VERIFICA

Verifica di fine parte · Le onde e la luce

Tempo indicativo: 100 minuti · Punteggio totale: 100 punti

Fisica 4 · Parte II · Le onde e la luce · versione 1.0
Verifica: Verifica di fine parte · Le onde e la luce · pagine 253–258 del volume completo · estratto per lo studio

La verifica riguarda i capitoli 5–8. È ammessa la calcolatrice scientifica: per le funzioni d'onda usa i radianti (RAD), per gli angoli della rifrazione, dell'interferenza e della polarizzazione i gradi (DEG). 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. Quando una grandezza non cambia passando da un mezzo a un altro, o da una situazione a un'altra, dillo e spiega perché. Puoi consultare le tabelle dell'appendice. Dove non è indicato diversamente, la velocità del suono nell'aria è 343 m/s (aria ferma a 20 °C), la velocità della luce nel vuoto è $c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s e le sorgenti sonore sono puntiformi, emettono ugualmente in tutte le direzioni e non ci sono riflessioni.

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

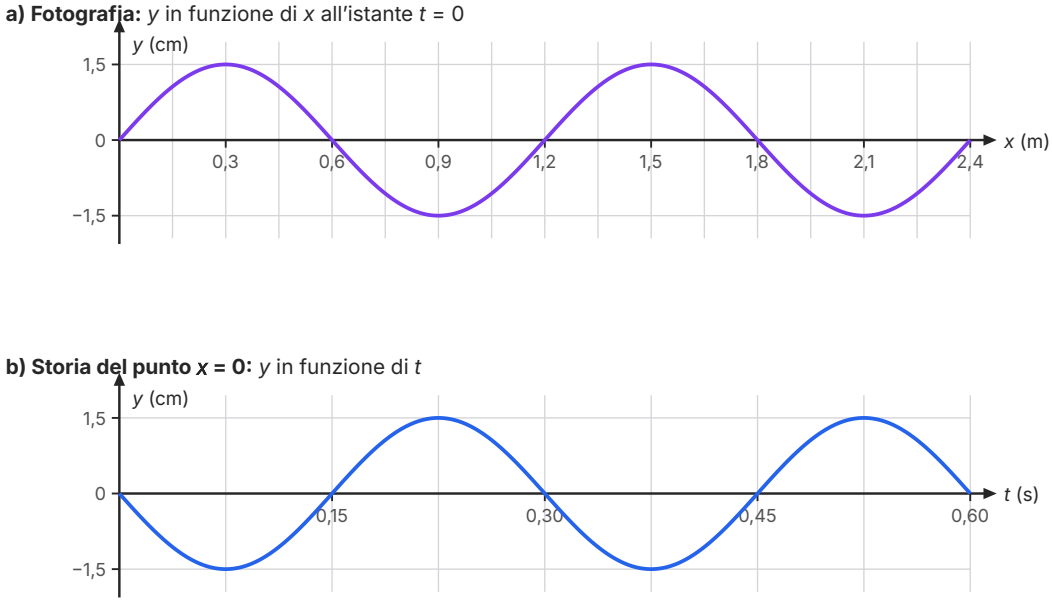


Figura V2.1 Due grafici della stessa onda armonica su una corda, $y = A\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$, calcolati (domanda 1). a) La fotografia della corda all'istante $t = 0$. b) Lo spostamento del punto $x = 0$ in funzione del tempo.

1. ● La Figura V2.1 mostra due grafici della stessa onda armonica che si propaga lungo una corda: la fotografia della corda all'istante $t = 0$ e la storia del punto $x = 0$. La velocità di propagazione dell'onda è:

   A. 0,36 m/s
   B. 0,25 m/s
   C. 4,0 m/s
   D. 2,0 m/s

2. ● Un vibratore di frequenza fissata scuote l'estremo di una corda tesa. Si sostituisce la corda con un'altra di densità lineare quattro volte maggiore, tesa con la stessa forza. La lunghezza d'onda delle onde sulla corda:

   A. raddoppia
   B. si dimezza
   C. resta la stessa, perché la frequenza non cambia
   D. diventa un quarto

3. ●● Una sorgente puntiforme emette onde sferiche in un mezzo che non assorbe energia. A 4,0 m dalla sorgente l'ampiezza dell'onda è A. A 12 m dalla sorgente l'ampiezza è:

