

SMARTPHONE E TABLET

PER L'INSEGNAMENTO DELLE SCIENZE

11-12 Settembre 2015

Città della Scienza

*Studio del moto del pendolo semplice con
l'accelerometro dello smartphone*

Vincenzo Cioci, Sezione AIF Napoli 2

Peppino Sapia, Dip. di Fisica, Università della Calabria

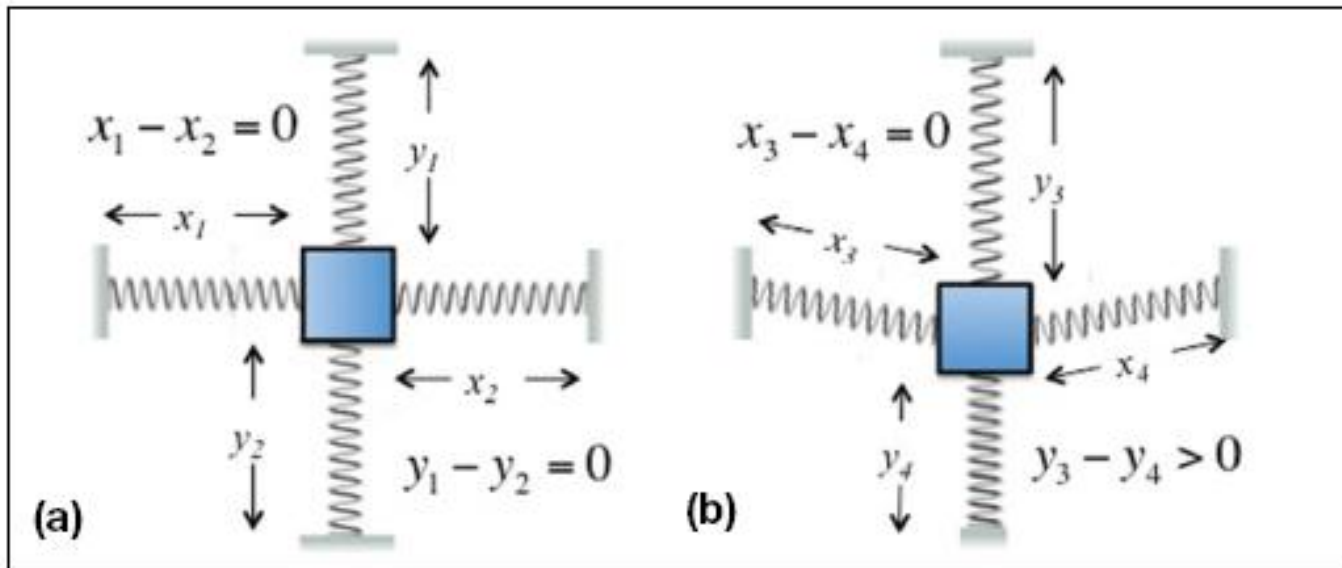
- Vengono presentate alcune attività sperimentate in classe presso il Liceo Scientifico “F. Sbordone” di Napoli e presentate durante il corso di formazione per docenti di materie scientifiche organizzato da questo Liceo e dalla sezione A.I.F. Napoli 2 nell’a.s. 2014/15 connesso con il Master “Professione Formatore in Didattica delle Scienze” dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata.
- Ci si soffermerà in particolare sull’utilità di utilizzare lo smartphone come sistema di riferimento non inerziale.
- Utilizzando l’accelerometro dello smartphone approfondiremo lo studio del moto di caduta libera, del moto di caduta lungo un piano inclinato e del moto del pendolo semplice.

Bibliografia

- J. Briggles *Analysis of pendulum period with an iPod touch/iPhone* Physics Education 48 (3), pp. 285-288.
- C. Lanz Countryman (2014) *Familiarizing Students with the Basics of a Smartphone's Internal Sensors* The Physics Teacher vol. 52, pp. 557-559
- T. Tabarelli de Fatis (2013) *Be smart: basic experiments with smartphones*, Dipartimento di Fisica - Milano Bicocca, <http://virgilio.mib.infn.it/~ttf/BeSmart>
- P. Vogt, J. Kuhn (2012) *Analyzing simple pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor* The Physics Teacher vol. 50, pp. 439-440.
- P. Vogt, J. Kuhn (2013) *Analizzare i fenomeni di caduta libera con il sensore di accelerazione dello smartphone* La fisica nella scuola, n. 2 pp. 64-66. Traduzione di S. Pugliese Jona

Gli accelerometri

- Un accelerometro è uno strumento in grado di misurare un'accelerazione.
- Si basa sulla rilevazione delle forze d'inerzia cui è soggetta una massa (in un riferimento non inerziale) quando il sistema in cui si trova viene sottoposto ad un'accelerazione
- Il suo meccanismo di funzionamento è molto simile a quello di un dinamometro: una massa viene sospesa ad un elemento elastico, mentre un qualche tipo di sensore ne rileva lo spostamento rispetto alla struttura fissa del dispositivo.
- In presenza di un'accelerazione, la massa si sposta dalla propria posizione di riposo in modo proporzionale all'accelerazione rilevata ma in verso opposto.



