

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA**

**TESI DI LAUREA**

in  
**DISEGNO ASSISTITO AL CALCOLATORE**

***STUDIO DELL' INSTALLAZIONE DEL MOTORE 1.3 JTD SU VELIVOLO  
CESSNA 172***

CANDIDATO

Alex Paganelli

RELATORE

Chiar.mo Prof. Luca Piancastelli

Anno Accademico 2010/11

Sessione III

M. 0000324014

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA**

**TESI DI LAUREA**

in  
**DISEGNO ASSISTITO AL CALCOLATORE**

***STUDIO DELL' INSTALLAZIONE DEL MOTORE 1.3 JTD SU VELIVOLO  
CESSNA 172***

CANDIDATO

RELATORE

Alex Paganelli

Chiar.mo Prof. Luca Piancastelli

Anno Accademico 2010/11

Sessione III



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	pag. 1
<b>1. CONOSCENZE PRELIMINARI</b>	3
<b>1.1. CESSNA AIRCRAFT COMPANY</b>	3
<b>1.2. CESSNA 172 SKYHAWK</b>	4
1.2.1. Caratteristiche tecniche	5
1.2.2. Motore Lycoming	6
<b>1.3. MOTORE FIAT 1.3 JTD multijet</b>	7
1.3.1. Descrizione	7
1.3.2. Dati tecnici	13
<b>2. REQUISITI PER IL FUNZIONAMENTO AERONAUTICO</b>	
<b>2.1. GENERALE</b>	15
<b>2.2. CONFRONTO IN TERMINI DI POTENZA MASSIMA</b>	15
<b>2.3. ADATTAMENTO DELLA POTENZA MASSIMA DEL 1.3 JTD</b>	15
<b>2.4. CONCLUSIONE SULLA SCELTA INTRAPRESA</b>	16
<b>3. DISPONIBILITA' INIZIALI DEL PROGETTO</b>	
<b>3.1. MOTORE</b>	17
<b>3.2. RIDUTTORE</b>	18
<b>3.3. PARATIA PARAFIAMMA</b>	18
<b>3.4. COFANO MOTORE</b>	19
3.4.1. Omografia e realizzazione del cofano	20
<b>3.5. RADIATORE</b>	22
<b>3.6. INTERCOOLER</b>	23
<b>4. CREAZIONE E AGGIUSTAMENTO DI ALCUNI COMPONENTI</b>	
<b>4.1. POMPA DEL'ACQUA</b>	25
<b>4.2. COPERCHIO DISTRIBUZIONE</b>	25
<b>4.3. GRUPPO FILTRO DELL'OLIO E RABBOCCO LIQUIDO DI         RAFFREDDAMENTO</b>	26
<b>4.4. ALTERNATORE</b>	27

<b>4.5. SCARICO ORIGINALE</b>	28
4.5.1. Considerazioni sul funzionamento dello scarico per utilizzo aeronautico	
	29
<b>4.6. SCARICO MODIFICATO</b>	30
<b>5. ASSEMBLAGGIO DEL MOTORE</b>	33
<b>6. CREAZIONE CASTELLO MOTORE</b>	
<b>6.1. CONSIDERAZIONI INIZIALI</b>	35
6.1.1. Valutazioni sull'utilizzo del castello originale	35
<b>6.2. NUOVO CASTELLO MOTORE</b>	38
6.2.1. Posizionamento del motore	38
6.2.2. Valutazione dei punti di attacco	39
<b>6.3. SCELTA DEL MATERIALE</b>	42
6.3.1. Le leghe di alluminio	43
6.3.2. Alluminio serie 5000 – Peraluman	49
<b>6.4. SCELTA DEL TIPO DI SEZIONE DELLE TRAVI</b>	50
<b>6.5. CREAZIONE DEL CASTELLO MOTORE</b>	51
6.5.1. Prima configurazione	51
6.5.2. Seconda configurazione	54
<b>7. TEST DEL CASTELLO MOTORE</b>	
<b>7.1. PROGRAMMA DI SIMULAZIONE STRAUS7</b>	57
<b>7.2. TEST DELLA SECONDA CONFIGURAZIONE</b>	58
7.2.1. Test 1	58
7.2.2. Test 2	61
7.2.3. Test 3	62
<b>8. CREAZIONE E POSIZIONAMENTO DEGLI ULTIMI PARTICOLARI</b>	
<b>8.1. POSIZIONAMENTO INTERCOOLER E RADIATORE</b>	65
<b>8.2. CONDOTTI INTERCOOLER</b>	66
<b>8.3. CONVOGLIATORE ARIA</b>	67

CONCLUSIONI	68
BIBLIOGRAFIA	70
SITOGRAFIA	71
RINGRAZIAMENTI	72

## INTRODUZIONE

E' oramai da almeno un decennio che l'aviazione generale si trova in una situazione di difficoltà, se non in crisi, con ovviamente eccezione diverse per categorie di velivoli e zone geografiche interessate. Questo declino è in parte attribuibile agli oneri fiscali, in parte ai costi di acquisizione e gestione degli aeromobili stessi.

Tuttavia l'aviazione generale rappresenta una fetta importante del mercato aeronautico, e dato che la sottocategoria costituita da velivoli leggeri a motore a pistoni costituisce una buona parte di essa non manca l'intenzione di avere a disposizione velivoli più competitivi e allo stesso tempo "sostenibili" durante tutto il ciclo di vita.

Dunque l'obiettivo principale è fissato sul quesito: "da cos'è rappresentato il costo maggiore per un velivolo di questo tipo"?

La risposta in questo caso è tanto semplice quanto intuitiva: il combustibile.

Da sempre, infatti, il consumo di carburante durante il ciclo di vita di un velivolo è stato il principale tra i costi da considerare.

Già da qualche anno si stanno cercando soluzioni al problema e una delle più intraprese è quella dell'adozione di motori che, a parità di peso, riescano ad erogare la stessa potenza mantenendo però dei consumi specifici inferiori. Il motore turbo diesel è quello che più facilmente rispecchia queste caratteristiche.

I problemi fondamentali che riguarda questo tipo di motorizzazione sono stati, fino a circa due decenni fa, la pressione di sovralimentazione (differente per le diverse quote) e il peso non indifferente dell'intero monoblocco rispetto ai tanto utilizzati motori a benzina. Queste problematiche sono state però ormai superate con l'avvento della tecnologia odierna in campo motoristico.

Di particolare interesse sono i motori turbo diesel automobilistici che, con le dovute modifiche, si riescono ad adattare in campo aeronautico senza riscontrare particolari problemi permettendo di evitare l'intera progettazione di un motore. Infatti, sarà obiettivo di questa trattazione l'installazione su un velivolo ultraleggero di un motore diesel che attualmente è montato su buona parte dei veicoli italiani della classe delle utilitarie: il 1.3 JTD-multijet.

Il velivolo in questione è il CESSNA 172 conosciuto da decenni come uno dei più pratici velivoli per aviazione civile. Il seguente progetto dunque ha come obiettivo

fondamentale quello di motorizzare tale velivolo con il 1.3 JTD-m permettendo di unire i vantaggi di entrambi in unica macchina.



# CAPITOLO 1 – CONOSCENZE PRELIMINARI

## 1.1 - CESSNA AIRCRAFT COMPANY

La storia del trasporto aereo Cessna è iniziata nel giugno 1911, quando Clyde Cessna, un agricoltore di Rago, Kansas, ha costruito un aereo di legno e tessuto e divenne la prima persona a costruire e far volare un aereo motorizzato nel cuore d'America, tra il fiume Mississippi e le Rocky Mountains. Clyde Cessna ha iniziato le sue imprese aeromobili in Enid, Oklahoma, dove prova molti dei suoi primi progetti sulle saline. Quando i banchieri a Enid esitano a fornirgli capitale si trasferì a Wichita.

Nel 1924, Cessna ha collaborato con Lloyd C. Stearman e Walter H. Beech per formare Travel Air Manufacturing Co., di cui è stato il presidente.



Fig. 1.1 – Catena di montaggio Cessna Aircraft Company

Nel gennaio del 1927 ha lasciato Travel Air in modo da formare una propria attività, la Cessna Aircraft Company. Il primo tra i suoi nuovi progetti riguardanti monopiani, il "Phantom", ha volato il 13 agosto 1927. In seguito, la società ha creato una serie di successi tra i monopiani a quattro e sei posti.

## 1.2 - CESSNA 172 SKYHAWK

Il Cessna 172 Skyhawk è un monomotore quadriposto ad ala alta da turismo e da addestramento prodotto dalla statunitense Cessna Aircraft Company dal 1950 ed ancora in produzione. Probabilmente il più famoso aereo da addestramento mondiale, il Cessna 172 è stato prodotto in quantità di esemplari maggiore di qualsiasi altro velivolo mai costruito.



Fig. 1.2 – *Cessna 172 Skyhawk*

Misurato per la sua longevità e popolarità, il Cessna 172 è l'aeroplano leggero prodotto nella storia che ha avuto più successo. I primi modelli di produzione furono consegnati nel 1956 e sono ancora in produzione nel 2010; ne sono stati costruiti più di 43,000.

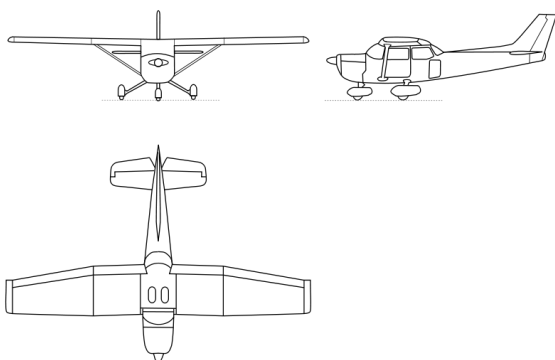
Il Cessna 172 iniziò la sua vita come un aggiornamento del Cessna 170 da cui differiva per la sostituzione del carrello d'atterraggio triciclo posteriore con uno a triciclo anteriore. Il primo volo del prototipo fu nel novembre del 1955. Il 172 divenne quindi un successo di vendite e ne furono costruiti oltre 1400 nel 1956, il suo primo anno di produzione a pieno ritmo.

I primi 172 erano simili al 170, con la stessa fusoliera dritta e le alte gambe del carrello, sebbene il 172 avesse un timone trapezoidale mentre il 170 aveva i piani di coda ellissoidali. Le ultime versioni del 172 incorporavano un carrello d'atterraggio

riprogettato, la fusoliera posteriore riprofilata che permetteva l'installazione di un finestrino posteriore. La Cessna pubblicizzò questa visibilità posteriore come "Omni-Vision". L'ultimo miglioramento estetico fu a metà degli anni sessanta; era il timone a freccia che è in uso ancora oggi. Questa configurazione strutturale è rimasta sostanzialmente invariata da allora, tranne per gli aggiornamenti nell'avionica e i nei motori. La produzione si è arrestata a metà degli anni ottanta, per riprendere nel 1996 con il Cessna 172R Skyhawk da 160 hp e fu rinvigorita nel 1998 con il Cessna 172S Skyhawk SP a 180 hp.

### 1.2.1 - CARATTERISTICHE TECNICHE CESSNA 172

#### DIMENSIONI E PESO



<b>Lunghezza</b>	8,28 m (27,2 ft)
<b>Apertura alare</b>	11,0 m (36,1 ft)
<b>Altezza</b>	2,72 m (8,11 ft)
<b>Superficie alare</b>	16,2 m <sup>2</sup> (174 ft <sup>2</sup> )
<b>Peso a vuoto</b>	736 kg (1,620 lb)
<b>Peso max al decollo</b>	1,113 kg (2 450 lb)
<b>Passeggeri</b>	3
<b>Capacità</b>	376 kg (830 lb)

## 1.2.2 - MOTORE LYCOMING

Il Lycoming O-360 ed i suoi derivati formano una famiglia di motori aeronautici a cilindri contrapposti (quattro cilindri raffreddati ad aria) prodotto dagli anni quaranta dall'azienda statunitense AVCO Lycoming ed attualmente ancora in produzione nelle versioni più recenti con le successive realtà aziendali Textron Lycoming e l'attuale Lycoming Engines.

La sigla *O-360* identifica il modello in base alla sua architettura (Orizzontale) ed alla cilindrata espressa in pollici cubi, circa *360 in<sup>3</sup>*.

La serie O-360 serie, sviluppata in ben 167 differenti modelli, copre la fascia tra i 145 ed i 225 hp (109-168 kW).



Fig. 1.3 – *Motore Lycoming O-360*

## DATI TECNICI LYCOMING

<b>Descrizione</b>	
Costruttore	AVCO Lycoming
Tipo	Motore a cilindri contrapposti
Numero cilindri	4
Raffreddamento	Aria
Alimentazione	Carburatore
Distribuzione	OHV 2 valvole per cilindro

<b>Prestazioni</b>	
Potenza	180 hp (135 Kw) a 2700 giri/min a livello del mare
Consumo specifico	-10 U.S. gal (37,9 l/h) al 65% della potenza max -10.5 U.S. gal (39,8 l/h) al 75% della potenza max
Potenza specifica	22,9 Kw/l (0,50 hp/in <sup>3</sup> )
Combustibile	Avgas 100LL

<b>Peso</b>	
A vuoto	127/137 Kg (280/301 lb)

## 1.3 - MOTORE FIAT 1.3 JTD multijet

### 1.3.1 - DESCRIZIONE

Come descrizione di questo motore si è ritenuto opportuno inserire una descrizione dettagliata riportata sul sito “ *Newstreet.it* “ pubblicata al momento della sua uscita:

*Fiat lancia la sfida, un milione e mezzo di piccoli diesel di nuova generazione che si distinguono per essere: i più piccoli, robusti, avanzati, potenti e puliti.*



Fig. 1.4 – Motore Fiat 1.3 JTD multijet

*Al centro dello stand, e in una teca di cristallo, Fiat presenta il 1.3 Multijet 16v, il più piccolo e avanzato tra i diesel a iniezione diretta "Common Rail" di seconda generazione.*

*Per realizzarlo i progettisti hanno preso tutta la tecnologia contenuta nel recentissimo motore 1.9 Multijet da 140 CV: dal dispositivo "Common Rail" ad alta pressione alle iniezioni multiple, dalle 16 valvole all'intercooler, alla camera di combustione di forma particolarmente efficiente. Poi, hanno aggiunto un sistema di aspirazione con collettore in plastica e condotti direzionali. E, infine, hanno ridotto massa e dimensioni del motore senza nulla perdere in raffinatezza e qualità tecnica.*

## SEMPRE PIÙ POTENTI

Evoluzione della potenza specifica nei motori diesel

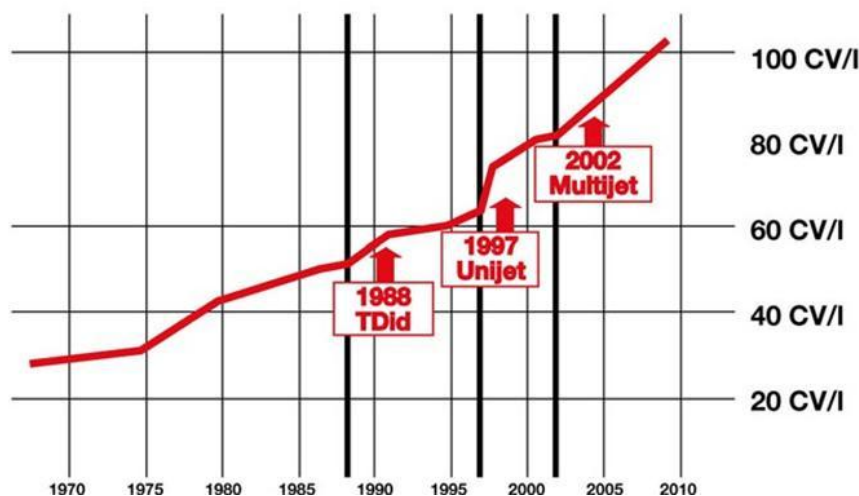


Fig. 1.5 – Evoluzione della potenza specifica dei motori diesel

Il risultato finale è il 1.3 Multijet 16v, un propulsore a 4 cilindri in linea di  $1.251 \text{ cm}^3$ , con un alesaggio di appena 69,6 mm e una corsa "lunga" di 82 mm. Le valvole sono quattro per cilindro e sono azionate direttamente da un doppio albero a camme in testa. La potenza massima è di 51 kW a 4000 giri/min (70 CV) e la coppia erogata di 180 Nm a soli 1750 giri/min.

