

**NUOVI E VECCHI STRUMENTI
PER INDAGARE I FENOMENI IN NATURA**
Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE BIENNIO

Terzo classificato

**Dallo studio della natura alla fisica del volo:
Leonardo da Vinci e le origini scientifiche delle macchine volanti**

Studenti

Mario Mattia - Maretto Estifanos - Ferrari Anna

Bettin Angelo - Bettanini Fecia di Cossato Carlo

Classi 1A – 2B

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo scientifico Istituto Don Bosco

Padova (PD)

Docente Coordinatore

Baldon Marco

L'idea di progettare un paracadute consente, nel confronto con i disegni e i progetti di Leonardo, di svolgere adeguatamente il tema proposto, ideando un'attività sperimentale originale. Gli studenti svolgono un notevole lavoro, senza trascurare nessun indizio e nessun problema. Nella conduzione degli esperimenti mostrano consapevolezza del metodo scientifico, pur con qualche semplificazione teorica, e buona padronanza della strumentazione; l'elaborazione accurata e precisa dei risultati porta a una valutazione critica dell'attività sperimentale.

Il gruppo è formato da cinque studenti del biennio del liceo scientifico: due studenti frequentano la prima liceo Scientifico Tradizionale, uno la prima liceo delle Scienze Applicate e due la seconda liceo delle Scienze Applicate.

I ragazzi hanno scelto l'argomento del loro lavoro partendo dalle proprie passioni personali e si sono dedicati con impegno e curiosità allo studio e all'analisi dei disegni di Leonardo da Vinci.

Il percorso è iniziato da un punto di vista prevalentemente storico-artistico, ma ben presto l'osservazione attenta dei disegni li ha portati a porsi domande di carattere scientifico e a progettare un lavoro sperimentale articolato e ambizioso.

Analizzando le macchine e le soluzioni tecniche ideate da Leonardo, gli studenti hanno elaborato un progetto scientifico complesso, confrontandosi però con le difficoltà concrete della sua realizzazione.

La costruzione degli apparati sperimentali e l'ottenimento di misure affidabili si sono rivelati più impegnativi del previsto.

Questa fase ha permesso loro di comprendere che nella pratica scientifica non sempre gli esperimenti funzionano al primo tentativo: è necessario analizzare gli errori, individuare le criticità e modificare l'apparato per renderlo più efficace.

Dopo aver ridimensionato l'idea iniziale, il gruppo si è concentrato su un obiettivo più circoscritto ma realizzabile, cercando soluzioni innovative per approfondire il progetto del paracadute di Leonardo e realizzare prototipi funzionanti.

Sono stati elaborati bozzetti, ipotesi di miglioramento e strategie per effettuare misure più precise, con particolare attenzione alla valutazione delle incertezze sperimentali.

La suddivisione dei compiti è avvenuta valorizzando le competenze specifiche dei diversi indirizzi: gli studenti dello Scientifico Tradizionale hanno contribuito soprattutto nell'analisi teorica dei problemi, mentre quelli delle Scienze Applicate hanno curato maggiormente la parte pratica, la costruzione dei prototipi e l'implementazione dei metodi di misura.

Gli studenti di seconda hanno svolto un ruolo di tutor nei confronti dei compagni più giovani, approfondendo con loro aspetti di cinematica e dinamica; a loro volta, gli studenti di prima hanno condiviso e consolidato le conoscenze sulla propagazione degli errori recentemente affrontate in classe.

Nonostante la differenza di età e di esperienza, il gruppo ha lavorato in modo complessivamente coeso, sviluppando collaborazione, responsabilità e capacità di confronto. Questo progetto ha rappresentato un'importante esperienza di crescita. I ragazzi hanno sperimentato concretamente cosa significhi trasformare un'idea in un'indagine scientifica, passando dall'entusiasmo iniziale alla verifica sperimentale, alla delusione per gli obiettivi non raggiunti, alla ricerca di soluzioni efficaci.

Hanno compreso che la scienza non è un percorso lineare, ma un processo fatto di tentativi, errori, aggiustamenti e miglioramenti continui.

Il percorso svolto ha permesso agli studenti di riflettere concretamente sul significato del tema del concorso: i "vecchi strumenti", come quelli ideati da Leonardo, rappresentano intuizioni straordinarie per comprendere la natura; i "nuovi strumenti" – teorici, digitali e metodologici – consentono oggi di analizzare quei fenomeni con maggiore precisione e consapevolezza.

Dallo studio della natura alla fisica del volo: Leonardo da Vinci e le origini scientifiche delle macchine volanti

INTRODUZIONE

L'idea di questo progetto nasce dalla passione di un nostro compagno per il volo e per gli aeromobili. Questo interesse ci ha portati a riflettere su come il desiderio di volare accompagni l'uomo fin dall'antichità, come dimostrano racconti mitologici come quello di Dedalo e Icaro. La domanda guida del nostro lavoro è stata quindi: **quali strumenti ha utilizzato l'uomo nel tempo per indagare il fenomeno del volo e come questi si sono evoluti fino all'epoca moderna?**

Nel nostro percorso di ricerca abbiamo individuato in Leonardo da Vinci una figura fondamentale nel passaggio dagli "antichi" strumenti di indagine, basati sull'osservazione diretta della natura, ai primi tentativi di studio scientifico dei fenomeni fisici. Come il nostro compagno, Leonardo coltivò per tutta la vita una profonda passione per il volo. I suoi strumenti principali erano l'osservazione, il disegno e la sperimentazione diretta: trascorse molto tempo a studiare il volo degli uccelli, analizzandone il battito delle ali, i cambiamenti di direzione e la capacità di sfruttare le correnti d'aria.

Per Leonardo la natura rappresentava il miglior manuale di ingegneria. Nel *Codice sul volo degli uccelli*, redatto intorno al 1505, egli annotò con precisione il comportamento degli stormi e le differenze tra volo battuto e volo planato. Attraverso questi "vecchi strumenti" – osservazione sistematica, disegno e confronto – Leonardo cercava di comprendere le leggi che regolano l'aria e il movimento, con l'obiettivo di applicarle alla progettazione di macchine volanti. Le macchine di Leonardo assomigliano per analogia alle ali degli uccelli e degli insetti, in particolare è interessante lo stretto rapporto tra l'aliante e l'anatomia dell'ala del pipistrello. Questo lo aiutò a capire come battono le ali e che il battito non è costante.

Uno dei risultati più significativi di queste indagini fu la consapevolezza che l'energia muscolare umana non fosse sufficiente a sostenere il volo battuto. Questa conclusione, ottenuta senza strumenti di misura moderni, dimostra la capacità di Leonardo di trarre deduzioni corrette dall'osservazione dei fenomeni naturali. Di conseguenza, egli orientò le sue ricerche verso soluzioni alternative, come il volo planato, ispirandosi in particolare al volo dei rapaci e allo sfruttamento delle correnti ascendenti.

Nel corso della sua vita Leonardo progettò numerosi congegni, tra cui l'ornitottero, l'aliante e la vite aerea. In quest'ultimo progetto ipotizzò che l'aria potesse comportarsi come un corpo solido entro cui una struttura elicoidale potesse "avvitarsi", generando una forza propulsiva. Anche in questo caso, l'osservazione di fenomeni naturali, come la caduta rotatoria dei semi di alcune piante, costituì uno strumento fondamentale di indagine.

In collaborazione con il nostro insegnante di arte ci siamo soffermati sull'analisi dei disegni leonardeschi relativi alle macchine volanti, riconoscendo in essi non solo un valore artistico, ma anche un vero e proprio strumento scientifico. Attraverso il disegno Leonardo registrava dati, formulava ipotesi e progettava soluzioni meccaniche, in un processo molto vicino a quello utilizzato oggi nei laboratori di ricerca.

