Soluzioni di esercizi e problemi

Capitolo 1

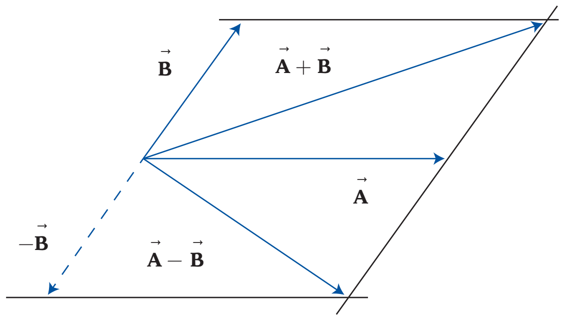
Esercizi

1.1 Sì.
1.2 [massa][lunghezza]^2/[tempo]^2.
1.3 $b = 1$, $c = -1$, $d = 1$.
1.4 0.2778 (m/s)/(km/h).
1.5 4.5 m/s^2.
1.6 62.4 libbre-massa/piedi^3.
1.7 1007.7 s.
1.8 7.69×10^{17}.
1.9 (a) 1.0100; (b) 1.0005; (c) in prossimità dello zero la nostra regola vale, ma in prossimità di 90° il numero delle cifre significative di sen x è maggiore di quello di x.
1.10 (a) $n = 2$; $j = 1$; (b) k numero adimensionale che dipende dal sistema di unità di misura.
1.11 (a) no; (b) sì; (c) sì; (d) no.
1.12 $b = -\frac{1}{2}$; $c = \frac{1}{2}$.
1.13 $2{,}328 \times 10^{-3}$ m/s.
1.14 114.

Capitolo 2

Esercizi

2.1 (a) 2.2 m; (b) 2.2 m; (c) 3.7 m.
2.2 (a) percorso su 3 spigoli diversi; (b) 6.2 m; (c) 6.2 m; (d) segmento che unisce il vertice di partenza e quello d'arrivo, posti in due facce diverse.
2.3 (a) $\vec{\mathbf{d}}$ ed $\vec{\mathbf{e}}$ opposti; (b) $\vec{\mathbf{d}}$ ed $\vec{\mathbf{e}}$ paralleli, (c) $\vec{\mathbf{d}}$ ed $\vec{\mathbf{e}}$ opposti; (d) $\vec{\mathbf{d}}$ ed $\vec{\mathbf{e}}$ perpendicolari.
2.4



2.5 (b) 58 mm, 22°; (c) 54 mm, 22 mm.
2.6 (a) -260 m, 220 m; (b) 260 m, -220 m; (c) -260 m, 220 m, 35 m.
2.7 (a) $\sqrt{x^2 + y^2}$; (b) $(x/r)\hat{\mathbf{i}} + (y/r)\hat{\mathbf{j}}$.
2.8 (a) $\hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{i}} \cos\theta + \hat{\mathbf{j}}\ \mathrm{sen}\,\theta$; (b) il vettore dato ha lunghezza 1, infatti $\frac{9}{14} + \frac{1}{14} + \frac{4}{14} = 1$.
2.9 (a) 36 m/s, $-19°$; (b) 72 m/s, $-19°$; (c) 72 m/s, 161°; (d) 1.0 m/s, $-19°$; (e) 57 m/s, -44 m/s.
2.10 (a) $\hat{\mathbf{i}} - 2\hat{\mathbf{j}} + 5\hat{\mathbf{k}}$; (b) $5\hat{\mathbf{i}} + 10\hat{\mathbf{j}} - 5\hat{\mathbf{k}}$; (c) $-5\hat{\mathbf{i}} - 10\hat{\mathbf{j}} + 5\hat{\mathbf{k}}$; (d) $\hat{\mathbf{i}} - 2\hat{\mathbf{j}} + 5\hat{\mathbf{k}}$.
2.11 (a) 1.9 km, 80° a nord del punto cardinale est.
2.12 (a) (25 mm, 0), (18 mm, 18 mm), (0, 25 mm), (-18 mm, 18 mm), (-25 mm, 0), (-18 mm, -18 mm), (0, -25 mm), (18 mm, -18 mm); (b) ($\vec{\mathbf{a}}$: 61 mm, 45°), ($\vec{\mathbf{b}}$: 66 mm, 112°), ($\vec{\mathbf{c}}$: 47 mm, 160°).
2.13 170°.

2.14 (b) 180°; (c) 0.
2.15 (a) $(5\ \text{m})\hat{\mathbf{i}} + (-2\ \text{m})\hat{\mathbf{j}} + (4\ \text{m})\hat{\mathbf{k}}$; (b) $(-1\ \text{m})\hat{\mathbf{i}} + (-10\ \text{m})\hat{\mathbf{j}} + (-6\ \text{m})\hat{\mathbf{k}}$.
2.16 (a) $x_p\hat{\mathbf{i}} + y_p\hat{\mathbf{j}}$; (b) $(x_Q - x_p)\hat{\mathbf{i}} + (y_Q - y_p)\hat{\mathbf{j}}$; (c) la distanza tra due punti è indipendente dal sistema di riferimento scelto.
2.17

$$\vec{b} = \left(\frac{5}{2}\ \text{m}\right)\hat{\mathbf{i}} + \left(\pm\frac{\sqrt{75}}{2}\ \text{m}\right)\hat{\mathbf{j}}$$

$$\vec{c} = \left(-\frac{5}{2}\ \text{m}\right)\hat{\mathbf{i}} + \left(\mp\frac{\sqrt{75}}{2}\ \text{m}\right)\hat{\mathbf{j}}$$

2.18 14 km; 26° angolo tra asse x e vettore $\vec{\mathbf{b}}$.
2.19

$$\vec{\mathbf{C}} = \vec{\mathbf{A}} + \vec{\mathbf{B}};\ \vec{\mathbf{A}} = A\hat{\mathbf{i}};\ \vec{\mathbf{B}} = -B\cos\phi\,\hat{\mathbf{i}} + B\sin\phi\,\hat{\mathbf{j}};$$

$$\vec{\mathbf{C}} = (A - B\cos\phi)\,\hat{\mathbf{i}} + B\sin\phi\,\hat{\mathbf{j}};$$

$$C^2 = A^2 + B^2\cos^2\phi - 2AB\cos\phi + B^2\sin^2\phi = A^2 + B^2 - 2AB\cos\phi$$

Problemi

2.1 (c) $F_x = F\cos\alpha$, $F_y = F\cos\beta$, $F_z = F\cos\gamma$.
2.2 (a) 90°; (b) 60°; (c) 180°; (d) 0°.
2.3 (b) x/r, y/r, z/r; $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Capitolo 3

Esercizi

3.1 (a) −16 m; (b) 37 m; (c) $(-16\ \text{m})\hat{\mathbf{i}}$; (d) $(37\ \text{m})\hat{\mathbf{i}}$; (e) $(53\ \text{m})\hat{\mathbf{i}}$.
3.2 (a) Per esempio, $x(2.0\ \text{s}) = 40$ mm; (b) 153 mm; (c) $(-49\ \text{mm})\hat{\mathbf{i}}$.
3.3 (a) 0.3048 (m/s)/(ft/s); (b) 82 ft/s.
3.4 (a) 500 s; (b) 9 minuti-luce.
3.5 200 m.
3.6 (a) 29 m/s; (b) 26 m/s.
3.7 (a) 0.87 m/s; (b) 1.3 m/s; (c) 1.7 m/s; (d) 2.0 m/s; (e) 2.5 m/s.
3.8 (a) $x(t) = 0.03\ \text{m} + (1.3\ \text{m/s})t$; (b) $x(t) = 0.95\ \text{m} - (1.3\ \text{m/s})t$.
3.9 (a) −13 m/s; (b) 13 m/s.
3.10 (a) 1 a.l. $= 9.5 \times 10^{15}$ m; 1 m $= 1.1 \times 10^{-16}$ a.l.; (b) 9.5×10^{16} m; (c) 5.9×10^{13} mi.
3.11 (a) 2.0 km; (b) 7 cifre significative.
3.12 (a) $-(8.0\ \text{m/s})\hat{\mathbf{i}}$; (b) $(9.5\ \text{m/s})\hat{\mathbf{i}}$; (c) 0.
3.13 (a) 0.75 m/s; (b) −0.60 m/s; (c) 1.0 m/s; (d) 1.0 m/s; (e) −1.5 m/s; (f) 1.5 m/s.
3.14 (a) 0.9 m/s^2; (b) −0.9 m/s^2.
3.15 (a) −0.17 m/s^2; (b) 0.21 m/s^2; (c) 0.25 m/s^2.
3.16 (a) $a_x(t) = 4.2\ \text{m/s}^2 - (9.6\ \text{m/s}^3)t$; (b) −35 m/s^2; (c) 4.2 m/s^2.
3.17 (a) $2.78 \times 10^{-4}\,\frac{\text{h}}{\text{s}}$; (b) 3.3 m/s^2.
3.18 (a) −0,86 m/s^2 ; (b) 0,86 m/s^2.
3.19 3.6 m/s.
3.20 (a) $x(t) = 15\ \text{m} + (2.2\ \text{m/s})t$; (b) 77 m; (c) 16 s.
3.21 (a) $v_x(t) = (3.6\ \text{m/s}^2)t$; (b) 86 m/s; (c) $x(t) = (1.8\ \text{m/s}^2)t^2$.
3.22 (a) 12 m/s; (b) 16 m/s.
3.23 1.8 m/s^2.
3.24 (a) 1.65; (b) 2.3 s.
3.25 4.2 s.
3.26 2×10^5 m/s^2.
3.27 (a) 3.0 m; (b) 2.9 m/s; (c) 3.2 m/s^2; (d) $x(t) = 3.0\ \text{m} + (2.9\ \text{m/s})t + (1.6\ \text{m/s}^2)t^2$.
3.27 0.50 s.
3.29 (a) 7.6 m; (b) 7.6 m/s.
3.30 (a) $\hat{\mathbf{i}}$ verso nord, $\hat{\mathbf{j}}$ verso ovest, a $t = 0$ origine in $x = 47$ m; (b) $x(t) = (8.4\ \text{m/s})t - (2.0\ \text{m/s}^2)t^2$; (c) $v(t) = (8.4\ \text{m/s}) - (4.0\ \text{m/s}^2)t$; (d) 7.2 m; (e) −3.6 m/s.
3.31 (a) 18 m/s; (b) 12 m/s; (c) 170 m.
3.32 0.64 g.

3.33 $10\ \mathrm{m/s^2}$.
3.34 (a) $h_m = 9.1$ m, $t_m = 1.2$ s; (b) 0.71 s e 1.7 s; (c) 7.8 m e 7.8 m.
3.35 10 m/s.
3.36 (a) 11 m/s; (b) 1.1 s; (c) 1.2 m; (d) 4.9 m/s; (e) $9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$.

Problemi

3.1 (a) 11.5 m/s; (b) 2.6 s; (c) 7.4 s; (d) $4.4\ \mathrm{m/s^2}$.
3.2 (a) 7.8 s; (b) 140 m; (c) 36 m/s.
3.3 1.6 km.
3.4 $2\pi R\hat{\mathbf{i}} - 2R\hat{\mathbf{j}}$.
3.5 0.20 s.
3.6 $3.7\ \mathrm{m/s^2}$.

Capitolo 4

Esercizi

4.1 (a) $\vec{\mathbf{r}} = (31.8\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{i}} + (31.8\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{j}}$; (b) $\Delta\vec{\mathbf{r}} = -(45.0\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{i}} + (45.0\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{j}}$; (c) 70.7 m.
4.2 (a) $\langle\vec{\mathbf{v}}\rangle = -(1.34\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (1.34\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$; (b) $\langle\vec{\mathbf{v}}\rangle = -(1.45\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (1.45\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$.
4.3 (a) $\vec{\mathbf{v}} = (11.5\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$; (b) $\vec{\mathbf{a}} = (0.88\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$; (c) $\vec{\mathbf{v}} = (16\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (16\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$; $\langle\vec{\mathbf{a}}\rangle = (1.7\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{i}} - (1.7\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{j}}$.
4.4 (a) $\vec{\mathbf{v}} = (3.5\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (5.1\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$.
4.5 (a) $v_0 = 14$ m/s; (b) $v_v = 7.8$ m/s.
4.6 (a) $(-31.8\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{i}} + (31.8\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{j}}$; (b) $(-77\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{i}} + (32\ \mathrm{m})\hat{\mathbf{j}}$; (c) 106 m.
4.7 (a) 2.10 m/s; (b) $(-1.49\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (1.49\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}}$.
4.8 (a) $v_x = \left(3.8\ \mathrm{m/s^2}\right)t;\quad v_y = \left(1.4\ \mathrm{m/s^3}\right)t^2$
(b) $a_x = 3.8\ \mathrm{m/s^2};\quad a_y = \left(2.8\ \mathrm{m/s^3}\right)t$
4.9 (a) $a_x = 1.7\ \mathrm{m/s^2}$, $a_y = -0.47\ \mathrm{m/s^2}$, $v_x = (1.7\ \mathrm{m/s^2})t$, $v_y = -(0.47\ \mathrm{m/s^2})t$, $x = (0.87\ \mathrm{m/s^2})t^2$, $y = -(0.23\ \mathrm{m/s^2})t^2$; (b) $a_x = 1.81\ \mathrm{m/s^2}$, $a_y = 0$, $v_x = (1.81\ \mathrm{m/s^2})t$, $v_y = 0$, $x = (0.905\ \mathrm{m/s^2})t^2$, $y = 0$.
4.10 $v_x = 17$ m/s, $v_y = 32\ \mathrm{m/s} - (9.8\ \mathrm{m/s^2})t$, $x = (17\ \mathrm{m/s})t$, $y = (32\ \mathrm{m/s})t - (4.9\ \mathrm{m/s^2})t^2$.
4.11 16 m/s.
4.12 (a) 13°; (b) 77°.
4.13 (a) 5.1 s; (b) 130 m; (c) 140 m.
4.14 $v_0 = 28$ m/s, $\theta_0 = 45°$.
4.15 (a) 41 m; (b) 17 m/s; (c) −4.2°.
4.16 (a) 0.50 s; (b) 0.87 m.
4.17 (a) $1.6\ \mathrm{m/s^2}$; (b) $2.9\ \mathrm{m/s^2}$.
4.18 (a) 23 m/s verso nordest; (b) 23 m/s verso sudovest; (c) $\vec{\mathbf{a}}_D = (2.6\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{i}} - (2.6\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{j}}$, $\vec{\mathbf{a}}_H = -(1.3\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{i}} - (1.3\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathbf{j}}$.
4.19 (a) 5.5 m/s; (b) 31 m/s.
4.20 (a) $3.37 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2} = 3.44 \times 10^{-3}\ g$; (b) $5.9 \times 10^{-3}\ \mathrm{m/s^2} = 6.1 \times 10^{-4}\ g$; (c) $2.2 \times 10^{-10}\ \mathrm{m/s^2} = 2.2 \times 10^{-11}\ g$.
4.21 (b) $14\ \mathrm{m/s^2}$.
4.22 $2.3\ \mathrm{m/s^2}$.
4.23 (a) $9.80 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}$, direzione $-\hat{\mathbf{j}}$;
(b) $9.80 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}$, direzione 135° verso il centro;
(c) $\vec{a} = \left(-9.80 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}\right)\hat{\mathbf{j}},\ \vec{a} = \left(6.93 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}\right)\hat{i} + \left(-6.93 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}\right)\hat{\mathbf{j}}$.
4.24 $2.73 \times 10^{-3}\ \mathrm{m/s^2}$.
4.25 (a) $9 \times 10^{13}\ \mathrm{m/s^2}$; $9 \times 10^{12}\ g$.
4.26 (a) 6 m/s; (b) 6 m/s verso sud; (c) 6 m/s; (d) 6 m/s verso nord.
4.27 4.3 m/s in una direzione 11° a nord del punto cardinale est.
4.28 (a) $\vec{\mathbf{v}}_{TA} = -(2.3\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (7.5\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$; (b) 4.0 min; (c) $\vec{\mathbf{v}}_{TA} = -(4.6\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{i}} + (6.3\ \mathrm{m/s})\hat{\mathbf{j}}$, 4.8 min.

