



Chiara Paolizzi

Scuola Media Vicentini, Chieti
II H a.s. 2005/06

... e tutto giù per terra!
Una caduta storica

Galileo Galilei,

*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla
meccanica e i movimenti locali*

Classici della Scienza, UTET, terza edizione 1996, ristampa 1999.

Il lavoro presentato è una porzione di un'unità di apprendimento più vasta, dal titolo “Un mondo ben proporzionato”, che comprende anche la proporzionalità. In questa UdA ho voluto trattare la proporzionalità come strumento utile per la descrizione di fenomeni fisici, in particolare lo studio della caduta dei gravi.

L'impostazione del lavoro, è **fortemente sperimentale**, ed ha un preciso ed importante **taglio storico**.

Abbiamo affrontato lo studio di tale fenomeno seguendo la trattazione che ne fa Galileo nei *Discorsi intorno a due nuove scienze* e, soprattutto, mettendo a confronto le ipotesi esposte da Galileo nel suo libro, con quelle elaborate dagli alunni.

Luca non stai mai fermo, ma sai cosa significa stare fermi?

Concetti e miscocetti sullo stare fermi, sul muoversi, sulla velocità; era necessario fare ordine tra tutte quelle idee, e noi non eravamo certo i primi a desiderare tale ordine.

Tanti ci avevano provato, e uno scienziato in particolare, in un libro importante aveva raccolto le idee dei suoi predecessori, commentandole correggendole e arrivando a delle sue conclusioni importantissime. Sapete chi era? Era **Galileo**



Diamo avvio a una nuovissima scienza intorno a un soggetto antichissimo. Non v'è, forse, in natura, di più antico del moto, e su di esso ci sono non pochi volumi, ne di piccola mole, scritti dai filosofi; tuttavia tra le sue proprietà ne trova molte che, pur degne di essere conosciute, non sono mai state finora osservate, nonché dimostrate.

*Se ne rilevano alcune più immediate, come quella, ad esempio, che il moto naturale dei gravi discendenti accelera continuamente; **però secondo quale proporzione tale accelerazione avvenga, non è stato sin qui mostrato ...***

Scena 1 il moto equabile

Circa il moto equabile ci occorre una sola definizione, che formulo così: moto eguale o uniforme intendo quello in cui gli spazi percorsi da un mobile in tempi uguali, risultano tra loro uguali

Ecco il mobile (*porta un tavolino con delle rotelle*) che io posso lanciare e questo si muove, appunto un mobile...

Galileo dice che il moto equabile è quando in tempi uguali il nostro mobile percorre spazi uguali.



ASSIOMA 1

In uno stesso moto equabile, lo spazio percorso in un tempo più lungo è maggiore dello spazio percorso in un tempo più breve



Uno del pubblico per piacere mi conti fino a 3 (*mentre uno del pubblico conta l'assistente fa avanzare il tavolo*). Ecco, vede, nel tempo tre il mobile ha percorso questo spazio; ora per cortesia mi conti fino a 5 (*e ancora fa avanzare il tavolo fino alla fine del conteggio*). Ecco, vede, ora il mobile ha percorso uno spazio più lungo perché è passato più tempo e il moto era sempre quello.

L'ha detto Galileo, ma ci potevo arrivare anche io...

ASSIOMA 2

In uno stesso moto equabile, il tempo in cui è percorso uno spazio maggiore è più lungo del tempo impiegato a percorrere uno spazio minore.

Ecco sempre il nostro mobile... se lo devo spostare da qui sin lì ci metto un po' (*sposta il tavolino di un po'*), ma se lo devo spostare da qui sin laggiù (*indica un punto in fondo alla sala*) e vado alla stessa velocità ci metto di sicuro di più!



ASSIOMA 3

Lo spazio, percorso in un dato tempo a velocità maggiore, è maggiore di quello percorso, nello stesso tempo, a velocità minore

Dunque... prendiamo per esempio un tempo di 3... se io spingo il mobile rapidamente farà un bel po' di spazio (*e spinge velocemente il tavolo mentre la persona del pubblico conta fino a tre*). Se invece lo spingo come una lumaca di spazio ne farà certo di meno (*e spinge il tavolino piano piano mentre il pubblico conta fino a tre*). Bhe... mi sembra che del moto equabile abbiamo già detto tutto... chissà se nel futuro diranno qualcosa di più...

Come possiamo descrivere il moto equabile in un linguaggio moderno?

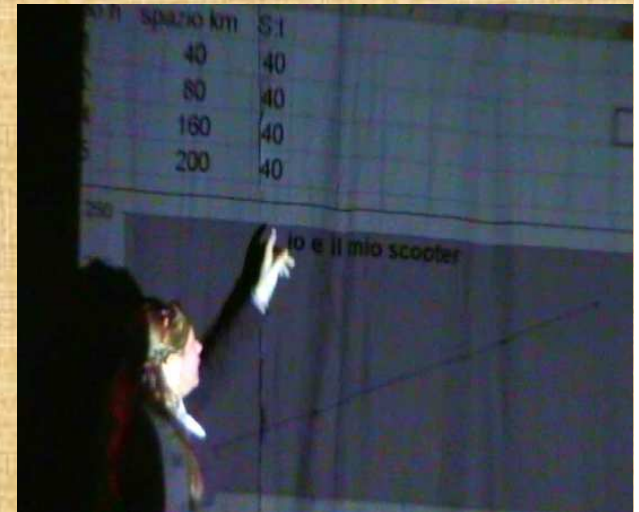
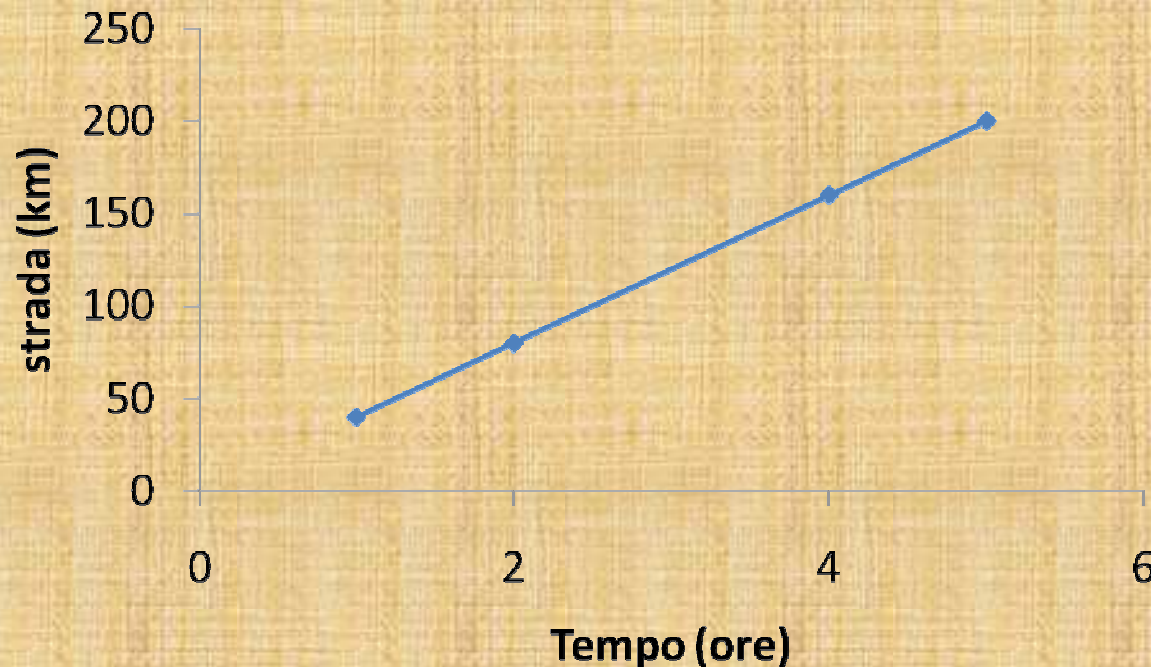


