

**Ingegneria Aerospaziale**

**di Forlì**

**Tesi di laurea:**

**Progetto, realizzazione e lancio  
di un razzo modello**

---

**Tutor: Prof. Piergentili Fabrizio**

**Studente: Esteki Ehsan**

**Anno accademico 2012-2013**



# Introduzione:

---

## **Attività preparatoria della tesi:**

Con questa tesi di laurea ho cercato di raggruppare la maggior parte delle conoscenze forniteci dal corso di studi universitari in Ingegneria Aerospaziale attraverso la progettazione, realizzazione e trasposizione fisica di tutti i passaggi necessari alla realizzazione di un prototipo di razzo in scala.

La realizzazione di questo progetto intende dimostrare i principi funzionanti di un razzo, in scala ridotta, attraverso le sue principali fasi:

1. Progettazione in scala del razzo
2. Simulazione del comportamento in volo del razzo
3. Realizzazione effettiva e in scala del razzo modello
4. Studio dei grafici
5. Utilizzo del sensore altimetro elettronico

Per la progettazione in scala e simulazione del comportamento in volo del razzo ho utilizzato il software RockSim che risulta essere il più diffuso e noto tra i razzo-modellisti.

RockSim è un programma per computer che consente di ideare, progettare e realizzare in scala qualsiasi tipo di razzo modello e simularne sia il volo, per vedere quanto in alto possa andare, sia la velocità con la quale volerà. Ancor prima di iniziare a costruire fisicamente un razzo è possibile scoprire se esso sarà stabile e sicuro per il lancio attraverso la simulazione di volo; ovviamente in questo modo è possibile risparmiare sia tempo sia materiali di costruzione.

Vorrei sinteticamente illustrarvi il funzionamento del programma RockSim e il suo utilizzo per realizzare la simulazione di un razzo modello, che è stato, in seguito, costruito e lanciato.

RockSim è il software di progettazione e simulazione di razzo modelli più usato e diffuso. Permette di costruire il modello utilizzando sia parti in commercio sia pezzi definiti dall'utente in un grandissimo numero di materiali diversi, fornendo

una lista completa delle parti utilizzate. Calcola CP (Centro di pressione), CG (Centro di gravità), altezza, tempi, stabilità dinamica. Applica le formule di Barrowman, il sistema dell'area laterale e formule proprietarie. Permette la progettazione di modelli con pinne asimmetriche, doppi set di pinne e motori esterni. Contiene un database di motori modificabile e una banca dati sia dei materiali sia di parti sciolte. Il database dei motori è realizzato nel formato standard ENG, modificabile e aggiornabile a piacere dall'utente e utilizzabile da tutti i software di simulazione. Stampa i parametri della simulazione e le dimensioni per gli alettoni. Gestisce pluristadio e clusters, può simulare accensioni ritardate, booster-darts, lanciatori a pistone.

### **Tecnologie del razzo modello:**

In rete, sul sito ACME ITALIA dell'associazione italiana di modellismo spaziale, sono state trovate la maggior parte delle fonti necessarie, fondamentali e pratiche per la progettazione di un razzo modello.

Queste regole, essendo il sito molto ricco ed esaustivo di nozioni e dettagli su tutti gli aspetti teorici e pratici per la realizzazione di un razzo modello, vengono di seguito riportate.

## **Principi di funzionamento**

### *Come funzionano i modelli spaziali*

I modelli spaziali sono prototipi volanti costruiti con materiali leggeri come cartone, legno e plastica, materiali compositi e spinti da motori che si trovano in commercio. Sono dei modelli a tutti gli effetti quindi vengono costruiti, fatti volare e poi riutilizzati. Per questo motivo sono tutti dotati di un paracadute o di altro sistema che li riporta a terra sani e salvi, pronti per volare infinite volte. I modelli spaziali vengono lanciati da una rampa di lancio che guida il modello per 100-150 cm, ovvero finché le forze aerodinamiche non sono sufficienti alla stabilità. Il lancio avviene esclusivamente utilizzando un sistema elettronico

comandato a distanza. Questo schema è comune a modelli di ogni dimensione e complessità.

### ***Le fasi del volo di un modello spaziale***

Di qualunque dimensione siano, il volo di un modello spaziale è sempre suddiviso in queste fasi:

#### ***Decollo e volo sotto spinta***

Il motore parte e spinge il modello accelerandolo fino all'esaurimento del combustibile.

#### ***Volo inerziale***

Quando il combustibile è esaurito, il modello sta muovendosi alla massima velocità quindi ha una grande energia. Per pura inerzia il modello può proseguire il volo ancora per una grande altezza. È' necessario lasciarlo andare fintanto che ha esaurito tutta l'energia e ha raggiunto la sommità della traiettoria (apogeo). Questo tempo di volo è determinato dal motore o da dispositivi elettronici, quindi è possibile scegliere il tempo necessario in base al modello.

#### ***Apogeo ed espulsione***

Alla sommità della traiettoria, il modello è quasi fermo e riprende il suo moto cadendo verso terra. A questo punto è necessario che esca il paracadute per riportare a terra il modello con sicurezza. L'espulsione del paracadute è garantita dal motore che contiene un sistema automatico per questo scopo.

#### ***Anatomia di un modello***

Tutti i modelli, grandi e piccoli, sono composti dalle stesse parti fondamentali.

Esse sono:

1. Corpo
2. Ogiva
3. Stabilizzatori o Alettoni o Pinne

4. Supporto motore
5. Protezione paracadute
6. Sistema di recupero
7. Anello di lancio o guida per rotaia
8. Motore
9. Il sistema di accensione.
10. Shock Cord

Queste sono le parti comuni a qualunque modello spaziale.

#### ***Corpo (body tube)***

Contiene il sistema di recupero oltre a costituire la struttura portante del modello. È fatto quasi sempre con un tubo di carta kraft avvolto a spirale, ricoperto di una sottile carta semi lucida. È molto leggero e robusto e le sue dimensioni sono standardizzate .

#### ***Ogiva (nose cone)***

L'ogiva è il "tappo" che chiude il modello, e viene espulsa dal sistema automatico contenuto nel motore per far uscire il paracadute. Resta legata al modello tramite un robusto cavo.