Insomma, il 1.3 Multijet 16v è un vero e proprio capolavoro di tecnologia in miniatura: "vestito" di tutti i suoi accessori, pesa solo 130 kg; ha dimensioni contenute, è lungo meno di 50 centimetri e alto 65; ha un "layout" dei componenti studiato per il minimo ingombro; garantisce i medesimi vantaggi di quelli più grandi perché non è stato "ridotto", ma "miniaturizzato".

Progettato, quindi, seguendo i criteri della massima razionalità, efficienza e affidabilità, il propulsore è il più piccolo diesel quattro cilindri "Common Rail" presente sul mercato. L'unico capace di racchiudere in un cilindro del diametro di meno di 70 millimetri ben sei componenti di dimensioni "normali". Vale a dire quattro valvole, un iniettore e una candele.

A questo importante primato di miniaturizzazione, che gli permette di essere montato non solo sulle supercompatte del segmento B ma anche sulle city car del segmento A, il nuovo motore aggiunge un altro record: essere il più potente. Infatti, nonostante la

cilindrata davvero ridotta di  $1251 \text{ cm}^3$ , il piccolo Multijet esce vincitore dal confronto con tutti gli "small diesel" dotati di turbina a geometria fissa oggi presenti sul mercato.

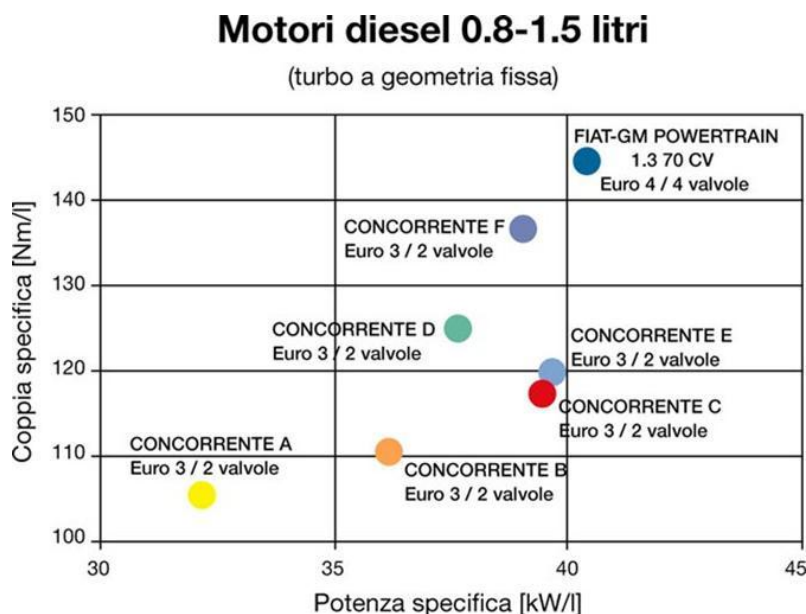


Fig. 1.6 – Confronto tra i motori diesel di piccola cilindrata.

Anche i più blasonati. Basti dire che, rispetto ai motori a gasolio compresi tra gli 800 ai  $1500 \text{ cm}^3$ , è quello con le migliori prestazioni specifiche:  $41 \text{ kW/l}$  di potenza e  $144 \text{ Nm/l}$  di coppia. Compatto e tecnologicamente sofisticato, dunque, il nuovo propulsore è anche capace di ottimi rendimenti ed è praticamente "for life". Il 1.3 Multijet 16v, infatti, è progettato per una vita di  $250.000 \text{ km}$ , invece degli abituali  $150.000$ .

Una lunga esistenza, durante la quale non richiede alcuna manutenzione dei componenti meccanici (nemmeno, a  $80.000 \text{ km}$ , la canonica sostituzione della cinghia). E in cui gli intervalli per il cambio dell'olio si allungano da  $20$  a  $30.000 \text{ km}$ . Un olio, ovviamente, a bassa viscosità (quindi "fuel economy") e rispettoso dell'ambiente: al momento di cambiarlo si butta solo la cartuccia di carta e non tutto il filtro.

Non solo. Il 1.3 Multijet 16v è anche un motore a **vocazione ecologica**, perché già oggi soddisfa i limiti di emissione **Euro 4** che entreranno in vigore nel **2006**. Per di più, è uno dei pochissimi motori al mondo che possono ottenere questo risultato senza adottare un sofisticato dispositivo di post-trattamento allo scarico come la trappola del particolato. Insomma un motore intrinsecamente pulito: il livello di emissioni del particolato



*(responsabile delle polveri e delle polveri fini) - ad esempio - è addirittura inferiore a quello stabilito dalla futura normativa Euro 4.*

*Il 1.3 Multijet 16v, quindi, rappresenta un vero e proprio balzo tecnologico che permetterà a Fiat di sfruttare il sempre maggiore interesse del mercato per i diesel, soprattutto quelli più piccoli. Complici la cilindrata e il peso ridotti, le emissioni contenute e il vantaggioso rapporto tra prestazioni e consumi, la quota del diesel, infatti, sta crescendo in maniera decisa anche nei segmenti bassi: nel '97 era il 5%, oggi vale quasi il 20% e nei prossimi tre anni dovrebbe arrivare al 30-40%.*

*Per questo genere di motori significa, negli anni a venire, un mercato che - secondo le stime - conquisterà rapidamente **1.500.000 pezzi**. Un ambito nel quale le piccole Fiat, equipaggiate con il sofisticato 1.3 Multijet 16v potranno conquistare uno spazio importante. Perché se è vero, come la storia del diesel ha dimostrato, che il prodotto crea il mercato, ancora una volta Fiat è protagonista del cambiamento e pronta ad inserirsi con i propri modelli nel nuovo trend che ha contribuito a creare.*

### **IL SEGRETO È IL SISTEMA MULTIJET**

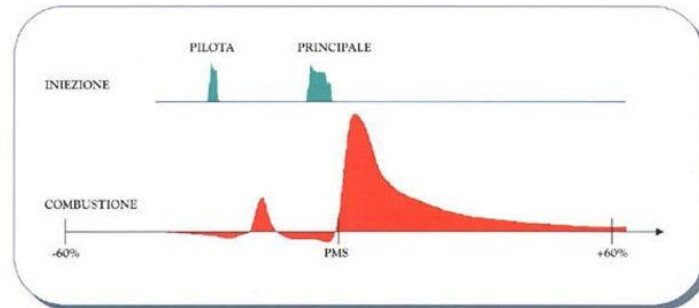
*Fino a poco tempo fa, l'ultima frontiera in tema di motori a gasolio erano i propulsori con tecnologia "Common Rail" unijet, che si chiamano in questo modo, ma in realtà di iniezioni di gasolio in camera di scoppio non ne fanno una ma due: una più piccola, iniziale, ed una principale, più grande. Oggi non è più così, perché i tecnici di **Fiat-GM Powertrain** hanno messo a punto i "Common Rail" di seconda generazione, che invece sono multijet, cioè capaci di più iniezioni (da 3 a 5).*

*Il principio motoristico dei due sistemi è il medesimo. Già nell'unijet, **l'iniezione pilota innalza la temperatura e la pressione all'interno del cilindro**, consentendo così - al momento dello scoppio principale - una migliore combustione. Potendo suddividere l'iniezione principale stessa in tante iniezioni più piccole, la quantità di gasolio bruciata all'interno del cilindro resta la medesima, ma si ottiene una combustione ancora più graduale e completa. Raggiungendo, così, ulteriori traguardi nel controllo del rumore di combustione, nella riduzione delle emissioni e nell'incremento delle prestazioni.*

## MULTIJET

Impianto di iniezione "common rail" della seconda generazione per motori diesel JTD

Dall'iniezione pilota...



... alle iniezioni multiple sequenziali

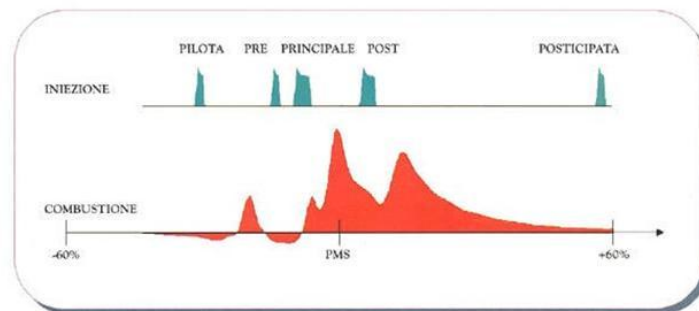


Fig 1.7- Schema di iniezione nel motore multijet

*I motori "Common Rail" multijet, dunque, si differenziano dai "Common Rail" unijet essenzialmente per due componenti: gli iniettori e la centralina elettronica che li controlla. Per poter aumentare il numero delle iniezioni, infatti, occorre iniettori capaci di ridurre il tempo tra un'iniezione e l'altra, che perciò scende addirittura di un ordine di grandezza: da 1500 a 150 microsecondi. E poi era necessario diminuire la quantità minima iniettata: che passa da circa 2 a meno di 1 mm<sup>3</sup>. Bisognava, infine, avere una centralina "più intelligente", cioè capace di cambiare continuamente la logica di iniezione con il variare di tre parametri: il numero dei giri del motore, la coppia richiesta in quel momento dal guidatore e la temperatura del liquido di raffreddamento.*

*E in effetti, mentre il nuovo motore 1.3 Multijet 16v è in funzione la centralina riadatta in continuazione lo schema e il numero di iniezioni (oltre che la quantità di gasolio iniettata). Quando l'acqua è a meno di 60° e la coppia richiesta è poca si fanno due iniezioni piccole e una grande, molto ravvicinate tra loro. Al crescere della coppia, le iniezioni diventano solo due: una piccola e una grande. Mentre nella condizione di alto numero di giri e grande richiesta di coppia, l'iniezione è una sola. Con la temperatura dell'acqua a più di 60°, infine, le cose cambiano di nuovo e, per ridurre al minimo le emissioni, lo schema delle iniezioni diventa: una piccola, una grande, una piccola.*

Articolo pubblicato il 08/02/2003

© [Newstreet.it](http://Newstreet.it) - Auto e Motori

### **2.3.2 - SCHEDE TECNICHE 1.3 JTD**

Tipo	Diesel DI "Common Rail"
Numero cilindri	4 in linea
Cilindrata (cm <sup>3</sup> )	1.248 cm <sup>3</sup>
Alesaggio x Corsa	69,6 x 82,0 mm
Testa cilindri	a 4 valvole
Distribuzione	2 assi a camme in testa, bilancieri a dito, comando a catena
Basamento	in ghisa con sottobasamento in alluminio
Sistema di iniezione	"Common Rail" 1400 bar - Multijet
Turbocompressore	a geometria fissa
Sistema EGR	valvola EGR elettrica e scambiatore di calore
Potenza	70 CV a 4000 giri/min
Coppia	180 Nm a 1750 giri/min
Dimensioni lunghezza x larghezza x altezza	460 x 500 x 650 (mm)



## **CAPITOLO 2 - REQUISITI PER IL FUNZIONAMENTO AERONAUTICO**

### **2.1 - GENERALE**

I motori aeronautici devono rispondere a specifiche tecniche molto più restrittive rispetto ai motori per l'autotrazione, come affidabilità, lunga durata, peso limitato, consumo di carburante contenuto, ingombri e aree frontali ridotti. Inoltre si differenziano anche per il tipo di funzionamento. In aeronautica la regolazione del numero di giri, e quindi la velocità, viene espressa in termini percentuali della potenza massima, che solitamente varia tra il 65% e 100% e che rimane pressoché costante per tutta la durata del viaggio, mentre in autotrazione si considera la coppia richiesta per una certa velocità del veicolo che, per ovvie necessità, varia spesso obbligando dunque il motore a spaziare continuamente in un campo di giri più o meno ampio.

### **2.2 - CONFRONTO IN TERMINI DI POTENZA MASSIMA**

Confrontando i dati tecnici del Lycoming e del Fiat si può notare immediatamente la differenza fondamentale che sta nella potenza massima erogata e nel numero di giri alla quale la si ottiene promuovendo il Lycoming come quello più conveniente in questi termini. Infatti esso è in grado di erogare una potenza massima di 160 CV a soli 2700 giri/min mentre per il Fiat sono solamente 90 CV a 4000 giri/min.

### **2.3 - ADATTAMENTO DELLA POTENZA MASSIMA DEL 1.3 JTD**

Già in argomentazioni precedenti alla seguente si è cercata una soluzione al problema. A disposizione della facoltà c'era un motore 1.3 JTD-m completo di tutti gli accessori che poteva essere utilizzato per effettuare alcuni test. Si è dunque voluto vedere quale potenza massima si poteva raggiungere sostituendo la turbina originale con una più grande. Sostanzialmente sono state montate tre turbine che provenivano da tre modelli

di motori per autoveicoli differenti e si è effettuato un test al banco prova per verificare quale delle tre poteva fare al caso nostro.

Dal test è emerso che la turbina migliore ha permesso al 1.3 di erogare 150 cv.

