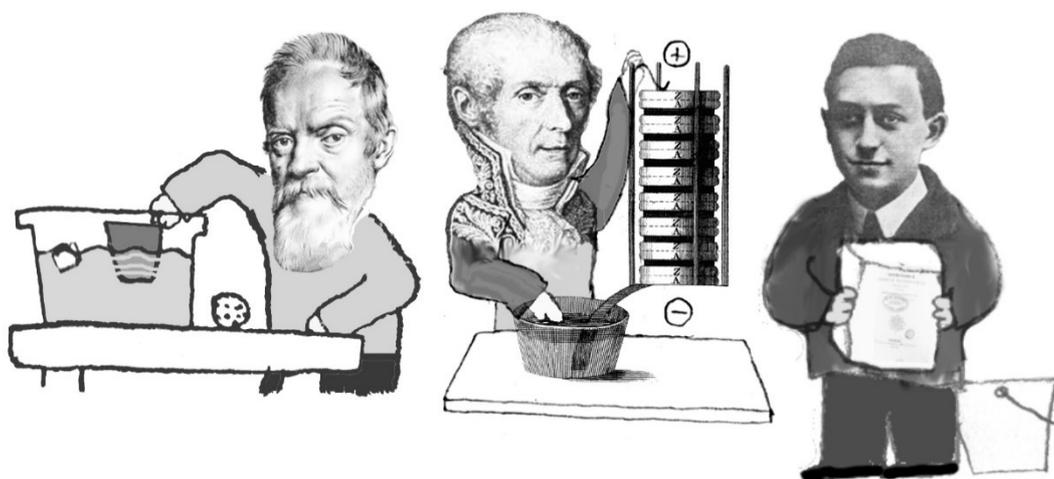


Corso “La Storia della Fisica con Reinventore”

con Antologia ed Esperimenti con materiali semplici
per docenti delle Scuole Superiori e non solo



Lezione 9/20

Misure per cominciare

Martedì 12 gennaio 2021

Indice

Introduzione	pag. 3
1. Esperimenti e Misure dalla storia dell’Optica	
1.1 Talete e la rifrazione	pag. 4
1.2 Occhio Scatolone	pag. 5
1.3 Talete e la piramide	pag. 7
1.4 Archimede e il diametro apparente del Sole	pag. 9
1.5 Eratostene	pag. 11
1.6 Archimede e gli specchi curvi	pag. 12
1.7 Le lenti	pag. 13
1.8 Il tubo di Grimaldi	pag. 14
2. Breve storia della misura	
2.1 lo standard e il cubito reale egizio	pag. 15
2.2 Archimede e Galileo	pag. 15
2.3 Gauss	pag. 15
2.4 Misure in casa	pag. 16
2.5 Strumenti di misura DIY	pag. 17
2.6 Enrico Fermi e Walter Lewin	pag. 18
3. Esperimenti e Misure dalla storia della Meccanica	
3.1 Il moto dei gravi e Galileo	pag. 22
3.2 Il moto dei gravi e Riccioli	pag. 23
3.3 Il moto dei gravi e Leida	pag. 25
3.4 Il moto dei gravi e Doc Edgerton	pag. 27
3.5 Il moto dei gravi e Tracker	pag. 29
3.6 Il moto dei gravi e PhET	pag. 30

Inoltre:

3	Allegati
20	link
6	prodotti

Introduzione

“Misure per cominciare” è il nono incontro del nostro “Corso di Storia della Fisica” ma seguendo un altro conteggio potrebbe essere considerato il primo.

Gli otto incontri svolti finora hanno trattato la fisica di fine ottocento e novecento, con argomenti che sono materia del quinto anno delle superiori (4 incontri sulle equazioni di Maxwell e 4 sulla fisica moderna). In un’ottica cronologica sarebbero stati “alla fine” del corso, ma considerando una loro possibile utilità in vista della maturità, li abbiamo anticipati.

Con i presenti due incontri, nono e decimo, in un certo senso, si ricomincia. Tratteremo due argomenti, la misura (in questo incontro) e “letteratura scientifica + relazioni di laboratorio” (nel successivo incontro).

Si tratta di due incontri su una parte didattica importante della nostra disciplina, che vengono approfondite da un punto di vista storico e anche didattico. In un certo senso possono costituire delle “indicazioni generali”.

Dopo questi due incontri ci sarà una breve pausa, in concomitanza con la fine del quadrimestre in molte scuole, e poi si ripartirà in ordine cronologico: Greci, Medievali, Keplero, Galileo...

1. Esperimenti e Misure dalla Storia dell'Ottica

1.1 Talete e la rifrazione

Cominciamo la nostra storia nel VI secolo a.C. sulla costa ionica dell'Asia Minore, siamo in Grecia, ma in qualche modo c'entrano dentro anche l'Oriente e l'Egitto.

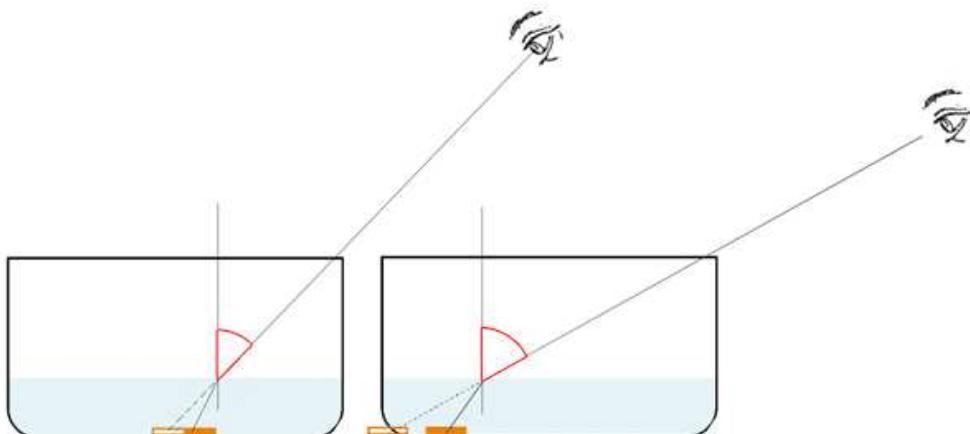
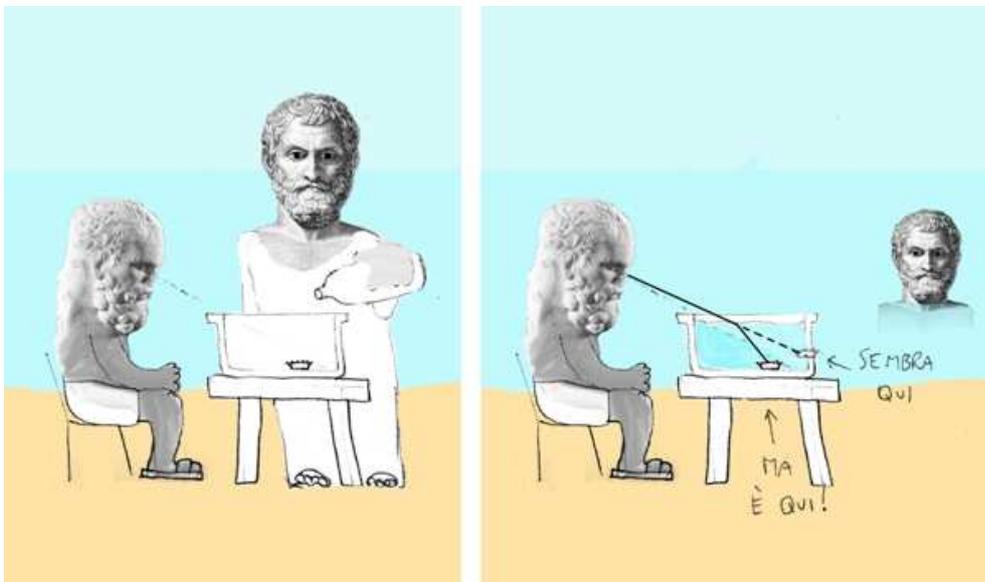
Con Talete e il suo discepolo Anassimandro inizia "la storia della scienza" nell'antica Grecia.

È il primo esperimento, "la bacinella di Talete", la rifrazione. La moneta, nascosta dal bordo della bacinella, diventa visibile quando la bacinella viene riempita d'acqua.

LINK 1

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/rifrazione-e-didattica>

(questo link rimanda a tanti altri link, allegati, istruzioni, approfondimenti, video)



Rispetto al nostro percorso: possiamo parlare di misura?

Sì, anche se limitatamente a un primo aspetto: quello di ripetere l'esperimento, di ottenere lo stesso risultato.