La sua forma è molto importante per motivi aerodinamici.

#### ***Stabilizzatori o Alettoni o Pinne***

Sono indispensabili per la stabilità del modello. Senza di essi il modello non potrebbe andare dritto e seguirebbe una traiettoria casuale.

#### ***Supporto motore (engine mount)***

Si tratta sostanzialmente di un tubo il cui diametro interno è pari a quello del motore, dotato di un sistema di bloccaggio del motore stesso e montato all'interno del corpo tramite dischi di centraggio. Il sistema di bloccaggio del motore serve a impedire che questo schizzi all'interno del modello alla partenza.

### ***Protezione paracadute (wadding)***

Serve per proteggere il sistema di recupero dalla carica di espulsione. Nei modelli più piccoli è composto di fogli in carta ignifugata o ovatta minerale ignifuga, nei modelli più grandi è realizzata con tessuti ignifughi (Nomex o Kevlar) oppure con sacche dello stesso materiale.

### ***Sistema di recupero (recovery system)***

I sistemi di recupero permettono di riportare a terra il modello senza danni a sé o alle cose e persone. Attualmente il sistema più usato in assoluto è il paracadute, ma per completezza riportiamo la descrizione anche degli altri sistemi "storici".

Caduta libera (Tumble Recovery - Featherweight) - Adatto solo per modellini estremamente leggeri (pochi grammi). La carica di espulsione espelle il motore da dietro il modello, che, non essendo più stabile, cade lentamente roteando nell'aria grazie alla sua estrema leggerezza.

Espulsione dell'ogiva (Breakaway) - Solo per modelli leggeri (max 15-20 gr.).

La carica di espulsione espelle l'ogiva che resta legata al corpo tramite un cavo. Il missile cade lentamente perché ha perso ogni caratteristica aerodinamica.

Nastro (Streamer) - Adatto per modelli leggermente più pesanti (max 30-40 gr.).

La carica di espulsione espelle l'ogiva che resta collegata al corpo mediante un cavo elastico. All'ogiva è legato un nastro di carta crespata, plastica, stoffa o mylar che frena la caduta del razzo. E' un sistema ancora molto in voga per alcune categorie.

Paracadute (Parachute) - Adatto per tutti i modelli. Il paracadute è espulso insieme all'ogiva che resta legata al corpo, oppure si possono usare i paracadute separati per il corpo e l'ogiva. Nei modelli più pesanti i paracadute possono essere più di uno. Il paracadute dei modelli più piccoli è in plastica o mylar, nei modelli più grandi è in nylon antistrappo.

I parametri di base che permettono attraverso varie formule di progettare e realizzare il sistema di recupero sono riportati in seguito, soprattutto per definire la grandezza del paracadute per il razzo in questione.

E' necessario calcolare con accuratezza le forze che vengono realmente

applicate al paracadute e ai suoi cavi per evitare danni al paracadute stesso, al modello, e a oggetti a terra.

Per calcolare l'area del paracadute, e quindi il suo diametro, è necessario conoscerne la forza frenante (resistenza) e stabilire la velocità di discesa.

**Forza frenante** - Si applica la consueta equazione della resistenza utilizzata in aeronautica:

$$(1) F_f = C * A * (\rho/2) * v^2$$

**F<sub>f</sub>** = Forza frenante in Newton [N]

**C** = Coefficiente di resistenza

**A** = Area del paracadute [m<sup>2</sup>]

**v** = Velocità di discesa [m/s]

**ρ** = densità atmosferica [kg/m<sup>3</sup>] (1,225 kg/m<sup>3</sup> al livello del mare, 1,121 kg/m<sup>3</sup> a 1000m)

La **tabella A** riporta il coefficiente di resistenza **C** per ogni tipo di paracadute.

**Tabella A**

<b>Tipo Paracadute</b>	<b>C</b>	<b>C<sub>x</sub></b>	<b>Ang. oscillazione</b>
Circolare piatto	0,75 - 0,85	1,7	+/-10° - +/-40°
Conico	0,75 - 0,90	1,8	+/-10° - +/-30°
Cruciforme	0,60 - 0,85	1,1 - 1,2	0° - +/-3°

**C<sub>x</sub>** = Coefficiente della forza di apertura

**Forza di apertura** - Generalmente si assume che un modello spaziale salga in verticale riducendo la velocità costantemente fino al punto in cui questa è pari a zero e a questo punto viene espulso il paracadute. In realtà non succede quasi mai così.

Tutti i modelli di grandi dimensioni iniziano a inclinarsi in prossimità dell'apogeo, seguendo una traiettoria curva e quindi mantenendo sempre una certa velocità. La curva è più o meno accentuata a seconda della forza del vento e della velocità del razzo. Un sistema di recupero sicuro deve essere in grado di

reggere entro un ampio campo di velocità. Come regola generale per modelli di grandi dimensioni si dovrebbe progettare un sistema che resti integro anche se la velocità alla quale viene espulso è di 200 o 300 Km/h.

Perciò dopo aver calcolato le dimensioni del paracadute, è necessario calcolare quanta forza eserciterà al momento dell'apertura per poter valutare se la resistenza dell'intero sistema è sufficiente. La forza o shock di apertura dipende dal tipo di paracadute usato: il paracadute piatto circolare sviluppa shock di apertura molto alta, mentre il paracadute a croce è quello che sviluppa gli shock meno forti.

Il Coefficiente della forza di apertura **C<sub>x</sub>** (rif. **tabella A**) è il valore che indica la differenza tra la forza di apertura istantanea e la forza frenante a velocità costante quindi la formula per calcolare la forza di apertura è:

$$F_s = F_f \cdot C_x$$

**F<sub>s</sub>** = Forza di apertura (shock)

includendo la formula (1) precedente si ottiene

$$F_s = C \cdot A \cdot (\rho/2) \cdot v^2 \cdot C_x$$

Tutto il fascio funicolare del paracadute, il cavo di tenuta e i suoi attacchi dovranno resistere a questa forza. Da questi calcoli deriva che in base alla velocità raggiunta dal modello le forze possono arrivare facilmente ad alcune centinaia o migliaia di Newton anche con paracadute relativamente piccoli.