Cominciamo subito con il dire che nel futuro il moto equabile si chiama **rettilineo uniforme**! E poi certo che abbiamo detto qualcosa di più!!!

Con il mio scuter io faccio 40 Km in un'ora, quindi se guido senza fermarmi per due ore ne faccio 80, se guido per 4 ore sempre senza interruzioni né semafori, né pedoni che intralciano, ne faccio 160, e se guido per 5 ore di fila (noi donne del futuro sappiamo fare anche questo!!) ne faccio 200!

	A	B
1	tempo (ore)	strada (km)
2	1	40
3	2	80
4	4	160
5	5	200
6		

Ora vedete che io posso mettere in un grafico questi spazi che ho percorso e i rispettivi tempi e guardate cosa si ottiene... una retta!!



Che ci indica che la proporzionalità tra spazio e tempo, in un MOTO UNIFORME (EQUABILE), è diretta.

Non solo... infatti il rapporto (cioè la divisione) tra spazio e tempo è costante e se non ci credete ve lo mostro subito.

	A	B	C
1	tempo (ore)	strada (km)	strada/tempo
2	1	40	40
3	2	80	40
4	4	160	40
5	5	200	40

Questa costante la conosciamo tutti (e la conoscevano anche al tempo di Galileo) è la velocità, che si calcola quindi $S : t$

Ovviamente ci sono anche le formule inverse per determinare lo spazio sapendo velocità e tempo e per determinare il tempo sapendo velocità e spazio, ma sarebbe un po' lungo e ora devo proprio andare perché ho un impegno...

Presto presto andiamo, non fatemi fare tardi... presto...

Scena 2 la prima ipotesi

Le proprietà del moto equabile sono state considerate, ora dobbiamo trattare del moto accelerato

Dunque, il maestro dice che un moto accelerato si ha quando la velocità cambia e la caduta dei gravi è di sicuro un moto accelerato perché la velocità all'inizio è zero e poi diventa bella grossa



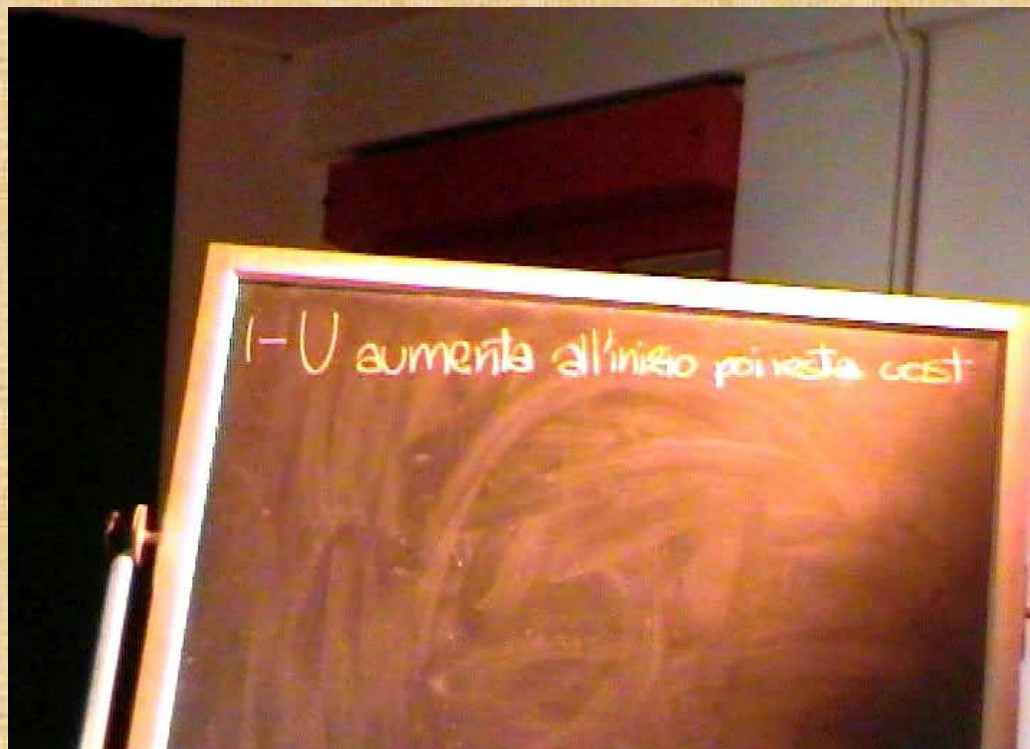


Quindi al maestro non interessa capire perché gli oggetti cadono, ma **COME** cadono!