Per Leonardo il volo non aveva nulla di misterioso: era un fenomeno puramente meccanico, governato da leggi fisiche precise. I suoi studi sul volo, pur collocandosi in un'epoca priva di strumenti di misura avanzati, si distinguono per rigore e originalità e anticipano concetti fondamentali della fisica moderna, come la resistenza dell'aria e il sostegno aerodinamico.

A partire da queste riflessioni, ci siamo concentrati in particolare sul progetto del paracadute. Leonardo disegna un paracadute a forma di piramide a base quadrangolare, con base e altezza di circa sette metri, rivestito di tela inamidata per renderlo impermeabile all'aria. L'intuizione alla base di questo progetto è che l'aria, offrendo resistenza a un corpo in caduta, possa rallentarne il moto e permettere una discesa controllata.

Questo progetto ci ha permesso di mettere in relazione vecchi e nuovi strumenti di indagine. Utilizzando il disegno di Leonardo come punto di partenza, abbiamo realizzato nel nostro laboratorio una serie di prototipi del paracadute. Attraverso strumenti moderni, misurazioni, confronti sperimentali e analisi dei risultati, abbiamo testato l'efficacia delle diverse soluzioni costruttive, verificando come variazioni di forma, superficie e materiali influenzino il comportamento fisico del sistema.

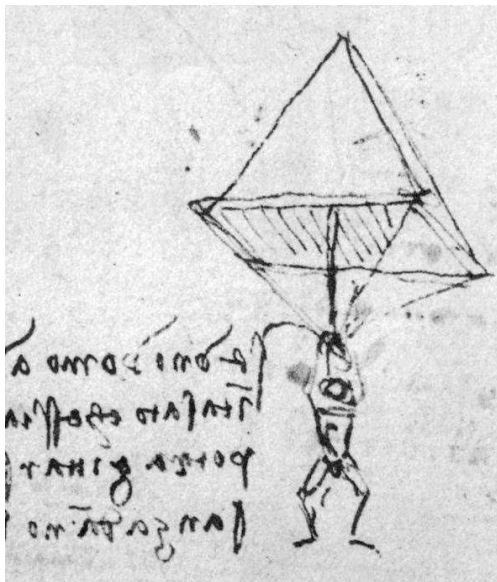
Il nostro lavoro mostra come, a distanza di secoli, lo studio dei fenomeni naturali continui a fondarsi sugli stessi principi: osservare, formulare ipotesi, sperimentare e verificare. Cambiano gli strumenti, ma resta invariato l'obiettivo della scienza: comprendere le leggi della natura per interpretare e spiegare i fenomeni che ci circondano.



Esperimento n. 1 – Moto di caduta libera

Scopo dell'esperimento

Lo scopo dell'esperimento è misurare il tempo di caduta libera di un oggetto privo di paracadute, al fine di ottenere un valore di riferimento. Questa misura è fondamentale per poter valutare l'efficacia del paracadute di Leonardo, confrontando il tempo di caduta libera con quello dello stesso oggetto agganciato al paracadute negli esperimenti successivi. In questo modo è possibile verificare sperimentalmente se e in che misura la presenza del paracadute influenzi il moto, rallentando la caduta grazie alla resistenza dell'aria. In assenza di attrito dell'aria, un corpo in caduta libera è soggetto unicamente alla forza peso e si muove con accelerazione costante pari all'accelerazione di gravità. Nell'esperimento reale, la resistenza dell'aria è ridotta il più possibile per avvicinarsi alle condizioni ideali di caduta libera e rendere confrontabili i risultati con quelli ottenuti in presenza del paracadute.



Materiale utilizzato

Massa di 125 g, avvolta in un involucro di alluminio per stabilizzare la caduta e ridurre effetti di rotazione e attrito irregolare con l'aria.

Sensori di tempo per la misura del tempo di transito (portata: 99,99 s, sensibilità: 0,01 s)

Metro per la misura dell'altezza di caduta

Struttura di supporto per il rilascio dell'oggetto e il posizionamento dei sensori

(Di seguito è riportata la fotografia dell'apparato sperimentale utilizzato per le misurazioni.)

Procedimento

Abbiamo predisposto la struttura di supporto per il rilascio dell'oggetto, assicurandoci che il punto di caduta fosse allineato verticalmente con i sensori di tempo. Abbiamo misurato l'altezza di caduta (distanza tra i due sensori) utilizzando il metro e l'abbiamo mantenuta costante per tutte le prove, in modo da garantire la confrontabilità delle misurazioni.

Abbiamo avvolto la massa di 125 g in un involucro di alluminio, al fine di stabilizzare la caduta e ridurre effetti indesiderati quali rotazioni o deviazioni laterali dovute alla resistenza dell'aria.



Abbiamo posizionato i sensori di tempo in corrispondenza del punto di rilascio e del punto di arrivo, e li abbiamo collegati al sistema di misura per la registrazione automatica del tempo di caduta. La distanza tra i due sensori è di 60 cm. Abbiamo rilasciato l'oggetto da fermo, senza imprimere alcuna spinta iniziale, per garantire condizioni il più possibile vicine al moto di caduta libera.

Il sistema di sensori ha misurato il tempo di caduta dell'oggetto dall'istante di rilascio fino al raggiungimento del punto di arrivo. L'esperimento è stato ripetuto più volte, mantenendo invariate le

condizioni iniziali, per ridurre l'influenza degli errori casuali e ottenere un valore medio del tempo di caduta. I tempi misurati sono stati registrati in una tabella dati e successivamente è stata calcolata la velocità media di caduta.



Dati raccolti

Numero misurazioni	Risultati (s)
t ₁	0,13
t ₂	0,14
t ₃	0,14
t ₄	0,13
t ₅	0,17
t ₆	0,15
t ₇	0,15

Analisi dei dati

$$\bar{t} = \frac{0,13+0,14+0,14+0,13+0,17+0,15+0,15}{7} \simeq 0,14 \text{ s}$$

$$s_d = \frac{0,17-0,13}{2} = 0,02 \text{ s}$$

$$h=60 \text{ cm}=0,60 \text{ m}$$

$$v=h/\bar{t}=4,28 \text{ m/s}$$

$$Er_s = 0,001/0,60 \text{ m} = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$Er_t = 0,02/0,14 = 0,2$$

$$Er_v = Er_s + Er_t = 2 \cdot 10^{-3}+0,2 = 0,2$$

$$Ev=0,2 \cdot 4,28=0,9 \text{ m/s}$$

$$v=(4,3 \pm 0,9) \text{ m/s}$$

Esperimento n. 2 – Realizzazione del paracadute di Leonardo

A Scopo dell'esperimento

Lo scopo dell'esperimento è realizzare un modello funzionante del paracadute progettato da Leonardo da Vinci, analizzando come la scelta dei materiali e delle modalità di fissaggio della copertura allo scheletro influenzi il comportamento fisico del sistema durante la caduta. L'obiettivo è verificare se il modello, ispirato al progetto originale, sia in grado di aumentare il tempo di caduta rispetto al moto di caduta libera e quindi di dimostrare sperimentalmente l'efficacia della resistenza dell'aria.

Materiali e progettazione

Abbiamo inizialmente costruito lo scheletro del paracadute utilizzando listelli in legno di balsa, scelto per garantire un buon compromesso tra rigidità strutturale e massa contenuta, in accordo con le indicazioni presenti nei disegni leonardeschi. Successivamente ci siamo interrogati su due aspetti fondamentali del progetto:

- la scelta del materiale della copertura, che doveva essere sufficientemente leggero ma allo stesso tempo capace di opporre resistenza al passaggio dell'aria;
- la modalità di fissaggio della copertura allo scheletro, per assicurare stabilità durante la caduta ed evitare deformazioni o distacchi che potessero compromettere le misurazioni.