Problemi

4.1 (e) $\vec{\mathbf{v}} = -(1.49 \text{ m/s})\hat{\mathbf{i}} + (1.49 \text{ m/s})\hat{\mathbf{j}}$, $\vec{\mathbf{a}} = -(6.95 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2)\hat{\mathbf{i}} - (6.95 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2)\hat{\mathbf{j}}$; (f) moto circolare uniforme.
4.2 (b) 38°; (c) 76°; (d) $h_m = R_m/4$.
4.3 130 m.
4.4 (b) $(0.900)v^2/R$; (c) $(0.974)v^2/R$; (d) $(0.996)v^2/R$; (e) $(1.000)v^2/R$; (f) 1/2.
4.5 3.8 m/s^2.
4.6 (a) 108 s; (b) 87 s; (c) il percorso parallelo alla corrente ha richiesto 21 s in più.
4.7 70 m/s.
4.8 (a) 8.4 m/s; (b) 13 m/s.
4.9 (b) $v_x = v - v \cos(vt/R)$, $v_y = v \operatorname{sen}(vt/R)$; (c) $a_x = (v^2/R) \operatorname{sen}(vt/R)$, $a_y = (v^2/R)\cos(vt/R)$.
4.10 390 m.

Capitolo 5

Esercizi

5.1 4.9 sl.
5.2 (a) 14 kN; (b) 630 ton.
5.3 (a) 1.000 t/m^3 ; (b) 1.000 g/cm^3.
5.4 (a) $F_1 = 6.6$ N; F_2 13.0 N; (b) $\theta_1 = 111°$, $\theta_2 = -49°$; (d) $|\sum\vec{\mathbf{F}}| = 7.1$ N, $\theta = 31°$.
5.5 300 N, 19° a est del punto cardinale nord.
5.6 (b) $\vec{\mathbf{F}}_{\text{aria}} = 720$ N verso l'alto, $\vec{\mathbf{F}}_{\text{t}} = 720$ N verso il basso.
5.7 $(2.0 \text{ N})\hat{\mathbf{i}} + (-8.0 \text{ N})\hat{\mathbf{j}} + (5.8 \text{ N})\hat{\mathbf{k}}$.
5.8 (a) $F_{1,x} = 12.6$ N, $F_{2,x} = -16.3$ N, $F_{3,x} = 6.8$ N, $F_{1,y} = 18$ N, $F_{2y} = -7.6$ N, $F_{3,y} = -14.5$ N;
(b) $\sum F_x = 3.1$ N, $\sum F_y = -4.1$ N,
(c) $(3.1 \text{ N})\hat{\mathbf{i}} + (-4.1 \text{ N})\hat{\mathbf{j}}$;
(d) 5.1 N, $-53°$.
5.9 1.8 kN.
5.10 (a) 10 N; (b) 10^{-21} s.
5.11 50 N.
5.12 2 kN.
5.13 2×10^{-14} N.
5.14 80 N.
5.15 (a) 7×10^{28} N; (b) 3.5×10^{22} N.
5.16 1.24 kg.
5.17 (a) $\vec{\mathbf{F}}_{12} = (4 \text{ N})\hat{\mathbf{i}}$, $\vec{\mathbf{F}}_{21} = -(4 \text{ N})\hat{\mathbf{i}}$; (b) $\vec{\mathbf{F}}_{12} = (8 \text{ N})\hat{\mathbf{i}}$, $\vec{\mathbf{F}}_{21} = -(8 \text{ N})\hat{\mathbf{i}}$.
5.18 260 N.
5.19 (a) ascensore fermo; (b) scende con $a = 0.52 \text{ m/s}^2$; (c) sale con $a = 2.4 \text{ m/s}^2$.
5.20 13 m/s^2.
5.21 (a) 8.9×10^{-30} N.
5.22 (a) 970 N; (b) 520 N; (c) 750 N.
5.23 1.7 s.
5.24 (b) 270 N verso l'alto; (c) 4.2 m/s^2; (d) 3.5 m.
5.25 (a) 21 N; (b) 6.5 N.
5.26 (a) 2.5 mN; (b) 7.2 mN.
5.27 (b) 1.5 N; (c) 15 N.
5.28 (a) 4,0 m/s^2; (b) 4,0 m/s; (c) 2,0 m.
5.29 1.8×10^4 N, 1.2×10^4 N.
5.30 (a) 2790 N; (b) 2280 N, 14.0×10^3 N.
5.31 $T_A = 190$ N; $T_B = 380$ N.

Problemi

5.1 $6.5 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$.
5.2 (b) 16 kg.
5.3 7.6 m/s^2.

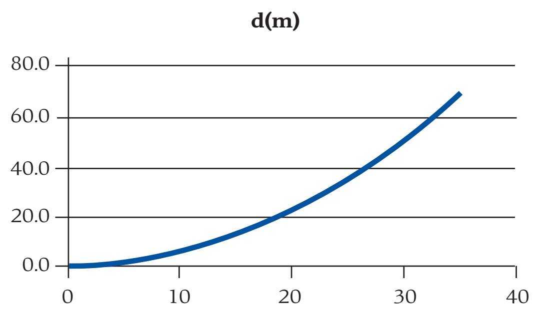
5.4 $F_{T1} = 10$ N, $F_{T2} = 6$ N, $F_{T3} = 4$ N.
5.5 9.5 m.
5.6 3.3 m/s^2.

Capitolo 6

Esercizi

6.1 (a) 310 N; (b) 190 N; (c) zero.
6.2 (a) 180 N; (b) 160 N.
6.3 (a) 1.1; (b) 0.75.
6.4 Sì, $v = 30$ m/s.
6.5 11 m.
6.6 (c) $F_N = 310$ N, $F_c = 370$ N.
6.7 4.2 m/s^2.
6.8 (a) 77 N; (b) 71 N.
6.9 83 N.
6.10 0.25 m/s^2.
6.11 0.061 m/s^2.
6.12 $F_N = 8900$ N; $F_a = 2500$ N.
6.13 (a) 27 N; (b) 18 N; (c) 32 N.
6.14 0.49.
6.15

v (m/s)	d (m)
0	0.0
5	1.4
10	5.7
15	13
20	23
25	35
30	51
35	69



50%

6.16 (a) $\begin{cases} F_S - mg\sin\theta_k = 0 \\ F_N - mg\cos\theta_k = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_S = mg\sin\theta_k \\ F_N = mg\cos\theta_k \end{cases} \Rightarrow \dfrac{F_S}{F_N} = \tan\theta_k$;
(b) 0.55.

6.17 12°.
6.18 1.1 km.
6.19 (a) 3.7 m/s^2; (b) 3.3 kN; (c) 8.6 kN; (d) 9.2 kN; (e) 21°.
6.20 0.11.
6.21 (a) $v_m = \sqrt{gR}$; (b) 3.1 m/s.
6.22 (a) 1.0 kN; (b) 6.7 m/s; (c) 6.6 s.
6.23 (a) 12.8 m/s^2; (b) 5.2 Mm.
6.24 34 m/s.
6.25 10 m/s^2, errore 2%.
6.26 1.87 s.

6.27 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L\cos\theta}{g}}$, $L\cos\theta$ = distanza tra il punto di sospensione e il piano dell'orbita.

6.28 (a) 1.5 N verso l'esterno; (b) 13°.

Problemi

6.1 $F_{a,\min} = \dfrac{mg}{\mu_s}\left(1+\dfrac{m}{M}\right)$

6.2 (c) 290 N; (d) 35°; (e) 350 N.

6.3 33 m.

6.4 (a) 0.64 m/s^2; (b) 46 N.

6.5 6.9 m/s^2.

6.6 (a) $V_m > \sqrt{\dfrac{Rg}{\mu_S}}$; (b) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R\mu_S}{g}}$.

Capitolo 7

Esercizi

7.1 (a) 2.72×10^{-3} m/s^2; (b) 4.01×10^{14} m^3/s^2; (c) 4.0×10^{14} m^3/s^2; (d) è una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

7.2 (a) Marte: $a_c = 2.55 \times 10^{-3}$ m/s^2, Nettuno: $a_c = 6.52 \times 10^{-3}$ m/s^2;
(b) Marte: $a_cR^2 = 1.33 \times 10^{20}$ m^3/s^2, Nettuno: $a_cR^2 = 1.32 \times 10^{20}$ m^3/s^2.

7.3 1.3×10^{-10} N.

7.4 0.64 m.

7.5 20 Mm.

7.6 (a) 1.80×10^{15} N; (b) 41.8×10^{15} N; (c) 8.69×10^{15} N.

7.7 Vedi Tabella 7.1.

7.8 (a) 1.984×10^{-29} C/kg; (b) 39.5 C.

7.9 259 Mm, 0.175%.

7.10 432 Mm.

7.11 3.18×10^{-5}.

7.12 $F = \sqrt{3}\ Gm^2/a^2$.

7.13 8.4×10^{-12} N.

7.14 (a) 3.54×10^{22} N; (b) 1.99×10^{20} N; (c) 178.

7.15 1.90×10^{27} kg.

7.16 (a) 6×10^{-3} N; (b) 3×10^{-5} N; (c) la forza peso è 3 e 5 ordini di grandezza maggiore.

7.17 6.5×10^{23} kg.

7.18 9.75 m/s^2.

7.19 0.003.

7.20 (a) 3.7 N/kg; (b) 260 N.

7.21 $\vec{\mathbf{g}} = (2.2 \times 10^{-11}\ \text{N/kg})\hat{\mathbf{i}} - (5.5 \times 10^{-11}\ \text{N/kg})\hat{\mathbf{j}}$.

7.22 (a) 1.62 m/s^2; (b) 118 N.

7.23 $r^3/T^2 = 3.21 \times 10^{15}$ m^3/s^2.

7.24 Vedi Tabella 7.1.

Problemi

7.1 (a) $G \approx 14 \times 10^{-11}$ N m^2/kg^2 (errato per un fattore maggiore di 2);
(b) 5.51×10^3 kg/m^3.

7.2 (a) 2.908×10^{25} kg; (b) 8.00×10^3 kg/m^3; (c) 21.3 N/kg; (d) 17.8 N.

7.3 (a) $x_n = x_c/(1 + \sqrt{m_c / m_b})$; (b) $x_n = 2$ m.

7.4 (a) $\vec{\mathbf{F}} = (1.98 \times 10^{20}\ \text{N})\hat{\mathbf{i}} + (4.34 \times 10^{20}\ \text{N})\hat{\mathbf{j}}$; (c) 6.49×10^{-3} m/s^2.

7.5 (a) $\vec{\mathbf{E}} = G\left[\dfrac{m_B}{x^2} + \dfrac{m_C}{(x_c+x)^2}\right]\hat{\mathbf{i}}$; (b) $\vec{\mathbf{E}} = G\left[-\dfrac{m_B}{x^2} + \dfrac{m_C}{(x_c-x)^2}\right]\hat{\mathbf{i}}$; (c) $\vec{\mathbf{E}} = -G\left[\dfrac{m_B}{x^2} + \dfrac{m_C}{(x-x_C)^2}\right]\hat{\mathbf{i}}$.

