Giovanni Pezzi
Gruppo Fisica e Spazio AIF; Palestra della Scienza, Faenza
giannipezzi@gmail.com

Esperimenti sulla caduta libera e l'assenza di peso, ieri e oggi

ABSTRACT
The article presents a review of educational tools available on the Web about the topic of weightlessness.

Introduzione

Uno dei principali argomenti affrontati nell'insegnamento della fisica è la caduta dei corpi, attorno al quale ruotano concetti come accelerazione e forza di gravità, massa e peso, resistenza dell'aria, sistemi di riferimento, relatività, solo per citarne alcuni.

Alcuni di questi temi hanno trovato maggiore diffusione anche in seguito all'esplorazione spaziale. Filmati, servizi, collegamenti con gli astronauti nella stazione spaziale sono diventati piuttosto comuni, anche per la presenza frequente di astronauti italiani a bordo. E sempre più spesso è capitato di ascoltare frasi come "gli astronauti vivono in assenza di gravità"!

Parole e frasi come "assenza di gravità", "assenza di peso", "microgravità", possono essere fonte di confusione ed errore. Questo articolo non intende affrontare i vari nodi didattici e concettuali collegati a questi temi, ma semplicemente presentare una rassegna di materiale multimediale e di esperimenti possibili al riguardo, utili agli insegnanti nella programmazione delle attività su questi argomenti.

Dall'ascensore di Einstein alle *Drop Towers*

Einstein, nel suo "L'evoluzione della fisica", dedica molte pagine all'esperimento ideale dell'ascensore in caduta libera e ai ragionamenti degli osservatori esterno e interno: "Uno degli osservatori lascia cadere un fazzoletto ed un orologio. Che cosa accadrà a questi due corpi?"[1]

In molti libri di testo questo esperimento mentale viene presentato e discusso a proposito della caduta libera, dei sistemi di riferimento, del principio di equivalenza, della assenza apparente di peso. Ma perché solo immaginare e non invece vedere realmente che cosa può accadere in un esperimento come quello descritto da Einstein?

Le ultime decadi del secolo scorso, gli anni degli *SkyLab*, degli *Space Shuttle*, e poi della ISS (Stazione Spaziale Internazionale), hanno visto crescere le esigenze legate all'esplorazione spaziale con equipaggi umani e allo studio delle condizioni di assenza di peso. È in quegli anni che avviene la costruzione delle *Drop Tower*, per permettere ricerche in microgravità da terra. Sono torri alte anche più di un centinaio di metri, all'interno delle quali, in condizioni di vuoto d'aria, si possono effettuare esperimenti in caduta libera anche per la durata di alcuni secondi. Una telecamera, solidale con la piattaforma di carico, permette di riprendere i fenomeni che avvengono durante la caduta.

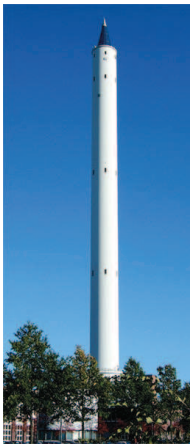


Figura 1. ZARM *drop tower* a Brema, Germania.

Una di queste, in Europa, a Brema, costruita tra il 1988 e il 1990, è alta 146 m [Fig. 1] e utilizzata dall'ESA anche in ambito *education* (*Drop your thesis!*)[2].

In America, al NASA *Glenn Research Center* in Ohio, allo *Zero Gravity Research Facility* ci sono due *Drop Tower*: la prima, entrata in funzione nel 1966, parzialmente sotterranea, permette esperimenti in caduta libera per una distanza di 132 m; una seconda torre, più recente, ha un percorso di caduta utile di 24 m[3].

La Cometa del Vomito

Un'altra possibilità per esperimenti in microgravità è fornita dai voli parabolici, che consentono all'equipaggio di avere periodi ripetuti di assenza di peso, della durata di alcuni secondi ciascuno [Fig. 2].[4] Non a caso gli aerei, chiamati "Zero-G", sono anche denominati "Cometa del vomito" [Fig. 3].