Non mi par tempo opportuno d'entrar al presente nell'investigazione della causa dell'accelerazione del moto naturale, intorno alla quale da varii filosofi varie sentenze sono state prodotte, le quali fantasie con altre appresso, converrebbe andare esaminando e con poco guadagno risolvendo. Per ora basta al nostro Autore che noi intendiamo che egli ci vuole investigare e dimostrare alcune passioni di un moto accelerato (qualunque sia la causa della sua accelerazione)

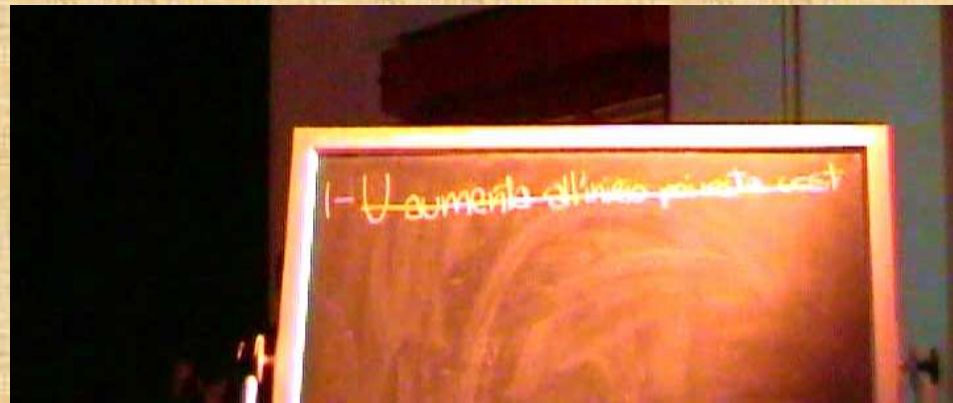
Voi dite parervi che l'esperienza mostri, che a pena partitosi il grave dalla quiete, entri in una molto notevole velocità

Sì e dopo che l'ha raggiunta, continua a muoversi senza aumentarla più!



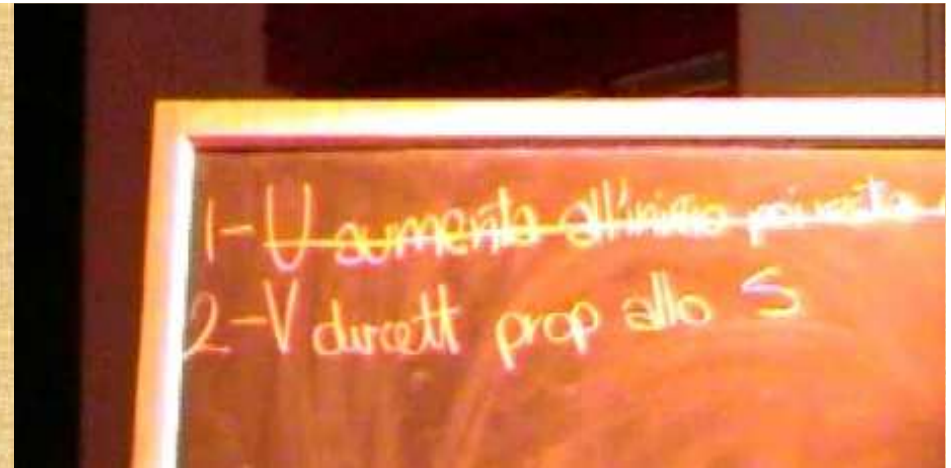
Posate un grave sopra una materia cedente, lasciandovelo sin che preme quanto egli può con la sua semplice gravità: è manifesto che, alzandolo un braccio o due, lasciandolo poi cadere sopra la medesima materia, farà con la percossa nuova pressione, e maggiore che la fatta prima co' l' solo peso; e l' effetto sarà cagionato dal mobile cadente congiunto con la velocità guadagnata nella caduta, il quale effetto sarà più e più grande, secondo che da maggior altezza verrà la percossa, cioè secondo che la velocità del percuziente sarà maggiore.

Quanta dunque sia la velocità di un grave cadente, lo potremo noi senza errore congetturare dalla qualità e quantità della percossa...



Scena 3

la seconda ipotesi



Veramente io sarei tra quelli che credono che il grave scendendo acquista velocità in ragione dello spazio, cioè se cade da altezza doppia la velocità a terra è doppia. È sì mi pare proprio che sia così...

Dunque adesso fanno un'altra ipotesi... che detta nel linguaggio del futuro dice che

la velocità con cui tocca terra è direttamente proporzionale allo spazio percorso.

E pur è tanto falsa e impossibile, quanto che il moto si faccia in un istante: ed eccovene chiarissima dimostrazione. Quando le velocità hanno la medesima proporzione che gli spazi passati o da passarsi, tali spazi vengon passati in tempi uguali; se dunque le velocità con le quali il cadente passò lo spazio di quattro braccia, furon doppie delle velocità con le quali passò le prime due braccia, adunque i tempi di tali passaggi sono uguali...

Un momento Galileo... fermati un po' che non riesco a capire bene... facciamo che il cadente o meglio caDENTI... facciamo cadere dall'altezza di due braccia e diciamo che quando tocca terra la sua velocità è v .

$$S_1 = 2 \text{ braccia}$$

$$V_1 = v$$



Ora invece faccio cadere il cadenti da 4 braccia... Galileo prestami la tua sedia che non ci arriviamo... Ecco faccio cadere il cadenti...

Secondo l'ipotesi visto che lo spazio è raddoppiato anche la velocità a terra sarà doppia!

$$S_2 = 4 \text{ braccia}$$

$$V_2 = 2 \cdot v$$

adunque i tempi di tali passaggi sono uguali...



