Liceo Scientifico Statale *Niccolò Rodolico*, FIRENZE

Concorso *Achille Normanno*

- anno scolastico: **2015 – 2016**
- classe: **3ª A**
- ambito disciplinare: **Fisica**
- ambito fenomenologico: **moto traslatorio**
- fenomeno studiato: **caduta in un mezzo resistente**
- coordinamento: **prof.ssa Giovanna Catania**

«…l'ape fa vergognare molti architetti con la costruzione delle sue cellette di cera. Ma ciò che, fin dal principio, distingue il peggiore architetto dall'ape migliore, è il fatto che egli costruisce la celletta nella sua testa prima di costruirla in cera. …»

K. Marx

CONTENUTO

- 1. Premessa sulla dinamica del moto di caduta nel vuoto e in un mezzo
- 2. Introduzione alla sperimentazione
- 3. Studio sperimentale del fenomeno
- 4. Risultati
- 5. Conclusioni

1. PREMESSA SULLA DINAMICA DEL MOTO DI CADUTA

1.1. Per poter esaminare il moto di caduta in un mezzo resistente è necessario considerare separatamente le variabili da cui il fenomeno dipende, al fine di descrivere e interpretare il modo in cui la *velocità* con la quale il moto si svolge, viene influenzata da ognuna di esse.

1.2. Dal punto di vista delle forze, all'oggetto in questione sono applicate la *forza peso* e la *forza d'attrito* del mezzo. L'oggetto infatti, è collocato sulla Terra e si muove all'interno di un mezzo resistente al quale si deve l'azione ulteriore della *forza d'attrito*.

Entrambe le forze sono tangenziali ma, avendo il verso opposto, una agisce aumentando la *velocità* e l'altra diminuendola. Visto che l'attrito non è

costante e va aumentando con la *velocità*, si può prevedere che, da un certo istante del fenomeno in poi, le due *forze* si facciano equilibrio e che l'oggetto raggiunga la cosiddetta *velocità limite* nell'istante in cui il moto, da accelerato, diventa uniforme. Si può ipotizzare, dunque, che il tempo necessario all'oggetto per raggiungere la *velocità limite*, dipenda, a parità di mezzo resistente, dalle stesse variabili dalle quali dipende – direttamente o inversamente – l'attrito: *massa, volume, velocità* iniziale, forma.

2. INTRODUZIONE ALLA SPERIMENTAZIONE

2.1. Per poter mettere a confronto il punto di vista teorico (ved. 1.2) con quello sperimentale, è stata progettata un'esperienza da realizzare secondo il *metodo per separazione delle variabili*.

A questo scopo sono stati predisposti

- 3 TUBI di vetro da laboratorio (*altezza*: 80cm, diametro: 4cm),
- 4 SFERETTE di materiali e diametri differenti (1 acciaio, 2 piombo grande, 1 piombo piccolo),
- 3 MEZZI RESISTENTI (soluzione al 33% di sale in acqua, olio da motore, detersivo da piatti).

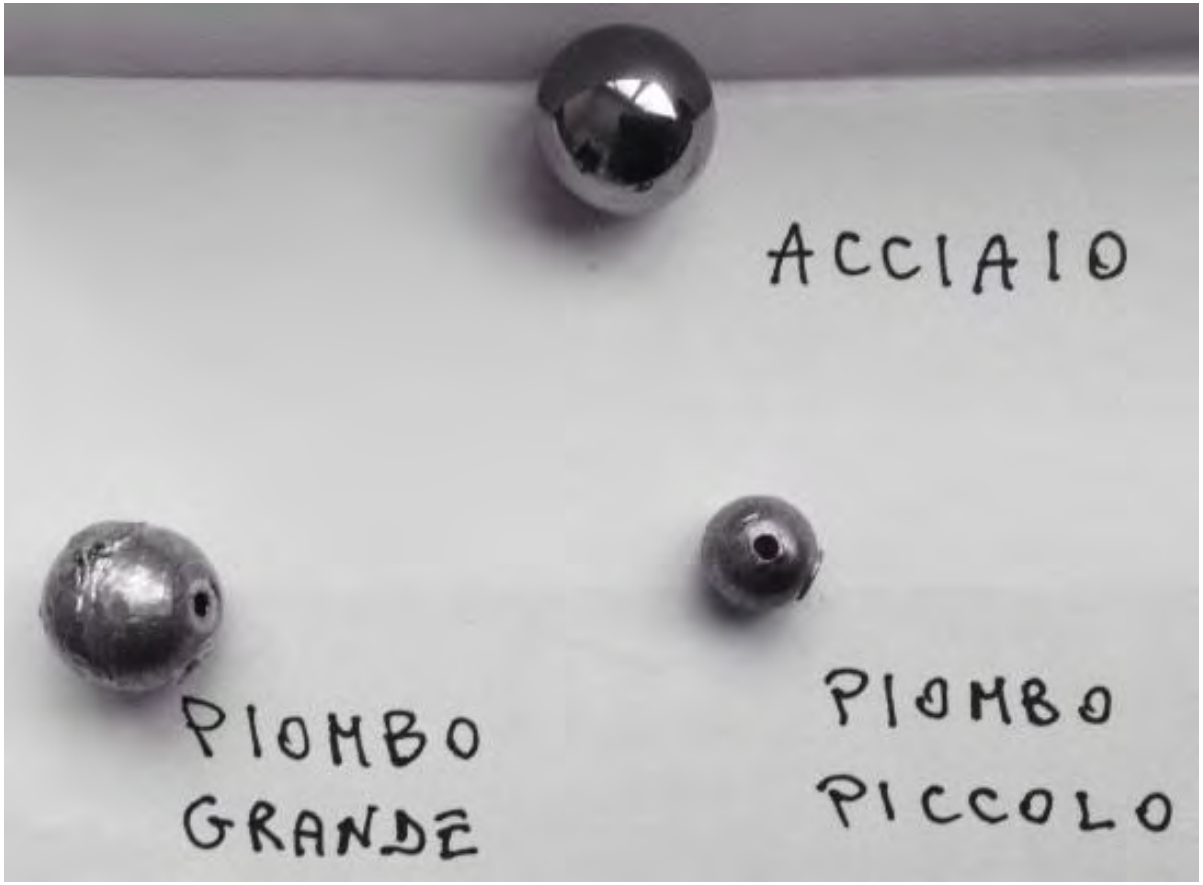

Fig. 2.1 – le sferette utilizzate

Fig 2.2 - soluzione

Fig 2.3 – olio da motore

Fig 2.4 – detersivo

2.2. Per quanto ipotizzato (ved. 1.2), *massa, volume, velocità* iniziale sono i caratteri di un oggetto coinvolti nel fenomeno e sui quali si è scelto di sperimentare. In realtà, si è visto che anche la FORMA dovrebbe essere uno dei caratteri da considerare ma, nel tentativo di limitare la complessità del fenomeno, si è optato per la forma sferica che non permette all'oggetto, almeno non in modo significativo, di modificare il proprio assetto durante la discesa nel mezzo.

La *massa* e il diametro delle sferette sono stati misurati, rispettivamente, con una bilancia digitale al mezzo grammo e con un calibro cinquantesimale.

sferette	*massa* (g)		diametro (cm)	
acciaio	13,0		15,006	
piombo grande	I 13,5	II 14,5	I 14,086	II 14,766
piombo piccolo	2,5		7,622	

Tab. 2.1

Come si può osservare in tab.2.1, sono state scelte due sferette PIOMBO GRANDE apprezzabilmente differenti per *massa* per le quali la notevole sensibilità del calibro, ha consentito di evidenziare anche una non trascurabile differenza di diametro. La sferetta PIOMBO PICCOLO con la quale pure si è lavorato, evidentemente non ha consentito la separazione delle variabili *massa* e *volume* ma è stata utile per studiare la variabile *velocità* iniziale.