1.2 Occhio Scatolone

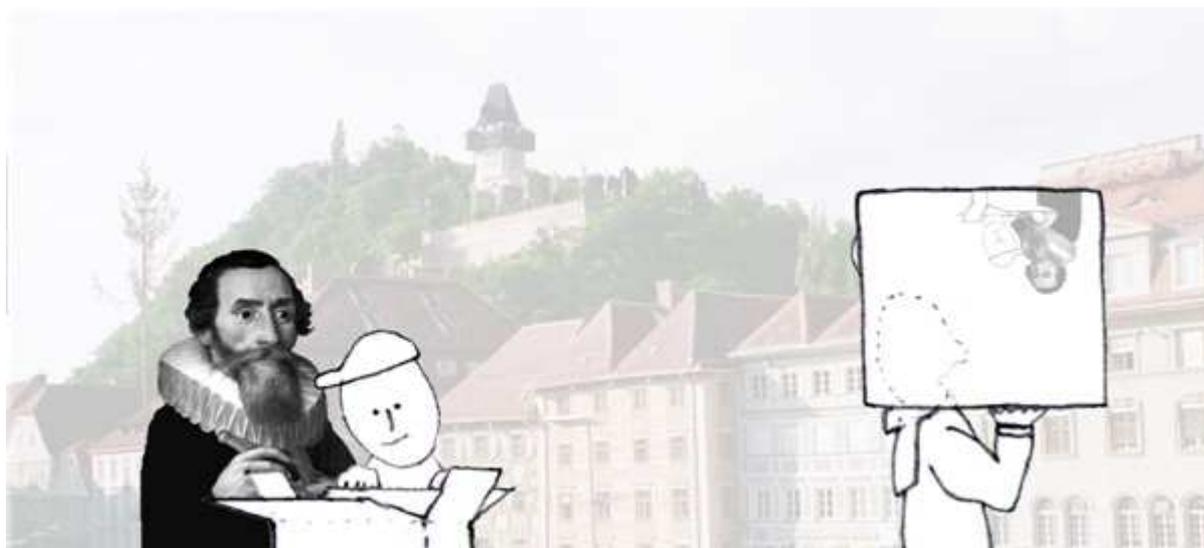
Un secondo esperimento lo chiamiamo “Occhio Scatolone”.

Anche questo è un esperimento con materiali poveri che si può ripetere a casa. Si tratta di uno scatolone con un buco per la testa e un piccolo buco (“pinhole”) per la luce.

LINK 2

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/immagini-nell-occhio>

(questo link rimanda a tanti altri link, allegati, istruzioni, approfondimenti, video)

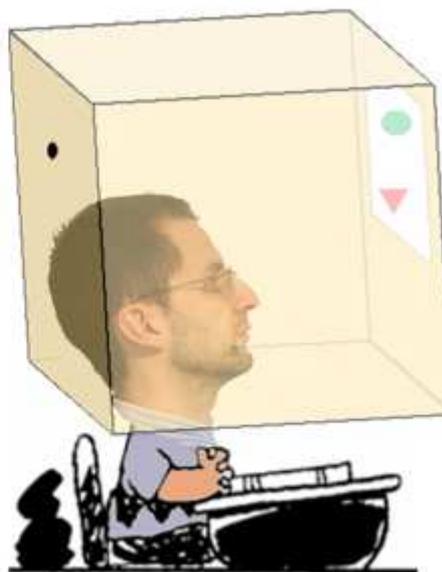


Johannes Kepler con l'Occhio-Scatolone a Graz

Uscendo all'aperto si vede il panorama, all'interno si possono usare i LED.

Nello scatolone si forma un'immagine, un po' come stare al cinema, ed è l'immagine capovolta di ciò che c'è fuori.

Il primo aspetto dell'esperimento è, di nuovo, ripetere l'esperimento, ottenere il risultato richiesto.



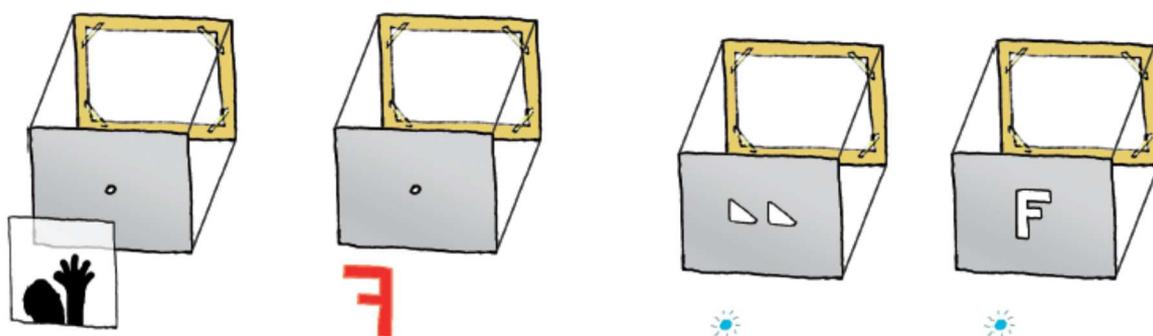
Introduciamo un secondo aspetto della misura: una descrizione matematica dell'esperimento. E così, si ripete l'esperimento e si verifica che avviene secondo la descrizione matematica. L'esperimento ha dentro delle cose matematiche: non sono ancora i numeri, ma delle regole geometriche.

L'esperimento ci fornisce una ottima introduzione all'ottica dei raggi di Euclide, un'ottica squisitamente matematica. Ottica geometrica.

Gli elementi dell'esperimento: il led (un punto), il forellino nello scatolone (un secondo punto), il raggio di luce (la retta passante per due punti!), lo schermo (un piano) ...

Punti, rette, piani...

Per saggiare la padronanza delle regole di formazione dell'immagine, possiamo distribuire dei disegni da completare, delle "domande disegnate".



Il buon esito della previsione può essere confermato dall'esperimento, che diventa così una misura che conferma o smentisce la previsione. Non lo dice l'insegnante se è giusta o sbagliata la previsione (anche se l'alunno lo chiede, anche se l'insegnante saprebbe dirlo), lo dice l'esperimento (l'insegnante dice fai la misura).

PRODOTTO 1

Kit Occhio Scatolone

<https://www.reinventore.it/shop/kit-classe/kit-occhioscatolone>

PRODOTTO 2

Mini-Kit OcchioSenzaScatolone

<https://www.reinventore.it/shop/esperimenti-in-mini-kit/mini-kit-occhiosenzascatolone>

PRODOTTO 3

Lente per Occhio Scatolone

<https://www.reinventore.it/shop/materiali/lente-per-occhioscatolone>

ALLEGATO 1

Scheda Occhio Scatolone – Reinventore: Primaria

ALLEGATO 2

Scheda Occhio Scatolone – Reinventore: Secondaria

ALLEGATO 3

Scheda Occhio Scatolone – Reinventore: Studenti

1.3 Talete e la piramide

TALETE E LA PIRAMIDE

Ed eccoci al terzo esperimento, terzo aspetto della misura: i numeri!

Allora andiamo a prendere una misura famosa, la misura di Talete dell'altezza della piramide. Talete riuscì a misurare una cosa che, nel folklore locale, nessuno sapeva misurare.



Parte del problema fu quindi risolvere il problema matematicamente: collegare diverse grandezze, la lunghezza delle ombre in primis, i triangoli simili.

E così introduciamo anche le “misure indirette”: combinando la misura di un bastone, la misura della distanza percorsa dall'ombra del bastone, e la distanza percorsa dall'ombra della piramide Talete raggiunge il risultato desiderato.

E con i numeri ci sono le unità di misura. Questi numeri sono un multiplo o sottomultiplo di un campione, di uno standard. E così tutte le cose sono in rapporto, tutte le cose sono in proporzione.

E i numeri nelle unità di misura, naturalmente, si portano dietro tutto il know-how sulla trasformazione da una unità di misura all'altra.

TOLOMEO E LA RIFRAZIONE

Forti dei “numeri” si può tornare all'esperienza di “Talete e la Rifrazione” e migliorarla, cercando di ricavare dei “numeri” (gli angoli di incidenza e rifrazione).

È quanto ha fatto Tolomeo, che ha ottenuto una tabella di risultati.

La Tabella della Rifrazione di Tolomeo	
i (angolo di incidenza)	r (angolo di rifrazione)
0°	0°
10°	8°
20°	15½° (15°30')
30°	22½°
40°	29°
50°	35°
60°	40½°
70°	45½°
80°	50°

Possiamo quindi vedere come la storia della scienza può arricchire l'argomento forse un po' noioso della misura. Andiamo a ripetere misure importanti del passato. Vediamo se riusciamo a riprodurle-ripeterle o a farle migliori.

LINK 3

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/la-rifrazione-della-luce>

PRODOTTO 4

Vaschetta semi-circolare per la rifrazione

<https://www.reinventore.it/shop/materiali/vaschetta-per-rifrazione>

PRODOTTO 5

Mini-kit rifrazione

<https://www.reinventore.it/shop/esperimenti-in-mini-kit/mini-kit-rifrazione>

1.4 Archimede e il diametro apparente del Sole

Ed eccoci a un quarto aspetto della misura, un aspetto molto importante, l'errore sperimentale, l'incertezza della misura, l'imprecisione, indeterminazione, l'errore assoluto. Come lo si voglia chiamare.

Qui condivido i risultati di una mia piccola ricerca, secondo cui questa introduzione si può attribuire ad Archimede. Non escludo che possa essere arrivato allo stesso risultato qualcuno prima di lui, ma per ora io non l'ho trovato, e nella letteratura nemmeno.

Veniamo dunque al nostro Archimede, di Siracusa, amico e compagno di scuola (ad Alessandria) di Eratostene, di Cirene. Che coppia!

Comunque, l'esperimento di Archimede in questione era stato considerato "rozzo" da Heath, curatore di una famosa raccolta di scritti di Archimede, e non incluso nella raccolta. A testimonianza che il discorso sull'errore sperimentale, insomma, non se lo fila nessuno.

È costume di Archimede, soprattutto nelle sue ricerche sul π , indicarlo come compreso tra due estremi, per esempio: maggiore di $223/71$ e minore di $22/7$ ($22/7$ è la celebre approssimazione usata anche da Dante).

