3.1 a) $F_a = 0.735$ N; b) $\mu_d = 0.15$.

3.2 a) $v + at = 0$, $v^2 + 2ax = 0$, eliminando a, $v = 2x/t = 5.38$ m/s;
b) $\mu_d mg = ma$, $a = -v/t$, $\mu_d = -a/g = v/gt = 0.05$.

3.3 a) $v^2 - v_0^2 = 2ad$, $a = 5.15$ m/s^2, $F_x = F\cos\theta = ma$, $\cos\theta = 0.542$, $\theta = 57.2°$;
b) $v = v_0 + at$, $t = 2.17$ s, oppure dal teorema dell'impulso $F_x t = m(v - v_0)$, $t = m(v - v_0)/F\cos\theta = (v - v_0)/a$.

3.4 a) $F_{tot} = 0$; b) $\mu_d = 0.357$; c) $\theta = 1.22$ rad $= 70.4°$, $F_R = 1040$ N.

3.5 $F - F' = Ma$, $F' = ma = kx$, $F = (m + M)a$, $F' = mF/(m + M)$,
$x = \dfrac{m}{m+M}\,\dfrac{F}{k} = 0.032$ m.

3.6 $kx < \mu_1 m_1 g$, $kx < \mu_2 m_2 g$, $x < 0.106$ m.

3.7 $\omega = \sqrt{k/(m_1 + m_2)}$, $a_{max} = \omega^2 A = \mu_s g$, $A = \mu_s g/\omega^2 = \mu_s g(m_1 + m_2)/k = 0.63$ m.

3.8 a) $A = 0.25$ m, $\omega = 2\pi/T = 8.976$ rad/s, $\phi = 0$, $v = \omega A\cos\omega t$, $v(0.4) = -2.022$ m/s;
b) $k = m\omega^2 = 112.8$ N/m; c) $\phi = \pi$, $v = \omega A(\cos\omega t + \pi) = -\omega A\cos\omega t$; $v(0.4) = 2.022$ m/s.

3.9 a) Per l'equilibrio della molla $F = kx$, $x = 0.025$ m;
b) per l'equilibrio del corpo $F_{as} = kx = F = 16$N, si ha quiete fino a che $F_{as} \le \mu_s mg$, $\mu_s \ge F_{as}/mg = F/mg = 0.54$;
c) per quanto riguarda la molla vale sempre $F = kx$ e quindi l'allungamento è lo stesso;
d) nel caso del corpo in movimento $kx - \mu_d mg = ma$, $F - \mu_d mg = ma$, $a = 0.43$ m/s^2.

3.10 a) $T = m(g + a) = 8.3$ N ; b) $a_{max} = \dfrac{T_{max}}{m} - g = 4.5$ m/s^2.

3.11 In quiete o in moto uniforme $-mg + kx = 0$, $x = mg/k$,
a) accelerazione verso l'alto $-mg + kx_1 = ma$, $x_1 = m(a + g)/k > x$,

b) accelerazione verso il basso $-mg + kx_2 = -ma$, $x_2 = m(g - a)/k$,
$a < g$, la molla si allunga, ma con $x_2 < x$,
$a = g$, $x_2 = 0$, la molla non si deforma (caduta libera),
$a > g$, la molla è compressa.

3.12 a) $T = mg = 31$ N, $m = 3.16$ kg;
b) prima situazione: $T_1 > mg$, $T_1 - mg = ma_1$, $a_1 = 2.85$ m/s^2, concorde all'asse verticale z, il corpo sale accelerando o scende frenando;
c) seconda situazione: $T_2 < mg$, $mg - T_2 = ma_2$, $a_2 = 1.58$ m/s^2, discorde all'asse verticale z, il corpo scende accelerando o sale frenando.

3.13 a) $T_1 = (m_1 + m_2)g$, $T_2 = m_2 g$;
b) durante la caduta $m_2 g - T = m_2 g$, $m_1 g + T = m_1 g \Rightarrow T = 0$: il filo non è teso.

3.14 $m\mathbf{g} + \mathbf{N}_1 = 0$, $m\mathbf{g} + M\mathbf{g} + 4\,\mathbf{N}_2 = 0$, $N_1 = 98$ N, $N_2 = 73.5$ N, $4\,N_2 = 294$ N.

