

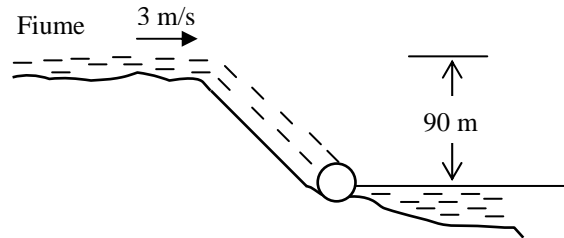
RISOLUZIONI CAPITOLO 3

3-1 Un fiume scorre da una certa quota verso un lago con velocità e portata costanti. Si devono determinare l'energia meccanica totale posseduta dall'acqua del fiume per unità di massa e la potenza che si potrebbe ottenere da essa.

Ipotesi 1 La quota data nel testo si riferisce alla superficie del fiume. **2** La velocità data è la velocità media. **3** L'energia meccanica dell'acqua all'uscita dalla turbina è trascurabile.

Proprietà Si assume la densità dell'acqua pari a $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Analisi Osservando che la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale per un dato corpo fluido è costante, si può prendere come quota per l'acqua dell'intero fiume la quota del pelo libero e ignorarne invece l'energia cinetica. L'energia meccanica totale per unità di massa d'acqua del fiume diviene allora



$$e_{\text{mecc}} = e_p + e_c = gh + \frac{w^2}{2} = \left((9.81 \text{ m/s}^2)(90 \text{ m}) + \frac{(3 \text{ m/s})^2}{2} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = \mathbf{0.887 \text{ kJ/kg}}$$

La potenza meccanica che può essere generata sfruttando l'acqua del fiume si ottiene moltiplicandolienergia meccanica totale per unità di massa per la portata massica

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1000 \text{ kg/m}^3)(500 \text{ m}^3/\text{s}) = 500000 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{\text{max}} = \dot{E}_{\text{mecc}} = \dot{m}e_{\text{mecc}} = (500000 \text{ kg/s})(0.887 \text{ kJ/kg}) = 444000 \text{ kW} = \mathbf{444 \text{ MW}}$$

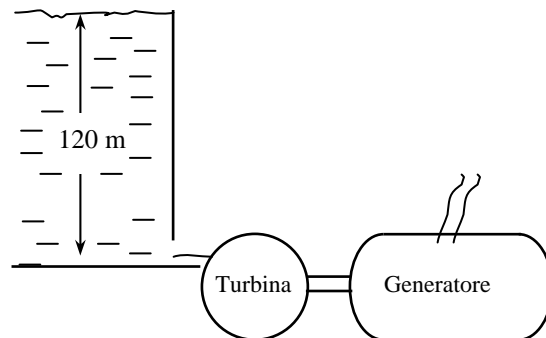
Si possono pertanto produrre 444 MW di potenza sfruttando l'energia di questo fiume nel punto in cui si butta nel lago, ipotizzando che sia possibile convertire completamente la sua energia potenziale.

Discussione Si noti che l'energia cinetica dell'acqua è trascurabile se paragonata all'energia potenziale e può essere ignorata nell'analisi. Inoltre, la potenza generata da una turbina reale sarà senz'altro inferiore a 444 MW a causa delle perdite e degli attriti.

3-2 Si deve generare potenza elettrica da un'estesa riserva d'acqua installando un sistema idraulico turbina-generatore. Si deve determinare la potenza che si può ottenere in tale modo.

Ipotesi 1 La quota della riserva d'acqua rimane costante. **2** L'energia meccanica dell'acqua all'uscita della turbina è trascurabile.

Analisi L'energia meccanica totale posseduta dall'acqua contenuta nella riserva è equivalente all'energia potenziale dell'acqua in corrispondenza della superficie e può essere convertita interamente in lavoro. Di conseguenza, la potenza dell'acqua è legata alla sua energia potenziale, che è gz per unità di massa e $\dot{m}gz$ per una certa portata massica \dot{m} .



$$e_{\text{mecc}} = e_p = gz = (9.81 \text{ m/s}^2)(120 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 1.177 \text{ kJ/kg}$$

Allora la potenza generata vale

$$\dot{W}_{\max} = \dot{E}_{\text{mecc}} = \dot{m}e_{\text{mecc}} = (1500 \text{ kg/s})(1.177 \text{ kJ/kg}) \left(\frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kJ/s}} \right) = \mathbf{1766 \text{ kW}}$$

e quindi la riserva può potenzialmente produrre 1766 kW.