Procedura sperimentale

Abbiamo realizzato lo scheletro del paracadute a forma di piramide a base quadrangolare, utilizzando listelli in legno di balsa. Per la base quadrangolare abbiamo utilizzato 4 listelli e li abbiamo incollati tra loro per formare un quadrato, per questo abbiamo dovuto tagliare i vari gli estremi dei listelli di 45 gradi cosicché incollati formassero un angolo di 90 gradi. Dagli angoli della base abbiamo fatto partire i listelli per formare la piramide. Abbiamo preso in considerazione diversi materiali per la copertura, valutandone massa, resistenza meccanica e impermeabilità all'aria. Abbiamo scelto il materiale ritenuto più idoneo e la copertura è stata tagliata secondo le dimensioni dello scheletro, in modo da aderire correttamente alla struttura.



Abbiamo fissato la copertura allo scheletro mediante sistemi di ancoraggio (filo, nastro o legatura), prestando attenzione a garantire una tensione uniforme su tutta la superficie. Prima delle misurazioni, abbiamo effettuato prove preliminari di caduta per verificare la stabilità del paracadute e l'assenza di rotazioni o collassi strutturali.

Conclusioni

In questo esperimento sono messi a confronto vecchi strumenti di indagine, come il progetto e l'intuizione di Leonardo da Vinci, con nuovi strumenti, quali materiali moderni, tecniche costruttive attuali e misurazioni sperimentali. La realizzazione del paracadute rappresenta quindi un ponte tra osservazione storica della natura e verifica sperimentale delle ipotesi. Le prove preliminari hanno evidenziato che il paracadute ideato da Leonardo da Vinci risulta marcatamente instabile durante la caduta. Il moto non avviene lungo una traiettoria verticale rettilinea, ma presenta un andamento vorticoso e oscillatorio, che rende impossibile effettuare misurazioni affidabili del tempo di caduta. Inoltre, in alcune prove, il paracadute sembra non rallentare il moto, ma addirittura favorire un'accelerazione rispetto alla caduta dell'oggetto privo di paracadute. Queste osservazioni ci hanno portati a interrogarci sulle possibili cause fisiche di tale comportamento. In particolare, abbiamo ipotizzato che l'instabilità potesse essere legata a diversi fattori. Dal punto di vista aerodinamico, la forma piramidale rigida del paracadute può favorire la formazione di flussi d'aria irregolari e vortici lungo le superfici laterali che provocano rotazioni e oscillazioni del sistema. In assenza di una superficie flessibile capace di adattarsi al flusso, le instabilità non vengono smorzate. Un ulteriore elemento critico è rappresentato dall'eccessiva rigidità della struttura. La mancanza di deformabilità impedisce al paracadute di assumere una configurazione stabile durante la caduta, come avviene invece nei paracaduti moderni, nei quali la flessibilità del tessuto contribuisce a stabilizzare il moto. Abbiamo inoltre considerato il possibile disallineamento tra centro di massa e centro di pressione. Se il centro di pressione non coincide con il centro di massa del sistema, si genera un momento torcente che tende a far ruotare il paracadute, aumentando l'instabilità del moto.

Tentativi di stabilizzazione

Per cercare di rendere il paracadute più stabile, abbiamo introdotto alcune modifiche sperimentali. In una prima fase, abbiamo aggiunto pesi alla struttura, con l'obiettivo di migliorare il bilanciamento del sistema e favorire l'allineamento del centro di massa lungo l'asse verticale di caduta. Questa soluzione, tuttavia, non ha prodotto risultati significativi: il moto è rimasto irregolare e vorticoso.

Successivamente, abbiamo aumentato lo spazio di caduta, ipotizzando che, a velocità maggiori, la resistenza dell'aria potesse diventare più efficace nel rallentare e stabilizzare il moto. Anche in questo caso, però, non si è osservato un miglioramento apprezzabile della stabilità del paracadute.

Infine, abbiamo praticato un foro al vertice della piramide, ispirandoci a soluzioni utilizzate nei paracaduti moderni. Questa modifica ha permesso una parziale fuoriuscita dell'aria accumulata all'interno della struttura, riducendo la formazione di vortici e rendendo il moto complessivamente più stabile e regolare.

Tuttavia, se da un lato questa soluzione ha migliorato la stabilità del paracadute, dall'altro non ha prodotto un aumento significativo del tempo di caduta rispetto alla caduta libera. Ciò indica che, pur migliorando la regolarità del moto, la superficie del paracadute non risulta sufficiente a generare una forza di resistenza dell'aria tale da rallentare sensibilmente la caduta.

Considerazioni fisiche finali

I risultati ottenuti suggeriscono che il progetto del paracadute di Leonardo, pur essendo concettualmente avanzato per la sua epoca, presenti limiti legati alla forma rigida, alla gestione del flusso d'aria e alla mancanza di un sistema di stabilizzazione efficace. Questo confronto tra il progetto storico e le nostre prove sperimentali evidenzia come la comprensione moderna dell'aerodinamica e l'evoluzione dei materiali abbiano giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo dei paracaduti contemporanei.

Esperimento n 3 Realizzazione di un paracadute funzionante

L'ultima parte del nostro progetto ha avuto come obiettivo la realizzazione di un paracadute funzionante, partendo dalle osservazioni e dalle criticità emerse durante lo studio e la sperimentazione del paracadute ideato da Leonardo da Vinci. Le difficoltà riscontrate in termini di stabilità e di efficacia nel rallentare il moto di caduta ci hanno fornito indicazioni fondamentali per la fase progettuale successiva. Sulla base dei risultati ottenuti, abbiamo adottato un approccio tipicamente scientifico: formulazione di ipotesi, modifica controllata delle variabili e verifica sperimentale.

Abbiamo quindi realizzato una serie di prototipi, mantenendo costante la massa del sistema e l'altezza di caduta, e modificando di volta in volta alcuni parametri significativi.

In particolare, abbiamo variato:

- il materiale della copertura, scegliendo tessuti con diversa massa e diversa permeabilità all'aria, per analizzare l'effetto sulla resistenza aerodinamica; - -
- la forma del paracadute, confrontando soluzioni piramidali, coniche e a calotta, per valutare l'influenza della geometria sulla stabilità del moto;
- la modalità di fissaggio e distribuzione delle masse, al fine di migliorare l'allineamento tra centro di massa e centro di pressione e ridurre le oscillazioni.

Per ciascun prototipo abbiamo misurato il tempo di caduta utilizzando la stessa strumentazione impiegata negli esperimenti precedenti, ripetendo più volte le misurazioni per ridurre l'incertezza sperimentale e calcolare un valore medio affidabile. Con alcuni prototipi abbiamo trovato difficoltà nel misurare il tempo di caduta poiché i fili che tenevano il pesetto si incastravano nei sensori dandoci misure non accurate.

Il confronto dei risultati ha permesso di individuare le soluzioni più efficaci, evidenziando come una struttura più flessibile, una forma in grado di distribuire uniformemente il flusso d'aria e una maggiore superficie di contatto con l'aria contribuiscano in modo significativo ad aumentare la resistenza aerodinamica e quindi il tempo di caduta.

Questa fase conclusiva del progetto mette in evidenza il passaggio dal modello storico al modello funzionale e rappresenta un chiaro esempio di come vecchi strumenti di indagine, basati sull'osservazione e sull'intuizione, possano essere integrati con nuovi strumenti sperimentali, come misurazioni sistematiche e confronto quantitativo dei dati, per comprendere e descrivere i fenomeni naturali.

Nuovo metodo di misurazione

Durante il corso di questo progetto abbiamo modificato due volte il metodo di misurazione della caduta del paracadute.