Capitolo 8

Esercizi

8.1 (a) 40 N, verso l'alto; (b) 80 J.
8.2 (a) -15 J; (b) 0.030.
8.3 (a) 40 N; (b) 0.
8.4 15 J.
8.5 (a) 3 J; (b) 87°.
8.6 138°.
8.7 (a) 21 J; (b) $F_{\text{min}} = 0$, $F_{\text{max}} = 290$ N.
8.8 $C(1z_f - 1/z_i)$.
8.9 (a) 22 J; (b) 0.
8.10 (a) 0.075 m; (b) $3{,}0 \times 10^4$ N/m; (c) -3.4 J; (d) -81 J; (e) auto.
8.11 (a) $F_0\left(-a + ae^{\frac{x_f}{a}} - x_1\right)$; (b) 4.3 J.
8.12 8 J.
8.13 (a) 86 kJ; (b) 170 kJ.
8.14 11 m/s.
8.15 (a) -2.9 J; (b) 0.050; (c) 4.6 N; (d) 0.
8.16 (a) -5.8 J; (b) 12 m/s.
8.17 4.8 m/s.
8.18 210 J.
8.19 (a) 580 J; (b) 250 N; 0.27.
8.20 (a) 0; (b) 3.2 MJ; (c) -3.2 MJ.
8.21 (a) 130 J; (b) 10^3 N.
8.22 (a) $t = 2$ h 49 min $= (2)(3600\text{ s}) + (49)(60\text{ s}) = 10\,140$ s
$L = Pt = (0.3\text{ hp})(746\text{ W/hp})(10\,140\text{ s}) = 2.27 \times 10^6$ J
Se il pilota ha consumato una quantità di energia E, il 20% di questa energia è stata consumata pedalando. Quindi

$$0.2\,E = 2.27 \times 10^6\text{ J} \qquad \text{e} \qquad E = 1.13 \times 10^7\text{ J}$$

(b) 1 kcal = 4.2 kJ, quindi il numero di hamburger necessario sarebbe stato

$$n = \frac{1.13 \times 10^7\text{ J}}{(5 \times 10^5\text{ cal})(4.2\text{ J / cal})} = 5.4$$

8.23 410 N.
8.24 (a) 2100 hp; (b) 690 kN; (c) 2.1 MN.
8.25 (a) 3.9×10^9 J; (b) 110 Euro.

Problemi

8.1 (a) -160 J; (b) -100 J; (c) 0; (d) -60 J; (e) 1.4 m.
8.2 Quando l'auto scende a velocità costante, la componente della forza di gravità mg sen θ bilancia esattamente la forza di attrito F (Figura G.1).
$\upsilon_1 = 110$ km/h $= 30.6$ m/s
$\upsilon_2 = 90$ km/h $= 25$ m/s
$F = b\upsilon_1^2 = mg$ sen θ

$$b = \frac{mg}{\upsilon_1^2}\text{sen }\theta$$

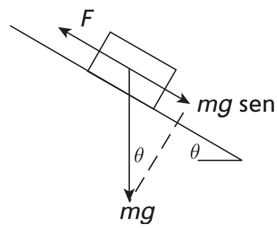


Figura G.1 Problema 8.2.

Su una strada orizzontale:

$$P = F\upsilon_2 = (b\upsilon_2^2)(\upsilon_2) = b\upsilon_2^3$$

$$= \left(\frac{mg\ \text{sen}\ \theta}{\upsilon_1^2}\right)(\upsilon_2^3) = \frac{(1600\text{ kg})(9.8\text{ m / s}^2)(0.1)(25\text{ m / s})^3}{(30.6\text{ m / s})^2} = 2.67 \times 10^4\text{ W}$$

$$= (2.67 \times 10^4\text{ W})\left(\frac{1}{746}\frac{\text{hp}}{\text{W}}\right) = 35.8\text{ hp}$$

8.3 (a) 14 kJ; (b) −14 kJ; (c) 1.0 kW; (d) 1.2 kW; (e) 0.5 kW.
8.4 (a) 4.7 m/s; (b) 42 N.

Capitolo 9

Esercizi

9.1 (a) 54 J; (b) 54 J; (c) 10 m.
9.2 (a) 0.21 m; (b) 11 m/s; (c) 0.18 m.
9.3 4.2 MN/m.
9.4 (a) 3.5 kJ; (b) no; (c) 9.6 m/s.
9.5 (a) 60 J; (b) 4.9 m/s; (c) 4.2 m/s.
9.6 (a) 48 J; (b) 21 m/s.
9.7 $mgy : [\mathrm{M}][\mathrm{LT}^{-2}][\mathrm{L}] = \mathrm{ML}^2\mathrm{T}^{-2}$;
$\frac{1}{2}kx^2 : [\mathrm{MT}^{-2}][\mathrm{L}^2] = \mathrm{ML}^2\mathrm{T}^{-2}$.
9.8 (a) 2.0 m; (b) 200 J; (c) 1.0 m; (d) 100 N.
9.9 (a) 0.18×10^{-20} J; (b) −0.067 nm.
9.10 (a) −2 kJ; (b) 2 kJ; (c) 0.
9.11 (a) $-(3\text{ N})(x_f - x_i) - (4\text{ N})(y_f - y_i)$; (b) $-(3\text{ N})x - (4\text{ N})y$; (c) −48 J; (d) 0.
9.12 (a) 87 J; (b) 26 m/s; (c) 44 J.
9.13 (a) 1.1 m/s; (b) $mg(3 - 2\cos 30°)$.
9.14 $\sqrt{3gr}$.
9.15 (a) 2.7 J se y è misurata a partire dalla posizione iniziale sul bancone; (b) 8.6 kN/m; (c) 6.2 m.
9.16 $E = K + U = \text{costante: } \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh - v^2_i}$.
9.17 (a) $E = K + U =$ costante. Alla massima altezza $v_y = 0$:
$$\frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}m(v_i\cos\theta)^2 + mgh_{MAX} \Rightarrow h_{MAX} = \frac{v_i^2}{2g}\left(1 - \cos^2\theta\right);$$
(b) v_i.
9.18 (a) 0.24 m; 2.1 m/s.
9.19 (a) −4200 J.
9.20 (a) 6 kJ.
9.21 (a) 1.7 J; (b) 5.4 m/s, 4.0 m/s.
9.22 (a) 0.05 $mg \approx 500$ N; (b) 10 kW.
9.23 (a) $\Delta K = -59$ J, $\Delta U = 45$ J, $\Delta E_{\text{int}} = 14$ J.
9.24 (a) -1.7×10^{11} J; (b) 8.5×10^{10} J; (c) -8.5×10^{10} J; (d) l'energia cinetica.
9.25 (a) -3.8×10^{32} J; (b) 2.3×10^{32} J.
9.26 (a) 7.0 km/s; (b) 7.5 km/s.
9.27 (a) 4.23×10^7 m; (b) 5.94×10^9 J.
9.28 $v_{f,T} = 1.12 \times 10^4$ m/s; $v_{f,L} = 2.3 \times 10^3$ m/s; $\frac{v_{f,T}}{v_{f,L}} = 4.8$.

Problemi

9.1 Con riferimento alla Figura G.2: $U_i + T_i = U_g + T_g$

$$m_1gh_1 + m_2gh_2 + 0 = m_1g(h_1 + h_2) + 0 + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$$

$$v = \sqrt{2\left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right)gh_2}$$

$$= \sqrt{2\left(\frac{6-4}{6+4}\right)(9.8\text{ m}/\text{s}^2)(3\text{m})} = 3.4\text{ m}/\text{s}$$

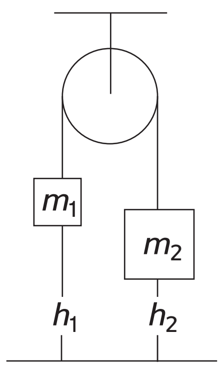


Figura G.2 Problema 9.1.

9.2 Se il vagone si stacca dal binario nel punto B, la forza normale esercitata sul vagone dal binario è zero. La sola forza che agisce sul vagone è quindi mg e questa deve fornire la forza centripeta necessaria per trattenere, durante il movimento, il vagone lungo il binario circolare. Quindi

$$mg = \frac{mv^2}{R}$$

A questo punto possiamo trovare la velocità v in funzione dell'altezza del punto di partenza h, applicando il principio di conservazione dell'energia:

$$mgh + 0 = mg2R + \frac{1}{2}mv^2$$

Pertanto:

$$v^2 = Rg \qquad gh = 2gR + \frac{1}{2}Rg \qquad h = \frac{5}{2}R$$

9.3 $$mg\cos\theta = \frac{mv^2}{r} \qquad mgr + 0 = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \qquad h = r\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{v^2}{rg} = 2 - 2\cos\theta \qquad \cos\theta = \frac{2}{3} \qquad \theta = 48.2°$$

9.4 (a) 0.19 m; (b) 7.7 m/s.
9.5 (a) $U = mgy + 1/2ky^2$; (b) $F_y = -mg - ky$.
9.6 (b) $\sqrt{2}\ ghm_1/(m_1 + m_2)$.

Capitolo 10

Esercizi

10.1 $x_{cm} = 1.1$ m, $y_{cm} = 0.79$ m.
10.2 $x_{cm} = 25$ mm, $y_{cm} = 25$ mm.
10.3 $x_{cm} = 0$, $y_{cm} = 0$, $z_{cm} = 3R/8$.
10.4 Nel riferimento del centro della circonferenza: $x_{cm} = 0$; $y_{cm} = \frac{2R}{\pi}$.
10.5 Supponiamo che sul sistema non agiscano forze esterne, di modo che il cm non si sposta. Il centro di massa di una canoa uniforme è posto nel centro dell'imbarcazione stessa. Fissiamo la posizione $x = 0$ in corrispondenza della sponda. Il cm del sistema è a una distanza X da quest'ultima. Inizialmente si ha:

$$X = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{M}$$

Dopo lo spostamento si ha (Figura G3):

$$X' = \frac{m_1x'_1 + m_2x'_2}{M}$$

$X = X'$, dato che il cm non si muove:

$$m_1x_1 + m_2x_2 = m_1x'_1 + m_2x'_2$$

$$x_2 = x_1 + 2 \qquad x'_2 = x'_1 - 2$$

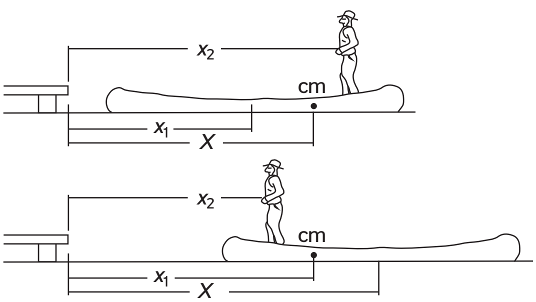


Figura G.3 Esercizio 10.5.

La canoa si sposta di una distanza d pari a $x_1' - x_1$:

$$m_1 x_1 + m_2(x_1 + 2) = m_1 x'_1 + m_2(x'_1 - 2)$$

Risolviamo inserendo i dati del problema e ricaviamo $d = 3$ m.
Si osservi che, una volta concluso che il cm è a 0.5 m dalla persona, si potrebbe arrivare ugualmente alla soluzione studiando la figura. La distanza fra la persona e il punto di mezzo della canoa è 2.0 m, per cui il cm deve essere a 0.5 m dalla persona e a 1.5 m dal punto di mezzo della canoa: un rapporto di 1 a 3, dato che le masse di 30 kg e 90 kg sono in tale rapporto.

10.6 0.50 m/s.

10.7 1.2 m/s^2 in una direzione discendente lungo il piano inclinato.

10.8 (a) La gravità e le tensioni agenti sulle due masse; (b) 0.34 m sopra la massa di 2.5 kg; (c) 0.98 m/s^2.

10.9 1.78×10^{29} kg m/s; perpendicolare alla congiungente Terra-Sole.

10.10 1.4×10^5 kg m/s, verso sudest.

10.11 3.07×10^4 kg · m/s.

10.12 (a) 4.02 m/s; (b) 29.3 J.

10.13 0.23 m/s.

10.14 m_2/m_1.

10.15 4.3 m/s.

10.16 9.0×10^4 N.

10.17 600 proiettili/minuto.

10.18 25 m/s.

10.19 Il pallone urta il pavimento con una velocità v_1; la conservazione dell'energia durante la caduta porta a scrivere:

$$0 + m_1 gh = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + 0 \qquad v_1 = \sqrt{2gh}$$

Il pallone, quindi, rimbalza verso l'alto con velocità v_1 e urta la biglia, la cui velocità è $v_2 = -v_1$. Dopo l'urto la velocità della biglia è data da:

$$V_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) v_1 + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) v_2 \qquad \text{dove } m_1 \gg m_2$$

$$V_2 \simeq 2v_1 - v_2 = 2v_1 - (-v_1) = 3v_1 = 3\sqrt{2gh}$$

L'applicazione della conservazione dell'energia alla biglia che risale porta a determinare l'altezza h' da essa raggiunta:

$$\frac{1}{2} m_2 V_2^2 + 0 = 0 + m_2 gh' \qquad \text{ossia} \qquad h' = \frac{1}{2g}\left(3\sqrt{2gh}\right)^2 = 9h$$

(Questo risultato è sfruttato nel principio di funzionamento dell'*ariete idraulico*.)