Calcoliamo il tempo della prima caduta

$$t_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{2}{v}$$

e ora calcoliamo il tempo della seconda caduta

$$t_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{4}{2 \cdot v} = \frac{2}{v}$$

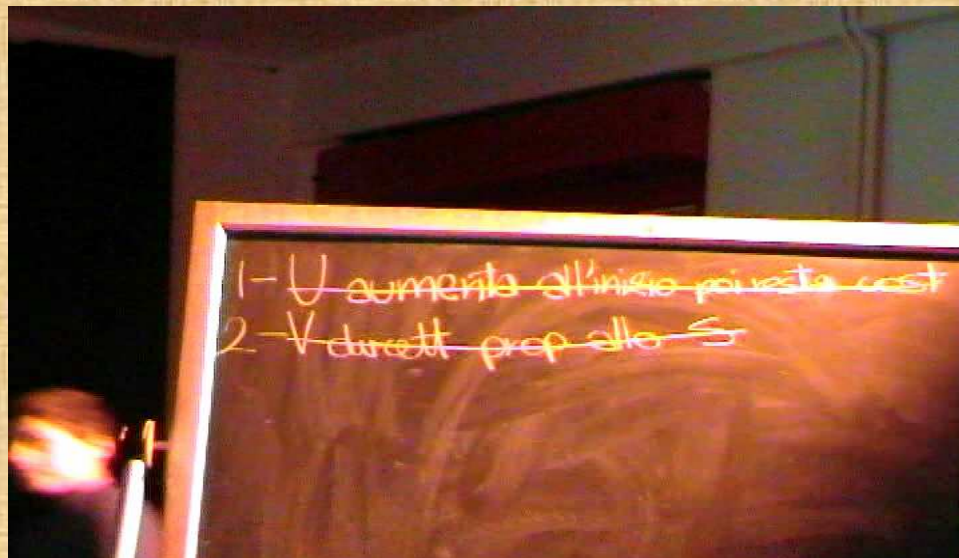
...e allora ha ragione Galileo i tempi sono uguali...

ma come è possibile che per cadere da 4 braccia ci impieghi lo stesso tempo che per cadere solo da due...



Ma passare il medesimo mobile le quattro braccia e le due nell'istesso tempo, non può aver luogo fuor che nel moto istantaneo: ma noi veggiamo che il grave cadente fa suo moto in tempo, ed in minore passa le due braccia che le quattro; adunque è falso che la velocità sua cresca come lo spazio

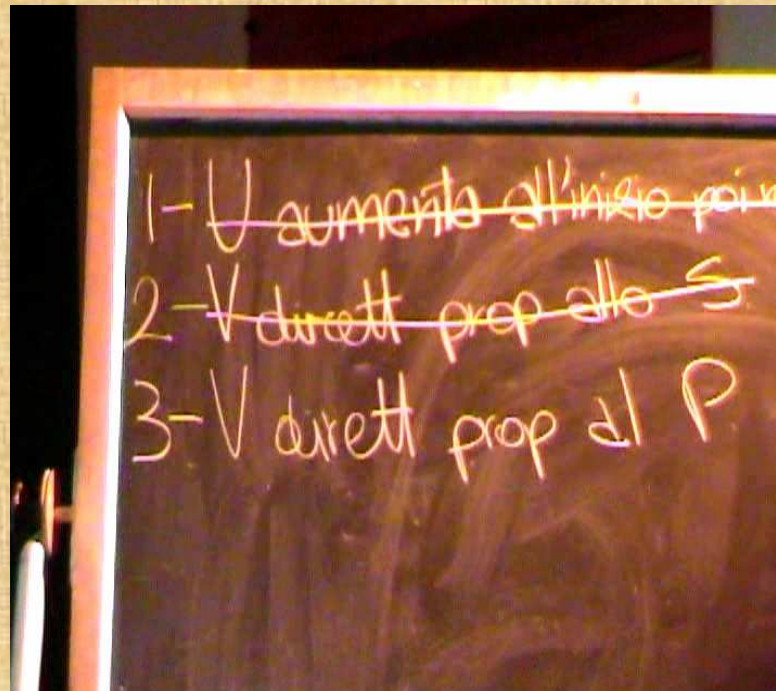
Stavolta ci avevo quasi creduto... e invece era sbagliata pure questa ipotesi!



Scena 4 la terza ipotesi

Galileo io sono un po' confuso... ero così sicuro della mia ipotesi, ma tu hai dimostrato chiaramente che era falsa...

Ora a me pare che Aristotele aveva ragione quando sosteneva che la velocità dipende dal peso e se il peso è doppio anche la velocità è doppia.



The background of the slide is a photograph of the Leaning Tower of Pisa, showing its characteristic tilt and the repeating arches of its facade. The text is overlaid on the left side of the image.

Simplicio mi sa che anche sta volta ti stai sbagliando perché io ho visto l'esperimento che ha fatto Galileo un giorno che ero con lui.

Con queste due palle, la grande è di artiglieria e la piccola di moschetto siamo saliti sulla Torre di Pisa.

Ora tu vedi come è piccola quella di moschetto... pesa mezza libra! Invece quella di cannone pesa 100 libbre cioè 200 volte di più!!

Se pesa 200 volte di più... dovrebbe arrivare 200 volte prima...

Esatto... e invece non accade!!! **Arriva prima ma solo di un palmo!** E quindi l'ipotesi di Aristotele non è corretta!



*Ma, senz'altre esperienze,
con breve e concludente
dimostrazione possiamo
chiaramente provare, non
esser vero che il mobile più
grave si muova più
velocemente d'un altro men
grave.*

*Quando noi avessimo due mobili, le naturali velocità dei quali
fussero ineguali, è manifesto che se noi congiungessimo il più
tardo col più veloce, il veloce dal tardo sarebbe in parte
ritardato, ed il tardo in parte velocitato dall'altro più veloce.*

Non concorrete voi meco in quest'opinione?

Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muova, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, congiungendole il loro composto si muoverà con velocità minore di otto, per esempio sei.

Ma le due pietre congiunte insieme fanno una pietra maggiore che della prima e quindi secondo la vostra ipotesi dovrebbero muoversi con velocità maggiore di otto, invece...

Contraddizione!

Concludiamo per ciò, che i mobili grandi e i piccoli ancora, essendo della medesima gravità in specie, si muovono con pari velocità!



Il vostro discorso procede benissimo veramente: tuttavia mi par duro a credere che una lagrima di piombo e una palla di artiglieria arrivano a terra insieme!



Simplicio tu hai in parte ragione perché se io faccio cadere questa carta e questa moneta è sicuro che la moneta che è di metallo arriva prima...

Ma se io accartoccio il foglio di carta poi lo lascio cadere, vedi che la carta cade più veloce di prima... ma, dimmi Simplicio, è forse diventata più pesante?



E ora sta bene attento ... ora io ho questo pezzetto di carta, e lo faccio cadere di fianco alla moneta. Chi arriva prima a terra?

