1}{\Delta V_1} = \frac{5{,}0\times10^{-9}\ \text{C}}{25\ \text{V}} = 2{,}0\times10^{-10}\ \text{F}$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 19
La corrente e i circuiti elettrici

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. La corrente elettrica

pag. 588

Le due intensità di corrente sono uguali, entrambe di 10 A.

2. La prima legge di Ohm e la resistenza elettrica

pag. 590

$$\Delta t = \frac{l}{v_d} = \frac{5\ \text{m}}{10^{-4}\ \text{m/s}} = 5\times10^4\ \text{s}$$

4 Resistori in serie e in parallelo

pag. 596

Le due lampadine sono percorse da una corrente più intensa, e quindi sono più luminose, se sono collegate in parallelo. In questo caso, dette R la resistenza di ciascuna lampadina e ΔV la differenza di potenziale tra i poli della pila, la resistenza equivalente del circuito è $R_{eq} = R/2$ e la corrente che attraversa la pila ha intensità $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{2\Delta V}{R}$. La corrente scorre per metà in una lampadina e per metà nell'altra. In ciascuna lampadina l'intensità della corrente è, dunque, $i' = \frac{i}{2} = \frac{\Delta V}{R}$. Se le lampadine fossero invece collegate in serie, la loro resistenza equivalente sarebbe $R'_{eq} = 2R$ ed entrambe sarebbero attraversate da una corrente di intensità $i'' = \frac{\Delta V}{R'_{eq}} = \frac{\Delta V}{2\,R} = \frac{i'}{2}$.

7. La trasformazione dell'energia nei circuiti elettrici

pag. 601

- Nel circuito in serie entrambi i resistori sono attraversati dalla stessa corrente. Detta i l'intensità di questa corrente, la potenza dissipata dal resistore di resistenza minore è $P = R_< i^2$ e quella dissipata dal resistore di resistenza maggiore è $P' = R_> i^2$. Poiché, dunque, la potenza è direttamente proporzionale alla resistenza, dissipa più potenza il resistore con resistenza maggiore.
- Nel circuito in parallelo entrambi i resistori hanno tra le estremità la stessa differenza di potenziale ΔV. Il resistore di resistenza minore dissipa una potenza $P = \Delta V^2/R_<$ e quello di resistenza maggiore una potenza $P' = \Delta V^2/R_>$. In questo caso, poiché la potenza è inversamente proporzionale alla resistenza, dissipa più potenza il resistore con resistenza minore.

pag. 601

Un condizionatore acceso per 4 h.

Tecnologia e sviluppo sostenibile – energia fotovoltaica

Fermati a pensare nel PDF

L'intensità di corrente si trova invertendo la relazione $P = i\Delta V$:

$$i = \frac{P}{\Delta V} = \frac{200\ \text{W}}{24\ \text{V}} = 8{,}3\ \text{A}$$

TEST

1 A
2 C
3 B
4 D
5 B
6 B
7 B
8 D
9 D
10 A
11 C
12 D
13 C

ESERCIZI

1. La corrente elettrica

1 No, rappresenta il valore della carica che attraversa una data sezione S in un intervallo di tempo Δt.

2 All'interno di una pila sono le cariche positive che si muovono dal polo – al polo +, non gli elettroni come nel circuito esterno.

3 Se il tempo raddoppia la carica raddoppia, se il tempo dimezza la carica dimezza e l'intensità di corrente resta sempre costante, essendo continua.

4 La prima è falsa, la seconda vera.

5 Le pile sono inserite in serie, quindi se ne manca una il circuito è aperto e non passa corrente.

6
- $\Delta Q = i\Delta t = \left(5,0\times10^{-3}\ \text{A}\right)\left(10\ \text{s}\right) = 5,0\times10^{-2}\ \text{C}$
- $n = \dfrac{\Delta Q}{e} = \dfrac{5,0\times10^{-2}\ \text{C}}{1,6022\times10^{-19}\ \text{C}} = 3,1\times10^{17}$

7
- $i = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta Q = i\Delta t = \left(4,0\times10^{-2}\ \text{A}\right)\left(5,0\ \text{s}\right) = 0,20\ \text{C}$
- $n = \dfrac{\Delta Q}{e} = \dfrac{0,20\ \text{C}}{1,6022\times10^{-19}\ \text{C}} = 1,3\times10^{18}$

8
- $i = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta Q = i\Delta t = \left(9,0\ \text{A}\right)\left(2,5\times60\ \text{s}\right) = 1,4\times10^{3}\ \text{C}$
- $n = \dfrac{\Delta Q}{e} = \dfrac{1,35\times10^{3}\ \text{C}}{1,6022\times10^{-19}\ \text{C}} = 8,4\times10^{21}$

9 $i = \dfrac{\Delta Q}{t} \Rightarrow t = \dfrac{\Delta Q}{i} = \dfrac{28\ \text{C}}{35\ \text{A}} = 0,80\ \text{s}$

10
- $i = \dfrac{Q}{t} = \dfrac{210\ \text{C}}{300\ \text{s}} = 0,70\ \text{A}$
- Se il tempo cambia ma la corrente è continua, non c'è nessun cambiamento nell'intensità.

11 $\Delta t = \dfrac{\Delta Q}{i} = \dfrac{4,20\ \text{C}}{0,35\ \text{A}} = 12\ \text{s}$

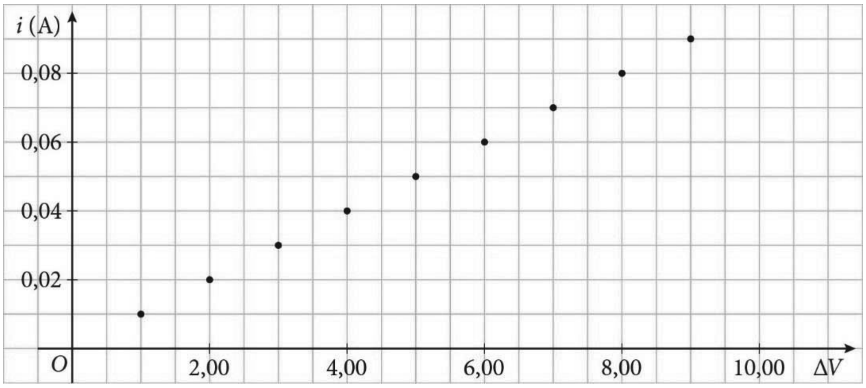
12
- $i = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \dfrac{ne}{\Delta t} = \dfrac{\left(6,0\times10^{18}\right)\left(1,6022\times10^{-19}\ \text{C}\right)}{60\,\text{s}} = 16\ \text{mA}$
- $\Delta Q = i\Delta t = \left(16\ \text{mA}\right)\left(86400\ \text{s}\right) = 1,4\times10^{3}\ \text{C}$

13
- Il numero totale di ore di accensione è $N = \left(6\ \text{h}\right)\left(31+29+31\right)+\left(8\,\text{h}\right)\left(31+31\right) = 1042\ \text{h} = 1\times10^{3}\ \text{h}$. Quindi:
  $\Delta Q = i\Delta t = \left(3,2\ \text{A}\right)\left(1\times10^{3}\ \text{h}\right)\left(3600\ \text{s/h}\right) = 1\times10^{7}\ \text{C}$
- Il numero totale di elettroni circolati è $N_e = \dfrac{\Delta Q}{e} = \dfrac{1\times10^{7}\ \text{C}}{1,6022\times10^{-19}\ \text{C}} = 6\times10^{25}$.

2. La prima legge di Ohm e la resistenza elettrica

14
- Per la prima legge di Ohm, se la tensione diminuisce (da Italia a USA), anche l'intensità di corrente nel conduttore diminuisce. Quindi l'asciugacapelli non funziona, perché è progettato per correnti maggiori.
- La tua amica invece, rischia di bruciare il suo apparecchio, che sarebbe attraversato da una corrente di intensità maggiore di quella per la quale è stato costruito.

15 ■



■ Considerando, ad esempio, la coppia dei valori $\Delta V = 1,00\ \mathrm{V}$ e $i = 0,01\ \mathrm{A}$, la resistenza risulta

$$R = \frac{\Delta V}{i} = \frac{1,00\ \mathrm{V}}{0,01\ \mathrm{A}} = 100\ \Omega$$

16 $R = \dfrac{\Delta V}{i} = \dfrac{4,5\ \mathrm{V}}{0,060\ \mathrm{A}} = 75\ \Omega$

17 $\Delta V = Ri = (12\ \Omega)(20\times10^{-3}\ \mathrm{A}) = 0,24\ \mathrm{V}$

18 $i = \dfrac{\Delta V}{R} = \dfrac{5,0\times10^{2}\ \mathrm{V}}{2,0\times10^{6}\ \Omega} = 2,5\times10^{-4}\ \mathrm{A}$

19 $\Delta V = Ri = (100\ \Omega)(60\times10^{-3}\ \mathrm{A}) = 6,0\ \mathrm{V}$

$i = \dfrac{\Delta V}{R} = \dfrac{6,0\ \mathrm{V}}{400\ \Omega} = 15\ \mathrm{mA}$

20 $i_2 = \dfrac{\Delta V}{R_2} = \dfrac{R_1 i_1}{R_2} = \dfrac{(150\ \Omega)(80\times10^{-3}\ \mathrm{A})}{560\ \Omega} = 21\times10^{-3}\ \mathrm{A} = 21\ \mathrm{mA}$

21 $R = \dfrac{\Delta V_1}{i_1} = \dfrac{12,0\ \mathrm{V}}{8,0\ \mathrm{A}} = 1,5\ \Omega \Rightarrow i_2 = \dfrac{\Delta V_2}{R} = \dfrac{8,0\ \mathrm{V}}{1,5\ \Omega} = 5,3\ \mathrm{A}$

22 $\begin{cases} \Delta V_1 = i_1 R \\ \Delta V_2 = i_2 R \end{cases} \Rightarrow \dfrac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \dfrac{i_1}{i_2} = \dfrac{0,15\ \mathrm{A}}{0,30\ \mathrm{A}} = \dfrac{1}{2}$

▶ 3. La seconda legge di Ohm e la resistività

23 Se la lunghezza quadruplica la resistenza quadruplica, se la sezione triplica la resistenza diventa un terzo.

24 $R = \rho\dfrac{l}{A} = (1,7\times10^{-8}\ \Omega\cdot\mathrm{m})\dfrac{30\ \mathrm{m}}{2,6\times10^{-6}\ \mathrm{m}^2} = 0,20\ \Omega$

25 $A = \rho\dfrac{l}{R} = (5,6\times10^{-8}\ \Omega\cdot\mathrm{m})\dfrac{8,0\times10^{-2}\ \mathrm{m}}{0,10\ \Omega} = 4,5\times10^{-8}\ \mathrm{m}^2$

26 ■ $$R_1 = \frac{\Delta V_1}{i_1} = \frac{10{,}00\ \text{V}}{10{,}00\ \text{mA}} = 1000\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{\Delta V_2}{i_2} = \frac{10{,}00\ \text{V}}{5{,}00\ \text{mA}} = 2000\ \Omega$$

$$R_3 = \frac{\Delta V_3}{i_3} = \frac{20{,}00\ \text{V}}{5{,}00\ \text{mA}} = 4000\ \Omega$$

■ Il terzo conduttore, che ha resistenza maggiore, ha anche resistività maggiore.

27 Poiché il coefficiente di temperatura della resistività dell'Al è $4{,}3\times10^{-3}\ °\text{C}^{-1}$, si ha

$$\rho = \rho_{20}(1+\alpha\Delta T) = (2{,}8\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})\left[1+(4{,}3\times10^{-3}\ °\text{C}^{-1})(130-20)°\text{C}\right] = 4{,}1\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$$

28 Dalla relazione $\rho = \rho_{20}(1+\alpha\Delta T)$ si ottiene

$$\alpha = \left(\frac{\rho}{\rho_{20}}-1\right)\frac{1}{\Delta T} \Rightarrow \alpha = \left(\frac{\rho_{68}}{\rho_{20}}-1\right)\frac{1}{\Delta T} = \left(\frac{1{,}9\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}}{1{,}6\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}}-1\right)\frac{1}{(68-20)°\text{C}} = 3{,}9\times10^{-3}\ °\text{C}^{-1}$$

29 PROBLEMA SVOLTO

30 $$i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{\Delta V \pi d^2}{4\rho l} = \frac{(1{,}2\ \text{V})\pi(0{,}18\times10^{-3})^2}{4(1{,}7\times10^{-8}\ \Omega\cdot\ \text{m})(0{,}92\ \text{m})} = 2{,}0\ \text{A}$$

31 I due conduttori hanno la stessa resistività. Ne consegue che

$$\frac{R_1A_1}{l_1} = \frac{R_2A_2}{l_2}$$

$$l_2 = \frac{\rho l_1 A_2 R_2}{\rho A_1 R_1} = l_1\frac{A_2R_2}{A_1R_1} = l_1\frac{d_2^2R_2}{d_1^2R_1} = \frac{(5{,}0\ \text{m})(4{,}0\times10^{-3}\ \text{m})^2(12\ \Omega)}{(2{,}0\times10^{-3}\ \text{m})^2(20\ \Omega)} = 12\ \text{m}$$

32 $$A_1 = \pi\frac{d_1^2}{4} = \frac{\pi}{4}(4{,}4\times10^{-4}\ \text{m})^2 = 1{,}52\times10^{-7}\ \text{m}^2$$

$$A_2 = \pi\frac{d_2^2}{4} = \frac{\pi}{4}(6{,}4\times10^{-4}\ \text{m})^2 = 3{,}22\times10^{-7}\ \text{m}^2$$

$$\rho = R_1\frac{A_1}{l_1} = (0{,}96\ \Omega)\frac{1{,}52\times10^{-7}\ \text{m}^2}{2{,}7\ \text{m}} = 5{,}4\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$$

$$R_2 = \rho\frac{l_2}{A_2} = (5{,}4\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})\frac{4{,}7\ \text{m}}{3{,}22\times10^{-7}\ \text{m}^2} = 0{,}79\ \Omega$$

33 ■ La resistenza della linea: $R = \dfrac{\Delta V}{i} = \dfrac{20000\ \text{V}}{75{,}2\ \text{A}} = 2{,}66\times10^2\ \Omega$

Si applica la II legge di Ohm per il calcolo della sezione dei due diversi cavi:

$$\text{A}_{\text{Cu}} = \frac{\rho_{\text{Cu}}l}{R} = \frac{(1{,}7\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})(36{,}3\times10^3\ \text{m})}{2{,}66\times10^2\ \Omega} = 2{,}3\times10^{-6}\ \text{m}^2 = 2{,}3\ \text{mm}^2$$

$$\text{A}_{\text{Al}} = \frac{\rho_{\text{Al}}l}{R} = \frac{(2{,}8\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})(36{,}3\times10^3\ \text{m})}{2{,}66\times10^2\ \Omega} = 3{,}8\times10^{-6}\ \text{m}^2 = 3{,}8\ \text{mm}^2$$

■ $$m_{\text{Cu}} = d_{\text{Cu}}V_{\text{Cu}} = d_{\text{Cu}}\text{A}_{\text{Cu}}l = (8960\ \text{kg/m}^3)(2{,}3\times10^{-6}\ \text{m}^2)(36{,}3\times10^3\ \text{m}) = 7{,}5\times10^2\ \text{kg}$$

$$m_{\text{Al}} = d_{\text{Al}}V_{\text{Al}} = d_{\text{Cu}}\text{A}_{\text{Al}}l = (2700\ \text{kg/m}^3)(3{,}8\times10^{-6}\ \text{m}^2)(36{,}3\times10^3\ \text{m}) = 3{,}7\times10^2\ \text{kg}$$

34 $$\frac{R_{95\,°C}}{R_{20\,°C}}=\frac{\rho_{95\,°C}\dfrac{l}{A}}{\rho_{20\,°C}\dfrac{l}{A}}=\frac{\rho_{95\,°C}}{\rho_{20\,°C}}=\frac{\rho_{20\,°C}\left(1+\alpha\Delta T\right)}{\rho_{20\,°C}}=1+\left(3,9\times10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}\right)\left(75\,\mathrm{K}\right)=1+0,29=1,29$$

4. Resistori in serie e in parallelo

35 I due resistori sono attraversati dalla stessa corrente.

36 La differenza di potenziale ai capi di ciascun resistore è la stessa.

37
- La tensione è uguale per ciascun resistore ed è ΔV .
- Circola una corrente maggiore nel resistore con resistenza minore.

38 $R_{eq}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\dfrac{R_1}{2}$; a parità di tensione, se la resistenza viene dimezzata, l'intensità di corrente raddoppia.

39 Poiché sono tutte collegate in parallelo, la tensione ai loro capi non cambia, quindi neppure l'intensità di corrente che le attraversa.

40 Nel circuito con i resistori collegati in parallelo, perché la resistenza equivalente è minore.

41 La resistenza equivalente è $R_{eq}=R_1+R_2=\left(36+55\right)\ \Omega=91\,\Omega$.

42 La resistenza equivalente è $R_{eq}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\dfrac{\left(92\,\Omega\right)\left(71\,\Omega\right)}{\left(92+71\right)\ \Omega}=40\ \Omega$.

43
- $R_{eq}=R_1+R_2+R_3=\left(100+200+300\right)\ \Omega=600\ \Omega$
- $i=\dfrac{\Delta V}{R_{eq}}=\dfrac{4,5\ \mathrm{V}}{600\ \Omega}=7,5\ \mathrm{mA}$

44
- $R_{eq}=\dfrac{\Delta V}{i}=\dfrac{18,0\ \mathrm{V}}{6,0\times10^{-3}\ \mathrm{A}}=3,0\times10^{3}\ \Omega$
- $R=\dfrac{R_{eq}}{10}=\dfrac{3,0\times10^{3}\ \Omega}{10}=3,0\times10^{2}\ \Omega$

45 $$i=\frac{\Delta V}{R_{eq}}=\frac{\Delta V}{R_1+R_2+R_3}=\frac{6,0\ \mathrm{V}}{\left(60\ \Omega+80\ \Omega+50\ \Omega\right)}=0,032\ \mathrm{A}=32\ \mathrm{mA}$$

46
- Il numero di lampadine da utilizzare si ottiene dividendo tra loro la tensione del generatore e quella di una singola lampadina: $N=\dfrac{12\mathrm{V}}{0,80\mathrm{V}}=15$.
- Applico la I legge di Ohm a una singola lampadina: $R=\dfrac{\Delta V}{i}=\dfrac{0,80\ \mathrm{V}}{0,010\ \mathrm{A}}=80\ \Omega$.
- Con 16 lampadine la resistenza equivalente è $R_{eq}=16R=16\times80\ \Omega=1280\ \Omega$ e quindi la corrente erogata dall'alimentatore è $i=\dfrac{\Delta V}{R_{eq}}=\dfrac{12\,\mathrm{V}}{1280\ \Omega}=9,4\ \mathrm{mA}$.

47

- $R_{eq} = \frac{\Delta V}{i} = \frac{9{,}0\ \text{V}}{0{,}12\ \text{A}} = 75\ \Omega$
- $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R^2}{2R} \Rightarrow R = 2R_{eq} = 2\times(75\ \Omega) = 1{,}5\times10^2\ \Omega$

48 $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{\Delta V}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{12{,}0\ \text{V}}{\frac{(150\ \Omega)(300\ \Omega)}{(150+300)\ \Omega}} = 0{,}120\ \text{A}$

49 PROBLEMA SVOLTO

50

- La resistenza equivalente del circuito è $R_{eq} = R_1 + R_2 = (150+200)\ \Omega = 350\ \Omega$.

  La corrente che attraversa il circuito è quindi $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{9{,}0\ \text{V}}{350\ \Omega} = 26\ \text{mA}$.
- $\Delta V_1 = R_1 i = (150\ \Omega)(26\times10^{-3}\ \text{A}) = 3{,}9\ \text{V}$

51

- La resistenza equivalente del circuito è $R_{eq} = (80{,}0+70{,}0+100{,}0)\Omega = 250{,}0\ \Omega$.

  La differenza di potenziale ai capi del generatore è $\Delta V = R_{eq} i = (250{,}0\ \Omega)(160\times10^{-3}\ \text{A}) = 40{,}0\ \text{V}$.
- $\Delta V_1 = R_1 i = (80{,}0\ \Omega)(160\times10^{-3}\ \text{A}) = 12{,}8\ \text{V}$; $\Delta V_2 = R_2 i = (70{,}0\ \Omega)(160\times10^{-3}\ \text{A}) = 11{,}2\ \text{V}$

  $\Delta V_3 = R_3 i = (100\ \Omega)(160\times10^{-3}\ \text{A}) = 16{,}0\ \text{V}$

52

- La resistenza equivalente di due o più resistenze in serie è sempre maggiore di ciascuna di esse, pertanto l'intensità di corrente sarà minima quando R_x assumerà valore massimo, cioè $500\ \Omega$. Tale intensità di corrente vale:
- $i = \frac{\Delta V}{R_1 + R_x} = \frac{220\ \text{V}}{250\ \Omega + 500\ \Omega} = 0{,}293\ \text{A}$

53

- $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(180\ \Omega)(320\ \cancel{\Omega})}{(180+320)\cancel{\Omega}} = 115\ \Omega$
- La differenza di potenziale ai capi del generatore è
  $\Delta V = R_{eq} i = (115\ \Omega)(8{,}00\times10^{-2}\ \text{A}) = 9{,}20\ \text{V}$
- Le intensità di corrente sono
  $i_1 = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{9{,}20\ \text{V}}{180\ \Omega} = 5{,}11\times10^{-2}\ \text{A}$ e $i_2 = \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{9{,}20\ \text{V}}{320\ \Omega} = 2{,}88\times10^{-2}\ \text{A}$

54 Disponendo due resistori da 30 Ω in parallelo ottiene una resistenza da 15 Ω.
Disponendo il collegamento con resistenza equivalente da 15 Ω appena ottenuto in parallelo con un resistore da 30 Ω, ottiene una resistenza equivalente da 10 Ω.

55 PROBLEMA SVOLTO

56

- $\Delta V = R_{eq} i = (40\ \Omega)(90 \times 10^{-3}\ \text{A}) = 3{,}6\ \text{V}$
- Il valore della resistenza R_3 è dato da

$$R_3 = \left(\frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1} = \frac{R_{eq} R_1 R_2}{R_1 R_2 - R_{eq} R_2 - R_{eq} R_1} =$$

$$= \frac{(40\ \Omega)(80\ \Omega)(100\ \Omega)}{(80\ \Omega)(100\ \Omega) - (40\ \Omega)(100\ \Omega) - (40\ \Omega)(80\ \Omega)} = 400\ \Omega$$

Le intensità di corrente che attraversano i singoli resistori sono

$$i_1 = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{3{,}6\ \text{V}}{80\ \Omega} = 45\ \text{mA}\ ;\ i_2 = \frac{\Delta V}{R_2} = \frac{3{,}6\ \text{V}}{100\ \Omega} = 36\ \text{mA}\ ;\ i_3 = \frac{\Delta V}{R_3} = \frac{3{,}6\ \text{V}}{400\ \Omega} = 9{,}0\ \text{mA}\ .$$

- Se si scollega il primo resistore, la resistenza equivalente del circuito diventa

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{(100\ \Omega)(400\ \Omega)}{100\ \Omega + 400\ \Omega} = 80\ \Omega\ .$$

$$i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{3{,}6\ \text{V}}{80\ \Omega} = 45\ \text{mA}$$

57 Ogni computer assorbe un'intensità di corrente pari a $i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{230\ \text{V}}{240\ \Omega} = 958\ \text{mA}$.

Il numero massimo di computer che si possono collegare a una presa multipla è $\frac{12{,}0\ \text{A}}{958 \times 10^{-3}\ \text{A}} = 12{,}5$, ovvero 12 computer. Sono necessarie almeno 3 prese.

58 PROBLEMA MODELLO a pag. 614

59

- Prima dell'inserimento dell'amperometro, si ha

$$\Delta V = iR \quad \Rightarrow \quad i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{36{,}0\ \text{V}}{480\ \Omega} = 0{,}075\ \text{A} = 75{,}0\ \text{mA}$$

- La resistenza dell'amperometro è in serie a R, si ha pertanto

$$i_a = \frac{\Delta V}{R + r} = \frac{36{,}0\ \text{V}}{480\ \Omega + 12{,}0\ \Omega} = 0{,}0732\ \text{A} = 73{,}2\ \text{mA}$$

- La variazione delle correnti è data da

$$\frac{\Delta i}{i} = \frac{i - i_a}{i} = \frac{75\ \text{mA} - 73{,}2\ \text{mA}}{75\ \text{mA}} = 0{,}024$$

Quindi, la variazione percentuale è

$$\Delta i_{\%} = 0{,}024 \times 100\% = 2{,}40\%$$

60 PROBLEMA SVOLTO

61

$$R_{1V} = \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V} = \frac{(55\ \Omega)(4000\ \Omega)}{4055\ \Omega} = 54{,}25\ \Omega$$

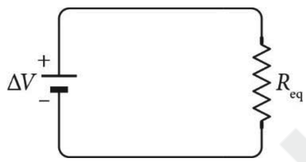
$$R_{1V2} = \frac{R_{1V} R_2}{R_{1V} + R_2} = \frac{(54{,}25\ \Omega)(35\ \Omega)}{89{,}25\ \Omega} = 21{,}27\ \Omega$$

$$\Delta V = iR_{1V2} = (4{,}0\ \text{A})(21{,}27\ \text{V}) = 85\ \text{V}$$

5. La risoluzione dei circuiti elettrici

62 No, perché se il fusibile fosse posto in parallelo la corrente avrebbe un percorso alternativo e attraverserebbe sia il dispositivo da proteggere che il fusibile.

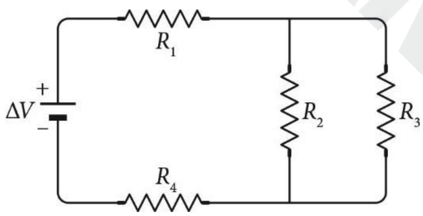
63
- Il circuito è chiuso.
- Il generatore è collegato in serie con L_1; L_2 e L_3 sono in parallelo.
- L_1 e L_2 non sono in serie, quindi la corrente che le attraversa non è la stessa.
- L_2 e L_3 sono sottoposte alla stessa differenza di potenziale perché poste in parallelo tra loro.

64
- 

- R_1 e R_2 sono in serie e diventano equivalenti a $R_{12} = R_1 + R_2$. R_3 e R_{12} sono in parallelo, pertanto la resistenza equivalente è:

$$R_{eq} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12}+R_3} = \frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}$$

65



66
- No, dipende dal valore delle resistenze ed è maggiore nel forno a microonde.
- Sì, le differenze di potenziale non cambiano perché gli elettrodomestici sono in parallelo.
- No, la corrente attraverso l'interruttore è quella che passa attraverso la resistenza equivalente del circuito.

67
- La corrente nel circuito diminuisce.
- La corrente nel circuito aumenta.

68
- La resistenza complessiva del circuito è

$$R_{eq} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12}+R_3} = \frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3} = \frac{(200\ \Omega+300\ \Omega)\times 140\ \Omega}{200\ \Omega+300\ \Omega+140\ \Omega} = 109\ \Omega$$

- L'intensità di corrente che esce dal generatore è data da

$$i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{22{,}5\ \text{V}}{109\ \Omega} = 206\ \text{mA}$$

69
- La resistenza complessiva del circuito è $R_{eq} = R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2+R_3} = 200\ \Omega + \frac{(300\ \Omega)(500\ \Omega)}{300\ \Omega+500\ \Omega} = 388\ \Omega$.
- L'intensità di corrente che esce dal generatore è data da $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{28{,}0\ \text{V}}{388\ \Omega} = 72{,}3\ \text{mA}$.

