

## I tre record di Felix Baumgartner

Il 14 ottobre 2012, Felix Baumgartner ha realizzato un lancio storico ottenendo tre record mondiali, quello della maggiore altezza raggiunta da un uomo in una ascesa con un pallone, 39045 m, il record del lancio più alto in caduta libera, e il record di velocità in caduta libera 1341.9 km/h. Dopo una ascesa in un pallone gonfiato a elio, si è lanciato verso la Terra, protetto da una tuta speciale e aprendo il suo paracadute dopo 4 min 20 s di caduta libera. Il lancio è durato in totale 9 min 3 s.

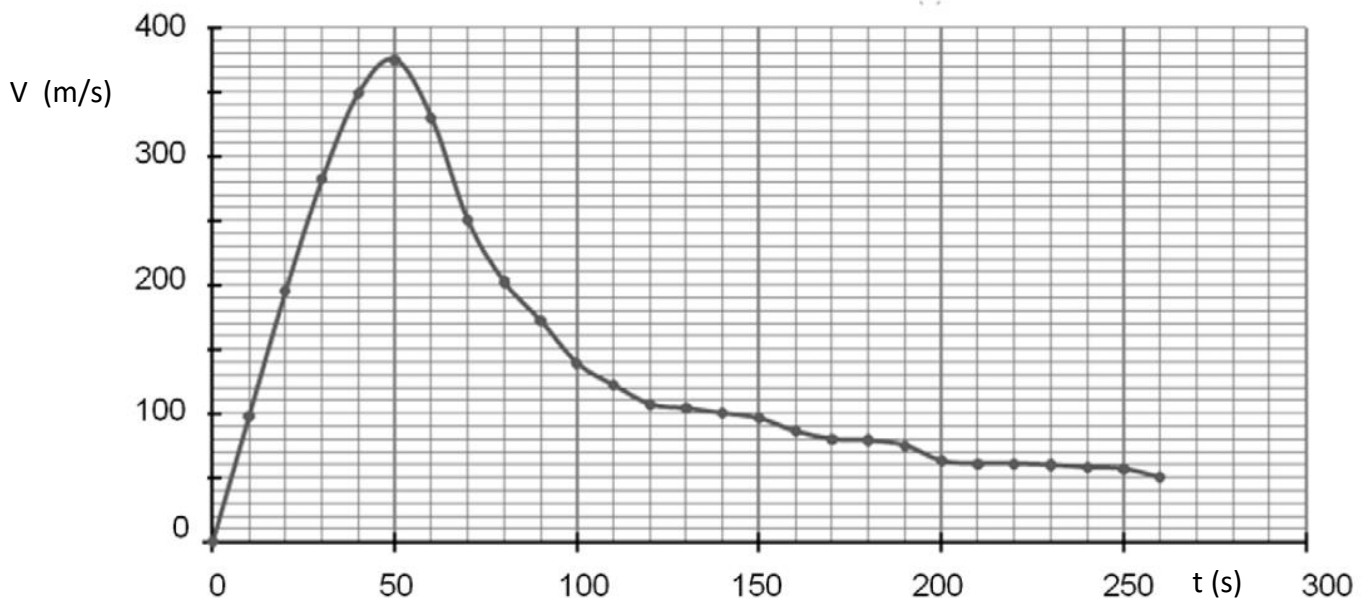


Figura 1 Andamento della velocità di Baumgartner durante il lancio. L'istante  $t=0$  corrisponde all'istante del lancio.

Per realizzare l'impresa è stato necessario utilizzare un pallone deformabile gigantesco, alto circa 100m e di 130m di diametro. A causa della diminuzione di densità dell'aria con la quota il volume del pallone durante l'ascesa aumenta, in modo da mantenere costante la spinta verso l'alto (spinta di Archimede). Su un giornale veniva riportato "Per assicurare una velocità d'ascesa sufficiente la spinta verso l'alto era circa doppia di quella necessaria per tenere in equilibrio il sistema. In pratica, aggiungendo alla massa di Baumgartner quella del pallone riempito ad elio, era necessario sollevare una massa di circa 3 tonn. "

La massa di Baumgartner e della sua tuta è di 120kg.

La velocità del suono in aria è data nella seguente tabella. Si dice che un corpo si muove con velocità supersonica se la sua velocità è maggiore di quella del suono nel fluido in cui si muove.