   A. $A/3$
   B. $A/9$
   C. $A/\sqrt{3}$
   D. ancora A, perché l'energia si conserva

4. ●● Due onde armoniche di uguale ampiezza A e uguale frequenza viaggiano nello stesso verso lungo una corda, con una differenza di fase $\Delta\varphi = \pi/2$. L'ampiezza dell'onda risultante è:

   A. $2A$
   B. 0
   C. A
   D. $\sqrt{2}\,A \approx 1{,}4\,A$

5. ●● Una corda lunga 0,80 m, fissata ai due estremi, vibra in un'onda stazionaria con 4 nodi, contando anche gli estremi. La lunghezza d'onda è:

   A. 0,53 m
   B. 0,40 m
   C. 1,6 m
   D. 0,27 m

6. ●● A 4,0 m da una sorgente puntiforme il livello di intensità sonora è 86 dB. A 16 m dalla sorgente il livello è:

   A. 80 dB
   B. 21,5 dB
   C. 74 dB
   D. 68 dB

7. ● La frequenza fondamentale di una canna chiusa a un'estremità è 125 Hz. La frequenza di risonanza immediatamente superiore è:

   A. 250 Hz
   B. 375 Hz
   C. 500 Hz
   D. 62,5 Hz

8. ●● Un'auto si avvicina a 30 m/s, a velocità costante, a un pedone fermo, suonando il clacson a 400 Hz. Il pedone riceve una frequenza di circa:

   A. 400 Hz
   B. 368 Hz
   C. 435 Hz
   D. 438 Hz

9. ● In un esperimento di Young le fenditure distano 0,50 mm e lo schermo è a 1,5 m. L'interfrangia misurata è 1,8 mm. La lunghezza d'onda della luce è:

   A. 6,0 µm
   B. 600 nm
   C. 60 nm
   D. 300 nm

10. ●● Luce non polarizzata di intensità I_0 attraversa due polarizzatori ideali, i cui assi di trasmissione formano un angolo di 30°. L'intensità che esce dal secondo è:

    A. 0,75 I_0
    B. 0,125 I_0
    C. 0,375 I_0
    D. 0,433 I_0

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

11. ●● Un pipistrello vola a 6,0 m/s verso una parete ferma ed emette ultrasuoni di 40,0 kHz; l'aria è ferma e a 20 °C. a) Quale frequenza riceve la parete? (2 punti) b) La parete riflette l'onda: quale frequenza ha l'eco che il pipistrello riceve? (2 punti) c) A quale velocità dovrebbe volare verso la parete per ricevere l'eco a 42,0 kHz? (2 punti)

12. ●● In un ondoscopio due punte in fase, distanti 4,0 cm, vibrano a 15 Hz; le onde si propagano a 0,24 m/s. a) Calcola la lunghezza d'onda (1 punto). b) Un punto P dista 9,6 cm da una punta e 6,4 cm dall'altra; un punto Q dista 7,0 cm e 4,6 cm. Stabilisci che tipo di interferenza c'è in P e in Q (2 punti). c) Quante linee nodali si formano in tutto fra le due punte? (2 punti) d) Quante se ne formerebbero se le punte fossero distanti 6,4 cm, con la stessa frequenza? (1 punto)

13. ●● Un altoparlante, all'aperto, produce un livello sonoro di 95 dB a 10 m di distanza. a) Calcola l'intensità a 10 m e la potenza sonora emessa (2 punti). b) Calcola il livello sonoro a 40 m (2 punti). c) A quale distanza il livello scende a 85 dB? (2 punti)

14. ●● Un puntatore laser illumina perpendicolarmente un reticolo da 600 righe/mm. Su uno schermo piano, parallelo al reticolo e distante 1,00 m, i due massimi del primo ordine si trovano a 42,3 cm da una parte e dall'altra del massimo centrale. a) Calcola la lunghezza d'onda del laser (3 punti). b) Quanti massimi principali si possono osservare in tutto, compreso quello centrale? (2 punti) c) Perché qui non si può usare la formula per piccoli angoli? Di quanto sbaglierebbe il risultato? (1 punto)

15. ●● Onde piane sull'acqua, di frequenza 2,0 Hz, passano da una zona profonda, in cui si propagano a 0,50 m/s, a una zona bassa, in cui si propagano a 0,30 m/s; l'angolo di incidenza è 40°. a) Calcola la lunghezza d'onda nelle due zone (2 punti). b) Calcola l'angolo di rifrazione (2 punti). c) Nella zona bassa le onde incontrano una diga con un'apertura larga 15 cm. Prevedi che cosa accade alle onde oltre l'apertura e motiva la risposta (2 punti).