70 ■ $R_{12} = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \dfrac{(30\,\Omega)(20\,\Omega)}{30\,\Omega + 20\,\Omega} = 12\,\Omega$

La resistenza equivalente di tutto il circuito è $R_{eq} = R_{12} + R_3 + R_4 = 12\,\Omega + 45\,\Omega + 13\,\Omega = 70\,\Omega$.

■ $i = \dfrac{\Delta V}{R_{eq}} = \dfrac{21\text{ V}}{70\,\Omega} = 0{,}30\text{ A}$

71 ■ L_2 e L_3 sono in serie, quindi sono attraversate dalla stessa corrente. Perciò $i_2 = i_3$.
i è la corrente prodotta dal generatore e si divide tra i due rami: in uno passa i_1 e nell'altro $i_2 = i_3$.
Perciò $i = i_1 + i_2 = i_1 + i_3$.

■ Bisogna spostare L_2 tra il generatore e il primo nodo del circuito. In questo modo L_2 viene attraversata dalla corrente $i = i_2$ e L_1 e L_3 si trovano in parallelo tra loro. Quindi $i_2 = i_1 + i_3$.

■ Poiché $i = i_1 + i_3 \;\Rightarrow\; i_3 = i - i_1 = 10\text{ mA} - 4\text{ mA} = 6\text{ mA}$.

72 PROBLEMA MODELLO a pag. 616

73 Calcoliamo la resistenza equivalente e la corrente totale:

$R_{2,3,4} = R_2 + R_3 + R_4 = 40\,\Omega$; $R_{2,3,4,5} = \dfrac{R_{2,3,4} R_5}{R_{2,3,4} + R_5} = 20\,\Omega$; $R_{eq} = R_1 + R_{2,3,4,5} = 100\,\Omega$; $i = \dfrac{\Delta V}{R_{eq}} = 0{,}80\text{ A}$

Inoltre $i_1 = i = 0{,}80\text{ A}$; $V_1 = R_1 i_1 = (80\,\Omega)(0{,}80\text{ A}) = 64\text{ V}$. La differenza di potenziale ai capi di $R_{2,3,4}$ è uguale differenza di potenziale ai capi di R_5, cioè $\Delta V_5 = \Delta V - \Delta V_1 = 16\text{ V}$. Quindi, la corrente che attraversa R_2, R_3, R_4, che sono in serie, è $i_2 = i_3 = i_4 = \dfrac{\Delta V_{2,3,4}}{R_{2,3,4}} = \dfrac{16\text{ V}}{40\,\Omega} = 0{,}40\text{ A}$. Risulta inoltre $i_5 = \dfrac{\Delta V_5}{R_5} = \dfrac{16\text{ V}}{40\,\Omega} = 0{,}40\text{ A}$;

$\Delta V_2 = \Delta V_4 = (10\,\Omega)(0{,}40\text{ A}) = 4{,}0\text{ V}$ e $\Delta V_3 = R_3 i_3 = (20\,\Omega)(0{,}40\text{ A}) = 8{,}0\text{ V}$

74 <u>circuito 1</u>

$$R_{eq} = R_{1,2} + R_{3,4} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 120\,\Omega + 160\,\Omega = 280\,\Omega$$

$i_{tot} = \dfrac{\Delta V}{R_{eq}} = \dfrac{28{,}0\text{ V}}{280\,\Omega} = 0{,}100\text{ A}$ e $\Delta V_1 = i_{tot} R_{1,2} = (0{,}100\text{ A})(120\,\Omega) = 12{,}0\text{ V}$; $i_1 = \dfrac{\Delta V_{1,2}}{R_1} = \dfrac{12{,}0\text{ V}}{300\,\Omega} = 40{,}0\text{ mA}$

<u>circuito 2</u>

$$\Delta V_2 = \Delta V_1 = 12{,}0\text{ V}$$

$$i_2 = \frac{\Delta V_{1,2}}{R_2} = \frac{12{,}0\text{ V}}{200\,\Omega} = 60{,}0\text{ mA}$$

<u>circuito 3</u>

$$\Delta V_3 = i_{tot} R_{3,4} = (0{,}10\text{ A})(160\,\Omega) = 16{,}0\text{ V}$$

$$i_3 = \frac{\Delta V_{3,4}}{R_3} = \frac{16{,}0\text{ V}}{240\,\Omega} = 66{,}7\text{ mA}$$

<u>circuito 4</u>

$$\Delta V_4 = \Delta V_3 = 16{,}0\text{ V}$$

$$i_4 = \frac{\Delta V_{3,4}}{R_4} = \frac{16{,}0\text{ V}}{480\,\Omega} = 33{,}3\text{ mA}$$

75 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 617.

76
- $$\frac{1}{R_{2,3,4}}=\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}=\frac{1}{8,0\ \Omega}+\frac{1}{12,0\ \Omega}+\frac{1}{10,0\ \Omega}=\frac{37}{120\ \Omega}\quad\Rightarrow\quad R_{2,3,4}=\frac{120\ \Omega}{37}=3,2\ \Omega$$

  La resistenza complessiva del circuito è $R_{eq}=R_1+R_{2,3,4}=6,0\ \Omega+3,2\ \Omega=9,2\ \Omega$.

  La corrente che esce dal generatore è $i_{tot}=i_1=\frac{\Delta V}{R_{eq}}=\frac{24\ \text{V}}{9,2\ \Omega}=2,6\ \text{A}$.

  La tensione ai capi del parallelo $R_{2,3,4}$ è $\Delta V_{2,3,4}=\Delta V_3=i_{tot}R_{2,3,4}=(2,6\ \text{A})(3,2\ \Omega)=8,3\ \text{V}$.

  Le intensità di corrente che attraversano ogni resistore sono

  $$i_2=\frac{\Delta V_{2,3,4}}{R_2}=\frac{8,3\ \text{V}}{8,0\ \Omega}=1,0\ \text{A}\ ;\ i_3=\frac{\Delta V_{2,3,4}}{R_3}=\frac{8,3\ \text{V}}{12,0\ \Omega}=0,69\ \text{A}\ ;\ i_4=\frac{\Delta V_{2,3,4}}{R_4}=\frac{8,3\ \text{V}}{10,0\ \Omega}=0,83\ \text{A}$$

- Come già visto al punto precedente, $\Delta V_3=8,3\ \text{V}$.

77 $$\frac{1}{R_{2,3,4}}=\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}=\frac{1}{8,0\ \Omega}+\frac{1}{12,0\ \Omega}+\frac{1}{10,0\ \Omega}=\frac{37}{120\ \Omega}\quad\Rightarrow\quad R_{2,3,4}=\frac{120\ \Omega}{37}=3,2\ \Omega$$

$$R_{eq}=R_1+R_a+R_{2,3,4}=6,0\ \Omega+0,50\ \Omega+3,2\ \Omega=9,7\ \Omega$$

L'intensità misurata dall'amperometro è quindi $i=\frac{\Delta V}{R}=\frac{24\ \text{V}}{9,7\ \Omega}=2,5\ \text{A}$.

78
- Applicando la prima legge di Ohm: $i_t=\frac{\Delta V}{R}=\frac{5,00\ \text{V}}{180\ \Omega}=27,8\,\text{mA}$.
- Se si trascura la resistenza interna dell'amperometro: $R_{eq}=\frac{RR_V}{R_V+R}=\frac{(180\ \Omega)(4,8\times10^3\ \Omega)}{4,8\times10^3\ \Omega+180\ \Omega}=173\ \Omega$ e quindi

  $$i=\frac{\Delta V}{R_{eq}}=\frac{5,00\ \text{V}}{173\ \Omega}=28,9\ \text{mA}$$

- Se si trascura la resistenza interna del voltmetro: $R_{eq}=R+R_A=180\ \Omega+9,00\ \Omega=189\ \Omega$ e quindi

  $$i=\frac{\Delta V}{R_{eq}}=\frac{5,00\ \text{V}}{189\ \Omega}=26,5\ \text{mA}$$

79 Se non trascuriamo le resistenze interne degli strumenti di misura, abbiamo un circuito con 2 resistori in parallelo e uno in serie con resistenza equivalente

$$R_{eq}=\frac{RR_V}{R_V+R}+R_A=\frac{(180\ \Omega)(4,80\times10^3\ \Omega)}{4,80\times10^3\ \Omega+180\ \Omega}+9,00\ \Omega=182\ \Omega$$

quindi la corrente che attraversa il generatore è $i=\frac{\Delta V}{R_{eq}}=\frac{5,00\ \text{V}}{182\ \Omega}=27,5\ \text{mA}$ con una variazione percentuale

$$\frac{\Delta i}{i_t}=\frac{27,5\ \text{mA}-27,8\ \text{mA}}{27,8\ \text{mA}}=-1\%$$

6. Generatori di tensione ideali e reali

80 Falso, la differenza di potenziale è la forza elettromotrice diminuita della tensione ai capi della resistenza interna.

81 $\Delta V_r=4,5\ \text{V}-3,7\ \text{V}=0,8\ \text{V}$

82 $f_{em} = \frac{W_g}{q} = \frac{88 \times 10^{-6}\ \text{J}}{5{,}5 \times 10^{-6}\ \text{C}} = 16\ \text{V}$

83 $f_{em} = \frac{W_g}{q} \Rightarrow q = \frac{W_g}{f_{em}} = \frac{0{,}250\ \text{J}}{110\ \text{V}} = 2{,}27 \times 10^{-3}\ \text{C}$

84 $\Delta V = f_{em}\frac{R}{R+r} = (76{,}2\ \text{V})\frac{250\ \Omega}{250\ \Omega + 15\ \Omega} = 71{,}9\ \text{V}$

85 $f_{em} = 11{,}2\ \text{V} + (4{,}0\ \Omega \times 0{,}20\ \text{A}) = 12\ \text{V}$

86 $\Delta V = f_{em} - ri = 4{,}5\ \text{V} - (10\ \Omega)(0{,}032\ \text{A}) = 4{,}2\ \text{V}$

87 $i = \frac{f_{em} - \Delta V}{r} = \frac{12\ \text{V} - 10\ \text{V}}{0{,}050\ \Omega} = 40\ \text{A}$

88 $i = \frac{f_{em} - \Delta V}{r} = \frac{65{,}0\ \text{V} - 60{,}0\ \text{V}}{25{,}0\ \Omega} = 200\ \text{mA}\ ;\ R_{\text{eq}} = \frac{60{,}0\ \text{V}}{200 \times 10^{-3}\ \text{A}} = 300\ \Omega$

89 $r = \frac{f_{em} - \Delta V}{i} = \frac{9{,}0\ \text{V} - 6{,}0\ \text{V}}{0{,}090\ \text{A}} = 33\ \Omega\ ;\ R = \frac{\Delta V}{i} = \frac{6{,}0\ \text{V}}{0{,}090\ \text{A}} = 67\ \Omega$

90 $r = R\frac{f_{em} - \Delta V}{\Delta V} = (400\ \Omega)\frac{(12{,}0\ \text{V} - 11{,}8\ \text{V})}{11{,}8\ \text{V}} = 7\ \Omega$

91
- $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V = (80\ \Omega)(0{,}20\ \text{A}) = 16\ \text{V}$
- $i = i_1 + i_2 = 0{,}20\ \text{A} + 0{,}20\ \text{A} = 0{,}40\ \text{A}$

  $r = \frac{f_{em} - \Delta V}{i} = \frac{18\ \text{V} - 16\ \text{V}}{0{,}40\ \text{A}} = 5\ \Omega$

7. Le trasformazioni dell'energia nei circuiti elettrici

92 Quello con resistenza minore, come si ricava da $P = \frac{\Delta V^2}{R}$.

93 $P = \frac{\Delta V^2}{R} = \frac{(220\ \text{V})^2}{60{,}0\ \Omega} = 807\ \text{W}$

94 $R = \frac{\Delta V^2}{P} = \frac{(220\ \text{V})^2}{1000\ \text{W}} = 48\ \Omega$

95 $P = Ri^2 = (1{,}5 \times 10^3\ \Omega)(6{,}7 \times 10^{-3}\ \text{A})^2 = 67\ \text{mW}$

96 $R = \frac{P}{i^2} = \frac{28 \times 10^{-3}\ \text{W}}{(0{,}28\ \text{A})^2} = 0{,}36\ \Omega$

97
- $P = \frac{\Delta V^2}{R} = \frac{(230\ \text{V})^2}{630\ \Omega} = 84,0\ \text{W}$
- L'energia impiegata è $W = P\Delta t = (84,0\ \text{W})(2,50\ \text{h})(3600\ \text{s/h}) = 7,56 \times 10^5\ \text{J}$.
- Questa energia equivale a $W = \frac{7,56 \times 10^5\ \text{J}}{3,6 \times 10^6\ \text{J/kWh}} = 0,210\ \text{kWh}$.

  Di conseguenza, la spesa per questa energia è $(0,210\ \text{kWh})\left(0,30\ \frac{€}{\text{kWh}}\right) = 0,06€$.

98
- $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{0,16\ \text{kWh}}{0,167\ \text{h}} = 0,96\ \text{kW}$
- $W = (0,16\ \text{kWh})(3,6 \times 10^6\ \text{J/kWh}) = 0,58\ \text{MJ}$
- $(0,16\ \text{kWh})(0,32\ €/\text{kWh}) \approx 0,05€$

99 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 619.

100 $W = P\Delta t = (15\ \text{W})(24\ \text{h}) = 0,36\ \text{kWh} = (0,36\ \text{kWh})(3,6 \times 10^6\ \text{J/kWh}) = 1,3\ \text{MJ}$

101 $P = i\Delta V = i^2 R$

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{W}{i^2 R}$$

$$\Delta t = \frac{W}{i^2 R} = \frac{mc\Delta T}{i^2 R} = \frac{(10\,\text{kg})(4186\,\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})(40\ \text{K}))}{(5,0\,\text{A})^2(50\,\Omega)} = 1,3 \times 10^3\ \text{s}$$

102 B

103 B

104 C

105
- A interruttore chiuso si ha $R_{eq} = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 30\ \Omega$; $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{50\ \text{V}}{30\ \Omega} = 1,7\ \text{A}$

  mentre a interruttore aperto $R_{eq} = R_1 + R_2 = 115\ \Omega$; $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{50\ \text{V}}{115\ \Omega} = 0,43\ \text{A}$.
- A interruttore aperto la tensione ai capi di ciascun resistore è
  $\Delta V_1 = R_1 i = (35\ \Omega)(0,43\ \text{A}) = 15\ \text{V}$
  $\Delta V_2 = R_2 i = (80\ \Omega)(0,43\ \text{A}) = 34\ \text{V}$
  $\Delta V_3 = 0\ \text{V}$

106
- $R_{2,3,4} = R_2 + R_3 + R_4 = 11\,\Omega$

  La resistenza complessiva del circuito è pari a $R_{eq} = \frac{R_{2,3,4} R_1}{R_{2,3,4} + R_1} = 2,4\ \Omega$.
- A interruttore chiuso, le resistenze 4, 5, 6 danno una resistenza equivalente minore di R_4, pertanto la nuova resistenza equivalente diminuisce. Di conseguenza, l'intensità di corrente aumenta.

107 ■ Ne disponi due in serie tra loro e in serie con il parallelo degli altri due:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 80\ \Omega + \frac{1600\ \Omega}{80\ \Omega} = 100\ \Omega$$

■ Si dispongono tutti e quattro in parallelo: $R_{eq} = \left(\frac{4}{40\ \Omega}\right)^{-1} = 10\ \Omega$.

108 $\Delta t = \frac{\Delta Q}{i} = \frac{1,5 \times 10^3\ \text{C}}{5,6 \times 10^{-6}\ \text{A}} = 2,7 \times 10^8\ \text{s}$

che espresso in anni corrisponde a $\Delta t = \frac{2,7 \times 10^8\ \text{s}}{(365 \times 24 \times 3600)\ \text{s/anno}} = 8,5\ \text{anni}$.

109 ■ Nella fase iniziale si ha $R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\pi\left(\frac{d^2}{4}\right)} = \frac{(1,7 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m})(8,0\ \text{m}) \times 4}{\pi(0,20 \times 10^{-3}\ \text{m})^2} = 4,3\ \Omega$ e

$$i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{12\ \text{V}}{4,3\ \Omega} = 2,8\ \text{A}$$

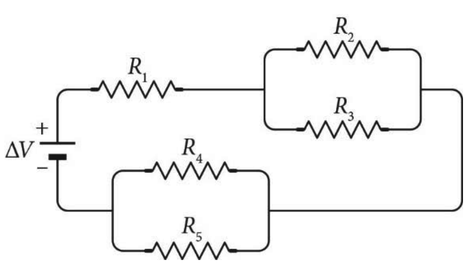
■ Quando i due fili vengono affiancati la resistenza diventa $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, da cui segue che la corrente che attraversa il circuito, quando i fili sono appaiati, è $i_2 = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{\Delta V (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = \frac{(12\ \text{V})(2 \times 4,3\ \Omega)}{(4,3\ \Omega)^2} = 5,6\ \text{A}$.

110 ■ $Q = i\Delta t = (0,80\ \text{A})(45\ \text{s}) = 36\ \text{C}$

■ $P = i\Delta V = (0,80\ \text{A})(3,7\ \text{V}) = 3,0\ \text{W}$

■ $W = P\Delta t = (3,0\ \text{W})(0,013\ \text{h}) = 1,4 \times 10^2\ \text{J}$

111 ■ Il circuito è del tipo



■ $R_{eq} = 200\ \Omega + \frac{600\ \Omega \times 400\ \Omega}{600\ \Omega + 400\ \Omega} + \frac{120\ \Omega \times 120\ \Omega}{120\ \Omega + 120\ \Omega} = 500\ \Omega$

$$P = R_{eq} i^2 = (500\ \Omega)(440\ \text{mA})^2 = 96,8\ \text{W}$$

112 ■ Prima che venga inserita la seconda lampadina, la corrente che esce dal generatore è $i = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{15\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1{,}5\ \text{A}$

■ Quando viene inserita la seconda lampadina in serie, la resistenza complessiva del circuito diventa

$$R_{eq} = \frac{\Delta V}{i'} = \frac{15\ \text{V}}{1{,}0\ \text{A}} = 15\ \Omega$$

La resistenza della seconda lampadina è quindi $R_2 = R_{eq} - R_1 = 5\ \Omega$.

■ Se la seconda lampadina viene inserita in parallelo, la corrente che attraversa la prima risulta pari a

$$i_1' = \frac{\Delta V}{R_1} = \frac{15\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1{,}5\ \text{A}$$

113 La resistenza della porzione di ferro è $R_{Fe} = \rho_{Fe}\frac{l_{Fe}}{A} = 5{,}0\,\Omega$. Poiché i due conduttori sono in serie, la resistenza totale è data dalla somma delle resistenze dei due conduttori. Quindi, la resistenza del secondo conduttore è $R_x = R_{tot} - R_{Fe} = 3{,}0\,\Omega$ e la resistività del secondo materiale è $\rho_x = R_x\frac{A}{l_x} = 3{,}0\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$.

114 ■ $R = \rho\frac{l}{A} = 7{,}2\times10^{-5}\ \Omega$

■ $\Delta V = Ri = 2{,}3\times10^{-3}\ \text{V}$

115 Applicando la relazione: $Q = mc\Delta T = P\Delta t = Ri^2\Delta t$, si ricava:

$$\Delta t = \frac{mc\Delta T}{Ri^2} = \frac{mc\Delta T}{\left(\frac{\Delta V}{i}\right)i^2} = \frac{mc\Delta T}{\Delta Vi} = \frac{(80\ \text{kg})\left[4186\ \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})\right](30\ \text{K})}{(220\ \text{V})(4{,}5\ \text{A})} = 1{,}0\times10^4\ \text{s}$$

che espresso in ore corrisponde a $\Delta t = \frac{1{,}0\times10^4\ \text{s}}{3600\ \text{s/h}} = 2{,}8\ \text{h}$.

116 ■ $R_{3,4} = R_3 + R_4 = 30\ \Omega$; $R_{5,6} = R_5 + R_6 = 60\ \Omega$

$R_{3,4,5,6} = \frac{R_{3,4}R_{5,6}}{R_{3,4}+R_{5,6}} = 20\ \Omega$; $R_{2,3,4,5,6} = R_2 + R_{3,4,5,6} = 30\ \Omega$; $R_{2,3,4,5,6,7} = \frac{R_{2,3,4,5,6}R_7}{R_{2,3,4,5,6}+R_7} = 15\ \Omega$

La resistenza equivalente del circuito è quindi: $R_{eq} = R_1 + R_{2,3,4,5,6,7} = 20\ \Omega$.

■ La corrente totale vale $i = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{10\ \text{V}}{20\ \Omega} = 0{,}50\ \text{A}$.

■ Calcolo tensione ai capi di R_7: $\Delta V_7 = i_{tot}R_{2,3,4,5,6,7} = (0{,}50\ \text{A})(15\ \Omega) = 7{,}5\ \text{V}$.

117 ■ $$\begin{cases} R_1 + R_2 = 90{,}0\ \Omega \\ \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} = 20{,}0\ \Omega \end{cases} \Rightarrow \quad R_1R_2 = 1800\ \Omega^2$$

Due numeri la cui somma è 90 e il cui prodotto è1800 sono $R_1 = 60{,}0\ \Omega$ e $R_2 = 30{,}0\ \Omega$.

■ $P = \frac{\Delta V^2}{R_{eq}} = \frac{(230\ \text{V})^2}{20{,}0\ \Omega} = 2{,}65\times10^3\ \text{W}$ da cui segue che l'energia utilizzata in 45,0 min è pari a

$$W = (0{,}750\ \text{h})(2{,}65\ \text{kW}) = 1{,}99\ \text{kWh}$$

- $P_2 = i\Delta V = (1{,}70\ \text{A})(230\ \text{V}) = 391\ \text{W}$

  $\Delta t = \dfrac{1{,}99\ \text{kWh}}{0{,}391\ \text{kW}} = 5{,}09\ \text{h} \approx 5\ \text{h}$

118 Esercizio con foglio di calcolo.

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 C

2 A

3 D

4 A

5
- $\Delta Q = i\Delta t = (1{,}5\times10^{-2}\ \text{A})(10\ \text{s}) = 0{,}15\ \text{C}$
- $n = \dfrac{\Delta Q}{e} = \dfrac{0{,}15\ \text{C}}{1{,}602\times10^{-19}\ \text{C}} = 9{,}4\times10^{17}$

6
- La sezione del filamento è $A = \rho\dfrac{l}{R} = 4{,}48\times10^{-8}\ \text{m}^2$.

  E quindi il diametro: $d = 2\sqrt{\dfrac{A}{\pi}} = 2{,}4\times10^{-4}\ \text{m} = 0{,}24\ \text{mm}$
- Per avere una resistenza doppia a parità di dimensioni geometriche è necessario utilizzare un materiale con resistività doppia. Quindi: $\rho = 11\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$. Consultando la tabella notiamo che i due materiali più adatti sarebbero ferro o platino $(\rho = 10\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})$.

7 Dalla misura effettuata a circuito aperto si deduce che $f_{em} = \Delta V_1 = 4{,}64\ \text{V}$.

Per il calcolo della resistenza interna occorre invece applicare la formula:

$$r = R\times\frac{f_{em}-\Delta V}{\Delta V} = (100\ \Omega)\times\frac{0{,}50\ \text{V}}{4{,}14\ \text{V}} = 12\ \Omega$$

8 Calcoliamo la resistenza equivalente:

$R_{2,3,4} = R_2 + R_3 + R_4 = 40\ \Omega$

$R_{2,3,4,5} = \dfrac{R_{2,3,4}R_5}{R_{2,3,4}+R_5} = 20\ \Omega$

$R_{\text{eq}} = R_1 + R_{2,3,4,5} = 100\ \Omega$

La corrente totale vale, allora $i = \dfrac{\Delta V}{R_{\text{eq}}} = \dfrac{80\ \text{V}}{100\ \Omega} = 0{,}80\ \text{A}$.

Inoltre si ha:

$i_1 = i = 0{,}80\ \text{A}$

$\Delta V_1 = R_1 i_1 = (80\ \Omega)(0{,}80\ \text{A}) = 64\ \text{V}$

La differenza di potenziale ai capi di $R_{2,3,4}$ è la stessa che ai capi di R_5, cioè

$\Delta V_5 = \Delta V - \Delta V_1 = 16\ \text{V}$

segue

Quindi la corrente che attraversa R_2, R_3, R_4, che sono in serie, è

$$i_2 = i_3 = i_4 = \frac{\Delta V_{2,3,4}}{R_{2,3,4}} = \frac{16\ \text{V}}{40\ \Omega} = 0,40\ \text{A}$$

Risulta inoltre

$$i_5 = \frac{\Delta V_5}{R_5} = \frac{16\ \text{V}}{40\ \Omega} = 0,40\ \text{A}$$

$$\Delta V_2 = \Delta V_4 = (10\ \Omega)(0,40\ \text{A}) = 4,0\ \text{V}$$

$$\Delta V_3 = R_3 i_3 = (20\ \Omega)(0,40\ \text{A}) = 8,0\ \text{V}$$

ALLENATI CON ALTRI 10 ESERCIZI

1 I resistori 2 e 3 sono collegati in serie ed equivalgono a un resistore di resistenza:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 200\,\Omega$$

Questo resistore equivalente è collegato ai due poli del generatore di tensione, così come il resistore 1: questi resistori sono quindi collegati in parallelo.

L'intensità della corrente che scorre nel resistore 1 è $i_1 = \dfrac{\Delta V}{R_1} = \dfrac{5,0\,\text{V}}{200\,\Omega} = 0,025\,\text{A}$.

Nel resistore equivalente di resistenza $R_{23} = R_1$ scorre corrente di uguale intensità, quindi anche i resistori 2 e 3 sono percorsi da corrente di intensità 0,025 A.

2 Dai dati del primo cavo ricaviamo la resistività del materiale:

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{R\pi r^2}{l} = \frac{(3,2\times10^{-2}\ \Omega)\pi(4,0\times10^{-4}\ \text{m})^2}{1,0\ \text{m}} = 1,6\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$$

L'area della sezione del secondo cavo è

$$A_2 = \rho\frac{l}{R_2} = \frac{(1,6\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m})(1,0\ \text{m})}{1,8\times10^{-2}\ \Omega} = 8,9\times10^{-7}\ \text{m}^2$$

Il raggio del secondo cavo è

$$r_2 = \sqrt{\frac{A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{8,9\times10^{-7}\ \text{m}^2}{\pi}} = 5,3\times10^{-4}\ \text{m}$$

3 L'intensità della corrente che attraversa il primo resistore è

$$i = \frac{\Delta V_1}{R_1} = \frac{3,0\,\text{V}}{500\,\Omega} = 6,0\,\text{mA}$$

Poiché i resistori sono collegati in serie, questa è anche l'intensità della corrente che scorre attraverso il secondo resistore. La resistenza equivalente è

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 500\ \Omega + 1500\ \Omega = 2000\ \Omega$$

La differenza di potenziale ai capi del resistore equivalente è uguale a quella del generatore:

$$\Delta V_{eq} = iR_{eq} = (6,0\times10^{-3}\ \text{A})(2,0\times10^3\ \Omega) = 12\,\text{V}$$

4 Indicando con r la resistenza interna, nel primo caso la resistenza equivalente del circuito è $R_{\text{eq},1} = r + R_1$ mentre nel secondo caso è $R_{\text{eq},2} = r + R_2$ e le correnti nei due casi sono

$$i_1 = \frac{f_{em}}{R_{\text{eq},1}} \quad \text{e} \quad i_2 = \frac{f_{em}}{R_{\text{eq},2}}$$

Ricavando la forza elettromotrice f_{em} dalle due equazioni e uguagliando le due espressioni così ottenute, si ricava la resistenza interna:

$$r = \frac{i_1 R_1 - i_2 R_2}{i_2 - i_1} = \frac{(0{,}050\ \text{A})(400\ \Omega) - (0{,}034\ \text{A})(600\ \Omega)}{0{,}050\ \text{A} - 0{,}034\ \text{A}} = 25\ \Omega$$

5 L'energia necessaria per riscaldare l'acqua è

$$E = cm\Delta T = (4186\ \text{J/kg}\cdot\text{K})(50\ \text{kg})(14\ \text{K}) = 2{,}9\times10^6\ \text{J}$$

La potenza necessaria è $P = \dfrac{\Delta E}{\Delta t} = \dfrac{2{,}9\times10^6\ \text{J}}{2{,}4\times10^3\ \text{s}} = 1{,}2\times10^3\ \text{W}$.