Questi voli sono effettuati anche in Europa, per conto della Agenzia spaziale europea[5] [Fig. 4]. Oltre a ricercatori e scienziati, ai voli possono accedere anche semplici "turisti"[6] e, volendo, in assenza di peso ci si può anche sposare[7] [Fig. 5].

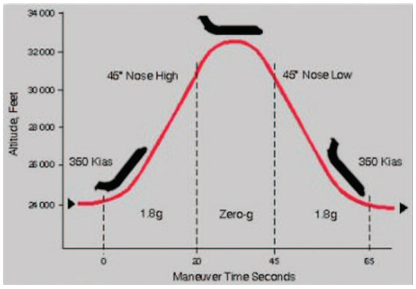


Figura 2. Schema di un volo parabolico.

Figura 3. Aerei per voli parabolici.

Figura 4. Astronauti in assenza di peso durante un volo parabolico.

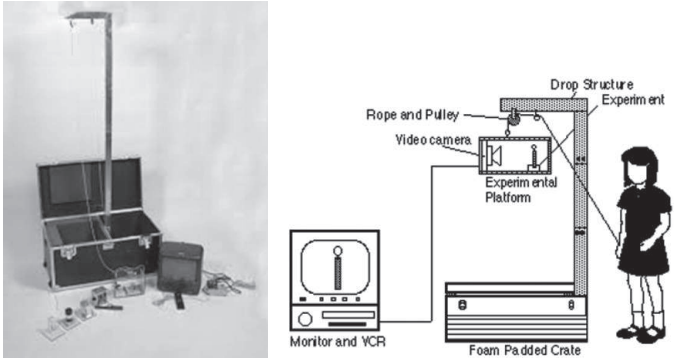
Figura 5. Un matrimonio... molto leggero.

Dalle grandi *Drop Tower* alle mini *Drop Tower*

In quegli stessi anni il settore *education* della NASA mise a disposizione delle scuole il *Microgravity demonstrator*, un kit per realizzare semplici esperimenti in condizioni di microgravità [Fig. 6].

Il kit comprende una piattaforma per esperimenti, una struttura per sollevare e lasciare cadere la piattaforma, un'attrezzatura di video ripresa. Un sistema di assorbimento permette di non danneggiare il carico al termine della caduta.

Figura 6. *Microgravity demonstrator*.



Una videocamera, solidale con la piattaforma, è in azione durante la caduta, permettendo la successiva analisi del filmato. La caduta libera è di circa due metri.[8] Sono stati pubblicati vari articoli che descrivono l'esperimento e i risultati ottenuti col kit.[9]

Nel 1997, quando ancora non era iniziata la costruzione della ISS (Stazione spaziale internazionale), la NASA pubblicò *Microgravity*, una guida per gli insegnanti con attività in scienze, matematica e tecnologia relative all'assenza di peso[10]. Il libro, molto ampio e completo, affronta gli aspetti teorici e descrive l'evoluzione di fenomeni in ambienti di microgravità, come la crescita dei cristalli, la combustione, il comportamento dei fluidi, di vari materiali, ecc. [Fig. 7]. Vengono descritti gli esperimenti realizzati nel corso delle varie missioni a bordo degli Shuttle. La seconda parte della guida contiene schede di lavoro per gli studenti, con attività da realizzare in classe, riguardanti l'uso di accelerometri, la bilancia inerziale, la tensione superficiale, la fiamma di una candela, la crescita di cristalli e così via.

Giocare nello spazio

Tra il materiale multimediale disponibile nel Web, è molto interessante e anche divertente *International Toys in Space*[11]: comprende 17 filmati che mostrano vari giocattoli utilizzati a terra e nella ISS [Fig. 8].