2.3. Per ottenere velocità iniziali diverse da 0, si sono applicati ai tubi dei prolungamenti di cartone in modo da lasciar cadere la pallina da un livello superiore alla superficie del mezzo. Questo sistema però, come si vedrà al paragrafo 3.6, ha comportato alcuni problemi.

Fig.2.5 – i due prolungamenti: rispettivamente, 12x18 e 18x12

2.4. Dovendo arrivare a descrivere il comportamento della velocità, si è predisposto un apparato utile a rilevare *spostamenti* ($\Delta s = s - s_0$) e corrispondenti *intervalli di tempo* ($\Delta t = t - t_0$) fissando opportunamente i riferimenti in modo da avere $s_0=0$ e $t_0=0$. Per quanto riguarda gli strumenti di misurazione, sono stati scelti cronometri di sensibilità σ =0,2s ritenendo inutili sensibilità più elevate, e nastri metallici sensibili al centimetro.

Fig. 2.6 – alcuni strumenti utilizzati

3. STUDIO SPERIMENTALE DEL FENOMENO

3.1. Ognuno dei tre tubi descritti nell'introduzione è stato riempito con uno dei tre mezzi (ved.2.1).

Il riempimento è stato il più lento possibile per evitare la formazione di bolle d'aria; comunque, a riempimento avvenuto, è stato necessario attendere che i fluidi smaltissero l'aria nonostante tutto incamerata.

3.2. Per effettuare le misurazioni indicate in 2.4, sono stati fissati, a partire dalla superficie del mezzo, tre traguardi alle distanze di 20cm, 40cm, 60cm.

I traguardi sono stati riportati su un nastro tarato (ved.2.4) fissato parallelamente al tubo ad un'asta di legno, con del nastro adesivo (ved. fig.3.1)

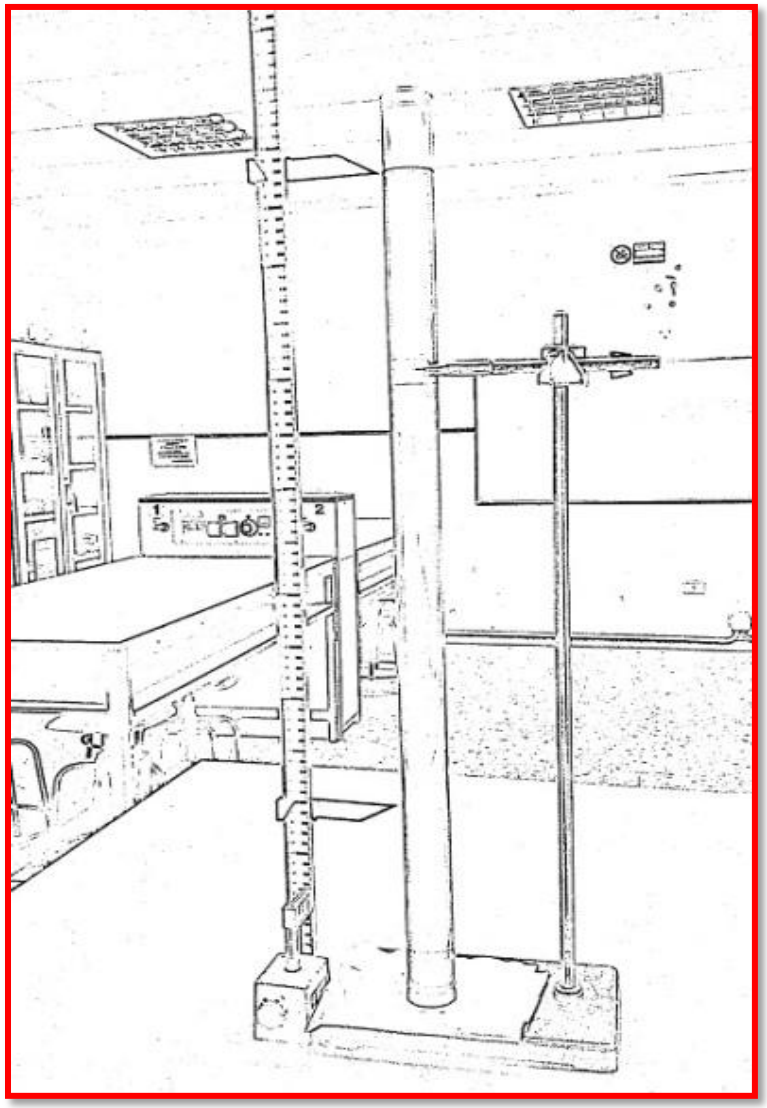

Fig. 3.1 - l'apparato sperimentale

3.3. È stato necessario montare i due tubi riempiti con i mezzi più viscosi su una base adeguatamente estesa per dar loro stabilità; per la misurazione è stato quindi utilizzato un elemento di raccordo (ved.fig.3.2)

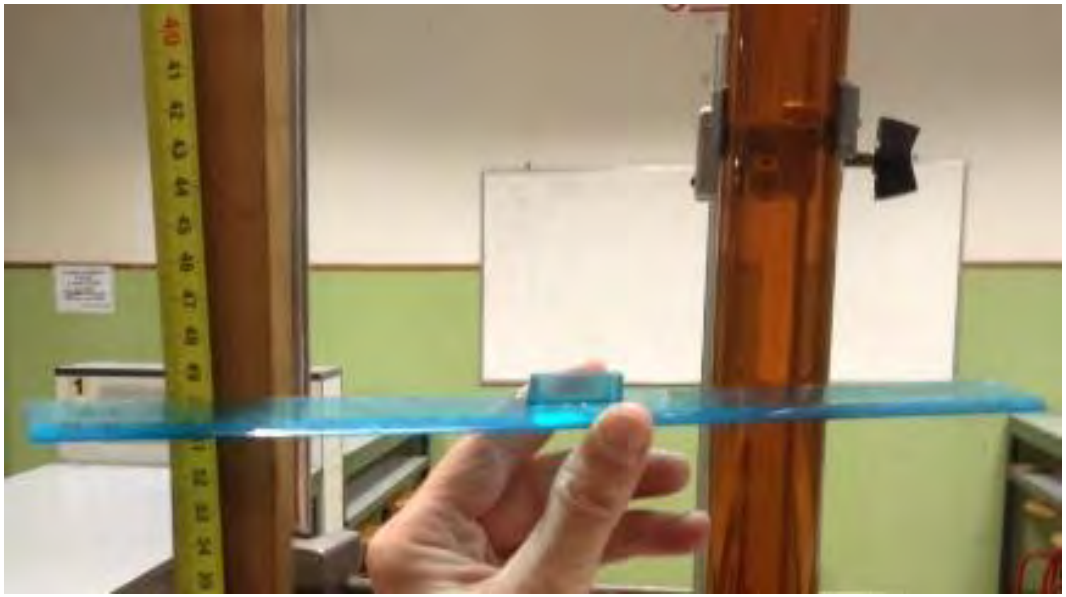

Fig. 3.2 – la modalità descritta sopra e usata per traguardare

3.4. Per il recupero delle sferette, dopo ogni caduta sono stati utilizzati due metodi differenti a seconda del materiale.

- PIOMBO (ved.fig.2.1): si è fatto passare nel foro praticato in queste sferette (ved.fig.3.3), un filo di lunghezza tale da impedire la tensione durante la caduta;
- ACCIAIO (ved.fig.2.1): è stata utilizzata una coppia di magneti (ved.fig.3.4).