La resistenza è $R = \dfrac{\Delta V^2}{P} = \dfrac{(220\ \text{V})^2}{1{,}2\times10^3\ \text{W}} = 40\ \Omega$.

6
- La resistenza del cavo è $R = \dfrac{\Delta V}{i} = \dfrac{4{,}0\times10^{-4}\ \text{V}}{0{,}91\ \text{A}} = 4{,}4\times10^{-4}\ \Omega$.

  La resistività del cavo è $\rho = R\dfrac{A}{l} = (4{,}4\times10^{-4}\ \Omega)\dfrac{5{,}0\times10^{-5}\ \text{m}^2}{1{,}3\ \text{m}} = 1{,}7\times10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$.

  Quindi il cavo è probabilmente di rame.
- Ciascuna metà del cavo ha resistenza pari a metà di quella del cavo intero, quindi con la stessa differenza di potenziale si ottiene una corrente doppia. In totale quindi la corrente nelle due metà è 4 volte quella del cavo intero.

7 Poiché i resistori sono in serie, sono attraversati dalla stessa corrente:

$$i_1 = i_3 = i_2 = 0{,}050\ \text{A}$$

Questa è anche la corrente fornita dal generatore. Le resistenze dei resistori 1 e 3 valgono:

$$R_1 = \frac{\Delta V_1}{i_1} = \frac{6{,}0\ \text{V}}{0{,}050\ \text{A}} = 1200\ \Omega$$

$$R_3 = \frac{\Delta V_3}{i_3} = \frac{4{,}0\ \text{V}}{0{,}050\ \text{A}} = 80\ \Omega$$

La resistenza equivalente è $R_{\text{eq}} = \dfrac{\Delta V}{i_2} = \dfrac{20\ \text{V}}{0{,}050\ \text{A}} = 400\ \Omega$, quindi la resistenza del resistore 2 è

$$R_2 = R_{\text{eq}} - R_1 - R_3 = 400\ \Omega - 120\ \Omega - 80\ \Omega = 200\ \Omega.$$

8 La potenza con cui il resistore 1 dissipa energia è

$$P_1 = \frac{\Delta V_1^2}{R_1} = \frac{(8,0\ \text{V})^2}{200\ \Omega} = 0,32\ \text{W}$$

L'intensità di corrente che attraversa il resistore 1 è

$$i_1 = \frac{\Delta V_1}{R_1} = \frac{8,0\ \text{V}}{200\ \Omega} = 0,040\ \text{A}$$

La differenza di potenziale ai capi dei resistori 2 e 3 è

$$\Delta V_2 = \Delta V_3 = \Delta V - \Delta V_1 = 12\ \text{V}$$

La corrente che attraversa il resistore 1 si divide in due correnti uguali che attraversano i resistori 2 e 3 (perché hanno resistenze uguali):

$$i_2 = i_3 = \frac{i_1}{2} = 0,020\ \text{A}$$

I resistori 2 e 3 dissipano energia con potenza

$$P_2 = P_3 = i_2 \Delta V_2 = (0,020\ \text{A})(12\ \text{V}) = 0,24\ \text{W}$$

9 Le due lampadine in un anno sono accese per un tempo pari a

$$\Delta t = 365 \times 2\,\text{h} = 365 \times 2 \times 3600\ \text{s} = 2,6 \times 10^6\ \text{s}$$

L'energia consumata in un anno dalla lampadina a LED è

$$E_1 = P_1 \Delta t = (15\ \text{W})(2,6 \times 10^6\ \text{s}) = 3,9 \times 10^7\ \text{J} = \frac{3,9 \times 10^7\ \text{J}}{3,6 \times 10^6\ \text{J/kWh}} = 11\ \text{kWh}$$

Il costo dell'energia consumata da questa lampadina è

$$p_1 = E_1 \times 0,30 = 11\ \text{kWh} \times 0,30 = 3,30\ \text{euro}$$

Calcoli analoghi per la lampadina a incandescenza danno

$$E_2 = P_2 \Delta t = (85\ \text{W})(2,6 \times 10^6\ \text{s}) = 2,2 \times 10^8\ \text{J} = \frac{2,2 \times 10^8\ \text{J}}{3,6 \times 10^6\ \text{J/kWh}} = 61\ \text{kWh}$$

$$p_2 = E_2 \times 0,30 = 61\ \text{kWh} \times 0,30 = 18,30\ \text{euro}$$

Con la lampadina a LED si risparmiano 15 euro all'anno.

10 La potenza con cui il resistore dissipa energia è

$$P = Ri^2 = (400\ \Omega)(0,20\ \text{A})^2 = 16\ \text{W}$$

e quindi l'energia dissipata dal resistore è

$$E_R = P\Delta t = (16\ \text{W})(600\ \text{s}) = 9,6 \times 10^3\ \text{J}$$

Poiché l'energia erogata dalla batteria è maggiore dell'energia dissipata dal resistore, deve esserci un'altra causa di dissipazione dell'energia ed è la resistenza interna r della batteria:

$$E_r = E - E_R = 1,0 \times 10^4\ \text{J} - 9,6 \times 10^3\ \text{J} = 4,0 \times 10^2\ \text{J}$$

La potenza con cui la resistenza interna dissipa energia è

$$P_r = \frac{E_r}{\Delta t} = \frac{400\ \text{J}}{600\ \text{s}} = 0,67\ \text{W}$$

Quindi, la resistenza interna è

$$r = \frac{P_r}{i^2} = \frac{0,67\ \text{W}}{(0,20\ \text{A})^2} = 17\ \Omega$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 20

I fenomeni magnetici

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

2. Le interazioni magnete-corrente e corrente-corrente

pag. 626

In base al terzo principio della dinamica, o principio di azione e reazione.

pag. 628

$$F_{1\ \text{cm}} = (1,0\times10^{-5}\ \text{N/m})(0,01\ \text{m}) = 1,0\times10^{-7}\ \text{N}$$
$$F_{0,5\ \text{m}} = (1,0\times10^{-5}\ \text{N/m})(0,5\ \text{m}) = 5,0\times10^{-5}\ \text{N}$$

3. Il campo magnetico

pag. 631

Per $i = 1\ \text{A}$ e $d = 1\times10^{-2}\ \text{m}$, il modulo del campo magnetico è

$$B = k_m \frac{i}{d} = \frac{(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(1\ \text{A})}{1\times10^{-2}\ \text{m}} = 2\times10^{-5}\ \text{T}$$

cioè ha un ordine di grandezza di $10^{-5}\ \text{T}$.

4. La forza magnetica su una corrente e su una particella carica

pag. 634

Si deduce che il lavoro è nullo, perché il prodotto scalare di due vettori perpendicolari è nullo.

TEST

1 B
2 A e C
3 C
4 A
5 A
6 D
7 A
8 B

segue

9 A
10 B
11 D
12 A
13 B
14 A

ESERCIZI

1. I magneti

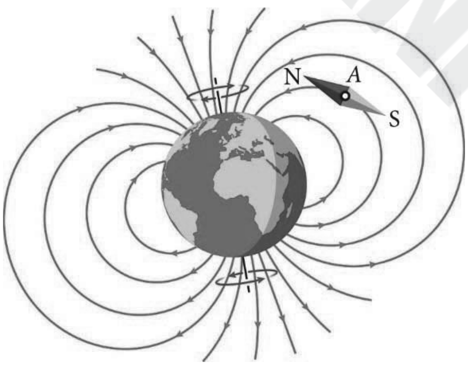
1 Perché il campo magnetico terrestre è distorto da oggetti o depositi di ferro, nickel o cobalto, o da una potente calamita nelle vicinanze della bussola.

2 È una forza a distanza.

3 Materiali rigidi poco magnetizzabili, affinché il loro moto e la loro posizione non siano influenzati dal campo magnetico.

4 Si attraggono.

5

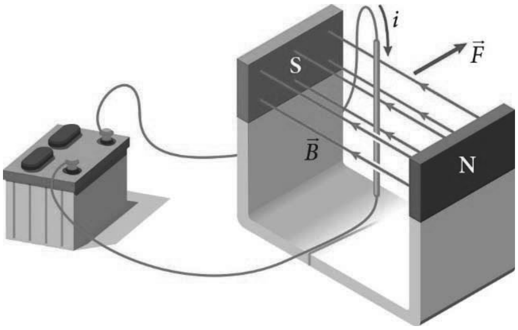


6 Gli aghi in posizione corretta sono:

7 Posso impugnare l'estremità della barra 1 e avvicinala al punto di mezzo della barra 2: se si attraggono, la barra 1 è magnetizzata.

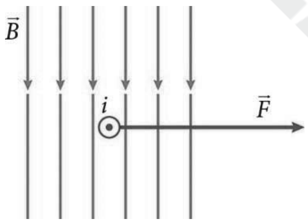
2. Le interazioni magnete-corrente e corrente-corrente

8

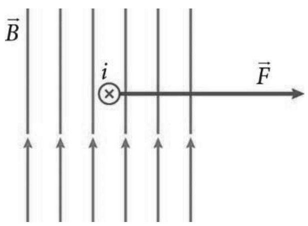


9
- Subisce una forza nulla, poiché subisce dagli altri due fili forze di pari intensità e direzione ma verso opposto (sono entrambe attrattive).
- Stessa cosa se la corrente nel filo centrale cambia verso (sono entrambe repulsive).

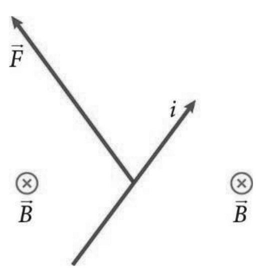
10 a.



b.

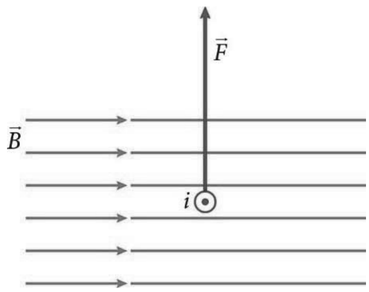


c.

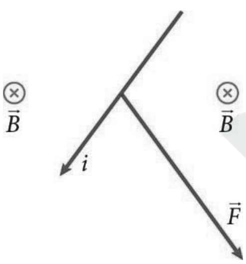


segue

d.



e.



11 Verso l'alto, lontano dalla superficie terrestre.

12 $$F=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2}{d}l=\frac{4\pi\times10^{-7}\ \text{N/A}^2}{2\pi}\frac{(3{,}8\ \text{A})(7{,}5\text{A})}{0{,}022\ \text{m}}(2{,}0\ \text{m})=5{,}2\times10^{-4}\ \text{N}$$

13
- $$F=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2}{d}l=\frac{4\pi\times10^{-7}\ \text{N/A}^2}{2\pi}\frac{(2{,}7\ \text{A})(6{,}8\ \text{A})}{15\times10^{-3}\ \text{m}}(2{,}00\ \text{m})=4{,}9\times10^{-4}\ \text{N}$$
  La forza è attrattiva.
- $$F=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 i_2}{d}l=\frac{4\pi\times10^{-7}\ \text{N/A}^2}{2\pi}\frac{(2{,}7\ \text{A})(6{,}8\ \text{A})}{15\times10^{-3}\ \text{m}}=2{,}4\times10^{-4}\ \text{N/m}$$

14 $$l=\frac{F_m d}{k_m i_1 i_2}=\frac{(9{,}5\times10^{-6}\ \text{N})(3{,}2\times10^{-1}\ \text{m})}{(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(1{,}7\ \text{A})(1{,}7\ \text{A})}=5{,}3\ \text{m}$$

$$F_f=2F_i=2(9{,}5\times10^{-6}\ \text{N})=1{,}9\times10^{-5}\ \text{N}$$

15 $$F=k_m\frac{i_1 i_2}{d}l\ \Rightarrow\ d=k_m\frac{i_1 i_2}{F}l=(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{(0{,}80\ \text{A})(0{,}95\ \text{A})}{2{,}2\times10^{-6}\ \text{N}}(0{,}50\ \text{m})=3{,}5\ \text{cm}$$

16 $$i_2=\frac{Fd}{k_m i_1 l}=\frac{(1{,}7\times10^{-5}\ \text{N})(4{,}0\times10^{-2}\ \text{m})}{(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(2{,}5\ \text{A})(40\times10^{-2}\ \text{cm})}=3{,}4\ \text{A}$$

17
- $$F=k_m\frac{i_1 i_2}{d}l=k_m\frac{i^2}{d}l\ \Rightarrow\ i=\sqrt{\frac{Fd}{k_m l}}=\sqrt{\frac{(5{,}0\times10^{-5}\ \text{N})(1{,}0\times10^{-2}\ \text{m})}{(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(10^{-1}\ \text{m})}}=5{,}0\ \text{A}$$
- La forza e la distanza sono inversamente proporzionali, quindi per dimezzare la forza occorre raddoppiare la distanza: $d = 2{,}0$ cm.

18 PROBLEMA MODELLO a pag. 647

19 Le forze tra tutte le correnti sono attrattive. Quindi le due forze sul filo centrale hanno la stessa direzione ma versi opposti. Quindi la forza risultante è perpendicolare ai fili e ha un modulo che è la differenza dei moduli delle singole forze magnetiche dovute alle due coppie di fili coinvolte.
I moduli delle forze che agiscono sul tratto del filo B valgono rispettivamente

$$F_{AB}=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_A i_B}{d_{AB}}l=\left(2\times10^{-7}\ \frac{\text{N}}{\text{A}^2}\right)\frac{(6,2\ \text{A})(3,9\ \text{A})}{0,068\ \text{m}}(0,27\ \text{m})=1,9\times10^{-5}\ \text{N}$$

$$F_{BC}=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_C i_B}{d_{BC}}l=\left(2\times10^{-7}\ \frac{\text{N}}{\text{A}^2}\right)\frac{(6,6\ \text{A})(3,9\ \text{A})}{0,045\ \text{m}}(0,27\ \text{m})=3,1\times10^{-5}\ \text{N}$$

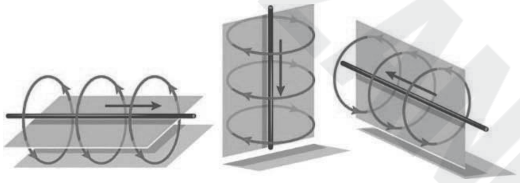
Visto che F_{BC} è maggiore di F_{AB}, la forza risultante è rivolta dal filo B al filo C e ha modulo

$$F_{\text{tot}}=F_{BC}-F_{AB}=3,1\times10^{-5}\ \text{N}-1,9\times10^{-5}\ \text{N}=1,2\times10^{-5}\ \text{N}$$

3. Il campo magnetico

20 Deve essere lungo 1/14 di l.

21



22 Non si osserva nulla, perché il campo magnetico generato dal filo ha la stessa direzione del campo magnetico terrestre.

23 Se la distanza da un filo percorso da corrente raddoppia, l'intensità del campo magnetico dimezza.
Se raddoppia invece la corrente nel filo, a parità di distanza, l'intensità del campo raddoppia.

24 Può raddoppiare la lunghezza del solenoide allargando le spire, oppure dimezzare il numero di spire in modo da non modificare la lunghezza totale, oppure dimezzare la corrente.

25
- $$B=\frac{F}{il}=\frac{8\times10^{-3}\ \text{N}}{(0,2\ \text{A})(2\times10^{-2}\ \text{m})}=2\ \text{T}$$
- La forza è direttamente proporzionale alla corrente, quindi dimezzando la corrente si dimezza anche la forza che risulterà, dunque, $F = 4 \times 10^{-3}$ N.

26 $$F=Bil=(5,0\times10^{-5}\ \text{T})(0,040\ \text{A})(0,50\ \text{m})=1,0\times10^{-6}\ \text{N}$$

27 PROBLEMA SVOLTO

28 $$i=\frac{F}{Bl}=\frac{1,4\times10^{-4}\ \text{N}}{(4,6\times10^{-3}\ \text{T})(0,050\ \text{m})}=0,61\ \text{A}$$

29 $$B=k_m\frac{i}{d}\ \Rightarrow\ d=\frac{k_m i}{B}=(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{0,20\ \text{A}}{10^{-2}\ \text{T}}=0,004\ \text{mm}$$

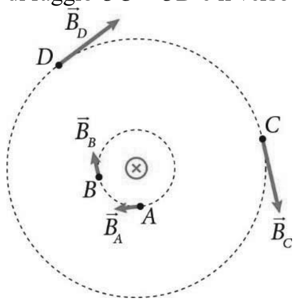
30 $$B=k_m\frac{i}{d}=(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{2,0\times10^{-3}\,\text{A}}{0,50\ \text{m}}=8,0\times10^{-10}\ \text{T}$$

31 $$B=k_m\frac{i}{d}\ \Rightarrow\ d=k_m\frac{i}{B}=(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{180\ \text{A}}{5,0\times10^{-5}\ \text{T}}=0,72\ \text{m}$$

COMPITI
CAPITOLO 20. I fenomeni magnetici
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

32

- In A e B, la direzione del vettore campo magnetico è tangente alla circonferenza di raggio $OA = OB$, dove O è la posizione del filo, e il verso è antiorario. In C e D la direzione del campo magnetico è tangente alla circonferenza di raggio $OC = OD$ e il verso è sempre antiorario.



- Dalla relazione $B = k_m \dfrac{i}{d}$, si ha

$$B_{A,B} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}54\ \text{A}}{0{,}20\ \text{m}} = 5{,}4\times10^{-7}\ \text{T};\ B_{C,D} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}54\ \text{A}}{0{,}60\ \text{m}} = 1{,}8\times10^{-7}\ \text{T}$$

33

$$B = 2\pi k_m \frac{Ni}{l} = 2\pi\left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{180\times\left(4{,}50\ \text{A}\right)}{0{,}261\ \text{m}} = 3{,}90\times10^{-3}\ \text{T}$$

34

$$B = 2\pi k_m \frac{Ni}{l} \Rightarrow i = \frac{Bl}{2\pi k_m N} = \frac{(2{,}10\times10^{-3}\ \text{T})(0{,}564\ \text{m})}{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\times400} = 2{,}36\ \text{A}$$

35

- Il valore più attendibile della forza magnetica è
$\overline{F} = \overline{Bil} = (1{,}18\ \text{T})\left(5{,}26\times10^{-2}\ \text{A}\right)\left(0{,}324\ \text{m}\right) = 2{,}01\times10^{-2}\ \text{N}$

- L'incertezza relativa che ne consegue è
$$e_r = \frac{\Delta B}{\overline{B}} + \frac{\Delta i}{\overline{i}} + \frac{\Delta l}{\overline{l}} = \frac{0{,}03\ \text{T}}{1{,}18\ \text{T}} + \frac{0{,}4\ \text{mA}}{52{,}6\ \text{mA}} + \frac{0{,}2\ \text{cm}}{32{,}4\ \text{T}} \approx 0{,}04$$

- Così l'incertezza sulla forza che si ottiene è
$\Delta F = e_r \overline{F} = 0{,}04\times\left(2{,}01\times10^{-2}\ \text{N}\right) = 8\times10^{-4}\ \text{N}$

Il risultato ottenuto si scrive come $F = \left(2{,}01 \pm 0{,}08\right)\times10^{-2}\ \text{N}$.

36

- $$B = 2\pi k_m \frac{Ni}{l} = 2\pi(2\times10^{-7}\text{N/A}^2)\frac{200\times(4{,}89\ \text{A})}{5{,}8\times10^{-1}\ \text{m}} = 2{,}1\times10^{-3}\ \text{T}$$

- $$i = \frac{Bl}{2\pi k_m N} = \frac{(2{,}1\times10^{-3}\ \text{T})(0{,}72\ \text{m})}{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\times200} = 6{,}0\ \text{A}$$

37

- $$B_{\text{tot}} = B_e + B_i = 2\pi k_m i\left(\frac{N_e}{L_e} + \frac{N_i}{L_i}\right) = 2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(6{,}0\ \text{A})\left(\frac{300}{0{,}50\ \text{m}} + \frac{250}{0{,}40\ \text{m}}\right) = 9{,}2\times10^{-3}\ \text{T}$$

- I due vettori campo magnetico si sottrarrebbero invece di sommarsi, cioè
$$B_{\text{tot}} = B_i - B_e = 2\pi k_m i\left(\frac{N_i}{L_i} - \frac{N_e}{L_e}\right) = 2\pi\left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\left(6{,}0\ \text{A}\right)\left(\frac{250}{0{,}40\ \text{m}} - \frac{300}{0{,}50\ \text{m}}\right) = 1{,}9\times10^{-4}\ \text{T}$$
nel verso del campo magnetico generato dal solenoide interno.

38 ▪ $B = 2\pi k_m \dfrac{Ni}{l} \Rightarrow N = \dfrac{Bl}{2\pi k_m i} = \dfrac{(0{,}0012\ \text{T})(0{,}15\ \text{m})}{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(1{,}0\ \text{A})} = 1{,}4\times10^2$

▪ Il campo magnetico è nella stessa direzione della corrente, quindi la forza è nulla.

39 L'intensità di corrente nel filo è $i = \dfrac{P}{\Delta V} = \dfrac{72\ \text{W}}{16\ \text{V}} = 4{,}5\ \text{A}$.

Quindi il modulo del campo magnetico vale $B = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\dfrac{i}{d} = \left(2\times10^{-7}\ \dfrac{\text{N}}{\text{A}^2}\right)\dfrac{4{,}5\ \text{A}}{0{,}081\ \text{m}} = 1{,}1\times10^{-5}\ \text{T}$.

40 Dalla relazione $P = i\Delta V$ ricaviamo $i = \dfrac{P}{\Delta V} = \dfrac{98\ \text{W}}{24\ \text{V}} = 4{,}1\ \text{A}$. Quindi

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{d} \Rightarrow d = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{B} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(4{,}1\ \text{A})}{2\pi(1{,}3\times10^{-6}\ )\text{T}} = 0{,}63\ \text{m} = 63\ \text{cm}$$

41 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 649.

4. La forza magnetica su una corrente e su una particella

42 ▪ È diretta perpendicolarmente al foglio con verso uscente.

▪ Se la carica è negativa il verso è entrante.

43 Basta cambiare la sua orientazione, mettendolo inclinato di 30° rispetto alle linee del campo.
Così $B_\perp$ vale $B/2$ e quindi la forza dimezza.

44 La forza magnetica è massima quando il vettore campo magnetico è perpendicolare al filo.
La forza magnetica ha valore nullo per un filo parallelo alla direzione del campo magnetico.

45 Produrrà una forza solo il vettore componente perpendicolare al filo, quindi
$F = B_\perp il = (1{,}8\times10^{-3}\ \text{T})(13\ \text{A})(28\times10^{-2}\ \text{m}) = 6{,}6\ \text{mN}$.

46 $\left|\vec{B}_\perp\right| = \dfrac{F}{il} = \dfrac{2{,}42\times10^{-2}\ \text{N}}{(31{,}6\ \text{A})(0{,}145\ \text{m})} = 5{,}28\times10^{-3}\ \text{T}$

47 $l = \dfrac{F}{\left|\vec{B}_\perp\right| i} = \dfrac{8{,}55\times10^{-2}\ \text{N}}{(2{,}21\times10^{-2}\ \text{T})(12{,}6\ \text{A})} = 0{,}307\ \text{m}$

48 PROBLEMA SVOLTO

49 ▪ $F = qvB \Rightarrow q = \dfrac{F}{vB} = \dfrac{5{,}2\times10^{-5}\ \text{N}}{(47\ \text{m/s})(0{,}55\ \text{T})} = 2{,}0\times10^{-6}\ \text{C}$

▪ Non si può determinare il segno poiché non si conosce il verso di F, B e v.

50 $F = qvB = (0{,}50\times10^{-6}\ \text{C})(3{,}0\ \text{m/s})(0{,}15\ \text{T}) = 0{,}225\times10^{-6}\ \text{N} = 2{,}3\times10^{-7}\ \text{N}$

Applicando la regola della mano destra e tenendo presente che la carica è negativa si vede che $\vec{F}$ è uscente dal foglio.

51 $F = |q|vB_\perp = 2evB_\perp = 2(1{,}602\times10^{-19}\ \text{C})(4{,}95\times10^5\ \text{m/s})(6{,}87\times10^{-4}\ \text{T}) = 1{,}09\times10^{-16}\ \text{N}$

52 $r = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{(6{,}64\times10^{-27}\ \text{kg})(2{,}53\times10^4\ \text{m/s})}{(3{,}20\times10^{-19}\ \text{C})(7{,}82\times10^{-3}\ \text{T})} = 6{,}71\times10^{-2}\ \text{m}$

53 $r = \dfrac{mv}{qB} \leq 10 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad B \geq \dfrac{mv}{10q} = \dfrac{(9{,}11\times10^{-31}\ \text{kg})(1{,}0\times10^{5}\ \text{m/s})}{(0{,}10\ \text{m})(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C})} = 5{,}7\times10^{-6}\ \text{T}$

54 $v = \dfrac{qBr}{m} = \dfrac{(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C})(0{,}59\ \text{T})(6{,}4\times10^{-2}\ \text{m})}{1{,}67\times10^{-27}\ \text{kg}} = 3{,}6\times10^{6}\ \text{m/s}$

55 La proiezione del campo magnetico perpendicolare alla velocità è

$$B_{\perp} = \frac{F}{qv} = \frac{8{,}49\times10^{-16}\ \text{N}}{(6{,}408\times10^{-19}\ \text{C})(3{,}92\times10^{5}\ \text{m/s})} = 3{,}38\times10^{-3}\ \text{T}$$

Questo valore di 3,38 mT è minore del modulo del campo magnetico; quindi, i vettori campo magnetico e velocità non sono perpendicolari.

56
- Se la forza è massima, il campo magnetico è diretto perpendicolarmente alla direzione della velocità degli elettroni.
- Occorre prima calcolare la velocità degli elettroni, poi la forza che subisce ciascun elettrone.

$$v=\sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\times(1{,}6\times10^{-15}\ \text{J})}{9{,}11\times10^{-31}\ \text{kg}}} = 5{,}9\times10^{7}\ \text{m/s}$$

Quindi $F = |e|vB = (1{,}6\times10^{-19}\ \text{C})(5{,}9\times10^{7}\ \text{m/s})(52\times10^{-3}\ \text{T}) = 4{,}9\times10^{-13}\ \text{N}$

e quindi l'accelerazione vale $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{4{,}9\times10^{-13}\ \text{N}}{9{,}11\times10^{-31}\ \text{kg}} = 5{,}4\times10^{17}\ \text{m/s}^2$.