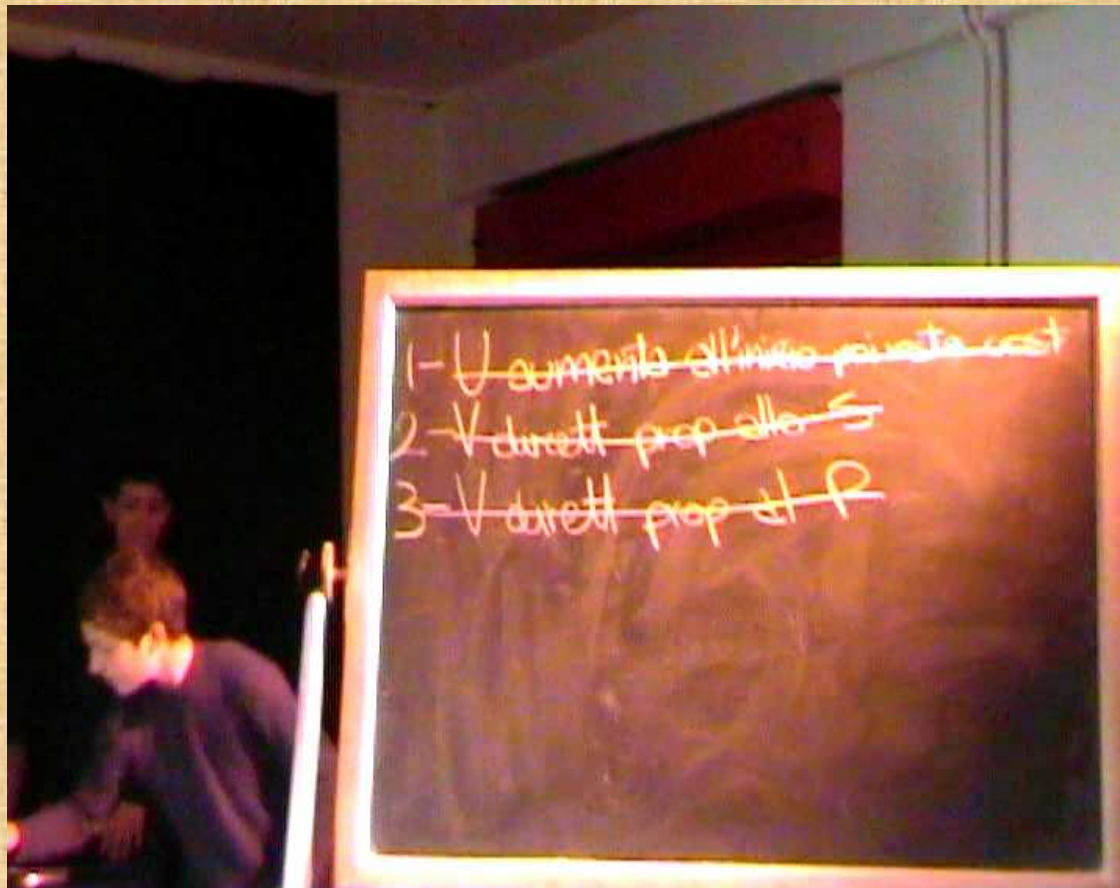
Che domanda... la moneta!!

Ora però la carta la appoggio sopra alla moneta... guarda bene che non è mica incollata è solo appoggiata. E ora lascio cadere, chi arriverà prima?

...



Questa volta Galileo e il suo assistente sono stati grandi... la carta... la moneta... non ci avrei creduto se non lo avessi visto con i miei occhi...



Scena 5 la quarta ipotesi

Nell'altra posizione Aristotele piglia che le velocità del medesimo mobile in diversi mezzi ritengano tra loro la proporzione contraria di quella che hanno le grossezze di essi mezzi; talmente che posto che la crassizie dell'acqua fusse dieci volte maggiore di quella dell'aria, vuole che la velocità nell'aria sia dieci volte più che la velocità nell'acqua.

Questo mi sembra giusto perché se io corro sulla riva al mare vado veloce ma se corro nell'acqua fino alla vita faccio una fatica del diavolo e vado molto più piano!

Dunque abbiamo una quarta ipotesi:

la velocità è inversamente proporzionale alla densità

Questo è falso e mi meraviglio che per voi stesso non penetriate la fallacia, e che non vi accorgiate che quando fusse vero che l'istesso mobile in mezzi di differente sottilità e rarità...

... insomma di diversa cedenza come per esempio sono l'acqua e l'aria

si movesse con velocità nell'aria maggiore che nell'acqua, ne seguirebbe che ogni mobile che scendesse per aria scenderebbe anco nell'acqua.

l'ipotesi è tanto falsa quanto che moltissimi scendono nell'aria, che nell'acqua non pur non discendono, ma sormontano all'insù

Scena 6 la quinta ipotesi

Per ora basta al nostro Autore che noi intendiamo che egli vuole dimostrare che i momenti della sua velocità vadano accrescendosi, dopo la sua partita dalla quiete, con quella semplicissima proporzione con la quale cresce la continuazione del tempo, che è quanto dire che in tempi uguali si facciamo eguali additamenti di velocità

Ecco un'altra ipotesi:

**la velocità è direttamente
proporzionale al tempo**



Ma si deve fare un'esperienza per verificare l'ipotesi. Dunque dovremmo misurare la velocità e il tempo... certo che non è facile... noi ce l'abbiamo uno strumento di misura della velocità?



strumento per misurare la velocità!

spazio e poi ricavare la velocità

perché il moto non è equabile

non sarà la velocità media.

È una buona idea, e il tempo come facciamo? È un tempo **molto corto...**

Galileo noi abbiamo un orologio questo! Ma non è molto preciso e questo tempo è troppo corto per essere ben misurato dal nostro orologio.

Questo è un problema... dovremmo trovare il modo di **rallentare la caduta** per aver dei tempi più lunghi che possiamo misurare...

Assumo che i gradi di velocità, acquistati da un medesimo mobile su piani diversamente inclinati, siano eguali allorché sono eguali le elevazioni di quei piani medesimi

Figuratevi questo foglio essere una parete eretta all'orizzonte, e da un chiodo fitto in essa pendere una palla di piombo di un'oncia o due sospesa da sottil filo. Nella parete segnate una linea orizzontale. Trasferendo il filo con la palla all'altezza della linea, lasciate essa palla in libertà, la quale sormonterà fino quasi alla segnata parallela, toltogli il precisamente arrivarvi dall'impedimento dell'aria e del filo ... dal che possiamo veracemente concludere che l'impeto acquistato dalla palla, nello scendere, fu tanto, che bastò a risospingersi alla medesima altezza.