Si trovano in Internet molti altri filmati, che mostrano ad esempio la fiamma di una candela in condizioni di microgravità o fenomeni giroscopici.[12]

Mini *Drop Tower* a Faenza

Sull'esempio del *Microgravity demonstrator*, alla Palestra della Scienza di Faenza si decise di realizzare un sistema per esperimenti in caduta libera. Si tratta di un modulo per lanci, costituito da una scatola semitrasparen-

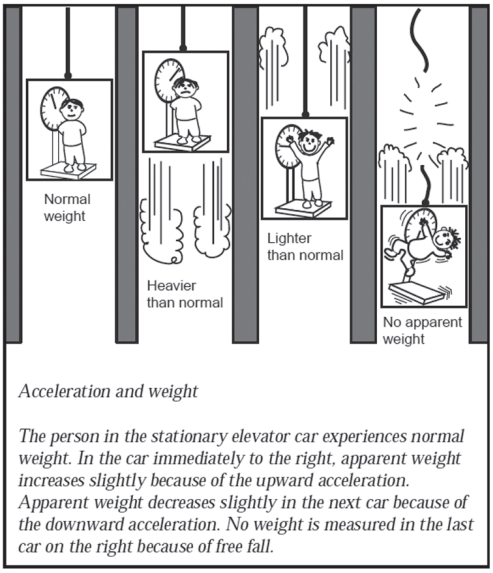


Figura 7. Accelerazione e peso in ascensore.

Figura 8. Giocattoli a bordo della ISS (trottola, orsetto rotante, pallone, yo-yo.

te [Fig. 9] dove collocare gli esperimenti da filmare; all'interno della scatola è fissata una videocamera che trasmette le riprese, in modalità wireless, a un *PC* [Fig. 10]. I lanci possono essere realizzati con una struttura apposita [Fig. 11] o direttamente da un pianerottolo sul fondo della scala [Fig. 12], dove un sacco assorbente frena senza danni la caduta. I tempi di volo sono molto brevi, ma sufficienti per una prima osservazione e analisi dei fenomeni.

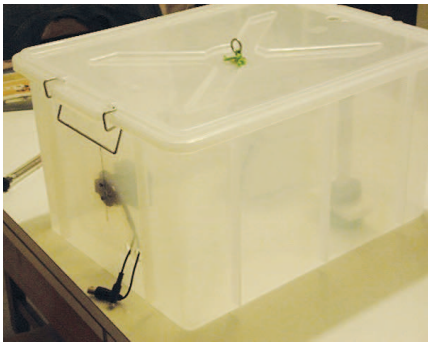


Figura 9. Il contenitore per i lanci.

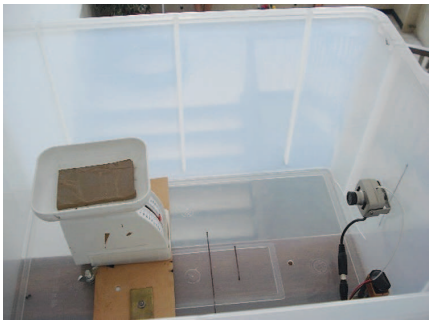


Figura 10. Interno del contenitore, con la telecamera sul lato.

Figura 11. Struttura per i lanci.

Figura 12. Lancio del modulo da un pianerottolo.

In alcuni dei lanci effettuati il carico era [Fig. 13]:

- una bilancia da cucina;
- due magneti ad anello affacciati con polarità opposte;
- un sistema verticale molla-massa;
- un'asta in rotazione attorno a un asse;
- una clessidra a sabbia;
- una candela accesa;
- un contenitore con un liquido e una bolla d'aria;
- un contenitore con un liquido e una pastiglia di *Alka Seltzer*.

Figura 13. Vari esperimenti nella scatola di lancio.

Un video, con questi ed altri esperimenti effettuati, è disponibile su *You Tube* (con titoli in spagnolo): *Experimentos sin peso*[13].