Parte C · Problemi (3 problemi, 50 punti in totale)

16. ●●● **(18 punti)** (Capitoli 5, 6 e 7.) Il filo di un monocordo è lungo 0,60 m fra i due ponticelli e ha densità lineare 1,5 g/m. Si vuole che la sua frequenza fondamentale sia 220 Hz. a) Calcola la velocità delle onde sul filo e la tensione necessaria (4 punti). b) Il filo, suonato insieme a un diapason da 220 Hz, produce 3 battimenti al secondo; aumentando leggermente la tensione i battimenti rallentano. Qual è la frequenza del filo? Di quanto bisogna aumentare la tensione per accordarlo? (4 punti) c) Calcola la lunghezza d'onda della fondamentale sul filo e quella del suono di 220 Hz nell'aria, e spiega perché sono diverse (3 punti). d) Quanto deve essere lunga una canna chiusa a un'estremità perché la sua fondamentale sia 220 Hz? Trascura la correzione di estremità (3 punti). e) Quali frequenze proprie, fino a 1200 Hz, hanno in comune il filo e la canna? Spiega perché non tutte (4 punti).

17. ●●● **(16 punti)** Un laser verde ($\lambda = 532$ nm) illumina due fenditure molto strette distanti 0,40 mm; lo schermo è a 2,50 m. a) Calcola l'interfrangia (3 punti). b) A quale distanza dal centro della figura si trova il centro della seconda frangia scura? (3 punti) c) Si sostituisce il laser con una lampada a luce bianca, preceduta da una fenditura sottile. Calcola a quale distanza dal centro cadono le frange chiare del primo ordine per la luce violetta (400 nm) e per quella rossa (700 nm), e descrivi la figura che si vede (4 punti). d) Uno studente osserva: «Nelle frange scure la luce di una fenditura annulla quella dell'altra: l'interferenza distrugge energia, quindi viola il principio di conservazione dell'energia». Spiega perché ha torto, usando l'intensità $I = 4I_1 \cos^2(\pi d \operatorname{sen}\theta/\lambda)$, e spiega anche perché due lampadine vicine non producono frange stabili (6 punti).

18. ●●● **(16 punti)** Un lungo filo orizzontale, di densità lineare 0,025 kg/m, è teso con una forza di 160 N. Un vibratore fa oscillare l'estremo $x = 0$ a 50 Hz, con ampiezza 4,0 mm, e sul filo si propaga verso le x positive un'onda armonica che all'istante $t = 0$ ha $y(0, 0) = 0$. a) Calcola la velocità di propagazione, la lunghezza d'onda, il numero d'onda e la pulsazione, e scrivi la funzione d'onda $y(x, t)$ nella forma $A\,\text{sen}(kx - \omega t)$ (5 punti). b) Calcola lo spostamento del punto $x = 1{,}0$ m all'istante $t = 5{,}0$ ms (3 punti). c) Calcola la velocità massima di oscillazione di un punto del filo e confrontala con la velocità di propagazione (2 punti). d) A grande distanza il filo è unito a un secondo filo di densità lineare quattro volte maggiore, teso con la stessa forza. Calcola la velocità e la lunghezza d'onda nel secondo filo, e descrivi l'impulso riflesso e quello trasmesso quando un singolo impulso «verso l'alto» arriva alla giunzione (4 punti). e) Se si raddoppia l'ampiezza del vibratore e se ne dimezza la frequenza, come cambia l'energia trasportata dall'onda in un secondo? (2 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 (18), problema 17 (16), problema 18 (16)	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). Dalla fotografia $\lambda = 1{,}20$ m, dalla storia $T = 0{,}30$ s: $v = \lambda/T = 1{,}20$ m / 0,30 s = 4,0 m/s. (A è il prodotto λT, B il rapporto T/λ.)

2. B (2 punti). $v = \sqrt{(F_T/\mu)}$: con μ quadruplicata la velocità si dimezza. La frequenza è fissata dal vibratore, quindi $\lambda = v/f$ si dimezza.

3. A (2 punti). Per un'onda sferica $I = P/(4\pi r^2)$ e l'ampiezza decresce come $1/r$: triplicando la distanza l'ampiezza diventa $A/3$ (l'intensità $I/9$, e B è proprio il rapporto delle intensità).