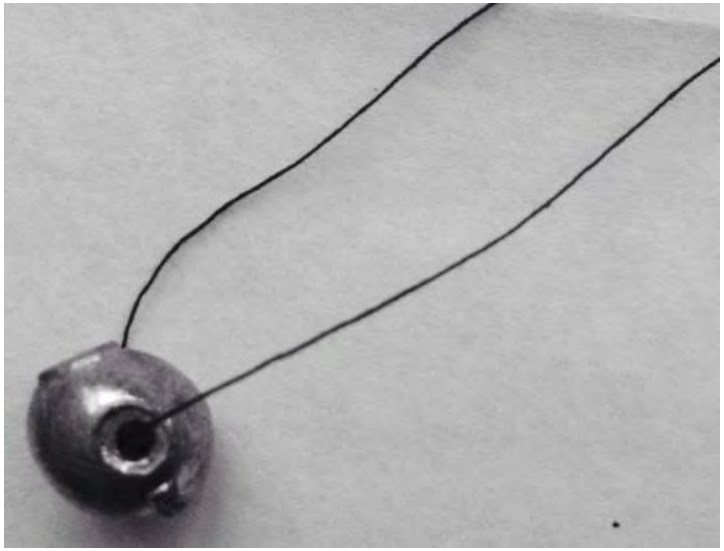

Fig. 3.3 – modalità di recupero per PIOMBO

Fig. 3.4 – modalità di recupero per ACCIAIO

3.5. Usando il *metodo per separazione delle variabili* (ved.2.1), è stata analizzata la caduta degli oggetti disponibili (ACCIAIO e PIOMBO) isolando, di volta in volta, per ognuno dei tre mezzi e secondo gli schemi che seguono, una delle variabili fra

- *massa*
- *volume*
- *velocità* iniziale

Per quanto riguarda le tabelle di tutte le misure rilevate nonché la loro elaborazione, si veda il cap.4. Risultati

variabile: *MASSA*

mezzi: DETERSIVO, OLIO, SOLUZIONE

- v_0=0, V=cost
- sferette a confronto:

  PIOMBO GRANDE II, ACCIAIO

  (ved. tab.2.1)

variabile: *VOLUME*

mezzi: DETERSIVO, OLIO, SOLUZIONE

- v_0=0, m=cost
- sferette a confronto:

  PIOMBO GRANDE I, ACCIAIO (ved. tab.2.1)

variabile: *VELOCITÀ* INIZIALE

mezzi: DETERSIVO, OLIO, SOLUZIONE

- *V*=cost, *m*=cost
- sferette: PIOMBO PICCOLO, ACCIAIO (ved. tab.2.1)

3.6. Nel corso della sperimentazione si sono incontrate alcune difficoltà legate all'apparato sperimentale e alle modalità di misurazione.

A. Il sistema usato per ottenere *velocità* iniziali diverse da 0 (ved.2.3) ha disturbato l'andamento del fenomeno in quanto avveniva un URTO nell'istante in cui le sferette arrivavano ad impattare con la superficie del mezzo; il disturbo è stato particolarmente significativo nel mezzo più denso. Inoltre, il cartoncino la cui funzione è descritta al paragrafo 2.3, durante le misurazioni assorbiva liquido contribuendo alla graduale riduzione della sua quantità ed alla necessità di aggiungerne.

B. La modalità di recupero delle PIOMBO (ved.fig.3.3) ha disturbato le misurazioni in quanto il filo, come il cartoncino di prolunga (ved. Sopra in **A**), si impregnava di liquido costringendo ad aggiunte successive; inoltre, il filo bagnato finiva per aderire alla superficie del tubo influendo e talvolta impedendo la discesa.

La modalità di recupero di ACCIAIO (ved.fig.3.4) per mezzo di una coppia di magneti, è risultata di difficile utilizzo a causa dell'"isolamento" prodotto sia dal mezzo che dal vetro.

C. Con DETERSIVO ed OLIO, la modalità sperimentale descritta al paragrafo 3.3 e l'uso di un raccordo, fra tubo e nastro tarato, per traguardare, ha rappresentato ulteriore causa di errore.

Inoltre, ad ogni discesa, le sferette venivano recuperate "avvolte" dal mezzo nel quale erano cadute.

D. Nella SOLUZIONE, a causa della scarsa viscosità, è risultato sempre impossibile effettuare le misurazioni relative allo *spostamento* di 20cmcosì come qualche altra misurazione segnalata nelle tabelle del cap.4: gli *intervalli di tempo* erano evidentemente al di sotto della sensibilità dello strumento e dei tempi di reazione degli sperimentatori.

4. RISULTATI

Come si può vedere in tab.2.1 e al paragrafo 3.5, grazie alle PIOMBO GRANDE I e II, era stato trovato il modo per separare le variabili *massa* e *volume*.

La sperimentazione ha invece negato questa possibilità in quanto le misure relative a tutte le PIOMBO GRANDE si presentavano pressoché uguali a parità di mezzo e di *velocità* iniziale. Di conseguenza, come si può vedere nelle tabelle che seguono, si è finito per lavorare con un solo tipo di PIOMBO GRANDE.

Dalle tabelle che seguono si nota inoltre, che l'errore sperimentale è dovunque particolarmente elevato raggiungendo spesso il 50% e, talvolta, il 100%.

Questo vuol dire che, se nei grafici fossero stati riportati gli errori, sarebbero stati molti – e assai differenti – gli andamenti compatibili con gli stessi punti sperimentali.

4.1. mezzo: SOLUZIONE $V_0=0$

sferetta	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε (s)
piombo piccolo	40	0,4	0,6	0,6	0,6	0.1	0.2
piombo piccolo	60	1,0	1,2	1,0	1,0	0.1	0.2
piombo grande	40	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0.2
piombo grande	60	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0.2
acciaio	40	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0.2
acciaio	60	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0.2

Tab. 4.1.