Cioè la velocità nel punto più basso è la stessa sia che la palla arriva da destra che da sinistra



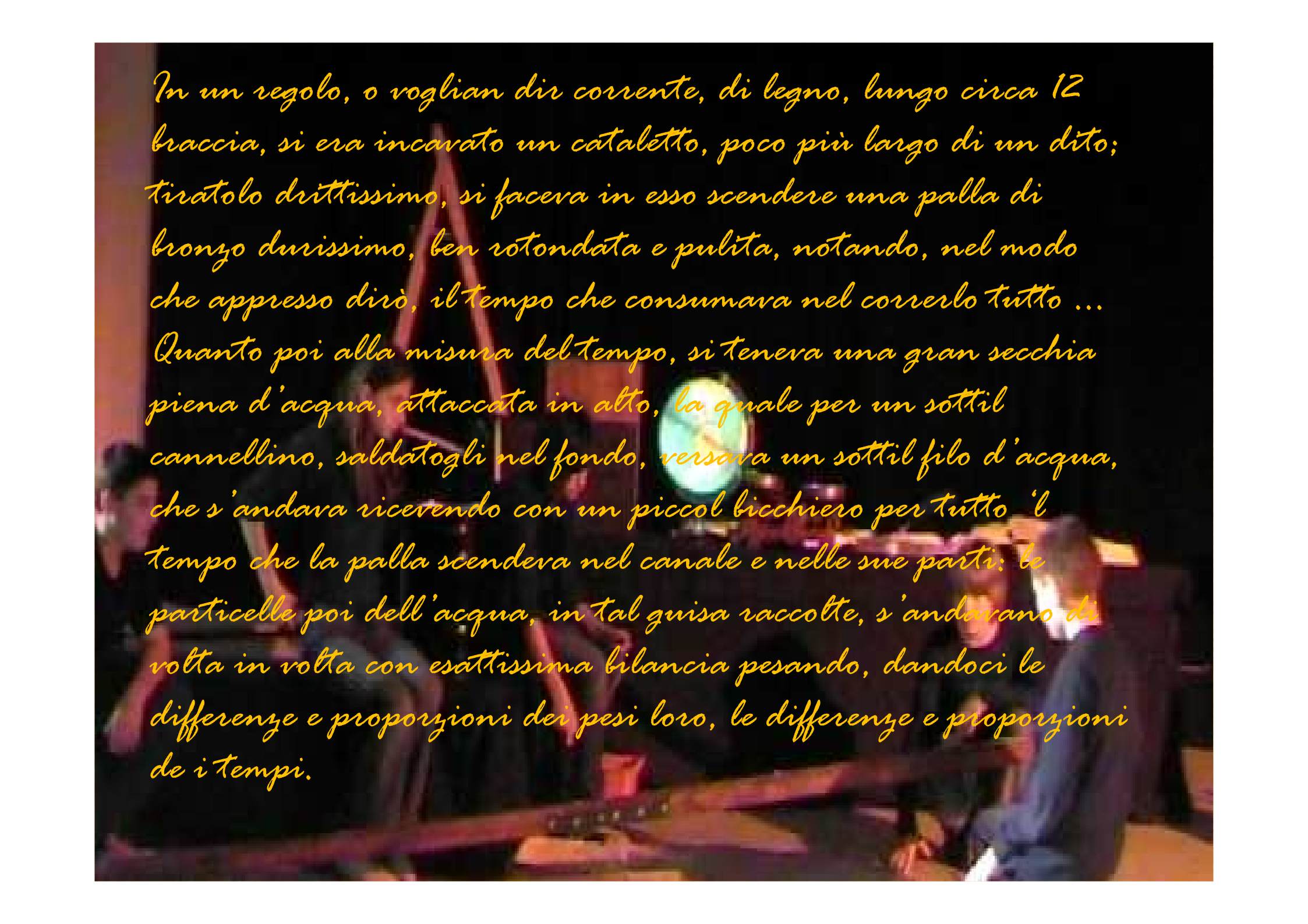
Fatta e più volte reiterata questa esperienza voglio che ficchiamo nella parete, rasente al perpendicolo, un chiodo che sporga in fuori di cinque dita, e questo acciò che il filo tornando, come prima a riportar la palla... intoppando il filo nel chiodo sia costretta a camminare per un'altra circonferenza. Ora Signori voi vedrete con gusto ove arriva la palla!



Sia venendo da destra che da sinistra la palla raggiunge sempre la stessa altezza, quindi la velocità acquistata al fondo è la stessa.

Allora, a scendere da un arco lungo si acquista la stessa velocità che a scendere da un arco corto basta che gli archi **ABBIANO LA STESSA ALTEZZA.**

Dunque per risolvere il problema del tempo e allungarlo, invece di considerare la caduta in verticale, consideriamo una caduta in obliquo, tanto la velocità alla fine del piano è la stessa che avrebbe cadendo in verticale dalla stessa altezza



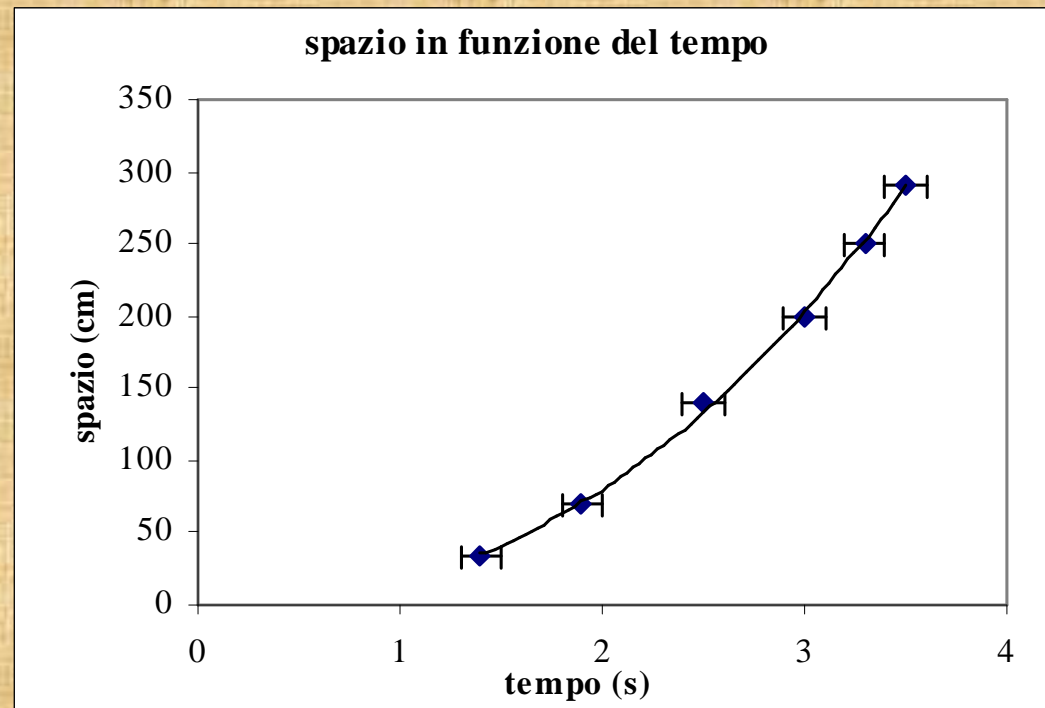
In un regolo, o voglian dir corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, si era incavato un cataletto, poco più largo di un dito; tiratolo drittissimo, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotondata e pulita, notando, nel modo che appresso dirò, il tempo che consumava nel correrlo tutto ... Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiere per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni dei pesi loro, le differenze e proporzioni de i tempi.