4. D (2 punti). $A_{ris} = 2A|\cos(\Delta\varphi/2)| = 2A\cos(\pi/4) = \sqrt{2}\,A \approx 1{,}41\,A$.

5. A (2 punti). Quattro nodi, estremi compresi, delimitano 3 fusi: è il terzo modo, $\lambda_3 = 2L/3 = 2 \times 0{,}80$ m / $3 \approx 0{,}53$ m. (B corrisponde a 4 fusi.)

6. C (2 punti). La distanza quadruplica, l'intensità diventa 1/16: $\Delta\beta = 10\log(1/16) \approx -12$ dB (−6 dB per ogni raddoppio della distanza, due raddoppi), quindi 86 dB − 12 dB = 74 dB.

7. B (2 punti). Una canna chiusa a un'estremità ha solo le armoniche dispari, $f_n = (2n-1)f_1$: dopo 125 Hz viene 3×125 Hz = 375 Hz.

8. D (2 punti). Sorgente in avvicinamento, osservatore fermo: $f' = f\,v/(v - v_s) = 400$ Hz $\times\, 343/313 \approx 438$ Hz. (C è il risultato per un osservatore in moto a 30 m/s verso una sorgente ferma, B per la sorgente che si allontana.)

9. B (2 punti). $\lambda = \Delta y \cdot d/L = 1{,}8 \times 10^{-3}$ m $\times\, 0{,}50 \times 10^{-3}$ m / 1,5 m = $6{,}0 \times 10^{-7}$ m = 600 nm.

10. C (2 punti). Il primo polarizzatore trasmette $\frac{1}{2}I_0$; il secondo, per la legge di Malus, $\frac{1}{2}I_0\cos^2 30° = \frac{1}{2}I_0 \times 0{,}75 = 0{,}375\,I_0$. (D si ottiene usando cos 30° invece di $\cos^2 30°$.)

11. a) Il pipistrello è una sorgente in moto verso la parete ferma: $f_1 = f\,v/(v - v_s) = 40{,}0$ kHz $\times\, 343/337 \approx 40{,}7$ kHz (40 712 Hz) (2 punti). b) La parete riflette l'onda come una sorgente ferma di frequenza f_1; il pipistrello è un osservatore in moto verso di essa: $f_2 = f_1(v + v_o)/v = 40\,712$ Hz $\times\, 349/343 \approx 41{,}4$ kHz (41 424 Hz). L'effetto Doppler agisce due volte: $f_2 = f(v + u)/(v - u)$ (2 punti). c) $(v + u)/(v - u) = 42{,}0/40{,}0 = 1{,}05$, da cui $u = v \times 0{,}05/2{,}05 = 343$ m/s $\times\, 0{,}0244 \approx 8{,}4$ m/s (2 punti).

12. a) $\lambda = v/f = 0{,}24$ m/s / 15 Hz = 0,016 m = 1,6 cm (1 punto). b) P: $\Delta r = 9{,}6$ cm − 6,4 cm = 3,2 cm = 2λ, interferenza costruttiva. Q: $\Delta r = 7{,}0$ cm − 4,6 cm = 2,4 cm = $1{,}5\lambda = (1 + \frac{1}{2})\lambda$, interferenza distruttiva: Q è su una linea nodale (1 punto ciascuno). c) Sulle linee nodali $|r_1 - r_2| = (m + \frac{1}{2})\lambda$, e la differenza di cammino non può superare la distanza fra le sorgenti: $(m + \frac{1}{2}) \times 1{,}6$ cm < 4,0 cm dà $m + \frac{1}{2} = 0{,}5$ e 1,5 (differenze di 0,8 cm e 2,4 cm). Due linee per parte rispetto all'asse: 4 linee nodali (2 punti). d) $(m + \frac{1}{2}) \times 1{,}6$ cm < 6,4 cm dà $m + \frac{1}{2} = 0{,}5$; 1,5; 2,5; 3,5: 8 linee nodali (1 punto).

13. a) $I = I_0 \cdot 10^{\beta/10} = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W/m^2 $\times\, 10^{9{,}5} \approx 3{,}2 \times 10^{-3}$ W/m^2; $P = I \cdot 4\pi r^2 = 3{,}16 \times 10^{-3}$ W/m^2 $\times\, 4\pi \times (10$ m$)^2 \approx 4{,}0$ W (1 punto ciascuno). b) La distanza quadruplica: l'intensità diventa 1/16 e il livello cala di $10\log 16 \approx 12$ dB, a 95 dB − 12 dB = 83 dB (2 punti). c) −10 dB significa intensità divisa per 10; poiché $I \propto 1/r^2$, la distanza va moltiplicata per $\sqrt{10}$: $r = 10$ m $\times\, \sqrt{10} \approx 32$ m (2 punti).