Bisogna anche considerare che il coefficiente **C<sub>x</sub>** si può applicare solo in caso di apertura controllata; con una apertura non controllata le forze sono molto maggiori.

Da questi calcoli si capisce che la semplice espulsione non controllata del paracadute principale può essere utilizzata solo con modelli abbastanza leggeri che usano paracadute piccoli. Quando il peso richiede un paracadute grande non ci sono altre alternative che un'espulsione a più stadi dove un piccolo paracadute pilota può essere espulso anche a grande velocità perchè genera

shock di apertura gestibili. Il paracadute pilota abbasserà la velocità del modello a un valore che potrà essere sopportato dal paracadute principale purché si apra in modo controllato.

Per i calcoli riguardanti il paracadute pilota si può utilizzare una velocità di discesa di circa 40-50 Km/h (10-15 m/s)

#### ***Anello di lancio o guida per rotaia (launch lug o rail guide)***

Serve per guidare il modello sulla rampa durante i primi istanti del volo. Normalmente è un tubicino di cartone o materiale plastico, ma può essere anche di ottone o alluminio. Da qualche anno sono state introdotte le rampe di lancio a rotaia, che assicurano una maggiore rigidità rispetto alle aste per il lancio di modelli medio - grandi o molto grandi. Per guidare il modello lungo la rotaia si usano delle guide di lancio in materiale plastico (Delrin) o anche alluminio. Sono molto piccole e sono sempre le stesse per tutti i modelli, eliminando così il problema di avere aste di vario diametro.

#### **Motore:**

E' il componente fondamentale che permette di avere la spinta necessaria per realizzare il volo stesso del razzo modello.

Abbiamo fondamentalmente due tipologie diverse dei motori:

**Tradizionali** - Sono i motori più comuni ed economici. Sono tutti monouso e di uso semplicissimo e sono i più adatti per i razzi modelli semplici.



**Figura (1): immagine motore razzo tradizionale**

**Compositi** - Utilizzano un combustibile derivato da quello usato nei vettori spaziali, costituito essenzialmente da gomma con alcuni additivi. Sono estremamente sicuri in quanto particolarmente inerti. Sono i motori più potenti, la classe va da D a N, e sono più costosi dei precedenti. Esistono sia in versione monouso, che in versione ricaricabile. Per questo progetto è stato usato un motore composito ricaricabile.



**Figura (2): Immagine di un motore razzo composito**

### **Il principio di funzionamento del motore:**

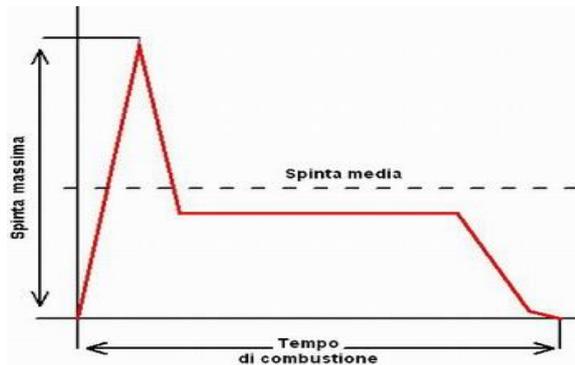
Il motore a endoreazione funziona sfruttando la terza legge di Newton, ovvero, espellendo gas da un'estremità si ottiene una spinta diretta in senso opposto, d'intensità proporzionale alla velocità e alla massa di gas espulsi. I gas sono prodotti dalla combustione rapida di un combustibile che nei motori veri può essere allo stato solido o liquido, mentre nel modellismo spaziale è pressoché sempre solido, a parte qualche rara eccezione.

Per ottenere una spinta utile, i gas devono raggiungere velocità supersoniche passando attraverso una strozzatura (ugello) di forma opportuna e variabile secondo le caratteristiche del combustibile.

In questa parte è fondamentale parlare anche dei parametri di base del funzionamento del motore con le formule principali.

Come per qualsiasi tipo di motore, per definire le caratteristiche e la potenza dei motori per i nostri modelli si utilizza una serie di parametri caratteristici.

**Spinta media (average thrust)** - La spinta media viene misurata in Newton ed è il valore medio di spinta del motore lungo tutta la durata della sua combustione. Tipicamente la spinta di un motore raggiunge un picco iniziale, scende a un valore medio che resta più o meno costante fino quasi al termine della combustione e scende ulteriormente, ancora più o meno gradualmente, poco prima di cessare (vedi curva di spinta). La spinta media è indicata nel codice di classificazione di ogni motore.



**Figura (3) : Grafico Spazio/Tempo**

**Tempo di combustione (burn time)** - Molto semplicemente è il tempo di funzionamento del motore. La sua lunghezza va da pochi decimi di secondo ad alcuni secondi. Un tempo di combustione di 2-3 secondi è già considerato lungo ma esistono anche motori con durate superiori a 5 secondi. Il tempo di combustione si ricava dalla curva di spinta fornita nelle istruzioni di ogni motore.

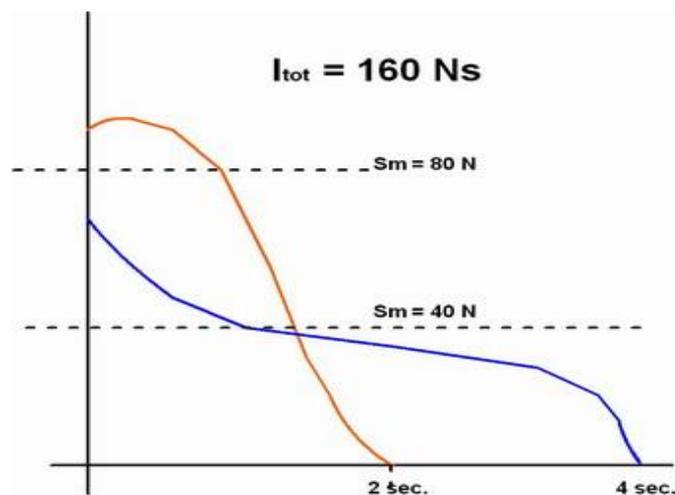
**Impulso totale (Total impulse - It oppure Itot)** - L'impulso totale indica la "quantità di energia" che un dato motore è in grado di sviluppare. E' il prodotto della spinta media per il tempo di combustione:

$$I_{tot} = S_m * t$$

E' un parametro di grande importanza perché indica la classe di potenza del motore, un po' come fosse la "cilindrata". La classificazione standard dei motori prevede infatti proprio una suddivisione in classi di impulso totale.