Ma cosa sono questi metodi antiquati... noi per fortuna abbiamo degli ottimi cronometri



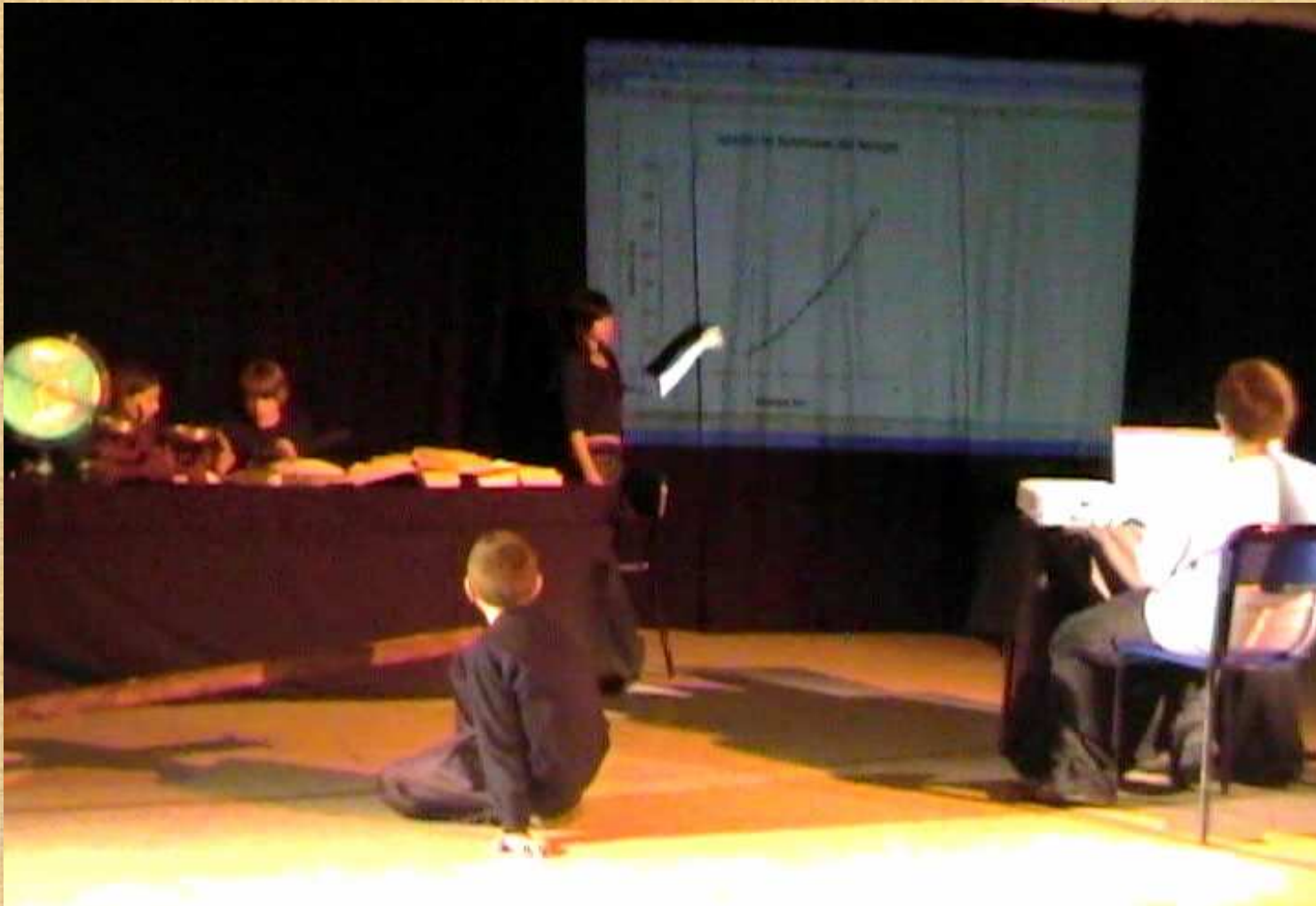
S (cm)	t (s) ± 0.1
290	3.7
250	3.5
200	3.0
140	2.5
70	1.9
35	1.4

Mettiamo i dati in un grafico.
Ora aggiungo la linea di tendenza... Che strana curva si ottiene... Cosa sar ?



Per capirci
qualcosa **dovremmo**
avere una retta non
questa curva...

