

# **Laboratorio di Meccanica**

## **FISICA Sperimentale I – PROF. DALLERA**

### **A.A. 2020-2021**

#### **Introduzione**

Per quest'attività di laboratorio da effettuare a casa, vi si chiede di eseguire entrambi gli esperimenti mostrati in questo manuale. Il manuale serve da guida per comprendere il funzionamento dell'app Phyphox e del software Tracker e delle possibilità di analisi ed estrazione dei dati che questi due software offrono all'utente. I due esperimenti proposti possono essere modificati e adattati a piacere. In ogni caso, l'obiettivo finale di entrambi gli esperimenti deve coincidere con quello dichiarato nella sezione obiettivo dell'esperimento. Inoltre vi si chiede di seguire tutte le ulteriori indicazioni presenti all'interno di questa guida che trovate scritte in rosso e sottolineate. Le strategie da utilizzare per analizzare i dati possono essere molteplici. Qui ne proponiamo una per esperimento, e vi suggeriamo alla fine del manuale altri possibili approcci.

## 1. PRIMO ESPERIMENTO

### 1.1 Obiettivo dell'esperimento

L'obiettivo di questo esperimento è la misura e l'analisi di un moto accelerato uniforme, da cui ricavare il valore dell'accelerazione del moto.

### 1.2 Scelta dell'esperimento e della strumentazione

Sceglieremo di misurare la costante gravitazionale  $g$  tramite l'analisi del moto di caduta libera di un grave. Per l'acquisizione dei dati useremo il programma Tracker scaricabile dal sito <https://phslets.org/tracker/>. Per l'esperimento avremo bisogno di:

- un grave, quanto più possibile di forma adeguata a ridurre l'effetto di attrito con l'aria. Ad esempio si può utilizzare un oggetto di forma sferica o un dischetto non sottile lasciato cadere in modo che il disco rimanga parallelo al piano.
- un righello, un metro o qualsiasi altro oggetto che ci permetta di definire un sistema di riferimento assoluto nella scena che andremo a registrare con la telecamera
- una videocamera, per registrare il moto di caduta del grave (si può usare la videocamera del cellulare)
- un computer, su cui installare il programma di analisi e video modeling Tracker, che useremo per analizzare il video registrato e ricavare la legge oraria del grave durante la caduta libera.

### 1.3 Realizzazione dell'esperimento tramite il software Tracker

Faremo cadere il grave ed inquadreremo la scena con la telecamera, in modo che l'asse ottico della lente della telecamera sia perpendicolare alla direzione di caduta. Si deve vedere bene tutta la scena, la direzione di caduta deve essere quanto più possibile verticale, rispetto a quanto inquadrato dalla telecamera. Tutte queste accortezze facilitano la successiva analisi dei dati tramite il programma Tracker.

Nell'esempio di scena mostrato in figura, si notano:

- disco rosa, peso  $m = 31 \text{ g.}$  ;
- il riferimento assoluto attaccato al muro (metro)

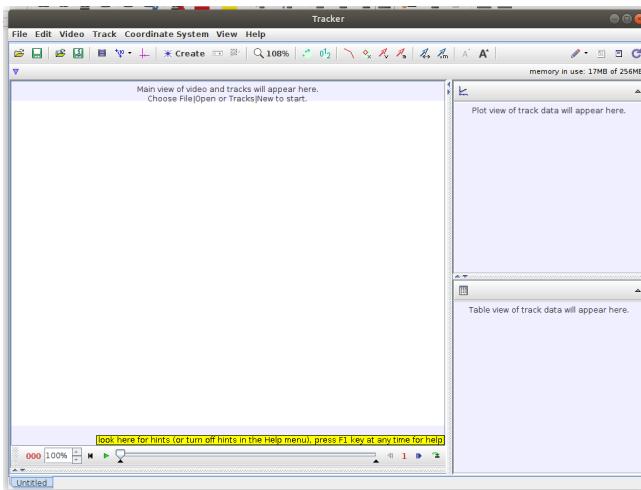
Affinché il programma Tracker riesca a seguire il movimento del grave, conviene che lo sfondo della scena ed il grave abbiano colori nettamente diversi.



Una volta disposti tutti gli oggetti, si fa partire la registrazione e si lascia cadere il grave. In questa fase è importante che il grave ed il riferimento siano alla stessa distanza dalla telecamera, in modo da limitare gli effetti di distorsione dati dalla prospettiva. Nel caso in figura dunque occorre far cadere il grave quanto più possibile vicino al muro, evitando però il contatto con il muro. Si possono sfruttare rientranze o sporgenze del muro in casa, per fare in modo che il riferimento e il grave siano posizionati entrambi alla stessa distanza dalla telecamera. Inoltre è importante che durante la caduta del grave non si copra né il corpo né il riferimento con il braccio. Fate inoltre attenzione a lasciar cadere il grave senza fornirgli alcun impulso.