57 $m = \dfrac{Bil}{g} = \dfrac{(0{,}25\ \text{T})(3{,}3\ \text{A})(0{,}058\ \text{m})}{9{,}8\ \text{m/s}^2} = 4{,}9\times10^{-3}\ \text{kg}$

58
- La forza magnetica deve essere rivolta verso l'alto; quindi, per la regola della mano destra il campo magnetico deve essere uscente dal foglio.
- Il suo modulo è

$$B = \frac{mg}{il} = \frac{(1{,}3\times10^{-2}\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)}{(4{,}1\ \text{A})(0{,}082\ \text{m})} = 0{,}38\ \text{T}$$

59 PROBLEMA MODELLO a pag. 651

60
- $r = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{(1{,}67\times10^{-27}\ \text{kg})(7{,}0\times10^{5}\ \text{m/s})}{(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C})(4{,}5\times10^{-2}\ \text{T})} = 16\ \text{cm}$
- $T = \dfrac{2\pi r}{v} = \dfrac{2\pi(0{,}16\ \text{m})}{7{,}0\times10^{5}\ \text{m/s}} = 1{,}4\times10^{-6}\ \text{s}$
- $r_1 = \dfrac{m_1 v}{qB} = 2\dfrac{mv}{qB} = 32\ \text{cm}$

  $T_1 = 2T = 2{,}8\times10^{-6}\ \text{s}$

61 $F_1 = Bi_1 l \quad \Rightarrow \quad Bl = \dfrac{F_1}{i_1}; \ F_2 = Bi_2 l \quad \Rightarrow \quad Bl = \dfrac{F_2}{i_2}$

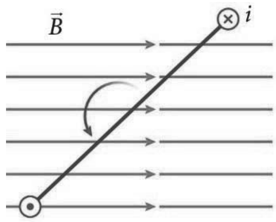
$$\frac{F_1}{i_1} = \frac{F_2}{i_2} \quad \Rightarrow \quad i_1 = i_2\frac{F_1}{F_2} = (8{,}7\ \text{A})\frac{7{,}0\times10^{-3}\ \text{N}}{4{,}9\times10^{-2}\ \text{N}} = 1{,}2\ \text{A}$$

62 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 652.

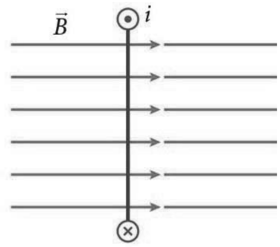
5. Il motore elettrico

63 No, perché con la corrente che circola nella spira in verso opposto sono le forze che cambiano verso, mentre il momento della coppia di forze continua ad agire sempre nello stesso verso.

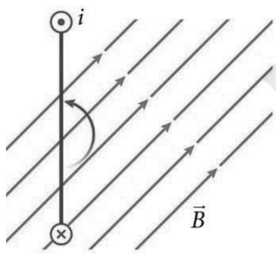
64



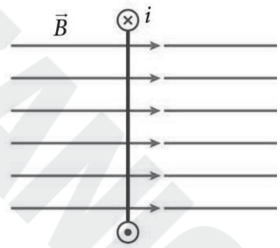
a) Non equilibrio



b) Equilibrio stabile



c) Non equilibrio



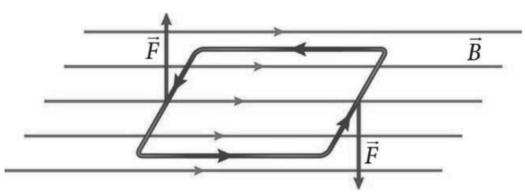
d) Equilibrio instabile

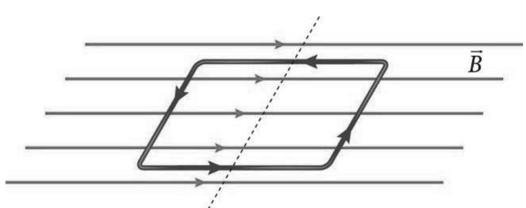
65

- La forza che si esercita sui lati perpendicolari alla direzione del campo magnetico vale:

  $$F = B_{\perp} il = (0{,}030\ \text{T})(0{,}10\ \text{A})(0{,}04\ \text{m}) = 1{,}2\times10^{-4}\ \text{N}$$

  Sui lati paralleli alla direzione del campo la forza è nulla.



- 

6. Le proprietà magnetiche dei materiali

66 Un magnete genera sempre un campo magnetico, mentre un elettromagnete funziona a comando, ossia può essere magnetizzato o meno a seconda delle necessità.

67

APPLICAZIONE	FUNZIONAMENTO
Disco rigido del computer	MP
Motore elettrico	MP
Motore a scoppio	A
Testina del videoregistratore	EM
Tubo al neon	A
Gru da demolizione	EM

68 $$r = \frac{mv}{qB} = \frac{(9{,}1\times10^{-31}\text{ kg})(7{,}3\times10^{7}\text{ m/s})}{(1{,}6\times10^{-19}\text{ C})(10\text{ T})} = 4{,}2\times10^{-5}\text{ m}$$

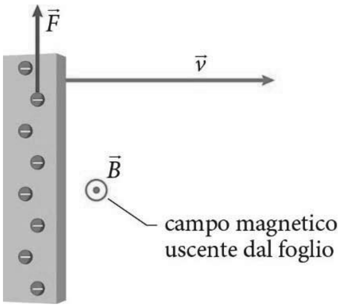
$$F_c = \frac{mv^2}{r} = evB = (1{,}6\times10^{-19}\text{ C})(7{,}3\times10^{7}\text{ m/s})(10\text{ T}) = 1{,}2\times10^{-10}\text{ N}$$

69
- $F = k_m \frac{i_1 i_2}{d} l \;\Rightarrow\; d = \frac{k_m i_1 i_2 l}{F} = \frac{(2\times10^{-7}\text{ N/A}^2)(0{,}50\text{ A})(2{,}0\text{ A})(0{,}20\text{ m})}{6{,}0\times10^{-7}\text{ N}} = 6{,}7\text{ cm}$
- $B = k_m \frac{i}{d} = (2\times10^{-7}\text{ N/A}^2)\left(\frac{2{,}0\text{ A}}{6{,}7\times10^{-2}\text{ m}}\right) = 6{,}0\times10^{-6}\text{ T}$

70 $$F = qvB = (1{,}6\times10^{-19}\text{ C})(1{,}0\times10^{4}\text{ m/s})(0{,}30\text{ T}) = 4{,}8\times10^{-16}\text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4{,}8\times10^{-16}\text{ N}}{1{,}67\times10^{-27}\text{ kg}} = 2{,}9\times10^{11}\text{ m/s}^2$$

71 $F = qvB = (1{,}6\times10^{-19}\text{ C})(4{,}0\text{ m/s})(3{,}4\times10^{-2}\text{ T}) = 2{,}2\times10^{-20}\text{ N}$ perpendicolare al piano individuato dalle direzioni della velocità e del campo e diretta verso l'alto.



72
- $B = k_m \frac{i}{d} \;\Rightarrow\; i = \frac{Bd}{k_m} = \frac{(5{,}0\times10^{-5}\text{ T})(6{,}1\times10^{-2}\text{ m})}{2\times10^{-7}\text{ N/A}^2} = 15\text{ A}$
- $\Delta V = Ri = (8{,}2\ \Omega)(15{,}25\text{ A}) = 0{,}13\text{ kV}$

73 Il valore di corrente che rende uguali la forza magnetica e la forza-peso si ricava dalla relazione $Bil = mg$, da cui segue

$$i = \frac{mg}{Bl} = \frac{(0{,}12\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)}{(8{,}0\times10^{-2}\ \text{T})(0{,}23\ \text{m})} = 64\ \text{A}$$

Per sollevare la sbarra occorre, quindi, che la corrente sia maggiore di 64 A: $i = 64$ A.
Affinché la forza magnetica sia diretta verso l'alto la corrente deve fluire da destra verso sinistra.

74

- $$i = \frac{Bl}{2\pi k_m N} = \frac{(5{,}5\times10^{-4}\ \text{T})(0{,}50\ \text{m})}{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)590} = 0{,}37\ \text{A}$$
- $$R = \frac{\Delta V}{i} = \frac{1{,}7\ \text{V}}{0{,}37\ \text{A}} = 4{,}6\ \Omega$$

75

- Calcolo con il teorema di Pitagora il modulo del vettore componente del campo magnetico perpendicolare al filo:
  $$B_\perp = \sqrt{B^2 - B_\parallel^{\,2}} = \sqrt{(130\times10^{-3}\ \text{T})^2 - (122\times10^{-3}\ \text{T})^2} = 44{,}9\times10^{-3}\ \text{T} \ \Rightarrow$$
  $$F = B_\perp il = (44{,}9\times10^{-3}\ \text{T})(15{,}0\ \text{A})(0{,}300\ \text{m}) = 0{,}202\ \text{N}$$
- $$B = 2\pi k_m \frac{Ni}{l} \ \Rightarrow \ i = \frac{Bl}{2\pi k_m N} = \frac{(130\times10^{-3}\ \text{T})(0{,}405\ \text{m})}{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)1800} = 23{,}3\ \text{A}$$

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 B, C

2 C

3 A

4 B

5 $$B = k_m \frac{i}{d} \ \Rightarrow \ i = \frac{Bd}{k_m} = \frac{(2{,}5\times10^{-4}\ \text{T})(150\ \text{m})}{2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2} = 1{,}9\times10^5\ \text{A}$$

6 $$F_{AB} = k_m \frac{i^2}{d_1} l = (2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{(3{,}5\ \text{A})^2}{0{,}16\ \text{m}}(1\ \text{m}) = 1{,}5\times10^{-5}\ \text{N} \ \text{verso sinistra}$$

$$F_{CB} = k_m \frac{i^2}{d_2} l = (2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{(3{,}5\ \text{A})^2}{0{,}24\ \text{m}}(1\ \text{m}) = 1{,}0\times10^{-5}\ \text{N} \ \text{verso destra}$$

La forza risultante va verso sinistra e ha modulo

$$F_{\text{ris}} = F_{AB} - F_{CB} = 1{,}5\times10^{-5}\ \text{N} - 1{,}0\times10^{-5}\ \text{N} = 5\times10^{-6}\ \text{N}$$

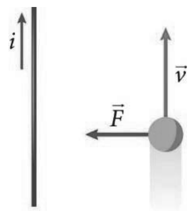
7 $$l = \frac{2\pi k_m Ni}{B} = \frac{2\pi(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)620(2{,}1\times10^{-2}\ \text{A})}{3{,}8\times10^{-5}\ \text{T}} = 0{,}43\ \text{m}$$

8

- $$B = k_m \frac{i}{d} = \frac{(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2)(0{,}45\ \text{A})}{65\times10^{-2}\ \text{m}} = 1{,}4\times10^{-7}\ \text{T}$$
- La direzione di $\vec{B}$ è perpendicolare al piano del foglio, con verso entrante nella pagina. Perciò è perpendicolare alla velocità e l'angolo tra il vettore $\vec{B}$ e il vettore $\vec{v}$ vale $\alpha = 90°$.

segue

- $q = \dfrac{F}{vB} = \dfrac{7,4 \times 10^{-12}\ \text{N}}{(10\ \text{m/s})(1,4 \times 10^{-7}\ \text{T})} = 5,3 \times 10^{-6}\ \text{C}$
- Il vettore forza è perpendicolare alla velocità, va verso il filo.



ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Invertendo la legge di Biot-Savart si ottiene:

$$i = \frac{Bd}{k_m} = \frac{(1,1 \times 10^{-6}\ \text{T})(0,04\ \text{m})}{2 \times 10^{-7}\ \text{N/A}^2} = 0,22\ \text{A}$$

2
- Il modulo della forza-peso è
  $F_P = mg = (0,0153\,\text{kg})(9,8\,\text{N/kg}) = 0,15\,\text{N}$
  La forza magnetica è quindi rivolta verso l'alto, in modo da attenuare in parte l'effetto della forza-peso. Per produrre una forza magnetica verso l'alto, la corrente deve scorrere da *M* a *N*.
- La forza esercitata sul filo dal campo magnetico vale 0,03 N. L'intensità di corrente che scorre nel filo è
  $i = \dfrac{F}{Bl} = \dfrac{0,03\,\text{N}}{(0,12\,\text{T})(8,0 \times 10^{-2}\ \text{m})} = 3,1\,\text{A}$

3 Quando la corrente scorre da *M* a *N* la forza magnetica F_m è rivolta verso l'alto- Poiché la forza-peso F_P è rivolta verso il basso, il modulo della forza totale è $F_1 = F_P - F_m = 0,110\,\text{N}$.
Quando la corrente scorre da *N* a *M* sia la forza magnetica F_m che la forza-peso F_P sono rivolte verso il basso e il modulo della forza totale è $F_2 = F_P + F_m = 0,250\,\text{N}$.
Da queste due relazioni si ottiene:

$F_P = 0,180\,\text{N}$ $\qquad$ $F_m = 0,070\,\text{N}$

La massa del filo è $m = \dfrac{F_P}{g} = \dfrac{0,180\,\text{N}}{9,8\ \text{N/kg}} = 0,018\,\text{kg}$.

Il modulo del campo magnetico è $B = \dfrac{F_m}{il} = \dfrac{0,070\,\text{N}}{1,5\,\text{A} \times 0,12\,\text{m}} = 0,39\,\text{T}$.

4 I lati lunghi della spira sono lunghi $l = 2,7\,\text{m}$ e distano $d = 0,30\,\text{m}$. Il modulo della forza che esercitano l'uno sull'altro è

$$F = k_m \frac{i^2}{d} l = (2 \times 10^{-7}\ \text{N/A}^2)\frac{(0,20\,\text{A})^2}{0,30\,\text{m}}(2,7\,\text{m}) = 7,2 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

Poiché la corrente nei due tratti opposti scorre in versi opposti, la forza tra i fili è repulsiva.

5 La forza applicata da A su C è repulsiva quindi diretta verso l'alto. La forza applicata da B su C è attrattiva, quindi diretta verso il basso.
I moduli delle due forze per unità di lunghezza sono:

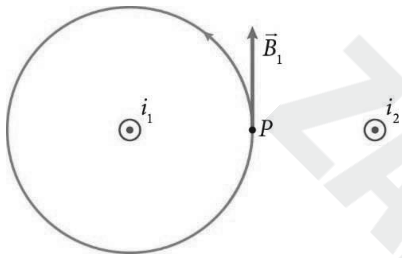
$$F_{AC} = k_m \frac{i_A i_C}{d_{AC}} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{(0{,}12\ \text{A})(0{,}60\ \text{A})}{0{,}18\ \text{m}} = 8{,}0\times10^{-8}\ \text{N/m}$$

$$F_{BC} = k_m \frac{i_B i_C}{d_{BC}} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{(0{,}48\ \text{A})(0{,}60\ \text{A})}{0{,}06\ \text{m}} = 9{,}6\times10^{-7}\ \text{N/m}$$

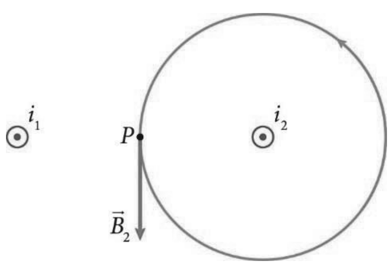
La forza applicata dal filo B ha modulo maggiore quindi la forza totale è diretta verso il basso e ha modulo

$$F_T = F_{BC} - F_{AC} = 9{,}6\times10^{-7}\ \text{N} - 8{,}0\times10^{-8}\ \text{N} = 8{,}8\times10^{-7}\ \text{N/m}$$

6 Il vettore campo magnetico in P è un vettore tangente alla linea di campo in P, con verso uguale a quello della linea di campo:



La figura che segue è la soluzione del secondo quesito:



I moduli dei due campi magnetici in P sono:

$$B_1 = k_m \frac{i_1}{r} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}30\ \text{A}}{0{,}04\ \text{m}} = 1{,}5\times10^{-6}\ \text{T}$$

$$B_2 = k_m \frac{i_2}{r} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}40\ \text{A}}{0{,}04\ \text{m}} = 2{,}0\times10^{-6}\ \text{T}$$

Poiché i due campi magnetici hanno versi opposti, il modulo del campo magnetico totale è

$$B_{\text{tot}} = B_2 - B_1 = 2{,}0\times10^{-6}\ \text{T} - 1{,}5\times10^{-6}\ \text{T} = 5{,}0\times10^{-7}\ \text{T}$$

7 La lunghezza iniziale del solenoide è

$$l = \frac{2\pi k_m N}{B} i = \frac{2\pi\left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\times51\times(0{,}18\ \text{A})}{9{,}6\times10^{-5}\ \text{T}} = 0{,}12\ \text{m}$$

Quando il solenoide si allunga, la sua lunghezza diventa

$$l' = \frac{2\pi k_m N}{B'} i = \frac{2\pi\left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\times51\times(0{,}18\ \text{A})}{5{,}0\times10^{-5}\ \text{T}} = 0{,}23\ \text{m}$$

Il solenoide si è allungato di 11 cm.

8 Il modulo del campo magnetico è

$$B = \frac{m_e v}{e r_e} = \frac{\left(9{,}11\times10^{-31}\ \text{kg}\right)\left(2{,}9\times10^{5}\ \text{m/s}\right)}{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(4{,}0\times10^{-5}\ \text{m}\right)} = 4{,}1\times10^{-2}\ \text{T}$$

Il raggio della traiettoria del protone quindi è

$$r_p = \frac{m_p v}{eB} = \frac{\left(1{,}673\times10^{-27}\ \text{kg}\right)\left(2{,}9\times10^{5}\ \text{m/s}\right)}{\left(1{,}6\times10^{-19}\ \text{C}\right)\left(4{,}1\times10^{-2}\ \text{T}\right)} = 7{,}4\times10^{-2}\ \text{m}$$

9 La componente del campo magnetico perpendicolare alla velocità è

$$B_\perp = \frac{F}{qv} = \frac{2{,}0\times10^{-4}\ \text{N}}{\left(5{,}3\times10^{-9}\ \text{C}\right)\left(7{,}9\times10^{5}\ \text{m/s}\right)} = 4{,}8\times10^{-2}\ \text{T}$$

Il modulo del campo magnetico quindi è

$$B = \sqrt{B_\parallel^2 + B_\perp^2} = \sqrt{\left(3{,}6\times10^{-2}\ \text{T}\right)^2 + \left(4{,}8\times10^{-2}\ \text{T}\right)^2} = 6{,}0\times10^{-2}\ \text{T}$$

10 Invertendo la legge di Biot-Savart si ottiene l'intensità di corrente iniziale:

$$i = \frac{Bd}{k_m} = \frac{\left(8{,}0\times10^{-7}\ \text{T}\right)\left(0{,}03\,\text{m}\right)}{2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2} = 0{,}12\ \text{A}$$

e quella finale:

$$i' = \frac{B'd'}{k_m} = \frac{\left(1{,}0\times10^{-6}\ \text{T}\right)\left(0{,}05\,\text{m}\right)}{2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2} = 0{,}25\ \text{A}$$

Quindi la corrente deve aumentare di $0{,}13\ \text{A}$.

11 Se si pone il pollice della mano destra nel verso della corrente di intensità i_1, le dita della mano chiusa a pugno, in corrispondenza del punto *P*, indicano un campo magnetico uscente dal foglio. La stessa cosa succede per la corrente dell'altro filo. I campi magnetici generati dalle due correnti in *P* sono quindi paralleli e hanno lo stesso verso.
Calcoliamo i moduli dei campi magnetici generati dalle due correnti nel punto *P*:

$$B_1 = k_m \frac{i_1}{d+r} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}27\ \text{A}}{0{,}09\ \text{m}} = 6{,}0\times10^{-7}\ \text{T}$$

$$B_2 = k_m \frac{i_2}{r} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0{,}12\ \text{A}}{0{,}03\ \text{m}} = 8{,}0\times10^{-7}\ \text{T}$$

Il modulo del campo magnetico totale in *P* è

$$B_{\text{tot}} = B_1 + B_2 = 6{,}0\times10^{-7}\ \text{T} + 8{,}0\times10^{-7}\ \text{T} = 1{,}4\times10^{-6}\ \text{T}$$

12 Con i dati del primo filo ricaviamo il modulo del campo magnetico:

$$B = \frac{F}{il} = \frac{7{,}0\times10^{-7}\ \text{N}}{\left(0{,}14\ \text{A}\right)\left(0{,}02\ \text{m}\right)} = 2{,}5\times10^{-4}\ \text{T}$$

Il modulo della forza subita dal secondo filo è

$$F = Bi'l' = \left(2{,}5\times10^{-4}\ \text{T}\right)\left(0{,}42\ \text{A}\right)\left(0{,}04\ \text{m}\right) = 4{,}2\times10^{-6}\ \text{N}$$

13 La componente del campo magnetico perpendicolare al filo è

$$B_\perp = \frac{F}{il} = \frac{1{,}2\times10^{-3}\ \text{N}}{\left(0{,}30\ \text{A}\right)\left(0{,}08\ \text{m}\right)} = 0{,}050\ \text{T} = 50\ \text{mT}$$

Dal momento che $B_\perp < B$, il filo non è in posizione perpendicolare al campo magnetico. La componente del campo magnetico parallela al filo è

$$B_\parallel = \sqrt{B^2 - {B_\perp}^2} = \sqrt{\left(0{,}075\ \text{T}\right)^2 - \left(0{,}050\ \text{T}\right)^2} = 0{,}056\ \text{T} = 56\ \text{mT}$$

La forza massima sul filo è

$$F_{\max} = Bil = \left(0{,}075\ \text{T}\right)\left(0{,}30\ \text{A}\right)\left(0{,}08\ \text{m}\right) = 1{,}8\times10^{-3}\ \text{N}$$

14 Nel lato della spira più vicino al filo la corrente scorre nello stesso verso che nel filo, quindi su questo lato il filo esercita una forza attrattiva. Nel lato opposto invece la corrente corre in verso opposto e quindi la forza esercitata dal filo è repulsiva. Calcoliamo i campi magnetici alle distanze dei due lati della spira:

$$B_1 = k_m \frac{i_1}{d} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0,40\,\text{A}}{0,05\ \text{m}} = 1,6\times10^{-6}\ \text{T}$$

$$B_2 = k_m \frac{i_2}{d+a} = \left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2\right)\frac{0,40\,\text{A}}{0,08\ \text{m}} = 1,0\times10^{-6}\ \text{T}$$

I moduli delle forze sui due lati sono

$$F_1 = B_1 i_2 a = \left(1,6\times10^{-6}\ \text{T}\right)\left(0,14\ \text{A}\right)\left(0,03\,\text{m}\right) = 6,7\times10^{-9}\ \text{N}$$

$$F_2 = B_2 i_2 a = \left(1,0\times10^{-6}\ \text{T}\right)\left(0,14\ \text{A}\right)\left(0,03\,\text{m}\right) = 4,2\times10^{-9}\ \text{N}$$

Il modulo della forza totale sui due lati è

$$F_{\text{tot}} = F_2 - F_1 = 6,7\times10^{-9}\ \text{N} - 4,2\times10^{-9}\ \text{N} = 2,5\times10^{-9}\ \text{N}$$

15 Uguagliamo i raggi delle due traiettorie:

$$r_p = r_\alpha \qquad \Rightarrow \qquad \frac{m_p v_p}{q_p B} = \frac{m_\alpha v_\alpha}{q_\alpha B}$$

Da questa uguaglianza si ricava il rapporto richiesto:

$$\frac{v_p}{v_\alpha} = \frac{m_\alpha q_p B}{m_p q_\alpha B} = \frac{m_\alpha e}{m_p\left(2e\right)} = \frac{m_\alpha}{2m_p} = \frac{6,645\times10^{-27}\ \text{kg}}{2\times1,673\times10^{-27}\ \text{kg}} = 2,0$$

Svolgimenti degli esercizi del capitolo 21

L'induzione elettromagnetica

RISPOSTE ALLE DOMANDE DELLA TEORIA

1. La corrente indotta

pag. 657

No, perché il flusso del campo magnetico attraverso la superficie della spira resta costante.

pag. 628

2. La forza elettromotrice indotta

pag. 658

$$1\ \text{Wb} = 1\ \text{T}\cdot\text{m}^2 = 1\frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\cancel{\text{m}}}\cdot\text{m}^{\cancel{2}} = 1\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{A}} = 1\frac{\text{J}}{\text{A}} \quad\Rightarrow\quad 1\frac{\text{Wb}}{\text{s}} = 1\frac{\text{J}}{\text{A}\cdot\text{s}} = 1\frac{\text{J}}{\text{C}} = 1\ \text{V}$$

3. Il verso della corrente indotta e la conservazione dell'energia

pag. 661

- Se dall'alto si avvicina alla spira il polo sud di un magnete, il campo magnetico sulla superficie della spira è rivolto verso l'alto e aumenta in intensità. Per contrastare la variazione di flusso, cioè creare un campo magnetico orientato verso il basso, la corrente indotta deve scorrere in verso orario (vista da sopra).
- Se si allontana dalla spira il polo nord del magnete, il campo magnetico sulla superficie è rivolto verso il basso e diminuisce in intensità. Anche in questo caso, per contrastare la variazione di flusso, la corrente indotta deve scorrere in verso orario.

6. Il trasformatore

pag. 667

Il rapporto tra il numero di spire del secondario e quello del primario è uguale al rapporto tra la tensione efficace nel secondario e quella nel primario ed è anche uguale al rapporto tra la corrente efficace nel primario e quella nel secondario. Quindi, la corrente efficace in uscita è 1/100 di quella in ingresso.

TEST

1 C
2 D
3 C
4 C, D
5 C
6 D
7 C
8 D
9 A
10 D

ESERCIZI

1. La corrente indotta

1 Non c'è corrente indotta perché il campo magnetico non varia nel tempo, se si considerano intervalli di tempo brevi.

2
- Spostare la spira, in modo da farla entrare e uscire dal campo magnetico.
- Ruotare la spira all'interno del campo magnetico.
- Variare l'intensità del campo magnetico mantenendo ferma la spira.
- Cambiare la forma della spira.

3 La corrente che attraversa il primo circuito passa da zero al valore massimo in un intervallo di tempo finito. In questo intervallo di tempo anche il campo magnetico generato dalla corrente cambia: questo induce una corrente nel circuito indotto, che se sufficientemente elevata fa accendere la lampadina.

4 Al polo Nord il campo magnetico terrestre ha direzione perpendicolare alla superficie: il flusso è massimo se la superficie del bracciale è perpendicolare al campo, e quindi parallelo alla superficie.