3.15 $m_1 g = k_{AB}x_{AB}$, $k_{AB} = 182.8$ N/m, $m_1 g = k_{CD}x_{CD}$, $k_{CD} = 64.5$ N/m, quando le molle sono *in serie*, a ciascuna è applicata la stessa forza $m_2 g$, $x_1 = m_2 g/k_{AB} = 0.024$ m, $x_2 = m_2 g/k_{CD} = 0.068$ m, $x = x_1 + x_2 = 0.092$ m, il sistema si comporta come un'unica molla di costante elastica $k_{equiv} = m_2 g/x = 47.9$ N/m, si osservi che $1/k_{equiv} = 1/k_{AB} + 1/k_{CD}$.

3.16 a) $F_a = m\omega^2 r = 2 \cdot 10^{-2}$ N; b) $\omega = 3.13$ rad/s; il valore di ω è indipendente dalla massa della moneta.

3.17 $T_1 - T_2 = m_1\omega^2 d_1$, $T_2 = m_2\omega^2(d_1 + d_2)$, $T_2 = 33.3$ N , $T_1 = 49.2$ N.

3.18 a) dopo mezzo giro $v^2 = v_0^2 + 2a_T\pi R^2$, $v = 1.43$ m/s , $a_N = v^2/R = 5.11$ m/s^2;
b) $v_1^2 - v_0^2 = 2a_T\, 2\pi R$, $a_T = -0.78$ m/s^2 , $t = (v_1 - v_0)/a_T = 2.18$ s.

3.19 a) $v = (gR)^{1/2} = 3.43$ m/s; b) $T = 19.6$ N.

3.20 Il sasso nel moto circolare uniforme è soggetto alla sola accelerazione della forza centripeta $ma_N = mv^2/d\,\mathrm{sen}\theta = T\,\mathrm{sen}\theta$, con T tensione della fune; lungo la direzione verticale si ha l'equilibrio, $T\cos\theta = mg$:
a) $v = \mathrm{sen}\theta(gd/\cos\theta)^{1/2} = 0.988$ m/s; b) $T = 15.6$ N; c) $m = 2.88$ kg.

3.21 $\frac{1}{2}a_r t^2 = -d$, $a_r = -0.25$ m/s^2 , $F - \mu mg = Ma_M$, $\mu mg = ma_m$,
$a_r = a_m - a_M = [\mu g(m + M) - F]/M$, da cui $\mu = 0.15$.

3.22 Poiché il filo è inestensibile le accelerazioni delle due masse sono eguali in modulo, ma opposte in verso; assumendo positivo il verso da sinistra a destra:
a) $F - T - \mu m_A g = m_A a$, $-T + \mu m_A g = -m_B a$, $a = (F - 2\mu m_A g)/(m_A + m_B) = 2.29$ m/s^2;
b) $T = 1.07$ N.

3.23 La condizione di quiete di m_A rispetto ad m_B implica che le tre masse si muovano con la stessa accelerazione a, m_C si muove orizzontalmente spinta da m_B, $R = m_C a$, mentre verticalmente $T = m_C g$, m_A si muove tirata dal filo, $T = m_A a$ e quindi $a = m_C g/m_A = 4.9$ m/s^2, l'equazione del moto di m_B è $F - R = m_B a$, risulta $F = (m_B + m_C)a = 1.96$ N; F non spinge m_A non essendoci attrito.

3.24 Le tre masse hanno accelerazioni eguali in modulo, ma non in verso; assumendo positivo il verso da sinistra a destra, le equazioni del moto sono $m_3 g - T_2 = m_3 a$, $T_2 - T_1 - \mu(m_1 + m_2)g - \mu m_1 g = m_2 a$, $-T_1 + \mu m_1 g = -m_1 a$, $m_3 g - \mu(m_1 + m_2)g - 2\mu m_1 g = (m_1 + m_2 + m_3)a$: a) $a = 3.86$ m/s^2; b) $T_1 = 6.8$ N; c) $T_2 = 29.7$ N.