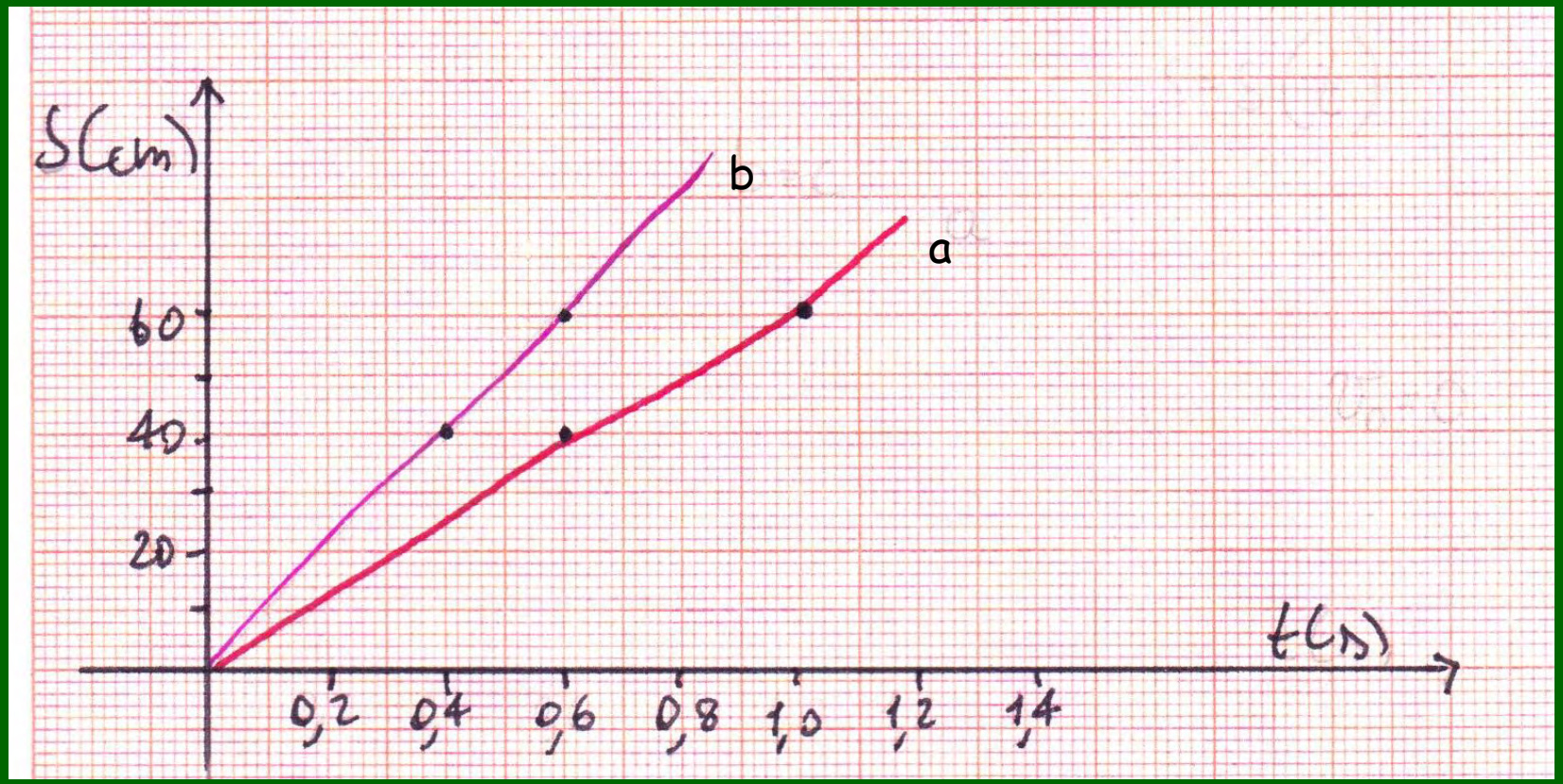

Fig. 4.1 – a: piombo piccolo b: piombo grande e acciaio

4.2. mezzo: SOLUZIONE

$V_0 \neq 0$ - prolungamento tubo di 12cm

sferetta	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	40	0.4	0.6	0.4	0.4	0.1	0.2
piombo piccolo	60	0.6	0.4	0.6	0.6	0.1	0.2
piombo grande	40 *	/	/	/	/	/	/
piombo grande	60	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
acciaio	40	0.4	0.6	0.4	0.4	0.1	0.2
acciaio	60	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.2

Tab. 4.2.

* Anche per questo *spostamento* si veda il paragrafo 3.6 D

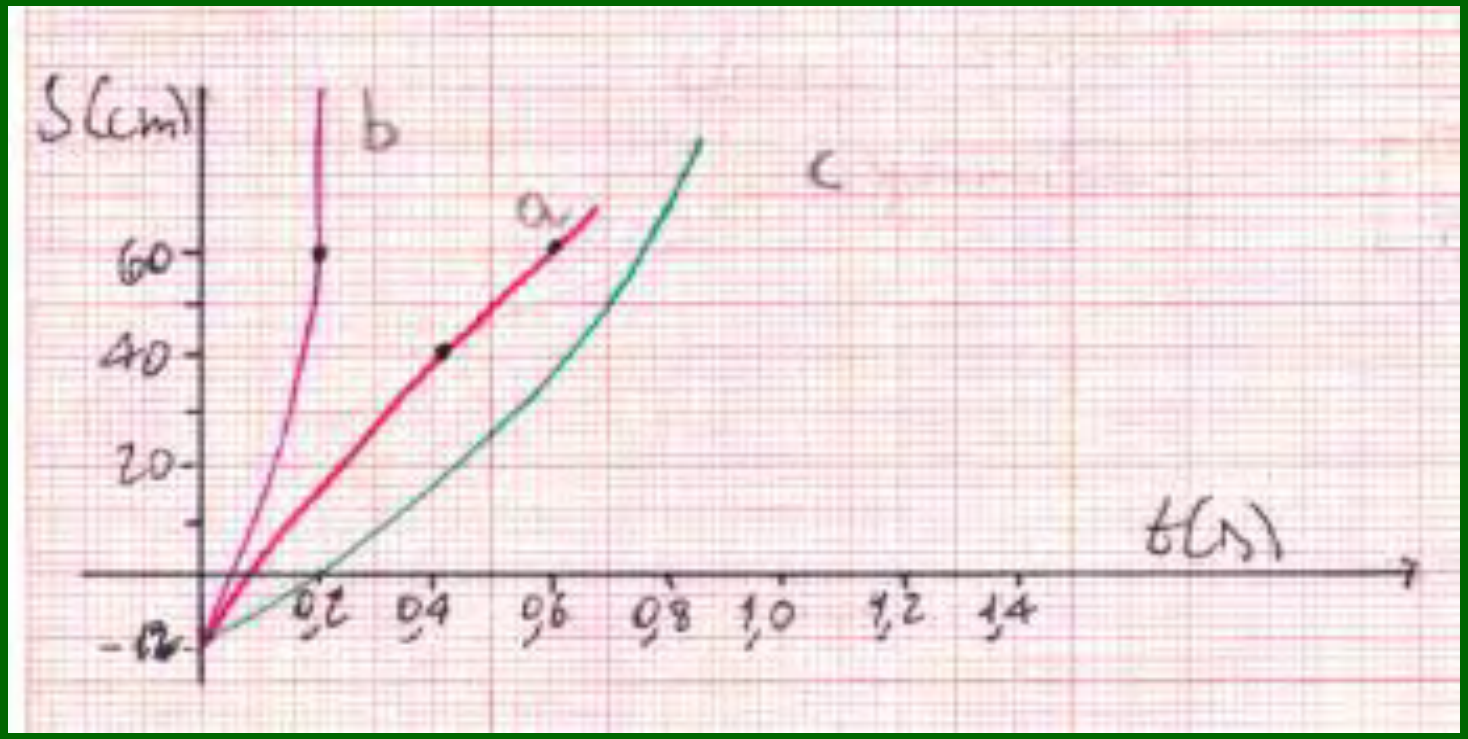

Fig. 4.2 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.3. mezzo: SOLUZIONE

$V_0 \neq 0$ - prolungamento tubo di 18cm

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	40	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
piombo piccolo	60	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0.2

Tab. 4.3.