**Curva di spinta (Thrust curve)** - La curva di spinta, o curva spinta-tempo, descrive l'andamento della spinta durante il tempo di funzionamento del motore. È un grafico che si ottiene dalle prove statiche e che riporta la spinta in Newton o libbre sull'asse Y e il tempo in secondi sull'asse X. Le curve di spinta si trovano nelle confezioni di ogni motore ma è anche possibile scaricarle dal sito Thrustcurve.

E' molto importante conoscere la curva di spinta di un motore perché fornisce un'indicazione più precisa sul suo funzionamento (indica la spinta massima) e la distribuzione della spinta nel tempo. Non è detto, infatti, che due motori con spinta media e impulso totale uguale abbiano la stessa curva di spinta. Questa può essere anche molto diversa secondo il tipo di combustibile utilizzato e dalla sua geometria.



**Figura (4): Due curve di spinta**

**Ritardo (delay)** - E' un parametro che non rientra nel funzionamento del motore, ovvero nella generazione della spinta, ma è di estrema importanza. Il ritardo è espresso in secondi e indica il tempo che intercorre tra il termine della combustione (ovvero della spinta) e l'espulsione del paracadute. E' realizzato con una sostanza combustibile che brucia lentamente per il tempo indicato sul motore stesso e va scelto con attenzione in base alle caratteristiche (dimensioni, peso) del modello. Il ritardo è incluso in tutti i motori di piccole dimensioni a

combustibile tradizionale, esclusi quelli per i primi stadi, e in quasi tutti i motori di maggiori dimensioni. Gli unici motori che non possiedono alcun ritardo sono i motori ibridi.

**Impulso specifico (Isp)** - E' un parametro che, nel caso di propellenti solidi, appartiene più al combustibile che al motore. Indica la quantità di energia sviluppata per unità di massa. In sostanza indica quanti Newton-secondi vengono sviluppati da ogni kg di combustibile. Si misura in Newton-secondi/Kg, o, semplificando, in secondi.

**Geometria** - Fermo restando la composizione del combustibile e la forma dell'ugello, l'impulso totale di un motore solido è direttamente in funzione della massa del combustibile stesso. Il modo in cui questa energia viene sviluppata, ovvero la curva di spinta, può essere variato modificando la forma del combustibile ottenendo quindi una maggiore o minore area di combustione. In campo professionale esistono moltissime forme possibili, mentre i motori per applicazioni amatoriali utilizzano alcune forme che sono il miglior compromesso tra quelle ottimali per queste dimensioni e le più pratiche da realizzare industrialmente.



**Figura (5): La geometria di un motore razzo tradizionale**

I motori a combustibile composito non utilizzano questa semplice geometria perché la spinta sarebbe molto bassa.

## **Il sistema di accensione Razzo Modello:**

Questa tipologia del sistema di accensione viene dato in comodato d'uso dall'associazione ACME direttamente nello spazio di lancio.

La consolle di comando (Master Control Unit - MCU) è progettata per comandare un totale di 16 rampe, organizzate in quattro bank di quattro rampe ciascuno. L'intero sistema è comandato da un cavo multipolare di 12 conduttori che portano solo segnali di controllo e sono, quindi, di piccola sezione. Il cavo utilizzato ha un diametro di soli 6mm ed è relativamente leggero.

Le varie parti del sistema sono collegate da quattro cavi di questo tipo, tutti identici, con uguali e intercambiabili connettori alle estremità, tutti della stessa lunghezza (15 metri) che permette di posizionare le rampe a 15, 30, 45 e 60 metri di distanza dall'LCO. Queste distanze sono quelle previste dal codice per motori rispettivamente fino a G, H, J e K. Le rampe per modelli più piccoli possono venire avvicinate all'LCO e agli spettatori grazie ai cavi per il collegamento degli accenditori, lunghi 5 metri ciascuno.

I quattro bank sono collegati tra loro in cascata, i segnali entrano in ogni bank ed escono per andare al successivo.

Per aumentare la sicurezza del sistema ogni bank ha un segnale sonoro che entra in funzione se scorre corrente nei contatti del relè di lancio. Quindi se i contatti del relè dovessero saldarsi assieme per un eccesso di corrente l'allarme segnala che non è sicuro collegare un accenditore. L'allarme suona anche quando è premuto il pulsante di lancio.

## **Shock cord**

Una volta calcolato il paracadute non bisogna dimenticare di calcolare la resistenza che deve avere il cavo che lo tiene legato al resto del razzo.

La shock cord (cavo di tenuta o fune di vincolo) serve per due funzioni: deve sopportare la forza frenante del paracadute e deve frenare l'ogiva o la parte che viene espulsa e trattenerla al resto del razzo.

Mentre nei piccoli modelli si può ancora usare un cavo elastico senza eccessivi problemi, in modelli del peso di due o tre chili l'elastico è da evitare perché ha

un carico di rottura troppo basso.

Ultimamente si sta affermando l'uso del cavo in kevlar tubolare, in particolare grazie alla caratteristica di resistenza al calore e all'altissima robustezza.

Questo materiale però è per sua natura totalmente non elastico. L'ogiva quindi viene fermata molto violentemente e sviluppa dei tremendi carichi istantanei che, se anche vengono sopportati dal kevlar, possono rompere gli attacchi della shock cord alla fusoliera o all'ogiva.

### **Calcolo della forza sulla shock cord**

Per un corretto dimensionamento della shock cord è necessario calcolare la velocità dell'ogiva e, di conseguenza, la forza esercitata quando questa viene espulsa.