Il primo metodo utilizzato prevedeva l'impiego di un sensore fotometrico per misurare il tempo di caduta di un paracadute con un carico di 54 g. Sono state effettuate sette misurazioni preliminari per individuare la configurazione più adatta ed efficace all'interno dell'aula di fisica. Inizialmente i sensori sono stati fissati con del nastro adesivo alla piantana porta-estintore, mantenendoli a una distanza di circa 60 cm l'uno dall'altro. Le prove senza paracadute hanno dato risultati soddisfacenti; tuttavia, quando abbiamo effettuato le misurazioni con il paracadute, ci siamo accorti che lo spazio tra sensori e piantana non era sufficiente per il passaggio dell'intera struttura. Questo comportava il rischio di urtare e danneggiare le lampadine dei sensori. Sarebbe stato necessario utilizzare fili di sospensione molto lunghi per evitare interferenze con la piantana, ma l'altezza limitata del soffitto non lo consentiva.

Per questo motivo abbiamo adottato un secondo metodo, basato sulla registrazione video della caduta. Il paracadute è stato lasciato cadere lungo la tromba delle scale dal secondo piano, mentre la discesa veniva ripresa con uno smartphone. Successivamente il video è stato analizzato con il software di video-editing CapCut, che consente di visualizzare il filmato fotogramma per fotogramma e di individuare con precisione gli istanti di inizio e fine del moto. In particolare abbiamo ritagliato il video dall'istante del rilascio del paracadute fino al momento dell'impatto al suolo; conoscendo il frame rate della registrazione, è stato possibile ricavare il tempo di caduta e stimare lo spazio percorso, ottenendo così misure più affidabili senza i vincoli strutturali presenti in laboratorio. Abbiamo inizialmente riesaminato il moto di caduta dell'oggetto privo di paracadute, utilizzandolo come riferimento per il confronto con le successive prove sperimentali. In seguito abbiamo testato un primo prototipo di paracadute in plastica, confrontandolo con un secondo prototipo in carta velina di dimensioni maggiori e con un terzo prototipo rosa sempre in carta velina ma di forma diversa e caratterizzato da dimensioni ancora più ampie. I risultati preliminari ottenuti ci hanno spinto a realizzare ulteriori due prototipi in plastica: uno di dimensioni intermedie e uno molto grande.

Per entrambi abbiamo dovuto aumentare lo spazio di caduta facendoli cadere dal terzo e ultimo piano sempre nella tromba delle scale. L'ultimo paracadute, il più grande, tuttavia, non ha fornito i risultati attesi perché, a causa delle dimensioni eccessive rispetto all'altezza disponibile per la caduta, non ha avuto il tempo necessario per gonfiarsi correttamente. Di conseguenza il moto osservato è risultato molto simile a una caduta libera, senza un significativo effetto frenante. Per i restanti tre prototipi abbiamo confrontato le velocità medie di caduta e stimato l'accelerazione del moto; da questa abbiamo ricavato anche una stima della velocità finale. Nell'analisi abbiamo ipotizzato che la presenza del paracadute, aumentando la resistenza dell'aria, comportasse una riduzione dell'accelerazione di caduta rispetto al caso di caduta libera.

Alla fine abbiamo comunque lanciato l'ultimo paracadute dal tetto e abbiamo osservato senza poter fare misurazioni dirette il suo moto di caduta, in assoluto è il migliore dei prototipi che abbiamo realizzato. In allegato abbiamo le bozze dei modellini realizzati.

Materiale utilizzato

- metro laser (sensibilità 2mm)
- cellulare
- programma di analisi video Capcut
- foglio di excel per effettuare i calcoli e rappresentarli graficamente

ANALISI E CALCOLI:

Inizialmente abbiamo determinato il tempo di caduta con ciascuna tipologia di paracadute e quindi la velocità media per confrontarli con il caso senza paracadute e comprendere se i paracaduti diminuivano la velocità media di caduta. Utilizzando la propagazione degli errori abbiamo calcolato gli errori di misura.

$$v_m = \frac{H}{t}$$

$$E_{\text{relativo } t} = \frac{\text{sensibilità dello strumento}}{\text{misura intervallo tempo}}$$

$$E_{\text{relativo } h} = \frac{\text{sensibilità dello strumento}}{\text{misura altezza}}$$

$$E_v = (E_{\text{relativo } t} + E_{\text{relativo } h}) \cdot v$$

Successivamente abbiamo calcolato l'accelerazione con cui gli oggetti si muovevano verso il suolo e quindi la velocità con cui arrivavano al suolo per avere una visione migliore dell'effetto dei paracaduti. Abbiamo utilizzato le equazioni del moto uniformemente accelerato per studiare il moto e determinare accelerazione e velocità finale, per calcolare gli errori abbiamo utilizzato la propagazione degli errori.

$$a = \frac{2H}{t^2}$$

$$E_a = (2 \cdot E_{\text{relativo } t} + E_{\text{relativo } h}) \cdot a$$

$$v_f = a \cdot t$$

$$E_{\text{relativo } a} = (2 \cdot E_{\text{relativo } t} + E_{\text{relativo } h})$$

$$E_v = (E_{\text{relativo } a} + E_{\text{relativo } t}) \cdot v$$

Senza paracadute:

$$t = 1,300 \text{ s}$$

$$\text{sensibilità cronometro computer} = 0,001 \text{ s}$$

$$h = 8,357 \text{ m}$$

$$\text{sensibilità metro laser} 0,002 \text{ m}$$

$$Er_t = \frac{0,001 \text{ s}}{1,300 \text{ s}} = 0,00077$$

$$Er_h = \frac{0,002 \text{ s}}{8,357 \text{ s}} = 0,00024$$

$$v_m = 6,428 \text{ m/s}$$

$$E_{vm} = (0,00077 + 0,00024) \cdot 6,43 \text{ m/s} = 0,007 \text{ m/s}$$

$$v_m = (6,428 \pm 0,007) \text{ m/s}$$

$$a = 9,89 \text{ m/s}^2$$

$$Er_a = 0,018$$

$$E_a = 0,02 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a = (9,89 \pm 0,02) \text{ m/s}^2}$$

$$V_f = 9,89 \text{ m/s}^2 \cdot 1,300 \text{ s} = 12,86 \text{ m/s}$$

$$E_{vf} = (0,00077 + 0,0017) \cdot 12,86 \text{ m/s} = 0,03 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_f = (12,86 \pm 0,03) \text{ m/s}}$$

Paracadute plastica:

$$t = 1,812 \text{ s}$$

$$\text{sensibilità cronometro computer} = 0,001 \text{ s}$$

$$h = 8,357 \text{ m}$$

$$\text{sensibilità metro laser} 0,002 \text{ m}$$

$$Er_t = \frac{0,001 \text{ s}}{1,812 \text{ s}} = 0,00056$$

$$Er_h = \frac{0,002 \text{ s}}{8,357 \text{ s}} = 0,00024$$

$$V_m = 4,612 \text{ m/s}$$

$$E_{vm} = (0,00055 + 0,00024) \cdot 4,612 \text{ m/s} = 0,004 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_m = (4,612 \pm 0,004) \text{ m/s}}$$

$$a = 5,091 \text{ m/s}^2$$

$$E_a = 0,013$$

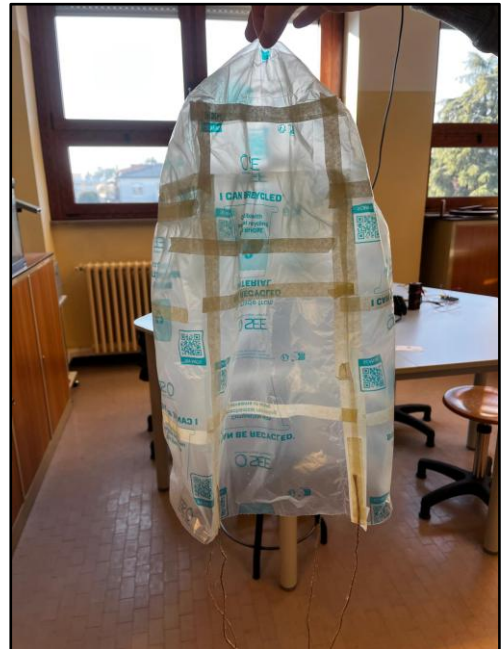
$$E_a = 0,02 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a = (5,09 \pm 0,02) \text{ m/s}^2}$$

$$V_f = 1,812 \text{ s} \cdot 5,091 \text{ m/s}^2 = 9,225 \text{ m/s}$$

$$E_{vf} = (0,00055 + 0,0012) \cdot 9,22 \text{ m/s} = 0,02 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_f = (9,22 \pm 0,02) \text{ m/s}}$$



