VERIFICA

Verifica di fine parte · La quantità di moto

Tempo indicativo: 100 minuti · Punteggio totale: 100 punti

Fisica 4 · Parte I · La quantità di moto · versione 1.0
Verifica: Verifica di fine parte · La quantità di moto · pagine 71–76 del volume completo · estratto per lo studio

La verifica riguarda i capitoli 1–2. È ammessa la calcolatrice scientifica. Scrivi sempre le formule che usi, i passaggi e le unità di misura: un risultato senza unità è considerato incompleto. Esprimi i risultati con un numero di cifre significative coerente con i dati. In ogni problema sulla quantità di moto indica il sistema, di' se è isolato e fissa un verso positivo. Usa $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.

Parte A · Domande a scelta multipla (10 domande, 2 punti ciascuna)

1. ● Quale delle seguenti grandezze è uno scalare?
   - **A.** la quantità di moto di un corpo
   - **B.** l'impulso di una forza
   - **C.** l'energia cinetica di un corpo
   - **D.** la velocità del centro di massa di un sistema

2. ●● Due corpi hanno la stessa energia cinetica, ma il secondo ha massa quadrupla rispetto al primo. La quantità di moto del secondo, in modulo, è:
   - **A.** uguale a quella del primo
   - **B.** doppia di quella del primo
   - **C.** quadrupla di quella del primo
   - **D.** la metà di quella del primo

3. ●● Il grafico forza–tempo di un colpo è un trapezio: la forza sale da 0 a 500 N in 2,0 ms, resta costante per 6,0 ms e torna a zero in altri 2,0 ms. L'impulso del colpo vale:
   - **A.** 5,0 N·s
   - **B.** 3,0 N·s
   - **C.** 2,5 N·s
   - **D.** 4,0 N·s

4. ● Atterrando dopo un salto pieghi le ginocchia. In questo modo:
   - **A.** allunghi la durata dell'arresto e riduci la forza media, mentre la variazione della tua quantità di moto resta la stessa
   - **B.** riduci la variazione della tua quantità di moto
   - **C.** riduci la durata dell'arresto
   - **D.** aumenti l'impulso che ricevi dal suolo

5. ●● Una ragazza ferma su uno skateboard lancia in avanti, in orizzontale, uno zaino che ha un quinto della massa sua e dello skateboard (attriti trascurabili). Subito dopo il lancio:
   A. la ragazza resta ferma, perché lo zaino è leggero
   B. la ragazza arretra con una velocità di modulo cinque volte minore di quella dello zaino
   C. la ragazza arretra con una velocità di modulo uguale a quella dello zaino
   D. la ragazza arretra con la stessa energia cinetica dello zaino

6. ● Un carrello di massa m, in moto con velocità v, urta un carrello fermo di massa $2m$ e resta agganciato. La velocità comune dopo l'urto è:
   A. $v/3$
   B. $v/2$
   C. $2v/3$
   D. v

7. ●● Una pallina da ping-pong urta frontalmente, in modo elastico, una boccia molto più pesante e ferma. Dopo l'urto:
   A. la pallina si ferma e la boccia parte con la velocità iniziale della pallina
   B. pallina e boccia proseguono insieme con la stessa velocità
   C. la boccia parte con velocità doppia di quella iniziale della pallina
   D. la pallina torna indietro con velocità di modulo quasi uguale a quello iniziale, e la boccia resta quasi ferma

8. ● Quale dei seguenti urti è, con buona approssimazione, elastico?
   A. una palla di plastilina che si schiaccia contro un muro
   B. due palle da biliardo che si urtano
   C. due vagoni che si agganciano
   D. un proiettile che si conficca in un blocco di legno

9. ● Il centro di massa di un anello sottile e omogeneo si trova:
   A. nel centro dell'anello, in un punto dove non c'è materia
   B. in un punto qualsiasi del bordo
   C. nel punto più basso dell'anello
   D. in nessun punto: un anello non ha centro di massa

10. ●● Sulla stessa retta un corpo di 1,0 kg si muove a +4,0 m/s e un corpo di 3,0 kg è fermo. La velocità del centro di massa del sistema è:
    A. +4,0 m/s
    B. +2,0 m/s
    C. +1,0 m/s
    D. +1,3 m/s

Parte B · Esercizi (5 esercizi, 6 punti ciascuno)