10.20 L'astronauta A lancia il cilindro: $0 = Mv_c + 2Mv_A$ e $v_c - v_A = v$, per cui:

$$v_c = \frac{2v}{3} \qquad v_A = -\frac{v}{3}$$

L'astronauta B afferra il cilindro:

$$M\left(\frac{2v}{3}\right) + 0 = (M + 2M)v_{BC} \qquad v_{BC} = \frac{2}{9} v$$

L'astronauta B lancia il cilindro:

$$(M + 2M)\left(\frac{2v}{9}\right) = Mv'_c + 2Mv_B \qquad v_B - v'_c = v$$

da cui:

$$\frac{2}{3} v = v'_c + 2(v + v'_c) \qquad v'_c = -\frac{4}{9} v$$

L'astronauta A afferra il cilindro:

$$(2M)\left(-\frac{v}{3}\right)+M\left(-\frac{4}{9}\right)=(2M+M)v'_A \qquad v'_A=-\frac{10}{27}v$$

La velocità finale di A e del cilindro è $0.37v$. Controlliamo: la quantità di moto del sistema deve rimanere zero. Perciò:

$$(2M+M)v'_A+2Mv_B=0$$

$$(3M)\left(-\frac{10}{27}v\right)+2M\left(\frac{5}{9}v\right)=0$$

facendo ricorso a

$$v_B=v+v'_c=v-\frac{4}{9}v=\frac{5}{9}v \qquad 0=0 \qquad \text{OK}$$

10.21 0.68 m/s, -1.4×10^4 J.
10.22 $(-0.17\text{ m/s})\hat{\mathbf{i}}+(-0.24\text{ m/s})\hat{\mathbf{j}}$; (0.29 m/s, 54.7°).
10.23 9.1 s.
10.24 5.0 m/s.
10.25 1.2×10^5 m/s.
10.26 420 m/s.
10.27 $v_A=5.4$ m/s (verso ovest), $v_B=3.1$ m/s (verso est).
10.28 18 km/h, 79° a sud del punto cardinale est.
10.29 1.0×10^5 m/s.
10.30 6.0 m/s.
10.31 Pendolo più pesante: 4.8°, pendolo più leggero: 19.4°.
10.32 500 m/s.
10.33 In base all'Equazione (10.24) si ha:

$$v-0=v_e\ln\frac{M_i}{M_f}=3100\ \ln\frac{M}{0.35\,M}=3250\text{ m / s}$$

Questo avviene in assenza di gravità. Se un razzo è lanciato in verticale, la spinta propulsiva viene ridotta di una quantità pari al peso mg e conseguentemente viene ridotta anche la velocità finale nell'Equazione (10.24), precisamente di gt, dove t è il tempo di combustione del propellente.
10.34 (a) $\Delta P=20$ kg m/s (se il sistema è formato dall'autobotte e dall'acqua che vi rimane); (b) 20 N.
10.35 (a) 1.1 kN, a 9.5° dalla direzione di ingresso verso la direzione di uscita; (b) 9.5 kN.
10.36 (a) 20 N; (b) 10^4 s; (c) 100 kg.
10.37 1.4 m/s.

Problemi

10.1 (a) 2×10^{-5} mm; (b) la gravità e la tensione della corda. Sono presenti rilevanti forze interne.

10.2 (a) $$\begin{cases} MV=mv \\ mgh=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}MV^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v=\dfrac{MV}{m} \\ mgh=\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{MV}{m}\right)^2+\dfrac{1}{2}MV^2 \end{cases}$$

$$V^2M\left(\frac{M+m}{m}\right)=2mgh\Rightarrow V=\sqrt{\frac{2m^2gh}{M(M+m)}};$$

(b) $v=\sqrt{\dfrac{2Mgh}{(M+m)}}$

10.3 (a) 4.4 m; (b) no.
10.4 (a) 3.4×10^3 m/s; (b) 7.2×10^3 m/s.

10.5 $\vec{v}_{cm} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\vec{v}_i m_i = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\vec{p}_i = \frac{1}{M}\vec{P}_{tot} \Rightarrow M\vec{v}_{cm} = \vec{P}_{tot}$

$\vec{P}_{tot}$ costante $\Rightarrow \sum \vec{F}^{(e)} = 0$

Se B si muove di velocità costante, anche in B vale $\sum \vec{F}^{(e)} = 0$.

Capitolo 11

Esercizi

11.1 (a) 7.8 N m, in senso orario; (b) 0; (c) 7.8 N m, in senso antiorario; (d) 0.

11.2 (a) 200 N; (b) 200 N m, ammettendo che il braccio della forza sia lungo 1 m.

11.3 (a) a 20.9 cm; (b) 14 N.

11.4 400 N.

11.5 (a) 0 verticale, 24 kN orizzontale, 31 kN tensione; (b) lungo l'asta verso destra.

11.6 (a) 10 kN sulle anteriori, 40 kN sulle posteriori; (b) 36 kN.

11.7 280 N orizzontale, 310 N tensione, 350 N verticale.

11.8 (a) 0.81 F_t; (b) 0.33 F_t orizzontale verso sinistra, 0.19 F_t verticale verso l'alto; (c) verso il centro del disco.

11.9 (a) $F_a/\sqrt{2}$ tensione, $(1/2)\ F_a$ attrito, $(1/2)\ F_a$ normale.

11.10 (a) $F_x = 630$ N, $F_y = 2300$ N, $T = 890$ N; (b) 2800 N.

11.11 (a) 100 N; (b) $F_N = 660$ N, $F_a = 100$ N; (c) 0.15.

11.12 $F_o = \sqrt{3}F_t$.

11.13 $F_{P1} = (590\text{ N}) + \left(240\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)x$; $F_{P2} = (590\text{ N}) + \left(240\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(2.5\text{ m} - x)$.

11.14 Calcolando il momento rispetto al centro di massa della persona, si ottiene: (216 N) (2 − x) − (40 N) (1 − x) − (314 N) (x) = 0 e $x = 0.80$ m. Si noti che la forza peso della persona (che possiamo trovare utilizzando $\sum F_y = 0$) non entra nel calcolo, avendo scelto un'asse di rotazione per cm.

11.15 $x = 0.56$ m, $y = 3.44$ m rispetto al perno.

11.16 45°.

11.17 Nel sistema di riferimento con centro nel vertice in basso a sinistra: $x_{cm} = 12$ mm, $y_{cm} = 12$ mm.

11.18 $(369\text{ N m})\hat{\mathbf{i}} + (224\text{ N m})\hat{\mathbf{j}} + (660\text{ N m})\hat{\mathbf{k}}$.

11.19 1 m^3.

11.20 (b) $\hat{\mathbf{i}} + 7\hat{\mathbf{j}} - 5\hat{\mathbf{k}}$.

Problemi

11.1 Disegniamo il diagramma della forza per metà scala. Calcoliamo il momento rispetto al perno posto in cima della scala. F è la forza dovuta all'altra metà della scala. Si noti che il peso della metà della scala è 30 N. Da $\sum F_y = 0$, $F_N - 30 = 0$ e $F_N = 30$ N. Dal disegno vediamo che

$$\text{sen}\,\theta = \frac{0.5}{1.5} \qquad \theta = 19.5°$$

Da $\sum \tau = 0$ rispetto a P (Figura G4), $F_N\,(2\,\text{sen}\,\theta) - (30)(1\,\text{sen}\,\theta) - T(1.5\cos\theta) = 0$

$(30)(2)(\text{sen}\,19.5°) - (30)(\text{sen}\,19.5°) - 1.5\,T\cos 19.5° = 0 \qquad T = 7.1$ N

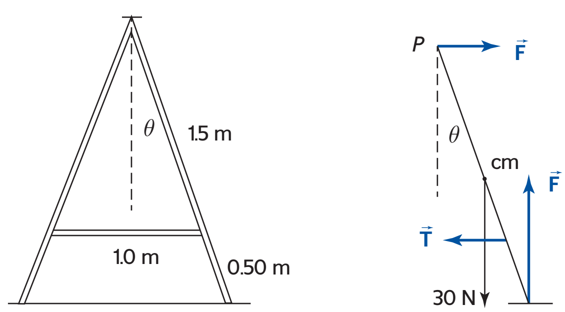


Figura G.4 Problema 11.1.

11.2 6.0 m.
11.3 (1/2) F_t, $\mu_s > 1/2$.
11.4 (a) 150 N sull'asse di sinistra, 130 N sull'asse di destra; (b) 120 N; (c) 120 N a 15° dall'orizzontale.
11.5 (a) 27 kN tensione, $P_x = 27$ kN, $P_y = 17$ kN; (b) 12 kN tensione, $P_x = 11$ kN, $P_y = 21$ kN.
11.6 10^{-9} N m.

Capitolo 12

Esercizi

12.1 (a) 2.1 rad; (b) 120°; (c) 0.33 giri.
12.2 (a) 0.51 m; (b) 0.51 m.
12.3 2.6×10^9 m.
12.4 (a) 9.3×10^{-3} rad; (b) 6.9×10^8 m.
12.5 8.2 rad/s.
12.6 (a) $-(4.2\ \text{rad/s}^3)t^2$; (b) -19 rad/s; (c) 19 rad/s; (d) -6.2 rad.
12.7 0.83 rad/s, direzione perpendicolare al piano della ruota.
12.8 $\theta(t) = -\,(3.5\ \text{rad/s})t$.
12.9 (a) $\alpha_z = -2.2\ \text{rad/s}^2$; (b) $\theta(t) = (5.8\ \text{rad/s})t - (1.1\ \text{rad/s}^2)t^2$; (c) $t_q = 2.6$ s; (d) verso nord prima di t_q, verso sud dopo t_q; (e) $\omega_z^2 = (5.8\ \text{rad/s})^2 - (4.4\ \text{rad/s}^2)\theta$.
12.10 (a) $\omega_z(t) = -(1.4\ \text{rad/s}^2)t$; (b) $\theta(t) = -(0.7\ \text{rad/s}^2)t^2$; (c) $\omega_z{}^2 = -(2.7\ \text{rad/s}^2)\theta$.
12.11 (a) 1.6 rad/s; (b) 2.3 rad/s; (c) 3.2 rad/s.
12.12 9.7 mm/s.
12.13 (a) $|a_t| = 0.25\ \text{m/s}^2$, $|a_R| = 0.16\ \text{m/s}^2$; (b) $v = 0.48$ m/s, $a = 0.30\ \text{m/s}^2$.
12.14 (a) 2.0×10^{-7} rad/s; (b) 30 km/s.
12.15 (a) $(ML^2)(T^{-2}) = ML^2T^{-2}$; (b) $(\text{kg m}^2)(\text{s}^{-2}) = \text{kg(m/s)}^2 = \text{J}$.
12.16 0.34 kg m^2.
12.17 (a) 43 J; (b) 170 J.
12.18 (a) 20 kg m^2; (b) 9 kg m^2; (c) 29 kg m^2.
12.19 34 kg m^2.
12.20 $Ma^2/6$.
12.21 $13Mr_0^2/20$.
12.22 (a) 0.5 kg · m^2; (b) 1 kg · m^2.
12.23 $\frac{3}{2}MR^2$.
12.24 (a) 4.1 rad/s; (b) 2.8 m/s.
12.25 (a) 3.9 m/s; (b) 41 rad/s.
12.26 5 J, 1/2.
12.27 (a) 17 J; (b) 71% traslazione e 29% rotazione.

Problemi

12.1 (a) $\alpha_z = 2.6\ \text{rad/s}^2$, $\omega_{z0} = -5.1$ rad/s; (b) $\omega_z = -5.1\ \text{rad/s} + (2.6\ \text{rad/s}^2)t$, $\theta = -(5.1\ \text{rad/s})t + (1.3\ \text{rad/s}^2)t^2$.
12.2 $K_{\text{orbit}} = 2.7 \times 10^{33}$ J, $K_{\text{rotaz}} = 2.6 \times 10^{29}$ J.
12.3 (b) $v = \sqrt{2gh/(1+K^2/R^2)}$.
12.4 $I = MR^2/4$.
12.5 6.0×10^{-5} kg m^2.
12.6 (a) $v = \sqrt{2gh/[1+(M/2m)]}$; (b) $\omega = (1/R_0)\ \sqrt{2gh/[1+(M/2m)]}$.
12.7 (a) $(2.5\ \text{rad/s})\hat{\mathbf{k}}$; (b) $-(1.8\ \text{rad/s}^2)\hat{\mathbf{k}}$; (c) $-(32\ \text{m/s}^2)\hat{\mathbf{i}} - (9.8\ \text{m/s}^2)\hat{\mathbf{j}}$.

Capitolo 13

Esercizi

13.1 (a) 6.10×10^6 kg m^2/s, verso il basso; (b) 6.10×10^6 kg m^2/s, verso il basso.
13.2 $(100\ \text{kg m}^2\text{/s})\hat{\mathbf{k}}$.
13.3 $-(0.25\ \text{kg m}^2\text{/s})\hat{\mathbf{k}}$.

13.4 $3.55\times10^{39}\ \dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$.

13.5 $K=\dfrac{1}{2}\dfrac{\ell^2}{I}$; $\ell=rmv$, $I=mr^2 \Rightarrow K=\dfrac{1}{2}\dfrac{r^2m^2v^2}{mr^2}=\dfrac{1}{2}mv^2$.

13.6 $-(2.4\ \text{kg m}^2/\text{s})\hat{\mathbf{i}} + (1.6\ \text{kg m}^2/\text{s})\hat{\mathbf{j}} - (6.1\ \text{kg m}^2/\text{s})\hat{\mathbf{k}}$.

13.7 (a) $(-34\ \text{Nm})\hat{\mathbf{k}}$; (b) $(34\ \text{Nm})\hat{\mathbf{k}}$; (c) 0.

13.8 $\vec{\mathbf{L}} = -\omega(M_1R_1^2 + M_2R_2^2)\hat{\mathbf{k}}$, $\hat{\mathbf{k}}$ perpendicolare al piano e uscente da esso.

13.9 3.3×10^{-3} kg m²/s, verso il basso.

13.10 $\vec{\mathbf{a}}_z = 120\ \text{rad/s}^2$, $\omega_z = (120\ \text{rad/s}^2)t$, $\theta=\theta_0 + (60\ \text{rad/s}^2)t^2$.

13.11 (a) $\alpha = 64\ \text{rad/s}^2$; (b) $30\ \text{rad/s}^2$.

13.12 Con riferimento alla Figura G.5: $T_1 + U_1 = T_2 + U_2$

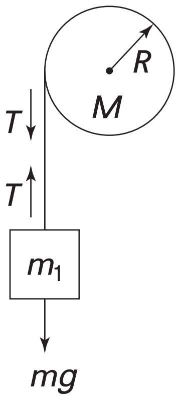


Figura G.5 Esercizio 13.12.

$$0+mgh=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}I\omega^2+0$$

$$I=\frac{1}{2}MR^2 \qquad \text{e} \qquad v=R\omega$$

$$mgh=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2$$

$$v=\left(\frac{4mgh}{2m+M}\right)^{1/2}$$

Applicando l'equazione $\vec{\boldsymbol{\tau}}=\vec{\mathbf{r}}\times\vec{\mathbf{F}}$ alla puleggia, si ottiene $\tau = I\alpha$, per cui:

$$TR=\frac{1}{2}MR^2\alpha \qquad \alpha=\frac{2T}{MR}$$

Applicando l'equazione $F = ma$ alla massa m, si ottiene $T - mg = -ma$, dove a è il modulo dell'accelerazione lineare. Si è assunto come positivo il verso "in alto" (mentre l'accelerazione è diretta in basso), ma si ha anche:

$$a=\alpha R=\left(\frac{2T}{MR}\right)R=\frac{2T}{M}\ \text{per cui}\ T-mg=-(m)\left(\frac{2T}{M}\right)$$

$$T=\left(\frac{M}{M+2m}\right)mg \qquad a=\frac{2m}{M+2m}g \qquad \alpha=\frac{a}{R}=\frac{2gm}{R(M+2m)}$$

Poiché

$$v^2=v_0^2+2ah=0+2\left(\frac{2gm}{M+2m}\right)h,\ \text{si ha}\ v=\left(\frac{4ghm}{M+2m}\right)^{1/2}$$

13.13 $0.016\ \text{kg m}^2$.