Altezza (km)	10	20	30	40
Velocità del suono (m/s)	305	297	301	318

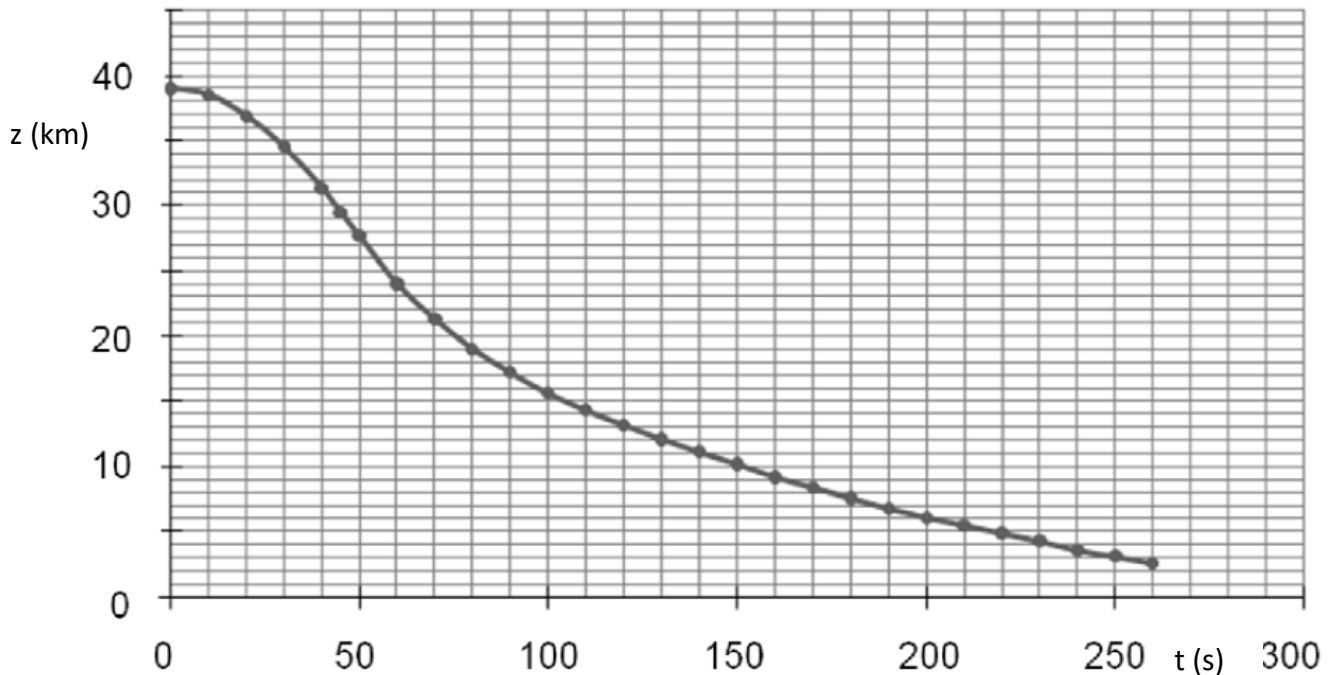


Figura 2 Andamento della quota  $z$  di Baumgartner durante il lancio. L'istante  $t=0$  corrisponde all'istante del lancio

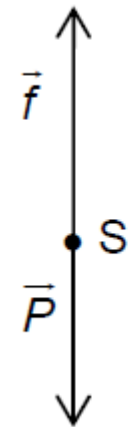
### Fase di ascesa.

- Q1. Disegna il diagramma delle forze subito dopo il decollo, trascurando la forza d'attrito. Il grafico non deve essere in scala, ma deve essere coerente con la situazione fisica.
- Q2. Dopo qualche minuto di ascensione il moto può essere considerato rettilineo uniforme. In questa situazione calcolare approssimativamente il valore della forza di attrito con l'aria.

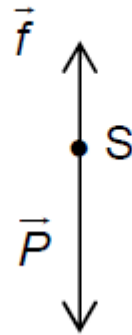
### Lancio.

Studieremo il sistema ( Felix Baumgartner e la sua tuta) in caduta verticale nel sistema di riferimento terrestre. Scegliamo l'asse  $z$  verticale orientato verso l'alto con l'origine  $O$  fissata a livello del suolo. Il sistema, indicato nel seguito con  $S$  ha una velocità iniziale nulla. Si trascurerà la spinta di Archimede.

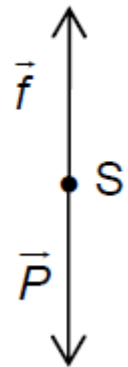
- Q3. Utilizzando il grafico in figura 1 determinare il valore della sua accelerazione per  $t < 20s$  e commentare il risultato ottenuto.
- Q4. Durante il suo lancio Felix Baumgartner ha raggiunta la velocità supersonica? Giustificare la risposta.
- Q5. Calcolare la variazione di energia meccanica  $\Delta E_m$  tra il momento in cui Felix Baumgartner salta ed il momento in cui raggiunge la massima velocità. Interpretare il risultato.
- Q6. Gli schemi riportati sotto rappresentano in tre istanti le forze applicate al sistema  $S$  durante il salto:  $\vec{P}$  rappresenta la forza peso ed  $\vec{f}$  la forza d'attrito con l'aria. Assegnare uno schema a ciascuno dei tre istanti  $t_1 = 40s$ ,  $t_2 = 50s$ ,  $t_3 = 60s$ .