11. ● Una pallina da golf di 46 g, ferma sul tee, viene colpita dalla mazza e parte a 70 m/s; il contatto dura 0,50 ms. a) Calcola la quantità di moto della pallina subito dopo il colpo (2 punti). b) Calcola la forza media esercitata dalla mazza (2 punti). c) Confronta la forza media con il peso della pallina: quante volte è più grande? Perché durante il colpo il peso si può trascurare? (2 punti)

12. ●● Una palla di 0,50 kg cade sul pavimento e lo colpisce a 6,0 m/s; rimbalza verso l'alto a 4,0 m/s. Considera il sistema formato dalla sola palla e scegli come positivo il verso verso l'alto. a) Calcola la variazione della quantità di moto della palla, con il segno (2 punti). b) Quale sarebbe stata la variazione se la palla si fosse fermata sul pavimento senza rimbalzare? Commenta il confronto (2 punti). c) Trascurando la resistenza dell'aria, da quale altezza è caduta la palla, e a quale altezza risale dopo il rimbalzo? (Usa la conservazione dell'energia meccanica, Fisica 3, capitolo 16) (2 punti)

13. ●● Un cannone di $1{,}2 \times 10^{3}$ kg, fermo su rotaie orizzontali con attrito trascurabile, spara orizzontalmente lungo le rotaie una palla di 6,0 kg a 300 m/s. a) Indica il sistema e spiega perché, nella direzione delle rotaie, lo si può considerare isolato durante lo sparo (2 punti). b) Calcola la velocità di rinculo del cannone, con il segno, prendendo come positivo il verso del moto della palla (2 punti). c) Calcola il rapporto fra l'energia cinetica della palla e quella del cannone, e spiega perché è il proiettile, non il cannone, a essere pericoloso (2 punti).

14. ●● Su una guida rettilinea un carrello A di 2,0 kg si muove a +3,0 m/s e va incontro a un carrello B di 1,0 kg che si muove a −3,0 m/s. L'urto è elastico e frontale. a) Scrivi la conservazione della quantità di moto e la proprietà della velocità relativa negli urti elastici, con le velocità finali v_A' e v_B' come incognite (2 punti). b) Risolvi il sistema e trova le due velocità finali, con il segno (2 punti). c) Verifica che l'energia cinetica totale si conserva (2 punti).

15. ●● La massa di Giove è $1{,}90 \times 10^{27}$ kg e la sua distanza media dal Sole è 5,20 UA. Con i dati della Tabella A.2 dell'Appendice (massa e raggio del Sole; 1 UA = $1{,}496 \times 10^{11}$ m) e l'origine nel centro del Sole: a) calcola la distanza fra il centro del Sole e il centro di massa del sistema Sole–Giove, trascurando gli altri pianeti (3 punti); b) stabilisci se questo punto si trova dentro o fuori dal Sole (1 punto); c) Sole e Giove girano entrambi attorno al loro centro di massa, con lo stesso periodo. Quale dei due descrive il cerchio più piccolo, e quanto vale il raggio del cerchio descritto dal centro del Sole? (2 punti)

Parte C · Problemi e domanda sulla fonte (50 punti in totale)

16. ●●● **(14 punti)** Su una rotaia a cuscino d'aria orizzontale, con attrito trascurabile, un carrello A di 0,60 kg si muove a 1,20 m/s verso un carrello B di 0,20 kg, fermo. I due carrelli portano dei magneti che si respingono, e B porta un sensore di forza: il grafico semplificato della forza che A esercita su B durante l'interazione è nella Figura V1.1. Prendi come positivo il verso del moto iniziale di A. a) Qual è il sistema? Spiega perché la sua quantità di moto si conserva (2 punti). b) Ricava dal grafico l'impulso ricevuto da B e la forza media sulla durata dell'interazione (3 punti). c) Con il teorema dell'impulso, calcola la velocità di B dopo l'urto (2 punti). d) Quanto vale l'impulso ricevuto da A? Calcola la velocità di A dopo l'urto (3 punti). e) L'urto è elastico? Rispondi con un calcolo (2 punti). f) Calcola la velocità del centro di massa del sistema prima e dopo l'urto, e commenta (2 punti).