La forza minima alla quale deve resistere la shock cord è quella posseduta dall'ogiva in seguito all'espulsione:

$$\mathbf{F=M_0*a}$$

**M<sub>0</sub>** = massa dell'ogiva [kg]

**a** = accelerazione subita dall'ogiva [m/s<sup>2</sup>]

ma siccome  $\mathbf{a=v^2/2*ss}$  (ss=allungamento della shock cord) la formula precedente diventa:

$$\mathbf{F=M_0*v^2/2*ss}$$

**v** = velocità raggiunta dall'ogiva [m/s]

La velocità si ricava con:

$$\mathbf{v = \sqrt{2*ss*P*A}/M_0}$$

**s** = spazio percorso dall'ogiva sotto pressione (lunghezza della spalla) [m]

**P** = pressione generata dalla carica di espulsione (da 35.000 a 130.000 pa = da 0,35 a 3 bar)

**A** = Area della base dell'ogiva [m<sup>2</sup>]

**M<sub>0</sub>** = massa dell'ogiva [kg]

E' consigliabile dimensionare la carica di espulsione in modo che la velocità dell'ogiva sia compresa tra 10 e 20 m/s.

Applicando le formule descritte su una ogiva dal peso di 1 Kg che viene espulsa ad una velocità di 15m/s, legata ad una shock cord di 5 metri che abbia un allungamento del 5% (= 0,25 m) si ottiene un valore di 450 Newton, che corrisponde alla forza non trascurabile di oltre 45 kg.

Talvolta si sostiene che è meglio abbondare con la carica di espulsione in modo che il paracadute sia sicuramente espulso. Se si applicasse questo criterio con i dati di cui sopra raddoppiando, per esempio, la velocità di espulsione dell'ogiva, si otterrebbe una forza di 1800 Newton (oltre 180 kg). La maggior parte delle shock cord e degli ancoraggi non sarebbero mai in grado di reggere queste forze.

Per questo motivo con modelli di grandi dimensioni è di estrema importanza fare test a terra anche dopo aver calcolato la carica di espulsione. Questi numeri mostrano che con cariche di soli 1 o 2 grammi le forze generate sono di tutto rispetto.

Quando i modelli assumono dimensioni davvero grandi (decine di kg) diventa necessario separare il modello in due parti perché difficilmente si potrà trovare una shock cord in grado di reggere gli sforzi in gioco.

## Realizzazione: Italia Primo

### **Progettazione del Razzo**

Dopo aver realizzato la simulazione del Razzo usando il software RockSim, deducendone misure in scala per i vari componenti, e dopo aver copiosamente consultato il sito ACME ITALIA, per estrapolarne le tecniche costruttive più appropriate per la costruzione di un razzo modello, si è cercato di realizzare fisicamente il progetto come di seguito descritto.



**Figura (6): Tutti i componenti realizzati per il razzo modello**

### **Fusoliera o Corpo:**

Normalmente è cilindrico e realizzato con tubi di cartone speciale, tipo Kraft (leggero e robusto), oppure impregnato in resina fenolica, o in plastiche speciali. Questo tubo va tagliato nelle posizioni stabilite dal progetto per poter incollare le pinne e il corpo motore.



**Figura (7): Il corpo razzo con 50 cm di lunghezza**

### **Accoppiatori:**

Quando si devono unire due parti di un tubo si usano degli accoppiatori (couplers) che non sono altro che corti tubi il cui diametro esterno è pari al diametro interno dei tubi per il corpo.

I couplers sono fatti degli stessi materiali dei tubi, ma la superficie esterna non è liscia, in modo da assorbire bene la colla.



**Figura (8):**Accoppiatore usato per collegare il corpo razzo al corpo sensore

### **Anelli di Centraggio:**

Il tubo motore e la cellula sono assemblati concentricamente grazie a questi componenti; essi sono di cartone o di compensato di betulla e sono incollati prima al tubo motore e successivamente alla cellula. Essi servono a far coincidere 'automaticamente' l'asse di spinta (asse longitudinale del tubo motore) con l'asse longitudinale della cellula, garantendone la simmetria cilindrica, caratteristica primaria di questo tipo di veicolo.

Solitamente in numero di due e incollati alle estremità del tubo motore, gli anelli di centraggio possono anche presentarsi in numero superiore (per tubi molto lunghi o particolari esigenze strutturali) e in configurazioni più complesse. In questo progetto sono stati usati 3 anelli di centraggio.



**Figura (9): Anello di centraggio per corpo motore dove passa anche il shokcord**

### **Pinne o Alette stabilizzatrici:**

Sono una componente essenziale del vettore in quanto responsabili della sua stabilizzazione che è esclusivamente aerodinamica.

Nei piccoli modelli sono generalmente in balsa mentre nei modelli di dimensioni maggiori sono in compensato avio. Nel progetto in questione è stato usato il compensato come materiale d'uso. Per realizzare questo componente bisogna essere molto precisi nella lavorazione perché un minimo sbaglio può rispecchiare dei difetti aerodinamici sul razzo stesso. Nel razzo modello costruito sono state realizzate 8 pinne complessivamente; le prime 4 con una grandezza maggiore e posizionate sulla parte anteriore del razzo, le altre 4 di dimensioni inferiori e posizionate anteriormente al razzo per poter dare maggiore stabilità allo stesso.



**Figura (10): la geometria della pinna**

### **Supporto motore:**

Per montare il motore nel modello è necessario dotarlo di un tubo interno di diametro compatibile col motore che si vorrà utilizzare. Questo tubo (detto Motor Mount Tube o MMT) è sempre in cartone o in fenolico, oppure in composito nei modelli che utilizzano questo materiale per la cellula. Il supporto motore deve assolvere anche la funzione di bloccare il motore in modo che non scivoli ne' in avanti sotto spinta, ne' indietro a causa della carica di espulsione.