Discussione Questo problema può essere anche risolto considerando un punto all'ingresso della turbina e utilizzando l'energia cinetica al posto dell'energia potenziale, ottenendo il medesimo risultato poiché l'energia cinetica all'ingresso della turbina è uguale all'energia potenziale in corrispondenza del pelo libero dell'acqua della riserva.

3-3 In una certa località il vento soffia stabilmente a una certa velocità. Si deve determinare l'energia meccanica per unità di massa dell'aria e la potenza che si potrebbe generare attraverso l'installazione in quel luogo di una turbina eolica.

Ipotesi Il vento soffia stabilmente con velocità costante e uniforme.

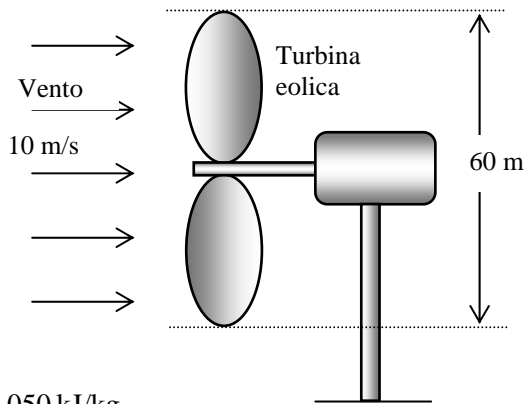
Proprietà La densità dell'aria è data e pari a $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$.

Analisi L'energia cinetica è l'unica forma di energia posseduta dal vento e può essere convertita interamente in lavoro. La potenza che si può produrre è quindi pari all'energia cinetica che è $w^2/2$ per unità di massa e $\dot{m}w^2/2$ per una certa portata massica:

$$e_{\text{mecc}} = e_c = \frac{w^2}{2} = \frac{(10 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 0.050 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \rho w A = \rho w \frac{\pi D^2}{4} = (1.25 \text{ kg/m}^3)(10 \text{ m/s}) \frac{\pi (60 \text{ m})^2}{4} = 35340 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{\max} = \dot{E}_{\text{mecc}} = \dot{m}e_{\text{mecc}} = (35340 \text{ kg/s})(0.050 \text{ kJ/kg}) = \mathbf{1770 \text{ kW}}$$



Se ne conclude che è possibile generare una potenza di 1770 kW sfruttando la turbina eolica nelle condizioni fornite nel testo.

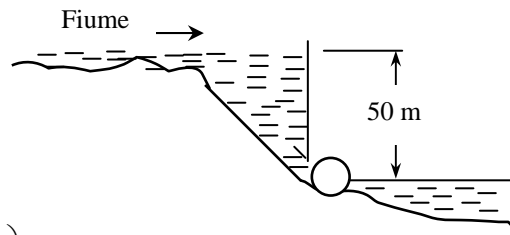
Discussione La potenza generata dalla turbina eolica è proporzionale al cubo della velocità del vento e quindi la potenza generata varierà notevolmente in funzione delle condizioni del vento.

3-4 Un fiume che scorre con una portata d'acqua costante viene preso in considerazione per la produzione di energia idroelettrica costruendo una diga per raccoglierne l'acqua. Si deve determinare la potenza che può essere generata da tale fiume una volta che si sia fissato il livello dell'acqua nella diga.

Ipotesi 1 La quota considerata è quella del pelo libero del fiume. **2** L'energia meccanica dell'acqua in corrispondenza della turbina è trascurabile.

Proprietà La densità dell'acqua è $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Analisi L'energia meccanica totale che possiede l'acqua raccolta da una diga è pari all'energia potenziale dell'acqua calcolata rispetto alla superficie libera e può essere interamente convertita in lavoro. Quindi la potenza che si può ottenere è legata all'energia potenziale dell'acqua che vale gz per unità di massa e $\dot{m}gz$ per una certa portata massica di acqua.



$$e_{\text{mecc}} = e_p = gz = (9.81 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 0.4905 \text{ kJ/kg}$$

La portata massica è

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1000 \text{ kg/m}^3)(240 \text{ m}^3/\text{s}) = 240000 \text{ kg/s}$$

e quindi la potenza generata diviene

$$\dot{W}_{\text{max}} = \dot{E}_{\text{mecc}} = \dot{m}e_{\text{mecc}} = (240000 \text{ kg/s})(0.4905 \text{ kJ/kg}) \left(\frac{1 \text{ MW}}{1000 \text{ kJ/s}} \right) = \mathbf{118 \text{ MW}}$$

In conclusione da tale fiume si possono generare 118 MW di potenza purché l'energia potenziale che possiede venga convertita completamente.

Discussione Si osservi che la potenza in uscita da una turbina reale sarà inferiore a 118 MW a causa della presenza di perdite e irreversibilità.