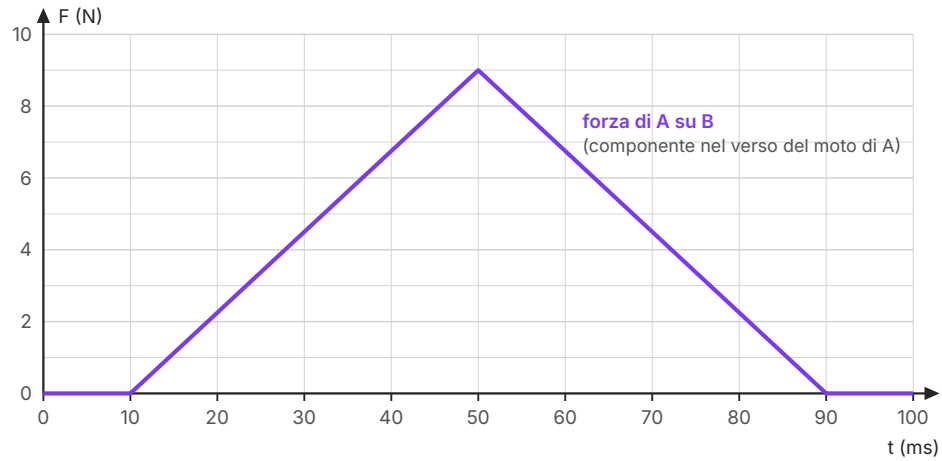


Figura V1.1 Forza esercitata dal carrello A sul carrello B durante l'interazione magnetica come la registra il sensore di forza montato su B, in forma semplificata.

17. ●● **(12 punti)** Luca è fermo sul suo skateboard su un piazzale liscio; insieme hanno una massa di 60 kg. Un amico gli lancia una palla medica di 4,0 kg, che arriva in orizzontale a 5,0 m/s: Luca la afferra. Trascura gli attriti e prendi come positivo il verso del moto della palla. a) Spiega perché il sistema Luca + skateboard + palla si può considerare isolato nella direzione orizzontale (2 punti). b) Con quale velocità si muove Luca dopo aver afferrato la palla? Di che tipo di urto si tratta? (3 punti) c) Calcola l'energia cinetica perduta nella presa e la frazione dell'energia cinetica iniziale che rappresenta. Dove è andata? (3 punti) d) Subito dopo, Luca rilancia la palla all'amico a 5,0 m/s (velocità rispetto al suolo, nel verso negativo). Calcola la nuova velocità di Luca e la forza media che la palla esercita su di lui, se il lancio dura 0,50 s (2 punti). e) Luca vorrebbe invece tornare fermo lanciando la palla. In quale verso e con quale velocità dovrebbe lanciarla? (2 punti)

18. ●● **(12 punti)** Su un tavolo a cuscino d'aria, in un sistema di riferimento con l'asse x verso est e l'asse y verso nord, un disco A di 0,30 kg si muove verso est a 2,0 m/s e un disco B di 0,20 kg verso nord a 3,0 m/s. All'istante $t = 0$ A si trova nel punto (−1,0 m; 0) e B nel punto (0; −1,5 m). I due dischi si urtano nell'origine e restano attaccati. a) Verifica che i due dischi arrivano nell'origine nello stesso istante, e calcola le componenti della quantità di moto totale prima dell'urto (3 punti). b) Calcola il modulo della velocità dei dischi uniti dopo l'urto e indicane la direzione (3 punti). c) Calcola l'energia cinetica perduta nell'urto (2 punti). d) Calcola la posizione del centro di massa all'istante $t = 0$ e le componenti della sua velocità (2 punti). e) Mostra che il centro di massa arriva nell'origine proprio nell'istante dell'urto e confronta la sua velocità con quella dei dischi uniti: che cosa ne concludi? (2 punti)