3.25 a) $a = 0 \Rightarrow m = \mu_1 m_1 + \mu_2 m_2$, $\quad m = 5.4$ kg;
b) $T_2 = \mu_2 m_2 g = 29.4$ N, $\quad T_1 = T_2 + \mu_1 m_1 g = 52.9$ N;
c) se il filo resta teso $-\mu_1 m_1 g - T = m_1 a$, $\quad T - \mu_2 m_2 g = m_2 a$, da cui $a = -(\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2)g/(m_1 + m_2) = -3.8$ m/s^2, $\quad T = (\mu_2 - \mu_1) m_1 m_2 g/(m_1 + m_2) = 6.6$ N > 0, il filo resta teso.

3.26 a) $a = g(m_1 - \mu m_2)/(m_1 + m_2)$; $\quad$ b) $T = (\mu + 1) m_1 m_2 g/(m_1 + m_2)$;
c) massa inizialmente in quiete: non c'è movimento se $m_1 \le \mu_s m_2$;
se c'è velocità iniziale c'è moto anche con $m_1 \le \mu_s m_2$: decelerato se $m_1 < \mu m_2$, uniforme se $m_1 = \mu m_2$, accelerato se $m_1 > \mu m_2$.

3.27 a) $a = (m_B - m_C)g/(m_A + m_B + m_C) = 4.2$ m/s^2;
b) $T_1 = m_B(g - a) = 22.4$ N, $\quad T_2 = m_C(g + a) = 14.0$ N.

3.28 a) $F = (m_1 + m_2)a$, $F_{1,2} = m_2 a = m_2 F/(m_1 + m_2) = 3$ N;
b) $0 - v^2 = 2ax = -2\mu_d g x$, $0 - v = -\mu_d g t$, $v = 2x/t = 10$ m/s;
c) $\mu_d = v/gt = 0.34$ oppure $\mu_d = v^2/2gx = 0.34$;
d) la velocità del secondo blocchetto in P è la stessa che il secondo blocchetto ha quando viene fermato il primo, a sua volta eguale alla velocità del sistema all'istante t_1, $v = a t_1 = F t_1/(m_1 + m_2)$, $t_1 = 4.6$ s.

3.29 a) $a = -g(\text{sen}\theta + \mu\cos\theta) = -6.6$ m/s^2, $v^2 = v_0^2 + 2ah/\text{sen}\theta$, $v = 2.7$ m/s, $t = (v - v_0)/a = 0.23$ s, oppure da $v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = h/\text{sen}\theta$;
b) $\frac{1}{2} m v_0^2 - \mu' m g h/\text{tg}\theta = mgh$, da cui $\mu' = 0.72$.

3.30 a) $T = \frac{1}{2}(\mu_B - \mu_A) m g \cos\theta = 0.64$ N;
b) solo A: $\quad a = g\,\text{sen}\theta - \mu_A g\cos\theta$, $d = \frac{1}{2} a t^2$, $\mu_A = 0.50$
$A + B$: $\quad a = 0$, $mg\,\text{sen}\theta - \mu_A\, mg\cos\theta - T = 0$, $mg\,\text{sen}\theta - \mu_B mg\cos\theta + T = 0$,
$\mu_A + \mu_B = 2\ \text{tg}\theta$, $\mu_B = 0.65$.

3.31 $m_1 g\,\text{sen}\theta - T = 0$, $m_2 g\,\text{sen}\theta + T - \mu m_2 g\cos\theta = 0$, $\mu = \dfrac{m_1 + m_2}{m_2}\ \text{tg}\theta = 0.47$.

3.32 $F - T - m_A g\,\text{sen}\theta = m_A a$, $T - m_B g\,\text{sen}\theta = m_B a$,
$T = m_B F/(m_A + m_B) = 2\ t m_B/(m_A + m_B) = 40$ N, $t = 50$ s.

3.33 a) $a = F_2/m_2 = 2.4$ m/s^2, $(m_1 + m_2 + m_3) g\,\text{sen}\theta - F = (m_1 + m_2 + m_3)a$, $F = 37.4$ N;
b) $(m_1 + m_2 + m_3) g\,\text{sen}\theta - (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2 + \mu_3 m_3) g\cos\theta = 0$, $\mu_1 = 0.92$.

3.34 a) $a_1 = 6$ m/s$^2 > g\,\text{sen}\theta = 4.9$ m/s^2, la forza elastica aiuta il peso, la molla deve essere estesa, $kx + mg\,\text{sen}\theta = m a_1$, $x = (a_1 - g\,\text{sen}\theta)m/k = 0.076$ m;
b) $a_2 = 3$ m/s$^2 < g\,\text{sen}\theta$, la forza elastica contrasta il peso, la molla deve essere compressa, $mg\,\text{sen}\theta - kx = m a_2$, $x = (g\,\text{sen}\theta - a_2)m/k = 0.131$ m.