14. a) Passo $d = 1$ mm / $600 = 1{,}667 \times 10^{-6}$ m. Angolo del primo ordine: $\tan\theta = 0{,}423$ m / 1,00 m, $\theta \approx 22{,}9°$. $\lambda = d\,\text{sen}\,\theta = 1{,}667 \times 10^{-6}$ m $\times\, 0{,}3895 \approx 6{,}49 \times 10^{-7}$ m $\approx$ 649 nm, luce rossa (3 punti). b) $\text{sen}\,\theta = m\lambda/d \le 1$ richiede $m \le d/\lambda = 2{,}57$, quindi $m = 0, \pm1, \pm2$: 5 massimi in tutto (il secondo ordine è a 51,2°) (2 punti). c) L'angolo è grande (23°), e $\tan\theta = 0{,}423$ differisce da $\text{sen}\,\theta = 0{,}390$ di circa il 9%: con la formula dei piccoli angoli si otterrebbe $\lambda = d\,y/L \approx 705$ nm, un errore del 9% circa (1 punto).

15. a) La frequenza è fissata dalla sorgente e non cambia: $\lambda_1 = 0{,}50$ m/s / 2,0 Hz = 0,25 m, $\lambda_2 = 0{,}30$ m/s / 2,0 Hz = 0,15 m (2 punti). b) $\text{sen}\,\theta_2 = \text{sen}\,\theta_1 \cdot v_2/v_1 =$

sen 40° × 0,30/0,50 = 0,643 × 0,60 ≈ 0,386, $\theta_2 \approx 23°$ (22,7°): il raggio si avvicina alla normale, come previsto dal principio di Huygens per un'onda che rallenta (2 punti). c) L'apertura, 15 cm, è uguale alla lunghezza d'onda nella zona bassa: la diffrazione è vistosa, e oltre la diga le onde si allargano in tutte le direzioni con fronti quasi circolari, come se l'apertura fosse una sorgente puntiforme; non resta un fascio rettilineo largo quanto l'apertura (2 punti).

16. a) Nella fondamentale $\lambda_1 = 2L = 1{,}20$ m, quindi $v = \lambda_1 f_1 = 2Lf_1 = 1{,}20$ m × 220 Hz = 264 m/s (2 punti). Da $v = \sqrt{(F_T/\mu)}$: $F_T = \mu v^2 = 1{,}5 \times 10^{-3}$ kg/m × (264 m/s)$^2 \approx$ 105 N (104,5 N) (2 punti). b) 3 battimenti al secondo: $f = 220$ Hz ± 3 Hz. Aumentando la tensione la frequenza del filo cresce, e i battimenti rallentano: quindi il filo si avvicina a 220 Hz dal basso, e $f = 217$ Hz (2 punti). A parità di L e μ, $f_1 \propto \sqrt{F_T}$: la tensione attuale è $F' = 104{,}5$ N × $(217/220)^2 \approx 101{,}7$ N, e per arrivare ai 104,5 N del punto a) bisogna aumentarla di circa 2,8 N, cioè del 2,8% ($(220/217)^2 - 1 \approx 0{,}028$) (2 punti). c) Sul filo $\lambda = 2L = 1{,}20$ m; nell'aria $\lambda = 343$ m/s / 220 Hz ≈ 1,56 m (2 punti). La frequenza è la stessa, fissata dal filo che vibra e fa vibrare l'aria; la velocità è fissata dal mezzo (264 m/s sul filo, 343 m/s nell'aria), e $\lambda = v/f$ cambia con essa (1 punto). d) La fondamentale di una canna chiusa ha $\lambda = 4L$: $L = v/(4f) = 343$ m/s / (4 × 220 Hz) ≈ 0,390 m = 39 cm (3 punti). e) Filo: $f_n = n \times 220$ Hz, cioè 220, 440, 660, 880, 1100 Hz; canna chiusa: solo le armoniche dispari, $(2n - 1) \times 220$ Hz, cioè 220, 660, 1100 Hz (2 punti). In comune: 220, 660 e 1100 Hz. Le armoniche pari del filo mancano nella canna, perché alla sua estremità chiusa deve esserci un nodo di spostamento e a quella aperta un ventre, quindi la lunghezza della canna contiene un numero dispari di quarti di lunghezza d'onda (2 punti).