3-5 Una persona con una valigia entra in un ascensore e va al decimo piano. Si deve determinare la quantità di energia immagazzinata nella valigia.

Ipotesi 1 Si considerano trascurabili gli effetti delle vibrazioni dell'ascensore.

Analisi L'energia è immagazzinata nella valigia sotto forma di energia potenziale mgz e quindi

$$\Delta E_{\text{valigia}} = \Delta E_p = mg\Delta z = (30 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(35 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = \mathbf{10.3 \text{ kJ}}$$

In conclusione la valigia al decimo piano possiede 10.3 kJ di energia in più rispetto a quella che possedeva al piano terra.

Discussione Si osservi che poiché $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$, l'energia trasferita alla valigia espressa in kWh è $10.3/3600 = 0.0029 \text{ kWh}$ e quindi molto piccola.

3-6 Un'auto viene accelerata fino a 100 km/h. Si deve determinare il lavoro necessario per raggiungere tale velocità.

Analisi Il lavoro necessario per accelerare un corpo è uguale alla variazione dell'energia cinetica da esso posseduta

$$W_a = \frac{1}{2} m(w_2^2 - w_1^2) = \frac{1}{2} (800 \text{ kg}) \left(\left(\frac{100,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \right)^2 - 0 \right) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2} \right) = \mathbf{309 \text{ kJ}}$$

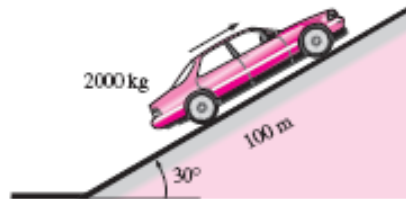
3-7 Un' automobile deve percorrere una salita in 10 s. Si deve determinare la potenza necessaria in tre differenti casi.

Ipotesi Si trascurano l'attrito, la resistenza dell'aria e l'attrito volvente.

Analisi La potenza necessaria in ciascun caso è la somma delle variazioni di energia potenziale e di energia cinetica e cioè

$$\dot{W}_{\text{totale}} = \dot{W}_c + \dot{W}_g$$

(a) $\dot{W}_c = 0$ in quanto la velocità è costante. Inoltre, la variazione di quota è $h = (100 \text{ m})(\sin 30^\circ) = 50 \text{ m}$ e quindi



$$\dot{W}_g = mg(z_2 - z_1) / \Delta t = (2000 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2} \right) / (10 \text{ s}) = 98.1 \text{ kW}$$

and $\dot{W}_{\text{totale}} = \dot{W}_c + \dot{W}_g = 0 + 98.1 = \mathbf{98.1 \text{ kW}}$

(b) La potenza necessaria per accelerare l'automobile è

$$\dot{W}_c = \frac{1}{2} m(w_2^2 - w_1^2) / \Delta t = \frac{1}{2} (2000 \text{ kg}) \left[(30 \text{ m/s})^2 - 0 \right] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2} \right) / (10 \text{ s}) = 90 \text{ kW}$$

e $\dot{W}_{\text{totale}} = \dot{W}_c + \dot{W}_g = 90 + 98.1 = \mathbf{188.1 \text{ kW}}$

(c) La potenza necessaria per decelerare l'automobile è

$$\dot{W}_c = \frac{1}{2} m(w_2^2 - w_1^2) / \Delta t = \frac{1}{2} (2000 \text{ kg}) \left[(5 \text{ m/s})^2 - (35 \text{ m/s})^2 \right] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2} \right) / (10 \text{ s}) = -120 \text{ kW}$$

e $\dot{W}_{\text{totale}} = \dot{W}_c + \dot{W}_g = -120 + 98.1 = \mathbf{-21.9 \text{ kW}}$ (potenza frenante)

3-8 Si deve determinare la variazione di energia per unità di massa di un sistema che viene accelerato.

Analisi Poiché l'unica proprietà del sistema che subisce una variazione è la velocità, cambierà solo l'energia cinetica del corpo. La variazione di energia cinetica per unità di massa vale perciò

$$\Delta e_c = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} = \frac{(30 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = \mathbf{0.45 \text{ kJ/kg}}$$

3-9 Si deve determinare la variazione di energia di un sistema che viene sollevato.

Analisi Poiché l'unica proprietà che cambia di tale sistema è la quota, varierà solo l'energia potenziale da esso posseduta. La variazione di energia potenziale per unità di massa vale perciò

$$\Delta e_p = g(z_2 - z_1) = (9.8 \text{ m/s}^2)(100 - 0) \text{ m} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = \mathbf{0.98 \text{ kJ/kg}}$$

3-10 In una stanza sono presenti una lampadina, un televisore, un frigorifero e un ferro da stiro. Si deve determinare l'aumento di energia interna della stanza quando tutti gli apparecchi sono accesi.