Gli smartphone devono contenere tre sensori ortogonali tra loro, ognuno dei quali misura una delle componenti a_x, a_y, a_z dell'accelerazione

$$m a_y = k y$$



$$a_y = ky/m$$

Smartphone utilizzato

Samsung Galaxy Advance GT-I9070

Dotato di accelerometro a 3 assi

Bosch modello BMA222

Software utilizzato

Sensor Kinetics Pro

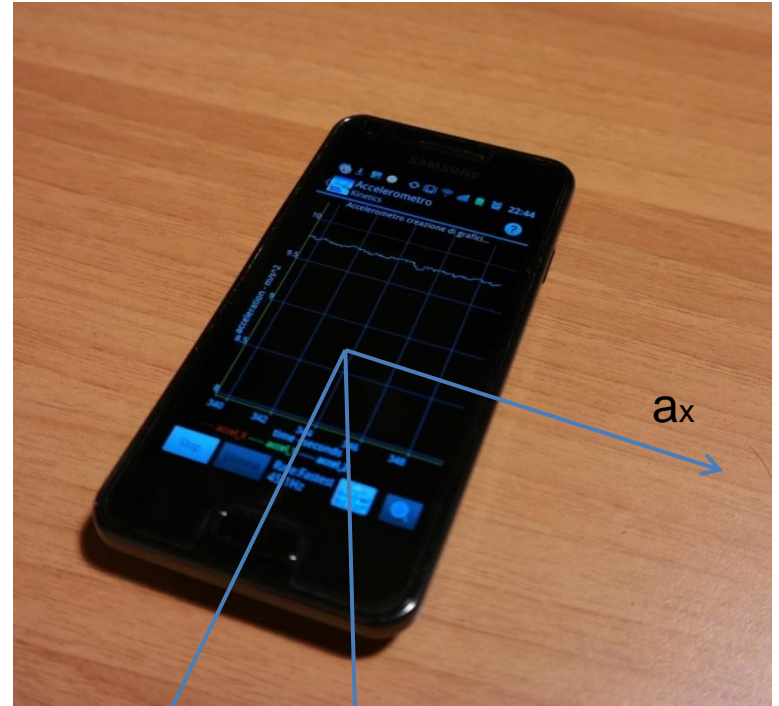
L'accelerometro misura l'accelerazione del suo elemento mobile rispetto allo smartphone.

Infatti, poggiato lo smartphone su un piano orizzontale, risulta:

$$a_x = 0 \quad a_y = 0 \quad a_z = g$$

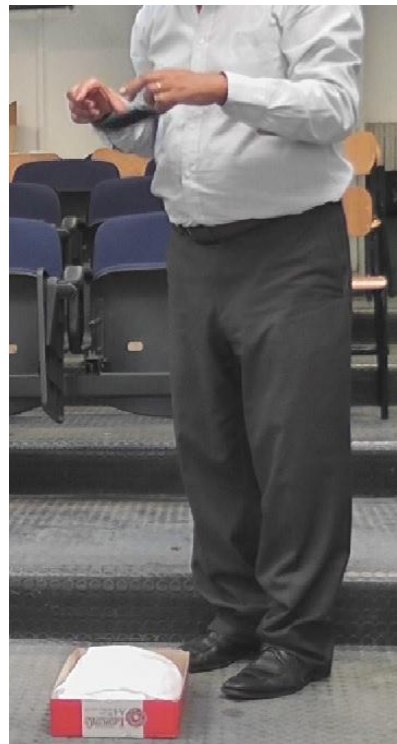
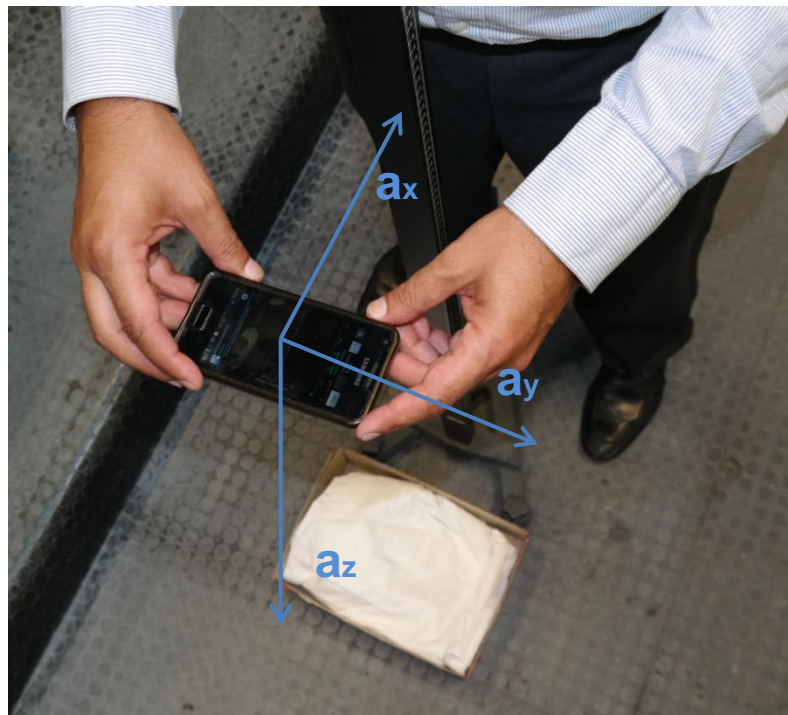
In generale, considerando le leggi di composizione (non relativistiche) degli spostamenti, delle velocità e delle accelerazioni, si può scrivere:

$$\mathbf{a}_{\text{misurata dallo smartphone}} = \mathbf{a}_{\text{del corpo mobile rispetto ad un osservatore fisso}} - \mathbf{a}_{\text{trascinamento dello smartphone}}$$



Caduta libera dello smartphone

Lo smartphone è disposto orizzontalmente ed è lasciato cadere da una certa altezza su un cuscino posto in uno scatolo