E così fa anche in un suo importante esperimento, la misura del diametro apparente del Sole, che Aristarco indicava come mezzo grado (il grado sessagesimale di provenienza babilonese che usiamo ancora oggi).

Archimede conferma, segnalando che il diametro del sole è maggiore di $90/200$ e minore di $90/164$. L'esperimento si trova nel suo *Arenario*, la sua opera famosa (giunta completa fino a noi) in cui calcola il numero di granelli di sabbia che servono per riempire l'Universo.

La referenza sull'esperimento di Archimede è Alan E. Shapiro "Archimedes's Measurement of the Sun's Apparent Diameter", JHA vi (1975), 75-83.

LINK 4 <http://adsabs.harvard.edu/full/1975JHA.....6...75S>

Questo esperimento:

- Si può ripetere
- Si possono usare i dati per fare trasformazioni da angoli in gradi, primi, secondi o gradi decimali.

E inoltre:

- Si può usare come punto di partenza (l'introduzione dell'errore) per tornare indietro (alla piramide di Talete) e trattarla con gli errori assoluti e relativi.

Nella pagina di seguito, una scheda esempio di "esercizi distribuiti" sugli errori.

ESERCIZI PRE-VERIFICA

① ERRORE RELATIVO E ASSOLUTO

completare la tabella, come già fatto in classe:

	valore	errore assoluto	errore relativo fraz %
A	5	± 1	
B	8	± 2	

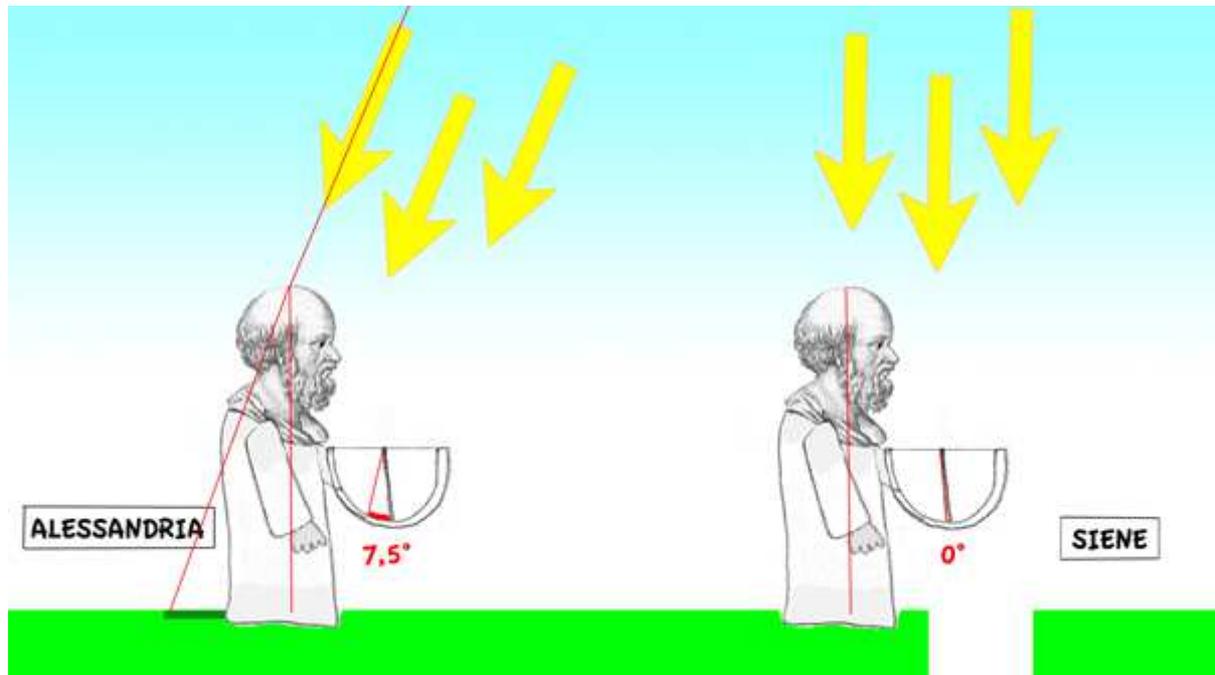
e per tutte le seguenti operazioni

OPERAZIONE	valore	errore assoluto	errore relativo
$A + B$		\pm	
$B - A$		\pm	
$10 \cdot A$		\pm	
A^2		\pm	
$A \cdot B$		\pm	
B^2		\pm	
A^3		\pm	

1.5 Eratostene

Non si può certo tacere di Eratostene, in quest'era di terrapiattisti.

Anche qui, l'ottica è l'ottica dei raggi semplice, l'ottica di Euclide. Raggi visuali, luci e ombre. Ma con questi pochi ingredienti, Eratostene realizza una misura straordinaria, la circonferenza della Terra! (Che era sferica lo sapeva già, la misura).



LINK 5

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/eratostene-e-la-misura-della-terra>
(questo link rimanda a tanti altri link, allegati, istruzioni, approfondimenti, video)

Dalla sua esperienza possiamo ricavare un suggerimento per una misura:

La misura della latitudine, con un bastone, un metro, un'ombra e il sole di mezzogiorno.



1.6 Archimede e gli specchi curvi

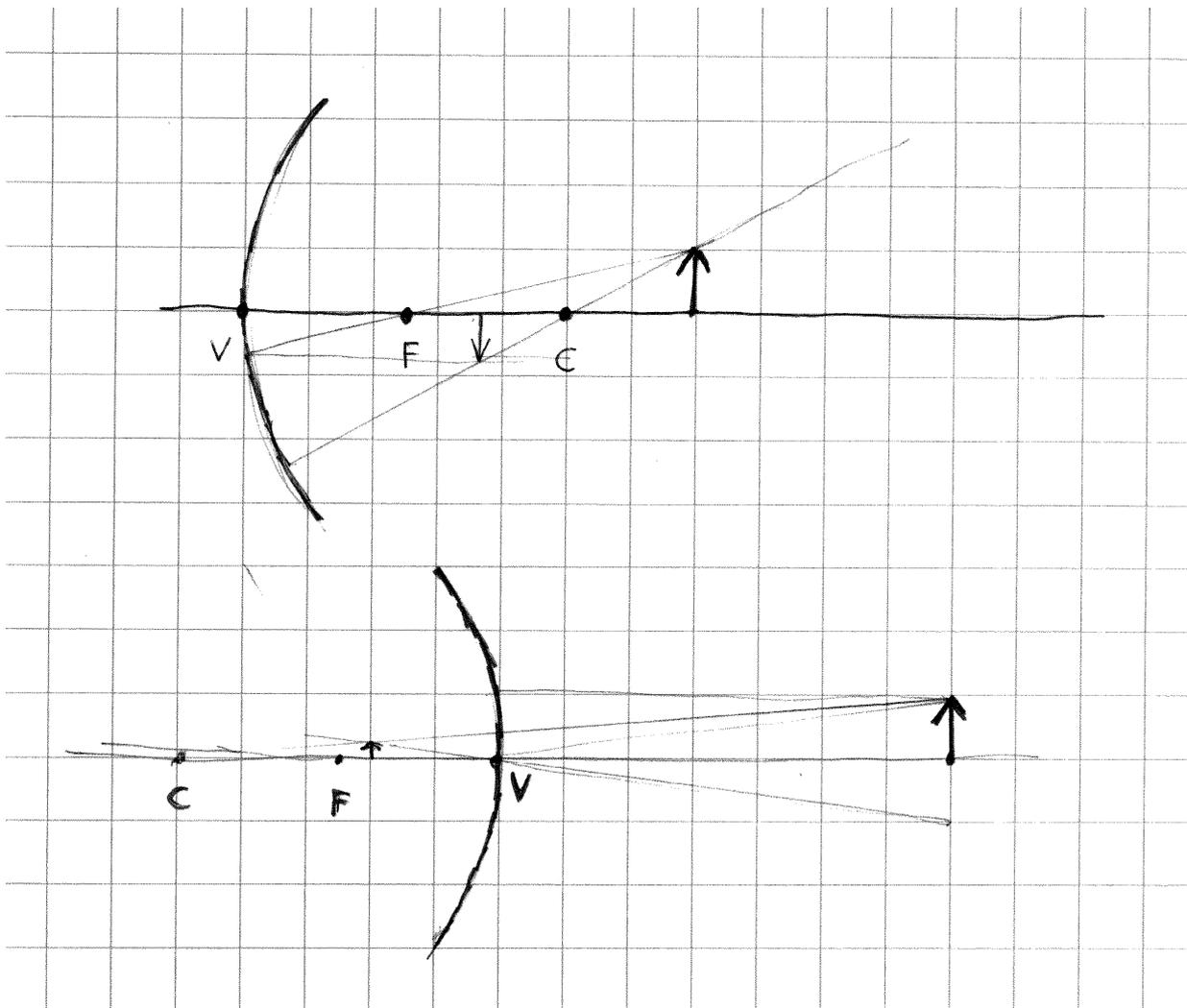
L'ottica dei raggi di Euclide viene ampliata in epoca "romana". Ecco gli specchi curvi, concavi e convessi. Sferici e parabolici. Entrambe le cose.

E qui la storia si confonde con la leggenda, "Archimede e gli specchi ustori".