13.14 (a) $m_cg/[m_c + m_b + (I_0/R_0{}^2)]$; (b) $m_bm_cg/[m_c + m_b + (I_0/R_0{}^2)]$;
(c) $m_cg[m_b + (I_0/R_0{}^2)]/[m_c + m_b + (I_0/R_0{}^2)]$.

13.15 720 N.

13.16 $9.4\times10^{-3}\ \text{N}\cdot\text{m}$.

13.17 $0{,}020\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$, la puleggia è un cilindro pieno.

13.18 $L=\displaystyle\int_0^{\pi}\tau d\theta=\int_0^{\pi}\tau_0\ \text{sen}\ \theta\, d\theta=-\tau_0[\cos\theta]_0^{\pi}=-\tau_0[-1-(+1)]=2\tau_0$

13.19 0.19 m/s.

13.20 (a) 22 J; (b) $0.16\ \text{rad/s}^2$; (c) $P=(0.50\ W)-\left(5.8\times10^{-3}\dfrac{\text{W}}{\text{s}}\right)t$.

13.21 $K=\dfrac{1}{2}\dfrac{L^2}{I}$, $L=I\omega \Rightarrow K=\dfrac{1}{2}\dfrac{I^2\omega^2}{I}=\dfrac{1}{2}I\omega^2$.

13.22 (a) 42 rad/s; (b) $K_f - K_i = 350$ J.

13.23 (c) $\omega = mD(v_i + v_f)/(Ma^2/3)$; (d) 4.7 rad/s.

13.24 (b) 27 N.

13.25 (a) $L_1 = L_2 \quad I_1\omega_1 = (I_1 + I_2)\omega \qquad \omega = \dfrac{I_1}{I_1 + I_2}\omega_1$

(b) $L_1 = I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega \qquad \omega = \dfrac{I_1\omega_1 + I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$

(c) $L_1 = I_1\omega_1 - I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega \qquad \omega = \dfrac{I_1\omega_1 - I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$

13.26 (a) $2v/D$; (b) $\Delta K = 0$.

13.27 (a) 1.5 rad/s; (b) −200 J.

13.28 (a) $\omega = \dfrac{I_B}{I_B + I_C}\omega_B$; (b) $\Delta K = K_f - K_i = \dfrac{1}{2}I_B{\omega_B}^2\left(\dfrac{I_B}{I_B + I_C} - 1\right)$;

(c) $\omega = 4.1$ rad/s; $\Delta K = -1.3$ J.

Problemi

13.1 La forza crea un momento torcente diretto in avanti e parallelo al terreno. Il vettore momento angolare del cerchio che rotola è diretto a sinistra. Il cerchio esegue una precessione intorno a un asse verticale, con $\vec{\mathbf{L}}$ che muove in avanti il vettore momento della forza. Nel tempo Δt esso precede di un angolo $\Delta\theta$.

Si noti che se il cerchio non slitta, la forza di attrito del terreno esercita una forza di reazione pari alla forza applicata alla sommità del cerchio stesso. Tale forza di attrito fornisce un momento torcente intorno al centro di massa nella stessa direzione e verso del momento dovuto alla forza applicata. Pertanto:

$\tau = FR + FR = 2FR$

e

$$\Delta\theta = \omega_p\Delta t = \frac{\tau\Delta t}{L\ \mathrm{sen}\,\theta} = \frac{2FR\Delta t}{I\omega} \qquad I = MR^2 \qquad \omega = \frac{v}{R} \text{ da cui } \Delta\theta = \frac{2F\Delta t}{Mv}$$

13.2 $L_1 = L_2$ da cui $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

$$I = \frac{2}{5}MR^2 \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{per cui } \frac{T_2}{T_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

$$T_2 = \frac{R_2^2}{R_1^2}T_1 = \left(\frac{15}{7\times10^8}\right)^2(26 \text{ giorni}) = 1.19\times10^{-14} \text{ giorni}$$

13.3 Non agisce alcun momento torcente, per cui il momento angolare del sistema si conserva:

$$L_{\text{prima}} = L_{\text{dopo}} \qquad \text{ossia} \qquad I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \qquad \omega = 2\pi f \qquad f_2 = \frac{I_1}{I_2}f_1$$

Inizialmente, $I_1 = 8mr^2 + 1/2\ Mr^2$ ($I = 1/2\ Mr^2$ per un disco). Dopo lo spostamento verso l'interno:

$$I_2 = 8m\left(\frac{r}{4}\right)^2 + \frac{1}{2}Mr^2$$

Pertanto:

$$f_2 = \frac{8mr^2 + 0.5Mr^2}{8/16\,mr^2 + 1/2\,Mr^2}f_1 = \frac{16m + M}{m + M}f_1 \qquad f_2 = \frac{(16)(20) + 90}{20 + 90}(0.5\ \text{s}^{-1}) = 1.9\ \text{s}^{-1}$$

La giostra accelera di un fattore pari ad almeno 4!

$$T_1 = 8\left(\frac{1}{2}mr^2\omega_1^2\right) + \frac{1}{2}I\omega_1^2 \qquad \left(I = \frac{1}{2}Mr^2\right) \qquad T_2 = 8\left[\frac{1}{2}m\left(\frac{r}{4}\right)^2\omega_2^2\right] + \frac{1}{2}I\omega_2^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1/4mr^2\omega_2^2 + 1/4Mr^2\omega_2^2}{4mr^2\omega_1^2 + 1/4Mr^2\omega_1^2} = \frac{m + M}{16m + M}\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$$

$$= \frac{m + M}{16m + M}\left(\frac{16m + M}{m + M}\right)^2 = \frac{16m + M}{m + M} = 3.7$$

L'energia cinetica, quindi, non si conserva. I bambini devono esercitare un lavoro per poter andare verso il centro e questo lavoro va ad aumentare l'energia cinetica del sistema.

13.4 $h = 2r_0/5$.

13.5 $h = 27R_0/10$.

13.6 (b) $W = -1/2mv_i^2(1 - R_i^2/R_f^2)$.

13.7 (b) $Mg\sqrt{1} + [M^4g^2D^6/(I_s\omega_s)^4]$; (c) $\tan^{-1}[M^2gD^3/(I_s\omega_s)^2]$.

13.8 $v = \sqrt{\frac{3}{2}g(R_0 - r_0)(1 - \cos\theta)}$.

13.9 (a) 9.2 rad/s; (b) 120 J.

Capitolo 14

Esercizi

14.1 1.1 s, 0.92 Hz.

14.2 (a) $x(t) = (0.063\ \text{m})\cos[(4.1\ \text{rad/s})t]$,
$v_x(t) = -(0.26\ \text{m/s})\ \text{sen}\ [(4.1\ \text{rad/s})t]$,
$a_x(t) = -(1.1\ \text{m/s}^2)\cos[(4.1\ \text{rad/s})t]$,
(b) $x(1.7\ \text{s}) = 0.049\ \text{m}$, $v_x(1.7\ \text{s}) = -0.16\ \text{m/s}$, $a_x(1.7\ \text{s}) = -0.82\ \text{m/s}^2$.

14.3 (a) $\omega = 7.1$ rad/s, $A = 0.25$ m, $f = 1.1$ Hz, $T = 0.88$ s, $\phi = \pi$ rad;
(b) $x(\text{t}) = -(0.25\ \text{m})\cos[(7.1\ \text{rad/s})t]$, $a_x(\text{t}) = (13\ \text{m/s}^2)\cos[(7.1\ \text{rad/s})t]$;
(c) $x(0.25\ \text{s}) = 0.051\ \text{m}$, $v_x(0.25\ \text{s}) = 1.8\ \text{m/s}$, $a_x(0.25\ \text{s}) = -2.6\ \text{m/s}^2$.

14.4 (a) $x(\text{t}) = (0.29\ \text{m})\cos[(6.7\ \text{rad/s})t + \pi/2]$,
$v_x(\text{t}) = -\ (1.9\ \text{m/s})\ \text{sen}\ [(6.7\ \text{rad/s})t + \pi/2]$,
$a_x(\text{t}) = -\ (13\ \text{m/s}^2)\cos[(6.7\ \text{rad/s})t + \pi/2]$;
(b) $x(0.54\ \text{s}) = 0.13\ \text{m}$, $v_x(0.54\ \text{s}) = 1.7\ \text{m/s}$, $a_x(0.54\ \text{s}) = -5.9\ \text{m/s}^2$.

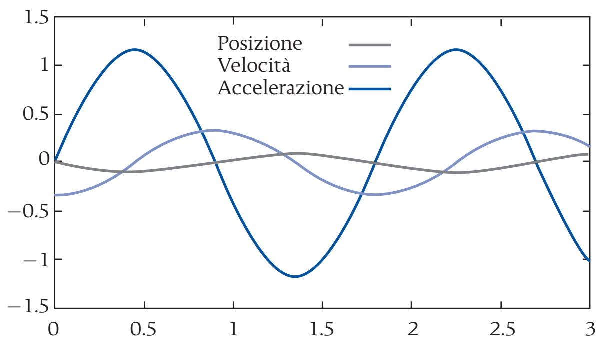
14.5 $A = 0.49$ m, $v_{\max} = 1.3$ m/s, $a_{\max} = 3.4$ m/s^2.

14.6 (a) $A\omega = [\text{L}]\left[\frac{\text{rad}}{\text{T}}\right] = \left[\frac{\text{L}}{\text{T}}\right]$; (b) $A\omega^2 = [\text{L}]\left[\frac{\text{rad}^2}{\text{T}^2}\right] = \left[\frac{\text{L}}{\text{T}^2}\right]$.

14.7 (a) $(0.17\ \text{m})\cos[(4.1\ \text{rad/s})t - 1.4\ \text{rad}]$; (b) $(-0.70\ \text{m/s})\ \text{sen}\ [(4.1\ \text{rad/s})t - 1.4\ \text{rad}]$;
(c) $(-2.9\ \text{m/s}^2)\cos[(4.1\ \text{rad/s})t - 1.4\ \text{rad}]$.

14.8 (a)
$$x(t) = (0.095\ \text{m})\cos\left[(3.5\ \text{rad/s})t + \frac{\pi}{2}\text{rad}\right],$$
$$v(t) = (-0.33\ \text{m/s})\sin\left[(3.5\ \text{rad/s})t + \frac{\pi}{2}\text{rad}\right],$$
$$a(t) = (-1.2\ \text{m/s}^2)\cos\left[3.5\ \text{rad/s})t + \frac{\pi}{2}\text{rad}\right];$$

(b)



14.9 $f = \frac{2400}{60}\text{s}^{-1} = 40\ \text{s}^{-1}$, $\quad a_{\max} = A\omega^2 = (0.042\ \text{m})(2\pi)^2(40\ \text{s}^{-1})^2 = 2650\ \text{m/s}^2$

$v_{\max} = A\omega = 10.5\ \text{m/s}$, $\quad F_{\max} = ma_{\max} = (1.25\ \text{kg})(2650\ \text{m/s}^2)$, $\quad F_{\max} = 3310\ \text{N}$

14.10 Se la forza F allunga una molla per una distanza x, sarà necessaria una forza $2F$ per allungare due molle poste in parallelo, della medesima distanza. Nel caso di due molle in parallelo la costante elastica effettiva è

$$k' = 2k \qquad \text{e} \qquad T' = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k'}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{1}{\sqrt{2}}T$$

14.11 (a) 7.2 rad/s; (b) 1.1 Hz; (c) 0.88 s.
14.12 32 N/m.
14.13 0.34 kg.
14.14 (a) $\dfrac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \delta)$, dove $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$;
(b) $\cos\delta = -\sin\phi$, $\sin\delta = \cos\phi$.
14.15 $x(t) = (0.029 \text{ m})\cos[(7.7 \text{ rad/s})t]$,
$v(t) = (-0.22 \text{ m/s})\sin[(7.7 \text{ rad/s})t]$,
$a(t) = (-1.7 \text{ m/s}^2)\cos[(7.7 \text{ rad/s})t]$.
14.16 380 N/m.
14.17 Dalla (14.15) l'energia totale risulta $E = (1/2)kA^2$. Quando $x = (1/2)A$, $U = (1/2)kx^2 = 1/8\ kA^2$. Inoltre $U + T = E$, per cui $(1/8)kA^2 + T = (1/2)kA^2$ e $T = (3/8)kA^2 = (3/4)E$.
14.18 0.083 J.
14.19 (a) $U = (24 \text{ mJ}) \cos^2 [(6.5 \text{ rad/s})t]$; (b) $K = (24 \text{ mJ}) \text{ sen}^2 [(6.5 \text{ rad/s})t]$.
14.20 (a) 0.047 m; (b) 0.33 m/s; (c) 0.32 m/s; (d) 0.030 m.
14.21 0.045 J.
14.22 (a) 1.67 kg; (b) 19.3 N/m.
14.23 (a) 1.00 J; (b) 1.38 J; (c) in $y = 0$, 0.39 m/s; (d) 1.2 J.
14.24 (a) 3 s; (b) 0.3 Hz, 0.4 m/s.
14.25 (a) 1.6 s; (b) 1.5 s.
14.26 (a) 2.65×10^{-5} N m; (b) 284 rad/s^2.
14.27 (a) 2.1 s; (b) 0.13 mJ.
14.28 $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}} = [L^{1/2}][L^{-1/2}T] = [T]$,

$$2\pi\sqrt{\frac{I}{mgL}} = 2\pi\sqrt{\frac{mL^2}{mgL}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = [L^{1/2}][L^{-1/2}T] = [T],$$

$$2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} = [LM^{1/2}][M^{-1/2}L^{-1}T] = [T].$$

14.29 (a) 2.0 s; (b) 2.0 s; (c) 3.7 s; (d) 0.0 s.
14.30 $x = (150 \text{ mm}) \cos [(3.5 \text{ rad/s})t]$, $v_x = -(0.52 \text{ m/s}) \text{ sen } [(3.5 \text{ rad/s})t]$, $a_x = -(1.8 \text{ m/s}^2) \cos [(3.5 \text{ rad/s})t]$.
14.31 (b) L sen θ, $\sqrt{g/(L \,\text{sen}\,\theta)}$.
14.32 (a) Dopo altri 2.4 min; (b) 4.8×10^{-3} s^{-1}.
14.33 (a) 1.2×10^{-3} s^{-1}; (b) 9:31.
14.34 (a) [MT^{-1}]; (b) [T^{-1}].
14.35 (a) 9.3 mm; (b) $\tan^{-1}(-4.0) = -1.3$ rad $[+\pi] = 1.8$ rad; (c) 11 mm per $\omega_E = \omega$.