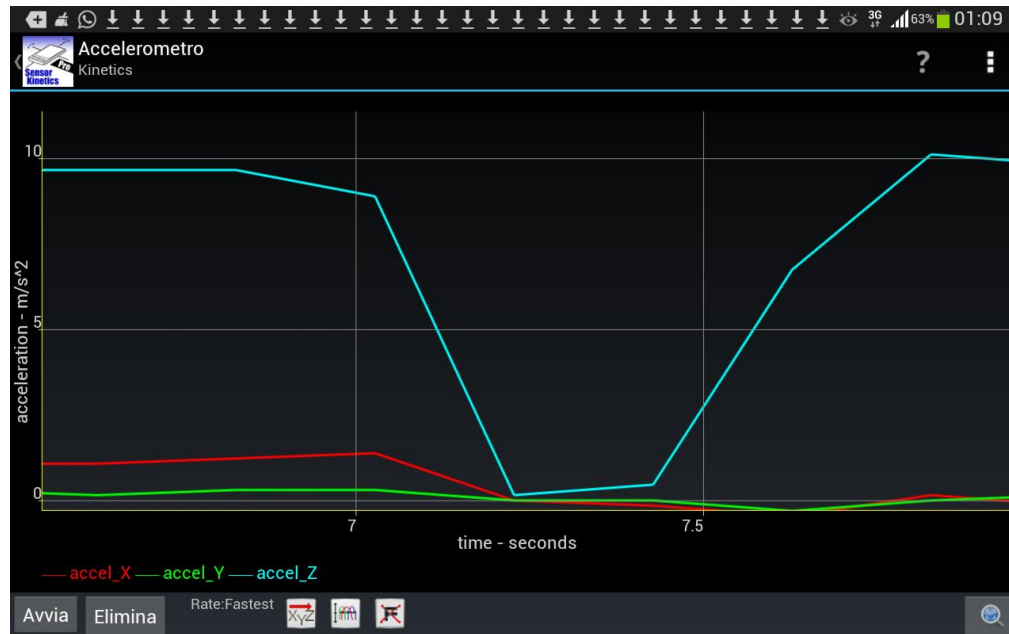
Poiché l'accelerazione di trascinamento dello smartphone è pari a g , l'accelerazione misurata dallo smartphone durante la caduta è $a_z = g - g = 0$

- a misurata dallo smartphone = a del corpo mobile rispetto ad un osservatore fisso - a trascinamento dello smartphone

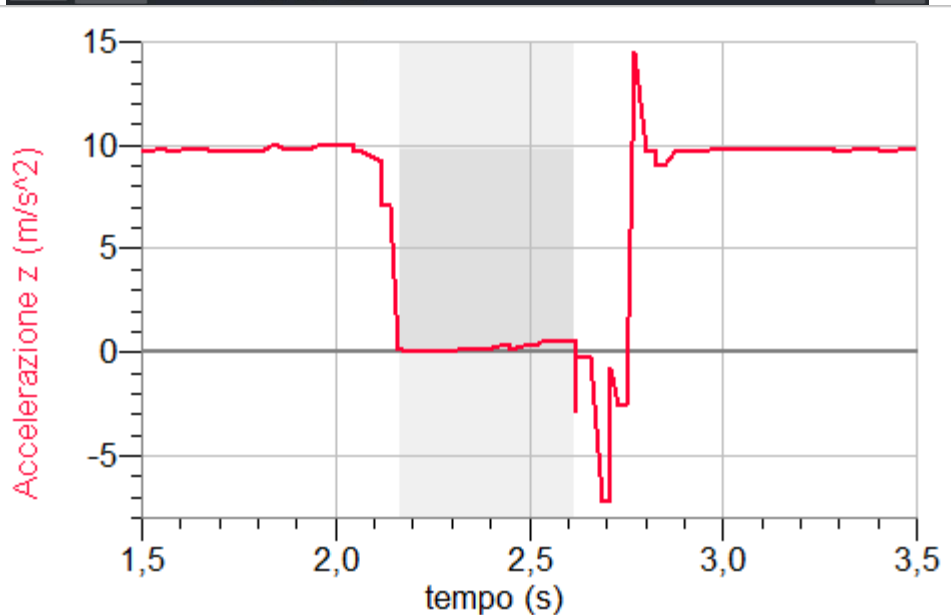
Lo smartphone e la caduta libera

Calcolo del tempo di caduta da un'altezza $h=1,00$ m

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2*1,00}{9,81}} s = 0,45s$$



Valore sperimentale



(3,149, -6,94) dx: 0,453 dy: 9,80

t (s)	ax (m/s ²)	ay (m/s ²)	az (m/s ²)
2,009	0,61313	0,45984	9,96328
2,046	0,61372	0,45924	9,96388
2,073	0,61313	0,30656	9,65672
2,116	0,46044	0,30596	9,19747
2,141	-0,61313	1,07297	7,05094
2,161	-0,30596	-0,0006	0,15388
2,194	0,0006	-0,0006	0,0006
2,212	-0,15268	-0,0006	0,0006
2,269	-0,15268	-0,0006	0,15388
2,293	-0,15268	-0,0006	0,0006
2,308	-0,15268	-0,15388	0,15388
2,332	-0,15328	-0,15328	0,15328
2,364	-0,15268	-0,0006	0,15388
2,388	-0,15328	0	0,15328
2,423	-0,15268	-0,0006	0,30716
2,446	-0,15328	0	0,30656
2,475	0,0006	-0,0006	0,30716
2,489	0	0	0,30656
2,515	-0,15268	-0,0006	0,30716
2,529	0,0006	-0,0006	0,46044
2,615	0	0	0,45984
2,617	-3,83143	-2,4531	-2,91175
2,659	-1,53221	-1,99326	-0,15268
2,686	-1,07237	0,30596	-7,20362
2,71	-1,07297	0,30656	-7,20422