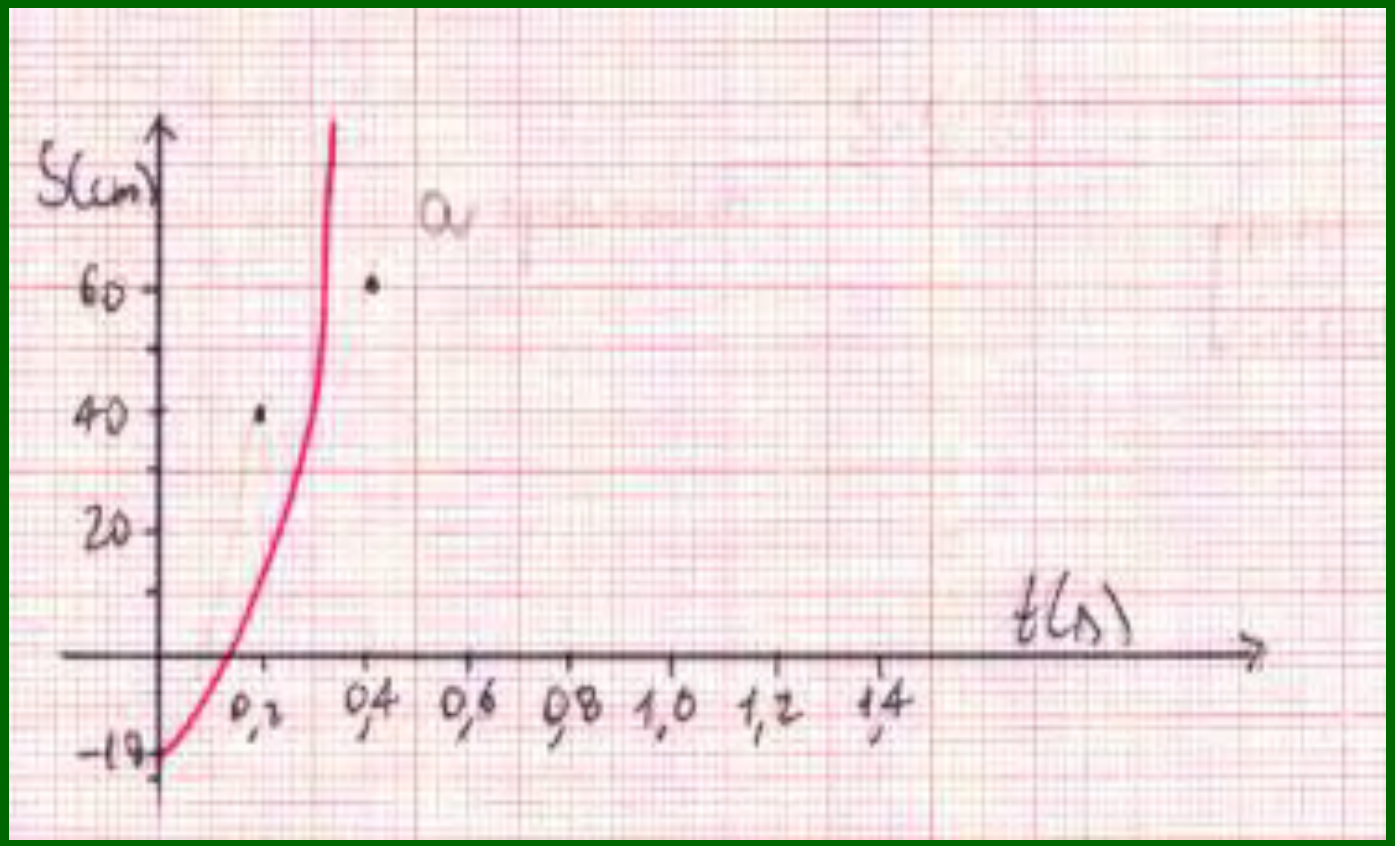

Fig. 4.3 – a: piombo piccolo

4.4. mezzo: OLIO
V_0=0

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε (s)
piombo piccolo	20	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0.2
piombo piccolo	40	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0.2
piombo piccolo	60	2.6	2.6	2.8	2.6	0.1	0.2
piombo grande	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
piombo grande	40	0.6	0.8	0.6	0.6	0.1	0.2
piombo grande	60	1.2	1.2	1.2	1.2	0	0.2
acciaio	20	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0.2
acciaio	40	1.0	0.8	0.8	0.8	0.1	0.2
acciaio	60	1.0	1.0	0.8	1.0	0.1	0.2

Tab. 4.4.

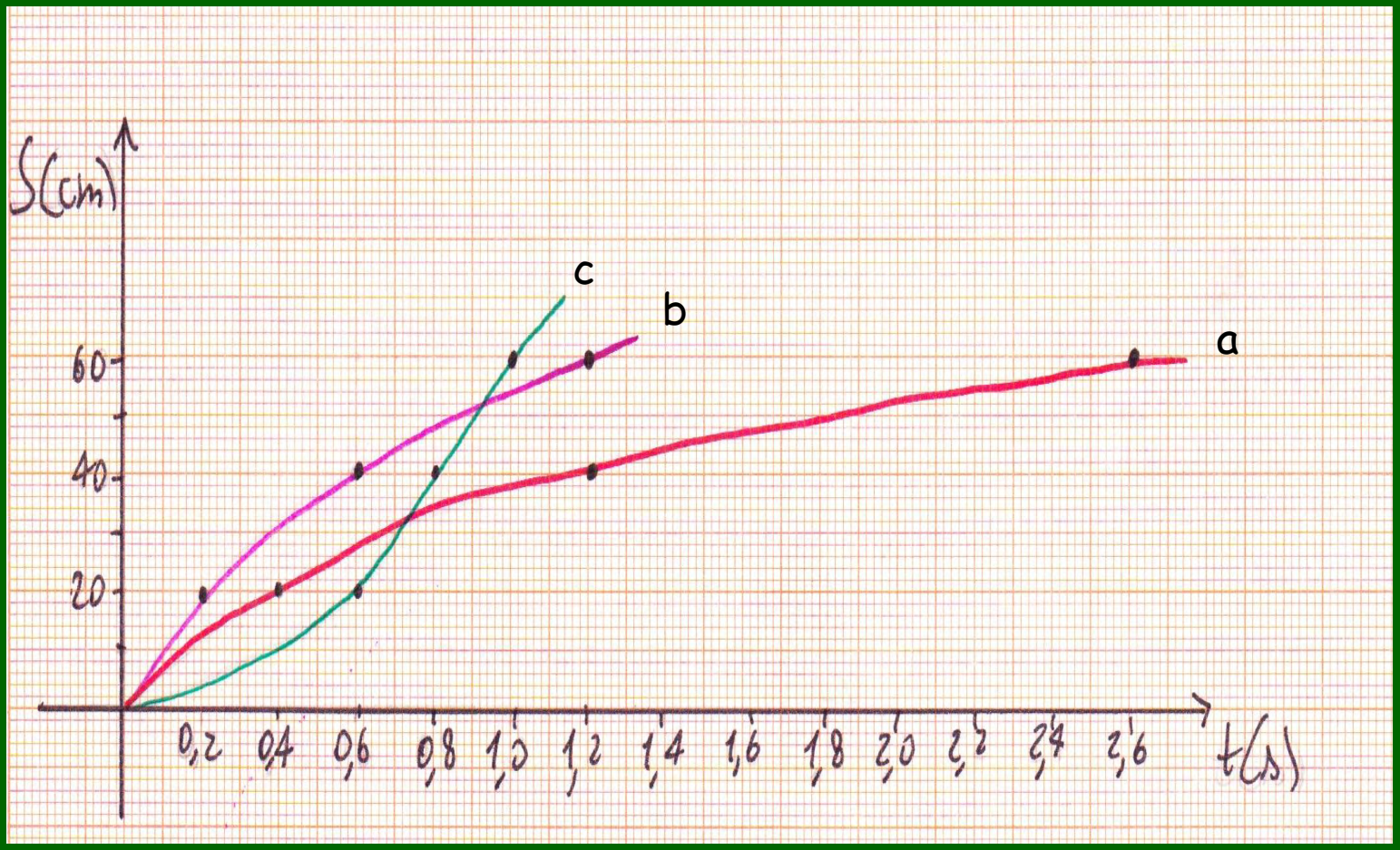

Fig. 4.4 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.5. mezzo: OLIO

$V_0 \neq 0$ – prolungamento tubo di 12cm

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	20	0.4	0.4	0.6	0.4	0.1	0.2
piombo piccolo	40	1.4	1.4	1.2	1.4	0.1	0.2
piombo piccolo	60	2.6	2.8	3.0	2.8	0.2	0.2
piombo grande	20	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2
piombo grande	40	0.4	0.6	0.6	0.6	0.1	0.2
piombo grande	60	1.4	1.2	1.2	1.2	0.1	0.2
acciaio	20	0.4	0.8	0.6	0.6	0.2	0.2
acciaio	40	0.8	1,0	0.8	0.8	0.1	0.2
acciaio	60	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0.2

Tab. 4.5.