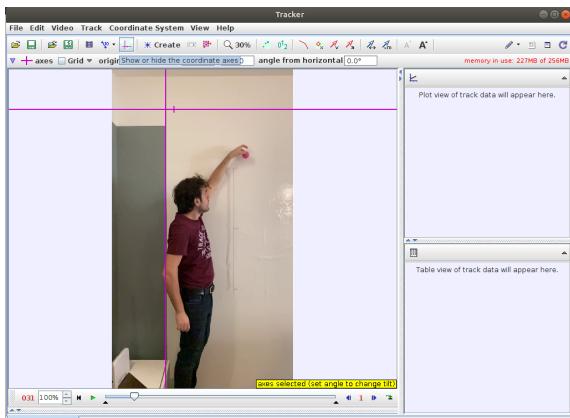
## 1.4 Analisi dei risultati tramite il software Tracker

Installiamo il software Tracker dal sito <https://physlets.org/tracker/>. Sono presenti varie versioni a seconda del sistema operativo che avete. Una volta installato il software apritelo. Vi troverete davanti a questa schermata:



La prima cosa che bisogna fare è caricare il video che avete appena registrato. Vi consigliamo per evitare di sovraccaricare il programma di tagliare il video in modo che sia presente solo la parte relativa alla caduta del grave. Potete farlo direttamente con il cellulare prima di trasferire il video sul PC. Per caricare il video in Tracker, cliccate dal menù in alto su Video → Import. Se il video viene caricato ruotato di 90 gradi, potete ruotarlo accedendo ai filtri da Video → Filters → New → Rotate. Qui potrete usare numerosi filtri per potere modificare il vostro video. Per maggiori informazioni potete consultare questa guida: [https://physlets.org/tracker/help/video\\_filters.html](https://physlets.org/tracker/help/video_filters.html). Se avete registrato la scena stando attenti a tutte le accortezze elencate nella sezione 1.3, non avrete bisogno di fare troppe modifiche.

### 1.4.1 Definizione del Sistema di Riferimento



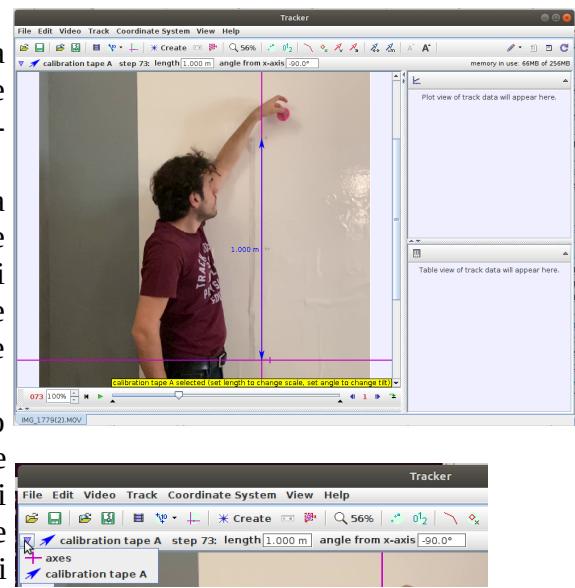
Caricato il video, potrete visualizzare tutti i frame dallo slider in basso. La prima cosa da fare è, scelto un frame in cui si veda tutto il metro, fissare l'asse di riferimento. Per farlo, cliccate nella barra degli strumenti sul simbolo degli assi cartesiani. Compariranno due assi viola che potrete spostare. Tramite click-and-drag sul centro degli assi, si può spostare la posizione dell'origine. Nel mio caso, ho scelto il punto più basso del righello. Tramite click-and-drag sul semiasse segnato da una tacchetta, che identifica il semiasse delle ascisse positive, posso ruotare il sistema di riferimento. Nel mio caso l'asse x punta verso destra mentre l'asse y punta verso l'alto.

Per fissare il riferimento assoluto, è possibile inserire un calibration tape dal menù Track → New → Calibration Tools → Calibration Tape, tramite shift+click definite la posizione di un estremo del tape, e una seconda volta per definire la posizione dell'altro estremo. Comparirà la dimensione della lunghezza selezionata riferimento arbitrario impostato dal programma, e una doppia freccia blu che visualizza il Calibration Tape che avete appena definito. Dovrete modificare la lunghezza preimpostata inserendo quella relativa alla vostra scena. Nel mio caso, la lunghezza selezionata è

pari a un metro, dunque scriverò 1 nell'indicazione di lunghezza che appare accanto alla freccia o in alto nelle impostazioni del calibration tape che compariranno sotto la barra degli strumenti.