$$t_{caduta} = 2,61s - 2,16s = 0,45s$$

$$\Delta t = 0,02s$$

Tabella riassuntiva dati sperimentali Smartphone in caduta libera

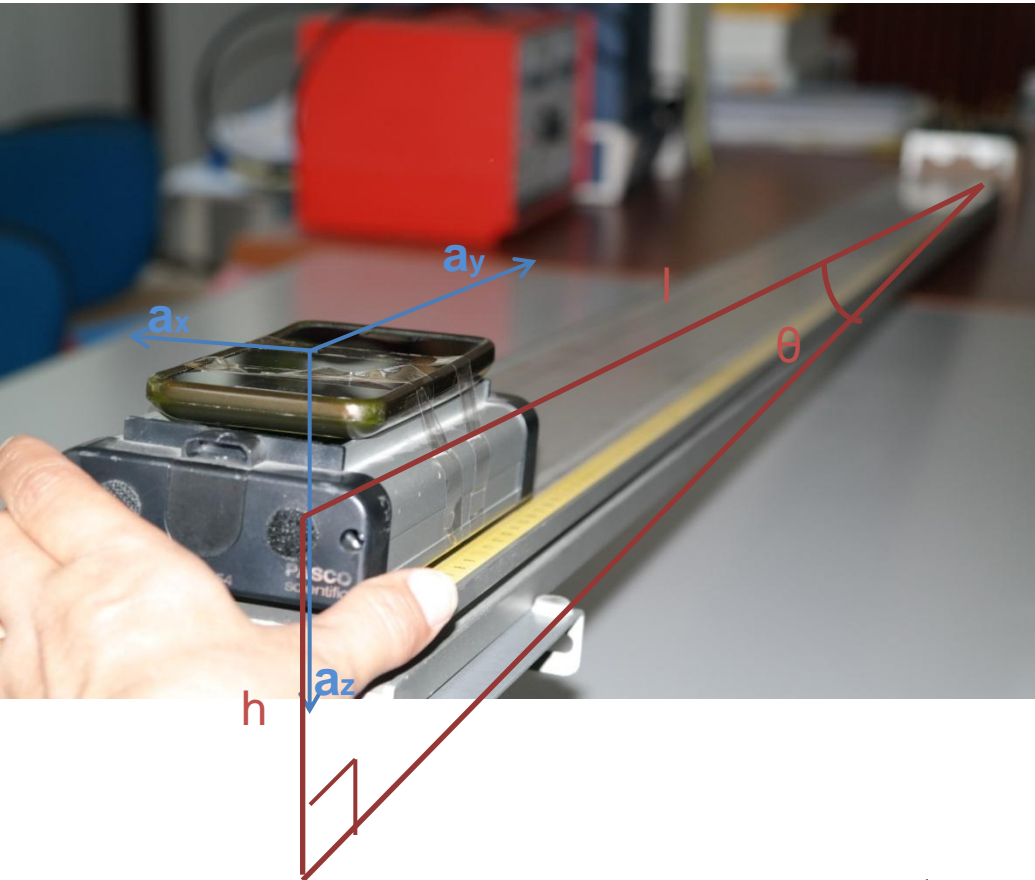
h(m)	t _{caduta} (s)	h/t (m/s)	h/t ² (m/s ²)
1,00	0,45	2,22	4,94
0,90	0,44	2,05	4,65
0,80	0,40	2,00	5,00
0,70	0,37	1,89	5,11
0,60	0,33	1,82	5,51
0,50	0,32	1,56	4,88
0,40	0,28	1,43	5,10
0,30	0,24	1,25	5,21

Si verifica la
proporzionalità
quadratica diretta fra lo
spazio percorso e il
tempo impiegato

Media	1,78	5,05
Deviazione standard	0,33	0,25
DvSt/M%	18,78%	5,00%

Caduta lungo un piano inclinato

- Lo smartphone viene fissato ad un carrello che viene lasciato scivolare sulla rotaia



Accelerazione misurata dallo smartphone prima della caduta

$$a_y = g \sin\theta$$

$$a_z = g \cos\theta$$

Ci aspettiamo che durante la caduta, trascurando l'attrito, poiché lo smartphone scivola liberamente nella direzione y , sia