## **2.4 - CONCLUSIONE SULLA SCELTA INTRAPRESA**

A questo punto la potenza massima tra i due motori è paragonabile anche se si può comunque affermare che il motore avio rimanga sicuramente molto più flessibile garantendo una potenza sufficiente anche ad un numero di giri molto basso. Per il 1.3 invece abbiamo a disposizione ora una potenza massima di 150 cv a 6000 giri/min rendendolo sicuramente meno pronto a bassi regimi ove la turbina, data la sua inerzia maggiore rispetto a quella originale, non ruota ancora ad una velocità tale da garantire una pressione di sovralimentazione sufficientemente alta. In qualsiasi caso bisogna però tenere in considerazione che il tipo di funzionamento in campo aeronautico non ponga particolari problemi al 1.3 JTD così configurato per il fatto che il regime a cui sarebbe sottoposto in volo sarà pressoché costante e tale da garantire una potenza sufficiente.

# CAPITOLO 3 - DISPONIBILITA' INIZIALI DEL PROGETTO

Come base di partenza in questo progetto erano già disponibili una parte dei componenti che riguardano sia il velivolo che il motore che di seguito saranno ripotati.

## 3.1 – MOTORE

Costituito da :

- Testa
- Basamento in ghisa
- Sottobasamento in alluminio
- Coppa dell'olio
- Albero motore
- Coperchio distribuzione
- Puleggia motore e alternatore
- Collettore di aspirazione
- Pompa dell'alta pressione

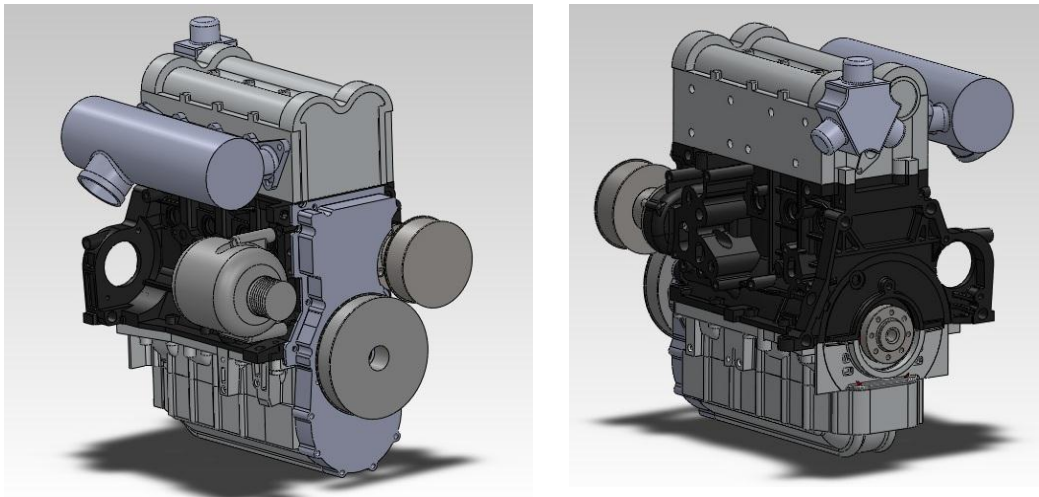


Fig. 3.1 – Motore Fiat 1.3 JTD-m in 3D

## 3.2 – RIDUTTORE

Costituito da:

- Telaio riduttore
- Carter in alluminio
- Parastrappi
- Albero primario e albero elica
- Coppia ruote dentate a denti elicoidali (rapporto di trasmissione  $\tau = 12/20$  )
- Cuscinetti

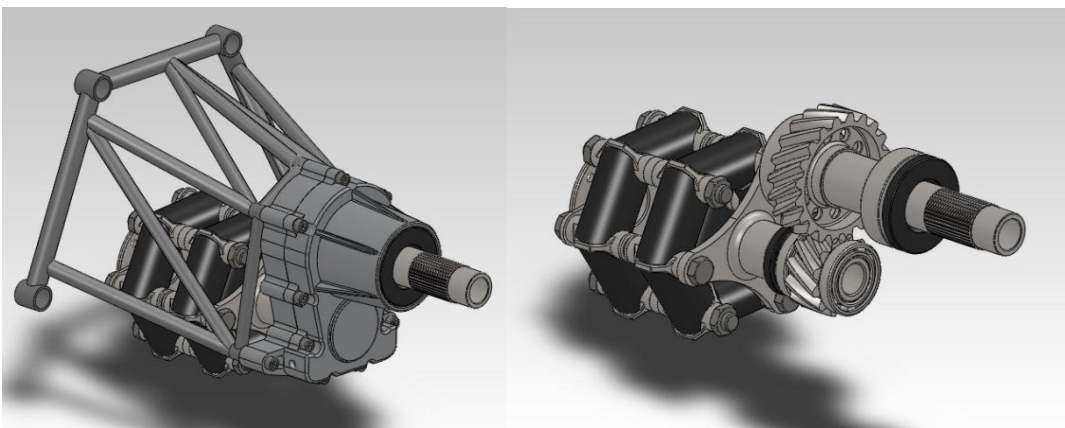


Fig. 3.2 – Riduttore motore-elica

### 3.3 – PARATIA PARAFIAMMA

La paratia parafiamma è una lamiera, generalmente dello spessore di qualche millimetro, che separa il vano motore dall'abitacolo.



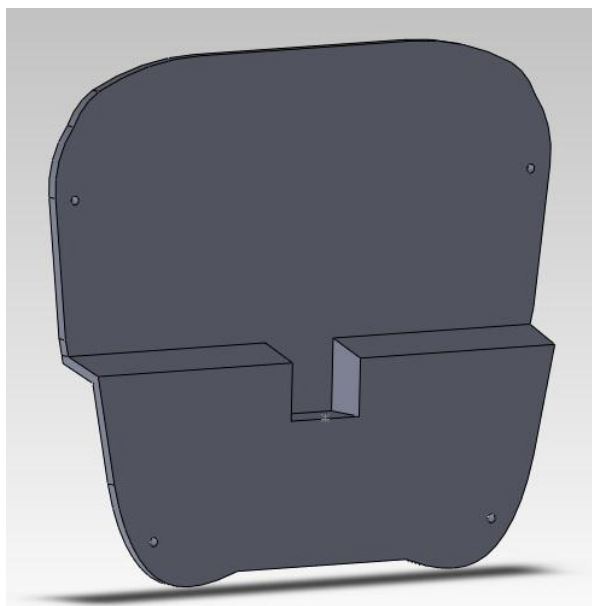


Fig.3.3 – *Paratia paraflamma*

### 3.4 - COFANO MOTORE

Per quanto possa sembrare un componente di solo completamento, il cofano prende invece una delle posizioni di partenza nel progetto che si sta trattando. Infatti alla base del posizionamento di un qualsiasi componente che andrà a realizzare l'assieme finale risiede proprio il cofano motore insieme al paraflamma precedentemente mostrato. Questo è il motivo per cui la sua creazione è stata eseguita con un metodo che ne permettesse una riproduzione più fedele possibile rispetto a quello reale.

Il disegno in 3D del cofano motore è stato oggetto di una precedente trattazione di cui si farà solamente una breve descrizione.

La rappresentazione del cofano non è stata un'operazione semplice data la sua natura curvilinea. Infatti esso è composto da tante superfici a raggio variabile che non sono facilmente riproducibili neanche in modo schematico. Le soluzioni al problema di ottenere una sua rappresentazione realistica in 3D che potesse dare una precisa idea degli ingombri al suo interno erano fondamentalmente tre:

- ottenere dei disegni già esistenti in formato informatico o cartaceo da cui farne una riproduzione;

- misurare di persona tutte le quote del cofano e riprodurlo successivamente mediante un programma 3D;
- utilizzare il metodo chiamato omografia;

Ovviamente la via più semplice sarebbe stata la prima, ma dato che sulla rete internet non si trovavano disegni quotati si è pensato di contattare direttamente la CESSNA. Purtroppo avere quei disegni era possibile ma solo a pagamento e ad un prezzo troppo elevato. La seconda soluzione sarebbe costata troppo in termini di tempistica e difficoltà nelle misurazioni, e il rischio di produrre un disegno che non rispettava le dimensioni e gli ingombri era troppo alto. Dunque si era infine optato per l'utilizzo dell'omografia.

### **3.4.1 – OMOGRAFIA E REALIZZAZIONE DEL COFANO**

L'OMOGRAFIA è un'operazione che recupera la posizione dell'osservatore da un gruppo di immagini opportunamente acquisite che nel nostro caso sono fotografie scattate con fotocamera digitale. Tali immagini rappresentano le proiezioni dell'oggetto fisico.

Il procedimento è finalizzato a recuperare la terza coordinata, persa nel passaggio da uno spazio vettoriale 3D ad uno 2D (foglio, fotografia...).

Ciò che abbiamo fatto in pratica è stato prendere dei riferimenti sul cofano, in maniera da poter ricavare con un software apposito una "rete" di punti che potesse essere esportata su un programma di disegno 3D (Rhinoceros versione 3.0 nel nostro caso) e lì elaborata per la ricostruzione delle forme originarie dell'oggetto di partenza.



Fig 3.4 – Cofano motore superiore e inferiore



Fig 3.5 - Cofano motore suddiviso con i riferimenti usati dal programma per rendere la foto tridimensionale

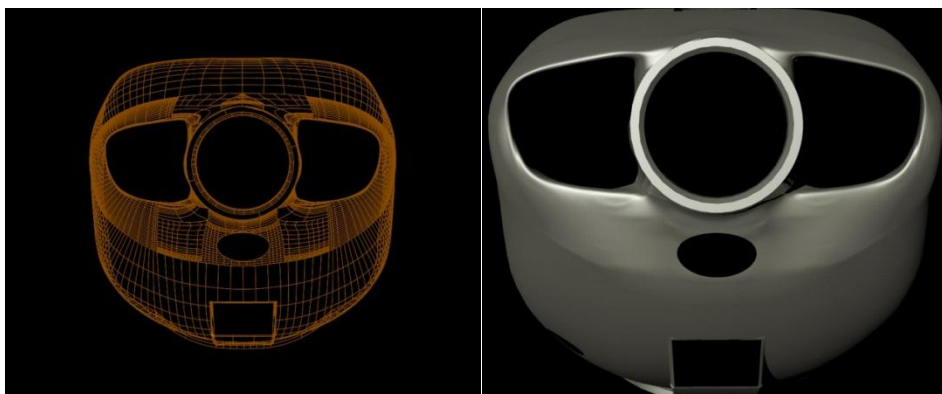
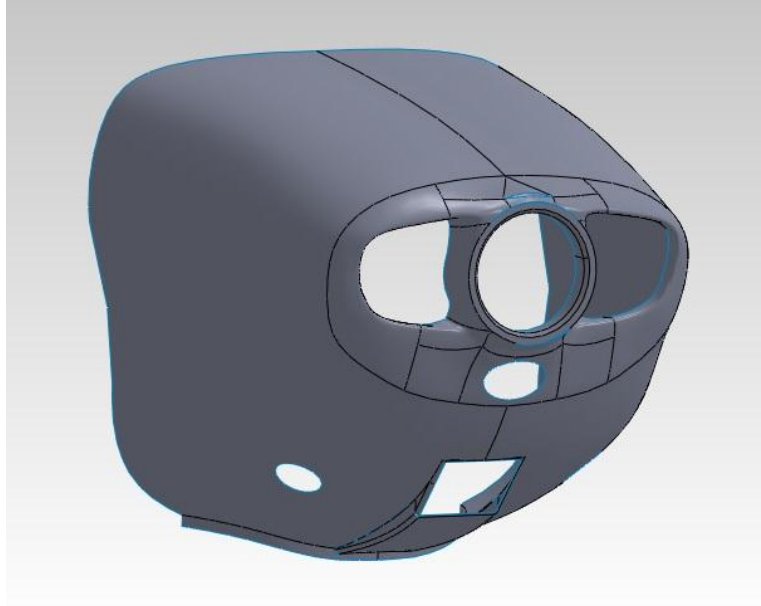


Fig.3.6 – Cofano motore in 3D ottenuto con OMOGRAFIA. A sinistra il render wire-frame di Rhino, a destra il render di Flamingo.

Alla fine del procedimento il risultato è soddisfacente, e come si può notare dalle foto il cofano ottenuto in 3d è un ottimo punto di riferimento per tutte le nostre operazioni di adattamento del motore sul velivolo.



*Fig. 3.7 – Cofano motore in 3D inserito in Solidworks.*

### **3.5 - RADIATORE**

Il radiatore di serie su motori 1.3 JTD-m non rientrava nelle dimensioni che avrebbe dovuto rispettare per il corretto posizionamento all'interno del cofano motore, dunque si è deciso di crearne uno su misura. In questo modo il radiatore rispetterà le dimensioni massime d'ingombro e ne sarà facilitata l'installazione.