LINK 6 <https://www.jstor.org/stable/3103202?seq=1>

Possiamo fare alcuni esperimenti sugli specchi curvi:

- Regole geometriche di formazione dell'immagine.
- Il cucchiaio (verifica delle regole)
- Il foglio a quadretti (numeri)
- Lo specchio da barba e la pallina dell'albero di Natale



1.7 Le lenti

Le lenti, il cui uso diffuso è medievale, erano note anche nell'antichità. E anche qui, ci sono diversi esperimenti:

- Regole geometriche di formazione dell'immagine [vedi schede]
- Le lenti degli occhiali (davanti a un muro inondato dal Sole)
- Lenti con i bicchieri
- Lenti con le gocce
- Misura del potere di ingrandimento della lente con foglio a quadretti

LINK 7

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/lenti-cannocchiali-e-telescopi>
(questo link rimanda a tanti altri link, allegati, istruzioni, approfondimenti, video)

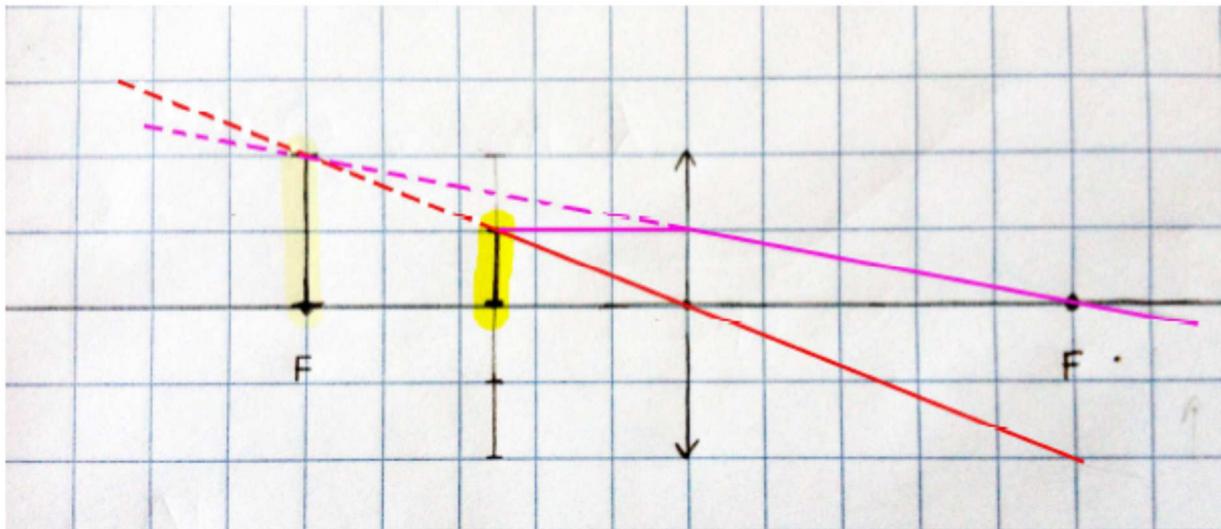
PRODOTTO 6

Lenti per la classe

<https://www.reinventore.it/shop/materiali/busta-con-30-lenti-in-acrilico>

LINK 8

<https://www.reinventore.it/uploads/files/approfondimenti/2014/06/Istruzioni-Esperimento-Lenti-Reinventore.pdf>



1.8 Il tubo di Grimaldi

Il passo successivo nella storia dell'ottica è la scoperta della diffrazione. La scoperta è opera del gesuita italiano Francesco Maria Grimaldi alla metà del 1600.

L'esperimento si può "replicare" facilmente [lo abbiamo visto rapidamente nella puntata su Planck, il fenomeno è alla base dello spettroscopio].

È sufficiente prendere un tubo e mettere all'estremità un capello e all'altra estremità un forellino per far entrare la luce del cielo o del sole. Il raggio sole, centrando il capello, viene "diffratto".

È questo un effetto non contemplato nell'ottica dei raggi.

Cosa fa un raggio di luce tagliato in due da un capello? Ma un raggio di luce è descritto come una retta, non ha dimensioni. E invece, si può fare. Il raggio si sparpaglia in tanti raggi, che vanno a formare una fila di luci perpendicolare al capello. Grimaldi parla di "undulazioni".

Nasce così l'ottica ondulatoria. L'ottica geometrica non viene abolita, ma "estesa".

Ci sono nuove caratteristiche per la luce:

- La lunghezza d'onda
- La velocità

I precedenti "raggi" vengono incorporati nella nuova teoria: diventano gli "assi" dei fronti d'onda.

L'esperimento si può "reinventare" anche senza tubo.

Con questo setup si può arrivare alla "misura della lunghezza d'onda della luce" come fece Young circa 150 anni dopo le prime scoperte di Grimaldi.

Il progresso dell'ottica, con questo "bersaglio", questa successione di cerchi concentrici, è una buona immagine del progresso (della storia) della fisica.

La useremo ancora, per la misura e per la meccanica.

LINK 9

<https://www.reinventore.it/approfondimenti/una-scoperta-epocale-in-un-libro-di-testo>
(questo link rimanda a tanti altri link, allegati, istruzioni, approfondimenti, video)



2. Breve Storia della Misura

Riassumiamo brevemente le tappe principali di una “storia della misura”.

2.1 Lo standard e il cubito reale egizio

Il primo step è l'introduzione di uno “standard”, un campione di riferimento. L'esempio principale è il “cubito reale egizio”, una sorta di “metro campione”.

Con esso ci sono le misure, l'unità di misura, la ripetibilità delle misure. La realizzazione e calibrazione di altre “copie” dello strumento di misura.

2.2 Archimede e Galileo

Archimede e il secondo step: l'errore di misura.

Il “dato” della “misura” non è un numero solo. Consta di due numeri: la misura e il suo errore. Se diciamo “Confrontiamo i dati”, dobbiamo considerare anche gli errori.

E quindi errore assoluto ed errore relativo, errore della somma ed errore del prodotto.

Sull'argomento interviene anche Galileo. Non era certo possibile che Galileo trascurasse gli errori di misura. Ne discute, infatti, ampiamente. Sia in ottica (gli ingrandimenti del cannocchiale, problemi legati alla percezione...) sia in meccanica.

Leggiamo questi passi giustamente noti dei Discorsi:

Aristotele dice: “una palla di ferro di cento libbre, cadendo dall'altezza di cento braccia, arriva in terra prima che una di una libbra sia scesa un sol braccio”; io dico ch'ell'arrivano nell'istesso tempo; voi trovate, nel farne l'esperienza, che la maggiore anticipa due dita la minore, cioè che quando la grande percuote in terra, l'altra ne è lontana due dita: ora vorreste dopo queste due dita appiattare le novantanove braccia di Aristotele, e parlando solo del mio minimo errore, metter sotto silenzio l'altro massimo.

Voi fate come molt'altri fanno che, divertendo il discorso dal principale intento, vi attaccate a un mio detto che manca dal vero quant'è un capello e che sotto questo capello volete nascondere un difetto d'un altro grande quant'una gomena di nave”

2.3 Gauss

Il terzo, e definitivo passo (o passi), sono quelli di Gauss. Egli può essere considerato il fondatore dell’“analisi degli errori”.

Due gli episodi principali:

- La previsione della posizione di Cerere, ottenuta con il metodo dei minimi quadrati (applicato non per trovare una retta ma una conica) a partire da alcune osservazioni dell'asteroide (“punti”) che il nostro ha “fittato”.

- La “gaussiana”. Sembra che un giorno all’Osservatorio Gauss si fosse arrabbiato con gli assistenti che non riuscivano a replicare precisamente le loro misure. Finché disse, Adesso vi faccio vedere come si fa! Però non riuscì a replicarle precisamente neppure lui...

E così, fece di necessità virtù, il Mozart dei matematici. Cominciò col fare un istogramma dei dati raccolti, e introdusse media, varianza, scarto quadratico medio, curva gaussiana (o distribuzione normale, curva a campana...)

2.4 Misure in casa

Detto questo, vediamo alcuni esercizi pratici, possibili compiti per casa.

- Il “report” del cubetto. Si distribuiscono cubetti di densità diverse, uno per ogni studente. Lo studente ne misura le dimensioni lineari (e l’errore = sensibilità dello strumento) e ricava il volume (con l’errore calcolato). Misura la massa (con l’errore = sensibilità dello strumento). E ricava la densità (con l’errore calcolato).
Può confrontare la densità con i valori che si trovano su internet, e produrre un “report” con le misure effettuate.

REPORT CUBETTO

- o Il cubetto ha massa $20,2\text{g} \pm 0,1\text{g}$ ^{0,001}
- o Il cubetto ha volume $15,6 \pm 0,3 \rightarrow 0,1\text{g}$
- o ha densità $1,29 \pm 0,13$ ^{(fatto da $\pm \text{er}(0,1 - 0,001)$)}
_{0,001 \times 1,29}
 $\pm 0,02$
- o il materiale è acrilico

Report di un mio studente

- Più semplice: la misura di quanta acqua esce dal rubinetto della vasca aperto al massimo. In litri al secondo, o litri al minuto. Individuare possibili fonti di errore (tipo, cerco di riempire un bicchiere ma l’acqua schizza dappertutto...)
- Pesare 1 kg di pasta o di riso (vedere se corrisponde).
- Pesare o misurare (col calibro) diversi oggetti uguali, stecchini, dadi da ferramenta, per costruire istogrammi.
- Ricavare misure tipo: spessore di una singola pagina di libro; volume o massa di una singola goccia che esce da una pipetta.