Schema A



Schema B



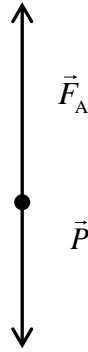
Schema C

- Q7. Determinare a che altitudine Felix Baumgartner ha aperto il suo paracadute. Supponendo che il sistema si muova di moto rettilineo uniforme dopo l'apertura del paracadute fino all'arrivo al suolo, si determini il valore della velocità del sistema durante questa fase. Si ricordi che il lancio dura 9 minuti e 3 secondi.
- Q8. Per raggiungere la stessa velocità al suolo (in assenza di attrito) a quale piano di un edificio Felix Baumgartner sarebbe dovuto saltare?

## Soluzione

Q1. Subito dopo il decollo, trascurando l'attrito, le forze che sono esercitate sul sistema sono la forza peso  $P \approx 3.0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ N/kg} = 2.94 \times 10^4 \text{ N}$  e la spinta di Archimede

$F_A \approx 2P = 5.88 \times 10^4 \text{ N}$ . Il diagramma delle forze è quindi il seguente



Q2. Se dopo qualche minuto il moto è rettilineo uniforme la somma delle forze deve essere nulla. Non può quindi essere trascurata la forza d'attrito con l'aria che deve essere

$F_{\text{attr}} = P - F_A = -P = 2.94 \times 10^4 \text{ N}$  diretta verso l'alto.

Q3. Fino a  $t = 50 \text{ s}$  il grafico  $v-t$  è rettilineo. Si tratta di un moto rettilineo uniformemente accelerato con velocità iniziale nulla. Dalla pendenza della retta, osservando che a  $t = 20 \text{ s}$  è circa  $v = 200 \text{ m/s}$  otteniamo  $a \approx 10 \text{ m/s}^2$  pari alla accelerazione di gravità. Il moto è quindi quello di caduta libera ed evidentemente a questa quota le forze di attrito con l'aria, a causa della rarefazione di questa, sono trascurabili.

Q4. Nel testo si dice che Baumgartner raggiunse la velocità di  $1349.1 \text{ km/h} = 375 \text{ m/s}$  maggiore di tutti i dati riportati in tabella. La risposta è quindi affermativa.

Q5. La massima quota viene raggiunta a  $t = 50 \text{ s}$ . Dal grafico 2 e 1 osserviamo che la quota raggiunta è pari a circa  $h_{\text{max}} = 28 \text{ km}$  e a velocità . Equivalentemente dalle leggi del moto

rettilineo uniformemente accelerato otteniamo  $h = h_0 - \frac{1}{2}gt^2$  otteniamo

$h_{\text{max}} = 27100 \text{ m}$  mentre la velocità massima è data nel testo  $v_{\text{max}} = 375 \text{ m/s}$  e la variazione di energia meccanica è quindi data da

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 + mgh_{\text{max}} - mgh_0 =$$

$$120 \text{ kg} \left[ \frac{1}{2}(375 \text{ m/s})^2 + 9.8 \text{ N/kg} \cdot 27 \times 10^4 \text{ m} - 9.8 \text{ N/kg} \cdot 39 \times 10^4 \text{ m} \right] = -5.67 \times 10^6 \text{ J}$$

negativa poiché rappresenta il lavoro compiuto dalla forza di attrito.

Q6. A  $t_1 = 20 \text{ s}$  l'accelerazione (coefficiente angolare della tangente al diagramma  $v-t$ ) è verso il basso e quindi lo schema corretto è il B. A  $t_2 = 50 \text{ s}$  è nulla e quindi lo schema corretto è lo schema C. A  $t_3 = 60 \text{ s}$  è verso l'alto e lo schema corretto è lo schema A.

Q7. A  $t = 260\text{ s}$  dal grafico 2 vediamo che la quota di apertura del paracadute è  $h_{\text{par}} \approx 2.5\text{ km}$  da coprire in un tempo  $t = 543\text{ s} - 260\text{ s} = 283\text{ s}$ . Ipotizzando un moto rettilineo uniforme raggiunge il suolo con una velocità  $v_{\text{suolo}} = \frac{2500\text{ m}}{283\text{ s}} = 8.83\text{ m/s}$ .

Q8. Dalle leggi di caduta dei gravi

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad v = gt \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = 3.98\text{ m}$$

quindi Baumgartner sarebbe dovuto saltare dal primo piano.