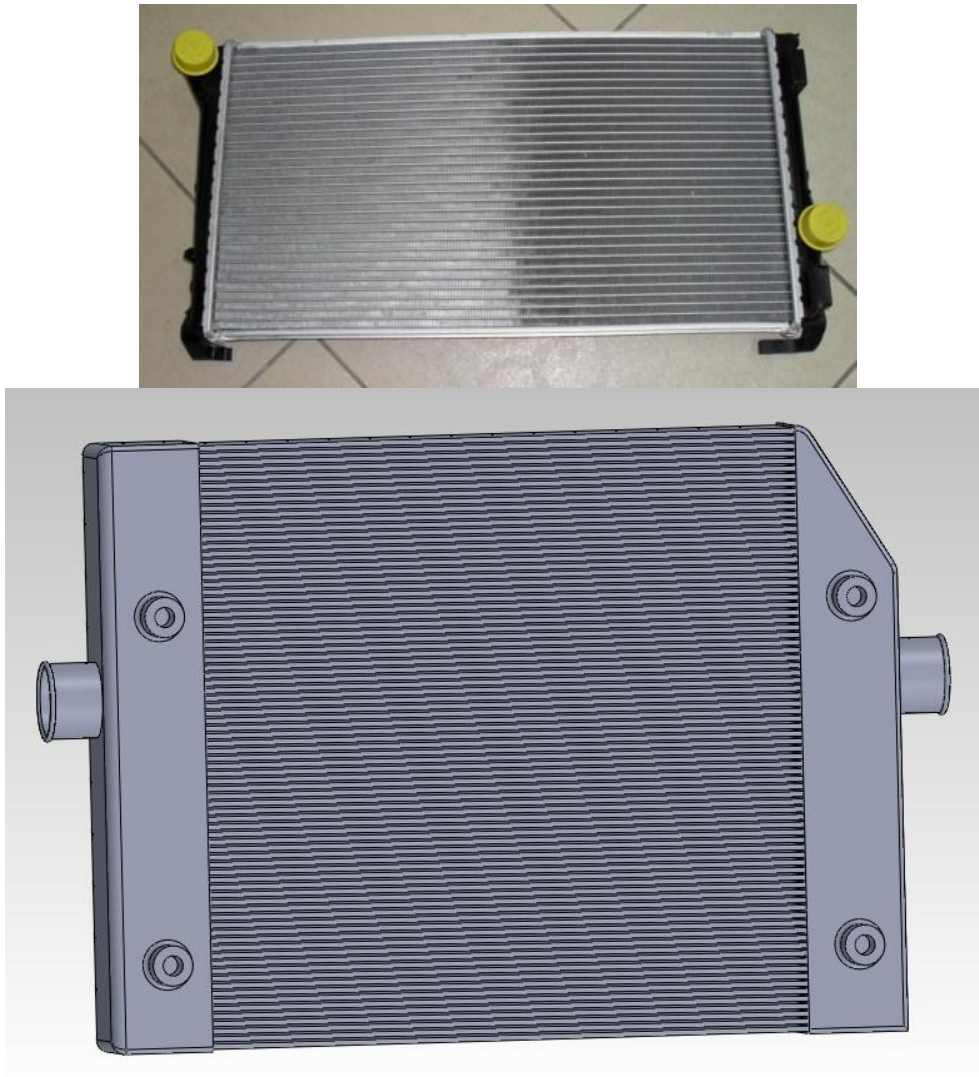
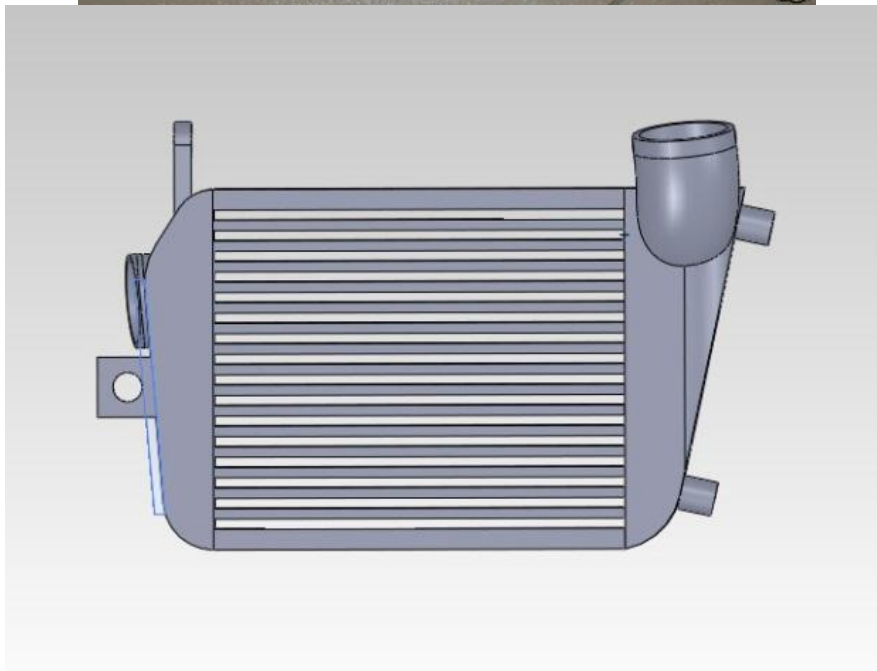


Fig. 3.8 – *In alto radiatore originale Fiat, in basso radiatore disegnato su misura per la nostra applicazione*

### **3.6 – INTERCOOLER**

L'intercooler scelto è quello montato di serie sulla vettura Alfa Romeo 156 2.4 JTD, più grande rispetto all'originale del 1.3 e in grado di garantire sempre una diminuzione di temperatura all'aspirazione. Con questo intercooler si avrà probabilmente un po' di effetto lag durante l'apertura del gas a bassi giri causato da un maggiore volume dello scambiatore ma per le ragioni riportate al capitolo 2.4 non si avranno problemi durante il volo.



*Fig. 3.9 – In alto intercooler originale Alfa Romeo montato sui motori 2.4 JTD, in basso intercooler riprodotto in 3D con Solidworks.*

## CAPITOLO 4 - CREAZIONE E AGGIUSTAMENTO DI ALCUNI COMPONENTI

Tra i componenti che erano a disposizione a inizio progetto alcuni hanno subito qualche modifica di forma e dimensione. In sostanza sono stati ripresi per renderli ancora più simili alla realtà. Altri componenti sono invece stati creati. Questa operazione è stata di primo impatto poco importante ma in realtà fondamentale per determinare quale fosse il reale spazio a disposizione per la creazione del castello motore; si sono infatti tenuti in considerazione quelli che avrebbero occupato maggior spazio.

### 4.1 - POMPA DELL'ACQUA

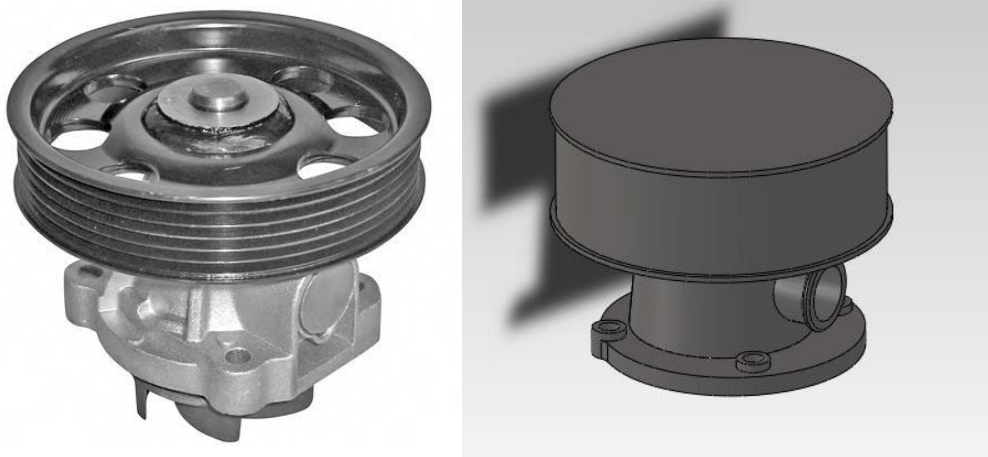


Fig. 4.1 – *A sinistra pompa dell'acqua originale, a destra pompa dell'acqua riprodotta in 3D con Solidworks.*

### 4.2 - COPERCHIO DELLA DISTRIBUZIONE

Il coperchio della distribuzione è stato solamente schematizzato per avere un'idea del suo ingombro e riportato di seguito.

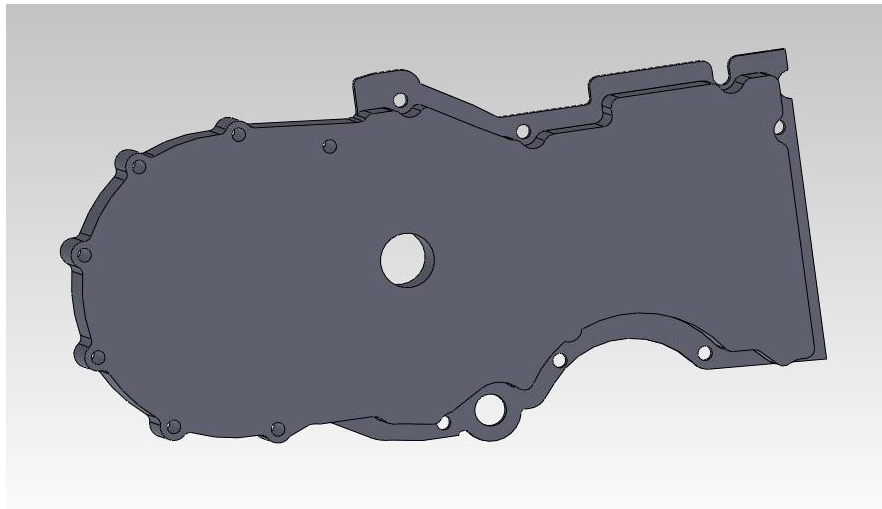


Fig. 4.2 – Coperchio della distribuzione riprodotto in Solidworks.

### 4.3 – GRUPPO FILTRO DELL'OLIO E RABBOCCO LIQUIDO DI RAFFREDDAMENTO

Questo componente è stato necessario per il dimensionamento del nuovo collettore di scarico che vedremo a seguire.

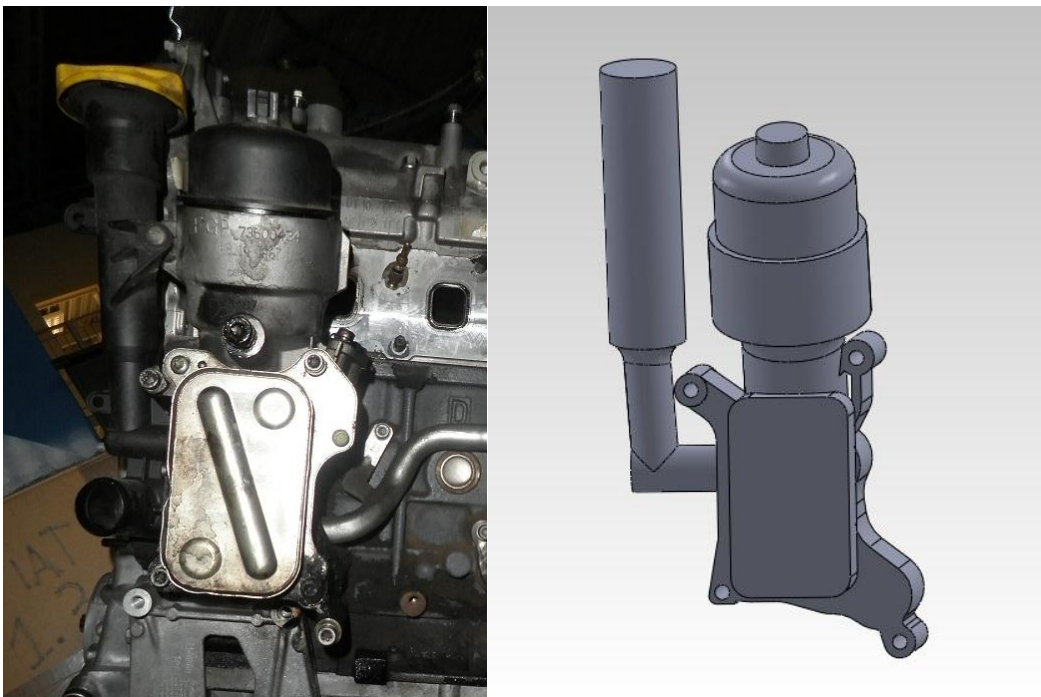


Fig. 4.3 – A sinistra gruppo filtro dell'olio reale, a destra gruppo filtro dell'olio riprodotto in 3D in Solidworks.



## 4.4 - ALTERNATORE

L'alternatore è stato solamente schematizzato per avere un'idea del suo ingombro e riportato di seguito.

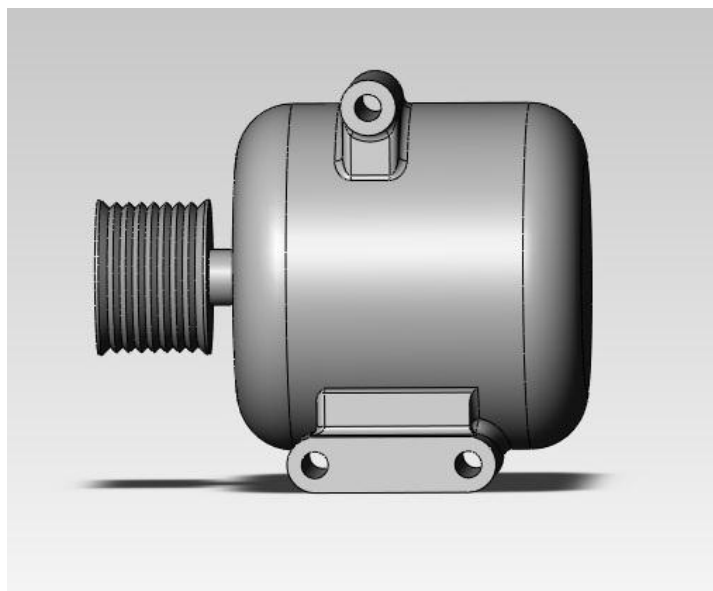


Fig. 4.4 – In alto alternatore originale, in basso alternatore riprodotto in 3D con Solidworks.

## 4.5 – SCARICO ORIGINALE



Fig. 4.5 – Collettore di scarico originale Fiat 1.3 JTD-m.

Il condotto di scarico originale è quello di figura 4.5. Come facilmente desumibile esso andrà sostituito con un altro collettore appositamente costruito che permetterà il montaggio della nuova turbina, che ovviamente presenta un attacco di dimensioni maggiori.

Dunque si è proceduto alla rappresentazione in 3d del collettore originale modificandolo nel punto in cui andrà montata la turbina. Il risultato è riportato in figura 4.6.

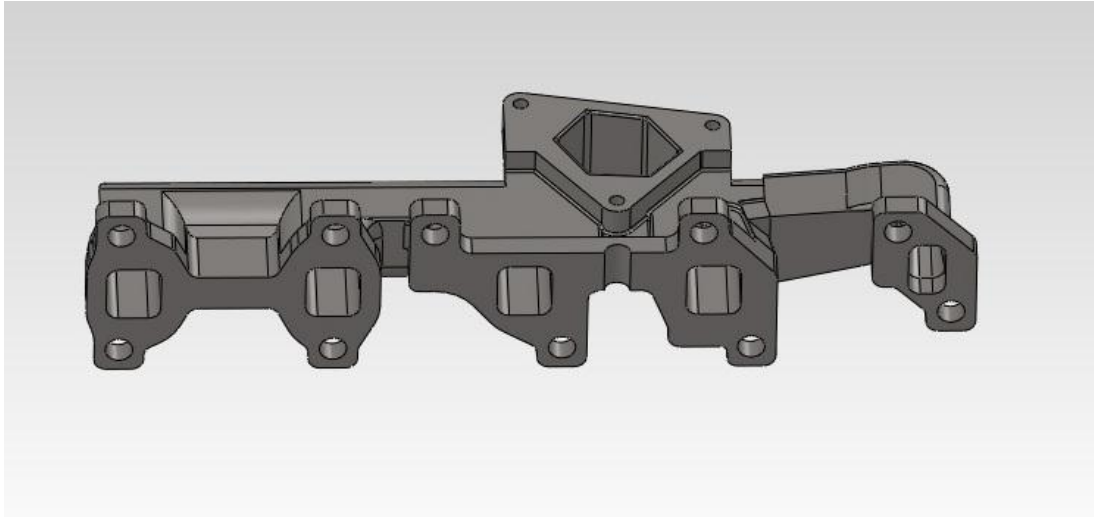


Fig. 4.6 – Collettore di scarico disegnato con Solidworks mantenendo i condotti di quello originale ma inserendo l’attacco della turbina modificata.