### Suggerimenti.

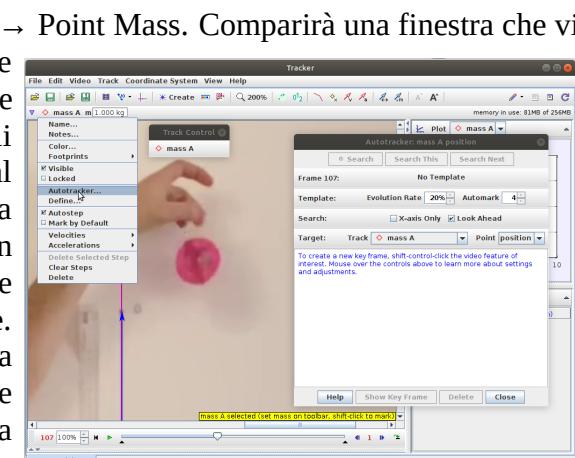
- Per selezionare con più precisione i punti nella scena, usate lo zoom (scroll del mouse) e spostatevi all'interno della scena con click-and-drag (tasto sinistro del mouse).
- Quando il mouse è sulla scena, in basso a sinistra compariranno in un riquadro giallo le coordinate del mouse secondo il sistema di riferimento che avete scelto. Controllate che effettivamente il sistema sia stato definito bene muovendo il mouse all'interno della scena.
- Sotto la barra degli strumenti, avrete accesso alle proprietà di tutti gli oggetti che avete inserito. Al momento abbiamo inserito solo gli assi e il calibration tape. Potete visualizzare e modificare le proprietà di questi oggetti selezionandoli dal menù a tendina.
- Oltre al Calibration Tape, ci sono altri modi per definire il sistema di riferimento assoluto (ad esempio usando i Calibration Points). Provate a sperimentarli per prendere confidenza con il programma.



### 1.4.2 Tracking del grave

Dobbiamo ora trovare la posizione del grave in funzione del tempo. Per farlo, sfruttiamo l'algoritmo di tracking del programma, che ci consente di trovare frame-by-frame la posizione di un oggetto all'interno della scena. Per prima cosa ci disponiamo su un frame che vogliamo sia il frame iniziale del moto. In questo frame scelto come istante iniziale, è importante che il grave sia interamente visibile. L'istante iniziale in cui la velocità è nulla sarà dunque scartato, dato che in quel momento il grave è coperto dalla mano. Scelgo come frame iniziale uno dei primi frame in cui il corpo è interamente visibile, nel mio caso corrisponde al frame 107.

Inserite l'oggetto Point Mass, dal menu Track → New → Point Mass. Comparirà una finestra che vi permetterà di impostare le proprietà dell'autotracker. Se l'autotracker non compare, selezionate la massa A che avete appena inserito presente sotto la barra degli strumenti, e cliccate con il tasto destro per accedere al menu relativo alla massa A. Fatto ciò aprirete la finestra Autotracker... . A questo punto cliccate con shift+ctrl+click sulla posizione della massa nel frame iniziale per definire la sua posizione in quel frame. Attenzione: shift+click vi permette di selezionare la posizione ma non vi permette di effettuare l'autotracking. Dovete cliccare sul centro della massa premendo shift+ctrl+click.



Compariranno in rosso:

- un punto che indica la posizione, con a fianco il numero del frame corrente;
- un cerchio a linea continua, il punto sul cerchio ci permette di modificare il raggio del cerchio;

- un quadrato a linea tratteggiata, il punto sull'angolo in basso a destra ci permette di cambiare la grandezza del quadrato.

Modificando la grandezza del cerchio, posso selezionare un template associato alla massa. Farò in modo che tutta la massa stia all'interno del cerchio. Nelle impostazioni dell'autotracker comparirà il template selezionato e a destra nel riquadro match comparirà la stessa immagine. Il programma cerca all'interno del quadrato tratteggiato un oggetto che corrisponda al template selezionato, e restituisce la posizione del match. Chiaramente per il frame iniziale, template e match saranno identici. Quello che Tracker ci consente di fare ora è di andare a trovare anche nei frame successivi dove si trova l'oggetto corrispondente al template selezionato. Per farlo basta cliccare su Search Next in alto a destra nella finestra dell'autotracker. Una volta sperimentata la funzione "Search Next" potete cliccare "Search" per eseguire la ricerca su tutti i frame. Il programma di tracking si arresterà quando non troverà più la massa. Nel caso abbiate impostato tutti i parametri correttamente, si arresterà quando la massa esce, anche solo parzialmente dall'inquadratura.