Paracadute arancione:

$$t = 2,391 \text{ s}$$

$$\text{sensibilità cronometro computer} = 0,001 \text{ s}$$

$$h = 8,357 \text{ m}$$

$$\text{sensibilità metro laser} 0,002 \text{ m}$$

$$Er_t = \frac{0,001 \text{ s}}{2,391 \text{ s}} = 0,00042$$

$$Er_h = \frac{0,002 \text{ s}}{8,357 \text{ s}} = 0,00024$$

$$V_m = 3,495 \text{ m/s}$$

$$E_{vm} = 0,002 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_m = (3,495 \pm 0,004) \text{ m/s}}$$

$$a = 2,924 \text{ m/s}^2$$

$$E_a = 0,0011$$

$$E_a = 0,008 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a = (2,924 \pm 0,008) \text{ m/s}^2}$$

$$V_f = 2,391 \text{ s} \cdot 2,924 \text{ m/s}^2 = 6,99 \text{ m/s}$$

$$E_{vf} = (0,00042 + 0,0008) \cdot 6,99 = 0,01 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_f = (6,99 \pm 0,01) \text{ m/s}}$$



Paracadute rosa:

$$t = 2,883 \text{ s}$$

$$\text{sensibilità cronometro computer} = 0,001 \text{ s}$$

$$h = 8,357 \text{ m}$$

$$\text{sensibilità metro laser } 0,002 \text{ m}$$

$$Er_t = \frac{0,001 \text{ s}}{2,883 \text{ s}} = 0,00035$$

$$Er_h = \frac{0,002 \text{ s}}{8,357 \text{ s}} = 0,00024$$

$$V_m = 2,899 \text{ m/s}$$

$$E_{vm} = 0,002 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_m = (2,899 \pm 0,002) \text{ m/s}}$$

$$a = 2,011 \text{ m/s}^2$$

$$Er_a = 0,0009$$

$$E_a = 0,005 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a = (2,011 \pm 0,005) \text{ m/s}^2}$$

$$V_f = 2,883 \text{ s} \cdot 2,011 \text{ m/s}^2 = 5,797 \text{ m/s}$$

$$E_{vf} = (0,00035 + 0,0007) \cdot 5,797 \text{ m/s} = 0,007 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_f = (5,797 \pm 0,007) \text{ m/s}}$$



Paracadute medio:

$$t = 7,67 \text{ s}$$

$$\text{sensibilità cronometro computer} = 0,001 \text{ s}$$

$$h = 10,131 \text{ m}$$

$$\text{sensibilità metro laser } 0,002 \text{ m}$$

$$Er_t = \frac{0,001 \text{ s}}{7,67 \text{ s}} = 0,00013$$

$$Er_h = \frac{0,002 \text{ s}}{10,131 \text{ s}} = 0,00020$$

$$V_m = 1,3209 \text{ m/s}$$

$$E_{vm} = 0,0004 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_m = (1,3209 \pm 0,0004) \text{ m/s}}$$

$$a = 0,344 \text{ m/s}^2$$

$$Er_a = 0,0005$$

$$E_a = 0,001 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a = (0,344 \pm 0,001) \text{ m/s}^2}$$

$$V_f = 7,67 \text{ s} \cdot 0,344 \text{ m/s}^2 = 2,642 \text{ m/s}$$

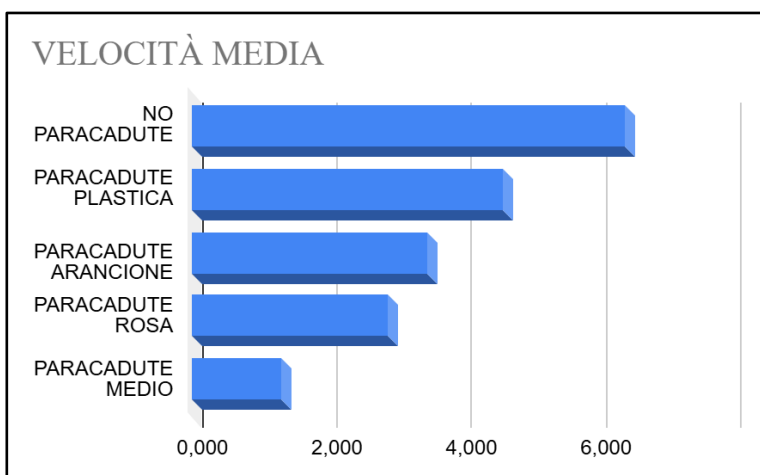
$$E_{vf} = (0,00013 + 0,0003) \cdot 2,642 = 0,002 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{v_f = (2,642 \pm 0,002) \text{ m/s}}$$



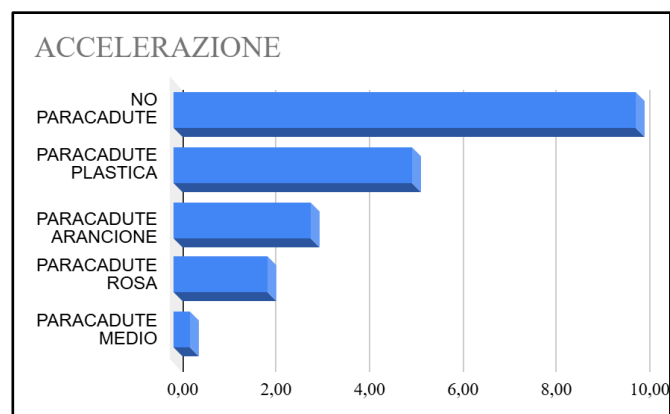
CONFRONTANDO I RISULTATI OTTENUTI:

	VELOCITÀ MEDIA (m/s)	ERRORE VELOCITA' MEDIA (m/s)
NO PARACADUTE	6,428	0,006
PARACADUTE PLASTICA	4,612	0,004
PARACADUTE ARANCIONE	3,495	0,003
PARACADUTE ROSA	2,899	0,002
PARACADUTE MEDIO	1,3209	0,0004



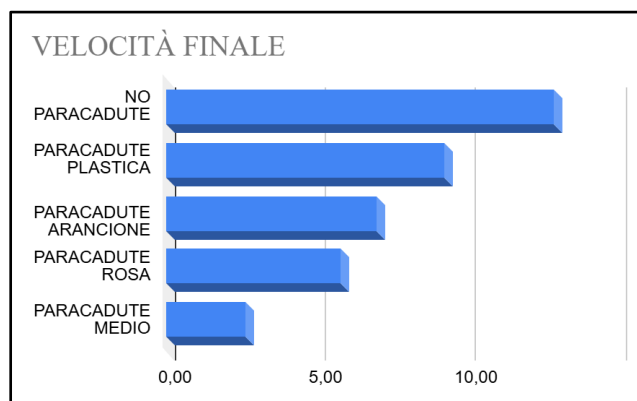
Tutti i paracaduti diminuiscono la velocità media di caduta rispetto al moto di caduta libera, quindi svolgono il loro lavoro, l'ultimo paracadute in plastica e di medie dimensioni è quello che riduce di più la velocità

	ACCELERAZIONE (m/s ²)	ERRORE ACCELERAZIONE (m/s ²)
NO PARACADUTE	9,89	0,02
PARACADUTE PLASTICA	5,09	0,02
PARACADUTE ARANCIONE	2,924	0,008
PARACADUTE ROSA	2,011	0,005
PARACADUTE MEDIO	0,344	0,001



Anche confrontando le accelerazioni si nota che l'ultimo paracadute è quello che riduce nettamente l'accelerazione del corpo in caduta, vuol dire che la forza esercitata dall'aria all'interno della struttura è quasi uguale a quella gravitazionale. Tutti i paracaduti generano una forza contraria a quella di gravità.