Problemi

14.1 $T = \dfrac{60 \text{ s}}{24} = 2.5 \text{ s}, \qquad T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}, \qquad g = L\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2 = 9.47 \text{ m/s}^2$

14.2 Dalla (14.28):

$$A = A_0 e^{-(b/2m)t} = \frac{1}{2}A_0$$

da cui

$$e^{-(b/2m)t} = \frac{1}{2} \qquad \text{e} \qquad -\frac{b}{2m}t = \ln\left(\frac{1}{2}\right) \qquad \frac{bt}{2m} = \ln 2$$

poiché

$$\ln e = 1 \qquad \text{e} \qquad t = \frac{2m\ln 2}{b} = \frac{(2)(0.2\text{ kg})(\ln 2)}{0.072\text{ kg / s}} = 3.9\text{ s}$$

$$\frac{k}{m} = \frac{80\text{ N / m}}{0.20\text{ kg}} = 400\text{ s}^{-2}, \qquad \left(\frac{b}{2m}\right)^2 = \left[\frac{0.072\text{ kg / s}}{(2)(0.2\text{ kg})}\right]^2 = 0.03\text{ s}^{-2}$$

perciò

$$\frac{k}{m} \gg \left(\frac{b}{2m}\right)^2 \qquad \text{e} \qquad \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \simeq \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = 3.18\text{ Hz}$$

14.3 $T/6$.
14.4 (a) 0.09 s; (b) 0.11 s; (c) 0.16 s.
14.5 0.75 s.
14.6 (a) $P(t) = -\dfrac{F_0^2\omega_E}{m\sqrt{(\omega_E^2-\omega^2)^2+4\gamma^2\omega_E^2}}\cos\omega_E t\,\text{sen}\,(\omega_E t - \phi_E)$

Capitolo 15

Esercizi

15.1 1.33 MPa.
15.2 (a) 34 kPa; (b) 30 kPa.
15.3 (a) 1.21×10^5; (b) 154 nm.
15.4 (a) 8.4×10^{-7}; (b) 8.4×10^{-7} rad; (c) 0.43 μm.
15.5 8.06×10^7 Pa.
15.6 1.3×10^6 Pa.
15.7 1.98×10^4 kg/m^3.
15.8 (a) 1.01×10^3 kg/m^3; (b) 11.3×10^3 kg/m^3.
15.9 98 MPa.
15.10 37.1 kPa.
15.11 Con riferimento alla Figura G.6: $F/A = f/a$, da cui

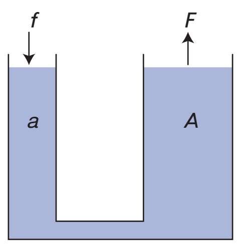


Figura G.6 Problema 15.11.

$$f = \frac{Fa}{A} = \frac{(12\,000\text{ N})(0.002\text{ m}^2)}{0.10\text{ m}^2}$$
$$= 240\text{ N}$$

La pressa idraulica possiede quindi un vantaggio meccanico di 50.

15.12 27 N.
15.13 0.7 N.
15.14 Se V è il volume del blocco e xV è il volume della parte immersa, allora

$$mg = F_S \qquad \text{ossia} \qquad \rho V g = \rho_a x V g, \qquad \text{da cui } x = \frac{\rho}{\rho_a} = 0.8$$

15.15 1050 m^3.
15.16 1.00129.
15.17 1.3×10^4 m^3.
15.18 15.0 kg/m^3.
15.19 (a) 3.3×10^{-3} m^3/s, 6.7×10^{-3} m^3/s; (b) 3.4 m/s; (c) 71 kPa.
15.20 Lontano dagli edifici la pressione vale 1 atm e la velocità del vento è approssimativamente zero. Quindi $P + (1/2)\rho v^2 = P_0 + 0$.

$$P - P_0 = \frac{1}{2}\rho v^2 = (0.5)(1.29\text{ kg / m}^3)(27\text{ m / s})^2 = 470\text{ Pa}$$

e

$$F = PA = (470\text{ Pa})(2\text{ m})(3\text{ m}) = 2820\text{ N} = 634\text{ lb}$$

15.21 (a) Confrontiamo la superficie (dove la pressione è la pressione atmosferica P_0 e la velocità è approssimativamente zero) con il punto C. Dall'Equazione (15.10):

$$P_0 + 0 + \rho g(h+d) = P_0 + \frac{1}{2}\rho v^2 + 0 \qquad v = \sqrt{2g(h+d)}$$

(b) Confrontiamo la superficie con il punto B: $P_0 + \rho g(h + d) = P + (1/2)\rho v^2 + + \rho g(h + d + H)$. Da (a), $(1/2)\rho v^2 = \rho g(h + d)$, per cui $P = P_0 - \rho g(h + d + H)$.
(c) Quando H è massima, la velocità e la pressione tendono a zero, quindi, confrontando la superficie e il punto B, si ha $P_0 + 0 + \rho g(h + d) = 0 + 0 + \rho g(h + + d + H)$, ossia

$$\rho g H = P_0 \qquad H = \frac{P_0}{\rho g} = \frac{1.01\times 10^5}{(10^3)(9.8)} = 10.3 \text{ m}$$

15.22 -2.5 kPa.
15.23 (a) 7.7 m/s; (b) 0.19 m^3/s; (c) 1.8×10^4 Pa, 2.3×10^4 Pa.
15.24 (a) 0,0049 m^3/s; (b) 10 m/s; (c) 3.0 kPa.
15.25 0.32 N.
15.26 0.544 m^3.

Problemi

15.1 (a) 4.8 kg; (b) 6.8×10^3 kg/m^3; (c) 0.47 mm.
15.2 $(\rho_s - \rho_0)/(\rho - \rho_0)$.
15.3 1.06 km, 2.6 km.
15.4 $80h_1$.
15.5 42 min.
15.6 (b) 12.3°.
15.7 Eq. Bernulli: $v = \sqrt{2gh}$, h = profondità. H = altezza del cilindro.

$$\begin{cases} H - h = \frac{1}{2}gt^2 \\ x = Vt \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} t = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} \\ x = 2\sqrt{h(H-h)} \end{cases}$$

$$x_{MAX} \text{ se } \frac{dx}{dh} = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dh} = \frac{H-2h}{\sqrt{h(H-h)}}; h = \frac{H}{2}.$$

Capitolo 16

Esercizi

16.1 10^6 anni.
16.2 (a) 0.282 m; (b) 8.03 kN.
16.3 (a) 9.6 g; (b) 1.4×10^{24}; (c) 3×10^{-9} m, circa 60 volte maggiore dell'atomo di He.
16.4 (a) 3650 Pa; (b) 77.1 K.
16.5 (a) 17.9 mm_{Hg}; (b) 17.9 mm_{Hg}; (c) 20.4 mm_{Hg}.
16.6 35 °C.
16.7 (a) 324.27 K; (b) 246.59 K; (c) 100.00 Ω.
16.8 (a) −40°; (b) 575 K; (c) 0; (d) nessuna.
16.9 (a) 99 °F; (b) 310 K; (c) 558 °R.
16.10 (a) 9.997 mm; (b) 0.03%; (c) 30 mm.
16.11 $L = L_0(1 + \alpha\Delta T) = (3.20 \text{ mm})\left[1 + (2.4\times 10^{-5}\ °C^{-1})(23\ °C + 78\ °C)\right] = 3.21 \text{ mm}$

16.12 Sia ΔV_C l'aumento di volume del carburante e ΔV_S l'aumento di volume del serbatoio. La fuoriuscita è perciò pari a

$$\begin{aligned}\Delta V &= \Delta V_C - \Delta V_S = V_0\beta_C\Delta T - V_0\beta_S\Delta T = V_0\Delta T(\beta_C - \beta_S) \\ &= (25 \text{ gal})(12\ °C)(96\times 10^{-5} - 1.1\times 10^{-5})(°C^{-1}) = 0.28 \text{ gal}\end{aligned}$$

Nota: si osservi che un serbatoio (cioè un oggetto cavo) si dilata come un corpo tridimensionale. Per lo stesso motivo, un foro in una lastra di metallo si allarga in diametro quando la lastra viene riscaldata.

La dilatazione termica può originare forze meccaniche molto intense quando l'oggetto riscaldato non ha spazio per espandersi.

16.13 $Y = \dfrac{F / A}{\Delta L / L_0}$ e $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$ pertanto $F = AY \dfrac{\Delta L}{L_0} = AY\alpha\Delta T$

$$F = (1.2 \times 10^{-4}\ \text{m}^2)(20 \times 10^{10}\ \text{Pa})(1.2 \times 10^{-5}\ {}^\circ\text{C}^{-1})(67\ {}^\circ\text{C})$$
$$= 1.9300 \times 10^4\ \text{N} \qquad (1\ \text{Pa} = 1\ \text{N} / \text{m}^2)$$

16.14 (a) -22 °C; (b) no.
16.15 (a) -2.8×10^{-5} s; (b) 2.4 s avanti.
16.16 280 mm.
16.17 (a) 0.1762 kg; (b) 25.05 mm; (c) 2677 kg/m^3.
16.18 600 W.
16.19 Il calore condotto attraverso ogni lastra è lo stesso, per cui

$$H = -k_1 A \frac{(T - T_1)}{L_1} = -k_2 A \frac{T_2 - T}{L_2}$$

Risolvendo ricaviamo:

$$T = \frac{k_1 L_2 T_1 + k_2 L_1 T_2}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$

e

$$H = \frac{A(T_2 - T_1)}{L_1 / k_1 + L_2 / k_2}$$

16.20 (a) 1700 °C/m; (b) 0.070 W K^{-1} m^{-1}; (c) isolante.
16.21 (a) 3800 Btu/h; (b) 0.77; (c) 0.14 W K^{-1} m^{-1}.
16.22 (a) 45 W; (b) 160 kJ.
16.23 (a) 70 MW/m^2; (b) 500 W/m^2; (c) 100 W/m^2; (d) 5 μW/m^2.
16.24 (a) 6400 Btu/h; (b) 7680 Btu/h; (c) 6000 Btu/h; (d) 480 kBtu.

Problemi

16.1 (a) 86 W; (b) T = 140 °C − (124 °C) ln (r/12 mm); (d) -6.2×10^3 °C/m.

16.2 $T = T_2 - \dfrac{T_2 - T_1}{L} x$

16.3
$$A_0 = L_0 W_0$$
$$L' = L_0 (1 + \alpha\Delta T),\ W' = W_0 (1 + \alpha\Delta T)$$
$$A' = L'W' = L_0 (1 + \alpha\Delta T) W_0 (1 + \alpha\Delta T) = L_0 W_0 + L_0 W_0 2\alpha\Delta T + L_0 W_0 (\alpha\Delta T)^2$$
$$A' - A_0 = \Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T + A_0 (\alpha\Delta T)^2$$

16.4 (a) 8.9 W/m^2; (b) 50 W/m^2; (c) 8.9 W/m^2, 250 W/m^2; (d) 8.9 W/m^2, 1.2 W/m^2.

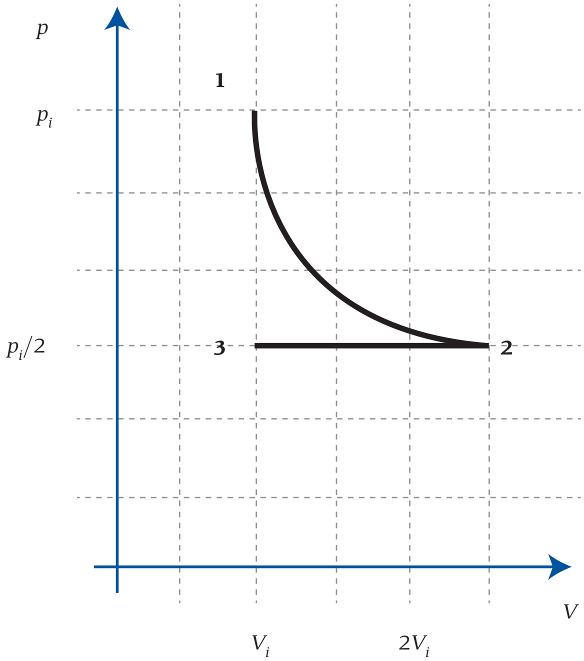
16.5 $T(r) = \dfrac{T_a + T_b}{2} - \dfrac{\ln(a/b)\ln(ab)}{2(T_a - T_b)} + \dfrac{\ln(a/b)}{T_a - T_b} \ln(r).$

Capitolo 17

Esercizi

17.1 (a) 2/3.
17.2 (a) 3.3×10^{-3} mol; (b) 0.49 kPa.
17.3 0.0823 atm L mol^{-1} K^{-1}.
17.4 2.7×10^{25} molecole/m^3.
17.5 22 L.