19. ●● **(12 punti) Domanda sulla fonte.** Nei *Principia* (1687), dopo aver enunciato la terza legge del moto, Newton osserva che per effetto delle azioni reciproche fra due corpi cambiano in ugual misura «*non velocitatum sed motuum*», non le velocità ma i moti: «Per queste azioni diventano uguali i cambiamenti non delle velocità, ma dei moti, s'intende in corpi non ostacolati da altro. Infatti i cambiamenti delle velocità, fatti anch'essi in versi opposti, poiché i moti cambiano in ugual misura, sono inversamente proporzionali ai corpi» (traduzione della redazione). Per Newton il «moto» di un corpo è la sua *quantitas motus*, e un «corpo» si misura con la sua quantità di materia, cioè con la massa. a) Riscrivi l'affermazione di Newton nel linguaggio del capitolo 1, con una formula per le quantità di moto e una per le velocità (3 punti). b) Su una rotaia un carrello di 0,40 kg e uno di 1,20 kg si urtano; la velocità del primo cambia di 0,90 m/s. Di quanto cambia la velocità del secondo, e in che verso? Il risultato dipende dal tipo di urto? (3 punti) c) A che cosa corrisponde, oggi, la condizione «in corpi non ostacolati da altro»? Una palla rimbalza su un pavimento: la sua quantità di moto cambia, ma il pavimento sembra non muoversi affatto. È una smentita di Newton? (3 punti) d) Newton parla dei «moti», non dell'energia. Anche le variazioni di energia cinetica dei due corpi sono sempre uguali e opposte? Rispondi con l'esempio di un urto completamente anelastico (3 punti).

Griglia di valutazione Punti per sezione.

Sezione	Contenuto	Punti
Parte A	domande 1–10 × 2 punti	20
Parte B	esercizi 11–15 × 6 punti	30
Parte C	problema 16 (14), problema 17 (12), problema 18 (12), domanda sulla fonte 19 (12)	50
Totale		**100**

Dal punteggio al voto Corrispondenza indicativa fra punteggio e voto in decimi.

Punteggio	0–24	25–34	35–44	45–54	55–64	65–74	75–84	85–94	95–100
Voto	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Soluzioni

1. C (2 punti). L'energia cinetica $\frac{1}{2}m\,v^2$ è un numero senza direzione; quantità di moto, impulso e velocità del centro di massa sono vettori.

2. B (2 punti). A parità di $K = \frac{1}{2}m\,v^2$, se la massa è quadrupla il quadrato della velocità è quattro volte minore, cioè la velocità è la metà; la quantità di moto è $4m \cdot v/2 = 2m\,v$, doppia.

3. D (2 punti). Area del trapezio: (10 ms + 6,0 ms)/2 × 500 N = (0,016 s/2) × 500 N = 4,0 N·s.

4. A (2 punti). La variazione della quantità di moto (dalla velocità d'arrivo a zero) è fissata; allungando Δt la forza media $F_\text{m} = \Delta p/\Delta t$ diminuisce.

5. B (2 punti). Il sistema ragazza + skateboard + zaino, inizialmente fermo, è isolato in orizzontale: le quantità di moto finali sono uguali e opposte, quindi le velocità stanno nel rapporto inverso delle masse. L'energia cinetica della ragazza è invece cinque volte minore di quella dello zaino (D è falsa).

6. A (2 punti). $m\,v = (m + 2m)\,v_\text{f}$, quindi $v_\text{f} = v/3$.

7. D (2 punti). Con $m_2 \gg m_1$: $v_1' = (m_1 - m_2)v_1/(m_1 + m_2) \approx -v_1$ e $v_2' = 2m_1v_1/(m_1 + m_2) \approx 0$. La risposta A vale per masse uguali.

8. B (2 punti). Le palle da biliardo, rigide ed elastiche, si deformano pochissimo e restituiscono quasi tutta l'energia cinetica; negli altri tre casi i corpi si deformano in modo permanente o restano uniti.

9. A (2 punti). Per simmetria il centro di massa è nel centro geometrico: il centro di massa non deve necessariamente trovarsi nel materiale del corpo.

10. C (2 punti). $v_\text{cm} = p_\text{tot}/m_\text{tot}$ = (1,0 kg × 4,0 m/s)/(4,0 kg) = +1,0 m/s.

11. a) $p = m\,v$ = 0,046 kg × 70 m/s ≈ 3,2 kg·m/s (2 punti). b) Per il teorema dell'impulso, partendo da ferma: $F_\text{m} = \Delta p/\Delta t$ = 3,22 kg·m/s / (0,50 × 10^{-3} s) ≈ 6,4 × 10^3 N (2 punti). c) Peso: $m\,g$ = 0,046 kg × 9,8 m/s^2 ≈ 0,45 N; rapporto ≈ 6440 N / 0,451 N ≈ 1,4 × 10^4 (1 punto). Il peso, circa quattordicimila volte più piccolo e agente per lo stesso brevissimo tempo, dà un impulso trascurabile rispetto a quello della mazza (1 punto).