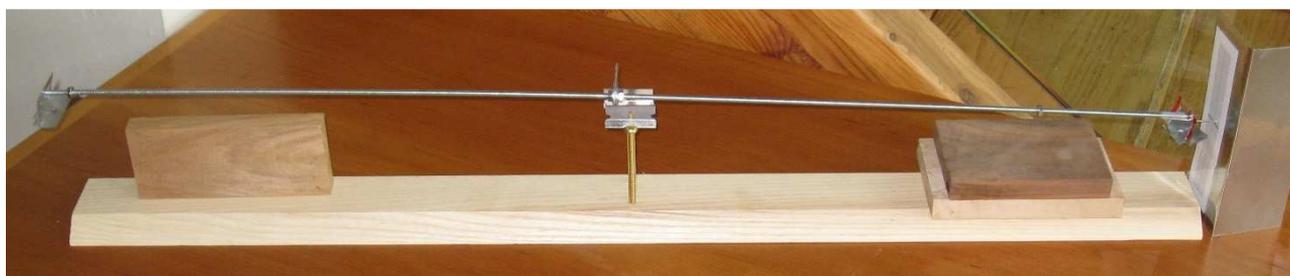
2.5 Strumenti di misura DIY

Si possono far costruire alcuni “strumenti di misura” direttamente ai ragazzi. Gli esempi più diffusi sono tre:

- La corda metrica (ovvero uno spago graduato per misurare distanze lunghe). Naturalmente una volta tornati a scuola si possono confrontare strumenti diversi, se danno gli stessi risultati.
- Il bicchiere graduato. Si prende un bicchiere grande e, riempiendolo a poco a poco, lo si gradua.
- La bilancia “alla frazione di grammo”, proposta da Scitoys.

LINK 10

https://sci-toys.com/scitoys/scitoys/mathematics/microgram_balance/balance.html



2.6 Enrico Fermi e Walter Lewin

Da studente, Enrico Fermi è noto per alcune sue “misure”. Proponiamo qui una parte del testo “Aspetti della formazione scientifica del giovane Fermi: il ruolo di Filippo Eredia e dell’Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica” di Giovanni Battimelli (Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, Roma)

LINK 11 <http://cma.entecra.it/PreScen/Fermi.htm>

È un tratto distintivo di Fermi, sempre ricordato e giustamente enfatizzato nelle varie biografie, quello di essere stato, in fisica e più in generale in campo scientifico, sostanzialmente un autodidatta. In un’Italia in cui le nuove teorie prodotte oltralpe sulla struttura della materia alla scala microscopica stentavano a penetrare ed erano praticamente sconosciute, Fermi si costruì da solo una solida competenza in matematica e fisica studiando autonomamente queste materie. E’ noto che un ruolo importante, nell’indirizzarlo verso questi studi e nel suggerirgli i testi da approfondire, fu svolto dall’ingegnere Adolfo Amidei, un amico di famiglia che aveva evidentemente saputo riconoscere ed apprezzare le eccezionali qualità del ragazzo. Un ruolo analogo fu certamente quello giocato dal suo insegnante di fisica durante gli anni trascorsi al liceo Umberto (ora Pilo Albertelli); proprio negli anni in cui Enrico Fermi (e con lui l’amico, e futuro collega Enrico Persico) transitò come studente per il liceo, vi insegnò fisica il direttore della sezione presagi dell’Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, Filippo Eredia. Le tracce dell’influenza esercitata da Eredia sulla formazione di Fermi sono documentate grazie alla fortunata circostanza che Enrico Persico conservò sia la corrispondenza scambiata con il compagno di studi durante quegli anni che gli appunti delle esercitazioni di laboratorio che essi svolsero (probabilmente su iniziativa autonoma, ma certamente sostenuti dalle indicazioni e dai consigli del loro insegnante) in quello stesso periodo, verso il termine dei loro studi liceali. Parte della corrispondenza scambiata tra i due giovani è pubblicata in appendice alla biografia di Fermi scritta da Emilio Segrè[1]. Egli ricorda come i due si dedicassero, negli ultimi anni di liceo, a misure di precisione di cose come l’accelerazione di gravità a Roma, la densità dell’acqua marcia, il campo magnetico terrestre. In particolare, intorno all’estate del 1917 i due amici costruirono un barometro ad acqua e se ne servirono per effettuare misure dopo avere determinato le procedure per la calibrazione dello strumento e calcolato con accuratezza i termini correttivi da apportare alle letture.

Il barometro era simile a un normale barometro di Torricelli, ma faceva uso di acqua anziché di mercurio; la parte superiore del cannello (in genere vuoto) era sostituita da un recipiente contenente dell’aria satura di vapor d’acqua. Questo strumento poteva perciò essere usato solo se si misuravano con accuratezza sia l’altezza della colonna d’acqua, che la temperatura; la calibrazione non era affatto semplice. I due ragazzi avevano calcolato una formula che permetteva di ottenere la pressione in funzione della temperatura e dell’altezza della colonna d’acqua.[2]

Una menzione diretta di questa attività (e del ruolo attivo di consulente scientifico svolto da Eredia) si trova nel seguente passo di una lettera inviata da Fermi a Persico verso il termine delle vacanze estive:

Io vado tutte le mattine alla Vittorio Emanuele. Qualche giorno fa sono stato dal prof. Eredia per fare graduare il barometro ma non l’ho ancora graduato perché, dietro consiglio del professore, farò sette o otto letture che poi confronterò con le pressioni che si sono avute, in modo da ottenere una media più esatta.[3]

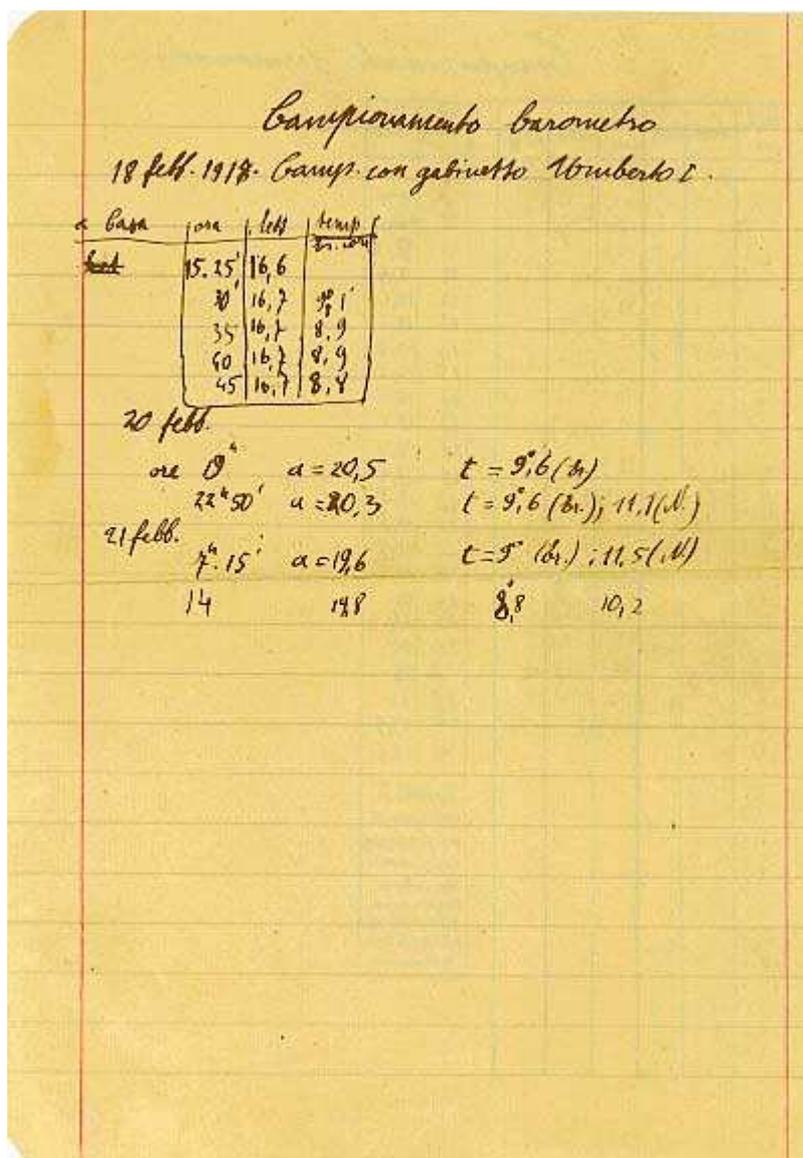
Nelle carte di Enrico Persico sono ancora conservati alcuni fogli di appunti e alcune tabelle di dati relativi a quelle osservazioni. Anche dalle poche tracce documentarie che ne sono rimaste, quello che

sorprende in questa attività dei due giovani non è tanto il fatto che si dilettaessero in ricerche non strettamente richieste dal curriculum scolastico, quanto il livello relativamente sofisticato dell'attrezzatura sperimentale da essi realizzata e delle esperienze svolte con essa; i due futuri professori di fisica teorica stavano acquisendo una confidenza con la manualità sperimentale e con la pratica di laboratorio che, in particolare nel caso di Fermi, avrebbero poi costituito un tratto distintivo della loro personalità scientifica matura. Certamente, il fatto che queste tabelle di dati e foglietti di appunti, piuttosto insignificanti come valore scientifico intrinseco, siano stati gelosamente conservati da Persico fino alla morte è un buon indicatore dell'importanza che soggettivamente i due ragazzi attribuivano a quelle esperienze nel proprio percorso formativo di fisici in erba.