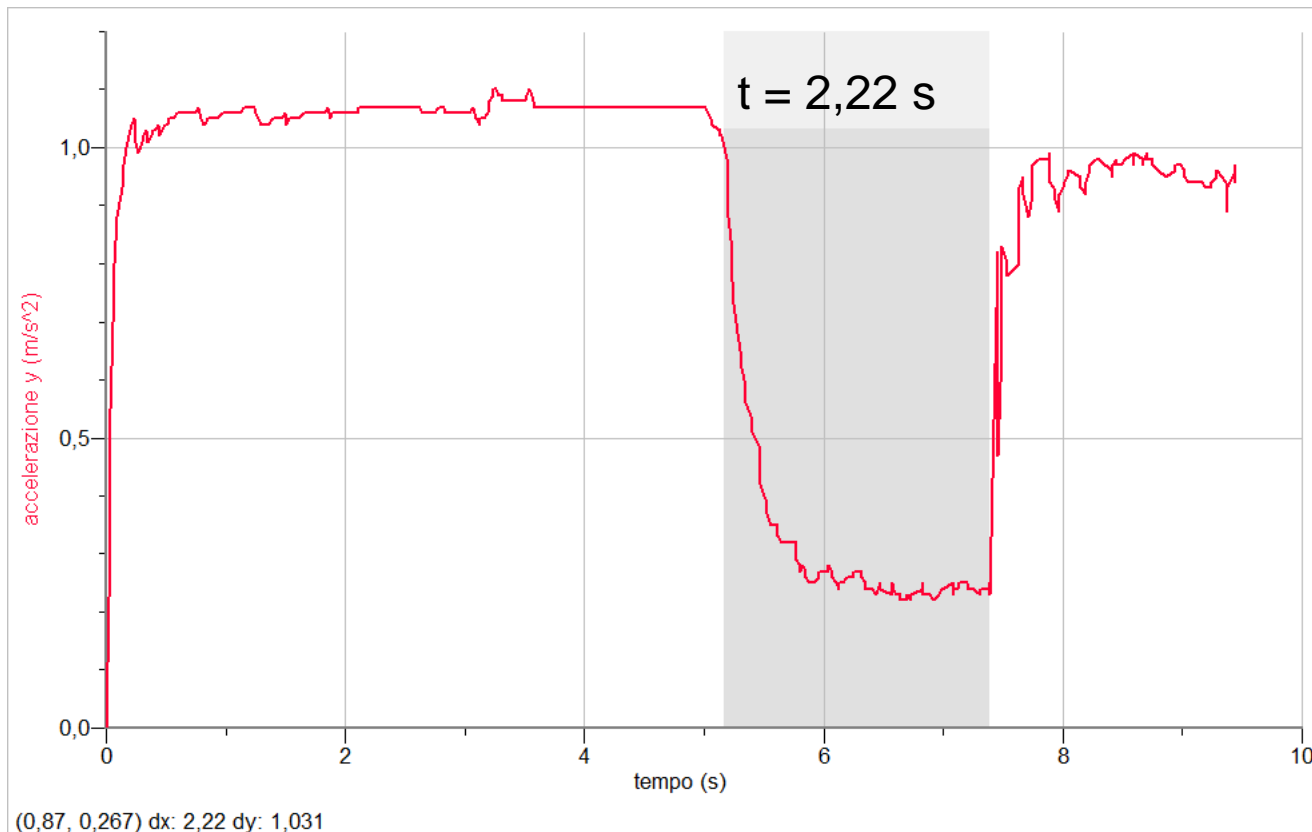
$$a_y = g \sin\theta - g \sin\theta = 0$$

$$a_z = g \cos\theta$$

Legge oraria lungo il piano inclinato $s = \frac{1}{2} g \sin\theta t^2$

- Valore atteso $t_{caduta} = \sqrt{\frac{2l}{g \sin\theta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,00}{9,81 \cdot \sin 7^\circ}} \text{ s} = 1,83 \text{ s}$