#### **4.5.1 – CONSIDERAZIONI SUL FUNZIONAMENTO DELLO SCARICO PER UTILIZZO AERONAUTICO**

La trattazione di questo argomento viene fatta partendo dal concetto che una turbina mantiene un valore del rendimento alto, durante il suo funzionamento, in un regime di rotazione del motore stabilito e costante. Questo è dovuto al fatto che la pressione nel condotto di scarico deve mantenere un certo valore costante (valore in cui la turbina funziona ad alto rendimento). Se si pensa ad un collettore tipo l’originale si può facilmente intuire che la pressione non si mantenga costante per effetto continuo di scarico di gas combusti nei condotti da parte di ciascuno dei cilindri.

Per ottenere un funzionamento il più ideale possibile si è pensato di creare un condotto di scarico che presenti un volume che sia in grado di “ammortizzare” la variazione di pressione nel condotto, mantenendola in più costante possibile.

Questo concetto non rispecchierebbe le esigenze richieste per un utilizzo stradale di un autoveicolo in quanto la continua variazione di coppia richiesta dal conducente durante il funzionamento in un tratto cittadino non sarebbe soddisfatta perché il motore risulterebbe un po’ lento nella risposta.

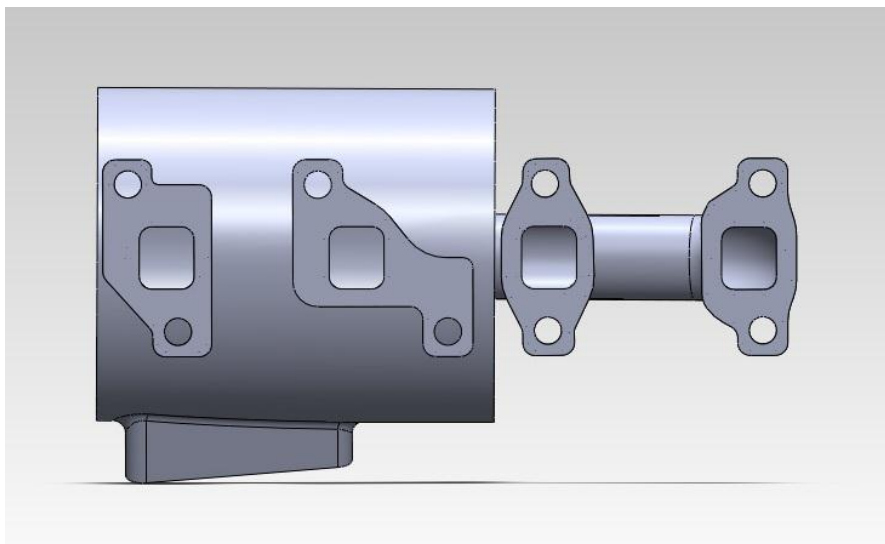
Lo stesso discorso non vale per un uso aeronautico del nostro tipo in cui la potenza richiesta non varia continuamente e quindi conviene progettare uno scarico di questo tipo.

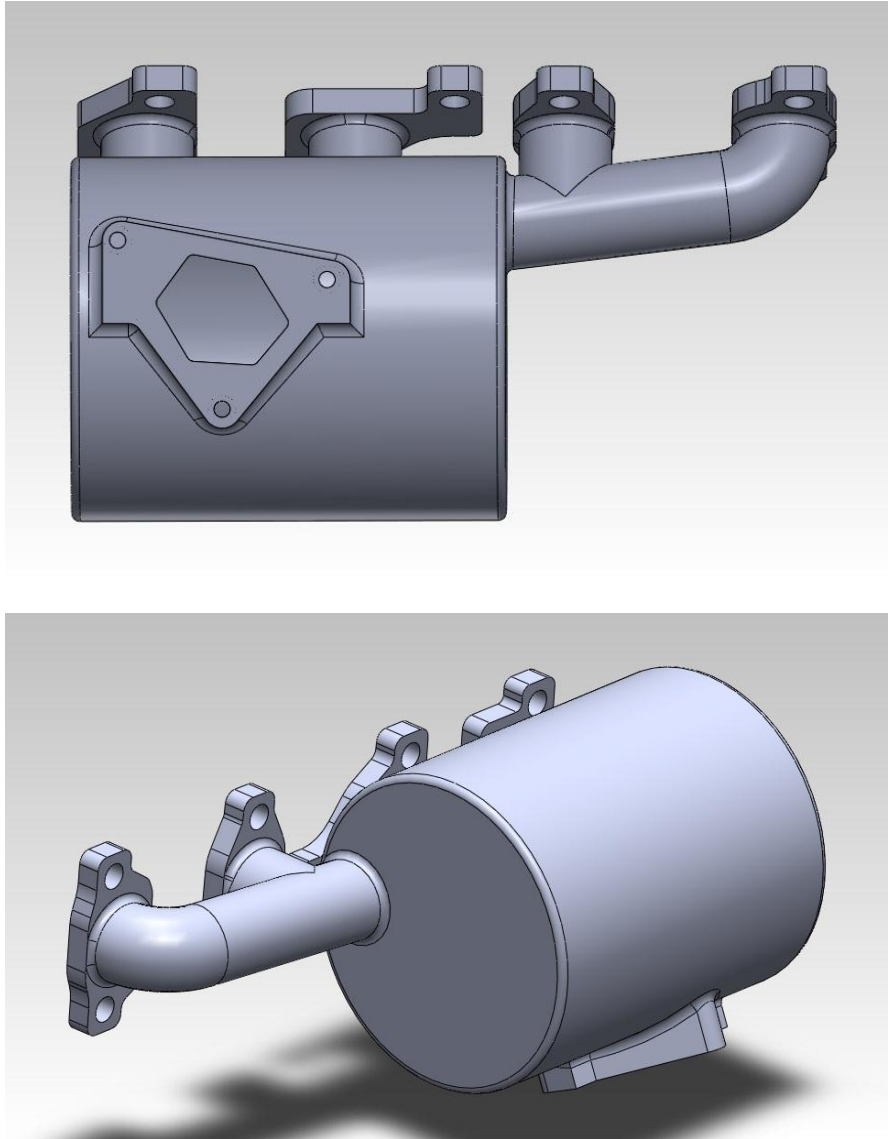
#### **4.6 – SCARICO MODIFICATO**

Per la sua realizzazione si è pensato che il metodo più veloce e conveniente sarebbe stato quello di costruirlo mediante 4 parti:

- Due piastre tagliate al laser che andranno a costituire i basamenti gli accoppiamenti collettore-testata e collettore-turbina (per semplicità di costruzione la prima citata sarà costituita da quattro piastre, una per cilindro)
- I condotti
- Il volume cilindrico

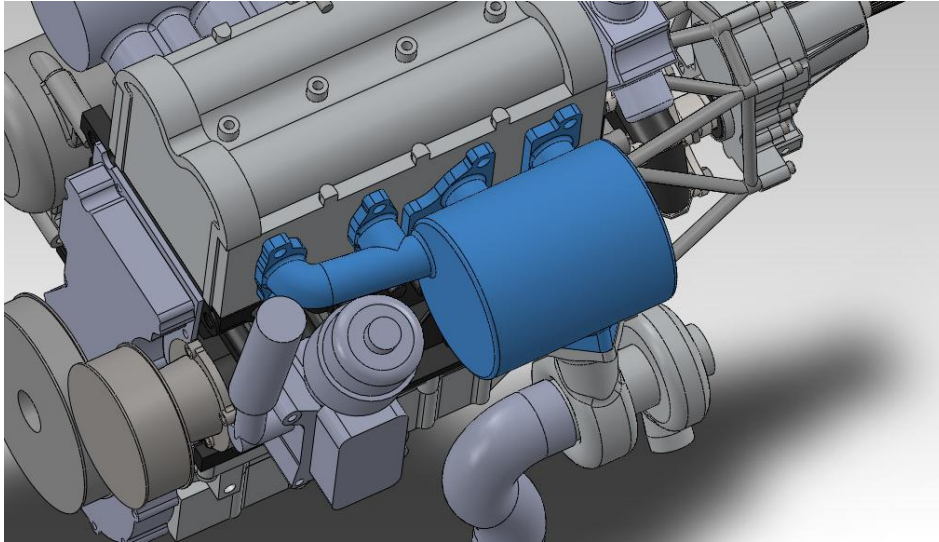
Quindi si è presa la guarnizione del collettore originale per le quote della prima piastra e realizzata in 3d. Poi si è disegnato il resto del collettore fino al posizionamento della seconda piastra.





*Fig 4.7 – Collettore di scarico rifatto per il funzionamento su Cessna 172. Partendo da in alto è riportato con vista dell'attacco testa-collettore, attacco collettore-turbina, vista prospettiva.*

L'asimmetria del volume cilindrico è stata una scelta obbligata dal layout del motore, di cui riportiamo in seguito un particolare:



*Fig. 4.8 – Particolare dell'assieme del motore che mette in evidenza il motivo per cui lo scarico è asimmetrico.*

Dalla figura si nota che la creazione del collettore di scarico era obbligata dalla posizione degli altri componenti del motore.

## CAPITOLO 5 – ASSEMBLAGGIO DEL MOTORE

Come passaggio preliminare alla creazione del castello motore è stato necessario assemblare il motore con tutti i componenti a disposizione.

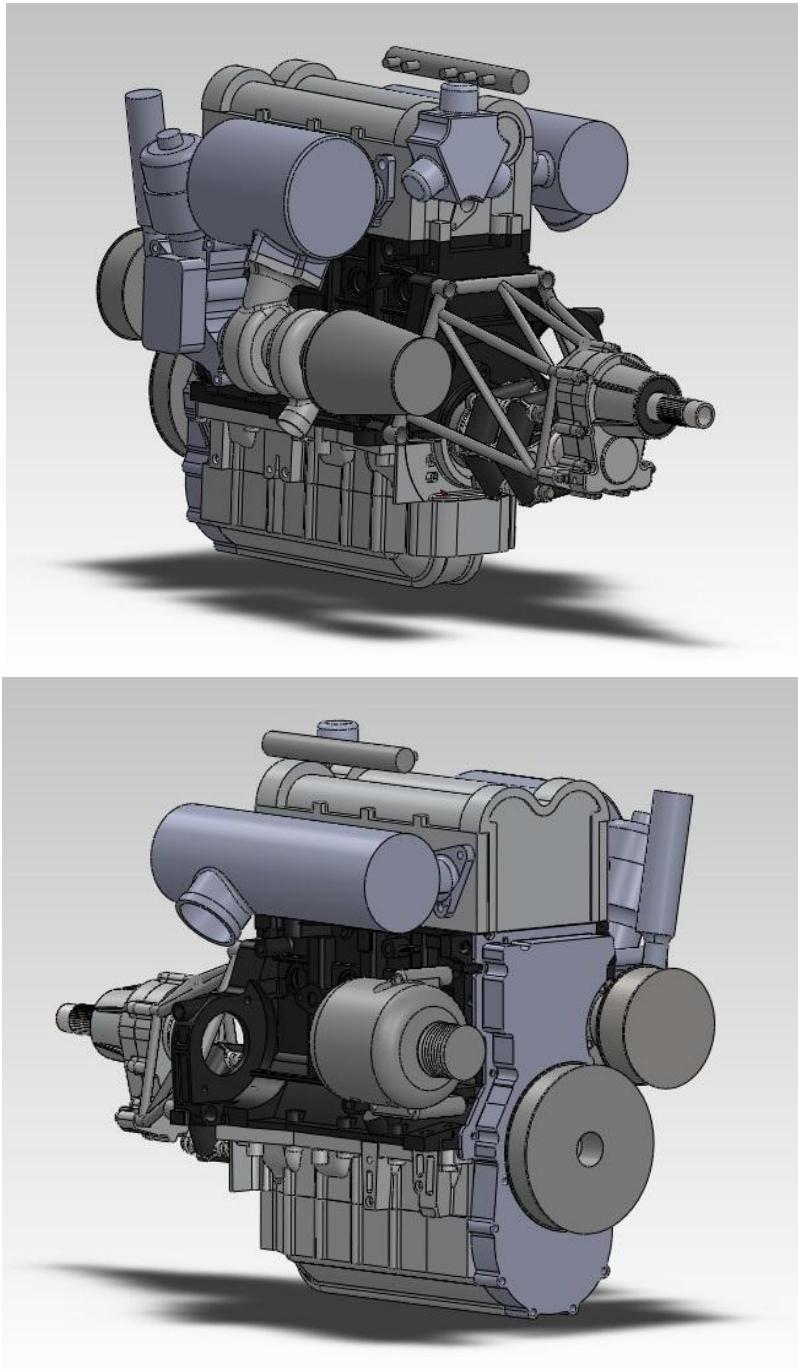


Fig. 5.1 – *Assieme del motore completo di tutti gli accessori compreso il riduttore.*





# CAPITOLO 6 – CREAZIONE DEL CASTELLO MOTORE

## 6.1 – CONSIDERAZIONI INIZIALI

Il castello motore è l'elemento di unione tra telaio del velivolo e motore per questo deve possedere determinate caratteristiche che sono principalmente:

1. **leggerezza**
2. **resistenza**
3. **rigidità**
4. **minimo ingombro**

Queste caratteristiche derivano dalla natura del suo impiego e vanno rispettate per garantire un corretto funzionamento dell'intero velivolo. In particolare il castello motore dovrà risultare:

- **leggero** per garantire un incremento di peso il più basso possibile pur essendo un componente strutturale;
- **resistente** per supportare il peso del motore in tutte le condizioni di volo, considerando quindi tutte le manovre comprese quelle di emergenza
- **rigido** per evitare spostamenti relativi tra l'asse dell'elica e il resto del velivolo
- **di minimo ingombro** per permettere il corretto posizionamento sia del motore che di tutti i componenti ausiliari ad esso.

Partendo dai precedenti requisiti il primo quesito che ci si è posto per l'adattamento del 1.3 JTD sul cessna riguardava il montaggio tramite castello motore originale modificato oppure tramite un nuovo castello.

### 6.1.1 – VALUTAZIONI SULL'UTILIZZO DEL CASTELLO ORIGINALE

Per dare un giudizio su questo tipo di scelta bisogna valutare se il castello originale rispettava fondamentalmente due aspetti :

- facilmente adattabile al nostro caso: deve mantenere un peso ridotto e avere una resistenza sufficiente per contrastare i carichi che si generano durante il volo

- mantenere un costo relativamente basso

Il fattore costo non era in questo caso un problema dato che la struttura a traliccio in questione è realizzata in acciaio. Il problema a questo punto rimane quello di valutare se questo telaio poteva ospitare il nostro motore senza particolari modifiche che ne avrebbero aumentato eccessivamente i costi, la difficoltà e il tempo di realizzazione.