Alcune illustrazioni si trovano qui:

LINK 12

<https://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/archivio/doc11.html>

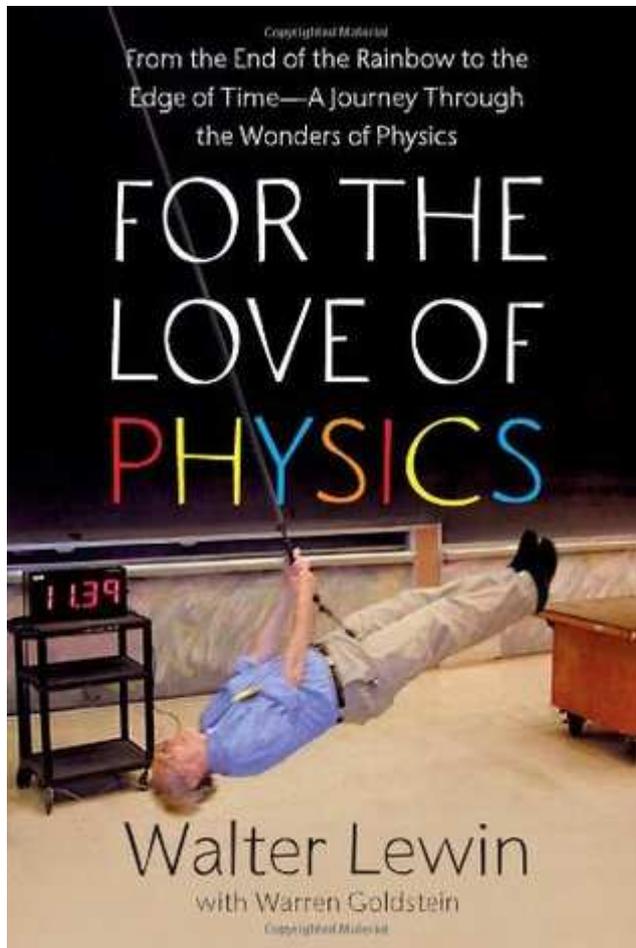


Ecco un esempio di quaderno dei dati, quaderno di laboratorio, appunti.

Walter Lewin, nel suo ciclo di lezioni, offre almeno due misure simpatiche e ripetibili:

LINK 13

https://books.google.it/books/about/Per_amore_della_fisica_Dall_arcobaleno_a.html?id=6RB0WMPTeZsC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false



Esperimento 1

Vedi pagina 41-42-43

L'altezza di una persona in piedi ($185,0 \pm 0,1$ cm)
e sdraiata ($187,5 \pm 0,1$ cm)

La differenza è $2,5 \pm 0,2$ cm.

La differenza è molto maggiore dell'errore sulla misura.

Esperimento 2 [Vedi copertina]

Pagina 73-74-75-76

il periodo del pendolo saltandoci su
(non dipende dalla massa)

3. Esperimenti e Misure dalla Storia della Meccanica

Il “bersaglio” o “macchia d’olio” dello sviluppo della meccanica è più difficile di quanto si pensi. Si può individuare una prima fase medievale (moto uniforme e accelerato, statica cinematica e dinamica). Poi c’è Galileo, la sua scuola, e Riccioli. Ha un posto importante anche Cartesio, che si porta dietro (per fare un esempio) le formule molto usate di per la legge oraria. Poi c’è Newton, e tutto si riscrive con il “calculus”, e si estende il concetto di forza. Poi, citiamo, Lagrange, e si rifà la trattazione con l’energia. Le “bucce” di questa “cipolla” sono numerose. Verranno approfondite in diverse lezioni.

Qui ci limitiamo a seguire, come esempio istruttivo, alcuni esperimenti sulla parabola nella storia della fisica.

3.1 Il moto dei gravi e Galileo

Nella gran mole di lavori sugli esperimenti di Galileo segnaliamo il lavoro del professor Roberto Vergara Caffarelli. Agli studi “critici” si accompagna la realizzazione di una “mostra” di esperimenti di Galileo, che può servire da spunto per attività didattiche.

LINK 14 <http://www.illaboratoriodigalileogalilei.it/>

Una “mostra di esperimenti”

LINK 15 <http://www.illaboratoriodigalileogalilei.it/galileo/ILLABORATORIODIGALILEO.pdf>

Uno studio “critico”: How long is Galileo’s *punctus*?

LINK 16 <http://www.illaboratoriodigalileogalilei.it/galileo/How%20long%20is.pdf>

Galileo e la parabola:

La introduce come soluzione dell’esperimento con il piano inclinato.

Fa disegnare delle parabole a palle inumidite su uno specchio.

Cerca di misurare se una catena appesa al soffitto disegna effettivamente una parabola oppure no

Torricelli conferma gli esperimenti sul moto parabolico dei proiettili.

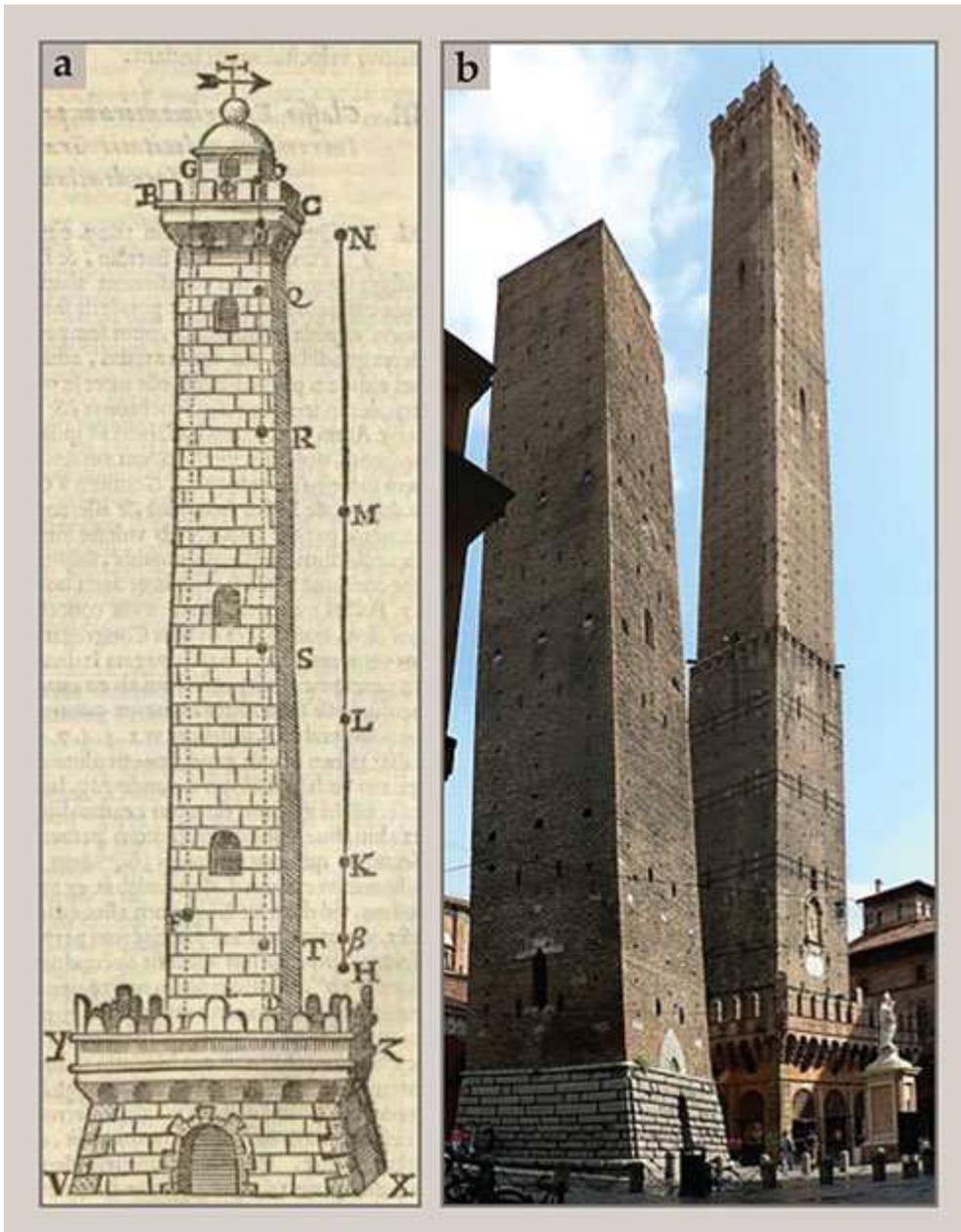
3.2 Il moto dei gravi e Riccioli

Riccioli conferma gli esperimenti con cadute di gravi dalla Torre degli Asinelli a Bologna.