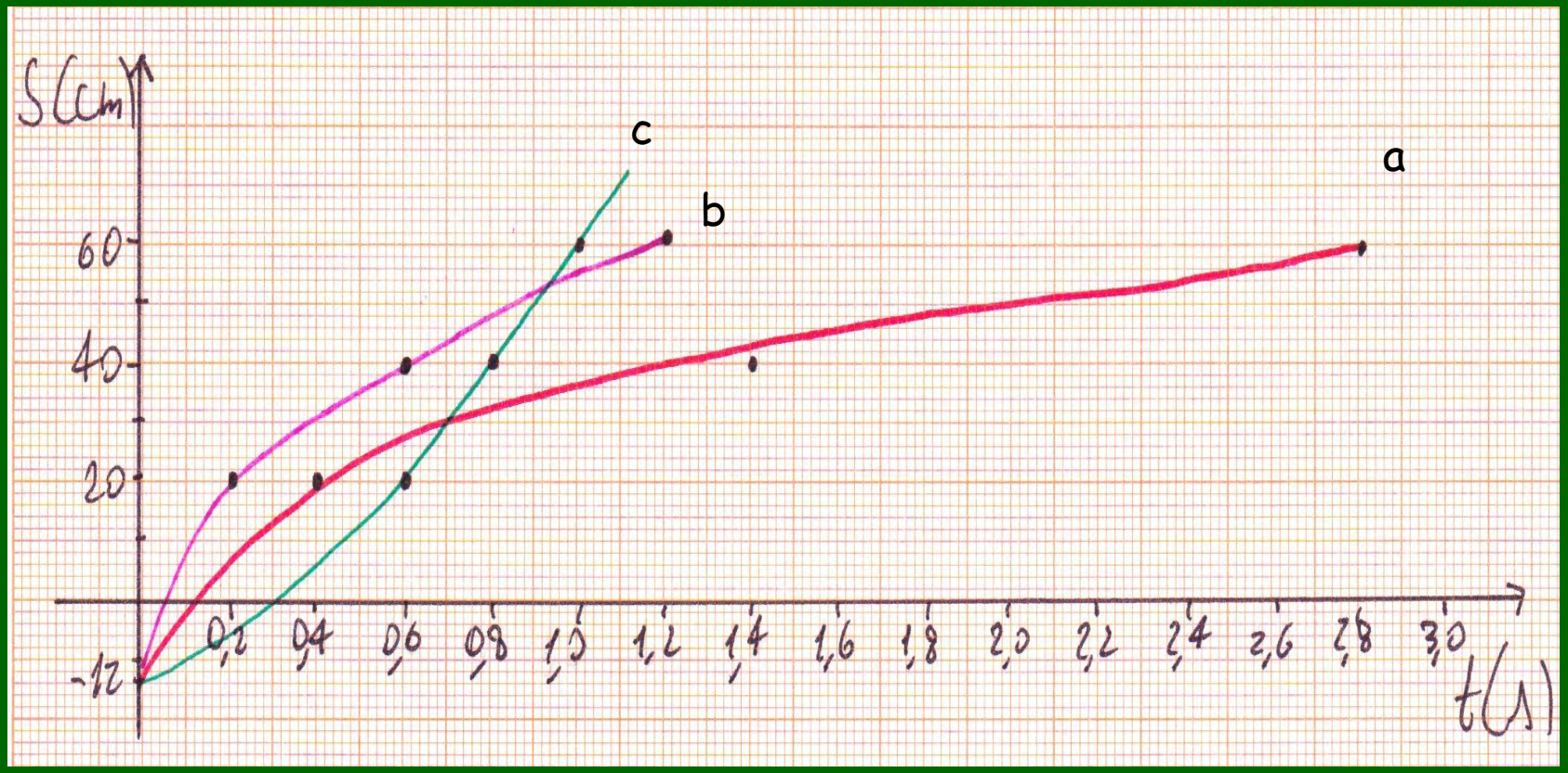

Fig. 4.5 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.6. mezzo: OLIO

$V_0 \neq 0$ – prolungamento tubo di 18cm

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	20	0.8	1.0	1.0	1.0	0.1	0.2
piombo piccolo	40	1.2	1.2	1.4	1.2	0.1	0.2
piombo piccolo	60	2.4	2.8	2.8	2.6	0.2	0.2
piombo grande	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
piombo grande	40	1.0	0.8	1.0	1.0	0.1	0.2
piombo grande	60	1.4	1.2	1.6	1.4	0.2	0.2
acciaio	20	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2
acciaio	40	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.2
acciaio	60	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0.2

Tab. 4.6.

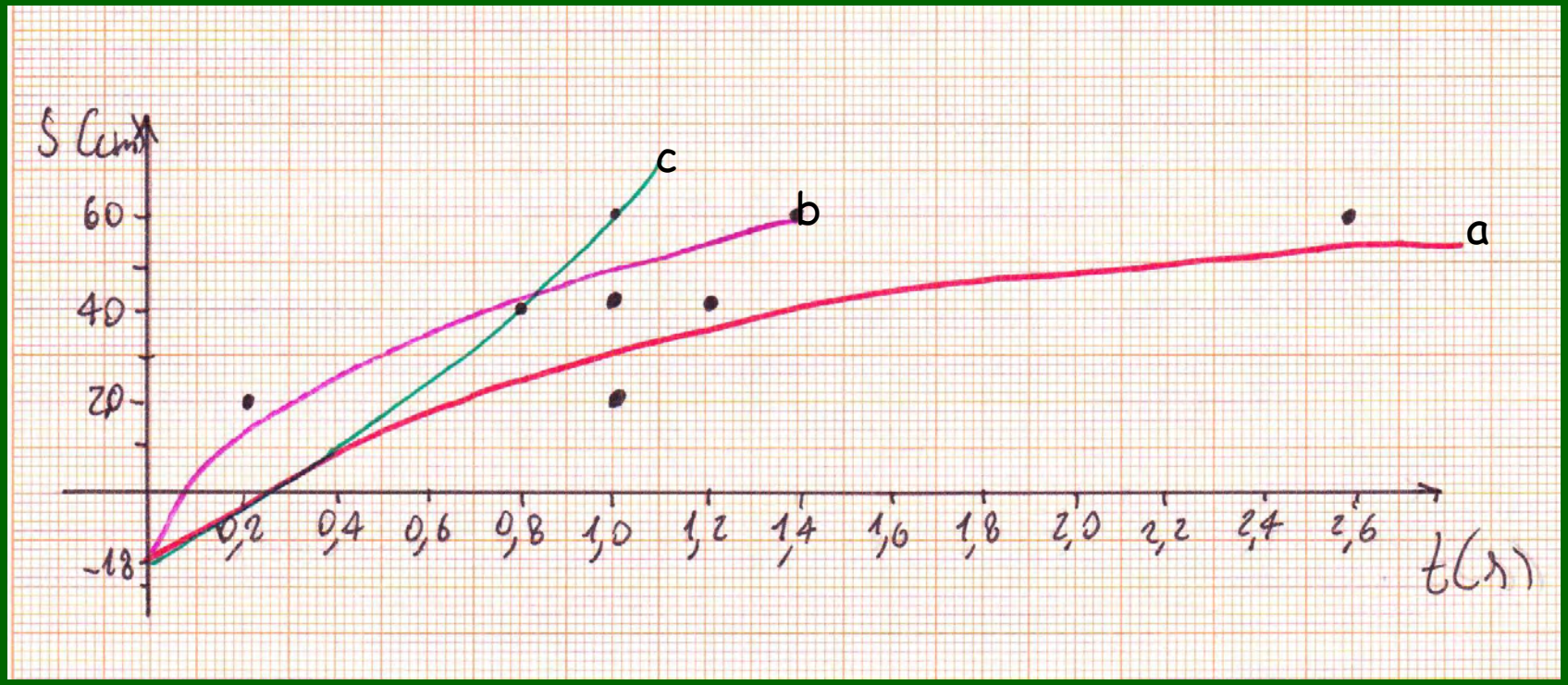

Fig. 4.6 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.7. mezzo: DETERSIVO V_0=0