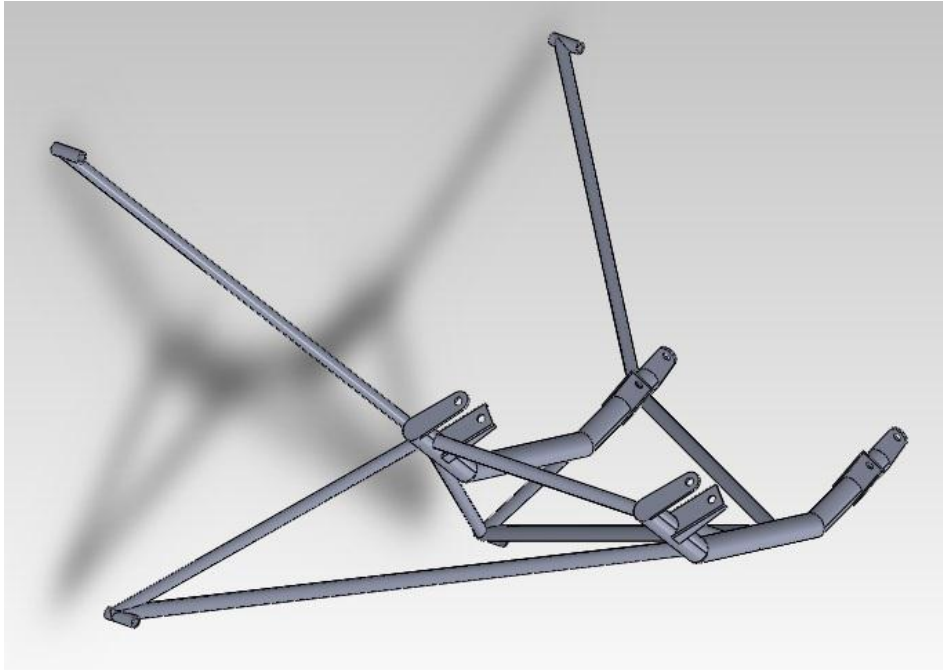


Fig. 6.1 – *Castello motore originale Cessna 172 riprodotto in 3D con Solidworks.*

La valutazione della convenienza riguardante il montaggio tramite questo castello è partita dalla creazione di un assieme in Solidworks, da cui si sono tratte le considerazioni a riguardo.

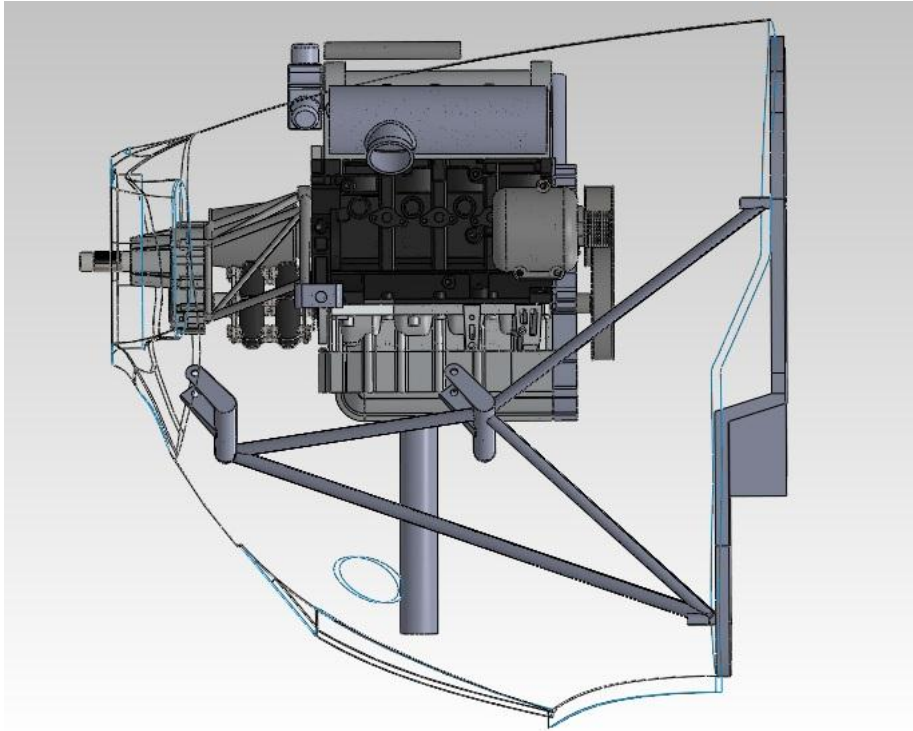


Fig. 6.2 – *Assieme paraflamma-castello motore-motore per la valutazione del montaggio del castello motore originale.*

Dalla figura 6.2 si può notare immediatamente che il castello motore originale si ha gli attacchi in prossimità di quelli del motore che dobbiamo sfruttare noi, ma rimangono comunque ad una distanza tale da non garantirne un corretto funzionamento. Infatti il baricentro del nostro motore Fiat montato sul Cessna è più alto rispetto a quello del Lycoming e le coppie che si genererebbero rispetto ai supporti montando quest'ultimo sarebbero maggiori.

L'adattamento di questo castello potrebbe risultare abbastanza funzionale ma rimarrebbe in qualsiasi caso una soluzione che si distaccherebbe da quella ottimale.

Si è quindi deciso di realizzare un nuovo castello motore in modo tale che soddisfi tutte le caratteristiche necessarie.

## 6.2 – NUOVO CASTELLO MOTORE

### 6.2.1 – POSIZIONAMENTO DEL MOTORE

Per avere un'idea di come sarà fatta la struttura abbiamo innanzitutto bisogno di posizionare il parafiamma, il cofano e il motore in modo da avere tutti i riferimenti necessari.

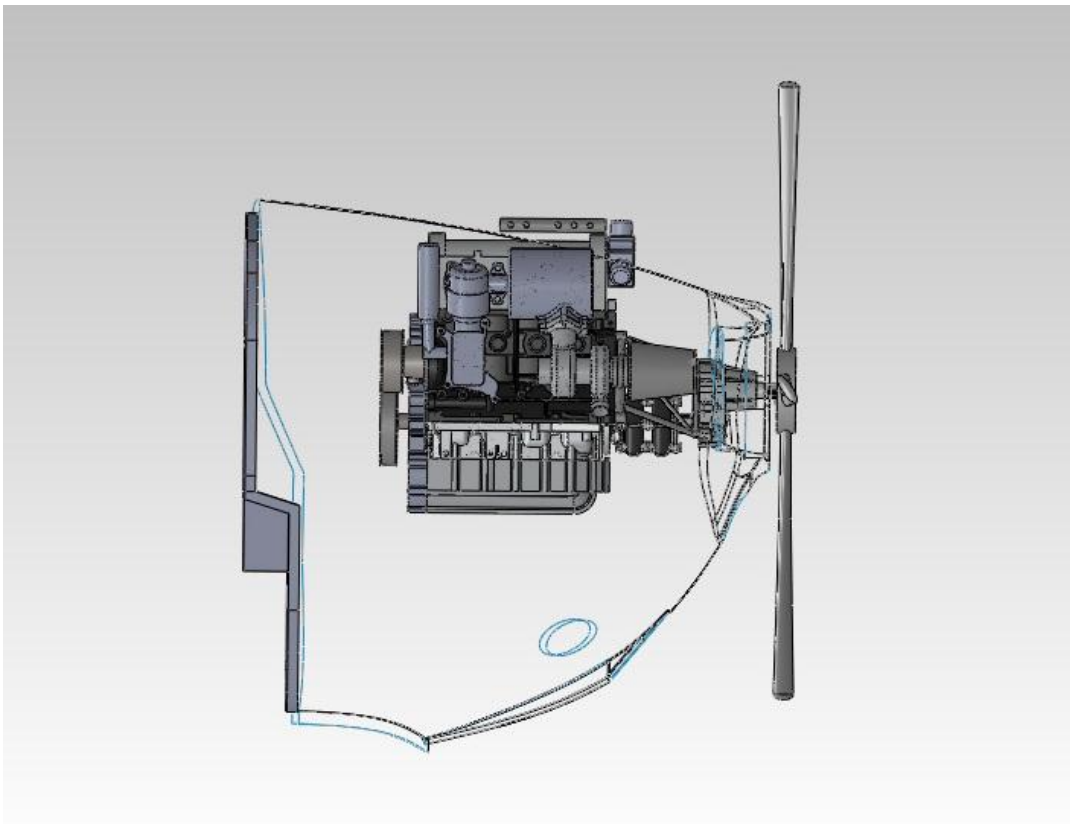


Fig. 6.3 – Assieme parafiamma-motore per la valutazione della posizione del motore.

Data la conformazione del motore e del riduttore si capisce facilmente che la loro posizione è vincolata dalla posizione dell'asse dell'elica. Infatti l'asse dell'elica deve coincidere con l'asse dell'albero in uscita dal riduttore ed entrambi devono coincidere con l'asse del foro del cofano.

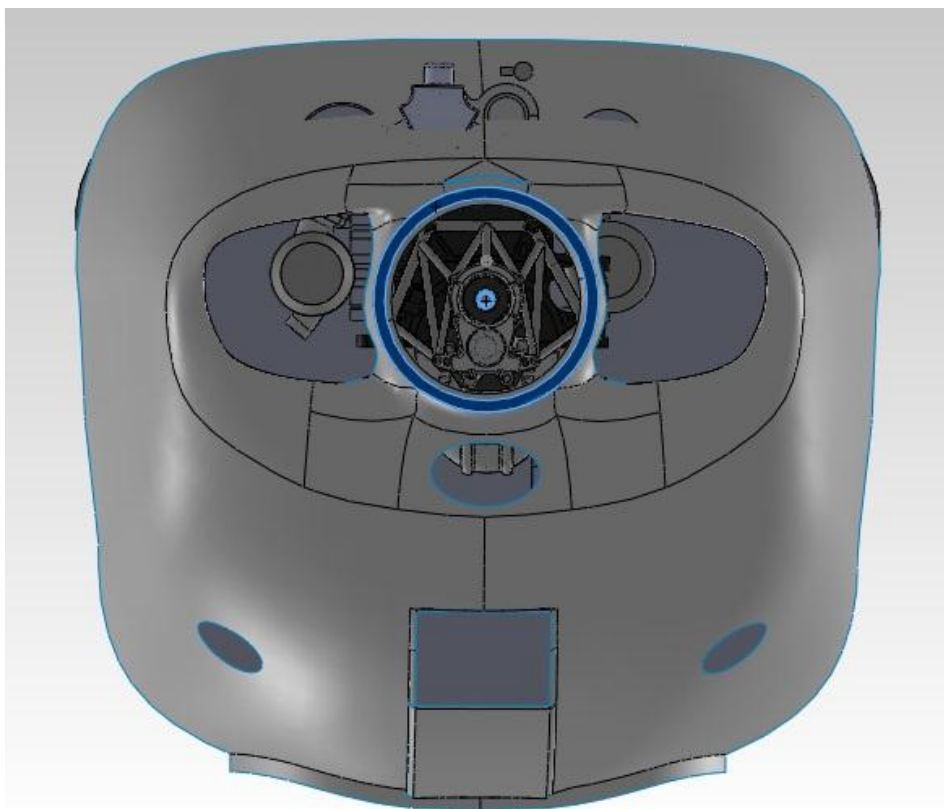


Fig. 6.3 – *Assieme parafiamma-cofano-motore per il centraggio dell'asse dell'elica nel cofano.*

## 6.2.2 – VALUTAZIONE DEI PUNTI DI ATTACCO

A questo punto il motore è posizionato e bisogna valutare quali sono gli attacchi da sfruttare per agganciare il motore al futuro castello motore. Guardando la struttura del basamento e delle testate si sono trovati dei punti adatti al nostro caso, che sono due piedini sul basamento in ghisa all'anteriore e quattro fori filettati sul posteriore.