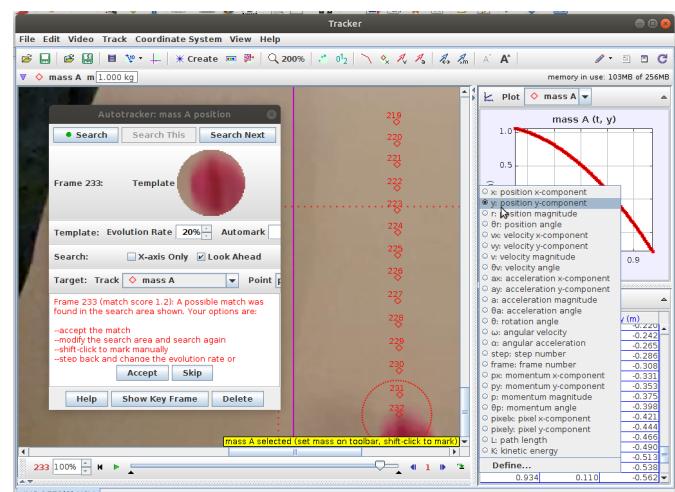
*Attenzione! Non serve allargare la "Search Area" (area tratteggiata) eccessivamente se l'opzione "Look Ahead" è selezionata. Basta che contenga interamente il cerchio, come mostrato nell'esempio qui a destra.*



Il programma di "Search" nel mio caso si interrompe al frame 233, quando la massa è per metà fuori dall'inquadratura.

Alla fine dell'acquisizione comparirà a destra un pannello che riporta i dati appena acquisiti:

- In alto verrà visualizzato il grafico della posizione in funzione del tempo. Dato che mi interessa la componente y della posizione, clicco sull'etichetta dell'asse per selezionare la componente y.
- In basso comparirà una tabella con tutti i dati rilevati. È possibile esportare la tabella su Excel se si vogliono analizzare i dati con questo programma.



Il programma Tracker vi calcola anche la derivata prima numerica e la derivata seconda numerica della posizione. Si può accedere a questi dati cliccando sull'etichetta accanto all'asse delle ordinate nel grafico che compare in alto a destra nella schermata principale, e selezionare vy e ay.

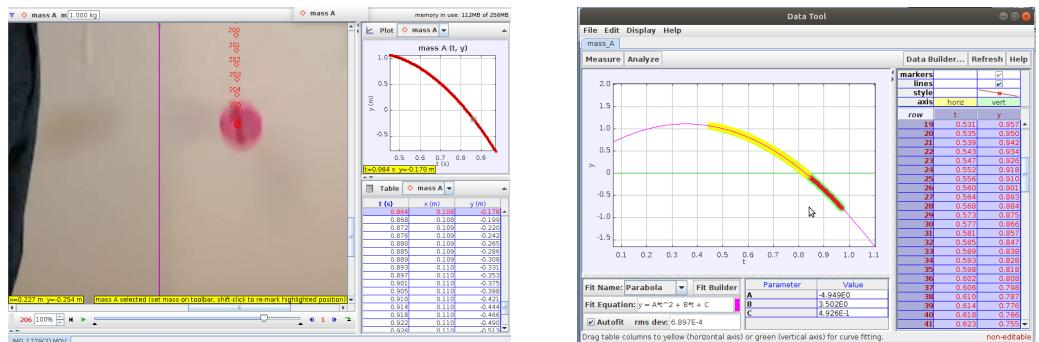
### 1.4.3 Analisi dei dati tramite il software Tracker

Potete analizzare i dati acquisiti con un software di vostra scelta (Excel, Python, Matlab ecc...), oppure potete usare lo stesso programma Tracker per fare delle analisi sui dati acquisiti. In questo manuale, vi mostriamo come sia possibile ricavare l'accelerazione del corpo da un fit parabolico sul grafico posizione/tempo appena acquisito.

Cliccando con il tasto destro sul grafico, comparirà un menù a tendina. Cliccate dunque su Analyze... . Si aprirà la finestra “Data Tool” che vi permette di fare delle analisi sui dati acquisiti. Cliccando su Analyze → Curve Fits si apriranno le opzioni per i fit. Nel menu “Fit Name:” seleziono Parabola. Il programma preseleziona già i punti del grafico su cui fare i fit, e restituisce i coefficienti del fit nella tabellina a destra. Per poter visualizzare il fit, cliccate sul grafico con il tasto destro e cliccate su “Zoom Out” per allargare la visuale. Potrete vedere la parabola ottenuta dal fit rappresentata da una linea viola.

Nel caso presente si ottiene un coefficiente  $A = -5.019 \text{ m/s}^2$  che corrisponde ad un'accelerazione in modulo pari a:  $a = |2A| = 10.04 \text{ m/s}^2$ , di poco superiore al valore teorico di  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Noto inoltre che dopo il frame 200, la velocità della massa è così alta che la mia fotocamera registra un'immagine sfocata. Per aumentare l'affidabilità della misura, decido di limitare l'analisi ai primi 100 frame (dal frame 107 al frame 207). Per farlo basta selezionare sul grafico o sulla tabella i punti di interesse. Il fit verrà quindi effettuato solo sui punti selezionati.