Nel sito della Palestra della Scienza di Faenza, sul tema dell'assenza di peso è disponibile l'ipertesto *SPACE ...EFFECTS, WEIGHTLESSNESS EXPERIMENTS*[14].

Sia nel video che nell'ipertesto sono mostrate anche semplici dimostrazioni che si possono effettuare senza particolari attrezzature: la caduta di una bottiglia d'acqua con due fori contrapposti [Fig. 14], l'esplosione di un palloncino d'aria, al di sotto del quale c'è uno spillo tenuto in tensione da elastici, quando il telaio che lo sorregge viene lasciato cadere [Fig. 15].

Figura 14. Caduta di una bottiglia d'acqua con due fori contrapposti.

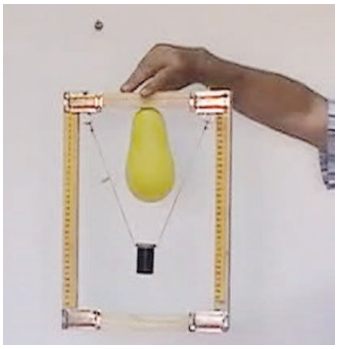


Figura 15. Palloncino d'aria in un telaio con spillo.

E poi arrivarono gli *smartphone*

La diffusione degli *smartphone* ha permesso di realizzare su questi temi esperimenti molto semplici. L'oggetto in caduta libera è lo stesso *smartphone*, che viene lasciato cadere ovviamente usando qualche precauzione per evitare danni al termine [Fig. 16]. L'osservatore, cioè lo *smartphone* stesso, è in moto accelerato rispetto a un osservatore a terra e la misura viene fatta direttamente *on board*. Con varie app disponibili[15] si misurano le accelerazioni utilizzando i sensori interni degli *smartphone*. Gli esperimenti si possono fare da piccole altezze, anche di un solo metro, perché i dati raccolti sono sufficienti per analizzare l'andamento del moto.

Figura 16. Montaggio sperimentale per la caduta libera di uno *smartphone*; la scatola contiene patatine di polistirolo.

I valori delle accelerazioni vengono registrati lungo i tre assi di riferimento degli *smartphone* [Fig. 17]. Il grafico di Fig. 18 mostra i risultati di una misura; le linee con i colori verde e blu si riferiscono agli assi x e z, quella di colore rosso all'asse y, verticale. Nella zona indicata con A, con lo *smartphone* tenuto fermo verticalmente prima della caduta, l'accelerazione lungo l'asse y è circa -10 m/s^2, mentre lungo gli altri assi i valori sono pressoché nulli. La zona B è quella della caduta libera, durante la quale tutte le accelerazioni risultano vicine a zero.

Una domanda sorge spontanea: come mai l'accelerazione, variazione di velocità nel tempo, è nulla quando lo *smartphone* è fermo e vale zero durante la caduta? In realtà il sensore di accelerazione è, più propriamente, un dina-

Figura 17. Orientamento degli assi di riferimento in uno *smartphone*.

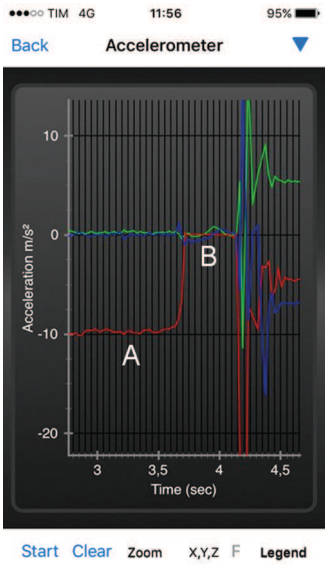


Figura 18. Grafico delle accelerazioni *ax*, *ay*, *az* durante una caduta verticale.

mometro e si ricava l'accelerazione come rapporto tra una forza e una massa tarata. Per il funzionamento dei sensori di accelerazione negli *smartphone* si rimanda ad articoli e filmati.[16]