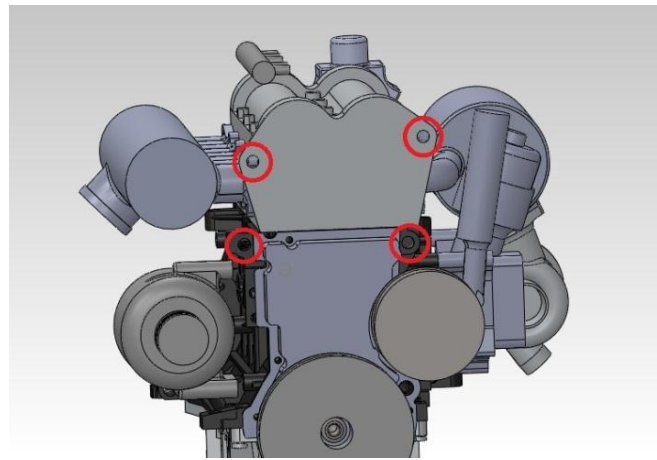
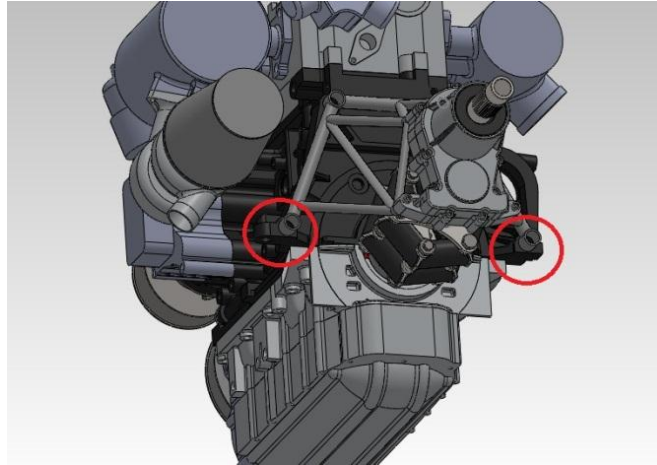
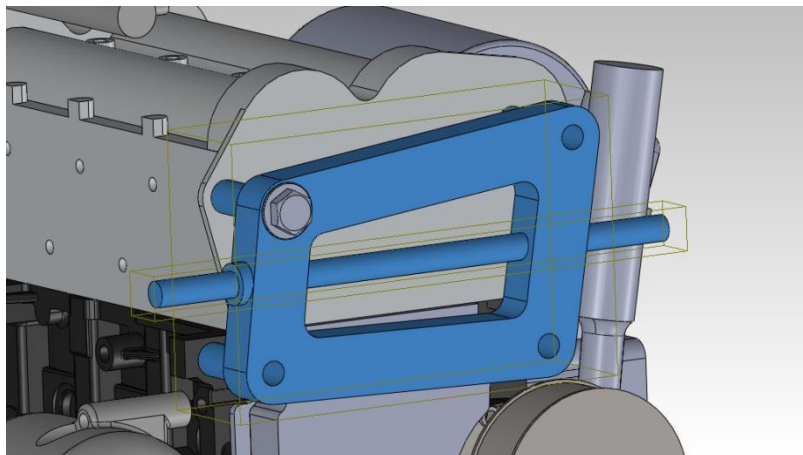
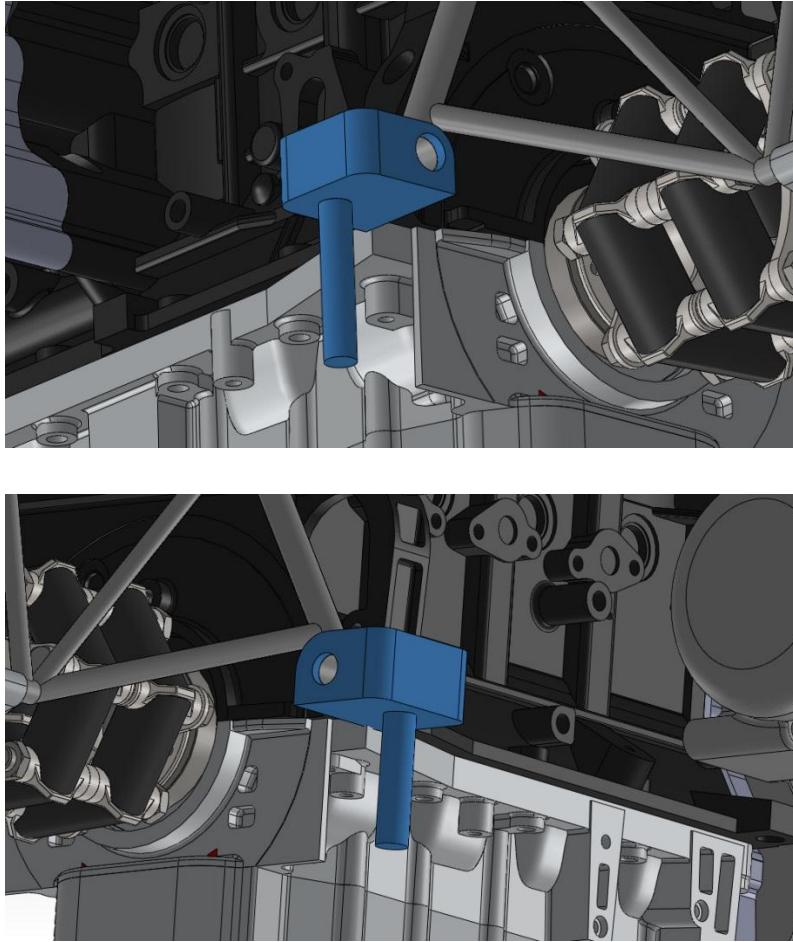


Fig. 6.4 – Particolari del motore che evidenziano in rosso i punti scelti come attacchi per il motore.

Quindi si sono realizzati gli attacchi, uno posteriore e due anteriori.





*Fig. 6.5 – In alto attacco posteriore, in mezzo attacco anteriore lato scarico, in basso attacco anteriore lato aspirazione.*

I punti scelti per sostenere il motore (Fig. 6.4) sono gli stessi che sono utilizzati come supporti motore sui veicoli motorizzati con il 1.3 JTD quindi abbiamo la certezza che sia sufficientemente robusti per reggere i carichi durante il funzionamento del velivolo.

Per quanto riguarda gli attacchi al castello motore invece verranno sfruttati quelli utilizzati anche dal castello motore originali, ossia 4 bulloni che dal parafiamma sporgono dentro il cofano.

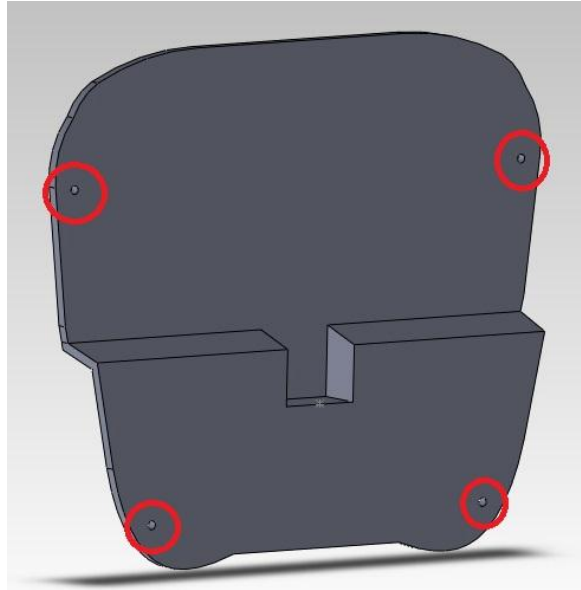


Fig. 6.6 – Attacchi disponibili sul paraflamma evidenziati.

### 6.3 – SCELTA DEL MATERIALE

Le soluzioni che possono garantire la realizzazione del castello secondo le caratteristiche riportate all'inizio del capitolo 6 ma permettendo di mantenere dei costi relativamente bassi sono principalmente due: la realizzazione di un castello a traliccio in lega di titanio oppure di un telaio formato da barre cave in lega di alluminio.



Fig. 6.7 – Esempio di castello motore realizzato in titanio.

Nel corso di trattazioni precedenti in cui si è realizzato un telaio in titanio (densità =  $4.43 \text{ g/cm}^3$ ) si è arrivati alla conclusione che un castello motore in alluminio (densità =  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) riuscirebbe a soddisfare tutte le caratteristiche che ci siamo imposti, ma



mantenendo un peso dell'intera struttura inferiore rispetto a quello in titanio. Ci siamo dunque focalizzati sull'utilizzo di una lega di alluminio.

Tra tutte le leghe di alluminio disponibili sul mercato si è scelta la lega SERIE 5000 ( Peraluman ), in particolare la 5086 0.

### **6.3.1 - LE LEGHE DI ALLUMINIO**

Le leghe di alluminio, dette anche leghe leggere, sono leghe ottenute principalmente con la combinazione tra alluminio e rame, zinco, manganese, silicio, o magnesio. Le principali caratteristiche di queste leghe sono:

- I. bassa densità: il loro peso specifico è uno dei più bassi fra tutti i materiali strutturali (2,7 g/cm<sup>3</sup> contro i 7,9 g/cm<sup>3</sup> dell'acciaio)
- II. elevata duttilità a causa della loro struttura cristallina cubico F (a facce centrate): grazie a questa proprietà è possibile realizzare fogli sottilissimi di alluminio, come ciascuno di noi può sperimentare nelle applicazioni alimentari. Anche a basse temperature, per la loro struttura cristallina, le leghe di alluminio si mantengono duttili.
- III. elevata conduttività termica ed elettrica: questa caratteristica rende alcune leghe di alluminio adatte alla realizzazione di pentole da cucina, o materiale elettrico.
- IV. basso punto di fusione (ca. 660 °C): la temperatura di fusione limita le applicazioni strutturali dell'alluminio a temperature d'esercizio massime di 200-300 °C (300 °C per leghe appositamente studiate).
- V. resistenza a corrosione in ambiente atmosferico: le leghe leggere resistono bene alla corrosione generalizzata, ma soffrono di alcuni altri tipi di corrosione, e per questo vengono trattate con procedimenti come l'anodizzazione o l'applicazione di vernice protettiva (primer). Se non trattata in maniera particolare, la superficie di un oggetto in lega d'alluminio appare lucida, essendo assenti fenomeni di corrosione generalizzata, a differenza degli acciai ferritici. Le leghe di alluminio possono sviluppare rapidi fenomeni di corrosione galvanica se poste a contatto con l'acciaio inossidabile o con il titanio e le sue leghe.

L'impiego delle leghe d'alluminio nell'industria è sempre cresciuto con il passare degli anni. Nel 2000 le leghe di alluminio hanno superato la plastica come terzo materiale più

usato nella costruzione di automobili, nel 2006 l'acciaio come secondo materiale più usato. Per questo i processi produttivi sono divenuti molto più efficienti: negli ultimi 50 anni, la quantità media di elettricità per fabbricare un chilogrammo di alluminio è diminuita da 26 kWh a circa 15 kWh. L'industria USA dell'alluminio è la più importante al mondo in termini di produttività: produce ogni anno beni e materiali grezzi in alluminio per 39,1 miliardi di dollari.

La composizione delle leghe di alluminio è catalogata e gestita dalla Aluminum Association. Molte organizzazioni pubblicano standard più specifici per la produzione di leghe di alluminio, inclusa l'organizzazione per la standardizzazione Society of Automotive Engineers (società degli ingegneri automobilistici) e in particolare il suo sottogruppo per gli standard aerospaziali e l'ASTM.

## CAMPI DI APPLICAZIONE

Le leghe di alluminio sono usate nell'ingegneria strutturale in un largo campo di applicazioni. Sono classificate mediante un sistema numerico secondo l'(ANSI) o con nomi che indicano gli elementi principali costituenti secondo le norme DIN e ISO. La selezione della giusta lega per una data applicazione richiede di effettuare considerazioni sulla resistenza statica, duttilità, lavorabilità, saldabilità e resistenza alla corrosione, caratteristiche meccaniche alle temperature di impiego e molti altri aspetti delle proprietà meccaniche del materiale. I principali campi di applicazione sono:

- I. campo aeronautico: a causa dell'importanza che riveste il peso strutturale, le leghe leggere sono estesamente utilizzate proprio per il favorevole rapporto proprietà meccaniche/peso che esse posseggono. Ancor oggi, nonostante i recenti sviluppi Boeing facciano pensare ad un utilizzo sempre più massiccio dei materiali compositi, le leghe d'alluminio trovano largo impiego. Per avere un'idea della questione si pensi che fino a dieci anni fa più dell'80% della struttura di un aeroplano era costituita in lega leggera.
- II. applicazioni motoristiche: soprattutto nelle parti tiepide (fino ai 250 °C) del motore, e recentemente anche nelle parti calde, la soluzione in lega di alluminio consente risparmi in peso.

- III. campo ferroviario: con l'aumentare delle velocità di crociera dei moderni treni (i cosiddetti treni ad alta velocità), anche il campo ferroviario, che da sempre si era affidato all'acciaio, ha cominciato ad utilizzare le leghe d'alluminio in numerose applicazioni, anche strutturali, al fine di diminuire il peso.
- IV. costruzione di telai di biciclette: attraverso l'utilizzo delle leghe leggere è possibile costruire telai più rigidi e meno pesanti.
- V. serbatoi e tubi in pressione, applicazioni criogeniche: l'elevata duttilità delle leghe d'alluminio anche a bassa temperatura, e la loro buona resistenza a corrosione, ne fanno materiale di impiego in questo campo.
- VI. accessori da cucina: per queste applicazioni le leghe di alluminio sono considerate migliori rispetto al rame e all'acciaio. A livello professionale i cuochi apprezzano particolarmente le elevate doti di conducibilità del calore e considerano un compromesso accettabile le lievemente minori caratteristiche di igiene, durata meccanica e resistenza alla corrosione rispetto agli altri materiali.
- VII. infissi e altre applicazioni domestiche: famosi gli infissi in alluminio anodizzato e più recentemente in alluminio verniciato con essiccazione a forno.

Nella progettazione, bisogna anche tener conto del fatto che una lega di alluminio in media costa 2-3 volte un acciaio, nonostante esso sia il secondo elemento metallico più abbondante sulla crosta terrestre dopo il silicio, a causa del complesso processo di raffinazione della bauxite, il minerale dal quale si ricava l'alluminio, e del costo intrinseco degli elementi di lega sommato ai procedimenti termici necessari a migliorare le caratteristiche meccaniche del materiale.

#### DENOMINAZIONE DELLE LEGHE DI ALLUMINIO

Secondo lo standard ASTM, le leghe di alluminio sono designate con due metodi differenti, uno impiegato per le quelle da utilizzare per lavorazione plastica, l'altro per quelle per fonderia. Lo standard di classificazione ASTM delle leghe leggere da deformazione plastica è praticamente coincidente con quello della aluminium association, sigla AA.

Le leghe di alluminio da utilizzare per lavorazione plastica sono identificate con un numero a quattro cifre seguito da un trattino, una lettera che identifica il tipo di

trattamento termico e un numero composto da una fino a quattro cifre che identifica la specifica tempra e invecchiamento.

La lettera che identifica il tipo di trattamento termico può ad esempio essere:

F - grezzo di colata.

H - incrudito per deformazione a freddo.

O - ricotto.

T3 - solubilizzato a caldo, lavorato a freddo ed invecchiato naturalmente.

T6 - solubilizzato, temprato ed invecchiato artificialmente.

Ad esempio una lega 2024-T3 identifica una lega solubilizzata a caldo, lavorata a freddo ed invecchiata naturalmente.

Le leghe di alluminio per fonderia, invece, sono designate con un numero a 4 o 5 cifre con punto decimale. La cifra nella posizione delle centinaia indica i componenti della lega, mentre la cifra dopo il punto decimale indica il formato (profilati o lingotti).

#### LEGHE PER LAVORAZIONI PLASTICHE

1. gruppo 1000 (Alluminio): individua l'alluminio puro con un minimo del 99% di contenuto in peso. Sono possibili trattamenti per incrudimento per migliorare le caratteristiche di resistenza a scapito della duttilità e ottenendo un aumento della durezza. Nonostante la notevole affinità con l'ossigeno l'alluminio puro possiede una buona resistenza alla corrosione grazie alla formazione di uno strato superficiale compatto (byfilm) di ossido protettivo.
2. gruppo 2000 (leghe Al - rame) dette **Avional**: possono essere sottoposte al trattamento termico di indurimento per precipitazione in grado di migliorare le proprietà meccaniche di resistenza. In precedenza venivano chiamate duralluminio. Sono tra le più comuni leghe per uso aerospaziale, soprattutto ove è richiesta buona o ottima resistenza a fatica.
3. gruppo 3000 (leghe Al - manganese): possono essere lavorate per incrudimento. Usate per utensileria da cucina, recipienti e tubi in pressione.
4. gruppo 4000 (leghe Al - silicio): leghe da fonderia. Tra queste la più importante prende il nome di silumin.