17.6



$p_m = \frac{p_i}{2}, V_m = 2V_i, T_m = T_i;$

$p_f = \frac{p_i}{2}, V_f = V_i, T_f = \frac{T_i}{2}.$

17.7 30 J.

17.8 (a) $Q = nC_v\Delta T = n\frac{3}{2}R(T_2 - T_1) = (4)\left(\frac{3}{2}\right)(8.31\ \text{J/K})(600\ \text{K} - 300\ \text{K})$

$= 1.50 \times 10^4$ J

(b) $Q = nC_p\Delta T = n\left(\frac{3}{2}R + R\right)(\Delta T) = (4)\left(\frac{5}{2}\right)(8.31\ \text{J/K})(600\ \text{K} - 300\ \text{K})$

$= 2.50 \times 10^4$ J

17.9 (a) 24 °C; (b) 11 kJ.
17.10 1.1 kg.
17.11 (a) 58.1 °C.
17.12 (a) 15.6 °C; (b) 87 J.
17.13 (a) acqua 9.4 °C; (b) 0.38 kg di ghiaccio e 2.62 kg di acqua a 0 °C
17.14 (a) 8.08 kJ; (b) −8.08 kJ.
17.15 (a) 60 kJ; (b) −55 kJ; (c) 5 kJ.
17.16 (a) $1/2(p_i + p_f)(V_f - V_i)$.
17.17 (a) 3.1 kJ; (b) 120 kPa; (c) 1100 K, 940 K.
17.18 (a) 48 L; (b) 96 L; (c) 7.2 kJ.
17.19 19 L.
17.20 (a) 9 kJ; (b) 21 kJ; (c) 25 kJ.
17.21 (a) 6.0 kJ; (b) 9.0 kJ; (c) 15.0 kJ.
17.22 (a) $1 \rightarrow 2$ $W = nC_v(T_1 - T_2) = (3/2)R(T_1 - T_2)$
$= (1.5)\ (8.31\ \text{J/K})\ (600\ \text{K} - 455\ \text{K}) = 1810$ J
$Q = 0$ $\Delta U = Q - W = 0 - 1810\ \text{J} = -1810$ J
$2 \rightarrow 3$ $W = p(V_3 - V_2) = nR(T_3 - T_2)$ mediante $pV = nRT$
$= (1)\ (8.31\ \text{J/K})\ (300\ \text{K} - 455\ \text{K}) = -1290$ J
$Q = nC_p(T_3 - T_2) = (1)\ (2.5)\ (8.31\ \text{J/K})(300\ \text{K} - 455\ \text{K}) = -3220$ J
$\Delta U = Q - W = -3220\ \text{J} - (-1290\ \text{J}) = -1930$ J
$3 \rightarrow 1$ $\Delta V = 0,$ da cui $W = 0$
$Q = nC_v(T_1 - T_3) = (1)\ [(3/2)R]\ (T_1 - T_3)$
$= (1.5)\ (8.31\ \text{J/K})\ (600\ \text{K} - 300\ \text{K}) = 3740$ J
$\Delta U = Q - W = 3740\ \text{J} - 0 = 3740$ J

Ciclo: $W = 1810\ \mathrm{J} - 1290\ \mathrm{J} + 0 = 520\ \mathrm{J}$

$Q = 0 - 3220\ \mathrm{J} + 3740\ \mathrm{J} = 520\ \mathrm{J}$

$\Delta U = -1810\ \mathrm{J} - 1930\ \mathrm{J} + 3740\ \mathrm{J} = 0$

(b) $p_1V_1 = nRT_1,\ p_3V_3 = nRT_3,\ V_1 = V_3$

Pertanto:

$$\frac{p_1V_1}{p_3V_3} = \frac{nRT_1}{nRT_3}, \qquad p_3 = \frac{T_3}{T_1}p_1 \qquad p_3 = \frac{300\ \mathrm{K}}{600\ \mathrm{K}}(2\ \mathrm{atm}) = 1\ \mathrm{atm} = p_2$$

$$V_3 = V_1 = \frac{nRT_1}{p_1} = \frac{(1)(8.31\ \mathrm{J/K})(600\ \mathrm{K})}{(2)(1.013\times10^5\ \mathrm{Pa})} = 0.025\ \mathrm{m}^3$$

$$p_2V_2 = nRT_2, \qquad V_2 = \frac{nRT_2}{p_2} = \frac{(1)(8.31\ \mathrm{J/K})(455\ \mathrm{K})}{1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}} = 0.037\ \mathrm{m}^3$$

17.23 7.53 kJ.
17.24 (a) −2 kJ; (b) 0; (c) 2 kJ.

Problemi

17.1 (a) 20.7 J mol^{-1} K^{-1} + (0.0123 J mol^{-1} K^{-2})T; (c) 13 kJ.

17.2 (a) $1/p$; (b) $\dfrac{1-b/V}{p-a/V^2+2ab/V^3}$

17.3 $W = RT\ln\dfrac{V_f-b}{V_i-b} + a\left(\dfrac{1}{V_f}-\dfrac{1}{V_i}\right).$

17.4 0.12 J.

17.5 $\begin{cases} U_{23} = Q_{23} - W_{23} = 0 - W_{23} \\ U_{23} = k(T_b - T_a) \end{cases} \begin{cases} U_{41} = Q_{41} - W_{41} = 0 - W_{41} \\ U_{41} = k(T_a - T_b) \end{cases}$

$-k(T_a - T_b) = k(T_b - T_a) \Rightarrow -U_{41} = U_{32}$

$\Rightarrow W_{41} = -W_{23}$

Capitolo 18

Esercizi

18.1 (a) 298 m/s; (b) 1.01×10^5 m^2/s^2; (c) $\langle v\rangle^2 = 0.89 \times 10^5$ m^2/s^2.
18.2 500.

18.3 $(v_{cm})_x = \sum_{i=1}^{N} \dfrac{m_i(v_i)_x}{\sum m_i} = \dfrac{m_i}{\sum m_i}\sum_{i=1}^{N}(v_i)_x = \dfrac{m_i}{Nm_i}\sum_{i=1}^{N}(v_i)_x = \dfrac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(v_i)_x = \langle v_x\rangle.$

18.4 (a) 0.125; (b) 0.125; (c) 0.5; (d) 0.375.

18.5 $nM = [\text{numero di moli}]\left[\dfrac{\mathrm{g}}{\text{mole}}\right] = [\mathrm{g}]$

$Nm = [\text{numero di molecole}][\text{peso di una molecola}] = [\mathrm{g}]$

$\Rightarrow nM = Nm.$

18.6 (a) 2.18×10^6 m^2/s^2; (b) 4.36×10^6 m^2/s^2; (c) 1.92×10^5 m^2/s^2; (d) 2.48×10^4 m^2/s^2.
18.7 (a) 520 m/s; (b) 480 m/s; (c) 410 m/s; (d) 6.2×10^{-21} J.
18.8 (a) 1.2; (b) 0.8; (c) 2.3.
18.9 (a) 0.01 eV; (b) 0.04 eV; (c) 0.8 eV.
18.10 (a) $\langle v_x\rangle = 80$ km/h, $\langle v_y\rangle = \langle v_z\rangle = 0$; (b) $\langle v_x\rangle = \langle v_y\rangle = \langle v_z\rangle = 0$.

18.11 $\sqrt{\dfrac{3kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}}$ infatti: $k = \dfrac{R}{N_A}$ e $m = \dfrac{M}{N_A} \Rightarrow \dfrac{k}{m} = \dfrac{R}{N_A}\dfrac{N_A}{M} = \dfrac{R}{M}$

18.12 (a) $(v_{qm})_{\mathrm{He}} = 1600$ m/s, $(v_{qm})_{\mathrm{Ne}} = 710$ m/s; (b) $\langle \mathrm{K}\rangle_{\mathrm{He}} = \langle \mathrm{K}\rangle_{\mathrm{Ne}} = 8.3 \times 10^{-21}$ J; (c) 4.7 kJ.
18.13 (a) 6.0 kJ.
18.14 (a) 5.4×10^{-20} J; (b) 460 m/s; (c) 6.
18.15 (a) 6.0 kJ, 0; (b) 29.4 J mol^{-1} K^{-1}; (c) 8.4 kJ, 2.4 kJ.
18.16 (a) 23.1 J mol^{-1} K^{-1}.

18.17 1.7, 1.4, 1.3.
18.18 (a) 0, approssimativamente; (b) -1.1 kJ.
18.19 $C_V = 20.8$ J/(K · mol), $C_P = 29.1$ J/(K · mol), $\gamma = 1.4$.
18.20 (a) 3; (b) 4; (c) 6; (d) 24 J/(K · mol).
18.21 (a) $T_i = 577$ K, $T_f = 770$ K; (b) 1.1 kJ.
18.22 (a) $50\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\cdot mol}}$; (b) $0.67\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\cdot kg}}$.
18.23 (a) 160 kPa; (b) 330 K, 250 K.
18.24 $T_i/V_i = T_f/V_f$ per una trasformazione isobara.
18.25 (a) 1.3 kJ; (b) 1.3 kJ; (c) 1.3 kJ.
18.26 (a) 1400 J; (b) $\Delta U = -1400$ J.
18.27 (a) 260 m/s; (b) 280 m/s; (c) 250 m/s.
18.28 0.80, 0.74.
18.29
$$\frac{df(v)}{dv} = 0 \Rightarrow v_{MAX}$$
$$\frac{df(v)}{dv} = 2Ave^{-\frac{m}{2kT}}\left(1 - \frac{mv^2}{2kT}\right)$$
$$\frac{df(v)}{dv} = 0 \Rightarrow v_{MAX} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$
18.30 (a) $(v_m)_{H_2} = 1580$ m/s, $\langle v\rangle_{H_2} = 1780$ m/s, $(v_{qm})_{H_2} = 1930$ m/s; (b) $(v_m)_{O_2} = 395$ m/s, $\langle v\rangle_{O_2} = 446$ m/s, $(v_{qm})_{O_2} = 484$ m/s.

Problemi

18.1 (a) 940 m/s; (b) 1×10^{-87} ($v_i = 1.1 \times 10^4$ m/s); (c) sì.
18.2 (a) 5×10^{-46} kg m^2; (b) 3×10^{12} rad/s.
18.3 (a) 0; (b) $-\dfrac{P}{V}$; (c) $-\gamma\dfrac{P}{V}$; (d) adiabatica.
18.4
$$v_S = \sqrt{\frac{B}{\rho}};\ B = \gamma p;\ \rho = \frac{m}{V} = \frac{Mn}{V}$$
$$\Rightarrow v_S = \sqrt{\frac{\gamma pV}{nm}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}.$$
18.5 $c_P = 1850\,\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\cdot kg}}$ I gradi di libertà vibrazionali sono attivi.

Capitolo 19

Esercizi

19.1 (a) 120 J; (b) 320 J; (c) 0.
19.2
$$L_{AB} = 0,\quad L_{CD} = 0,\quad L_{BC} = 2p_1(3V_1 - V_1) = 4p_1V_1$$
$$L_{DA} = p_1(V_1 - 3V_1) = -2p_1V_1$$
$$L = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} = 0 + 4p_1V_1 + 0 - 2p_1V_1$$
$$p_1V_1 = RT_A,\qquad 2p_1V_1 = RT_B,\qquad \text{per cui } T_B = 2T_A$$

Analogamente:

$$(2p_1)(3V_1) = RT_C,\qquad T_C = 6T_A$$
$$p_1(3V_1) = RT_D,\quad T_D = 3T_A,\quad Q_{AB} = C_v(T_B - T_A) = \frac{3}{2}R(2T_A - T_A) = \frac{3}{2}RT_A$$
$$Q_{BC} = C_p(T_C - T_B) = \frac{5}{2}R(6T_A - 2T_A) = 10RT_A$$

$$Q_{CD} = C_v(T_D - T_C) = \frac{3}{2}R(3T_A - 6T_A) = -\frac{9}{2}RT_A$$

$$Q_{DA} = C_p(T_A - T_D) = \frac{5}{2}R(T_A - 3T_A) = -5RT_A$$

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CD} + Q_{DA} = 2RT_A$$

$$e = \frac{L}{Q_{IN}} = \frac{L}{Q_{AB} + Q_{BC}} = \frac{2RT_A}{(3/2)RT_A + 10RT_A} = 0.17$$

19.3 Per $1 \to 2$,

$$\Delta E = 0, \qquad Q_{12} = L_{12} = \int p dV = RT_C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT_C \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Per $4 \to 1$,

$$L_{41} = 0, \qquad Q_{14} = \Delta E_{41} = C_v(T_C - T_F)$$

Il calore totale è, dunque:

$$Q_{\text{in}} = RT_C \ln \frac{V_2}{V_1} + C_v(T_C - T_F)$$

Il lavoro totale è

$$L = RT_C \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_F \ln \frac{V_1}{V_2} = R(T_C - T_F) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$e = \frac{L}{Q_{\text{in}}} = \frac{R(T_C - T_F) \ln (V_2 / V_1)}{RT_C \ln (V_2 / V_1) + [C_v(T_C - T_F)]}$$

19.4 (a) 0.28; (b) 1600 J; (c) 67 kW, 49 kW, 18 kW.
19.5 (a) 272 K, 544 K, 1088 K, 544 K; (b) 14.7 kJ; (c) 2.3 kJ; (d) 12.4 kJ; (e) 15%.
19.6 (a) 1.5×10^9 J/s; (b) 9.7×10^8 J/s; (c) 4200 ton.
19.7 (a) 170 J; (b) 2.1.
19.8 (a) 7.7 kW; (b) 4.2 kW; (c) 455 lire.
19.9 (a) 8.6×10^8 J/h; (b) 1.1×10^9 J/h; (c) 56 kW.
19.10 300 J.
19.11 (a) 1100 J; (b) 780 J; (c) 310 J; (d) 0.29.
19.12 (a) $|Q_F|/|Q_C| = 0.732$; (b) 9.15 mJ; (c) no.
19.13 (a) $\Delta\eta = +0.05$; (b) 0.04; (c) 0.08, 0.07.
19.14 (a) 5%; (b) 40 MW; (c) 10 m^3/s.
19.15 1 kW.
19.16 234 K.
19.17 (a) 0.8.
19.18 (a) Q/T; (b) 0.1 J/K.
19.19 Con riferimento alla Figura G.7: da $pV = RT$ segue $T_B = 4T_A$ e $T_C = 2T_A = 2T_0$

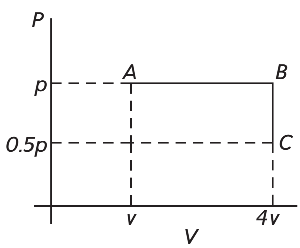


Figura G.7 Esercizio 19.19.

$$Q_{AB} = C_p(T_B - T_A) = \frac{5}{2}R(4T_0 - T_0) = \frac{15}{2}RT_0 = \frac{15}{2}p_0V_0$$

$$Q_{BC} = C_v(T_C - T_B) = \frac{3}{2}R(2T_0 - 4T_0) = -3RT_0 = -3p_0V_0$$

$$L_{AB} = p_0\Delta V = 3p_0V_0, \qquad L_{BC} = 0$$

(a) $L = 3p_0V_0$

(b) $\Delta E = Q - L = \frac{15}{2} p_0 V_0 - 3p_0 V_0 - 3p_0 V_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0$

(c) $Q = \frac{15}{2} p_0 V_0 - 3p_0 V_0 = \frac{9}{2} p_0 V_0$

(d) $\Delta S = \int_A^B \frac{C_p dT}{T} + \int_B^C \frac{C_v dT}{T} = C_p \ln \frac{4T_0}{T_0} + C_v \ln \frac{2T_0}{4T_0}$

$\Delta S = \frac{5}{2} R \ln\ 4 - \frac{3}{2} R \ln\ 2 = 2.42R$

19.20 6.1 kJ/K.