**Figura (11): Il corpo motore con 3 anelli di centraggio e il passaggio del shockcord**

### **Ogiva:**

Essa è quasi sempre realizzata in plastica iniettata in stampo, indipendentemente dalle dimensioni del modello (che influenzano solamente lo spessore della 'parete' del pezzo finito); si possono tuttavia avere ogive in balsa per modelli di piccolissime dimensioni e in legni più compatti e densi per modelli più grandi (in entrambi i casi le ogive sono realizzate al tornio) o ancora in fibra di vetro (realizzate a mano) per modelli di dimensioni tali da rendere improponibile la realizzazione in plastica. L'ogiva termina con una spalla che le permette di

essere agevolmente inserita all'interno della cellula. Nel progetto è stato usato di materiale plastico come si nota dall'immagine sotto riportata:



**Figura (12): Ogiva di plastica di lunghezza 15 cm**

### **Il sistema di recupero:**

Va dimensionato e progettato in funzione del tipo di modello, delle sue dimensioni e del suo profilo di volo. Esso va progettato in funzione sia del peso del modello sia del suo profilo di volo. Spesso si commette l'errore di progettarlo per ultimo e di non ragionarci su troppo. Invece va fatto l'esatto contrario: anche per modelli semplici il sistema di recupero va progettato per primo e il modello gli va progettato attorno. Il sistema di recupero è quello che porta a terra, integro, il modello ed evita danni alle cose e/o persone, quindi vale la pena farlo bene! Nel caso di recupero con un solo paracadute sarà necessario calcolare le dimensioni in base al peso e in base alla velocità alla quale si vuole che atterri il modello. Questa velocità può essere scelta in funzione della robustezza dei materiali, del terreno sul quale avviene l'atterraggio e della distanza alla quale si può arrivare a recuperare il modello.



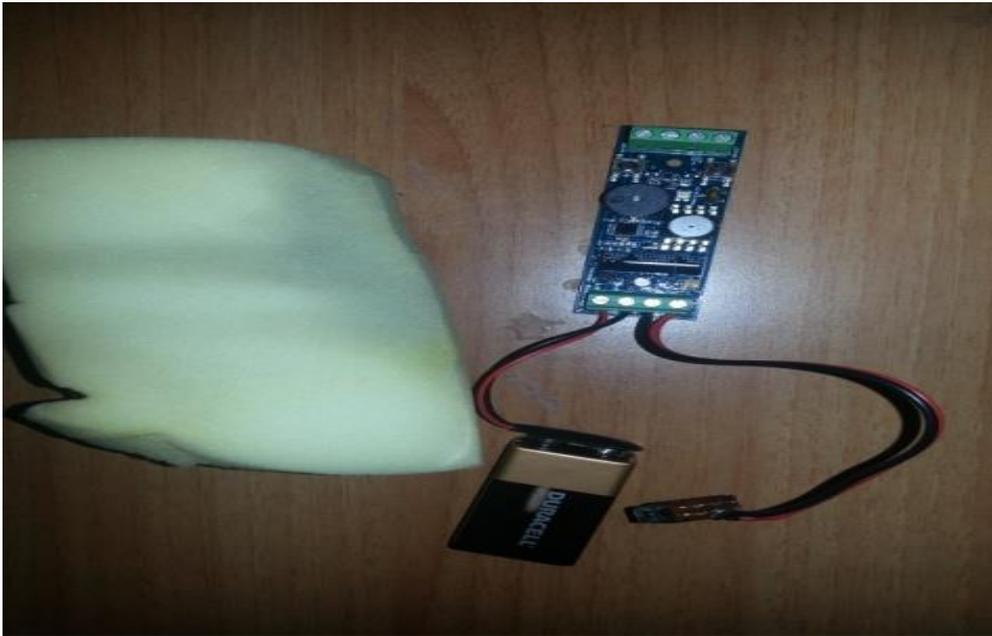
**Figura (13) Il paracadute insieme al gancio per collegarsi al shockcord**

Nel caso si decida per un sistema di recupero a doppia espulsione, bisogna progettare un alloggiamento per i dispositivi elettronici, i vani per i paracadute e la dimensione degli stessi, e la quota alla quale dovrà aprirsi il paracadute principale.

In tutti i casi è molto importante calcolare correttamente le dimensioni della shockcord, la sua lunghezza e il materiale di cui deve essere fatta così come le dimensioni degli agganci. Il sistema di recupero è cruciale ed è quello che riporta a terra il modello integro.

### **Elettronica:**

In questo progetto è stato usato un altimetro elettronico che è stato posizionato tra il corpo razzo e l'ogiva (come si vede nell'immagine 16); il componente elettronico, delicato, dovrebbe essere salvaguardato usando dei cuscini di cotone per ammortizzare le varie vibrazioni durante la fase del lancio.



**Figura (14): Altimetro elettronico con la batteria a 9 Volt**

Questo componente elettronico viene acceso utilizzando il pulsante di accensione (come in figura 14); una volta acceso va inserito nel corpo razzo prima del lancio. Nella fase del volo l'aria entra nell'involucro dove, posizionato il circuito, permette allo stesso di rilevare la differenza di pressione e di conseguenza la massima altezza raggiunta, durante il volo, dal razzo modello.

### **Costruzione:**

Nella fase di costruzione vengono usati i seguenti strumenti:

### **Colla:**

Quello delle colle è un argomento spesso sottovalutato ma che è invece molto importante. Basta pensare che la colla è quella che tiene insieme i nostri modelli per capirne l'importanza. A volte si vedono incollaggi fatti con colle inadatte che hanno dimostrato la loro debolezza al primo volo, e in alcuni casi addirittura prima! La ragione principale è che si utilizza la prima colla che si trova in casa,

oppure si sceglie male in negozio o si viene consigliati male dal solito "esperto" che però è totalmente a digiuno di modellismo spaziale.

Nel modellismo spaziale si usano colle e materiali da finitura come nell'aeromodellismo ma non tutti gli adesivi adatti per i modelli di aerei lo sono anche per i modelli spaziali. In questa pagina sono descritti gli adesivi e le loro caratteristiche e vengono elencati i prodotti più indicati sia perché sono utilizzati con successo dai modellisti di tutto il mondo, sia perché sono stati testati da modellisti italiani.

### **Epossidica**

Detta comunemente "**epoxy**". È la colla più adatta per i modelli di dimensioni medie e grandi (motori da E in su). È adatta per incollare cartone su legno, legno su legno, cartone su cartone, ma anche metalli o alcune plastiche fra di loro e sul cartone. Si tratta di una resina composta da due prodotti (la resina base e l'indurente) che si miscelano in parti uguali al momento dell'uso.