12. a) p_i = 0,50 kg × (−6,0 m/s) = −3,0 kg·m/s; p_f = 0,50 kg × (+4,0 m/s) = +2,0 kg·m/s; Δp = +2,0 − (−3,0) = +5,0 kg·m/s, verso l'alto (2 punti). b) Senza rimbalzo Δp = 0 − (−3,0 kg·m/s) = +3,0 kg·m/s (1 punto). Con il rimbalzo il pavimento deve prima fermare la palla e poi rilanciarla: l'impulso che le dà è maggiore, perché la quantità di moto è un vettore e i due contributi si sommano (1 punto). c) Caduta: $h = v^2/(2g)$ = (6,0 m/s)^2/(2 × 9,8 m/s^2) ≈ 1,8 m (1 punto); risalita: (4,0 m/s)^2/(19,6 m/s^2) ≈ 0,82 m (1 punto).

13. a) Il sistema è cannone + palla (+ i gas dello sparo, di massa trascurabile). Le forze fra palla e cannone sono interne; le forze esterne (peso e reazione delle rotaie) sono verticali e l'attrito è trascurabile: nella direzione delle rotaie la risultante delle forze esterne è nulla, e la quantità di moto orizzontale, inizialmente zero, si conserva (2 punti). b) 0 = 6,0 kg × 300 m/s + 1,2 × 10^3 kg · V, quindi V = −1800 kg·m/s / 1200 kg = −1,5 m/s (2 punti). c) K_palla = ½ × 6,0 kg × (300 m/s)^2 = 2,7 × 10^5 J; K_cannone = ½ × 1200 kg × (1,5 m/s)^2 ≈ 1,4 × 10^3 J; rapporto = 200, uguale al rapporto inverso delle masse (1 punto). Le quantità di moto sono uguali in modulo, ma l'energia cinetica, cioè il lavoro che il corpo può compiere fermandosi contro un ostacolo, è quasi tutta della palla (1 punto).

14. a) Quantità di moto: 2,0 kg × 3,0 m/s + 1,0 kg × (−3,0 m/s) = 2,0 kg · v_A' + 1,0 kg · v_B', cioè $2v_\text{A}' + v_\text{B}'$ = 3,0 m/s (1 punto). Velocità relativa: $v_\text{A} - v_\text{B} = -(v_\text{A}' - v_\text{B}')$, cioè $v_\text{B}' - v_\text{A}'$ = 6,0 m/s (1 punto). b) Sostituendo $v_\text{B}' = v_\text{A}'$ + 6,0 m/s: $3v_\text{A}'$ + 6,0 m/s = 3,0 m/s, quindi v_A' = −1,0 m/s e v_B' = +5,0 m/s: entrambi i carrelli invertono il verso del moto (2 punti). c) Prima: ½ × 2,0 × 3,0^2 + ½ × 1,0 × 3,0^2 = 9,0 J + 4,5 J = 13,5 J; dopo: ½ × 2,0 × 1,0^2 + ½ × 1,0 × 5,0^2 = 1,0 J + 12,5 J = 13,5 J (2 punti).

15. a) Distanza Sole–Giove: $d = 5{,}20 \times 1{,}496 \times 10^{11}$ m $\approx 7{,}78 \times 10^{11}$ m (1 punto). $x_{cm} = M_G\, d/(M_S + M_G) = (1{,}90 \times 10^{27}\ \text{kg} \times 7{,}78 \times 10^{11}\ \text{m})/(1{,}99 \times 10^{30}\ \text{kg} + 1{,}90 \times 10^{27}\ \text{kg}) \approx 7{,}4 \times 10^{8}$ m (2 punti). b) Il raggio del Sole è $6{,}96 \times 10^{8}$ m: il centro di massa è *fuori* dal Sole, di poco (circa 1,07 raggi solari dal centro) (1 punto). c) Il Sole, molto più massiccio, descrive il cerchio più piccolo: le distanze dal centro di massa sono inversamente proporzionali alle masse. Il centro del Sole descrive un cerchio di raggio $\approx 7{,}4 \times 10^{8}$ m, mentre Giove ne descrive uno di raggio $\approx 7{,}78 \times 10^{11}$ m $- 7{,}4 \times 10^{8}$ m $\approx 7{,}77 \times 10^{11}$ m (2 punti).