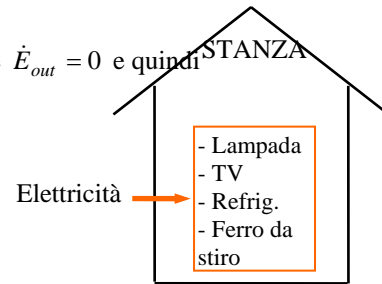
Ipotesi 1 La stanza è ben isolata e quindi la perdita di calore verso l'esterno è trascurabile. **2** Tutti gli elettrodomestici sono accesi.

Analisi Considerando la stanza il sistema da analizzare, il bilancio di energia può essere scritto come

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{entrante}} - \dot{E}_{\text{uscente}}}_{\substack{\text{Potenza netta trasmessa} \\ \text{sotto forma di calore, lavoro e massa}}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistema}}}{dt}}_{\substack{\text{Variazione dell'energia interna,} \\ \text{cinetica, potenziale ecc.}}} \quad \rightarrow \quad dE_{\text{stanza}} / dt = \dot{E}_i$$

poiché non c'è alcun flusso di energia che lascia la stanza, si può porre $\dot{E}_{out} = 0$ e quindi

$$\begin{aligned} \dot{E}_i &= \dot{E}_{\text{lampada}} + \dot{E}_{\text{TV}} + \dot{E}_{\text{refrig.}} + \dot{E}_{\text{ferro da stiro}} \\ &= 100 + 110 + 200 + 1000 \text{ W} \\ &= 1410 \text{ W} \end{aligned}$$



Sostituendo, la variazione di energia della stanza diviene

$$dE_{\text{stanza}} / dt = \dot{E}_{\text{entrante}} = \mathbf{1410 \text{ W}}$$

Discussione Si osservi che alcuni elettrodomestici come il frigorifero e il ferro da stiro non sono in funzione in modo continuativo, essendo accesi e spenti automaticamente da un termostato: la variazione di energia effettiva della stanza sarà perciò inferiore rispetto a quella calcolata.

3-11 Un ventilatore deve accelerare una portata di aria ferma fino a una certa velocità. Si deve determinare la potenza minima che deve essere erogata dal ventilatore.

Ipotesi Il ventilatore opera in condizioni stazionarie.

Proprietà La densità dell'aria è data e pari a $\rho = 1.18 \text{ kg/m}^3$.

Analisi Un ventilatore trasmette l'energia meccanica delle pale all'aria che acquisisce in tal modo energia cinetica. Considerando un generico volume di controllo, il bilancio di energia può essere espresso come

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{entrante}} - \dot{E}_{\text{uscente}}}_{\text{Potenza trasmessa sotto forma di calore, lavoro e trasporto di massa}} = \underbrace{dE_{\text{sistema}} / dt}_{\text{Variazione di energia interna, cinetica, potenziale ecc.}}^{\phi_0 \text{ (stazionario)}} = 0 \quad \rightarrow \quad \dot{E}_{\text{entrante}} = \dot{E}_{\text{uscente}}$$

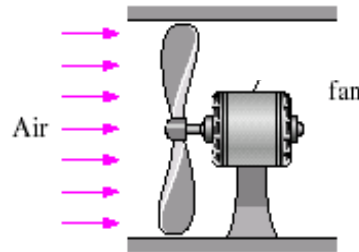
$$\dot{W}_{\text{vent, in}} = \dot{m}_{\text{aria}} e_{c, \text{uscente}} = \dot{m}_{\text{aria}} \frac{w_{\text{uscente}}^2}{2}$$

dove

$$\dot{m}_{\text{aria}} = \rho \dot{V} = (1.18 \text{ kg/m}^3)(4 \text{ m}^3/\text{s}) = 4.72 \text{ kg/s}$$

Sostituendo, la potenza minima necessaria in ingresso deve essere

$$\dot{W}_{\text{vent, in}} = \dot{m}_{\text{aria}} \frac{w_{\text{uscente}}^2}{2} = (4.72 \text{ kg/s}) \frac{(10 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ J/kg}}{1 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 236 \text{ J/s} = \mathbf{236 \text{ W}}$$



Discussione Il principio di conservazione dell'energia richiede che durante una trasformazione l'energia non si crei né si distrugga, ma si conservi, convertendosi da una forma ad un'altra. In realtà, la potenza necessaria sarà di gran lunga superiore a quella appena calcolata a causa delle perdite di energia legate alla conversione dell'energia meccanica del ventilatore in energia cinetica dell'aria.