	VELOCITÀ FINALE (m/s)	ERRORE VELOCITA' FINALE (m/s)
NO PARACADUTE	12,86	0,03
PARACADUTE PLASTICA	9,22	0,02
PARACADUTE ARANCIONE	6,99	0,01
PARACADUTE ROSA	5,797	0,007
PARACADUTE MEDIO	2,642	0,002

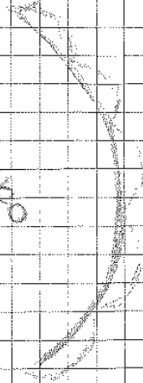


L'effetto della diminuzione dell'accelerazione ha effetto anche sulla velocità finale. L'effetto sembra minore osservando il grafico perché la velocità è data da accelerazione per il tempo, ed è vero che diminuisce l'accelerazione di caduta ma aumenta il tempo di volo.

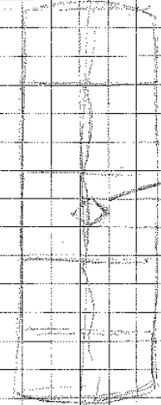
Conclusioni:

Questo progetto ci ha permesso di studiare in modo concreto il moto di caduta dei corpi e di capire quanto la resistenza dell'aria influenzi la discesa rispetto alla caduta libera. Le prime misurazioni senza paracadute sono state fondamentali perché ci hanno dato un termine di confronto per valutare l'efficacia dei vari prototipi. La ricostruzione del paracadute progettato da Leonardo da Vinci ci ha fatto capire che un'idea storicamente interessante non sempre funziona bene dal punto di vista pratico: la forma rigida, la distribuzione del peso e la struttura del paracadute lo rendevano poco stabile. Il foro praticato nella parte superiore ha migliorato la stabilità, ma non ha ridotto in modo significativo il tempo di caduta. Costruendo nuovi prototipi abbiamo osservato che dimensioni, forma, materiale e massa del carico influenzano molto la velocità di discesa. Un paracadute troppo grande, ad esempio, se non ha spazio sufficiente per aprirsi bene, non riesce a rallentare la caduta come previsto. Anche il metodo di misura è stato importante: siamo passati dai sensori fotometrici alla videoanalisi con smartphone e software, dimostrando come strumenti tradizionali e tecnologie più recenti possano essere usati insieme per studiare i fenomeni naturali. In generale il progetto ci ha aiutato a capire meglio alcuni concetti fondamentali di fisica, come accelerazione di gravità, resistenza dell'aria, velocità di caduta e progettazione sperimentale, ma soprattutto ci ha fatto sperimentare direttamente come funziona il metodo scientifico: osservare, fare ipotesi, provare, sbagliare e migliorare.

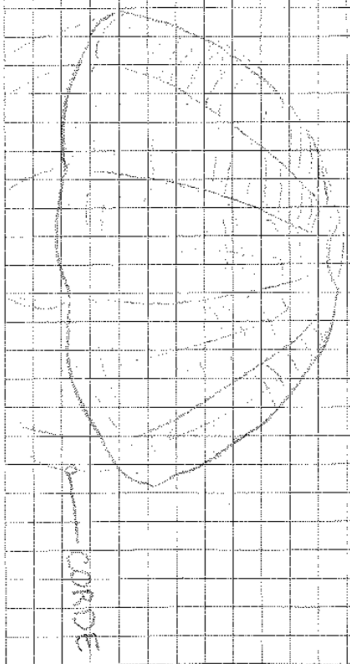
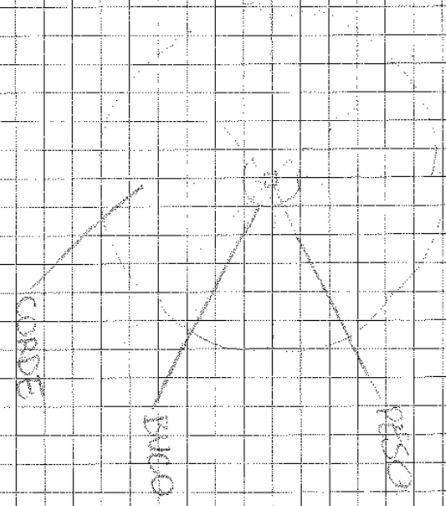
PUCO GRADIENTE - 10% CIRCUNFERENCIA 3-1% ANTA-01



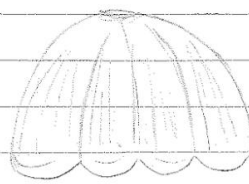
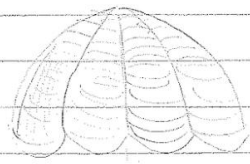
COAR



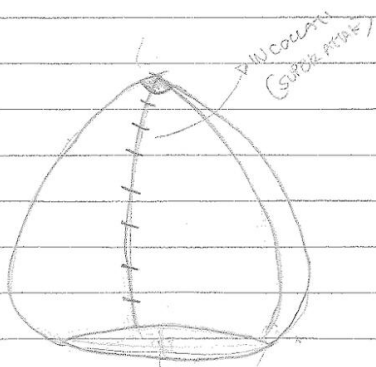
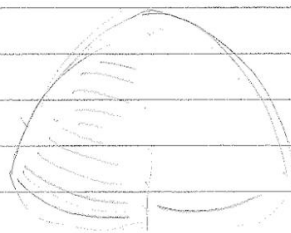
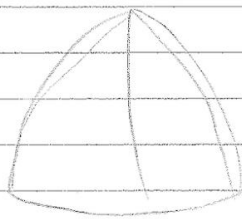
MATERIAL: WOOD (do prime, acido, para pua)



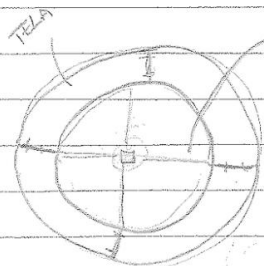
CORDE



MATERIE OMBRELLI

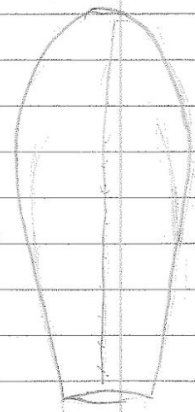


DIAM COCCO
(SOTTO PEGHE)

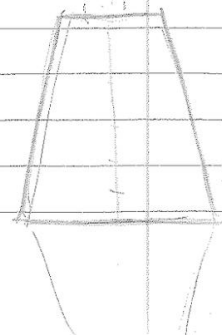
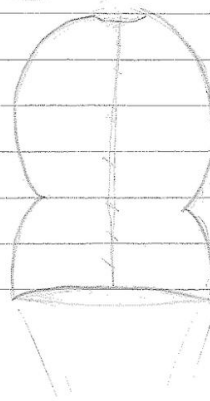
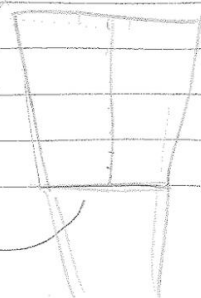