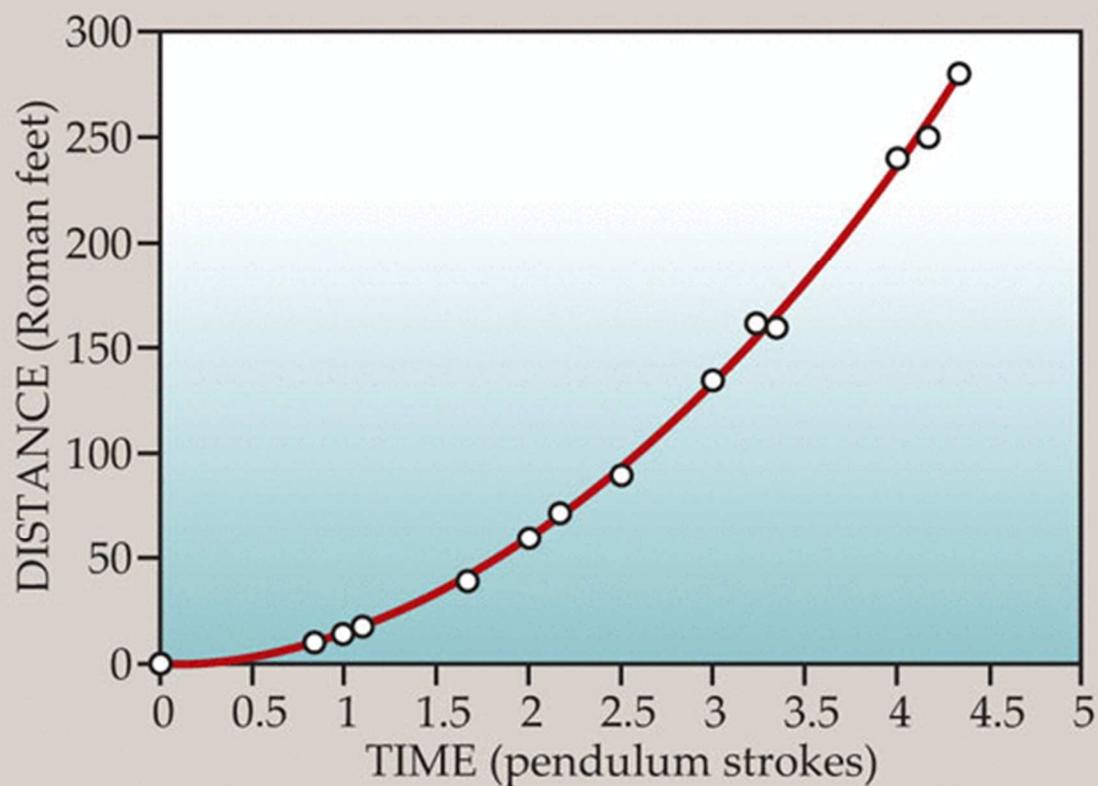
Segnaliamo l'articolo: "Anatomy of a fall: Giovanni Battista Riccioli and the story of g " del professor Christopher M. Graney di Louisville, USA.

LINK 17

https://pdfs.semanticscholar.org/de2c/b63deba30bd0bdc63256991733fb83a39798.pdf?_ga=2.85656991.724399893.1610462737-804102879.1604830068



Ordo experimentorum	Vibrationes Simples Perpendiculi alti vnciam $1 \frac{1}{8}$.		Tempus primi Mobilis respondens Vibrationibus.		Numeri Quadrati Vibrationum.	Spatia cōfecta à Globo argillaceo vnciarū 8. in fine temporū.	Spatia seorsim cōfecta fingulis temporibus.	Proportio Incrementi Velocitatis Grauium in Aëre nostrate.
	Vibr. Simpl.		Secūda	Tertia				
I.	5		0"	50"	25	10	10	1
	10		1	40	100	40	30	3
	15		2	30	225	90	50	5
	20		3	20	400	160	70	7
	25		4	10	625	250	90	9
II.	6		1	0	36	15	15	1
	12		2	0	144	60	45	3
	18		3	0	324	135	75	5
	24		4	0	576	240	105	7
	26		4	10	676	280	40	$8 \frac{1}{2}$
III.	$6 \frac{1}{2}$		1	5	42	18	18	1
	13 0		2	10	169	72	54	3
	$19 \frac{1}{2}$		3	15	381	162	90	5
	26 0		4	20	676	280	118	$6 \frac{7}{12}$



3.3 Il moto dei gravi e Leida

A Leida fu escogitato un famoso esperimento, la palla che cade attraverso anelli disposti lungo una parabola, si trova descritto da sGravesande, che conosceremo. Qui è riprodotto l'esemplare conservato al Museo Galileo.



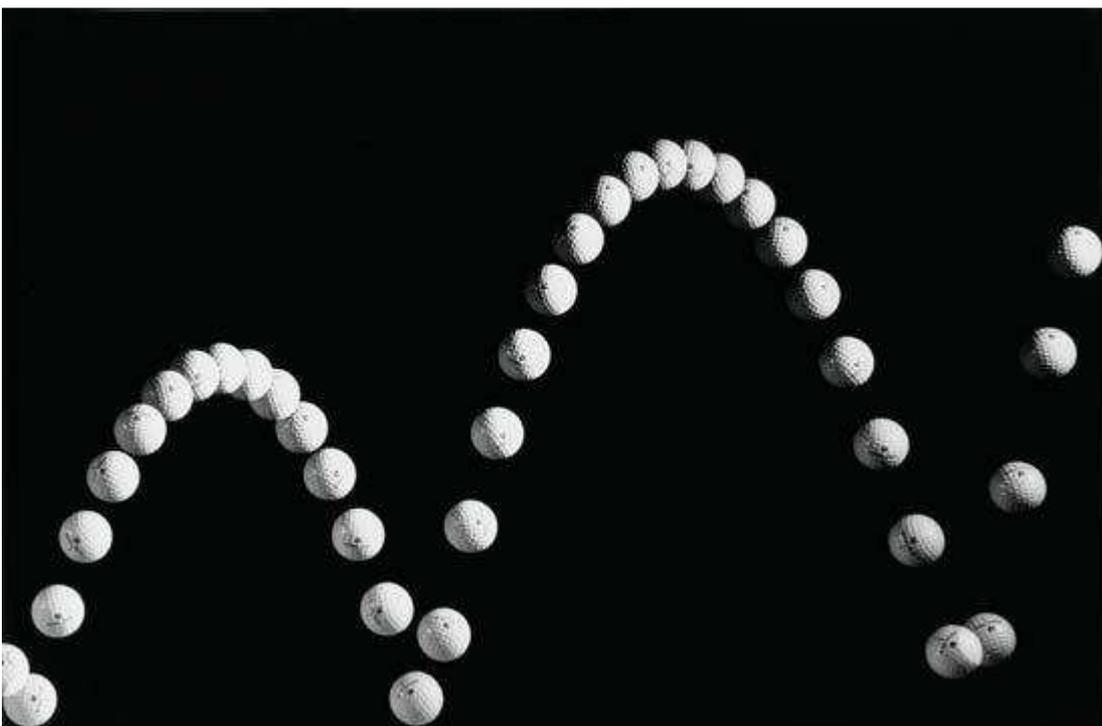
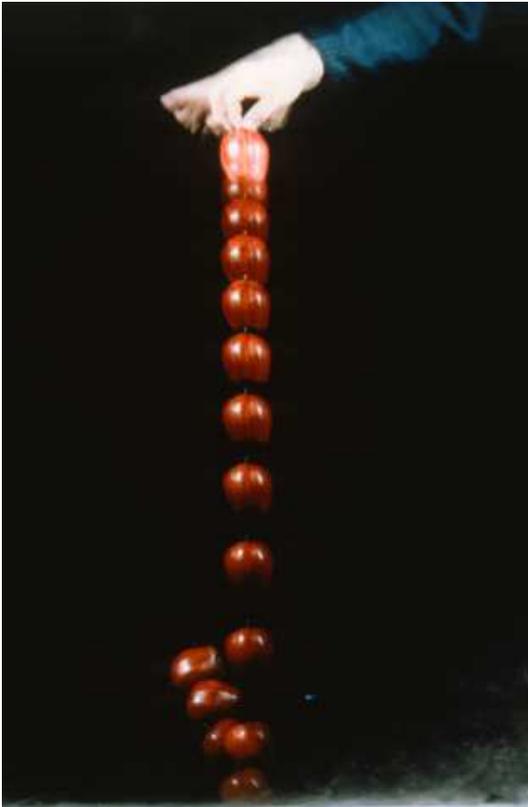
E un altro esperimento ancora dal Museo Galileo nella tradizione del Leiden Cabinet. Si tratta di un apparato che produce un getto di liquido, che disegna una parabola. Un getto di mercurio, costosissimo, pericoloso, e corrode l'ugello da cui esce. Nollet propose di sostituirlo con l'acqua.