Ottengo da questa analisi un valore di  $a = -9.9 \text{ m/s}^2$ , molto vicino al valore teorico di  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

## 2. SECONDO ESPERIMENTO

### 2.1 Obiettivo dell'esperimento

L'obiettivo di questo esperimento è la misura del coefficiente di attrito dinamico tra il cellulare e la superficie del piano inclinato.

### 2.2 Scelta dell'esperimento e della strumentazione

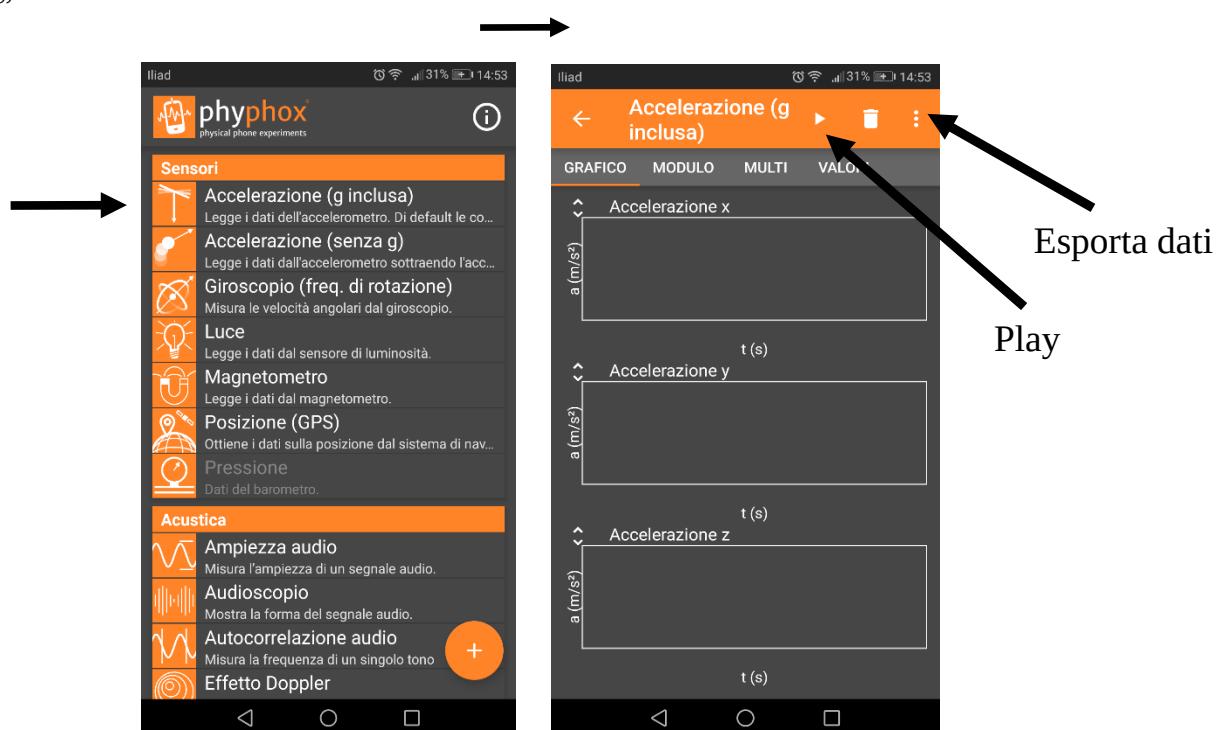
Scegliamo di misurare il coefficiente di attrito dinamico di un cellulare che scivola sul piano inclinato. La figura è un esempio del possibile set up (potete utilizzare qualsiasi altro modo per creare un piano inclinato).