TELA

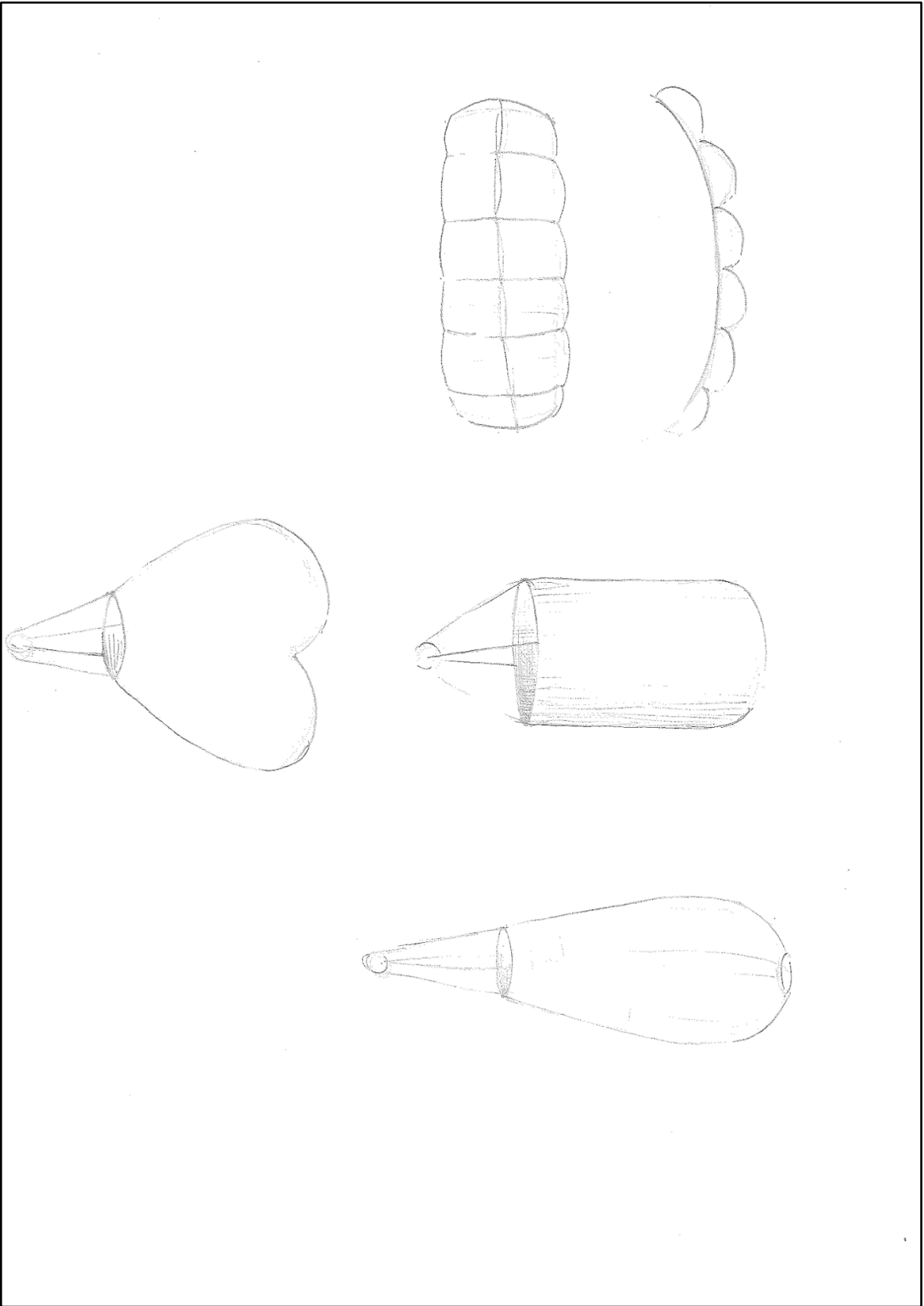
AL DI FERRO



CAMBIA DA A
A 2.7.7



CAMBIA QUANTA
E' GRANDE L'APERTURA





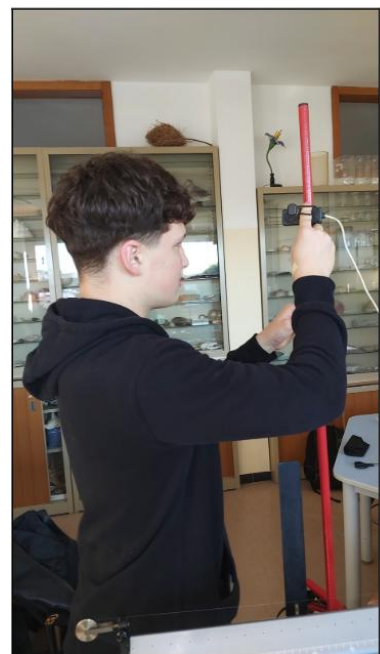
Misurazione dei tempi di caduta con il sensometro.



Realizzazione dello scheletro del paracadute di Leonardo.



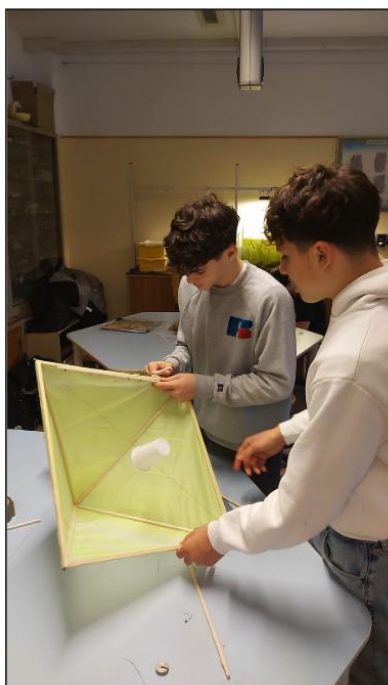
Calcoli con il tempo misurato.



Angelo che fissa i sensori all'asta.



Misurazioni della copertura del paracadute di Leonardo.



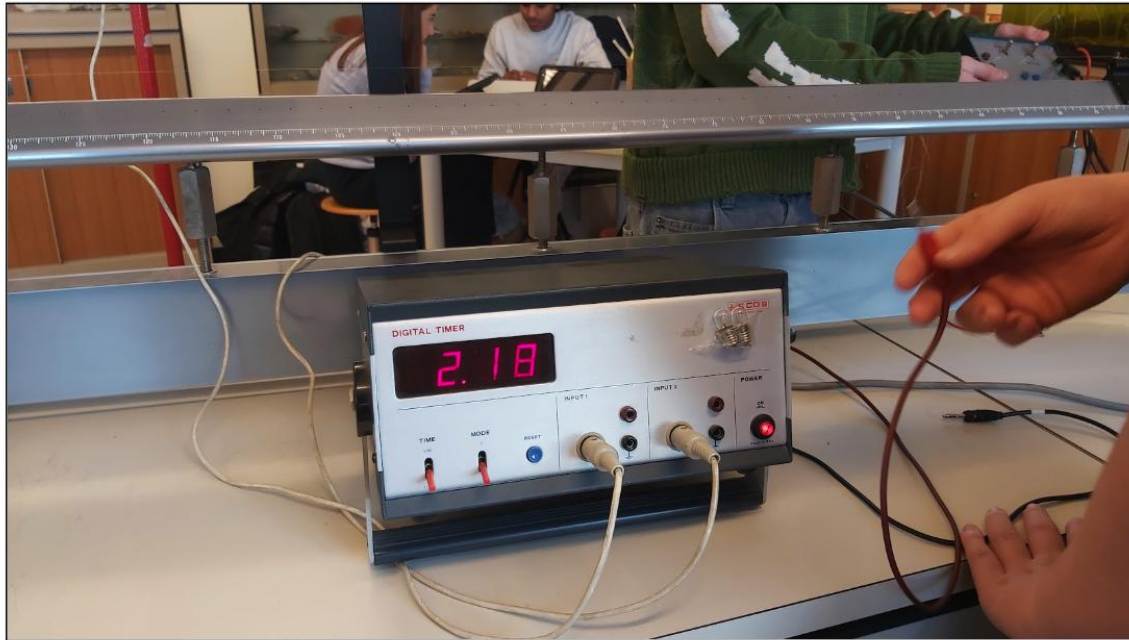
Fissaggio dei pesi sul paracadute di Leonardo.