5 PROBLEMA SVOLTO

6 Nel primo caso il campo magnetico esce dalla faccia negativa della superficie, per cui il segno è negativo:

$$\Phi = -AB_{\perp} = -AB = -\left(4\times10^{-4}\ \text{m}^2\right)\left(2\times10^{-3}\ \text{T}\right) = -8\times10^{-7}\ \text{Wb}$$

Nel secondo caso:

$$\Phi = AB_{\perp} = \frac{AB}{\sqrt{2}} = \frac{\left(4\times10^{-4}\ \text{m}\right)^2\left(2\times10^{-3}\ \text{T}\right)}{\sqrt{2}} = 6\times10^{-7}\ \text{Wb}$$

7 $$\left|\vec{B}_{\perp}\right| = \frac{3{,}9\times10^{-6}\ \text{Wb}}{9{,}1\times10^{-4}\ \text{m}^2} = 4{,}3\ \text{mT}$$

8
- Nel circuito E, $\vec{B}$ esce dalla faccia negativa. Quindi il flusso è
$$\Phi_E = -BA_E = -\left(40\times10^{-3}\,\text{T}\right)\left(1{,}0\times10^{-2}\,\text{m}\right)^2 = -4{,}0\times10^{-6}\,\text{Wb}$$
- Anche nel circuito A il vettore $\vec{B}$ esce dalla faccia negativa:
$$\Phi_A = -BA_A = -B\left(16A_E\right) = 16\,\Phi_E$$
Nei circuiti C e D il campo esce dalla superficie positiva. Inoltre, i due circuiti hanno la stessa superficie:
$$\Phi_C = \Phi_D = BA_C = B\left(2A_E\right) = -2\Phi_E$$
Nel circuito B il flusso è dato dalla somma di due contributi opposti, quindi è nullo:
$$\Phi_B = -B\left(\frac{A_B}{2}\right) + B\left(\frac{A_B}{2}\right) = 0\,\text{Wb}$$

9 $$\Phi = NBA = (200)\left(4{,}0\times10^{-4}\ \text{T}\right)\pi\left(2{,}2\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2 = 1{,}2\times10^{-4}\ \text{Wb}$$

10 $$\Phi^{\max} = BS = (45\ \text{T})(0{,}052\ \text{m})^2 = 0{,}12\ \text{Wb}$$
$$\Phi_T^{\max} = B_T S = \left(40\times10^{-6}\ \text{T}\right)(0{,}052\ \text{m})^2 = 1{,}1\times10^{-7}\ \text{Wb}$$

11 $$A = l^2 = (0{,}10\ \text{m})^2 = 0{,}01\ \text{m}^2$$
$$\Phi = AB_\perp = AB\cos\alpha \quad\Rightarrow\quad B = \frac{\Phi}{A\cos\alpha} = \frac{7{,}5\times10^{-3}\ \text{Wb}}{\left(0{,}010\ \text{m}^2\right)\cos 45°} = 1{,}1\ \text{T}$$

12 N è il numero di spire della bobina: $A_1 = 2{,}0\times10^{-4}\ \text{m}^2$; $A = NA_1$.
Possiamo considerare il campo magnetico generato dalla bobina al suo interno perpendicolare alla superficie delle spire:
$$\Phi = AB_\perp \quad\Rightarrow\quad N = \frac{\Phi}{A_1 B} = \frac{1{,}0\ \text{Wb}}{\left(2{,}0\times10^{-4}\ \text{m}\right)^2(0{,}25\ \text{T})} = 2{,}0\times10^4$$

13 Sostituendo $B = 2\pi k_m \dfrac{Ni}{l}$ nella formula $\Phi = AB_\perp$, si ricava
$$NA_1B = 2\pi k_m \frac{N^2 A_1 i}{l} \quad\Rightarrow$$
$$N = \sqrt{\frac{\Delta l}{2\pi k_m A_1 i}} = \sqrt{\frac{\left(2{,}33\times10^{-4}\ \text{Wb}\right)(0{,}12\ \text{m})}{2\pi\left(2\times10^{-7}\ \text{N/A}\right)\left(1{,}1\times10^{-4}\ \text{m}^2\right)(0{,}090\ \text{A})}} = 1{,}5\times10^3$$

2. La forza elettromagnetica indotta

14 Puoi avvolgere il filo a formare una bobina con molti avvolgimenti (grande N) e farla entrare e uscire rapidamente dal campo magnetico (piccolo Δt).

15 $$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{10{,}5\ \text{Wb} - 3{,}1\ \text{Wb}}{20\,\text{s}} = 0{,}37\ \text{V}$$
$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{0{,}37\ \text{V}}{37\ \Omega} = 0{,}010\ \text{A}$$

16 Considerando positiva la faccia di colore giallo, la variazione di flusso corrisponde a due volte il valore del flusso iniziale, quindi

$$\Delta\Phi = \Phi(0,26\text{ s}) - \Phi(0\text{ s}) = (-AB) - AB = -2AB$$

Il segno meno non ha rilevanza al fine di calcolare l'intensità di corrente:

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2AB}{\Delta t}$$

$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{2AB}{R\Delta t} = \frac{2(1,0\times10^{-3}\text{ m}^2)}{(20\,\Omega)(0,26\text{ s})} = 5,0\times10^{-9}\text{ A}$$

17 Il valore della forza elettromotrice è $f_{em} = \dfrac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t} = \dfrac{7,3\times10^{-4}\text{ Wb}}{5,2\times10^{-3}\text{ s}} = 0,14\text{ V}$.

18
- $f_{em} = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \dfrac{\Delta\Phi}{f_{em}} = \dfrac{0,15\text{ Wb}}{6,0\text{ V}} = 25\text{ ms}$
- $\Delta t' = \dfrac{\Delta\Phi}{f_{\text{em}}'} = \dfrac{0,15\text{ Wb}}{220\text{ V}} = 0,68\text{ ms}$

19 La variazione del flusso del campo magnetico è $\Delta\Phi = 2BNS$. L'area della sezione della bobina si ricava come

$$S = \frac{\Delta\Phi}{2BN} = \frac{f_{em}\Delta t}{2BN} = \frac{(2,4\text{ V})(0,40\text{ s})}{2(120\times10^{-3}\text{ T})1400} = 2,9\times10^{-3}\text{ m}^2 = 29\text{ cm}^2$$

20 PROBLEMA MODELLO a pag. 680

21

$$A = nA_1 = 35\,\pi(2,0\times10^{-2}\text{ m})^2 = 4,4\times10^{-2}\text{ m}^2$$

$$\Delta\Phi = \Delta B\,A = (5,8\times10^{-3}\text{ T})(4,4\times10^{-2}\text{ m}^2) = 2,6\times10^{-4}\text{ Wb}$$

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2,6\times10^{-4}\text{ Wb}}{0,25\text{ s}} = 1,0\times10^{-3}\text{ V}$$

22

$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{NA_1B}{R\Delta t} \Rightarrow B = \frac{iR\Delta t}{NA_1} = \frac{(2,0\times10^{-3}\text{ A})(5\,\Omega)(10^{-2}\text{ s})}{(5\times10^2)(1,00\times10^{-2}\text{ m}^2)} = 2\times10^{-5}\text{ T}$$

quindi l'ordine di grandezza è 10^{-5}.

23

$$\Delta\Phi = iR\Delta t = (0,15\text{ A})(1,2\,\Omega)(0,30\text{ s}) = 0,054\text{ Wb}$$

$$A_1 = \frac{\Delta\Phi}{NB} = \frac{(0,054\text{ Wb})}{(200)(0,45\text{ T})} = 6,0\text{ cm}^2$$

24

$$B(0\text{ s}) = 0\text{ T}$$

$$B(150\text{ ms}) = 2\pi k_m \frac{N_s i_s}{l}$$

$$\Delta B = B(150\text{ ms}) - B(0\text{ s}) = 2\pi k_m \frac{N_s i_s}{l}$$

$$\Delta\Phi = A_b \Delta B = N_b A_1 2\pi k_m \frac{N_s i_s}{l} = 2\pi k_m \frac{N_b N_s A_1 i_s}{l}$$

$$i_b = \frac{f_{em}}{R} = \frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 2\pi k_m \frac{N_b N_s A_1 i_s}{Rl\Delta t}$$

$$i_b = \frac{2\pi(2\times10^{-7}\text{ N/A}^2)600(1,0\times10^4)(5,0\times10^{-4}\text{ m}^2)(0,25\text{)A}}{(150\,\Omega)(0,200\text{ m})(0,150\text{ s})} = 0,21\text{ mA}$$

3. Il verso della corrente indotta e la conservazione dell'energia

25
- Il campo indotto ha verso opposto a quello esterno e la corrente indotta ha verso antiorario.
- Se il campo magnetico diminuisce nel tempo, invece di aumentare, la corrente indotta ha verso orario e il campo indotto ha lo stesso verso di quello esterno.

26 Il campo magnetico indotto ha verso uscente dal foglio, perciò la corrente indotta è in senso antiorario.

27
- Per la legge di Lenz, la corrente indotta nell'anello genera un campo magnetico che tende a opporsi al moto del magnete, causa della variazione di flusso. Questo vale a prescindere dalla posizione del magnete.
- Nel secondo caso la forza elettromotrice indotta non genera nessuna corrente perché il circuito è aperto. Perciò il magnete cade imperturbato.

28
- L'intensità della corrente indotta è la stessa nei due anellini e si calcola come

$$I = \frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{1}{R}\frac{2BS}{\Delta t} = \frac{1}{R}\frac{2k_m iS}{d\Delta t} =$$

$$= \frac{1}{1,3\,\Omega}\frac{2\times(2\times10^{-7}\text{ N/A}^2)(3,8\text{ A})(0,80\times10^{-6}\text{ m}^2)}{(4,0\times10^{-3}\text{ m})(0,500\text{ s})} = 4,7\times10^{-10}\text{ A} = 0,47\text{ nA}$$

  Nell'anellino di destra la corrente circola in senso antiorario, in quello di sinistra in senso orario.
- Il campo magnetico indotto è perpendicolare alla superficie ed è uscente dal foglio per l'anellino di destra, entrante per l'anellino di sinistra.

29
- $$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{A\Delta B}{\Delta t} = \frac{(31\times10^{-4}\text{ m}^2)(0,18\text{ T})}{1,0\text{ s}} = 5,6\times10^{-4}\text{ V}$$
- Il campo magnetico indotto è perpendicolare alla spira, diretto da destra verso sinistra.
- La corrente indotta ha verso orario visto da destra.

30 Guarda come si risolve: inquadra il codice a pag. 682.

31 da 0 ms a 4 ms: $|i| = \left|\frac{f_{em}}{R}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}\right| = \left|\frac{2\,\text{Wb} - 1\,\text{Wb}}{(500\,\Omega)(4\times10^{-3}\,\text{s} - 0\,\text{s})}\right| = 5\times10^{-1}\ \text{A}$

da 4 ms a 10 ms: $|i| = \left|\frac{f_{em}}{R}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}\right| = \left|\frac{2\,\text{Wb} - 2\,\text{Wb}}{(500\,\Omega)(10\times10^{-3}\,\text{s} - 4\,\text{s})}\right| = 0\,\text{A}$

da 10 ms a 2 ms: $|i| = \left|\frac{f_{em}}{R}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}\right| = \left|\frac{0\,\text{Wb} - 2\,\text{Wb}}{(500\,\Omega)(12\times10^{-3}\,\text{s} - 10\times10^{-3}\,\text{s})}\right| = 2\,\text{A}$

4. L'autoinduzione

32 È necessario più tempo, perché la bobina aumenta l'induttanza del circuito che, in questo caso, rallenta la crescita della corrente nel circuito.

33 No, L dipende solo dal numero di spire della bobina, dalla sezione della bobina e da fattori di tipo geometrico.

34 $\Phi = Li = (7{,}3\times10^{-5}\ \text{H})(3{,}4\ \text{A}) = 2{,}5\times10^{-4}\ \text{Wb}$

35 $L = \frac{\Phi}{i} = \frac{8{,}0\times10^{-5}\ \text{Wb}}{8{,}0\times10^{-1}\ \text{A}} = 1{,}0\times10^{-4}\ \text{H}$

36 PROBLEMA SVOLTO

37 $f_{em} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = -(5{,}5\times10^{-1}\ \text{H})\left(\frac{5{,}0\times10^{-1}\ \text{A}}{4{,}0\ \text{s}}\right) = -6{,}9\times10^{-2}\ \text{V}$

38 $\Delta t = \frac{L\Delta i}{f_{em}} = \frac{L\times(i/2)}{f_{em}} = \frac{(40\times10^{-3}\ \text{H})(0{,}180\ \text{A})}{2\times500\,\text{V}} = 7{,}2\ \mu\text{s}$

5. La corrente alternata

39 L'apparato descritto funzionerebbe esattamente come un normale alternatore ma non sarebbe conveniente, perché far ruotare i magneti, normalmente di massa maggiore rispetto alla spira, richiede più energia che far ruotare la spira.

40 La dinamo trasforma parte dell'energia cinetica della ruota in energia elettrica: al crescere dell'energia cinetica, cresce anche l'energia elettrica generata.
La bobina all'interno della dinamo è messa in rotazione dalla ruota. Al crescere della velocità angolare di rotazione, la bobina sperimenta la stessa variazione di flusso in un tempo inferiore, e di conseguenza la forza elettromagnetica indotta cresce.

41 $V_{eff} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = \frac{120\ \text{V}}{\sqrt{2}} = 84{,}9\ \text{V}$

42 $i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{|-0{,}51\ \text{A}|}{\sqrt{2}} = 0{,}36\ \text{A}$

43 $P = f_{eff}\,i_{eff} = (55{,}0\,\text{V})(0{,}122\ \text{A}) = 6{,}71\ \text{W}$

44 PROBLEMA SVOLTO

45

- $i_{eff} = \frac{P}{f_{eff}} = \frac{200\ \text{W}}{110\ \text{V}} = 1{,}82\ \text{A}$
- $R = \frac{f_{eff}}{i_{eff}} = \frac{110\ \text{V}}{1{,}82\ \text{A}} = 60{,}4\ \Omega$

46

- $i_{eff} = \frac{i}{\sqrt{2}} = \frac{0{,}300\ \text{A}}{\sqrt{2}} = 0{,}212\ \text{A} = 212\ \text{mA}$
- $P = Ri_{eff}^2 = (150\ \Omega)(212\times10^{-3}\ \text{A})^2 = 6{,}74\ \text{W}$
- $f_{eff} = \frac{P}{i_{eff}} = \frac{6{,}74\ \text{W}}{0{,}212\ \text{A}} = 31{,}8\ \text{V}$
- $f_0 = i_0 R = (300{,}0\times10^{-3}\ \text{A})(150{,}0\ \Omega) = 45{,}0\ \text{V}$

47

- Il valore efficace si calcola come $i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{1{,}13\,\text{A}}{\sqrt{2}} = 0{,}799\ \text{A}$.
- La potenza dissipata vale $P = Ri_{eff}{}^2 = (120\,\Omega)(0{,}799\,\text{A})^2 = 76{,}6\ \text{W}$.

48

- Il flusso vale, al massimo $\Phi_{\max} = BS = (0{,}80\,\text{T})(0{,}12\,\text{m})^2 = 0{,}0115\ \text{Wb} \simeq 12\ \text{mWb}$.
- La variazione della tensione segue la variazione del flusso del campo magnetico attraverso la spira. Quando la spira è ruotata di 90°, cioè dopo ¼ di periodo, la tensione passa dal valore nullo al valore massimo. Quindi
$\Delta t = \frac{T}{4} = \frac{2\pi}{4\omega} = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi}{2\times520\,\text{rad/s}} = 3{,}02\ \text{ms}$.
- La frequenza è la stessa della rotazione della spira: $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{520\ \text{rad/s}}{2\pi} = 82{,}76\ \text{Hz} \simeq 82{,}8\ \text{Hz}$.

49

- $i_{eff} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{E}{\Delta t\times R}} = \sqrt{\frac{54\times10^3\ \text{J}}{(5{,}0\times60\,\text{s})(60\times10^3\ \Omega)}} = 55\ \text{mA}$
- Il periodo della corrente è $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50}\ \text{s} = 20\ \text{ms}$.

L'energia dissipata in un periodo è $E = PT = \frac{E}{\Delta t}T = \frac{54\times10^3\,\text{J}}{5{,}0\times60\,\text{s}}(0{,}020\,\text{s}) = 3{,}6\ \text{J}$.

50

- Nel caso di resistori in parallelo si ha
$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{4}{R}$; $P = R_{\text{eq}}i_{eff}^2 = \frac{V_{eff}^2}{R_{eq}} = 4\frac{V_{eff}^2}{R}$
Nel caso di resistori in serie si ha
$R_{\text{eq}} = 4R$; $P = R_{\text{eq}}i_{eff}^2 = \frac{V_{eff}^2}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{4}\frac{V_{eff}^2}{R}$
Per massimizzare l'energia dissipata per effetto Joule, i resistori vanno collegati in parallelo, dato che, in questo modo, la potenza dissipata è sedici volte maggiore del caso in serie.
- $i_0 = \sqrt{2}\,i_{eff} = \sqrt{2}\frac{V_{eff}}{R_{\text{eq}}} = 4\sqrt{2}\frac{V_{eff}}{R} = (4\sqrt{2})\frac{230\ \text{V}}{250\ \Omega} = 5{,}20\ \text{A}$

$P = 4\frac{V_{eff}^2}{R} = 4\times\frac{(230\ \text{V})^2}{250\ \Omega} = 846\ \text{W}$

51
- $i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{1{,}01\ \text{A}}{\sqrt{2}} = 0{,}714\ \text{A}$
- $P = Ri_{eff}^2 = (430\ \Omega)(0{,}714\ \text{A})^2 = 219\ \text{W}$
- $f_0 = i_0 R = (1{,}01\ \text{A})(430\ \Omega) = 434\ \text{V}$

6. Il trasformatore

52 Indichiamo con V_{1eff} e V_{2eff} rispettivamente la tensione efficace in entrata e quella in uscita. Il rapporto di trasformazione è dato da:

$N_2 : N1 = V_{2eff} : V_{1eff}$

Se ad esempio la tensione in entrata è 230 V e quella in uscita 5,5 V, allora il rapporto di trasformazione è

5,5 V : 230 V = 1 : 42.

53 La potenza dissipata decresce con il quadrato dell'intensità di corrente, perciò si riduce di 16 volte.

54 $$n_2 = \frac{V_{2eff}}{V_{1eff}} N_1 = \frac{4{,}6\ \text{V}}{230\ \text{V}} \times 900 = 18$$

55 $$\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_{2eff}}{V_{1eff}} = 38 = 38:1$$

$$i_{2eff} = \frac{V_{1eff}}{V_{2eff}} i_{1eff} = \frac{n_1}{n_2} i_{1eff} = \frac{1{,}0 \times 10^3\ \text{A}}{38} = 26\ \text{A}$$

56 $$n_2 = \frac{V_{2eff}}{V_{1eff}} N_1 = \frac{9{,}2\ \text{V}}{230\ \text{V}} \times 650 = 26$$

57 $$n_1 = \frac{V_{1eff}}{V_{2eff}} N_2 = \frac{2700\ \text{V}}{9000\ \text{V}} \times 1000 = 300$$

58 $$V_{2eff} = \frac{N_2}{N_1} V_{1eff} = \frac{400}{900}(230\ \text{V}) = 102\ \text{V}$$

59 $$f_{2eff} = f_{1eff} \frac{N_2}{N_1} = (230\,\text{V}) \frac{22}{403} = 12{,}6\ \text{V}$$

60 $$i_{1eff} = \frac{V_{2eff}}{V_{1eff}} i_{2eff} = \frac{100\ \text{kV}}{380\ \text{kV}} \times 120\ \text{A} = 31{,}6\ \text{A}$$

61 $$V_{2eff} = \frac{V_{20}}{\sqrt{2}} = \frac{i_{20} R}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_{2eff}}{V_{1eff}} = \frac{i_{20} R}{\sqrt{2}\, V_{1eff}} = \frac{(2{,}5 \times 10^{-3}\ \text{A})(200\ \Omega)}{\sqrt{2} \times 230\ \text{V}} = 1{,}537 \times 10^{-3}$$

Quindi, il rapporto di trasformazione adeguato è 1:650.

62 $f_{2eff} = f_{1eff}\dfrac{N_2}{N_1}$

$\dfrac{i_{2eff}}{i_{1eff}} = \dfrac{f_{1eff}}{f_{2eff}}$

$i_{2eff} = i_{1eff}\dfrac{N_1}{N_2} = (15{,}0\ \text{A})\dfrac{140}{660} = 3{,}18\ \text{A}$

63
- $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{f_{1eff}}{f_{2eff}} = \dfrac{230\ \text{V}}{120\ \text{V}} = 1{,}92$
- $i_{1eff} = \dfrac{P}{f_{1eff}} = \dfrac{1{,}50\times10^3\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 6{,}52\ \text{A}$
- $i_{2eff} = \dfrac{P}{f_{2eff}} = \dfrac{1{,}50\times10^3\ \text{W}}{120\ \text{V}} = 12{,}5\ \text{A}$

64
- $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{f_{1eff}}{f_{2eff}} = \dfrac{440\ \text{V}}{15{,}0\times10^3\ \text{V}} = 0{,}0293$
- $i_{1eff} = \dfrac{P}{f_{1eff}} = \dfrac{4{,}98\times10^3\ \text{W}}{440\ \text{V}} = 11{,}3\ \text{A}$

$i_{1eff} = \dfrac{P}{f_{2eff}} = \dfrac{4{,}98\times10^3\ \text{W}}{15{,}0\times10^3\ \text{V}} = 0{,}332\ \text{A}$

7. Le onde elettromagnetiche

65 Un'onda elettromagnetica continua a propagarsi anche quando la carica che l'ha generata smette di muoversi (per esempio a causa della morte della stella). Inoltre, la luce non ha velocità infinita, quindi la luce proveniente da galassie lontane viene rilevata dai nostri telescopi molti anni dopo che è stata emessa, anche quando il corpo celeste che l'ha irraggiata ha cessato di esistere.

66 Sì. Tuttavia, non si percepiscono gli effetti della sua presenza, in quanto non si può verificare il moto delle cariche della corrente indotta al suo interno.

67 Falso. Le onde sonore sono longitudinali (cioè gli elementi del mezzo materiale si spostano parallelamente al moto dell'onda). Invece le onde elettromagnetiche sono trasversali (i campi elettrico e magnetico che variano oscillano perpendicolarmente allo spostamento dell'onda). Inoltre, le onde sonore sono onde meccaniche (richiedono un mezzo materiale per potersi propagare) mentre le onde elettromagnetiche si propagano anche nel vuoto.

68

	CARICHE FERME	CARICHE IN MOTO	UN CAMPO MAGNETICO VARIABILE	UN CAMPO ELETTRICO VARIABILE
Un campo elettrico è generato da	sì	sì	sì	no
Un campo magnetico è generato da	no	sì	no	sì

69 ■ $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{98,6\times10^{6}\ \text{Hz}} = 1,01\times10^{-8}\ \text{s}$

■ $\lambda = cT = \left(3,00\times10^{8}\ \text{m/s}\right)\left(1,01\times10^{-8}\ \text{s}\right) = 3,04\ \text{m}$

70 La frequenza è data da $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3,00\times10^{8}\ \text{m/s}}{86\,\text{m}} = 3,5\times10^{6}\ \text{Hz}$.

71 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,800\ \mu\text{s}} = 1,25\ \text{MHz}$

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00\times10^{8}\ \text{m/s}}{1,25\times10^{6}\ \text{Hz}} = 240\ \text{m}$

72 $E = cB = \left(3,0\times10^{8}\ \text{m/s}\right)\left(15\times10^{-9}\ \text{T}\right) \cong 4,5\ \text{N/C}$

73 Sì, in quanto la variazione dell'intensità del campo elettrico (sia in aumento che in diminuzione) all'interno del condensatore genera anche una corrente, responsabile della presenza del campo magnetico.

74 Le onde radio si muovono alla velocità della luce, che in aria può essere approssimata a quella del vuoto. Il tempo impiegato dal segnale è

$\Delta t = \frac{d}{c} = \frac{1,8\times10^{6}\ \text{m}}{3,00\times10^{8}\ \text{m/s}} = 6,0\times10^{-3}\ \text{s}$

75 PROBLEMA SVOLTO

76 $v = f\lambda = \left(2,79\times10^{14}\ \text{Hz}\right)\left(7,12\times10^{-7}\ \text{m}\right) = 1,99\times10^{8}\ \text{m/s}$

77 ■ Il modulo del campo elettrico è
$E = cB = \left(3,00\times10^{8}\ \text{m/s}\right)\left(1,2\times10^{-8}\ \text{T}\right) = 3,6\ \text{V/m}$

■ Il campo elettrico ha la direzione e il verso del semiasse z negativo.

78 Da $v = f\lambda$, se cambia la velocità la lunghezza d'onda deve cambiare in modo che la frequenza resti costante. Cioè:

$f = \frac{v_i}{\lambda_i} = \frac{v_f}{\lambda_f} \Rightarrow \frac{\lambda_f}{\lambda_i} = \frac{v_f}{v_i} = \frac{(5/6)c}{c} = \frac{5}{6}$

La lunghezza d'onda finale è $\lambda_f = (5/6)\,\lambda_i$.

8. Lo spettro elettromagnetico

79 Raggi gamma, raggi X, ultravioletti, visibile, infrarossi, microonde e onde radio.

80 I visori a infrarossi permettono di vedere al buio perché, anche in assenza di luce visibile, i corpi con temperatura maggiore di quella ambientale emettono radiazioni infrarosse e possono essere «visti» con un sensore che registra queste radiazioni e le trasforma in luce visibile.

81 Le radiazioni ultraviolette (soprattutto UV-C e UV-B) sono molto dannose per la vita e quindi, dopo che si è dimostrato che l'utilizzo diffuso di tali composti chimici stava causando seri danni allo strato di ozono dell'atmosfera terrestre («buco nell'ozono»), si è deciso di ridurne drasticamente l'utilizzo.

82 La radiazione visibile è compresa tra $4,00\times10^{-7}\ \text{m}$ e $7,00\times10^{-7}\ \text{m}$.

83 $f = \frac{c}{\lambda} = 3\times10^{13}\ \text{Hz}$

84 D

85 La lunghezza d'onda del segnale emesso è $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00\times10^8 \text{ m/s}}{850\times10^3 \text{ Hz}} = 353 \text{ m}$.

L'altezza dell'antenna vale $h = \frac{\lambda}{4} = \frac{353 \text{ m}}{4} = 88 \text{ m}$.