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	20	2.8	2.6	2.8	2.8	0.1	0.2
piombo piccolo	40	3.6	3.6	3.8	3.6	0.1	0.2
piombo piccolo	60	7.8	7.6	7.6	7.6	0.1	0.2
piombo grande	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
piombo grande	40	0.8	0.6	0.8	0.8	0.1	0.2
piombo grande	60	1.6	1.6	1.6	1.6	0	0.2
acciaio	20	0.4	0.4	0.6	0.4	0.1	0.2
acciaio	40	0.6	0.8	0.6	0.6	0.1	0.2
acciaio	60	1.2	1.0	1.2	1.2	0.1	0.2

Tab. 4.7.

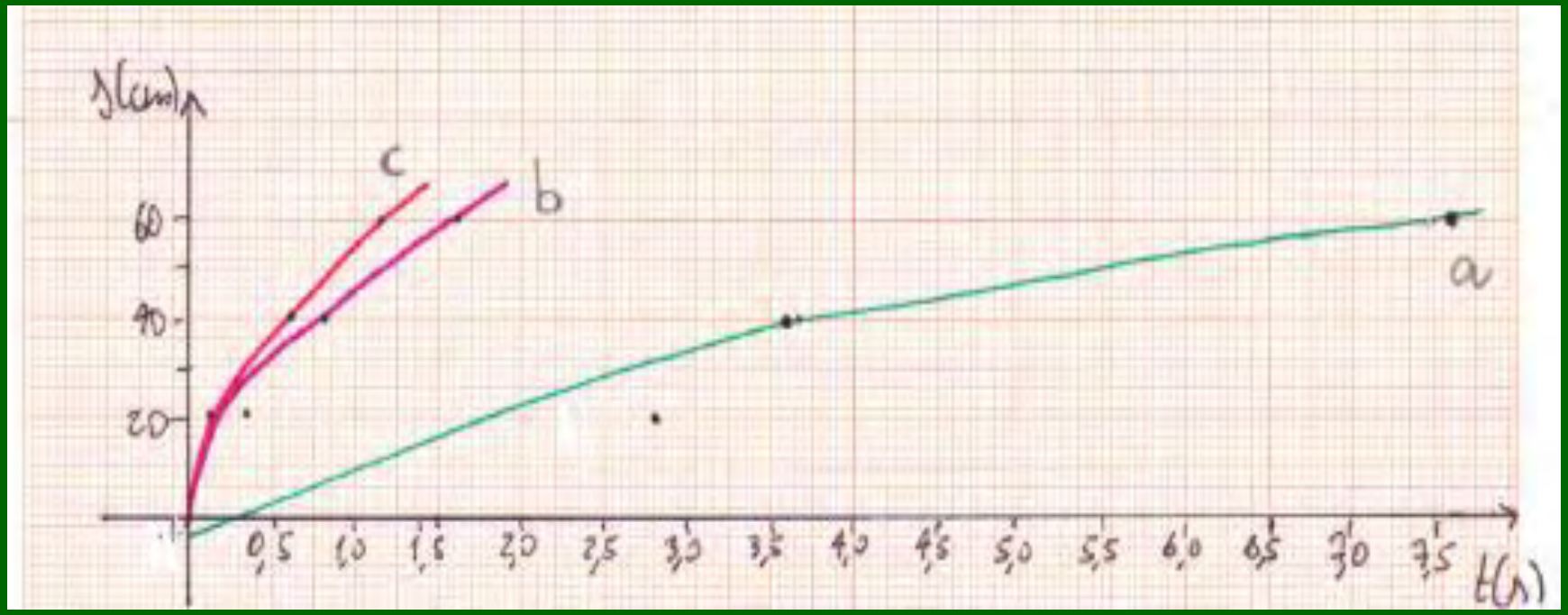

Fig. 4.7 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.8. mezzo: DETERSIVO

$V_0 \neq 0$ – prolungamento tubo di 12cm

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	20	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0.2
piombo piccolo	40	2.8	2.8	2.8	2.8	0.1	0.2
piombo piccolo	60	6.8	7,0	6.8	6.8	0,1	0.2
piombo grande	20	0.4	0.2	0.4	0.4	0.1	0.2
piombo grande	40	0.6	0.6	0.4	0.6	0.1	0.2
piombo grande	60	1.6	1.6	1.6	1.6	0.1	0.2
acciaio	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
acciaio	40	0.4	0.6	0.6	0.6	0,1	0.2
acciaio	60	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1	0.2

Tab. 4.8.