Misurazioni con il sensometro.



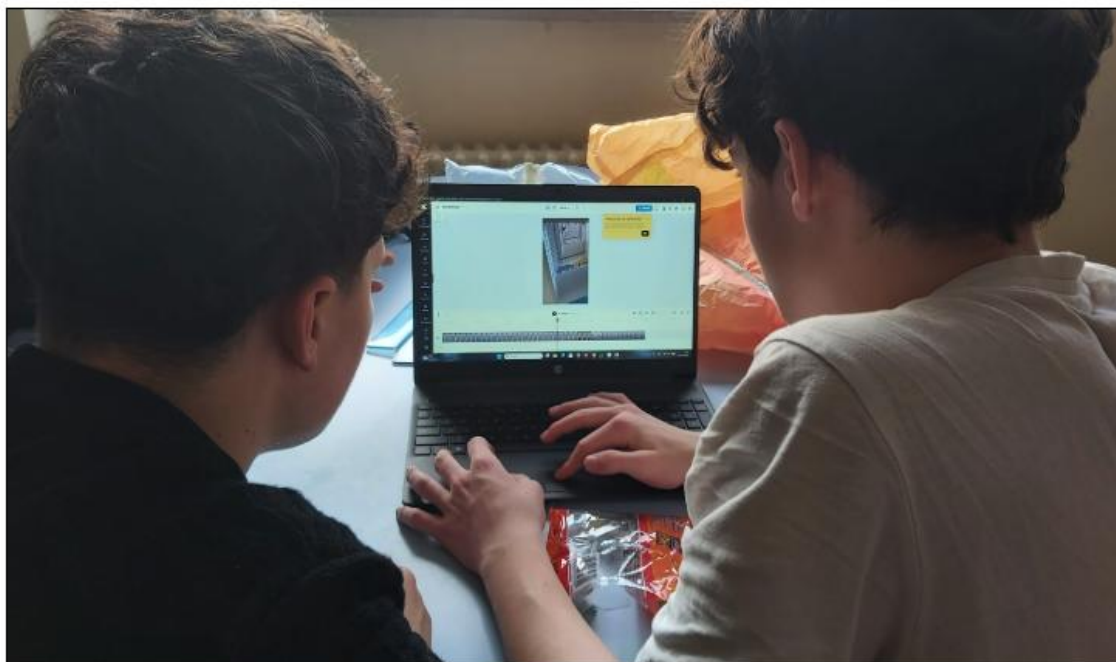
Fissaggio dei sensori al sensometro.



Misurazioni con il sensometro.



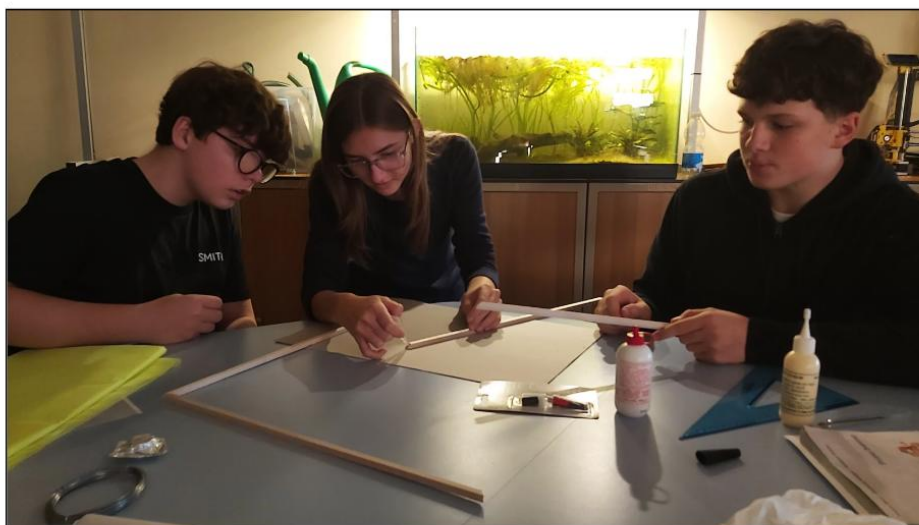
Misurazioni con il sensometro.



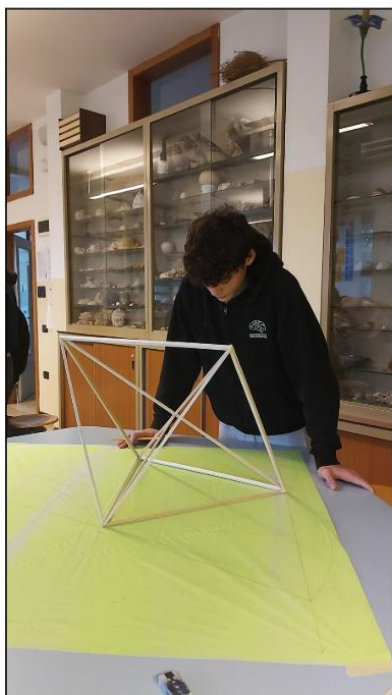
Analisi dei video con CapCut.

Realizzazione del paracadute di Leonardo.





Realizzazione della base dello scheletro del paracadute di Leonardo.



Misurazioni della coperture del paracadute di Leonardo.



Calcoli con le misurazioni del tempo.

Sitografia:

<https://artsandculture.google.com/story/il-sogno-di-leonardo-il-volo/QwUxhxo7UcuLg?hl=>
<https://www.arte.it/opera/codice-sul-volo-degli-uccelli-579>
<https://www.mostradileonardo.com/2025/09/15/leonardo-vinci-fascino-volo/>
<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-sul-volo-degli-uccelli/0018-v/>
<https://www.leonardodigitale.com/sfoglia/codice-sul-volo-degli-uccelli/-cop.-esterno/>
<https://www.mostradileonardo.com/2025/09/15/leonardo-vinci-fascino-volo/>
<https://www.leonardodavinci.blog/invenzioni/ornitottero/>
<https://museoleonardiano.it/opera/vite-aerea/>
http://web.tiscali.it/labstoriavt/ipert/Leonardo/volo/parac_Leo.htm
<https://leonardodavinciteatro.wordpress.com/2017/11/30/leonardo-e-il-volo/>
<https://www.lombardiabeniculturali.it/scienza-tecnologia/schede/ST070-00031/>
<https://museoleonardiano.it/opera/grande-ala-articolata/>
<https://www.progetti.iisleviponti.it/Leonardo/html/volo.html>
[https://it.wikipedia.org/wiki/Codice sul volo degli uccelli](https://it.wikipedia.org/wiki/Codice_sul_volo_degli_uccelli)
[https://it.wikipedia.org/wiki/Vite aerea](https://it.wikipedia.org/wiki/Vite_aerea)
<https://www.leonardo3.net/it/l3-research-center/collezione-l3/pipistrello-meccanico-1300.html>
<https://aulascienze.scuola.zanichelli.it/multimedia-scienze/come-te-lo-spiego-scienze/spine-analoghe-arte-omologhi/>