86
- $f_{em} = iR = (0,50 \text{ A})(4,03\times10^{-3}\ \Omega) = 2,0 \text{ mV}$
- $f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta\Phi = f_{em}\Delta t = (2,0 \text{ mV})(2,0 \text{ s}) = 4,0 \text{ mWb}$
- $\Delta\Phi = A\Delta B = \pi r^2 \Delta B \Rightarrow \Delta B = \frac{\Delta\Phi}{\pi r^2} = \frac{4,0\times10^{-3} \text{ Wb}}{\pi(0,120 \text{ m})^2} = 88 \text{ mT}$

87
- $\Phi_i = AB_i = N\pi r^2 B_i = 200\pi(0,050 \text{ m})^2(0,14 \text{ T}) = 0,22 \text{ Wb}$
- $\phi_f = \Delta\phi + \phi_i = 2,2 \text{ Wb} + 0,22 \text{ Wb} = 2,4 \text{ Wb}$
- $B_f = \Delta B + B_i = 1,4 \text{ T} + 0,14 \text{ T} = 1,5 \text{ T}$

88
- $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00\times10^8 \text{ m/s}}{6,38\times10^7 \text{ Hz}} = 4,70 \text{ m}$
- $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00\times10^8 \text{ m/s}}{1,23\times10^{20} \text{ Hz}} = 2,44\times10^{-12} \text{ m}$

89
- $i_{eff} = \frac{V_{eff}}{R} = \frac{230 \text{ V}}{200\ \Omega} = 1,15 \text{ A}$
- $\Delta E = P\Delta t = Ri_{eff}^2\Delta t = (200\ \Omega)(1,15 \text{ A})^2(600 \text{ s}) = 159 \text{ kJ}$

90
- La potenza dissipata nel trasporto è $P = Ri_{eff}^2$. Calcoliamo il rapporto tra la potenza dissipata con e senza il trasformatore:
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{Ri_{2eff}^2}{Ri_{1eff}^2} = \frac{i_{2eff}^2}{i_{1eff}^2} = \frac{V_{1eff}^2}{V_{2eff}^2} = \frac{(15,0 \text{ kV})^2}{(220 \text{ kV})^2} = 1:215$$
- $n_1 = \frac{V_1}{V_2}n_2 = \frac{15,0 \text{ kV}}{220 \text{ kV}}\times 6600 = 450$

91 $B = \frac{E}{c} = \frac{0,24 \text{ V/m}}{3,0\times10^8 \text{ m/s}} = 8,0\times10^{-10} \text{ T}$

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3,33\times10^{-6} \text{ Hz}} = 300 \text{ kHz}$

92
- $f_{em} = iR = (0,10 \text{ A})(20\ \Omega) = 2,0 \text{ V}$
- $\Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i = A_f B - A_i B = (A_f - A_i)B = (290-150)\text{cm}^2 \times 2,5 \text{ T} = 35 \text{ mWb}$
- $f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{f_{em}} = \frac{35\times10^{-3} \text{ Wb}}{2,0 \text{ V}} = 18 \text{ ms}$

PREPARATI PER LA VERIFICA

1 D

2 D

3 A

4 B

5 $i = \dfrac{\Phi}{L} = \dfrac{5{,}1\times10^{-4}\ \text{Wb}}{3{,}0\times10^{-3}\ \text{H}} = 0{,}17\ \text{A}$

6 $\Delta\Phi = f_{em}\Delta t$

$\Delta\Phi = A\Delta B = nA_1\Delta B$

$$n = \frac{f_{em}\Delta t}{A_1\Delta B} = \frac{(0{,}450\ \text{V})(0{,}250\ \text{s})}{\pi\left(1{,}00\times10^{-2}\ \text{m}\right)^2\left(90{,}0\times10^{-3}\ \text{T}\right)} = 3980$$

7
- $i_{eff} = \dfrac{i_0}{\sqrt{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}\dfrac{200\ \text{V}}{250\ \text{V}} = 0{,}566\ \text{A}$
- $P = i_{eff} f_{eff} = (0{,}566\ \text{A})\dfrac{200\ \text{V}}{\sqrt{2}} = 80{,}0\ \text{W}$

8
- $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{3{,}76\ \text{s}} = 0{,}266\ \text{Hz}$
- $1\ \text{anno-luce} = \left(3{,}0\times10^{8}\ \text{m/s}\right)\left(31{,}5\times10^{6}\ \text{s}\right) = 9{,}46\times10^{15}\ \text{m}$

  quindi la distanza in metri percorsa da un'onda emessa a 6500 anni-luce di distanza è pari a

  $s = 6500\times\left(9{,}46\times10^{15}\ \text{m}\right) = 6{,}15\times10^{19}\ \text{m}$

  Il tempo impiegato dall'onda per raggiungere il rivelatore è dato da

  $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{c} = \dfrac{6{,}15\times10^{19}\ \text{m}}{3{,}00\times10^{8}\ \text{m/s}} = 2{,}05\times10^{11}\ \text{s}$

ALLENATI CON ALTRI 15 ESERCIZI

1 Le linee di campo magnetico sono dirette verso il basso e l'anello si muove verso una regione con linee di campo più fitte. Il flusso del campo magnetico attraverso la spira cresce nel tempo e ciò induce una corrente che crea un campo diretto verso l'alto. Osservando la spira dall'alto, la corrente indotta scorre in verso antiorario.

2 Il massimo valore della tensione è $f_{max} = f_{eff}\sqrt{2} = 24\,\text{V} \times \sqrt{2} = 34\,\text{V}$.

Il massimo valore dell'intensità di corrente è $i_{max} = \dfrac{f_{max}}{R} = \dfrac{34\,\text{V}}{850\,\Omega} = 40\,\text{mA}$.

3
- Il modulo del campo magnetico è $B = \dfrac{E}{c} = \dfrac{6,6\ \text{V/m}}{3,0\times10^{8}\ \text{m/s}} = 2,2\times10^{-8}\ \text{T}$.
- Il campo magnetico è nella direzione y. Usando la regola della mano destra, si deduce che il campo magnetico è nel verso negativo.

4 Per la luce violetta, di lunghezza d'onda $\lambda_1 = 380\,\text{nm}$, la frequenza è

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3,0\times10^{8}\ \text{m/s}}{3,8\times10^{-7}\ \text{m}} = 7,9\times10^{14}\ \text{Hz}$$

Per la luce rossa, di lunghezza d'onda $\lambda_2 = 750\,\text{nm}$, la frequenza è

$$f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3,0\times10^{8}\ \text{m/s}}{7,5\times10^{-7}\ \text{m}} = 4,0\times10^{14}\ \text{Hz}$$

L'ampiezza dell'intervallo delle frequenze della radiazione visibile quindi è
$\Delta f = f_1 - f_2 = 3,9\times10^{14}\ \text{Hz}$

5 La lunghezza dei lati obliqui del triangolo è $a = \dfrac{l-b}{2} = \dfrac{36\,\text{cm} - 10\,\text{cm}}{2} = 13\,\text{cm}$. Con il teorema di Pitagora ricaviamo l'altezza del triangolo:

$$h = \sqrt{a^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{(13\,\text{cm})^2 - (5,0\,\text{cm})^2} = 12\,\text{cm}$$

L'area del triangolo, quindi, è $A = \dfrac{bh}{2} = \dfrac{10\ \text{cm}\times12\ \text{cm}}{2} = 60\,\text{cm}^2$. Il flusso del campo magnetico attraverso il triangolo è
$\Phi = BA = (30\times10^{-3}\ \text{T})(6,0\times10^{-3}\ \text{m}^2) = 1,8\times10^{-4}\ \text{Wb}$

6 L'area dell'anello è $A = \pi r^2 = \pi(2,7\times10^{-2}\ \text{m})^2 = 2,3\times10^{-3}\ \text{m}^2$.

Il modulo della forza elettromotrice indotta dalla variazione del flusso del campo magnetico attraverso la superficie dell'anello è

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{A(B_2 - B_1)}{\Delta t} = \frac{(2,3\times10^{-3}\ \text{m}^2)(56\times10^{-3}\ \text{T})}{0,2\,\text{s}} = 6,4\times10^{-4}\ \text{V}$$

Il valore medio dell'intensità di corrente è $i = \dfrac{f_{em}}{R} = \dfrac{6,4\times10^{-4}\ \text{V}}{4,0\ \Omega} = 1,6\times10^{-4}\ \text{A}$.

7 La variazione del flusso del campo magnetico è $\Delta\Phi = f_{em}\Delta t = (0,18\ \text{V})(0,025\ \text{s}) = 4,5\times10^{-3}\ \text{Wb}$.

Il valore iniziale del flusso del campo magnetico, quindi, è $\Phi_1 = \Phi_2 - \Delta\Phi = 3,9\times10^{-3}\ \text{Wb}$.

8 Il campo magnetico nel solenoide è $B = 2\pi k_m \frac{N}{l} i$. Il solenoide ha N spire, ciascuna di area $A = \pi r^2$. Il flusso del campo magnetico attraverso il solenoide, quindi, è $\Phi = NAB = N\pi r^2 2\pi k_m \frac{N}{l} i = 2\pi^2 k_m r^2 \frac{N^2}{l} i$.

L'induttanza è $L = \frac{\Phi}{i} = 2\pi^2 k_m r^2 \frac{N^2}{l}$.

9 La potenza con cui l'energia viene dissipata è $P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{9,7\times10^3 \text{ J}}{110 \text{ s}} = 88\,\text{W}$. Il valore efficace della tensione è

$f_{eff} = \sqrt{PR} = \sqrt{(88 \text{ W})(550\ \Omega)} = 220\,\text{V}$

10 La tensione in uscita del circuito secondario è $f_{2,eff} = iR = (0,040\,\text{A})(1200\ \Omega) = 48$ V. Il numero di spire del secondario quindi dev'essere $N_2 = \frac{f_{2,eff}}{f_{1,eff}} N_1 = \frac{48\,\text{V}}{230\,\text{V}} \times 460 = 96$.

11 L'area di una spira è $A = \pi r^2 = \pi\left(2,4\times10^{-2} \text{ m}\right)^2 = 1,8\times10^{-3} \text{ m}^2$. Il campo magnetico dentro il solenoide è

$B = \frac{\Phi}{NA} = \frac{9,8\times10^{-5} \text{ Wb}}{200\times1,8\times10^{-3} \text{ m}^2} = 2,7\times10^{-4}$ T. L'intensità della corrente nel solenoide è

$i = \frac{Bl}{2\pi k_m N} = \frac{2,7\times10^{-4} \text{ T}\times0,13 \text{ m}}{2\pi\left(2\times10^{-7} \text{ N/A}^2\right)\times200} = 140\,\text{mA}$.

12
- La frequenza dell'onda è $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,7\times10^{-13} \text{ s}} = 3,7\times10^{12}$ Hz.

  La sua lunghezza d'onda è $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,0\times10^8 \text{ m/s}}{3,7\times10^{12} \text{ Hz}} = 8,1\times10^{-5}$ m.
- Si tratta quindi di radiazione infrarossa.
- Il massimo valore del modulo del campo elettrico dell'onda è
  $E = cB = \left(3,0\times10^8 \text{ m/s}\right)\left(4,67\times10^{-9} \text{ T}\right) = 1,4$ V/m

13 La tensione nel secondario è $f_2 = \frac{N_2}{N_1} f_1 = 0,2\times230\,\text{V} = 46\,\text{V}$. La potenza nel circuito primario è

$P_1 = f_1 i_1 = (230\,\text{V})(0,40\,\text{A}) = 92\,\text{W}$

Analogamente, la potenza nel circuito secondario è

$P_2 = f_2 i_2 = (46\,\text{V})(1,96\,\text{A}) = 90\,\text{W}$

Dal momento che la potenza nel secondario è inferiore a quella del primario, il trasformatore dissipa energia. La percentuale della potenza dissipata, e quindi dell'energia dissipata, è

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} = \frac{2,0\,\text{W}}{92\,\text{W}} = 0,022 \qquad \Rightarrow \qquad 2,2\%$$

14 Il valore dell'induttanza è $L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta i} = \frac{1,6\times10^{-4} \text{ Wb}}{80,0 \text{ mA}} = 2,0$ mH. Invertendo la relazione tra corrente e flusso, ricaviamo l'intensità di corrente richiesta: $i = \frac{\Phi}{L} = \frac{1,5\times10^{-3} \text{ Wb}}{2,0\times10^{-3} \text{ H}} = 0,75\,\text{A}$.

15

- La barra e la guida formano un circuito di forma rettangolare, le cui basi diminuiscono in lunghezza nel tempo. Poiché cambia l'area del circuito, cambia anche il flusso del campo magnetico che lo attraversa quindi, per la legge di Faraday-Neumann, si genera una corrente indotta. Il verso della corrente è determinato dalla legge di Lenz: poiché il flusso del campo magnetico è uscente dal paino della figura e diminuisce nel tempo, serve una corrente in verso antiorario che generi un campo magnetico uscente dal piano per compensare la variazione del flusso.
- In 2,0 s la barra si sposta di un tratto $\Delta s = v\Delta t = (0{,}10\ \text{m/s})(2{,}0\ \text{s}) = 0{,}20\ \text{m}$, quindi la variazione dell'area del circuito è $\Delta A = l\Delta s = (0{,}40\ \text{m})(0{,}20\ \text{m}) = 8{,}0\times10^{-2}\ \text{m}^2$. La variazione del flusso del campo magnetico attraverso la superficie del circuito è $\Delta\Phi = B\Delta A = (8{,}0\times10^{-2}\ \text{m}^2)(0{,}45\ \text{T}) = 3{,}6\times10^{-2}\ \text{Wb}$.
- Il modulo della forza elettromotrice indotta è $f_{em} = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{3{,}6\times10^{-2}\ \text{Wb}}{2{,}0\,\text{s}} = 18\,\text{mV}$. L'intensità della corrente indotta è $i = \dfrac{f_{em}}{R} = \dfrac{18\ \text{mV}}{4{,}0\ \Omega} = 4{,}5\,\text{mA}$.

Svolgimenti degli approfondimenti delle UdA

QUANTO IDROGENO C'È

Esercizio a pag. H1

- $D = m_n - m_p = 1{,}6749 \times 10^{-27}\ \text{kg} - 1{,}6726 \times 10^{-27}\ \text{kg} = 0{,}0023 \times 10^{-27}\ \text{kg} = 2{,}3 \times 10^{-30}\ \text{kg}$
- $R = \dfrac{D}{m_n} = \dfrac{2{,}3 \times 10^{-30}\ \text{kg}}{1{,}6749 \times 10^{-27}\ \text{kg}} = 1{,}4 \times 10^{-3}$
- $R_{\%} = R \times 100\% = 1{,}4 \times 10^{-3} \times 100\% = 0{,}14\%$
- Dividiamo D per la massa dell'elettrone e troviamo
  $\dfrac{D}{m_e} = \dfrac{2{,}3 \times 10^{-30}\ \text{kg}}{9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}} = 2{,}5$

Esercizio a pag. H3

- $N = \dfrac{M_U}{m} = \dfrac{1{,}5 \times 10^{53}\ \text{kg}}{1{,}67 \times 10^{-27}\ \text{kg}} = 9{,}0 \times 10^{79}$
- La massa di idrogeno contenuta nell'universo è $m_H = \dfrac{3}{4} M_U = \dfrac{3}{4} \times 1{,}5 \times 10^{53}\ \text{kg} = 1{,}1 \times 10^{53}\ \text{kg}$.
- Il volume dell'universo osservabile è $V_U = \dfrac{4}{3}\pi R_U^3 = \dfrac{4}{3}\pi\left(4{,}4 \times 10^{26}\ \text{m}\right)^3 = 3{,}6 \times 10^{80}\ \text{m}^3$.
- $\dfrac{N}{V_U} = \dfrac{9{,}0 \times 10^{79}}{3{,}6 \times 10^{80}\ \text{m}^3} = 0{,}25\ \dfrac{\text{protoni o neutroni}}{\text{m}^3}$

Esercizio a pag. H4

- Poiché il Sole è composto al 73% da idrogeno, si ha $M_{\text{H}} = 0{,}73 M_{\odot} = 0{,}73 \times 2{,}0 \times 10^{30}\ \text{kg} = 1{,}5 \times 10^{30}\ \text{kg}$.
- Moltiplichiamo la massa in kilogrammi che il Sole converte ogni secondo per il numero di secondi contenuti in un anno:
  $M = \left(6{,}0 \times 10^{11}\ \text{kg}\right)\left(3{,}156 \times 10^{7}\ \text{s}\right) = 1{,}9 \times 10^{19}\ \text{kg}$
- Il numero di eventi di fusione al secondo è uguale al rapporto tra l'energia totale emessa dal Sole e quella fornita da un singolo evento di fusione. Quindi:
  $N_{\text{fusioni}} = \dfrac{E_{\text{Sole}}}{E_1} = \dfrac{3{,}8 \times 10^{26}\ \text{J}}{4{,}3 \times 10^{-12}\ \text{J}} = 8{,}8 \times 10^{37}$
- Esprimendo la potenza di 10 con un esponente multiplo intero di 9 (1 miliardo = 10^9), si ha $N_{\text{fusioni}} = 88 \times 10^{36}$. Poiché $36 : 9 = 4$, ogni secondo nel Sole avvengono 88 miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di eventi di fusione.

COMPITI
APPROFONDIMENTI DELLE UDA
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

PERCHÉ C'È COSÌ POCO IDROGENO IN ATMOSFERA?

Esercizio a pag. H6

- La velocità di fuga dalla superficie della Terra è

$$v_{f,\text{Terra}} = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}} = \sqrt{\frac{2\left(6,67\times10^{-11}\left(\text{N}\cdot\text{m}^2\right)/\text{kg}^2\right)\left(5,97\times10^{24}\ \text{kg}\right)}{6,37\times10^6\ \text{m}}} = 1,12\times10^4\ \text{m/s}$$

- In modo analogo, la velocità di fuga dalla superficie della Luna è

$$v_{f,\text{Luna}} = \sqrt{\frac{2GM_L}{R_L}} = \sqrt{\frac{2\left(6,67\times10^{-11}\left(\text{N}\cdot\text{m}^2\right)/\text{kg}^2\right)\left(7,35\times10^{22}\ \text{kg}\right)}{1,74\times10^6\ \text{m}}} = 2,38\times10^3\ \text{m/s}$$

- Se si calcola il rapporto tra la velocità di fuga dalla Terra e quella di un aereo di linea convertita in metri al secondo, si ottiene

$$\frac{v_{f,\text{Terra}}}{v_{\text{aereo}}} = \frac{1,12\times10^4\ \text{m/s}}{250\,\text{m/s}} = 44,8$$

La velocità di fuga dalla Terra è circa 45 volte maggiore di quella tenuta da un aereo.

Esercizio a pag. H7

Dalle masse atomiche si possono ricavare le masse molecolari di H_2 e N_2:

$$m_{\text{H}_2} = 2\left(1,008\ \text{u}\right) = 2\left(1,008\times1,6605\times10^{-27}\ \text{kg}\right) = 3,348\times10^{-27}\ \text{kg}$$

$$m_{\text{N}_2} = 2\left(14,01\ \text{u}\right) = 2\left(14,01\times1,6605\times10^{-27}\ \text{kg}\right) = 4,653\times10^{-26}\ \text{kg}$$

Alla temperatura di 20 °C (293 K), si hanno le seguenti velocità quadratiche medie:

$$v_{\text{H}_2} = \sqrt{\frac{3k_BT}{m_{\text{H}_2}}} = \sqrt{\frac{3\left(1,380649\times10^{-23}\ \text{J/K}\right)\left(293\,\text{K}\right)}{3,348\times10^{-27}\ \text{kg}}} = 1,90\times10^3\ \text{m/s}$$

$$v_{\text{N}_2} = \sqrt{\frac{3k_BT}{m_{\text{N}_2}}} = \sqrt{\frac{3\left(1,380649\times10^{-23}\ \text{J/K}\right)\left(293\,\text{K}\right)}{4,653\times10^{-26}\ \text{kg}}} = 5,11\times10^2\ \text{m/s}$$

Esercizio a pag. H8

$$T = \frac{m_{\text{N}_2}{v_f}^2}{3k_B} = \frac{\left(4,653\times10^{-26}\ \text{kg}\right)\left(1,12\times10^4\ \text{m/s}\right)^2}{3\left(1,380649\times10^{-23}\ \text{J/K}\right)} = 70365\,\text{K} \approx 70000\,°\text{C}$$

L'IDROGENO DALL'ACQUA

Esercizio a pag. H11

- Le formule delle due reazioni mostrano che, per ogni molecola O_2 prodotta all'anodo, vengono prodotte 2 molecole H_2 al catodo e immessi nel circuito 4 elettroni. Quindi, alla produzione di 1 mol di ossigeno corrisponde la produzione di 2 mol di idrogeno.
- Insieme alle 2 mol di idrogeno H_2, sono rilasciate 4 mol di elettroni.
- La carica elettrica di questa quantità di elettroni è

$$Q = nN_A(-e) = (4\ \text{mol})(6{,}022\times10^{23}\ \text{mol}^{-1})(-1{,}602\times10^{-19}\ \text{C}) = -3{,}859\times10^{5}\ \text{C}$$

Esercizio a pag. H12

- Per creare una soluzione elettrolitica in modo da favorire lo scorrimento della corrente.
- Perché dal catodo si liberavano un numero di moli di idrogeno H_2 doppio rispetto a quello di ossigeno O_2 liberato all'anodo.
- Perché il rapporto delle masse dei gas nei barattoli del catodo e dell'anodo si mantiene sempre costante.
- L'idrogeno è un elemento facilmente infiammabile. Perciò Primo innesca la reazione di combustione tramite l'accensione di un fiammifero. Non sarebbe possibile fare la stessa cosa con l'ossigeno, dato che non è infiammabile ma favorisce solamente la combustione mantenendo la fiamma accesa.

IDROGENO VERDE

Esercizio a pag. H14

- Il periodo delle pale si può ricavare dalla proporzione:

$$T : 1\ \text{giro} = 1{,}0\ \text{min} : 20\ \text{giri} \quad\Rightarrow\quad T = \frac{1\ \text{giro}\times 1{,}0\ \text{min}}{20\ \text{giri}} = 0{,}050\ \text{min} = 3{,}0\ \text{s}$$

- La velocità periferica dell'estremità di una pala è $v = \dfrac{2\pi r}{T} = \dfrac{2\pi(30\ \text{m})}{3{,}0\ \text{s}} = 62{,}8\ \text{m/s} = 2{,}3\times10^{2}\ \text{km/h}$.

Esercizio a pag. H16

- $$P_v = \frac{1}{2}dAv_0^3 = \frac{1}{2}(1{,}23\ \text{kg/m}^3)\pi(30\ \text{m})^2(8{,}0\ \text{m/s})^3 = 8{,}9\times10^{5}\ \text{W}$$

  Quindi, la potenza erogata dalla turbina è $P = c_p P_v = 0{,}50\times 8{,}9\times10^{5}\ \text{W} = 0{,}45\ \text{MW}$.
- Servirebbero $\dfrac{1{,}910^{3}\ \text{MW}}{0{,}45\ \text{MW}} \approx 4200$ turbine.
- La densità dell'aria al mare è più alta rispetto a quella in montagna, perciò, a parità di velocità del vento, il vento eroga una potenza maggiore al mare. Di conseguenza, un impianto eolico al mare riesce a erogare più potenza di uno installato in montagna, ed è quindi più efficiente.

Esercizio a pag. H17

- Il momento angolare delle pale rispetto all'asse di rotazione è

$$L = 3I\omega = mr^2\omega = \frac{2\pi mr^2}{T} = \frac{2\pi(3000\,\text{kg})(30\ \text{m})^2}{3{,}0\,\text{s}} = 5{,}710^6\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$$

- La variazione del momento angolare è data da $\Delta L = M_{\text{tot}}\Delta t$, dove M_{tot} è il momento della forza esercitata dal vento sulle tre pale. Invertiamo l'equazione per trovare l'intervallo di tempo: $\Delta t = \dfrac{\Delta L}{M_{\text{tot}}} = \dfrac{5{,}710^6\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}}{9{,}510^4\ \text{N}\cdot\text{m}} = 60\,\text{s}$.

L'EFFICIENZA DELL'IDROGENO

Esercizio a pag. H18

Per il processo di *steam reforming* si ha $\eta = \dfrac{35\,\text{kWh}}{50\,\text{kWh}} = 0{,}70 = 70\%$.

Per il processo di elettrolisi si ha $\eta = \dfrac{35\,\text{kWh}}{60\,\text{kWh}} = 0{,}58 = 58\%$.

Esercizio a pag. H19

Per il processo di *steam reforming* si ha $\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{prod}}\eta_{\text{comb}} = 0{,}70\times 0{,}60 = 0{,}42 = 42\%$.

Per il processo di elettrolisi si ha $\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{prod}}\eta_{\text{comb}} = 0{,}58\times 0{,}60 = 0{,}35 = 35\%$.

Esercizio a pag. H20

- $\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{prod}}\eta_{\text{comb}} = 0{,}96\times 0{,}25 = 0{,}24 = 24\%$
- La potenza erogata e quella assorbita sono rispettivamente $P_e = \dfrac{W}{\Delta t}$ e $P_a = \dfrac{Q_2}{\Delta t}$. Quindi, $\eta = \dfrac{P_e\Delta t}{P_a\Delta t} = \dfrac{P_e}{P_a}$.

  a. La potenza assorbita nel caso del diesel è $P_a = \dfrac{P_e}{\eta_{\text{tot, d}}} = \dfrac{74\,\text{kW}}{0{,}24} = 0{,}31\ \text{MW}$.

  b. La potenza assorbita nel caso dell'idrogeno verde è $P_a = \dfrac{P_e}{\eta_{\text{tot, d}}} = \dfrac{74\,\text{kW}}{0{,}35} = 0{,}21\ \text{MW}$.

Esercizio a pag. H21

- L'energia spesa dal motore in un'ora è $E = P\Delta t = 80\ \text{kW}\times 1{,}0\,\text{h} = 80\ \text{kWh}$.
- Dato che il rendimento di combustione del diesel è $\eta_{\text{comb}} = 0{,}25$, l'energia utile liberata dalla combustione di 1 kg di diesel è $12\ \text{kWh}\times 0{,}25 = 3{,}0\ \text{kWh}$. Quindi per liberare 80 kWh serve una massa di diesel pari a $m_d = \dfrac{80\,\text{kWh}}{3{,}0\ \text{kWh/kg}} = 27\,\text{kg}$.

  Il costo di produzione di questa quantità di diesel è $27\ \text{kg}\times 1{,}05\ \text{€/kg} = 28{,}35\ \text{€}$.

- Dato che il rendimento di combustione dell'idrogeno in una cella a combustione è $\eta_{comb} = 0{,}60$, l'energia utile liberata dalla combustione di 1 kg di idrogeno è $35\ \text{kWh} \times 0{,}60 = 21\ \text{kWh}$.

  Quindi per liberare 80 kWh serve una massa di idrogeno pari a $m_H = \dfrac{80\,\text{kWh}}{21\ \text{kWh/kg}} = 3{,}8\ \text{kg}$.

  Il costo di produzione di questa quantità di idrogeno blu è $3{,}8\ \text{kg} \times 2{,}00\ €/\text{kg} = 7{,}60\ €$, mentre la produzione della stessa quantità di idrogeno verde è $3{,}8\ \text{kg} \times 8{,}00\ €/\text{kg} = 30{,}40\ €$, di poco superiore al costo di produzione trovato per il diesel.

LE FIAMME DELL'HINDENBURG

Esercizio a pag. H24

- Le parole che descrivono il disastro dal punto di vista visuale e uditivo sono rispettivamente:

  flash, lighted up, bursting, spread forward, buckled, red flames, black smoke, crept forward, ate up, slow and gradual descent, blazing, falling

  heard, report, boom, sound, crackling, quietly, screams
- La propagazione delle fiamme è stata rapidissima data l'elevata infiammabilità dell'idrogeno. Invece, la discesa del dirigibile è avvenuta molto lentamente.

Esercizio a pag. H24

Calcoliamo la massa di idrogeno contenuta nel dirigibile. La densità va espressa in kg/m^3, ma la conversione non modifica il valore: $m_H = d_H V = (0{,}089\ \text{kg/m}^3)(2{,}12 \times 10^5\ \text{m}^3) = 1{,}9 \times 10^4\ \text{kg}$.

La massa totale del dirigibile riempito di idrogeno è $m = 1{,}18 \times 10^5\ \text{kg} + 1{,}9 \times 10^4\ \text{kg} = 1{,}4 \times 10^5\ \text{kg}$.

La forza-peso vale $F_P = mg = (1{,}4 \times 10^5\ \text{kg})(9{,}8\,\text{N/kg}) = 1{,}4 \times 10^6\ \text{N}$.

La spinta di Archimede vale $F_A = d_{aria} V g = (1{,}23\ \text{kg/m}^3)(2{,}12 \times 10^5\ \text{m}^3)(9{,}8\,\text{N/kg}) = 2{,}6 \times 10^6\ \text{N}$.

Esercizio a pag. H25

- Il carico massimo teorico si ottiene imponendo l'uguaglianza tra i moduli della spinta di Archimede e della forza-peso. La spinta di Archimede vale $F_A = d_{aria} V g = (1{,}23\ \text{kg/m}^3)(8425\,\text{m}^3)(9{,}8\,\text{N/kg}) = 1{,}0 \times 10^5\ \text{N}$.

  Dunque, anche la forza-peso vale $1{,}1 \times 10^5\ \text{N}$. Possiamo allora ricavare la massa del carico:

  $$m = \frac{F_P}{g} = \frac{1{,}0 \times 10^5\ \text{N}}{9{,}8\,\text{N/kg}} = 1{,}0 \times 10^4\ \text{kg}$$
- A bordo del dirigibile ci sta al massimo un numero di persone pari a $N = \dfrac{1{,}0 \times 10^4\ \text{kg}}{70\,\text{kg}} \approx 14$.