3-12 Una centrale elettrica che brucia gas naturale produce 0.59 kg di anidride carbonica (CO₂) per kWh. Si deve determinare la quantità di CO₂ prodotta a causa dei frigoriferi presenti in una città.

Ipotesi La città utilizza energia elettrica prodotta da una centrale alimentata a gas naturale.

Proprietà Si producono 0.59 kg di CO₂ per kWh di elettricità generata.

Analisi Si osservi che nella città considerata ci sono 200000 abitazioni e, poiché ciascuna casa consuma 700 kWh di energia elettrica per la refrigerazione, l'anidride carbonica totale prodotta è

$$\begin{aligned} \text{Quantità di CO}_2 \text{ prodotta} &= (\text{Quantità di energia elettrica consumata})(\text{Quantità di CO}_2 \text{ per kWh}) \\ &= (200000 \text{ abitazioni})(700 \text{ kWh/anno abitazione})(0.59 \text{ kg/kWh}) \\ &= 8.26 \times 10^7 \text{ CO}_2 \text{ kg/anno} \\ &= \mathbf{82600 \text{ CO}_2 \text{ ton/anno}} \end{aligned}$$

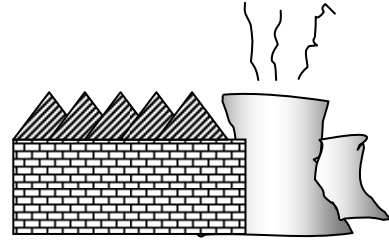
Se ne conclude che, nella città considerata, la refrigerazione è responsabile della produzione di 82600 tonnellate di CO₂.

3-13 Una centrale elettrica che brucia carbone, produce 1.1 kg di anidride carbonica (CO₂) per kWh. Si deve determinare la quantità di CO₂ prodotta a causa dei frigoriferi presenti in una città.

Ipotesi La città utilizza l'energia elettrica prodotta da una centrale a carbone.

Proprietà Per ogni kWh di energia elettrica generata si produce 1.1 kg di CO₂.

Analisi Si osservi che nella città ci sono 200 000 abitazioni e poiché ciascuna di esse consuma 700 kWh di energia elettrica per la refrigerazione domestica, l'anidride carbonica complessivamente prodotta è



$$\begin{aligned}\text{Quantità di CO}_2 \text{ prodotta} &= (\text{Quantità di energia elettrica consumata})(\text{Quantità di CO}_2 \text{ per kWh}) \\ &= (200000 \text{ abitazioni})(700 \text{ kWh/abitazione})(1.1 \text{ kg/kWh}) \\ &= 15.4 \times 10^7 \text{ CO}_2 \text{ kg/anno} \\ &= \mathbf{154000 \text{ CO}_2 \text{ ton/anno}}\end{aligned}$$

Se ne conclude che, nella città considerata, la refrigerazione domestica è responsabile della produzione di 154000 tonnellate di CO₂.

3-14 Una famiglia possiede 2 automobili, una caldaia per il riscaldamento alimentata a gas naturale e utilizza energia elettrica per altri scopi. Si deve determinare la quantità di emissioni NO_x in atmosfera causate dalla famiglia considerata.

Proprietà La quantità di NO_x prodotta è di 7.1 g per kWh, 4.3 g per ogni therm di gas naturale e 11 kg per automobile (dati).

Analisi Si osservi che la famiglia possiede 2 automobili, consuma 1200 therm di gas naturale e 9000 kWh di energia elettrica all'anno, quindi la quantità di NO_x prodotta da tale famiglia è



$$\begin{aligned}\text{Quantità di NO}_x \text{ prodotta} &= (\text{N. di automobili})(\text{Quantità di NO}_x \text{ prodotta per automobile}) \\ &\quad + (\text{Quantità di energia elettrica consumata})(\text{Quantità di NO}_x \text{ per kWh}) \\ &\quad + (\text{Quantità di gas consumata})(\text{Quantità NO}_x \text{ per gallone}) \\ &= (2 \text{ automobili})(11 \text{ kg/automobile}) + (9000 \text{ kWh/anno})(0.0071 \text{ kg/kWh}) \\ &\quad + (1200 \text{ therm/anno})(0.0043 \text{ kg/therm}) \\ &= \mathbf{91.06 \text{ NO}_x \text{ kg/anno}}\end{aligned}$$

Discussione Qualsiasi intervento che riduca il consumo di energia riduce anche la quantità di inquinamento emessa in atmosfera.