19.21 $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mL_f}{T}$

19.22 (a) 51 °C; (b) ΔS_{250} = 490 J/K, ΔS_{950} = −400 K; (c) 90 J/K; (d) irreversibile.

19.23 (a) −0.1 J/K; (b) −0.1 J/K; (c) maggiore di 0.1 J/K.

19.24 (a) 1.15 J/K; (b) −0.95 J/K; (c) 0.20 J/K.

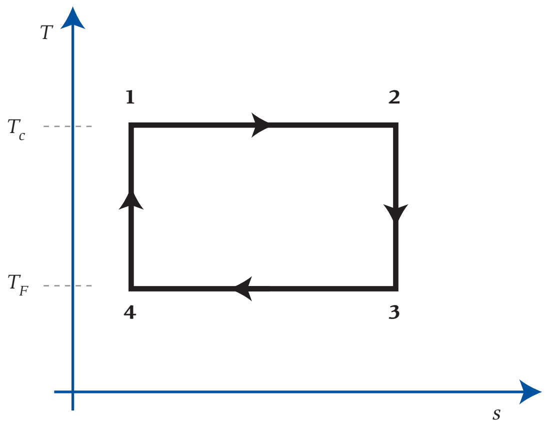
Problemi

19.1 Q_C/T_C, 0, $|Q_F|/T_F$, 0.

19.2 (a) 0.40 J/K; (b) 140 J in più.

19.3 23 J/K.

19.4 (a)



(b) calore scambiato con le sorgenti;
(c) lavoro prodotto dalla macchina termica.

19.5 (a) $\eta_{tot} = \frac{W + W'}{Q_C}, \eta = \frac{W}{Q_C}, \eta' = \frac{W'}{|Q_F|}, W = Q_C - |Q_F|, W' = |Q_F| - |Q'_F|$

$\Rightarrow \eta_{tot} = \frac{\eta Q_C + \eta' |Q_F|}{Q_C} = \eta + \eta' \left(\frac{|Q_F|}{Q_C} \right) = \eta + \eta'(1 - \eta)$

(b) $\eta_{tot} = \eta + \eta'(1-\eta) = 1 - \frac{T_I}{T_C} + \left(1 - \frac{T_F}{T_I}\right)\frac{T_I}{T_C} = 1 - \frac{T_I}{T_C} + \frac{T_I}{T_C} - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$.

19.6 (a) Adiabatica:

$T_a V_1^{\gamma-1} = T_b V_2^{\gamma-1}, T_c V_2^{\gamma-1} = T_d V_1^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_a}{T_d} = \frac{T_b}{T_c}$

$\eta = \frac{L}{Q_C} = \frac{Q_C - |Q_F|}{Q_C} = \frac{nC_V(T_c - T_b) - nC_V(T_d - T_a)}{nC_V(T_c - T_b)} = 1 - \frac{(T_d - T_a)}{(T_c - T_b)} =$

$= 1 - \frac{T_d\left(1 - \frac{T_a}{T_d}\right)}{T_c\left(1 - \frac{T_b}{T_c}\right)} = 1 - \frac{T_d}{T_c} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}};$

(b) 56%.

Capitolo 20

Esercizi

20.1 (a) 1.1 m/s; (b) 1 mm; (c) 0.7 mm.

20.2 (b) $h = 10.0$ mm, $w = 2.00$ m.

20.3 1 e 2.

20.4 3000 km.

20.5 (a) 6.8 mm; (b) 1.47 rad/m; (c) 4.18 rad/s; (d) 2.84 m/s; (e) 4.27 m; (f) 0.665 Hz; (g) 1.50 s; (h) $+\hat{\mathbf{i}}$; (i) -2.2 mm.

20.6 (a) $v_x = -(28 \text{ mm/s}) \cos [(1.47 \text{ rad/m})x - (4.18 \text{ rad/s})t]$; (b) $a_x = -(120 \text{ mm/s}^2) \text{ sen } [(1.47 \text{ rad/m})x - (4.18 \text{ rad/s})t]$; (c) 28 mm/s; (d) 120 mm/s^2; (e) 27 mm/s; (f) 38 mm/s^2; (g) verso l'alto.

20.7 (a) $(0.010) \cos [(1.47 \text{ rad/m})x - (4.18 \text{ rad/s})t]$; (b) $-(0.015 \text{ m}^{-1}) \text{ sen } [(1.47 \text{ rad/m})x - (4.18 \text{ rad/s})t]$; (c) -9.4×10^{-3}; (d) 4.8×10^{-3} m^{-1}; (e) verso l'alto.

20.8 Da 4×10^{14} a 7.5×10^{14} Hz.

20.9 Da 16.5 mm a 16.5 m.

20.10 (a) $y = (17 \text{ mm}) \text{ sen } [(5.3 \text{ rad/m})x + (19 \text{ rad/s})t]$; (b) 3.6 m/s; (c) 0.32 m/s; (d) 6.1 m/s^2; (e) 0.090; (f) 0.48 m^{-1}.

20.11 (a) *A*: 4.0 m/s, *B*: 0, *C*: -4.0 m/s, *D*: -2.8 m/s, *E*: 0; (b) *A*: 0, *B*: 640 m/s^2, *C*: 0, *D*: -450 m/s^2, *E*: -640 m/s^2; (c) *A*: 0.087, *B*: 0, *C*: -0.087, *D*: -0.061, *E*: 0; (d) *A*: 0, *B*: 0.30 m^{-1}, *C*: 0, *D*: -0.21 m^{-1}, *E*: 0.30 m^{-1}.

20.12 (a) 4.3 mm; (b) 0.82 m; (c) 12 m/s; (d) 68 ms; (e) 7.7 m^{-1}; (f) 15 Hz; (g) 92 rad/s; (h) verso negativo delle x; (i) -4.1 mm.

20.13 (a) $(0.40 \text{ m/s})\cos\left\{\frac{2\pi}{0.82 \text{ m}}\left[x+(12 \text{ m/s})t\right]\right\}$; (b) $\left(-36 \text{ m/s}^2\right)\sin\left\{\frac{2\pi}{0.82 \text{ m}}\left[x+(12 \text{ m/s})t\right]\right\}$; (c) 0.40 m/s; (d) 36 m/s^2; (e) -0.091 m/s; (f) 35 m/s^2; (g) verso l'alto.

20.14 (a) $(0.033 \text{ m/s})\cos\left\{\frac{2\pi}{0.82 \text{ m}}\left[x+(12 \text{ m/s})t\right]\right\}$; (b) $\left(-0.25 \text{ m/s}^2\right)\sin\left\{\frac{2\pi}{0.82 \text{ m}}\left[x+(12 \text{ m/s})t\right]\right\}$; (c) -3.1 m/s; (d) 0.23 m/s^2; (e) verso l'alto.

20.15 (a) $v = \frac{\lambda}{T}; T = \frac{1}{f} \Rightarrow v = \lambda f$; (b) $k = \frac{2\pi}{\lambda}; \omega = \frac{2\pi}{T}; \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi}{T}\frac{\lambda}{2\pi} = \frac{\lambda}{T} = v$.

20.16 0.3 m $\div$ 3×10^4 m.

20.17 1200 m/s.

20.18 100 N.

20.19 $\mu = [\text{ML}^{-1}]; F = [\text{MLT}^{-2}] \Rightarrow \sqrt{\frac{F}{\mu}} = [\text{M}^{1/2}\text{L}^{1/2}\text{T}^{-1}][M^{-1/2}L^{1/2}] = [\text{LT}^{-1}] = \text{m/s}.$

20.20 0.21 kg/m.

20.21 $v = [\text{LT}^{-1}]$; $\rho = [\text{ML}^{-3}]$; $Y = v^2\rho = [\text{L}^2\text{T}^{-2}][\text{ML}^{-3}] = \text{N/m}^2$.

20.22 *A*: 21 W, *B*: 0, *C*: 21 W, *D*: 11 W, *E*: 0.

20.23 600 W.

20.24 0.49 W/m^2.

20.25 174 TW.

20.26 (a) 1.3 kHz; (b) 8.0×10^3 rad/s; (c) 8.4 m^{-1}; (d) $(5.0\ \mu\text{m}) \cos [(8.4 \text{ rad/m})x - (8.0 \times 10^3 \text{ rad/s})t]$.

20.27 330 m/s.

20.28 (a) 1.1×10^3 m/s; (b) 2.0×10^3 m/s.

20.29 0.2 s.

20.30 (a) 5.1×10^3 m/s; (b) 3.5×10^3 m/s; (c) 5.1×10^3 m/s.

20.31 (a) 3.9×10^3 m/s; (b) 1.5×10^3 m/s.

20.32 (a) 0.16 Pa; (b) 1.7×10^{-11} m; (c) 2.7×10^{-3} Pa, 1.0×10^{-9} m.

20.33 (a) $\left(3.0\times10^{-6} \text{ m}\right)\sin\left(21.7\frac{1}{\text{m}}x - 7540t\right)$; (b) $\left(-7.54\times10^{-3} \text{ m}\right)\cos\left(21.7\frac{1}{\text{m}}x - 7540t\right)$; (c) $\left(-170 \text{ m}\right)\sin\left(21.7\frac{1}{\text{m}}x - 7540t\right)$.

20.34 (a) 326 m/s; (b) 349 m/s; (c) 263 m/s.
20.35 3.8 km.
20.36 (a) 0.115 W/m^2; (b) 10.2 Pa.
20.37 (a) 466 Hz; (b) 880 Hz.
20.38 73 nW/m^2.
20.39 (a) 3; (b) 6; (c) 10; (d) 13; (e) 17; (f) 20; (g) 60.
20.40 (a) 70 dB; (b) 3.4 $\mu W/m^2$.

Problemi

20.1 $P = \frac{1}{2}\mu\omega^2 v, \qquad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \qquad$ perciò $P = \frac{1}{2}\mu\omega^2\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2}\omega^2\sqrt{\mu T}$

(a) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{1/2\omega^2\sqrt{\mu(2T_1)}}{1/2\omega^2\sqrt{\mu T_1}} = \sqrt{2}, \qquad P_2 = \sqrt{2}P_1 = 1.4\,P_1$

(b) $\frac{P_3}{P_1} = \frac{1/2\omega_3^2\sqrt{\mu T_1}}{1/2\omega_1^2\sqrt{\mu T_1}} = \frac{f_3^{\ 2}}{f_1^{\ 2}} = \frac{(2f_1)^2}{f_1^{\ 2}} = 4, \qquad P_3 = 4\,P_1$

20.2 La potenza è distribuita su una superficie sferica di area $A = 4\pi r^2$:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{60\text{ W}}{4\pi(4\text{ m})^2} = 0.30\text{ W / m}^2$$

20.3 (a) $L = v\Delta t = (350\text{ m/s})\Delta t = (0.35\text{ km/s})\Delta t = \frac{\Delta t}{2.9\frac{\text{s}}{\text{km}}} \cong \frac{\Delta t}{3\frac{\text{s}}{\text{km}}}$;

(b) 5%;

(c) se $v_s = 700\text{ m/s} \Rightarrow L = \frac{\Delta t}{1.4\frac{\text{s}}{\text{km}}}$. Variazioni della velocità della luce sono trascurabili.

20.4 $\frac{df}{dx} = f'; \frac{df}{dt} = -vf'$

$\frac{d^2f}{dx^2} = f''; \frac{d^2f}{dt^2} = -v^2f''$

$\Rightarrow \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{1}{v^2}\frac{d^2f}{dt^2}.$

20.5 (a) $F = k(L-l),\ \mu = \frac{M}{L} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{k(L-l)L}{M}}$;

(b) $\frac{l}{L} << 1 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{kL^2}{M}} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v} = \sqrt{\frac{M}{k}}.$

20.6 $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{Mgx}{L}\frac{L}{M}} = \sqrt{gx}$

$\Delta t = \int_0^L \frac{dx}{v} = \int_0^L \frac{dx}{\sqrt{gx}} = \frac{2\sqrt{L}}{\sqrt{g}} = 2\sqrt{\frac{L}{g}}.$

20.7 5.75×10^{-2} W.

20.8 (a) $B_T = -V\frac{\partial p}{\partial V} = -V\left(-\frac{P}{V}\right) = P$; (b) 15%.