L'IDROGENO LIQUIDO

Esercizio a pag. H26

- La quantità di calore necessaria a portare l'idrogeno gassoso alla temperatura di ebollizione è

$$Q = cm\Delta T = \left(1{,}43\times10^4 \frac{\text{J}}{\text{K}\cdot\text{kg}}\right)(1{,}0\ \text{kg})(293\,\text{K} - 20\,\text{K}) = 3{,}9\times10^6\ \text{J} = 1{,}1\ \text{kWh}$$

- Il calore di vaporizzazione è

$$Q_v = L_v m = \left(4{,}48\times10^5\ \text{J/kg}\right)(1{,}0\,\text{kg}) = 4{,}48\times10^5\ \text{J} = 0{,}12\ \text{kWh}$$

un ordine di grandezza inferiore rispetto alla quantità di calore del punto precedente.

Esercizio a pag. H27

- La massa di idrogeno liquido presente nel serbatoio del razzo è

$$m = \left(2{,}0\times10^6\ \text{L}\right)(70\ \text{g/L}) = 1{,}4\times10^5\ \text{kg}$$

Dato che servono circa 12 kWh per condensare 1 kg di idrogeno liquido, l'energia necessaria per produrre 140 tonnellate di idrogeno liquido è

$$(12\ \text{kWh/kg})\left(1{,}4\times10^5\ \text{kg}\right) \approx 1{,}7\times10^6\ \text{kWh}$$

- Visto che la combustione di 1 kg di idrogeno liquido libera circa 33 kWh, l'energia liberata dalla combustione di 140 tonnellate di idrogeno liquido è

$$(33\ \text{kWh/kg})\left(1{,}4\times10^5\ \text{kg}\right) \approx 4{,}6\times10^6\ \text{kWh}$$

- La combustione di 1 kg di benzina libera circa 12 kWh, quindi per sprigionare 4,6 GWh di energia serve una massa di benzina pari a $\dfrac{4{,}6\times10^6\ \text{kWh}}{12\ \text{kWh/kg}} = 3{,}8\times10^5\ \text{kg}$.

Questa quantità di benzina occupa un volume di $\dfrac{3{,}8\times10^5\ \text{kg}}{0{,}76\ \text{kg/L}} = 5{,}0\times10^5\ \text{L}$.

UN PROPELLENTE PER I RAZZI SPAZIALI

Esercizio a pag. H29

- La forza totale che si esercita sull'SLS è $F_{\text{tot}} = ma = \left(2{,}6\times10^6\ \text{kg}\right)\left(0{,}54\times9{,}8\,\text{m/s}^2\right) = 14\times10^6\ \text{N} = 14\,\text{MN}$.

Poiché $F_{\text{tot}} = F_s - F_P$, la forza di propulsione dei motori F_s è

$$F_s = F_{\text{tot}} + F_P = F_{\text{tot}} + mg = 14\times10^6\ \text{N} + \left(2{,}6\times10^6\ \text{kg}\right)\left(9{,}8\,\text{m/s}^2\right) = 39\,\text{MN}$$

- In un tempo di 30 s, l'SLS raggiunge una velocità finale $v = at = \left(0{,}54\times9{,}8\,\text{m/s}^2\right)(30\,\text{s}) = 1{,}6\times10^2\ \text{m/s}$.

La potenza istantanea dei motori a 30 s dal lancio è $P = F_s v = \left(39\times10^6\ \text{N}\right)\left(1{,}6\times10^2\ \text{m/s}\right) = 6{,}2\times10^9\ \text{W} = 6{,}2\ \text{GW}$.

- $\Delta t = \dfrac{E}{P} = \dfrac{3,2\ \text{GWh}}{6,2\ \text{GW}} = 0,52\,\text{h} = 31\,\text{min}$
- A parità di energia totale disponibile, per avere un intervallo di tempo più breve è necessario che la potenza sia maggiore.

Esercizio a pag. H30

- Convertendo la velocità in metri al secondo si ottiene $3,6\times10^3$ m/s .

  Dall'equazione di Ciolkovskij, si ottiene $\dfrac{\Delta m}{\Delta t} = \dfrac{F_s}{u} = \left(\dfrac{8,9\times10^6\ \text{N}}{3,6\times10^3\ \text{m/s}}\right) = 2,5\times10^3$ kg .
- $\Delta v = \dfrac{u\Delta m}{m} = \dfrac{10\left(3,6\times10^3\ \text{m/s}\right)\left(2,5\times10^3\ \text{kg}\right)}{2,6\times10^6\ \text{kg}} = 35\ \text{m/s}$

L'IDROGENO SU STRADA

Esercizio a pag. H33

- Si può ricavare la massa dell'idrogeno necessario a riempire il serbatoio del razzo dalla formula inversa della densità:

  $d = \dfrac{m}{V} \Rightarrow m = d\cdot V = \left(71\ \text{kg/m}^3\right)\left(2000\,\text{m}^3\right) = 142\,000\,\text{kg}$
- Il valore della massa espresso in notazione scientifica è $1,4\times10^5$ kg , da cui deduciamo che la massa necessaria è dell'ordine di 10^5 kg .

Esercizio a pag. H35

- Svolgendo l'equivalenza sia per la massa al numeratore che per il volume al denominatore, si ottiene

  $0,090\ \text{kg/m}^3 = 0,090\times\dfrac{10^3}{10^3}\,\text{g/dm}^3 = 0,090\,\text{g/dm}^3$ e $0,090\,\text{kg/m}^3 = 0,090\times\dfrac{10^3}{10^6}\,\text{g/cm}^3 = 9,0\times10^{-5}\,\text{g/cm}^3$
- Dato che la densità della benzina è $d = 740\,\text{kg/m}^3$, la massa di 1 L di benzina è

  $m = dV = \left(740\,\text{kg/m}^3\right)\left(10^{-3}\ \text{m}^3\right) = 0,74\,\text{kg}$

  1 L di benzina permette di percorrere 16 km, quindi la massa *x* necessaria a percorrere 100 km si trova impostando la proporzione:

  $0,74\,\text{kg} : 16\,\text{km} = x : 100\,\text{km} \quad\Rightarrow\quad x = 4,6\,\text{kg}$
- Il volume occupato da 1 kg di idrogeno gassoso compresso è $V = \dfrac{m}{d} = \dfrac{1\,\text{kg}}{42\,\text{kg/m}^3} = 0,024\,\text{m}^3$.

  da cui, con una proporzione, si ottiene $0,024\,\text{m}^3 : 100\,\text{km} = 10^{-3}\ \text{m}^3 : x \Rightarrow x = 4,2\,\text{km}$.

COMPITI
APPROFONDIMENTI DELLE UDA
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

L'IDROGENO NELLA RETE DEL GAS NATURALE

Esercizio a pag. H38

- L'unità di misura di riferimento della pressione nel sistema internazionale sono i pascal. Dato che $1\ \text{bar} = 1\times10^5\ \text{Pa}$, vale la proporzione

  $$700\ \text{bar} : p = 1\ \text{bar} : 1\times10^5\ \text{Pa}$$

  ovvero

  $$p = \frac{700\ \text{bar}\times10^5\ \text{Pa}}{1\ \text{bar}} = 7\times10^7\ \text{Pa}$$

  che è inferiore al margine di sicurezza di $2,8\times10^8\ \text{Pa}$, pari alla metà della tensione di snervamento. Quindi l'idrogeno compresso a queste pressioni può essere utilizzato nella rete di gasdotti esistente.

- Per una compressione isoterma vale la legge di Boyle: $p_i V_i = p_f V_f$.

  Ricordando che la pressione atmosferica vale $1,013\times10^5\ \text{Pa}$, dalla legge di Boyle ricaviamo che

  $$V_f = \frac{P_i V_i}{P_f} = \frac{1,013\times10^5\times1000\ \text{L}}{700\times10^5\ \text{Pa}} = 1,45\ \text{L}$$

- Dall'equazione di stato dei gas perfetti $pV = nRT$ otteniamo

  $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{\left(700\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(1,45\times10^{-3}\ \text{m}^3\right)}{\left(8,3145\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left(283\ \text{K}\right)} = 43,1\ \text{mol}$$

- Una mole di H_2 ha una massa di 2,02 g, quindi la massa di 43,1 mol di idrogeno è

  $$\left(43,1\ \text{mol}\right)\left(2,02\ \text{g/mol}\right) = 87,1\ \text{g}$$

GALASSIE IN ROTAZIONE E MATERIA OSCURA

Esercizio a pag. H41

- La costante k corrisponde alla velocità angolare ω.

- Alla distanza di 2 kpc si ha

  $$v_1 = kr_1 = \left(4,86\times10^{-16}\ \text{rad/s}\right)\left(2\times3,086\times10^{19}\ \text{m}\right) = 3,00\times10^4\ \text{m/s} = 30,0\ \text{km/s}$$

  In modo analogo, alla distanza di 7 kpc si ha

  $$v_2 = kr_2 = \left(4,86\times10^{-16}\ \text{rad/s}\right)\left(7\times3,086\times10^{19}\ \text{m}\right) = 1,05\times10^5\ \text{m/s} = 105\ \text{km/s}$$

- Dalla [5] ricaviamo il periodo che è lo stesso per entrambe le stelle:

  $$T = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{4,86\times10^{-16}\ \text{rad/s}} = 1,29\times10^{16}\ \text{s} \approx 410\ \text{milioni di anni}$$

- Il grafico mostra che, al di fuori del nucleo galattico, la velocità decresce all'aumentare della distanza.

Esercizio a pag. H42

Dalla [4], ricaviamo la formula inversa per la massa:

$$M_n = \frac{v^2 r}{G} = \frac{\left(150\times10^3\ \text{m/s}\right)^2 \left(3,086\times10^{20}\ \text{m}\right)}{6,67\times10^{-11}\left(\text{N}\cdot\text{m}^2\right)/\text{kg}^2} = 1,04\times10^{41}\ \text{kg}$$

Per ottenere un valore espresso in multipli della massa solare, si ha

$$\frac{M_n}{M_\odot} = \frac{1,04\times10^{41}\ \text{kg}}{1,99\times10^{30}\ \text{kg}} = 5,23\times10^{10}\ M_\odot$$

Esercizio a pag. H43

- Dalla [4] si ricava $M = \frac{v^2 r}{G}$. La massa è direttamente proporzionale alla distanza. Poiché la distanza è tre volte quella dell'esercizio precedente, anche la massa triplica e si ottiene

  $$M = 3M_n = 3\left(1,04\times10^{41}\ \text{kg}\right) = 3,12\times10^{41}\ \text{kg}$$

  da cui ricaviamo che $M = 1,57\times10^{11}\ M_\odot$.

- La massa del solo alone oscuro corrisponde alla differenza tra M_1 e M. Si ottiene

  $$M_{\text{alone}} = M - M_n = 1,57\times10^{11}\ M_\odot - 5,23\times10^{10}\ M_\odot = 1,05\times10^{11}\ M_\odot.$$

- Fuori da nucleo, la massa dell'alone oscuro cresce linearmente con la distanza. In questo modo, la velocità non varia all'aumentare di r. Infatti, sostituendo la formula ricavata per la prima risposta in quella usata per calcolare M_{alone}, si ottiene una dipendenza lineare della massa rispetto alla distanza: $M_{\text{alone}} = \frac{v^2 r}{G} - M_n$.

IN VIAGGIO VERSO LA LUNA E MARTE

Esercizio a pag. L2

- La missione Apollo 11 durò 8 giorni, 3 ore e 18 minuti ($7,03080\times10^5$ s) e coprì una distanza

  $$\Delta s = \left(953054\times1609,344\right)\text{m} = 1,5338\times10^9\ \text{m}$$

  La velocità media di percorrenza risulta

  $$v_{mp} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,5338\times10^9\ \text{m}}{7,03080\times10^5\ \text{s}} = 2181,5\ \text{m/s} = 7853,4\ \text{km/h}$$

- Il tempo per coprire la distanza Terra-Luna (andata e ritorno) è

  $$\Delta t = \frac{2\Delta s}{v_m} = \frac{2\times3,800\times10^5\ \text{km}}{7853,4\ \text{km/h}} = 96,77\ \text{h} = 4\ \text{d}\ 46\ \text{min}$$

- $$\Delta t_{\min} = \frac{\Delta s_{\min}}{c} = \frac{3,76\times10^8\ \text{m}}{3,00\times10^8\ \text{m/s}} = 1,25\ \text{s}$$

Esercizio a pag. L3

La velocità media di percorrenza risulta $v_{mp} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2,25 \times 10^6 \text{ km}}{611 \text{ h}} = 3680 \text{ km/h}$.

Esercizio a pag. L3

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_{mp}} = \frac{56 \times 10^6 \text{ km}}{7853,4 \text{ km/h}} = 297\text{d} \approx 10 \text{ mesi}$$

MUOVERSI A GRAVITÀ RIDOTTA

Esercizio a pag. L4

- La forza minima equivale alla forza-peso. Sulla Terra si ha $F_{P,\text{Terra}} = mg_{\text{Terra}} = (82,0\,\text{kg})(9,81\,\text{m/s}^2) = 804\,\text{N}$.
- Sulla Luna la forza vale $F_{P,\text{Luna}} = mg_{\text{Luna}} = (82,0\,\text{kg})(1,62\,\text{m/s}^2) = 133\,\text{N}$.
- Applicando $F_{P,\text{Terra}}$ verso l'alto sulla Luna, la tuta è soggetta a una forza totale di modulo

  $F_{\text{tot}} = F_{P,\text{Terra}} - F_{P,\text{Luna}} = 804\,\text{N} - 133\,\text{N} = 671\,\text{N}$

  Quindi, la tuta è soggetta a un'accelerazione verso l'alto data da $a = \frac{F_{\text{tot}}}{m} = \frac{671\,\text{N}}{82,0\,\text{kg}} = 8,18 \text{ m/s}^2$.

Esercizio a pag. L5

- Il tempo che il pallone impiega per raggiungere l'altezza massima è $t_{\max} = \frac{v_{0y}}{g}$ e l'altezza massima è

  $y_{\max} = \frac{2v_{0y}^2}{g}$. Sia $t_{\max}$ sia $y_{\max}$ sono inversamente proporzionali all'accelerazione di gravità.

  Il rapporto tra l'accelerazione di gravità terrestre e quella lunare vale $\frac{g_{\text{Terra}}}{g_{\text{Luna}}} = \frac{9,8\,\text{m/s}^2}{1,6\,\text{m/s}^2} = 6,1$.

  Dunque, sulla Luna, dove l'accelerazione di gravità è circa un sesto di quella terrestre, l'altezza massima raggiunta dal pallone è circa 6 volte maggiore di quella raggiunta sulla Terra, come mostrano i grafici.

  Analogamente, per Marte si ottiene $\frac{g_{\text{Terra}}}{g_{\text{Marte}}} = \frac{9,8\,\text{m/s}^2}{3,7\,\text{m/s}^2} = 2,6$. I grafici mostrano che l'altezza massima raggiunta su Marte è circa 2,6 volte maggiore di quella raggiunta sulla Terra.
- Visto che la gittata è direttamente proporzionale al tempo di volo, pari al doppio di $t_{\max}$: $x = v_{0x}t_{\text{volo}} = 2v_{0x}t_{\max}$.

  sulla Luna si ha una gittata circa 6 volte maggiore di quella sulla Terra, mentre su Marte la gittata è circa 2,6 volte maggiore.
- Poiché l'accelerazione di gravità di Giove è circa 2,6 volte maggiore di quella terrestre, $t_{\max}$ e x sono circa 2,6 volte inferiori di quelle ottenibili sulla Terra, a parità di velocità iniziale e angolo di lancio.

Esercizio a pag. L6

Poiché l'accelerazione di gravità lunare è pari a circa un sesto di quella terrestre, la gittata della pallina sulla Luna è pari a circa sei volte quella data. Pertanto, sulla Luna Nick è in grado di colpire la pallina a una distanza di 720 m, sorvolando interamente il cratere, che ha un diametro di 680 m.

IL CONSUMO DI CARBURANTE

Esercizio a pag. L8

- Una tonnellata equivale a 1×10^3 kg. Quindi, 2600 tonnellate sono pari a $2600\,\mathrm{t}=\left(2,6\times10^3\ \mathrm{t}\right)\left(1\times10^3\ \mathrm{kg/t}\right)=2,6\times10^6\ \mathrm{kg}$.
- Dalla [3] si ha $m=d\cdot V=\left(70\ \mathrm{g/L}\right)\left(2,0\times10^6\ \mathrm{L}\right)=1,4\times10^8\ \mathrm{g}=1,4\times10^5\ \mathrm{kg}$.
- Sapendo che $1\,\mathrm{L}=1\,\mathrm{dm}^3$, si ottiene $742\,\mathrm{m}^3=742\times10^3\ \mathrm{dm}^3=7,42\times10^5\ \mathrm{L}$.
- $1\,\text{libbra} : 0,453\,\mathrm{kg}=5,75\times10^6\ \text{libbre} : x$, da cui $x=\dfrac{\left(0,453\,\mathrm{kg}\right)\left(5,75\times10^6\ \text{libbre}\right)}{1\ \text{libbra}}=2,60\times10^6\ \mathrm{kg}$.

Esercizio a pag. L8

- Ricordando che $1\,\mathrm{hp}\approx746\,\mathrm{W}$, da una proporzione otteniamo $1\,\mathrm{hp} : 746\,\mathrm{W}=74\times10^6\ \mathrm{hp} : x$, da cui si ricava la potenza $x=5,5\times10^{10}\ \mathrm{W}=55\ \mathrm{GW}$
- $1\,\mathrm{kWh}=(1\times10^3\ \mathrm{W})\left(3600\,\mathrm{s}\right)=3,6\times10^6\ \mathrm{J}$. Quindi l'energia liberata in 8 minuti di volo è

  $$E=P\cdot t=\left(5,5\times10^{10}\ \mathrm{W}\right)\left(8\times60\ \mathrm{s}\right)=2,6\times10^{13}\,\mathrm{J}=\frac{\left(2,6\times10^{13}\ \mathrm{J}\right)\left(1\,\mathrm{kWh}\right)}{3,6\times10^6\ \mathrm{J}}=7,3\times10^6\ \mathrm{kWh}$$
- L'energia x consumata in Italia in 8 minuti è $316,8\times10^9\ \mathrm{kWh} : 1\ \text{anno}=x : 8\,\text{minuti}$, da cui

  $$x=\frac{316,8\times10^9\ \mathrm{kWh}}{365\times24\times60\,\mathrm{min}}\times8\,\mathrm{min}=4,8\times10^6\ \mathrm{kWh}$$

  che corrisponde a circa 2/3 dell'energia rilasciata dai motori di Artemis 1 durante i primi 8 minuti di volo.

SULLA LUNA NON C'È ATMOSFERA

Esercizio a pag. L11

- L'accelerazione di gravità lunare può essere ricavata dalla legge oraria della caduta libera per un corpo che cade da fermo:

  $$s=\frac{1}{2}gt^2 \quad\Rightarrow\quad g=\frac{2s}{t^2}=\frac{2\left(1,5\,\mathrm{m}\right)}{\left(1,35\,\mathrm{s}\right)^2}=1,6\,\mathrm{m/s^2}$$
- $$M_L=\frac{g_L R_L^2}{G}=\frac{\left(1,6\,\mathrm{m/s^2}\right)\left(1,74\times10^6\ \mathrm{m}\right)^2}{6,67\times10^{-11}\left(\mathrm{N\cdot m^2}\right)/\mathrm{kg}^2}=7,3\times10^{22}\ \mathrm{kg}$$

COMPITI
APPROFONDIMENTI DELLE UDA
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

Esercizio a pag. L12

- Per la Luna: $v_{f,\text{Luna}} = \sqrt{\dfrac{2GM_L}{R_L}} = \sqrt{\dfrac{2\left(6,67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(7,3\times10^{22}\ \text{kg}\right)}{1,74\times10^6\ \text{m}}} = 2,4\times10^3\ \text{m/s} = 2,4\ \text{km/s}$.

  Per il Sole: $v_{f,\text{Sole}} = \sqrt{\dfrac{2GM_\odot}{R_\odot}} = \sqrt{\dfrac{2\left(6,67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(1,99\times10^{30}\ \text{kg}\right)}{6,96\times10^8\ \text{m}}} = 618\,\text{km/s}$.

- Dalla formula inversa della velocità si fuga si ottiene $R \le \dfrac{2GM_\odot}{c^2} = \dfrac{2\left(6,67\times10^{-11}\ \dfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(1,99\times10^{30}\ \text{kg}\right)}{\left(3,00\times10^8\,\text{m/s}\right)^2} = 2,70\,\text{km}$.

OSSIGENO DALLA REGOLITE LUNARE

Esercizio a pag. L13

- I 630 kg di ossigeno contenuti in un metro cubo di regolite potrebbero far respirare una persona per un intervallo di tempo Δt che soddisfa la proporzione $(0,800\ \text{kg}):(1\ \text{giorno}) = (630\ \text{kg}):\Delta t$, da cui

  $\Delta t = \dfrac{630\ \text{kg}}{0,800\ \text{kg}}(1\ \text{giorno}) = 788\ \text{giorni} = \dfrac{788}{365}\ \text{anni} \approx 2\ \text{anni}$

- Moltiplicando l'area della superficie della Luna per lo spessore dello strato di regolite, si ottiene il volume V di tale strato: $V = 4\pi R_L^2 d = 4\pi\left(1,7\times10^6\ \text{m}\right)^2(10\ \text{m}) \approx 4\times10^{14}\ \text{m}^3$.

- Poiché $1\ \text{m}^3$ di regolite contiene l'ossigeno sufficiente per una persona per 2 anni, un volume di $8\times10^9\ \text{m}^3$ (8 miliardi di metri cubi) soddisfa per 2 anni il fabbisogno di 8 miliardi di persone. Il tempo Δt_{tot} che la popolazione mondiale impiegherebbe per consumare tutta la scorta di ossigeno lunare è tale che $\left(8\times10^9\ \text{m}^3\right):(2\ \text{anni}) = \left(4\times10^{14}\ \text{m}^3\right):\Delta t_{\text{tot}}$, da cui $\Delta t_{\text{tot}} = \dfrac{4\times10^{14}\ \text{m}^3}{8\times10^9\ \text{m}^3}(2\ \text{anni}) = 100\,000\ \text{anni}$.

DENTRO I MODULI PRESSURIZZATI

Esercizio a pag. L16

- La pressione interna al modulo, che ha lo stesso valore della pressione atmosferica terrestre p_0, è pari al rapporto tra la forza premente sulle pareti verso l'esterno e la superficie S di area un metro quadrato:

  $p_0 = \dfrac{F}{S}$. Quindi, la forza è $F = p_0 S = \left(1,01\times10^5\ \text{Pa}\right)\left(1,00\ \text{m}^2\right) = 1,01\times10^5\ \text{N}$.

- La forza-peso F_P di un oggetto di massa m sulla Luna è $F_P = mg_L$. Se il peso ha lo stesso modulo della forza trovata al punto precedente, è possibile trovare la massa dell'oggetto che ha esattamente quel peso sulla Luna:
  $m = \frac{F_P}{g_L} = \frac{1{,}01 \times 10^5 \text{ N}}{1{,}62 \text{ N/kg}} = 6{,}23 \times 10^4 \text{ kg}$. Questa è circa la massa di due maschi di capidoglio.

▶ Esercizio a pag. L17

- All'esterno del modulo non c'è pressione atmosferica. Pertanto, il mercurio nella bacinella non è soggetto a una spinta verso l'alto e il tubo dell'apparato di Torricelli rimane vuoto.
- La pressione esterna p_0 è uguale a quella esercitata dalla colonna di mercurio sul fondo del tubo:

  $p_0 = d_{\text{Hg}} g_L h$. Quindi, l'altezza è $h = \frac{p_0}{d_{\text{Hg}} g_L} = \frac{1{,}01 \times 10^5 \text{ Pa}}{(1{,}359 \times 10^4 \text{ kg/m}^3)(1{,}62 \text{ N/kg})} = 4{,}59 \text{ m}$

  Da notare che essendo g_L pari a circa un sesto di g sulla Terra, sulla Luna il mercurio raggiunge un'altezza circa 6 volte superiore di quella misurata sulla Terra. Il modulo lunare ha un'altezza massima pari al raggio di base, cioè $h = 4{,}2 \text{ m}$. L'altezza non è sufficiente ad accomodare l'apparato sperimentale.
- Fissata l'altezza $h = 0{,}76 \text{ m}$, la densità che un ipotetico fluido dovrebbe avere è

  $$d = \frac{p_0}{g_L h} = \frac{1{,}01 \times 10^5 \text{ Pa}}{(1{,}62 \text{ N/kg})(0{,}76 \text{ m})} = 8{,}2 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$$

  Dunque, una densità 6 volte maggiore di quella del mercurio.

COME DIFENDERSI DALLE RADIAZIONI

▶ Esercizio a pag. L19

- Dalla relazione $c = \lambda f$, otteniamo la frequenza come formula inversa: $f = c / \lambda$.

  La radiazione elettromagnetica visibile va quindi da $\frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{700 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4{,}29 \times 10^{14} \text{ Hz}$ a $\frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m/s}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} = 7{,}50 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
- Il picco di emissione si ha per una lunghezza d'onda pari a circa 500 nm.
- Da $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$:

  a. $\lambda_{\text{max}} = \frac{2{,}90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{5778 \text{ K}} = 5 \times 10^{-7} \text{ m} = 500 \text{ nm}$ che corrisponde alla lunghezza d'onda di picco mostrata in figura nella banda della radiazione visibile.

  b. $\lambda_{\text{max}} = \frac{2{,}90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{300 \text{ K}} = 9{,}67 \times 10^{-6} \text{ m} = 9{,}67 \,\mu\text{m}$ che si trova nella banda di emissione della radiazione infrarossa.

L'ESCURSIONE TERMICA SUL SUOLO LUNARE

Esercizio a pag. L21

- L'escursione termica ΔT è data dalla differenza tra la temperatura massima e quella minima.

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = 130\,°\text{C} - (-170\,°\text{C}) = 300\,°\text{C}$$

Visto che la scala Celsius differisce dalla scala Kelvin solo per la scelta dello zero, la variazione di temperatura in kelvin vale 300 K.

- Dalla formula [7] del capitolo 13, ricaviamo la dilatazione volumica relativa:

$$\frac{\Delta V}{V_i} = \alpha \Delta T = (1{,}03 \times 10^{-3}\,°\text{C}^{-1})(300\,°\text{C}) = 0{,}309$$

Quando si dilata, il carburante accresce il suo volume del 30,9%. In A non c'è abbastanza volume libero per contenere l'espansione, mentre in C il volume libero è in eccesso. Il contenitore corretto è il B.

Esercizio a pag. L23

- Dalla definizione di albedo, sappiamo che $\frac{I_r}{I_e} = 0{,}29$. Applichiamo la formula inversa per trovare I_r:

$$I_r = 0{,}29 I_e = 0{,}29(340\,\text{W/m}^2) = 1{,}0 \times 10^2\ \text{W/m}^2$$

Usiamo la formula [1] per trovare P_a: $I_a = I_e - I_r = 340\,\text{W/m}^2 - 1{,}0 \times 10^2\ \text{W/m}^2 = 2{,}4 \times 10^2\ \text{W/m}^2$.

- Per la Luna si ha $I_r = 40\,\text{W/m}^2$ e $I_e = 340\,\text{W/m}^2$. L'albedo vale $\frac{I_r}{I_e} = \frac{40\,\text{W/m}^2}{340\,\text{W/m}^2} = 0{,}12$.