Sono stati pubblicati vari articoli con la descrizione di questi esperimenti e l'analisi dei dati. Anche varie pubblicazioni e libri di testo riportano schede di esperimenti con gli *smartphone* sulla caduta libera o la misura dell'accelerazione di gravità.[17]

Note

1 Einstein, A., Infeld L., *L'evoluzione della fisica*, Boringhieri, 1965, pag. 224.

2 www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/Drop_towers

3 www1.grc.nasa.gov/facilities/zero-g/
www1.grc.nasa.gov/facilities/drop/

4 Una animazione di un volo parabolico: www.novespace.fr/en,popup,parabole.html Un filmato di un volo parabolico: www.youtube.com/watch?v=v1VrkWb0l2M

5 www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/Parabolic_flights
www.novespace.fr/en,vol.html

6 www.gozerog.com/

7 www.gozerog.com/index.cfm?fuseaction=Photos_and_Videos.welcome&albumid=084632A3-1D09-2FD4-736D6AFB786CDD2D&typeid=D717C203-1372-5743-E98841098DE889C9&media=3&page=1#items

8 Il manuale del kit, con la descrizione degli esperimenti realizzabili, può essere scaricato a questo indirizzo:
www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiS7PeMlNrfAhVO0RoKHWuODEcQFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fer.jsc.nasa.gov%2Fseh%2FMicrogravity_Demonstrator.pdf&usg=AOvVaw3uRoiVhcBiCBHXN44r4UkN

9 Pearlman, H., et Al., "Demonstrating reduced gravity", *The Physics Teacher,* 34, 172 (1996). LaCombe, J. C., and Koss, M.B., "The make-it-yourself drop-tower microgravity demonstrator", *The Physics Teacher* 38, 143 (2000).

10 Il libretto si può scaricare in formato PDF al seguente indirizzo:
www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/Microgravity_Teachers_Guide.html

11 www.youtube.com/watch?v=khLdL3X5acY&feature=share&list=PLiuUQ9asub3Ru-9GIOTbZFRa4f2R_kM0tx

12 www.youtube.com/watch?v=4eSouGwGgMg
www.youtube.com/watch?v=gdAmEEAiJWo

13 www.youtube.com/watch?v=woLP9bVKflI&t=143s

14 www.palestradellascienza.it/images/Sito/Materiale/Esperimenti/Esperimenti-caduta-libera/cover.html

15 Le seguenti app sono compatibili sia con *smartphone Android* che *IoS*: il *link* è relativo a Google Play.
Physics Toolbox Sensor Suite: play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite
Sensor kinetics: play.google.com/store/apps/details?id=com.innoventions.sensorkinetics&hl=it
Phyphox: play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=it
SparkVue: play.google.com/store/apps/details?id=com.isbx.pasco.Spark&hl=it
Graphical Analysis: play.google.com/store/apps/details?id=com.vernier.graphicalanalysis

16 www.vieyrasoftware.net/sensors-sensor-modes

17 P. Vogt, J. Kuhn, "Analizzare i fenomeni di caduta libera con il sensore di accelerazione dello *smartphone*", *LFNS*, XLVI, 2, (2013).
Seganti, A. ,"Misurazione del tempo di caduta libera con l'uso di *smartphone*", ls-osa.uniroma3.it/experiences/377
Macchia, S., D'Ambrosio, A., *Scienze con gli EAS, con 33 esperimenti usando smartphone e tablet*, Scholé, 2018, pag. 78.
D'Ambrosio, A. et Al., *Da Galileo ad Einstein, la gravità per tutti. Esperimenti con lo smartphone*, Logus mondi interattivi, 2017, pag. 23.
Amaldi, U., *L'Amaldi per i licei scientifici.blu,* vol. 1, Zanichelli, 2015, pag. 65.
U. Amaldi, "*Dalla Mela di Newton al bosone di Higgs*", vol. 1+2, Zanichelli, 2016, pag. 392.

IDL 2018. Promuovendo la luce nella *hall* dell'UNESCO.