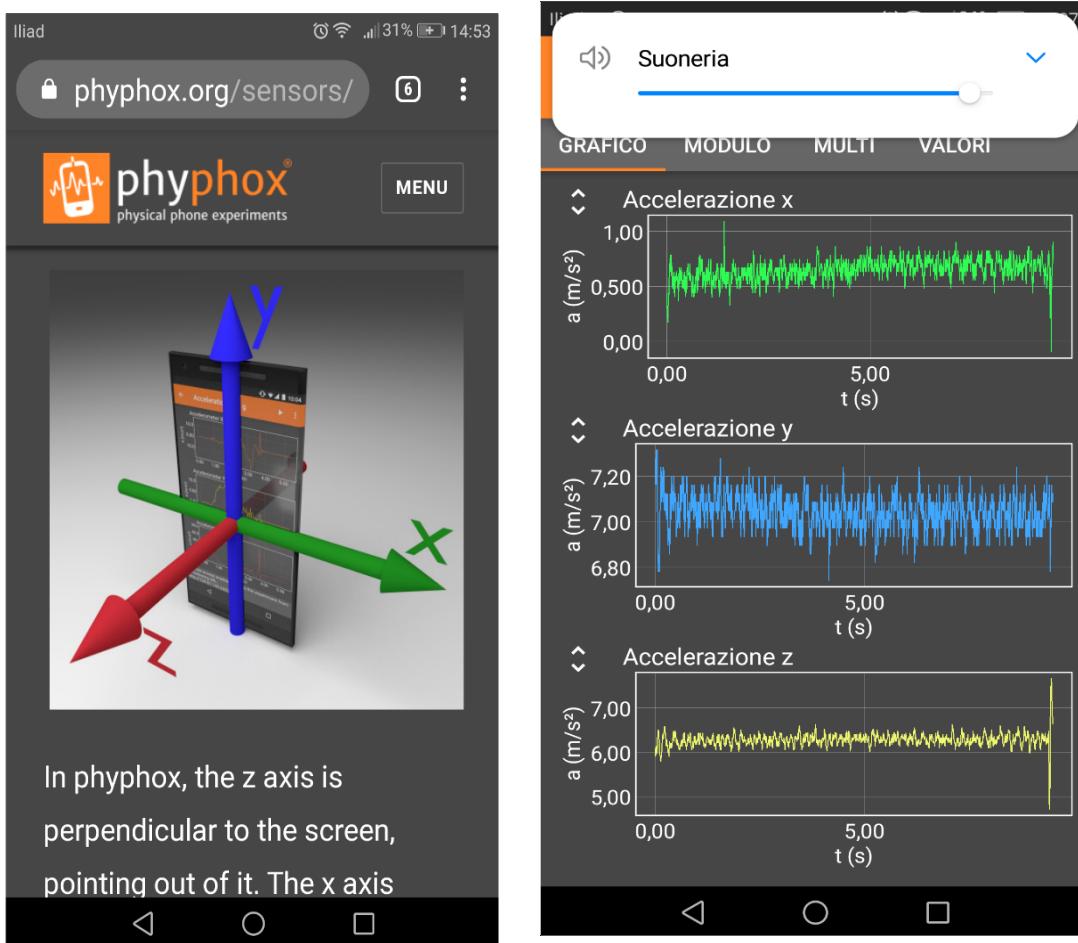
Per acquisire il valore dell'accelerazione, useremo l'accelerometro del cellulare. Scaricate l'app Phyphox sul vostro cellulare (<https://phyphox.org>).

### 2.3 Realizzazione dell'esperimento usando l'app Phyphox

Dopo aver installato il programma apritelo e selezionate dalla schermata iniziale "Accelerazione (g inclusa)"



A questo punto, mettete il cellulare all'apice del piano inclinato (mi raccomando mettete a lato e alla fine del piano dei cuscini in modo da non rovinare il cellulare nel caso prenda troppo velocità e cada!). Fate partire la misura, spingendo il tasto PLAY, continuando a tenere fermo il cellulare. Vedrete che le tre accelerazioni ( $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$ ) sono diverse da zero anche se il cellulare è fermo. Le tre accelerazioni sono le proiezioni dell'accelerazione gravitazionale  $g$ . Nella figura sottostante potete vedere il sistema di riferimento utilizzato dal programma ed i grafici con i dati acquisiti con il cellulare fermo.



Da questi valori potete valutare l'angolo d'inclinazione del piano (vedi figura set up).

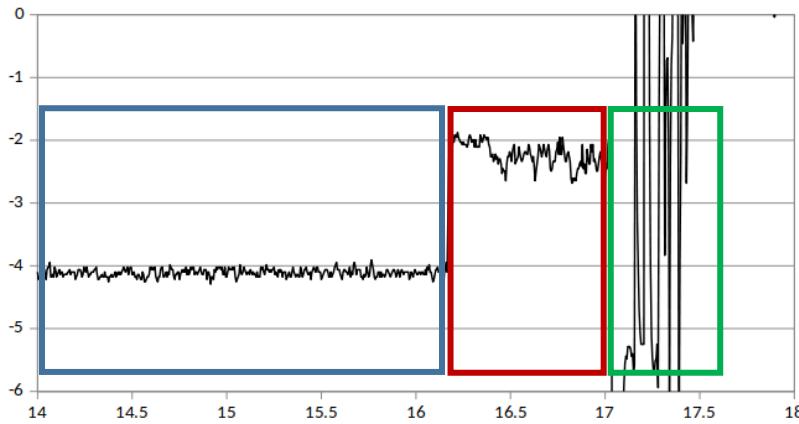
Successivamente lasciate il cellulare cadere lungo il piano inclinato (utilizzare la direzione  $y$  del cellulare coincidente con la direzione del piano). Una volta che il cellulare è arrivato a terra, premete il tasto “pausa” sul programma ed esportate i dati (cliccando sui puntini a destra in alto). Analizzate i dati utilizzando le opportune formule fisiche per calcolare il coefficiente d’attrito dinamico della superficie del piano utilizzato.