3.35 a) $F = -mg\,\text{sen}\theta - \mu_d mg\cos\theta = ma$, $a = -g(\text{sen}\theta + \mu_d\cos\theta) = -7.74$ m/s^2, $0 = v_0 + at$, $t = 1.29$ s, $0 = v_0^2 + 2ax$, $x = 6.46$ m;
b) quando il corpo si ferma occorre verificare se $mg\,\text{sen}\theta \ge \mu_s mg\cos\theta$ cioè se $\text{tg}\theta \ge \mu_s$; essendo $\text{tg}36° = 0.73 > \mu_s = 0.35$ il corpo torna indietro;
c) nella discesa $a' = g(\text{sen}\theta - \mu_d\cos\theta) = 3.78$ m/s^2, la velocità iniziale è nulla e la velocità raggiunta alla base del piano inclinato vale $v_A^2 = 2a'x$, $v_A = 7$ m/s, $t' = v_A/a' = 1.85$ s; si noti che per effetto dell'attrito $v_A < v_0$ e $t' > t$.

3.36 $F = mg\,\text{sen}\theta - \mu_d mg\cos\theta = ma$, $a = g(\text{sen}\theta - \mu_d\cos\theta) = 0.24$ m/s^2, il moto può avvenire solo con $v_0 > 0$ (è il caso $\text{tg}\theta < \mu_d$): $v_B^2 = v_0^2 + 2ad$, $d = AB = h/\text{sen}\theta = 1.62$ m, $v_0 = (-2ad)^{1/2} = 0.88$ m/s; se la velocità iniziale è maggiore di 0.88 m/s il corpo arriva in B con $v_B > 0$, mentre se la velocità è inferiore a 0.88 m/s il corpo si ferma prima di arrivare in B.

Soluzioni ai problemi di Meccanica e Termodinamica

3.37 a) Durante la salita $a = -g(\text{sen}\theta + \mu_d\cos\theta)$, $v_0^2 = -2ad$, $a = 5.26$ m/s^2, $\mu_d = 0.042$;
b) nella discesa $a' = g(\text{sen}\theta - \mu_d\cos\theta) = 4.54$ m/s^2, $v^2 = 2a'd$, $v = 9.3$ m/s $= 33.4$ km/h.

3.38 $ma = -bv$, $v = v_0 e^{-ct}$, con $c = b/m = 0.032$ s^{-1}, $t_1 = 144$ s.

3.39 Dalla geometria del sistema ciascuna fune forma un angolo $\theta = 30°$ con la direzione della sponda, $\quad$ a) $T = Av^3/2\cos\theta = 3.36 \cdot 10^3$ N; $\quad$ b) $v_{max} = 10.6$ km/h.

3.40 Dal teorema dell'impulso $v = 78.1$ m/s.

3.41 a) Dal teorema dell'impulso $F_m = 100$ N;
b) nell'ipotesi che il moto della palla abbia accelerazione $a = -bt$ a causa della forza esercitata dalla mano del giocatore, la velocità è $v = v_0 + \int a\,dt = v_0 - bt^2/2$, ponendo $v = 0$ e $t = 0.02$ s si ricava $b = 5 \cdot 10^4$ m/s^3, lo spazio percorso è $x = v_0 t - bt^3/6 = 13.3$ cm;
c) $F = mbt = 200$ N.

3.42 Dall'area sottesa dalla funzione $F(t)$ si ottiene, applicando il teorema dell'impulso, $v_1 = 5$ m/s e $v_2 = 12.5$ m/s.

3.43 L'equazione del moto della cassa è $m\,dv/dt = F\cos\phi - \mu_d(mg + F\,\text{sen}\phi)$, $dv/dt = kt - \mu_d g$ con $k = A(\cos\phi - \mu_d\,\text{sen}\phi)/m = -4$ m/s^2, $v = v_0 + kt^2/2 - \mu_d g t$,
a) imponendo $v = 0$ si trova $t_1 = 1.28$ s; $\quad$ b) integrando v si trova $x(t_1) = x_1 = 5.15$ m.