Valore sperimentale $t_{caduta} = 2,21 \text{ s}$

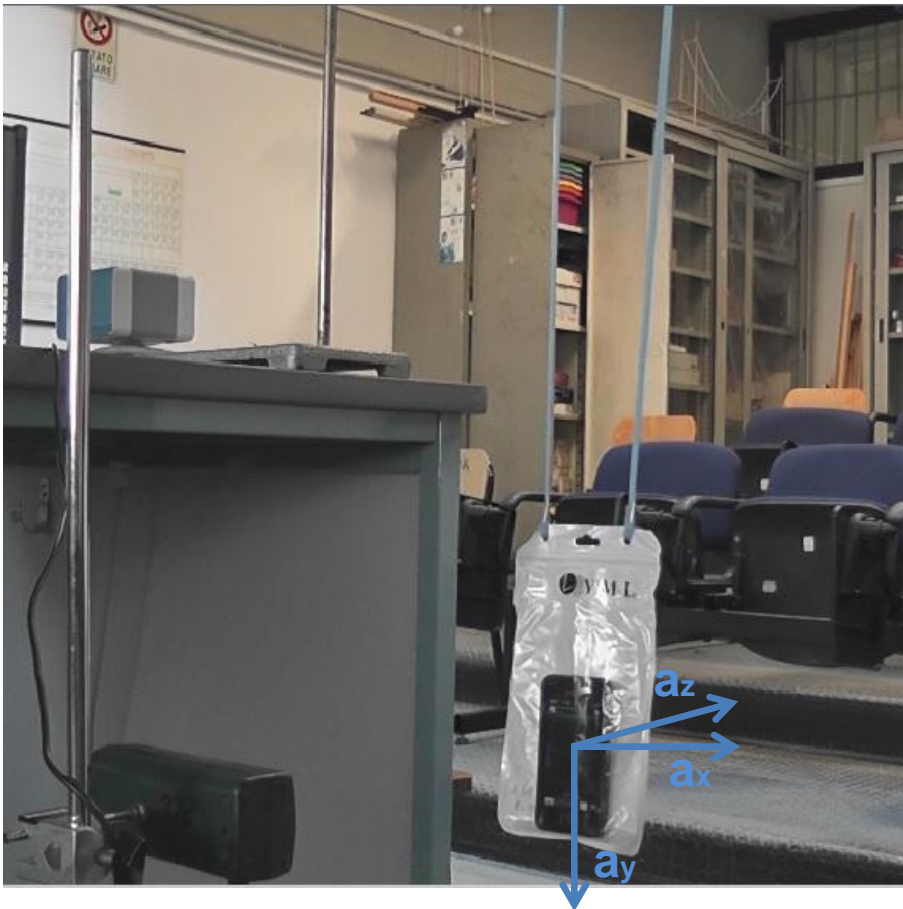


**Si vede
l'effetto
dell'attrito!**

Dati sperimentali analizzati con il software Logger Pro

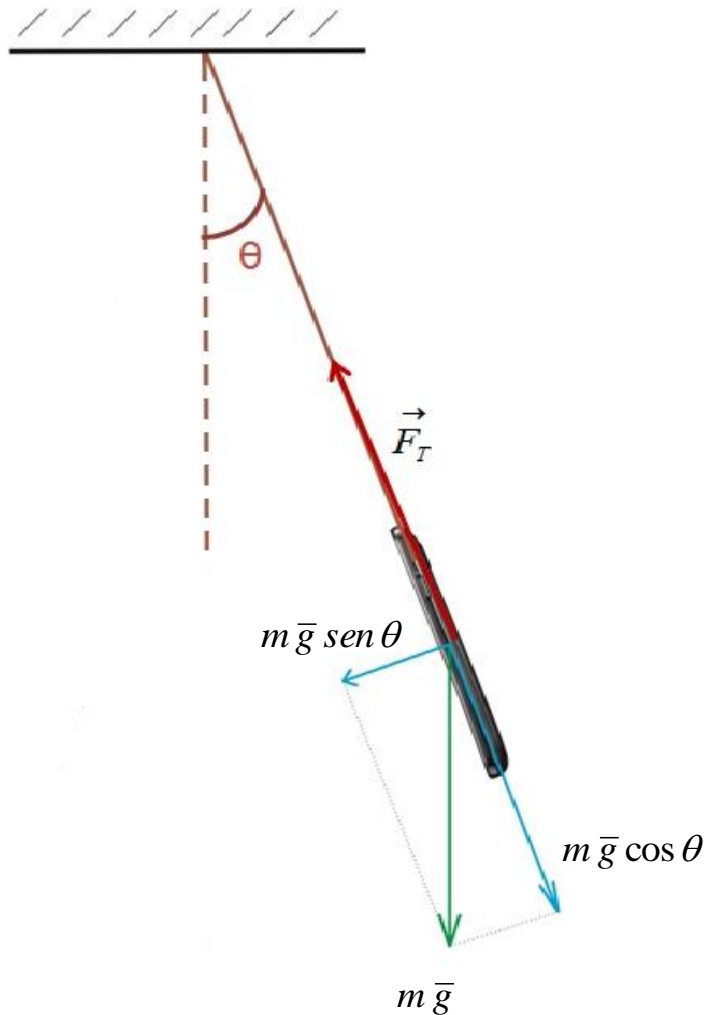
Moto del pendolo semplice

- Lo smartphone viene fatto oscillare nella direzione perpendicolare al display. Esso è inserito in una bustina ed è appeso ad un sostegno per due fili al fine di prevenire rotazioni attorno all'asse longitudinale.



Un'estensione dell'esperienza è stata quella di utilizzare anche un sensore di posizione, disposto perpendicolarmente al display dello smartphone, per misurare la velocità e l'accelerazione tangenziale dello smartphone nel sistema del laboratorio anche al fine di stimare l'accelerazione centrifuga valutata mediante l'accelerometro dello smartphone.

Il pendolo semplice: le forze in gioco



Le forze agenti sullo smartphone sono la forza peso $m\bar{g}$ e la tensione del filo F_T .

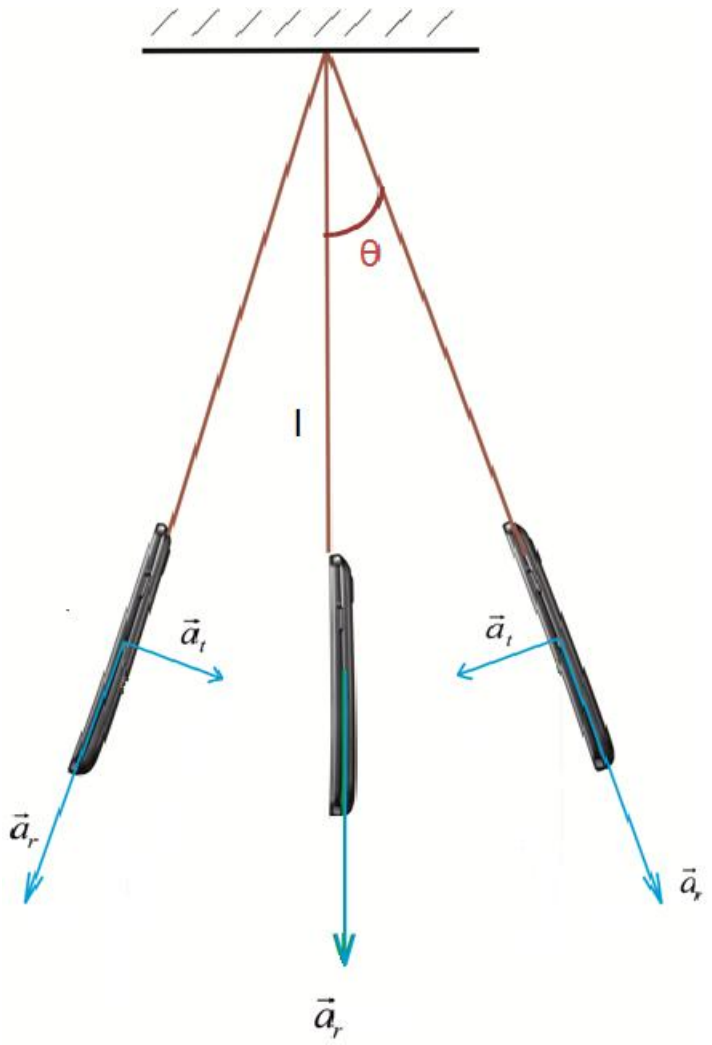
Contrariamente a quanto si pensa di solito, la tensione del filo non è uguale alla componente radiale della forza peso ma è più grande, in quanto è somma di questa e della forza centripeta.

$$F_T = m g \cos \theta + m \omega^2 l$$

La risultante delle forze applicate $m\bar{g}$ e F_T non è tangente alla traiettoria come la velocità; l'accelerazione ha quindi due componenti: una radiale responsabile delle variazioni in direzione della velocità e l'altra tangenziale che è associata alle variazioni in modulo della velocità