16. a) Il sistema è formato dai due carrelli. Le forze magnetiche fra A e B sono interne (azione e reazione); le forze esterne, pesi e spinta del cuscino d'aria, sono verticali e si fanno equilibrio, e l'attrito è trascurabile: il sistema è isolato e la sua quantità di moto si conserva (2 punti). b) L'impulso è l'area del triangolo: $I = \frac{1}{2} \times 0{,}080$ s $\times\ 9{,}0$ N $= 0{,}36$ N·s, nel verso positivo (2 punti); $F_m = I/\Delta t = 0{,}36$ N·s / 0,080 s = 4,5 N, la metà del picco (1 punto). c) $I = \Delta p_B = m_B v_B' - 0$, quindi $v_B' = 0{,}36$ N·s / 0,20 kg = +1,8 m/s (2 punti). d) Per il terzo principio A riceve l'impulso opposto, −0,36 N·s (1 punto); $v_A' = (m_A v_A - 0{,}36\ \text{N·s})/m_A = (0{,}72 - 0{,}36)$ kg·m/s / 0,60 kg = +0,60 m/s; A prosegue più lentamente nello stesso verso (2 punti). e) K prima: $\frac{1}{2} \times 0{,}60\ \text{kg} \times (1{,}20\ \text{m/s})^2 = 0{,}432$ J; dopo: $\frac{1}{2} \times 0{,}60 \times 0{,}60^2 + \frac{1}{2} \times 0{,}20 \times 1{,}8^2 = 0{,}108$ J + 0,324 J = 0,432 J: l'energia cinetica si conserva, l'urto è elastico (lo conferma la velocità relativa, che passa da +1,20 m/s a 0,60 − 1,8 = −1,20 m/s) (2 punti). f) $v_{cm} = p_{tot}/m_{tot} = 0{,}72$ kg·m/s / 0,80 kg = +0,90 m/s prima; dopo $(0{,}60 \times 0{,}60 + 0{,}20 \times 1{,}8)/0{,}80 = 0{,}72/0{,}80 = +0{,}90$ m/s: è la stessa, perché in un sistema isolato il centro di massa si muove di moto rettilineo uniforme qualunque cosa accada fra i corpi (2 punti).

17. a) Le forze fra Luca e la palla, nella presa e nel lancio, sono interne; i pesi e la reazione del suolo sono verticali e gli attriti si trascurano: in orizzontale la risultante delle forze esterne è nulla (2 punti). b) 4,0 kg × 5,0 m/s = (60 kg + 4,0 kg) v_1, quindi $v_1 = 20$ kg·m/s / 64 kg ≈ +0,31 m/s (2 punti). Luca e la palla restano uniti: è un urto completamente anelastico (1 punto). c) $K_i = \frac{1}{2} \times 4{,}0\ \text{kg} \times (5{,}0\ \text{m/s})^2 = 50$ J; $K_f = \frac{1}{2} \times 64\ \text{kg} \times (0{,}3125\ \text{m/s})^2 \approx 3{,}1$ J; perduta ≈ 47 J (2 punti), cioè il 94% (uguale a $M/(M + m) = 60/64$). È diventata energia interna (riscaldamento) e lavoro di deformazione dei muscoli e della palla, in minima parte suono (1 punto). d) La quantità di moto totale resta +20 kg·m/s: 20 kg·m/s = 60 kg · v_2 + 4,0 kg × (−5,0 m/s), quindi $v_2 = 40$ kg·m/s / 60 kg ≈ +0,67 m/s (1 punto). Impulso su Luca: 60 kg × (0,667 − 0,3125) m/s ≈ 21 N·s; $F_m \approx 21{,}3$ N·s / 0,50 s ≈ 43 N, nel verso positivo (1 punto). e) Per avere $v_2 = 0$ tutta la quantità di moto, +20 kg·m/s, deve restare alla palla: 4,0 kg · u = 20 kg·m/s, u = +5,0 m/s. Luca dovrebbe lanciarla in avanti, nel verso in cui era arrivata, a 5,0 m/s: in pratica, lasciarla proseguire come se non l'avesse mai presa (2 punti).