Le epoxy sono classificate secondo il loro tempo di lavorazione ovvero il tempo disponibile prima che l'epoxy inizi ad indurire. Il tempo necessario per l'indurimento definitivo è circa 8-10 volte più lungo. Per esempio se si usa una epoxy da 5 minuti si hanno cinque minuti per allineare una pinna ma si può ancora sistemare la pinna successiva per altri 10-15 minuti, mentre l'indurimento definitivo avviene in 45 minuti.

La colla indurisce per reazione chimica e non ha solventi che evaporano. Una volta indurita ha una eccezionale rigidità, che aumenta se l'indurimento è avvenuto in un ambiente caldo, ed è perfettamente carteggiabile e verniciabile. Il tipo da 30 minuti è il più adatto per il modellismo perché lascia il tempo alla colla di essere assorbita dai materiali porosi ed aumentarne l'efficacia. Il tipo rapido da 5 minuti non ha la stessa rigidità, non ha il tempo di essere assorbita e spesso resta gommosa. L'epoxy aderisce alle superfici in modo meccanico. Penetra nei materiali porosi e si blocca nelle fessure e nei pori dove indurisce creando una struttura simile alle radici di un albero. Le superfici non porose devono essere rese ruvide con carta vetrata per dare all'epoxy qualcosa alla quale attaccarsi. L'epoxy si attacca chimicamente a se stessa, anche su una applicazione precedente purché non sia completamente indurita.

Esistono molte marche di colle epoxy sul mercato, ma la maggior parte sono per uso casalingo e poco adatte per i nostri scopi. Le epoxy di buona qualità hanno un costo più alto delle altre colle (8,00-18,00 Euro secondo i tipi e quantità), ma alcune marche come la NHP o la Devcon hanno un prodotto eccellente in confezioni da 250+250 gr che dura mesi.

Spesso le epoxy in confezioni da 250 gr. sono prodotte dallo stesso fabbricante che etichetta su commissione per le varie marche. Una ottima epoxy che si trova facilmente nei centri fai-da-te o colorifici è la UHU Plus, che tuttavia ha un tempo di indurimento molto lungo.

## **Le fasi di costruzione del razzo:**

### 1)Realizzazione delle pinne:

Usando le misure ricavate dal software RockSim la parte più delicata è quella di realizzare le pinne riportando le misure prestabilite. In questo progetto il materiale che è stato usato è il compensato compatto, che in seguito viene tagliato usando una sega manuale.

Per quanto riguarda la parte inferiore del razzo modello si sono costruite 4 pinne; queste pinne hanno una base e vengono usate per essere incastrate sul corpo razzo nelle fessure (realizzate precedentemente) usando un tagliere per tagliare il cilindro del corpo razzo. Le misure su dove devono essere incollate le pinne vengono rilevate dal progetto realizzato con il software RockSim.



**Figura (15):**Inserimento delle pinne all'interno del corpo motore

Per quanto riguarda la parte anteriore del corpo razzo si sono create altre 4 pinne con le dimensioni più ridotte per ottenere una maggiore stabilità al razzo stesso durante le fasi del lancio e del volo; le pinne piccole sono della stessa forma di quelle inferiori con una dimensione ridotta (come visibili in figura 16).



**Figura (16):** Le pinne anteriori

## 2)Il corpo razzo:

Il corpo razzo è formato da un cilindro di cartone compatto, di una lunghezza pari a 40 cm; su tale componente del razzo sono state realizzate e create 8 fessure per poter inserire ed incollare le basi delle pinne. Molto importante in questa fase è tenere in considerazione che le fessure, realizzate sul cilindro, devono essere della stessa misura delle basi pinne (altrimenti si rischia di avere un gioco e nella fase di incollaggio non si ha un risultato preciso e adeguato).

## 3)Il corpo motore

La realizzazione del corpo motore è la fase di costruzione più delicata di tutto il progetto: il corpo motore è fondamentalmente un cilindro dove, al suo interno, va posizionato il motore del razzo stesso. Tale componente va incollato all'interno del corpo razzo grazie agli anelli di centraggio (come visibile nella seguente figura).



**Figura (17): Il corpo motore**

In questo progetto sono stati utilizzati 3 anelli di centraggio per dare maggiore fissaggio e stabilità al propulsore del razzo. Gli anelli di centraggio sono fatti di legno e tagliati usando una sega elettrica cilindrica e utilizzando le misure

fornite dal software RockSim.

Sul primo anello si è realizzata una mini fessura per poter permettere il passaggio di Shock cord (è la corda che permette di collegare il paracadute insieme all'ogiva al corpo motore ed in seguito al corpo razzo)



**Figura (18):Primo anello di centraggio**

Sul terzo anello, invece, si sono creati gli elementi necessari al fissaggio del motore al corpo motore e per fare questo sono stati praticati due fori tali che dividano l'anello stesso simmetricamente (come si vede dall'immagine).



**Figura (19): Ultimo anello per fissaggio motore razzo**

Bisogna tener presente che i fori devono essere realizzati con precisione e non con un diametro troppo grande poiché si rischia veramente di danneggiare

l'anello stesso. Quando il corpo motore è assemblato insieme ai tre anelli, va incollato all'interno del corpo razzo.

4)Corpo sensore:

Per poter usare il sensore, per misurare la massima altezza del volo, si è pensato di prolungare di 25 cm il corpo razzo (come si vede nella figura seguente); in questa fase di costruzione è stato usato un accoppiatore che ha permesso di collegare i due cilindri, quello del corpo razzo e quello del sensore.



**Figura (20):Corpo sensore altimetro**

Il sensore di altimetro va inserito ad una estremità di questo cilindro mentre dall'altra estremità (come si nota dall'immagine 21) va realizzato un gancio per poter collegare il Shock cord (che a sua volta è collegato sia al corpo motore del razzo sia al paracadute tramite un secondo gancio).



**Figure (21 e 22): Il collegamento del paracadute**

5) Guida di lancio:

Le guide di lancio servono per posizionare il razzo modello sulla rampa di lancio e devono essere fissate molto bene sul corpo razzo (in questo progetto sono state usate due semplici viti spesse, come si nota nell'immagine 23).