Dal sistema del laboratorio a quello dello smartphone

Accelerazioni radiale e tangenziale del pendolo nel **sistema del laboratorio**



$$a_t = l \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

$$a_r = - \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 l$$

Forza centripeta

Ci aspettiamo che durante il moto, nel **sistema dello smartphone**, trascurando gli attriti, poiché questo si muove liberamente nella direzione tangenziale, sia

$$a_z = g \sin \theta - l \frac{d^2 \theta}{dt^2} \approx 0$$

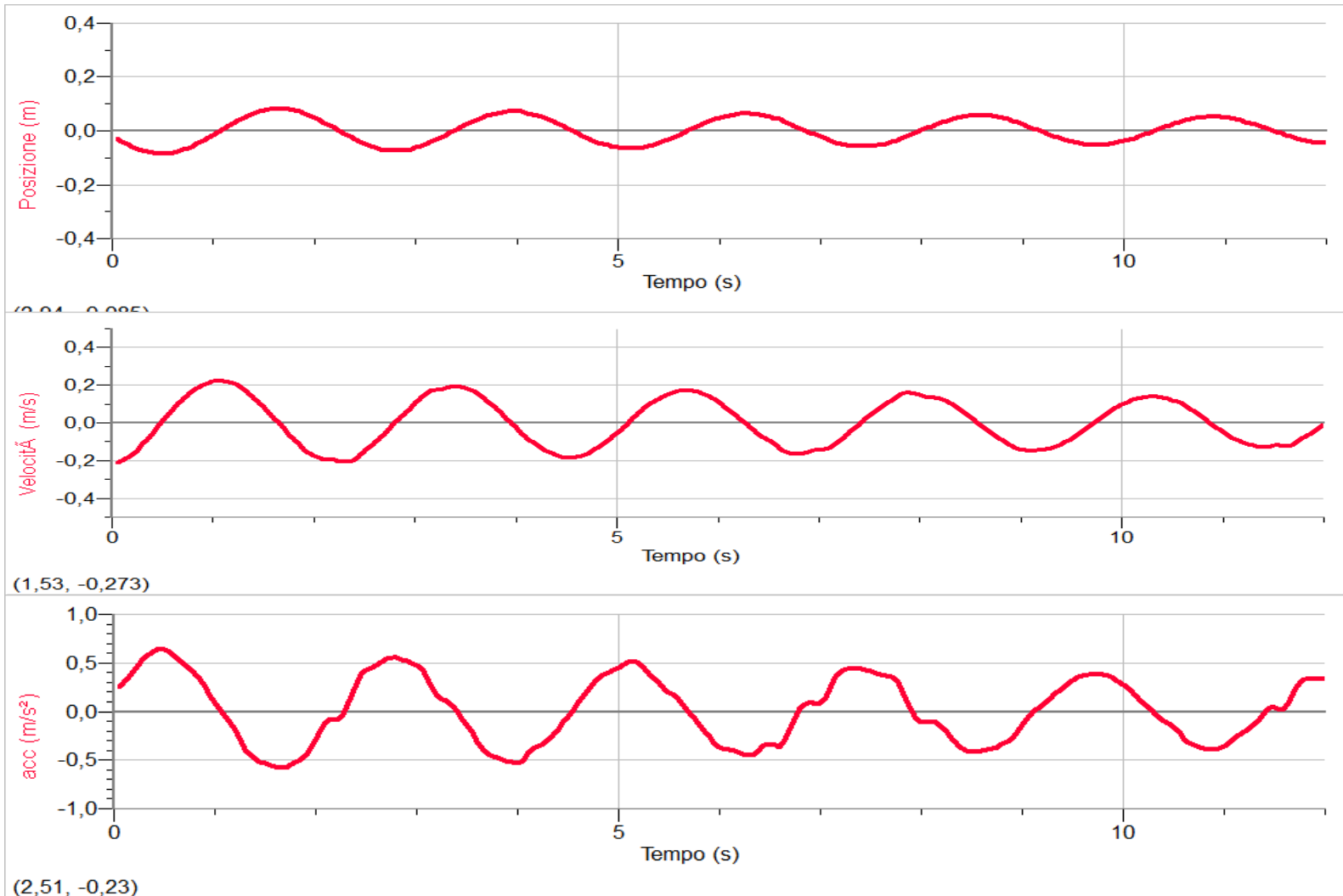
$$a_y = g \cos \theta + \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 l$$