18. a) A percorre 1,0 m a 2,0 m/s in 0,50 s; B percorre 1,5 m a 3,0 m/s in 0,50 s: arrivano insieme (1 punto). $p_x = 0{,}30\ \text{kg} \times 2{,}0\ \text{m/s} = 0{,}60$ kg·m/s (solo A); $p_y = 0{,}20\ \text{kg} \times 3{,}0\ \text{m/s} = 0{,}60$ kg·m/s (solo B) (2 punti). b) Si conserva ciascuna componente; dopo l'urto la massa è 0,50 kg: $v_x = v_y = 0{,}60/0{,}50 = 1{,}2$ m/s (1 punto); $v = \sqrt{(1{,}2^2 + 1{,}2^2)}$ m/s ≈ 1,7 m/s (1 punto). Le componenti sono uguali, quindi la velocità è diretta lungo la diagonale del quadrato, a 45° fra est e nord, verso nord-est (1 punto). c) $K_i = \frac{1}{2} \times 0{,}30 \times 2{,}0^2 + \frac{1}{2} \times 0{,}20 \times 3{,}0^2 = 0{,}60$ J + 0,90 J = 1,50 J; $K_f = \frac{1}{2} \times 0{,}50\ \text{kg} \times (1{,}70\ \text{m/s})^2 = 0{,}72$ J; perduta 0,78 J, il 52% (2 punti). d) $x_{cm} = (0{,}30 \times (-1{,}0) + 0{,}20 \times 0)/0{,}50$ m = −0,60 m; $y_{cm} = (0{,}30 \times 0 + 0{,}20 \times (-1{,}5))/0{,}50$ m = −0,60 m (1 punto). $v_{cm,\,x} = p_x/m_{tot} = 1{,}2$ m/s; $v_{cm,\,y} = 1{,}2$ m/s (1 punto). e) In 0,50 s il centro di massa si sposta di 1,2 m/s × 0,50 s = 0,60 m in ciascuna direzione: da (−0,60 m; −0,60 m) arriva in (0; 0), proprio dove e quando avviene l'urto (1 punto). La sua velocità è uguale a quella dei dischi uniti: l'urto non cambia il moto del centro di massa, che è rettilineo uniforme prima e dopo; dopo l'urto i dischi uniti si muovono semplicemente come il loro centro di massa (1 punto).

19. a) Il «moto» è la quantità di moto: Newton afferma che le variazioni delle quantità di moto dei due corpi sono uguali in modulo e opposte, $\Delta\boldsymbol{p}_1 = -\Delta\boldsymbol{p}_2$, cioè la conservazione della quantità di moto totale (1 punto); poiché $\Delta p = m\,\Delta v$, le variazioni di velocità sono opposte e inversamente proporzionali alle masse: $|\Delta v_1|/|\Delta v_2| = m_2/m_1$ (2 punti). b) $|\Delta v_2| = (0{,}40$ kg / 1,20 kg) × 0,90 m/s = 0,30 m/s, in verso opposto a

quella del primo (2 punti). Non dipende dal tipo di urto: la quantità di moto si conserva in ogni urto di un sistema isolato, elastico o no (1 punto). c) Oggi diciamo che il sistema dei due corpi deve essere isolato: la risultante delle forze esterne deve essere nulla, o trascurabile durante l'interazione (1 punto). Il rimbalzo non smentisce Newton: il pavimento è unito alla Terra, e la quantità di moto ceduta dalla palla va a tutta la Terra; con una massa di circa 6×10^{24} kg la variazione di velocità della Terra è così piccola da non potersi osservare. È proprio la proporzionalità inversa del passo di Newton (2 punti).

d) No (1 punto). Esempio: un carrello in moto si aggancia a un carrello uguale fermo. Le quantità di moto cambiano di $-m\,v/2$ e $+m\,v/2$, uguali e opposte; l'energia cinetica del primo passa da $m\,v^2/2$ a $m\,v^2/8$ (variazione $-3m\,v^2/8$), quella del secondo da 0 a $m\,v^2/8$ (variazione $+m\,v^2/8$): la somma delle variazioni non è zero, e manca la metà dell'energia cinetica iniziale, diventata energia interna. Le variazioni di energia cinetica sono uguali e opposte soltanto negli urti elastici; Newton ha ragione a parlare di «moti» (2 punti).