## 2.4 Analisi dei dati

I dati così esportati possono essere analizzati tramite vari programmi quali Microsoft Excel, Matlab, Origin, ecc. Sotto è riportato un possibile grafico dell’accelerazione  $y$  nel tempo. Si individuano 3 intervalli temporali importanti:

- 1) Nel riguardo blu, il cellulare è ancora fermo, quindi l’accelerazione rappresenta la componente di  $g$  sull’asse  $y$

- 2) Nel riquadro rosso, il cellulare è in moto, l'accelerazione è ancora costante ma diminuisce in modulo rispetto al primo intervallo (si consiglia di calcolare il valore medio nell'intervallo selezionato).
- 3) Nel riquadro verde, il cellulare urta con il pavimento, il che produce delle oscillazioni veloci nella misura dell'accelerazione.



## 2.5 Interpretazione dei dati

Per interpretare correttamente la quantità misurata dall'accelerometro, modellizziamo prima il sistema fisico indagato. Le forze agenti sul cellulare sono mostrate nell'immagine a fianco. Scomponendo l'equazione di Newton lungo le due direzioni parallela e perpendicolare all'accelerazione (direzioni y e z), si ottiene:

$$y: mg \sin(\vartheta) - \mu_d N = ma$$

$$z: N - mg \cos(\vartheta) = 0.$$

Da queste si ricava che l'accelerazione effettiva del cellulare è:

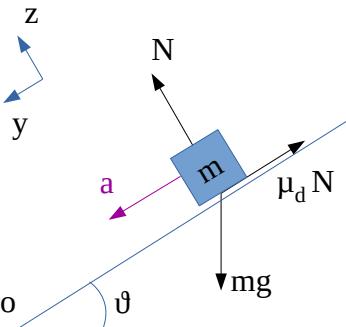
$$\mathbf{a} = g [\sin(\vartheta) - \mu_d \cos(\vartheta)].$$

Nella modalità "g inclusa", l'accelerazione misurata dall'accelerometro ( $\mathbf{a}_{\text{mis}}$ ) è pari a:

$$\mathbf{a}_{\text{mis}} = \mathbf{a} - g \sin(\vartheta) = -g [\mu_d \cos(\vartheta)].$$

Dunque nella regione riquadrata in blu, il cellulare è fermo ( $\mathbf{a} = 0$ ), e l'accelerazione misurata è pari a:

$$\mathbf{a}_{\text{mis}} = 0 - g \sin(\vartheta) = -g \sin(\vartheta)$$



nella regione riquadrata in rosso invece, il cellulare si muove con accelerazione  $\mathbf{a} = g [\sin(\vartheta) - \mu_d \cos(\vartheta)]$ , e l'accelerazione misurata è pari a:

$$\mathbf{a}_{\text{mis}} = \mathbf{a} - g \sin(\vartheta) = -g [\mu_d \cos(\vartheta)].$$

Da queste considerazioni, si può quindi estrarre il valore di  $\vartheta$  dalla regione riquadrata in blu e poi ricavare il valore di  $\mu_d$  dalla regione riquadrata in rosso.

### **3. Il vostro esperimento e la vostra relazione**

#### **3.1. L'esperimento**

Potete riprodurre entrambi gli esperimenti con quello che avete a casa, o provare a pensare a delle varianti se non disponete di tutto il materiale richiesto. Anche per quanto riguarda l'analisi dei dati, potete scegliere il software che preferite, e utilizzare l'approccio che più vi sembra congeniale. In questo manuale, per esempio, abbiamo calcolato il valore dell'accelerazione nel primo esperimento dal fit sul grafico della legge oraria. Potete alternativamente:

- ricavare il valore dell'accelerazione facendo un fit lineare sul grafico della velocità ed estraendo il coefficiente angolare della retta;
- ricavare il valore dell'accelerazione facendo una media dell'accelerazione numerica  $a_y$ .

Qui abbiamo fatto, per ogni esperimento, solo una misura. Per la vostra relazione vi si chiede, per ogni esperimento, di fare almeno 3 misure nelle stesse condizioni sperimentalì. Dunque, nel primo esperimento misurerete tre valori di accelerazione, e poi ricaverete anche il valore medio di queste tre misure. Nel secondo esperimento misurerete tre valori di attrito dinamico, e poi ricaverete anche il valore medio di queste tre misure.