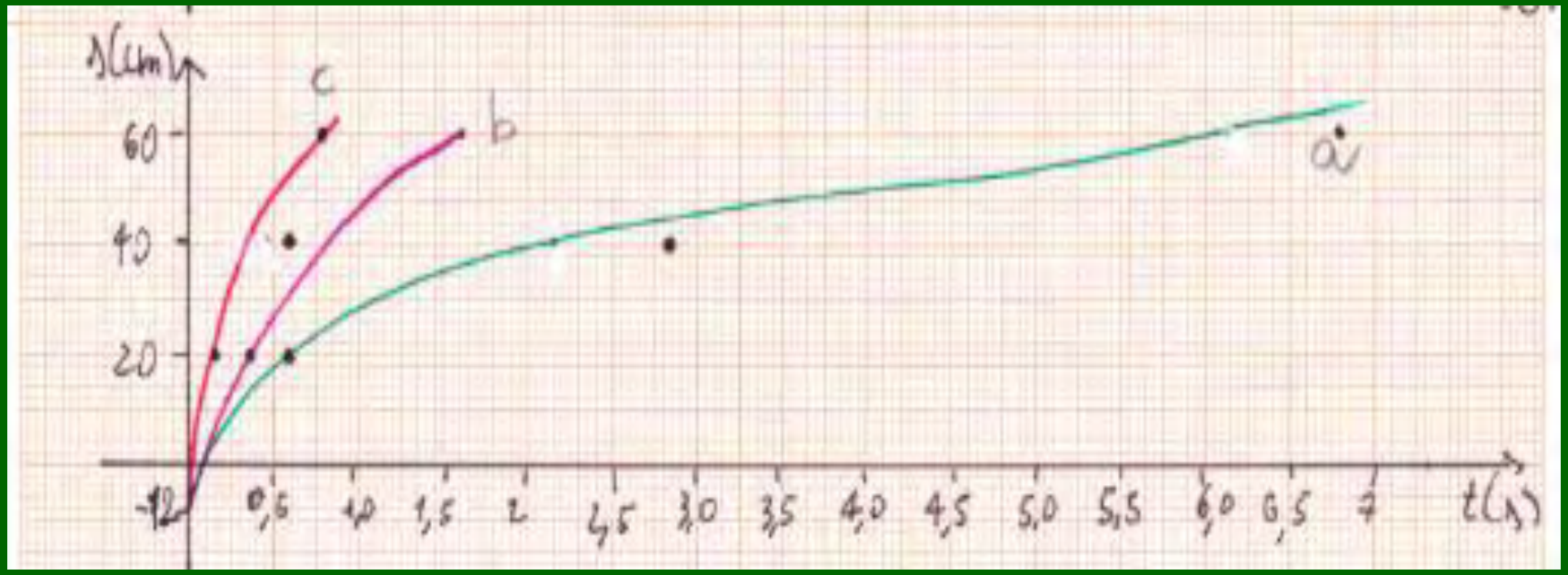

Fig. 4.8 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

4.9. mezzo: DETERSIVO

$V_0 \neq 0$ – prolungamento tubo di 18cm

sferette	Δs (cm)	Δt_1(s)	Δt_2(s)	Δt_3(s)	Δt_m(s)	semidisp. max (s)	ε(s)
piombo piccolo	20	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
piombo piccolo	40	2,6	2,6	2,6	2,6	0	0.2
piombo piccolo	60	5,4	5,4	5,6	5,4	0.1	0.2
piombo grande	20	0.4	0.2	0.4	0.4	0.1	0.2
piombo grande	40	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0.2
piombo grande	60	1.6	1.6	1.6	1.6	0	0.2
acciaio	20	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2
acciaio	40	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0.2
acciaio	60	0,4	0,4	0,6	0,4	0.1	0.2

Tab. 4.9.

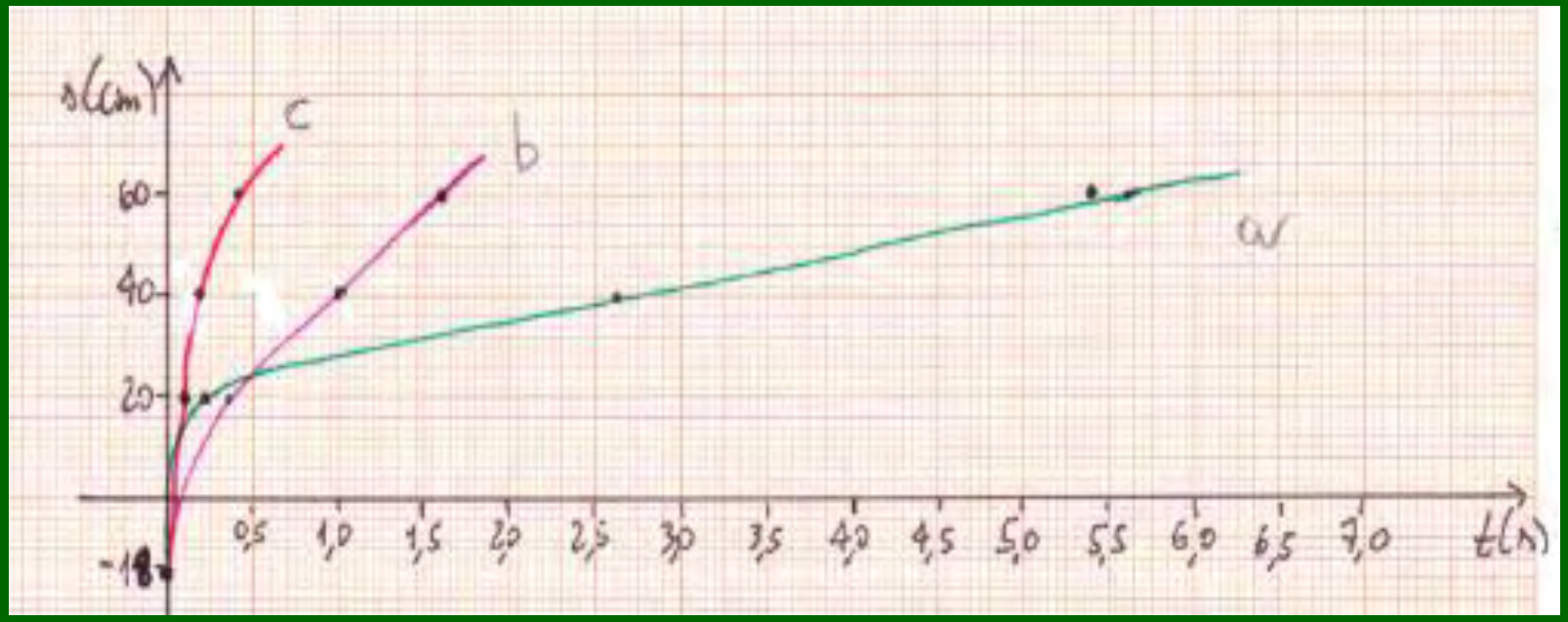

Fig. 4.9 – a: piombo piccolo b: piombo grande c: acciaio

5. CONCLUSIONI

5.1. Lo scopo per il quale è stato intrapreso questo studio sperimentale della caduta in un mezzo resistente, era la progettazione di un'esperienza i cui risultati potessero essere confrontati con le conclusioni che, sul fenomeno, si possono trarre teoricamente tramite la meccanica classica.

5.2. I notevoli errori sperimentali non hanno consentito di determinare le *velocità* istantanee con il metodo delle tangenti agli andamenti *spazio-tempo* esaminando i quali si individuano facilmente incongruenze come, in alcuni casi, la diminuzione della *velocità* a partire da *velocità* iniziale nulla.

5.3. L'esperienza realizzata (si vedano i capitoli **3.** e **4.**) tuttavia consente di mettere a punto qualche adeguamento dell'apparato sperimentale che, a giudicare proprio dall'entità degli errori, è risultato troppo grossolano, nonché qualche correzione di alcune procedure.

A. Una correzione possibile dovrebbe riguardare l'eliminazione dell'urto subito dalle sferette contro la superficie dei mezzi nei casi di *velocità* iniziale diversa da 0; la posizione iniziale dovrebbe essere infatti spostata all'interno del mezzo utilizzando, per la "partenza" delle sferette, un paio di pinzette lunghe e sottili anziché le dita.

Questo accorgimento permetterebbe inoltre di minimizzare effetti anomali alla "partenza" anche con *velocità* iniziale nulla.

B. Le difficoltà legate al recupero delle sferette potrebbero essere eliminate utilizzando una specie di "cucchiaino" a rete, di diametro minore di quello del tubo, appoggiato sul fondo e ancorato al suo bordo; questo permetterebbe il recupero e, insieme, lo "sgocciolamento" delle sferette

C. Un'altra correzione da apportare all'apparato sperimentale riguarda il modo di traguardare gli *spostamenti*, il quale è collegato alla necessità di fornire una base sufficientemente larga ai tubi pieni dei liquidi più viscosi. L'unica possibilità per mantenere stabili questi tubi e, nello stesso tempo, per poter traguardare con maggiore accuratezza, appare la taratura diretta dei tubi.

D. L'ultimo adeguamento che l'esperienza realizzata suggerisce, riguarda le sferette.

Dovendo usare il *metodo per separazione delle variabili*, appare indispensabile poter mettere a confronto il comportamento di sferette di pari *massa* ma di *volume* differente così come il comportamento di sferette di pari *volume* e di differente *massa*.

La necessità esposta sopra richiede di realizzare in proprio gli oggetti necessari in quanto le uguaglianze sia di *massa* che di *volume* devono essere tali da fare emergere le differenze di comportamento.

Per esempio, oltre che le sferette d'acciaio utilizzate anche qui, se ne potrebbero realizzare di legno e di polistirolo sia della stessa *massa* sia dello stesso *volume* di quella d'acciaio. La scelta del polistirolo avrebbe anche il vantaggio di permettere l'uso, come mezzo, della soluzione acquosa.