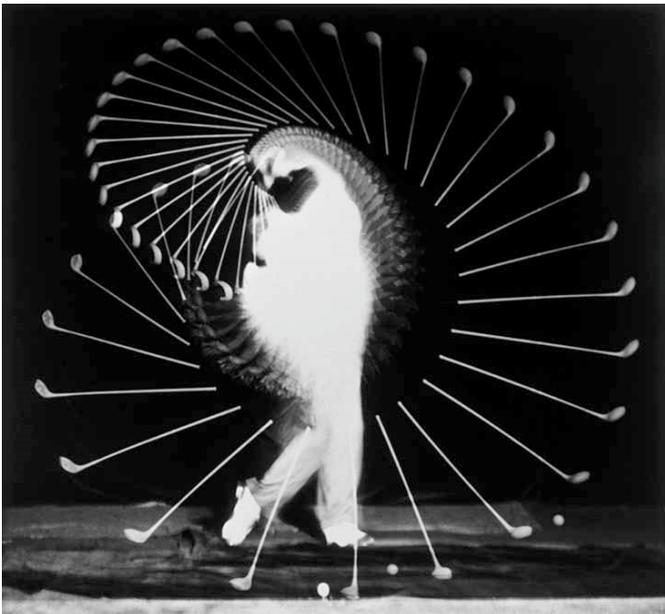
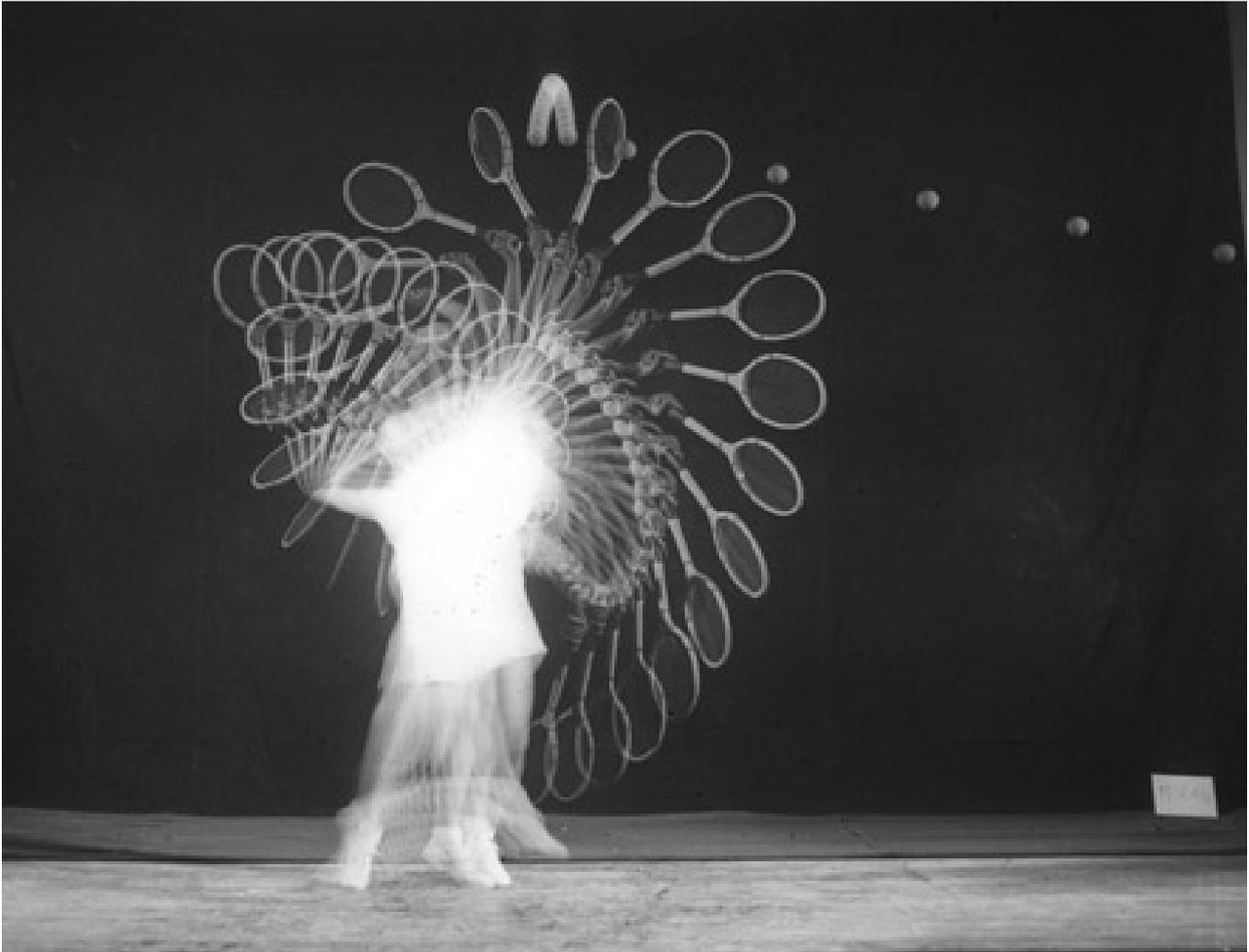


3.4 Il moto dei gravi e Doc Edgerton

Saltiamo qualche secolo, ecco Doc Edgerton, e le foto stroboscopiche.
Edgerton Digital Collection (EDC project)

LINK 18 <https://edgerton-digital-collections.org/galleries/museum>



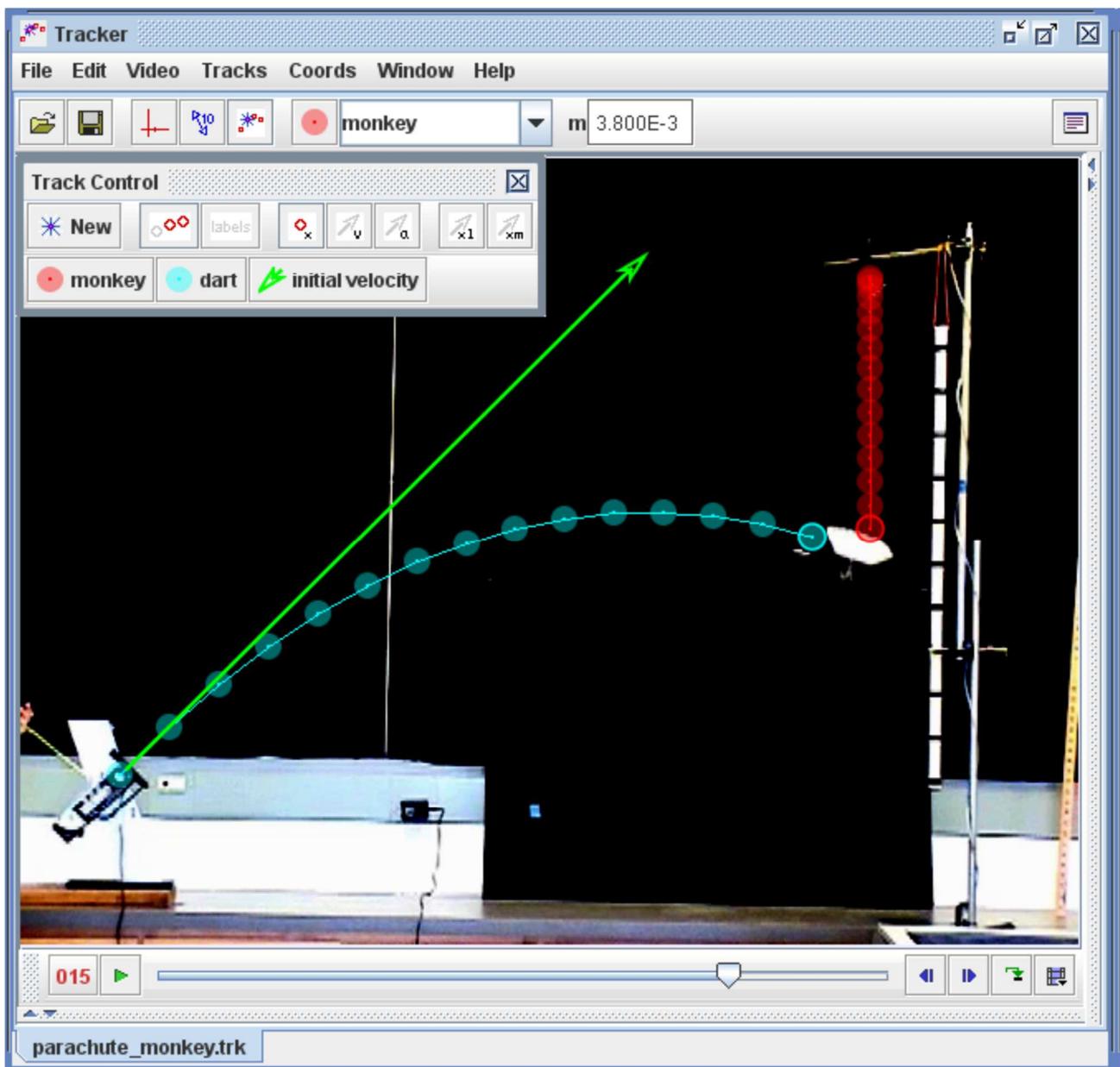


Sono immagini molto belle, su cui si possono fare discussioni, ed eventualmente anche misure.

3.5 Il moto dei gravi e Tracker

Il software Tracker permette di ricavare dati dal video, ed effettuare così misure molto precise. Si possono quindi riprendere traiettorie di palloni da basket e ricavare l'accelerazione di gravità, la velocità, eccetera.

LINK 19 <https://physlets.org/tracker/>



3.6 Il moto dei gravi e PhET

Le applet di PhET permettono istruttive visualizzazioni dei moti parabolici e dei vettori che li caratterizzano.

LINK 20 <https://phet.colorado.edu/it/simulation/projectile-motion>

The screenshot shows the PhET Projectile Motion simulation interface. The main area displays a cannon on the left firing a projectile at an 80-degree angle. The projectile's path is shown as a purple curve. At three points along the path, velocity vectors (green arrows) and acceleration vectors (yellow arrows) are shown. The acceleration vectors are constant and point downwards. A target is located 15.0 m from the cannon. The interface includes a control panel on the right with the following settings:

- Palla di cannone: 0.8 m (Diametro)
- Massa: 5 kg
- Resistenza dell'aria: 0.47
- Vettori velocità (green arrow)
- Vettori accelerazione (yellow arrow)
- Vettori forza (black arrow)

At the bottom, there is a control bar with the following elements:

- Velocità iniziale: 18 m/s
- Buttons for home, help, play, and slow motion (Lento).
- Speed settings: Normale and Lento.
- Navigation icons for Introduzione, Vettori, Resistenza dell'aria, and Sperimenta.
- The PhET logo.