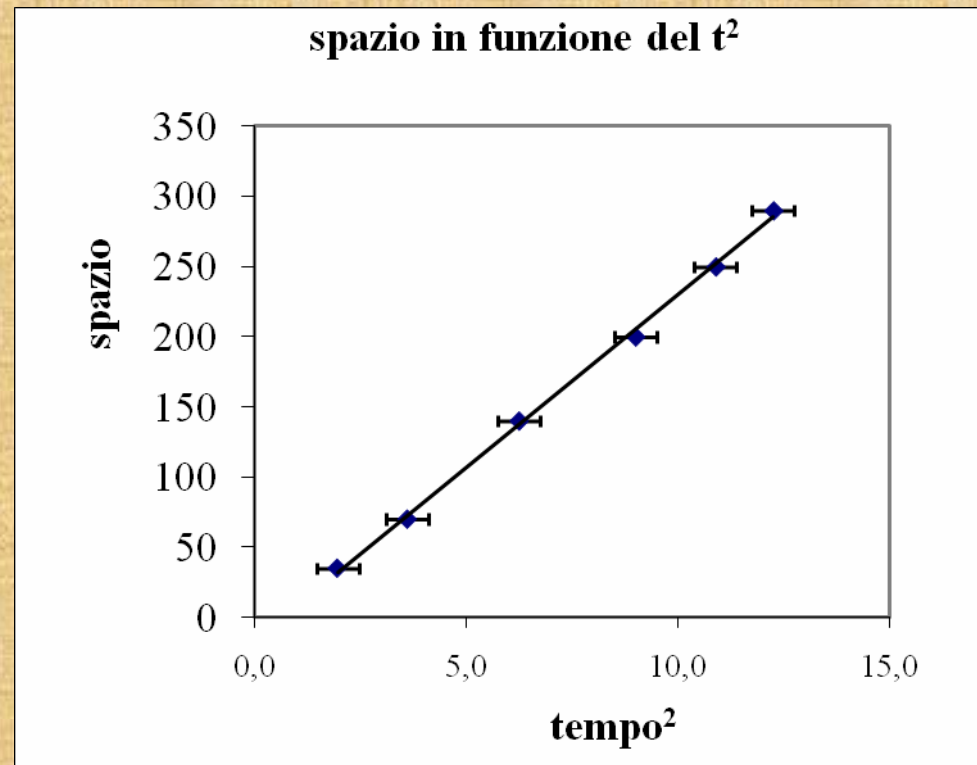
La curva sale molto in alto vuol dire che i valori della y crescono di più di quelli della x ... per ottenere una retta dovremmo avere sull'asse delle ascisse qualcosa che aumenta di più di t ... potremmo provare con t^2



La curva sale molto in alto vuol dire che i valori della y crescono di più di quelli della x ... per ottenere una retta dovremmo avere sull'asse delle ascisse qualcosa che aumenta di più di t ... potremmo provare con t^2

S (cm)	t (s) ± 0.1	t^2 (s ²) ± 0.5
290	3.7	12.3
250	3.5	10.9
200	3.0	9.0
140	2.5	6.3
70	1.9	3.6
35	1.4	2.0

è una retta!!!



Meraviglioso e allora questo vuol dire che la proporzionalità tra lo spazio e il t^2 è diretta, Galileo come dici tu!

Sempre s'incontrava, gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati e i tempi e questo in tutte le inclinazioni del piano.

Quindi se la proporzionalità tra lo spazio e il t^2 è diretta allora vuol dire che è costante il rapporto tra s e t^2 cioè

$$\frac{S}{t^2} = \text{cost} = k$$

Questo si può anche scrivere

$$S = k \cdot t^2$$





Ma noi volevamo dimostrare qualcosa sulla velocità e non sullo spazio!

Dobbiamo infatti determinare la velocità. Calcoliamo allora la velocità media dividendo spazio e tempo, otteniamo:

$$V = \frac{S}{t} = \frac{k \cdot t^2}{t} = k \cdot t$$

Signor scienziato, ma questo è quello che diceva l'ipotesi?

Sì perché se la velocità è uguale a una costante per il tempo allora vuol dire che...

la proporzionalità tra velocità e tempo è...
diretta!!



Sei soddisfatto di te?

Alcune opinioni

Sono abbastanza soddisfatta di me, solo avrei voluto non sbagliarmi nello spettacolo (ero agitata) e vincere di più la timidezza.

Sono molto soddisfatto di me perché ho interpretato bene la parte, sono riuscito a stare (secondo me) molto attento in classe e sono riuscito a comprendere bene tutti gli esperimenti.

Io non sono soddisfatta di me perché nella mia parte dovevo essere più sciolta nella camminata e non essere rigida.

Sì molto perché alla fine dello spettacolo una amica della prof. mi ha fatto i complimenti.

Non molto perché quando parlavo sembravo una statua e si vedeva che non ero a mio agio; però sono soddisfatta per come ho lavorato per la preparazione.

Sì perché sono riuscito a venire e a impegnarmi. Sono soddisfatto di me per il lavoro che sono riuscito a fare e penso di essere stato anche bravo perché non era un lavoro facile.

Pensi che la professoressa sia contenta?

La prof. secondo me è contenta, o dovrebbe esserlo perché il lavoro che abbiamo fatto è stato molto bello anche se al concorso siamo arrivati secondi.

Credo di sì perché abbiamo lavorato tutti con il massimo impegno.

Penso che la professoressa sia contenta perché è una cosa che ha avuto spunto da lei ma poi le è piaciuto anche per la collaborazione degli alunni.

Io penso che la prof. sia contenta dal suo viso, perché ha sempre il sorriso sulle labbra, poi anche perché lei ci ha detto che abbiamo realizzato un suo sogno.

Secondo me sì, più che altro soddisfatta, perché siamo riusciti ad accontentarla come una mamma che ha la soddisfazione di avere un figlio che viene promosso

Cosa pensi delle scienze?

Alcune opinioni

È una materia interessante perché ogni ipotesi ha la sua dimostrazione.

Se devo dire la verità mi piace più la matematica, però quando vanno insieme come in questo caso, non mi dispiacciono; è bello sapere che un tempo si facevano delle domande su quello che accadeva e trovavano anche risposte valide.

È la materia più bella della scuola.

È una materia affascinante e suggestiva.

È una materia difficile ma molto interessante.

Io penso che le scienze siano molto interessanti e belle da scoprire soprattutto quando sono spiegate in una maniera così coinvolgente..

È una materia bellissima e questo è uno dei lavori che ho capito di più e se ogni lavoro fosse così la scienza la so come "l'Ave Maria o il Padre Nostro".

bibliografia

- M. de Paoli, *La teoria del moto: i principi della meccanica dall'aristotelismo alla fisica classica I*, GIORNALE DI FISICA, volume 44, aprile-giugno 2003.
- M. de Paoli, *La teoria del moto: i principi della meccanica dall'aristotelismo alla fisica classica II*, GIORNALE DI FISICA, volume 44, luglio-settembre 2003.