**Figura (23): Guida di lancio**

## 5) Motore e combustibile

Per differenti tipologie di razzo modelli sono acquistabili in rete varie tipologie di motori; attraverso la simulazione con il software RockSim si è stabilito il tipo di motore da comprare insieme al combustibile per poterlo caricare.



**Figura (24): Il kit del motore RMS acquistato in rete**



**Figura (25): Il kit del propellente solido**

Dopo aver realizzato tutte le fasi di costruzione, come risultato finale otteniamo il razzo completo senza il motore (come in figura 26).



**Figura (26): Razzo finale realizzato e pronto per il lancio**

### **Le fasi di lancio:**

Per poter realizzare il lancio mi sono dovuto iscrivere ad una associazione, l'ACME, che periodicamente realizza incontri tra tutti gli appassionati di razzo modelli. Il luogo dove avvengono i vari lanci si trova a Bologna presso il campo telescopio.

Inizialmente gli iscritti devono compilare un modulo dove riportano tutta la descrizione del razzo modello realizzato e soprattutto le caratteristiche del motore e la sua potenza.

Per questo progetto le caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

Nome	Modello	Lunghezza	Diametro	Motore	Peso	Imp.Tot [Ns]	Quota	Scopo volo
Ehsan Esteki	Italia Primo	120 cm	78 mm	AT G64-4W	1200 gr	120.0	1000 m	Test progetto

**Tabella riepilogativa delle caratteristiche del razzo costruito**

Dopo aver compilato il foglio di lancio si controllano i vari componenti del razzo e si verifica che tutto sia perfetto e pronto per il lancio.

Fa seguito la messa a punto del motore con il caricamento dello stesso e della cartuccia del propellente solido nel razzo.

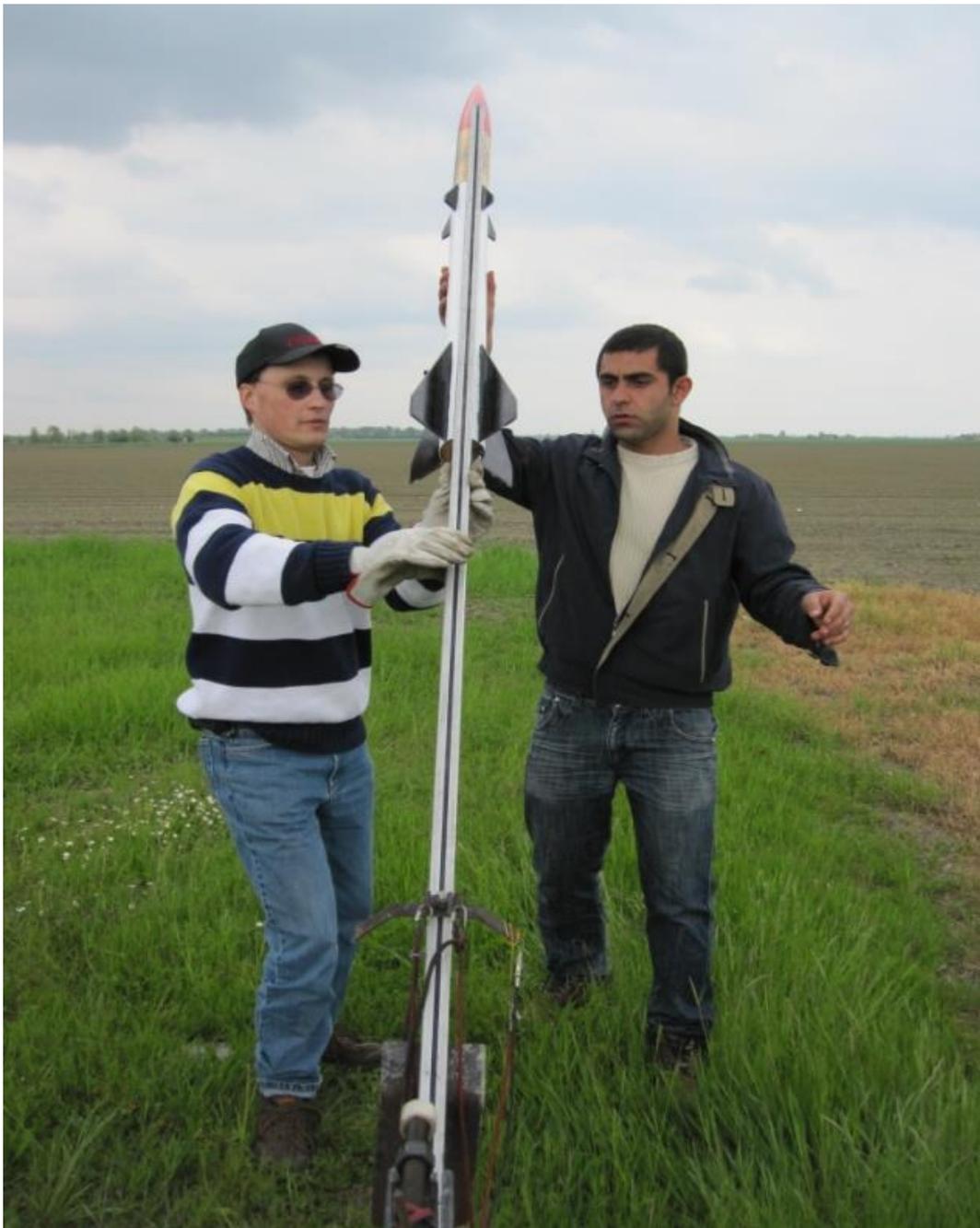


**Figura (27): Fissaggio del motore**

In seguito si controllano i due fermi motore che devono essere ben fissati e legati e nella posizione prestabilita; a questo punto si posiziona la resistenza all'interno del motore razzo e il componente che serve per poter realizzare la scintilla una volta ricevuta una differenza di potenziale elevata.

La fase finale è quella del posizionamento, sulla rampa di lancio, del razzo modello e il collegamento della resistenza al circuito di accensione.

E finalmente, dopo il conto alla rovescia, si realizza e verifica il reale volo del razzo modello.



**Figura (28): Posizionamento lancio sulla rampa di lancio**



**Figura (29):** In figura si vede il razzo realizzato



**Figura (30):** In figura si vede il razzo in volo