Forza centrifuga

Risultati nel sistema dello smartphone



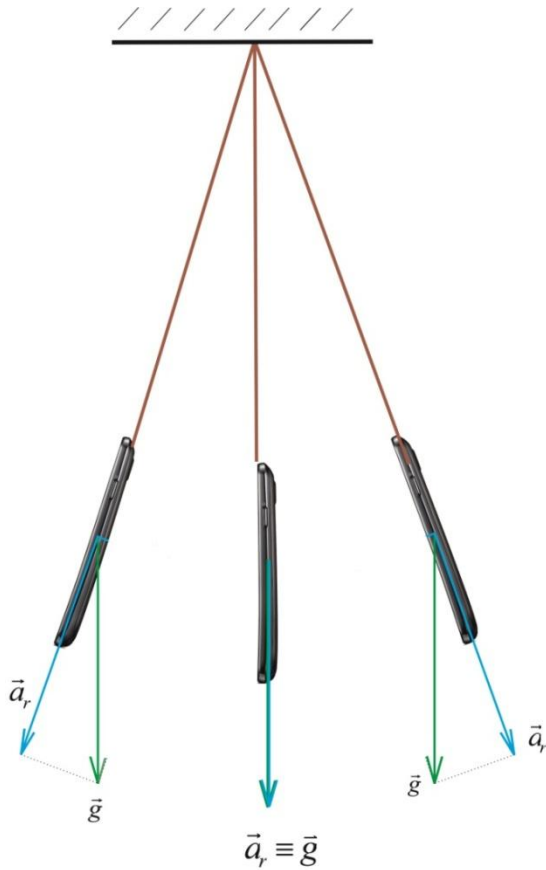
Risultati nel sistema del laboratorio



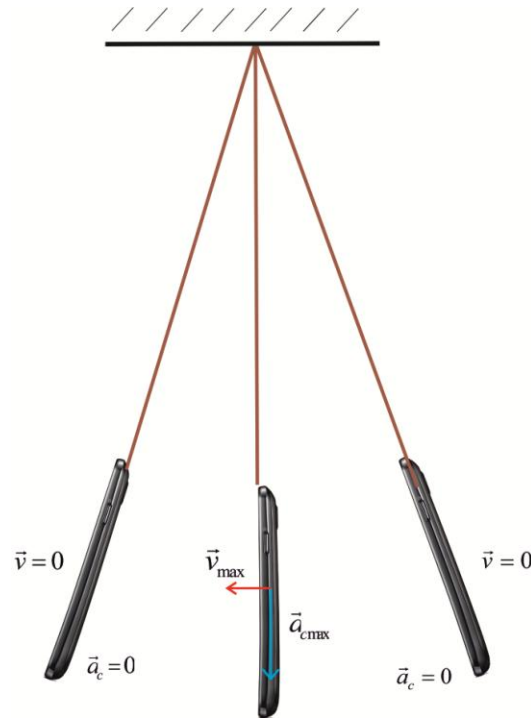
Questioni proposte

- Le misure effettuate costituiscono le basi per discutere le seguenti questioni:
- Determina il periodo di un'oscillazione completa T del pendolo e comparalo al valore teorico atteso per un pendolo semplice
- Perché i valori misurati dell'accelerazione nella direzione della corda (radiale) variano attorno all'accelerazione di gravità?
- Quali sono i contributi all'accelerazione radiale misurata dallo smartphone? Come dipendono dalla velocità?
- A quali valori dello spostamento corrispondono il minimo e il massimo dell'accelerazione radiale?

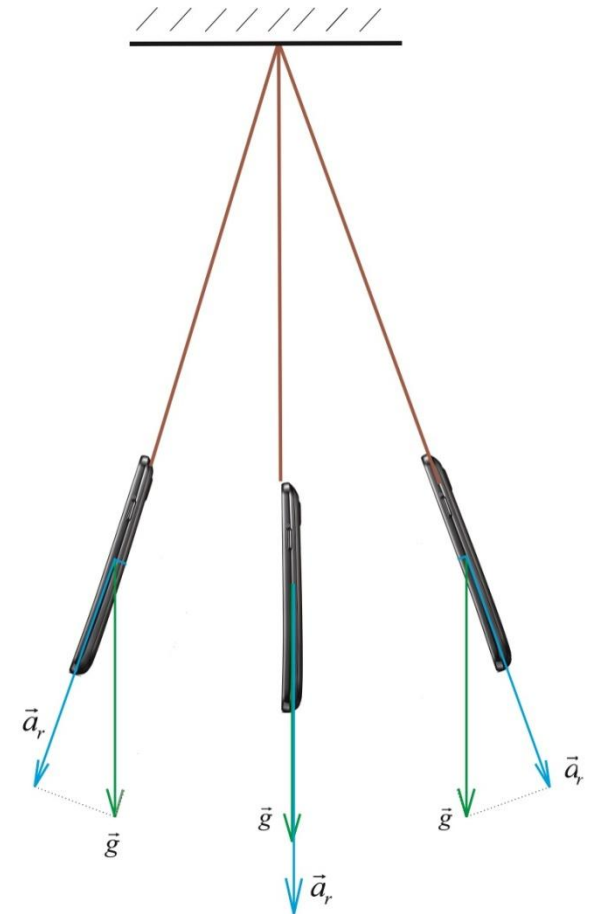
Interpretazione



Contributo all'accelerazione radiale, misurata dallo smartphone, dell'accelerazione di gravità



Contributo all'accelerazione radiale, misurata dallo smartphone, dell'accelerazione centrifuga



Accelerazione radiale complessiva misurata dallo smartphone

Nei punti d'inversione del moto, la velocità è zero e così pure l'accelerazione centrifuga: si è in corrispondenza dei minimi dell'accelerazione nella direzione della corda misurata dallo smartphone. Quando questo, invece, si trova nel punto centrale della traiettoria, la velocità è massima e così anche l'accelerazione centrifuga. Quindi la distanza fra due picchi dell'accelerazione radiale misurata dallo smartphone corrisponde a mezzo periodo.

Conclusioni

- Lo studio del moto pendolare utilizzando come corpo sospeso uno smartphone e come sensore il suo accelerometro ha incontrato attiva partecipazione e grande interesse degli studenti per aver utilizzato uno strumento vicino al loro vissuto quotidiano
- Gli alunni hanno letto con interesse gli articoli scientifici loro proposti
- Hanno formulato ipotesi e modelli interpretativi della realtà testandoli con gli esperimenti
- Hanno evidenziato una buona autonomia nell'analisi dei dati forniti dal software Kinetics Pro e poi analizzati utilizzando il foglio elettronico Excel e il software Logger Pro
- Tutto ciò ha permesso la piena comprensione dei fenomeni studiati utilizzando tecnologie innovative e un “punto di vista” non convenzionale!