Esercizio a pag. L23

- Convertiamo le quantità nelle unità di misura del SI

$d = 10{,}0\,\text{cm} = 0{,}10\,\text{m}$; $T_1 = 18\,°\text{C} = 291\,\text{K}$; $T_2 = -110\,°\text{C} = 163\,\text{K}$

Applichiamo la legge della conducibilità termica (formula [10] del cap. 14) alla parete in alluminio:

$$Q_{\text{Al}} = \lambda_{\text{Al}} S \frac{\Delta T}{d} \Delta t = (240\,\text{W/m}^2)(9{,}00\,\text{m}^2)\left(\frac{291\,\text{K} - 163\,\text{K}}{0{,}100\,\text{m}}\right)(1{,}00\,\text{s}) = 2{,}76 \times 10^6\ \text{J}$$

e poi alla parete in Kapton:

$$Q_{\text{K}} = \lambda_{\text{K}} S \frac{\Delta T}{d} \Delta t = (0{,}160\,\text{W/m}^2)(9{,}00\,\text{m}^2)\left(\frac{291\,\text{K} - 163\,\text{K}}{0{,}100\,\text{m}}\right)(1{,}00\,\text{s}) = 1{,}84 \times 10^3\ \text{J}$$

- $$\frac{Q_{\text{Al}} - Q_{\text{K}}}{Q_{\text{Al}}} = \frac{2{,}76 \times 10^6\ \text{J} - 1{,}84 \times 10^3\ \text{J}}{2{,}76 \times 10^6\ \text{J}} = 0{,}999 = 99{,}9\%$$

SULLA LUNA LA BUSSOLA NON SERVE

Esercizio a pag. L26

- $r = \dfrac{mv}{|q|B} = \dfrac{(1{,}67\times10^{-27}\ \text{kg})(500\times10^{3}\ \text{m/s})}{(1{,}60\times10^{-19}\ \text{C})(25\times10^{-6}\ \text{T})} \approx 210\,\text{m}$
- Il valore del raggio è molto inferiore rispetto allo spessore della magnetosfera, che si estende per migliaia di km sopra la superficie terrestre. Perciò il nucleo carico non riuscirebbe ad arrivare sulla superficie terrestre.
- Dato che la massa dell'elettrone è circa 1800 volte più piccola di quella di un protone, il raggio di deflessione sarebbe circa 1800 volte più piccolo, perciò per l'elettrone è ancora più difficile raggiungere la superficie terrestre.

Il nucleo di elio contiene due protoni e due neutroni, perciò ha una carica doppia e una massa circa 4 volte quella del nucleo di idrogeno. Quindi il suo raggio di deflessione è il doppio di quello del nucleo di idrogeno, un valore sempre molto inferiore rispetto allo spessore della magnetosfera.

ALLA RICERCA DI UN LUOGO SOLEGGIATO

Esercizio a pag. L29

- La superficie del pannello è $(3{,}0\,\text{m})(4{,}0\,\text{m}) = 12\,\text{m}^2$, pertanto la potenza incidente vale
  $P_i = (1{,}4\,\text{kW/m}^2)(12\,\text{m}^2) = 17\,\text{kW}$
- L'efficienza del pannello
  $\dfrac{P}{P_i} = \dfrac{260\,\text{W}}{1{,}4\times10^{3}\ \text{W}} = 0{,}19 = 19\%$
- La potenza erogata dall'intero pannello è
  $P_e = 0{,}1917\,\text{kW} = 3{,}23\,\text{kW}$

  Il tempo è
  $t = \dfrac{E}{P_e} = \dfrac{9{,}0\,\text{kWh}}{3{,}23\,\text{kW}} = 2{,}79\,\text{h} = 2\ \text{h}47\ \text{min}$

Esercizio a pag. L30

- La potenza di ciascuna cella è
  $P_{\text{cella}} = i\Delta V = (2{,}5\,\text{A})(1{,}0\,\text{V}) = 2{,}5\,\text{W}$
- L'intero pannello è costituito da 1200 celle, per cui la sua potenza complessiva è
  $P_{\text{tot}} = 1200 P_{\text{cella}} = 12002{,}5\,\text{W} = 3{,}0\,\text{kW}$

COMPITI
APPROFONDIMENTI DELLE UDA
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

COMUNICAZIONI DALLO SPAZIO

Esercizio a pag. L33

- Il segnale compie il cammino più breve quando la ISS, il satellite e la stazione terrestre sono allineati. La lunghezza minima percorsa è la distanza stazione-satellite, ossia la differenza $(35\,786-408)$ km, sommata alla distanza satellite-Terra, di 35 786 km:
$$l=(35\,786-408)\text{ km}+35\,786\text{ km}=71\,164\text{ km}\simeq 7{,}12\times10^{7}\text{ m}$$
- Viaggiando alla velocità c, i segnali percorrono questa lunghezza in poco più di due decimi di secondo:
$$\Delta t=\frac{l}{c}=\frac{7{,}12\times10^{7}\text{ m}}{3{,}00\times10^{8}\text{ m/s}}=0{,}237\text{ s}$$
- Per viaggiare dalla Terra alla Luna il segnale impiega un tempo
$$t=\frac{380\,000\text{ km}}{3{,}00\times10^{5}\text{ km/s}}=1{,}27\text{ s}$$
- Per percorrere la distanza minima e quella massima tra Marte e Terra un segnale impiega i tempi
$$\Delta t_{\text{min}}=\frac{5{,}46\times10^{10}\text{ m}}{3{,}00\times10^{8}\text{ m/s}}=182\text{ s}\simeq 3\text{ min}\ \text{ e }\ \Delta t_{\text{max}}=\frac{4{,}01\times10^{11}\text{ m}}{3{,}00\times10^{8}\text{ m/s}}=1{,}34\times10^{3}\text{ s}=22\text{ min }20\text{ s}$$

Esercizio a pag. L34

$$\frac{\Delta f}{f_0}=0{,}010$$

Quindi la frequenza portante dell'onda radio è $f_0=\dfrac{10\text{ kHz}}{0{,}010}=1000\text{ kHz}=1{,}0\text{ MHz}$.

Infine, la lunghezza d'onda del segnale è $\lambda_0=\dfrac{c}{f_0}=\dfrac{3{,}0\times10^{8}\text{ m/s}}{1{,}0\times10^{6}\text{ Hz}}=3{,}0\times10^{2}\text{ m}$.

LA LUNA SI ALLONTANA

Esercizio a pag. L36

Per prima cosa, calcoliamo il momento d'inerzia della Terra:

$$I=\frac{2}{5}M_T R_T^2=\frac{2}{5}\left(5{,}97\times10^{24}\text{ kg}\right)\left(6{,}37\times10^{6}\text{ m}\right)^2=9{,}69\times10^{37}\text{ kg/m}^2$$

Poi calcoliamo la velocità angolare di rotazione della Terra intorno al Sole: il tempo impiegato a percorrere una circonferenza, e quindi una distanza angolare 2π, è 24 ore. Quindi: $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\pi}{24\text{ h}\times3600\text{ s/h}}=7{,}3\times10^{-5}\text{ rad/s}$.

Il momento angolare di rotazione della Terra è quindi $L_{\text{rot}}=I\omega=\left(9{,}69\times10^{37}\text{ kg/m}^2\right)\left(7{,}3\times10^{-5}\text{ rad/s}\right)=7{,}1\times10^{33}\,\dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}}$.

- $\omega_L = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{2\pi}{27\,\text{d} \times 24\,\text{h/d} \times 3600\,\text{s/h}} = 2{,}7 \times 10^{-6}\ \text{rad/s}$

  Per la velocità orbitale otteniamo $v = \omega_L r_{\text{orb}} = \left(2{,}7 \times 10^{-6}\ \text{rad/s}\right)\left(3{,}85 \times 10^{8}\ \text{m}\right) = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m/s}$.

- Il momento angolare orbitale della Luna è

  $$L_{\text{orb}} = m_L v r_{\text{orb}} = \left(7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}\right)\left(1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m/s}\right)\left(3{,}85 \times 10^{8}\ \text{m}\right) = 2{,}8 \times 10^{34}\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

Esercizio a pag. L37

Aumentando dell'1% il raggio r_{orb} , si ottiene $r_{\text{orb},2} = 385\,000\,\text{km} + \dfrac{1}{100}\left(385\,000\,\text{km}\right) = 388\,850\,\text{km}$.

Se la Luna si allontana dalla terra alla velocità costante di 4 cm/anno, possiamo calcolare il tempo impiegato a raggiungere il raggio $r_{\text{orb},2}$: $\Delta t = \dfrac{\Delta s}{v} = \dfrac{\left(388850 - 385\,000\right)\ \text{km}}{0{,}04 \times 10^{-3}\ \text{km/anno}} \approx 100 \times 10^{6}$ anni .

Esercizio a pag. L37

- Indichiamo con il pedice 1 le grandezze che descrivono il sistema Terra-Luna di 1,4 miliardi di anni fa e con il pedice 2 quelle che descrivono il sistema attuale.

  Calcoliamo le velocità angolari del moto di rotazione terrestre:

  $$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{2\pi}{\left(18{,}7\,\text{h}\right)\left(3600\,\text{s/h}\right)} = 9{,}33 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}\ ;\ \ \omega_2 = \frac{2\pi}{T_2} = \frac{2\pi}{\left(24{,}0\,\text{h}\right)\left(3600\,\text{s/h}\right)} = 7{,}27 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$$

  Dal principio di conservazione del momento angolare, si ha:

  $$L_{1,\text{Terra}} + L_{1,\text{Luna}} = L_{2,\text{Terra}} + L_{2,\text{Luna}} \quad \Rightarrow \quad L_{1,\text{Luna}} = L_{2,\text{Terra}} - L_{1,\text{Terra}} + L_{2,\text{Luna}}$$

  Possiamo calcolare i momenti angolari $L_{1,\text{Terra}}, L_{2,\text{Terra}}$ e $L_{2,\text{Luna}}$:

  $$L_{1,\text{Terra}} = I\omega_1 = \left(9{,}69 \times 10^{37}\ \text{kg/m}^2\right)\left(9{,}33 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}\right) = 9{,}04 \times 10^{33}\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

  $$L_{2,\text{Terra}} = I\omega_2 = \left(9{,}69 \times 10^{37}\ \text{kg/m}^2\right)\left(7{,}27 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}\right) = 7{,}04 \times 10^{33}\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

  $$L_{2,\text{Luna}} = m_L v r_{\text{orb}} = \left(7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}\right)\left(1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m/s}\right)\left(3{,}85 \times 10^{8}\ \text{m}\right) = 2{,}8 \times 10^{34}\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

  Dunque, $L_{1,\text{Luna}}$ vale $L_{1,\text{Luna}} = 7{,}04 \times 10^{33}\ \dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} - 9{,}04 \times 10^{33}\ \dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} + 2{,}8 \times 10^{34}\ \dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}} = 2{,}6 \times 10^{34}\ \dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$

  Dalla [3] possiamo ricavare il raggio orbitale della Luna di 1,4 miliardi di anni fa:

  $$r_{\text{orb},1} = \left(\frac{L_{1,\text{Luna}}}{m_L \sqrt{G M_T}}\right)^2 = \left(\frac{2{,}6 \times 10^{34}\ \dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}}{\left(7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}\sqrt{6{,}67 \times 10^{-11}\ \dfrac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \times 5{,}97 \times 10^{24}\ \text{kg}}\right)}\right)^2 = 3{,}1 \times 10^{8}\ \text{m}$$

LUNAR GATEWAY

Esercizio a pag. L40

- Dopo aver trasformato il periodo in secondi

  $$T = (7\,\text{d}) \times \frac{24 \times 3600\,\text{s}}{1\,\text{d}} = 604800\,\text{s}$$

  si può calcolare la velocità angolare del Lunar Gateway:

  $$\omega = \frac{2\pi}{T} = 1 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$$

  La velocità angolare del Lunar Gateway risulta essere due ordini di grandezza più piccola di quella della ISS.

- La distanza percorsa dal Lunar Gateway in un giro completo è:

  $$s_{\text{LG}} = 2\pi r_{\text{LG}} = 2\pi\left(4 \times 10^7\ \text{m}\right) = 2{,}51 \times 10^8\ \text{m} \approx 3 \times 10^8\ \text{m}$$

  Quella percorsa dalla ISS in un giro completo è:

  $$s_{\text{ISS}} = 2\pi r_{\text{ISS}} = 2\pi\left(R_T + h_{\text{ISS}}\right) = 2\pi\left(6{,}72 \times 10^6\ \text{m}\right) \approx 4 \times 10^7\ \text{m}$$

  La distanza percorsa dalla ISS è circa 6 volte minore di quella percorsa dal Lunar Gateway.

- L'accelerazione centripeta vale:

  $$a_c = \omega^2 r_{\text{LG}} = \left(1 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}\right)^2 \left(4 \times 10^7\ \text{m}\right) = 4 \times 10^{-3}\ \text{m/s}^2$$

Esercizio a pag. L41

- Si ha:

  $$F_{\text{apo}} = G\frac{m_{\text{LG}} M_{\text{Luna}}}{d^2_{\text{apo}}} = \left(6{,}67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \frac{\left(4{,}00 \times 10^4\ \text{kg}\right)\left(7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}\right)}{\left(7{,}00 \times 10^7\ \text{m}\right)^2} = 40{,}0\,\text{N}$$

  $$F_{\text{per}} = G\frac{m_{\text{LG}} M_{\text{Luna}}}{d^2_{\text{per}}} = \left(6{,}67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right) \frac{\left(4{,}00 \times 10^4\ \text{kg}\right)\left(7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}\right)}{\left(1{,}50 \times 10^6\ \text{m}\right)^2} = 8{,}72 \times 10^4\ \text{N}$$

- Il rapporto tra le distanze vale:

  $$\frac{d_{\text{apo}}}{d_{\text{per}}} = \frac{7{,}00 \times 10^7\ \text{m}}{1{,}50 \times 10^6\ \text{m}} = 46{,}7$$

  Il rapporto tra le forze vale:

  $$\frac{F_{\text{per}}}{F_{\text{apo}}} = \frac{8{,}72 \times 10^4\ \text{N}}{40{,}0\,\text{N}} = 2{,}18 \times 10^3$$

  Il rapporto tra le forze equivale al quadrato del rapporto tra le distanze.

DALLA LUNA A MARTE: SEMPRE PIÙ LONTANO

Esercizio a pag. L43

- L'unità di misura di riferimento della lunghezza nel Sistema Internazionale è il metro, il cui simbolo è [m]. Le due distanze, scritte in notazione scientifica, quindi valgono:

  distanza minima Terra-Luna: $3{,}64 \times 10^8$ m

  distanza minima Terra-Marte: $5{,}57 \times 10^{10}$ m

- Dalle distanze scritte in notazione scientifica nell'esercizio precedente, si ricava che l'ordine di grandezza della distanza Terra-Luna vale 10^8 m e l'ordine di grandezza della distanza Terra-Marte 10^{11} m.

- Dato che $1 \text{ au} = 1{,}50 \times 10^{11} \text{ m}$:

  distanza minima Terra-Luna: $\dfrac{3{,}64 \times 10^8 \text{ m}}{1{,}50 \times 10^{11} \text{ m/au}} = 2{,}43 \times 10^{-3} \text{ au} = 0{,}00243 \text{ au}$

  distanza minima Terra-Marte: $\dfrac{5{,}57 \times 10^{10} \text{ m}}{1{,}50 \times 10^{11} \text{ m/au}} = 0{,}371 \text{ au}$

- La Luna è più vicina a Marte quando si trova tra la Terra e Marte. Quindi, la distanza minima Luna-Marte è $5{,}57 \times 10^{10}$ m – 4×10^8 m = $5{,}53 \times 10^{10}$ m = 0,369 au

Esercizio a pag. L44

- Ricordando che un anno è composto da 365,25 d, per trovare il tempo di viaggio in anni, impostiamo la proporzione:

  $(365{,}25 \text{d}) : (306 \text{d}) = (1 \text{a}) : x$

  da cui si ottiene $x = \dfrac{(306 \text{ d})(1 \text{ a})}{365{,}25 \text{d}}$ = 0,84 a e, in anni marziani, $x = 0{,}84 \text{ a} = 0{,}84 \times \dfrac{1 \text{am}}{1{,}88} = 0{,}45 \text{am}$.

- Per trovare il tempo di viaggio in ore, impostiamo risolvere la proporzione:

  $(1 \text{d}) : (306 \text{d}) = (24 \text{h}) : x$

  da cui si ottiene $x = \dfrac{(24 \text{ h})(306 \text{ d})}{1 \text{d}}$ = 7650 h.

- Sapendo che la distanza minima tra Terra e Marte viene percorsa in circa 306 giorni, si può calcolare il tempo di percorrenza della distanza massima con una proporzione:

  $(306 \text{d}) : (5{,}57 \times 10^7 \text{ km}) = x : (4{,}01 \times 10^8 \text{ km})$

  da cui:

  $$x = \frac{(306 \text{ d})(4{,}01 \times 10^8 \text{ km})}{5{,}57 \times 10^7 \text{ km}} = 2203 \text{ d}$$

  La sonda impiegherebbe circa 6 anni.

PARTENZA DALLA BASE LUNARE

Esercizio a pag. L46

- Tenendo presente che l'accelerazione di gravità lunare vale 1,6 m/s², il lavoro compiuto è

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2}\left(2,6\times10^6\ \text{kg}\right)\left(2300\ \text{m/s}\right)^2 + \left(2,6\times10^6\ \text{kg}\right)\left(1,6\ \text{m/s}^2\right)\left(100\times10^3\ \text{m}\right) =$$
$$= 6,9\times10^{12}\ \text{J} + 4,2\times10^{11}\ \text{J} = 7,3\times10^{12}\ \text{J}$$

- $m = \dfrac{7,3\times10^{12}\ \text{J}}{1\times10^8\ \text{J/kg}} \approx 7\times10^4\ \text{kg}$

- La riduzione percentuale della massa di carburante rispetto al lancio dalla Terra è

$$\frac{2\times10^6\ \text{kg} - 7\times10^4\ \text{kg}}{2\times10^6\ \text{kg}} = 0,965 \approx 97\%$$

L'ATMOSFERA DI MARTE, TERRA E VENERE A CONFRONTO

Esercizio a pag. L48

- Su Marte l'atmosfera ha una densità pari a circa un sessantesimo di quella dell'atmosfera terrestre, per cui si ottiene

$$d_{\text{Marte}} = \frac{d_{\text{Terra}}}{60} = \frac{1,23\ \text{kg/m}^3}{60} = 0,02\ \text{kg/m}^3$$

- La densità dell'atmosfera di Venere è circa 53 volte quella dell'atmosfera terrestre, per cui si ha

$$d_{\text{Venere}} = 53 d_{\text{Terra}} = 53 1,23\ \text{kg/m}^3 = 65\ \text{kg/m}^3 \quad \Rightarrow \quad \frac{d_{\text{Venere}}}{d_{\text{Marte}}} = \frac{65\ \text{kg/m}^3}{0,02\ \text{kg/m}^3} \approx 3300$$

Esercizio a pag. L48

- Su Marte si ha $\Delta T_{\text{Marte}} = T_{\max} - T_{\min} = 20\,°\text{C} - (-140\,°\text{C}) = 160\,°\text{C} = 160\ \text{K}$.

  Su Venere si ha $\Delta T_{\text{Venere}} = T_{\max} - T_{\min} = 467\,°\text{C} - 437\,°\text{C} = 30\,°\text{C} = 30\ \text{K}$.

- La dilatazione termica è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura e, pertanto, è un fenomeno più evidente su Marte dove la differenza tra la temperatura minima e quella massima è più ampia.

Esercizio a pag. L48

- Su Venere si ha

$$V_V = \frac{nRT_V}{p_V} = \frac{\left(1,4\ \text{mol}\right)\left(8,3145\ \dfrac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left[\left(450+273\right)\text{K}\right]}{921,0\times13\times10^5\ \text{Pa}} = 9,0\times10^{-4}\ \text{m}^3$$

$$r_V = \sqrt[3]{\frac{3V_V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{39,0 \times 10^{-4}\ \text{m}^3}{4\pi}} = 0,060\,\text{m} = 6,0\ \text{cm}$$

- Sulla Terra si ha:

$$V_T = \frac{nRT_T}{p_T} = \frac{(1,4\,\text{mol})\left(8,3145\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left[(20+273)\text{K}\right]}{1,013\times 10^5\ \text{Pa}} = 3,4\times 10^{-2}\ \text{m}^3$$

$$r_T = \sqrt[3]{\frac{3V_T}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{33,4\times 10^{-2}\ \text{m}^3}{4\pi}} = 0,20\,\text{m} = 20\ \text{cm}$$

- Su Marte si ha:

$$V_M = \frac{nRT_M}{p_M} = \frac{(1,4\,\text{mol})\left(8,3145\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)\left[(-63+273)\text{K}\right]}{9,010^2\ \text{Pa}} = 2,72\ \text{m}^3$$

$$r_M = \sqrt[3]{\frac{3V_M}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32,72\,\text{m}^3}{4\pi}} = 0,86\,\text{m} = 86\ \text{cm}$$

L'EFFETTO SERRA DI VENERE, TERRA E MARTE

▶ Esercizio a pag. L51

Dalla legge di Stefan-Boltzmann otteniamo

$$I = kT^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{I}{k}} = \sqrt[4]{\frac{240\ \text{W/m}^2}{5,67\times 10^{-8}\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4}}} = 255\,\text{K} = -18\,°\text{C}$$

▶ Esercizio a pag. L52

- L'alluminio è l'unico metallo con una temperatura di fusione maggiore di 380 °C, pari a 660 °C.
- $I = kT^4 = 5,67\times 10^{-8}\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4}(653\,\text{K})^4 = 10,3\ \text{kW/m}^2$

COMPITI
APPROFONDIMENTI DELLE UDA
SVOLGIMENTI DEGLI ESERCIZI

3
Verifiche

In questa sezione proponiamo tre esempi di prova di verifica con svolgimento per il capitolo 1 *Le grandezze fisiche.*

Le prove di verifica nelle versioni fila A e fila B per **tutti i capitoli** del libro e i relativi svolgimenti sono disponibili per gli insegnanti, in formato .docx modificabile, sul sito:

online.zanichelli.it/amaldiverde2ed

Verifica per il capitolo 1: Le grandezze fisiche (fila A)

TEST

1 Un recipiente il cui volume utile è 1000 L può contenere un volume d'acqua pari a

A $1\ m^3$

B $100\ dm^3$

C 10^9 mL

D 0,1 hL

2 La densità del mercurio (Hg) è circa $13600\ kg/m^3$. Che volume occupa una massa di 100 g di Hg?

A $136\ dm^3$

B $7{,}35 \times 10^{-4}$ L

C $7{,}35 \times 10^{-6}\ m^3$

D 1,36 cL

3 Un CD ha una superficie di circa $113{,}097\ cm^2$. Quale deve essere la misura minima del lato di una custodia quadrata per poterlo contenere?

A 0,010 m

B 120 mm

C 11,3 cm

D 12 dm

4 Il magnetron, il dispositivo che genera le microonde in un forno domestico, funziona alla frequenza di 2450 MHz che è equivalente a

A 2,45 THz

B 2,45 kHz

C 2,45 pHz

D 2,45 GHz

PROBLEMI

5 Un blocco di una lega metallica a base di Nichel-Cromo a forma di parallelepipedo misura 20 cm × 8 cm × 3 cm ed è posizionato sul piatto sinistro di una bilancia a due piatti. Per equilibrare la massa del blocco metallico si posizionano sul piatto destro 100 dischi di acciaio (densità = $7{,}8\ g/cm^3$) del diametro di 4 cm e spessore 4 mm.
In un secondo momento si sostituisce il blocco di metallo con uno di teflon (densità $2{,}3\ g/cm^3$) di dimensioni uguali.

- Calcola la densità del blocco di metallo.
- Calcola quanti dischi bisogna togliere o aggiungere dopo la sostituzione del blocco metallico con quello di teflon per riottenere l'equilibrio tra i due piatti della bilancia.

6 Un corpo è immerso in un cilindro con sezione trasversale di area 30 cm^2 contenente acqua. Dopo l'immersione il livello dell'acqua si è innalzato di 0,8 cm.

- Calcola il volume del corpo.

7 La distanza media della galassia Andromeda dalla Terra è circa $2{,}1 \times 10^{22}$ m. La distanza media della Terra dal Sole è circa $1{,}49 \times 10^{11}$ m.

- Sapendo che 1 anno-luce (distanza percorsa in un anno alla velocità della luce) è equivalente a $9{,}46 \times 10^{15}$ m, calcola le due distanze astronomiche in anni-luce.

8 Carmen acquista in un supermercato due confezioni di latte da 6 brick da 1 L al prezzo, in offerta, di 3,99€ ciascuna. Il prezzo intero di un brick da 1 L di quella marca di latte è 95 centesimi.

- Calcola quanto ha risparmiato Carmen acquistando il latte in offerta anziché a prezzo intero.

Svolgimento della verifica

TEST

1 A

2 C

3 B

4 D

PROBLEMI

5 Massa dei 100 dischi = Massa blocco metallico

Quindi la massa del blocco metallico è

$$M = 100V_{\text{disco}}d_{\text{acc}} = 100A_{\text{disco}}h_{\text{disco}}d_{\text{acc}} =$$

$$= 100\times\left[\frac{\pi(4\text{ cm})^2}{4}(0{,}4\text{ cm})\right](7{,}8\text{ g/cm}^3) = 100\times(39{,}21\text{ g}) = 3921\text{ g}$$

La massa di un singolo disco è quindi 39,21 g.

$$V_{\text{blocco met}} = (20\text{ cm})(8\text{ cm})(3\text{ cm}) = 480\text{ cm}^3$$

$$d_{\text{blocco met}} = \frac{M}{V_{\text{blocco met}}} = \frac{3921\text{ g}}{480\text{ cm}^3} = 8{,}2\text{ g/cm}^3$$

Per il blocco di teflon si ha:

$$M_{\text{teflon}} = V\times d_{\text{teflon}} = (480\text{ cm}^3)(2{,}3\text{ g/cm}^3) = 1104\text{ g}$$

Il blocco di teflon pesa meno del blocco metallico, quindi si deve ridurre il numero di dischi di acciaio.

Il numero di dischi che equilibra il blocco di teflon è

$$n' = \frac{M_{\text{teflon}}}{M_{\text{disco}}} = \frac{1104\text{ g}}{39{,}21\text{ g}} = 28$$

Bisognerà dunque togliere 100 – 28 = 72 dischi per riottenere l'equilibrio tra i due piatti della bilancia.

6 $V = Ah = (30\text{ cm})^2(0{,}8\text{ cm}) = 24\text{ cm}^3$

7 Distanza Andromeda-Terra: $d_{A-T} = (2{,}1\times10^{22}\text{ m})\dfrac{1\text{ anno-luce}}{9{,}46\times10^{15}\text{ m}} = 2{,}2\times10^{6}\text{ anni-luce}$.

Distanza Terra-Sole: $d_{T-S} = (1{,}49\times10^{11}\text{ m})\dfrac{1\text{ anno-luce}}{9{,}46\times10^{15}\text{ m}} = 1{,}57\times10^{-5}\text{ anni-luce}$.

8 Prezzo pagato da Carmen: $2\times€\ 3{,}99 = €\ 7{,}98$.

Prezzo intero: $(2\times6\times1\text{ L})\left(95\ \dfrac{€/100}{\text{L}}\right) = 11{,}40€$.

Il risparmio è stato quindi di: $€\ 11{,}40 - €\ 7{,}98 = €\ 3{,}42$.