#### **3.2. La relazione**

Dovrete produrre due relazioni, una per il primo esperimento e una per il secondo esperimento. Ogni relazione non deve superare le due pagine. Deve essere strutturata nel seguente modo:

- Disegno/schema dell'apparato sperimentale o foto del setup.
- Grafico/grafici della misura, in particolare
  - per l'esercizio 1 deve essere presente almeno un grafico della posizione in funzione del tempo per una delle tre (o più) misure effettuate;
  - per l'esercizio 2 deve essere presente almeno un grafico dell'accelerazione in funzione del tempo per una delle tre (o più) misure effettuate.
- Tabella dei risultati. Qui potete riportare:
  - per l'esercizio 1 i tre valori di accelerazione ricavati dalle tre analisi effettuate sui dati raccolti;
  - per l'esercizio 2 i tre valori di attrito dinamico ricavati dalle tre analisi effettuate sui dati raccolti.
- Descrizione della strumentazione utilizzata (massimo 80 parole)
- Descrizione dell'esperimento e dei risultati ottenuti (massimo 240 parole)

Questo manuale non è un facsimile della vostra relazione. Non occorre riportare i dettagli del funzionamento del programma nella relazione. La relazione deve essere un riassunto dei vostri risultati, e il focus maggiore deve essere sull'esecuzione dell'esperimento, sull'analisi e sulla discussione dei risultati e delle possibili discrepanze ottenute rispetto ai valori attesi dal modello teorico. Un modello della relazione è riportato qui in calce. Sentitevi liberi di modificarlo, rispettando comunque il limite di pagine, il limite di parole, e le altre richieste già menzionate.

Troverete i modelli della relazione su Beep nella sezione Materiali → Modelli per le relazioni sui laboratori didattici 2020 - 2021 → Meccanica. Entrambe le relazioni dovranno essere salvate in un file pdf (di quattro pagine totali, due per la prima relazione e due per la seconda). Il file pdf dovrà essere rinominato nel seguente modo:

Cognome\_Nome\_XXXXXXX.pdf

Dove metterete al posto di "Cognome" il vostro cognome, al posto di "Nome" il vostro nome e al posto di "XXXXXXX" il vostro Codice Persona. Potrete caricare il file pdf nella cartella "Relazioni sul laboratorio di meccanica 2020-2021" presente nella sezione Materiali. I file che non sono carichi in pdf o non sono nominati nel modo specificato non verranno considerati.

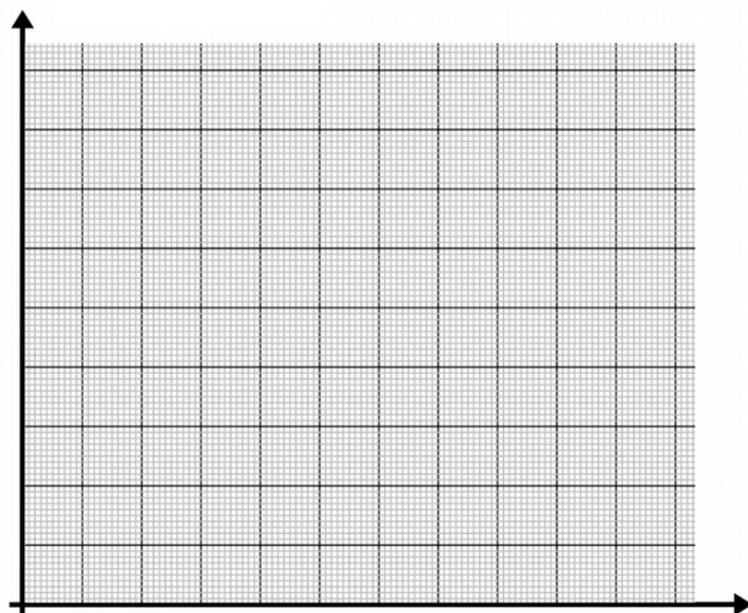
**FISICA Sperimentale I – PROF. DALLERA A.A. 2020-2021**

NOME	COGNOME:
MATR.	CODICE PERSONA:

**MISURA DELL'ACCELERAZIONE NEL MOTO  
UNIFORMEMENTE ACCELERATO / MISURA DEL  
COEFFICIENTE DI ATTRITO DINAMICO**

**DISEGNO/FOTO DELL'APPARATO SPERIMENTALE**

**GRAFICO DEI RISULTATI**



**TABELLA DEI RISULTATI**

Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ] / Coefficiente di attrito dinamico			
Misura 1	Misura 2	Misura 3	Media

**DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA (MAX 80 PAROLE)**

**DESCRIZIONE DELL'ESPERIMENTO, DEI RISULTATI OTTENUTI E DELLE EVENTUALI  
DIFFICOLTÀ Sperimentate (MAX 240 PAROLE)**