17. a) $\Delta y = \lambda L/d = 532 \times 10^{-9}$ m × 2,50 m / 0,40 × 10^{-3} m ≈ $3{,}3 \times 10^{-3}$ m = 3,3 mm (3,325 mm) (3 punti). b) Frange scure: d sen $\theta = (m + ½)\lambda$; la prima ha $m = 0$, la seconda $m = 1$. Per piccoli angoli $y = (m + ½)\lambda L/d = 1{,}5\ \Delta y \approx 5{,}0$ mm (4,99 mm) (3 punti). c) Primo ordine: $y = \lambda L/d$. Violetto: 400×10^{-9} m × 2,50 m / 0,40 × 10^{-3} m = 2,5 mm; rosso: 700×10^{-9} m × 2,50 m / 0,40 × 10^{-3} m ≈ 4,4 mm (2 punti). Al centro la differenza di cammino è nulla per tutti i colori: la frangia centrale è bianca. Le frange laterali sono colorate, violette verso l'interno e rosse verso l'esterno, e già dal secondo-terzo ordine i colori si sovrappongono e la figura sbiadisce (2 punti). d) Traccia: nella formula I_1 è l'intensità che ogni fenditura darebbe da sola; senza interferenza le due intensità si sommerebbero, $2I_1$, ovunque. Con l'interferenza l'intensità va da 0 nelle frange scure a $4I_1$ nelle chiare; il valor medio di $\cos^2$ su una frangia è ½, quindi l'intensità media è $4I_1 \times ½ = 2I_1$: l'energia che manca nelle frange scure si ritrova in quelle chiare. L'interferenza ridistribuisce l'energia sullo schermo, non la crea né la distrugge (4 punti). Due lampadine sono sorgenti indipendenti: emettono treni d'onda con fasi che cambiano a caso in tempi brevissimi, quindi la differenza di fase in un punto dello schermo non è costante e le frange, se ci sono, si spostano troppo in fretta per essere viste: le sorgenti non sono coerenti. Nell'esperimento di Young le due fenditure sono illuminate dallo stesso fronte d'onda, e la loro differenza di fase resta fissa (2 punti).

18. a) $v = \sqrt{(F_T/\mu)} = \sqrt{(160\text{ N} / 0{,}025\text{ kg/m})} = \sqrt{6400}$ m/s = 80 m/s; $\lambda = v/f = 80$ m/s / 50 Hz = 1,6 m; $k = 2\pi/\lambda \approx$ 3,9 rad/m ($5\pi/4$ rad/m); $\omega = 2\pi f \approx 314$ rad/s (100π rad/s) (1 punto ciascuno). $y(x, t) = (4{,}0\text{ mm})\ \text{sen}[(3{,}9\text{ rad/m})x - (314\text{ rad/s})t]$, che soddisfa $y(0, 0) = 0$ e si propaga verso le x positive per il segno meno (1 punto). b) Fase: $kx - \omega t = 5\pi/4$ rad/m × 1,0 m − 100π rad/s × 0,0050 s = $5\pi/4 - \pi/2 = 3\pi/4$ rad ≈ 2,36 rad; $y =$ 4,0 mm × sen($3\pi/4$) ≈ 4,0 mm × 0,707 ≈ 2,8 mm (3 punti). c) $v_{max} = \omega A = 314$ rad/s × $4{,}0 \times 10^{-3}$ m ≈ 1,3 m/s, circa sessanta volte meno della velocità di propagazione, 80 m/s. La prima è fissata dalla sorgente (ampiezza e frequenza), è perpendicolare al filo e cambia istante per istante; la seconda è fissata dal filo ed è costante (2 punti). d) $v' = \sqrt{(160\text{ N} / 0{,}10}$ kg/m) = 40 m/s, la metà; la frequenza resta 50 Hz, quindi $\lambda' = 40$ m/s / 50 Hz = 0,80 m (2 punti). Alla giunzione con un filo più pesante l'impulso trasmesso è diritto (verso l'alto) e più lento; quello riflesso torna indietro capovolto (verso il basso) (2 punti). e) L'energia trasportata è proporzionale ad A^2f^2: $(2)^2 \times (½)^2 = 1$, quindi resta la stessa (la velocità di propagazione non cambia, perché dipende solo dal filo) (2 punti).