5. gruppo 5000 (leghe Al - magnesio) dette **Peraluman**: Trattabili con lavorazioni di deformazione a freddo per aumentarne la durezza. Unitamente a una buona resistenza alla corrosione, mostrando doti di buona lavorabilità. Si utilizzano ad esempio in serbatoi per carburante, o rivetti esposti ad ambiente particolarmente corrosivo.
6. gruppo 6000 (leghe Al – silicio e magnesio) dette **Anticorodal**: hanno una ottima lavorabilità con le macchine utensili e possono essere sottoposte al trattamento termico di indurimento per precipitazione, ma non si possono ottenere le caratteristiche che le leghe dei gruppi 2000 e 7000 possono raggiungere. Sono leghe con buona saldabilità, e dunque vengono usate nel campo navale, ferroviario, o per la costruzione di telai per biciclette e nella costruzione di infissi di alluminio.
7. gruppo 7000 (leghe Al – zinco e magnesio) dette **ergal**: sono le leghe molto utilizzate in campo aerospaziale, nelle applicazioni strutturali di forza e sono in grado di raggiungere le migliori caratteristiche meccaniche tra tutte le leghe di alluminio.
8. gruppo 8000 (leghe miste): tra queste importanti sono le leghe Al-Li (come la 8090), di minor densità (2,5 - 2,6 g/cm<sup>3</sup> in base alla percentuale di litio presente in lega), molto resistenti a fatica, mantengono una buona resistenza statica anche dopo danneggiamento da impatto, e rimangono molto tenaci anche a bassa temperatura.

## LEGHE DA FONDERIA

- gruppo 1xx.x (alluminio minimo 99%)
- gruppo 2xx.x (leghe Al - rame)
- gruppo 3xx.x (leghe Al - silicio - rame e/o magnesio))
- gruppo 4xx.x (leghe Al - silicio)
- gruppo 5xx.x (leghe Al - magnesio)
- gruppo 7xx.x (leghe Al - zinco)
- gruppo 8xx.x (leghe Al - stagno)
- gruppo 9xx.x (leghe Al - altri elementi)

## LAVORAZIONI TIPICHE

Tipicamente le leghe di alluminio vengono lavorate per laminazione, e cioè facendo passare il materiale fra due rulli in vari passaggi producendo delle lamiere di dimensioni standard stoccate in avvolgimenti chiamati coil, tramite forgiatura, e cioè deformando plasticamente il materiale a freddo o a caldo, tramite opportuni stampi e controstampi, per ottenere il pezzo desiderato, tramite fresatura tradizionale, HSM (high speed machining), o fresatura chimica per il raggiungimento di spessori particolarmente esigui. Molto meno comune per queste leghe è la fusione (anche se ultimamente sta trovando un certo successo la fusione in cera persa, che permette l'ottenimento di strutture molto integrate, e dunque il risparmio di assemblaggi laboriosi). Per quanto riguarda le lamiere, esse possono trovarsi nello stato clad o nello stato bare. Nel primo caso alla lamiera, durante il procedimento di laminazione, è stato aggiunto un piccolo spessore sulla superficie di alluminio pressoché puro, come protezione esterna della corrosione. Nel secondo caso la lamiera viene lasciata "nuda", senza la pellicola di alluminio.

## SALDABILITA'

L'alluminio, ad alte temperature, si lega con l'ossigeno formando un ossido, l'allumina, refrattario (che cioè fonde ad altissima temperatura). Per questo motivo le tecniche di saldatura tradizionali non danno risultati soddisfacenti. Le tecniche di saldatura più comunemente utilizzate per questo materiale sono invece la TIG, la MIG detta comunemente saldatura a filo continuo, la saldatura per attrito (FSW - Friction Stir Welding), la saldatura laser. A causa di introduzione di zone termicamente alterate e di imperfezioni nel cordone di saldatura come inclusioni, porosità ed altre, oltre che dell'inevitabile alterazione delle proprietà meccaniche della lega, ogni qualvolta si progettano giunzioni strutturali in qualche modo critiche in lega di alluminio, si deve rinunciare alla saldatura a favore di tecnologie più affidabili come la chiodatura, la bullonatura o l'incollaggio.

## CONSIDERAZIONI SULLA FLESSIBILITA'

Nelle applicazioni strutturali bisogna tenere bene in conto, quando si sceglie una lega leggera in sostituzione dell'acciaio, dei moduli elastici differenti dei due materiali. Se per recuperare la rigidità si aumenta lo spessore delle pareti dei tubi, il peso aumenta

proporzionalmente, vanificando i vantaggi di risparmio del peso della scelta. La soluzione consiste nella riprogettazione delle dimensioni del pezzo. Dal punto di vista matematico in un tubo, a parità di spessore delle pareti, la rigidezza aumenta con il cubo del diametro, mentre la massa aumenta solo in proporzione diretta.

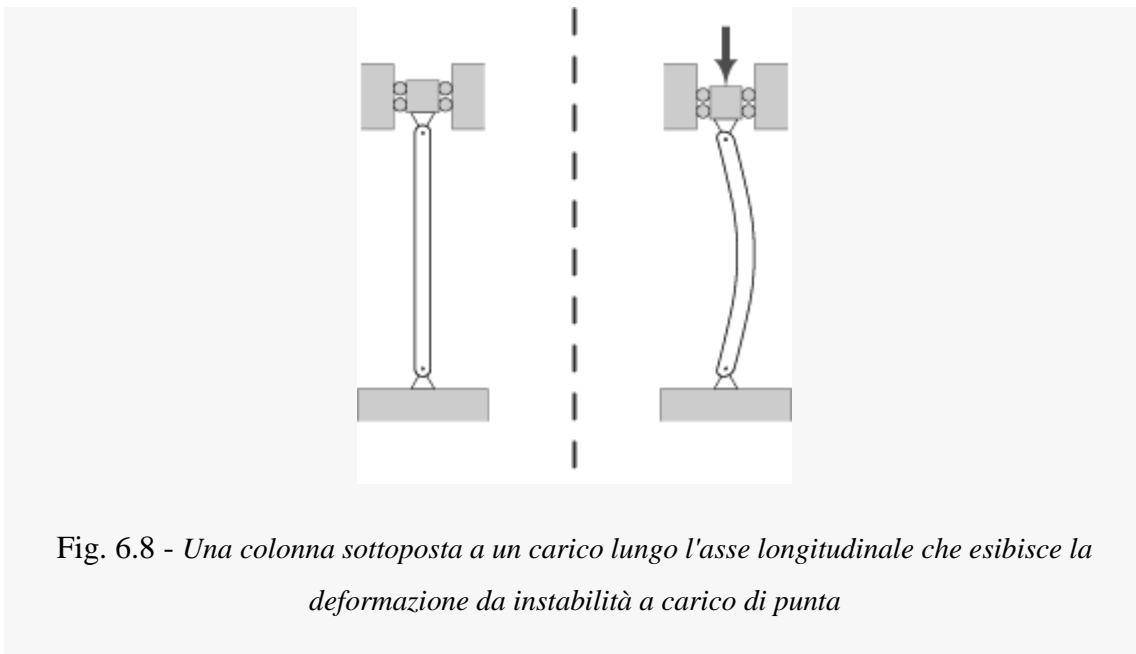


Fig. 6.8 - Una colonna sottoposta a un carico lungo l'asse longitudinale che esibisce la deformazione da instabilità a carico di punta

Di conseguenza, un tubo in lega leggera che abbia il doppio del diametro di un tubo di acciaio e lo stesso spessore delle pareti, avrà una rigidezza maggiore all'incirca di un rapporto 8 a 3, ma peserà solo i 2/3. Naturalmente, bisogna garantire una rigidezza flessionale adeguata per ogni direzione di flessione, affinché non si verifichi il fenomeno dell'instabilità a carico di punta.

### 6.3.2 - PERALUMAN – ALLUMINIO SERIE 5000

**Peraluman** è il nome commerciale di una serie di leghe di alluminio in cui l'elemento principale di lega è il magnesio presente in percentuali fino al 5,6%. Il magnesio conferisce a queste leghe ottime caratteristiche di resistenza alla corrosione, anche in ambiente marino, buone caratteristiche di saldabilità e ottima duttilità.

Le leghe di Peraluman sono designate come *serie 5000*. Hanno caratteristiche meccaniche che possono essere aumentate con lavorazioni a freddo, ma non a caldo. Queste caratteristiche restano comunque inferiori a quelle delle leghe di alluminio della *serie 2000* dette anche Duralluminio o Avional. Per questa ragione, le leghe Peraluman trovano meno impiego nell'industria aeronautica e maggiore impiego

nell'industria automobilistica per la costruzione di carrozzerie in parti strutturali con basse sollecitazioni, dove invece la saldabilità è una qualità apprezzabile.

E' stata riportata una breve descrizione delle leghe di alluminio facenti parte della Serie 5000 perché sono quelle da noi scelte per la costruzione del castello motore. In particolare, tra le diverse leghe, è stata scelta la 5086 O perché, mantenendo comunque una buona resistenza, è facilmente saldabile e deformabile a freddo. Queste ultime due proprietà ci sono utili per la costruzione delle barre cave di nostro interesse.

#### **6.4 – SCELTA DEL TIPO DI SEZIONE DELLE TRAVI**

La disposizione del motore rispetto al parafiamma e le direzioni e intensità dei carichi che il castello motore dovrà reggere sono tali che la sua struttura risulterà complessa. Per questo motivo le travi che andranno a costituirla saranno sollecitate in modo diverso in base alla loro posizione. Dunque non possiamo considerare l'utilizzo di travi tutte uguali ma dovremo costruire una struttura formata da travi disposte in diversi modi e con sezioni differenti a seconda della loro posizione rispetto al motore e al parafiamma (che risultano infatti i due corpi da unire).

Sfogliando dei cataloghi on-line di fornitori di profilati in leghe di alluminio si è visto che esistono degli assortimenti abbastanza ampi che variano in forme e dimensioni, ma per quanto riguarda il nostro utilizzo abbiamo esigenze particolari. Dobbiamo cercare di garantire una resistenza tale da reggere le sollecitazioni mantenendo però il peso più basso possibile. Infatti, tra i diversi tipi di sezione, si è scelta quella di forma rettangolare. Questa scelta ci porta a due vantaggi. La sezione rettangolare:

1. garantisce due resistenze differenti alle sollecitazioni perché presenta un momento d'inerzia differente nelle due direzioni fondamentali della sezione. Questo ci consente di disporre la trave nella direzione in cui vengono limitate maggiormente le tensioni e le deformazioni.
2. si può ottenere piegando una lamiera dello spessore desiderato e saldandola poi per l'intera lunghezza.



## 6.5 – CREAZIONE DEL CASTELLO MOTORE

### 6.5.1 – PRIMA CONFIGURAZIONE

Tenendo in considerazione di cui parlato ai capitoli 6.2.1 e 6.2.2 si è creato un primo castello motore con delle dimensioni di massima sia per quanto riguarda le sezioni delle travi che per il loro posizionamento.

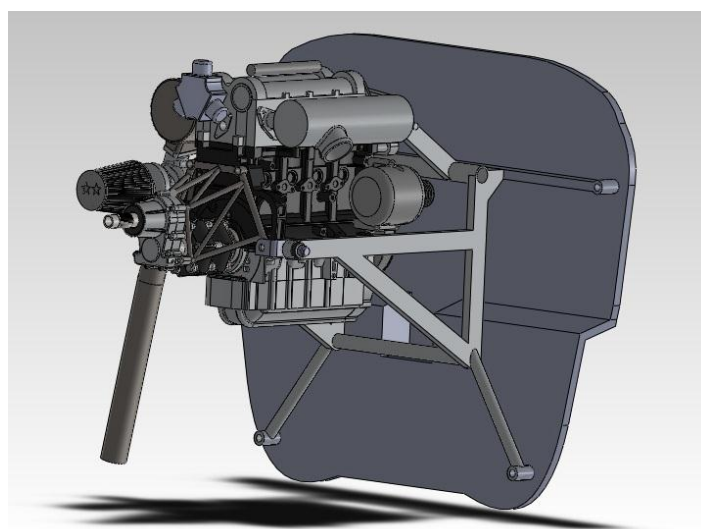
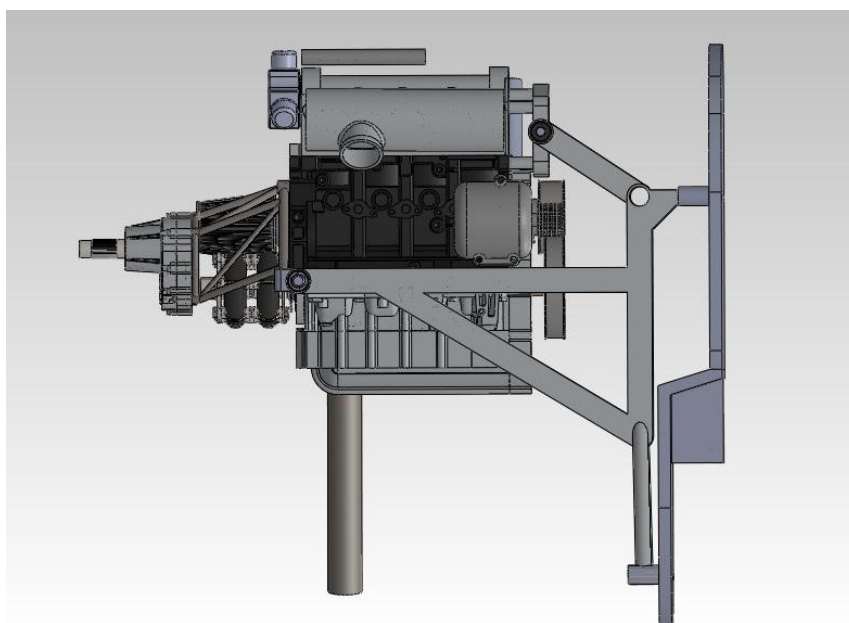


Fig 6.9 – *Prima configurazione del castello motore.*

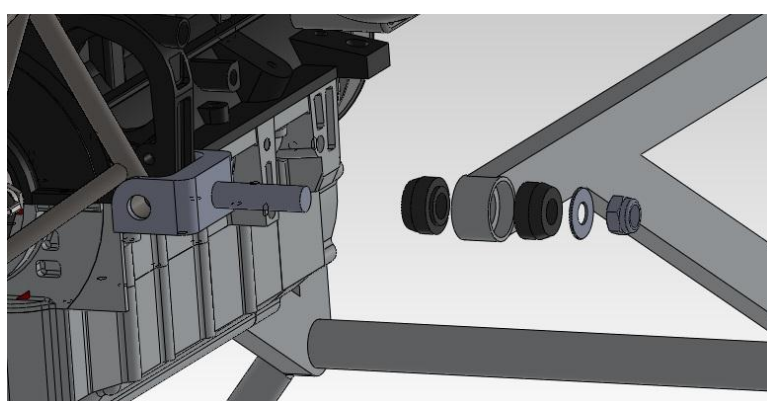
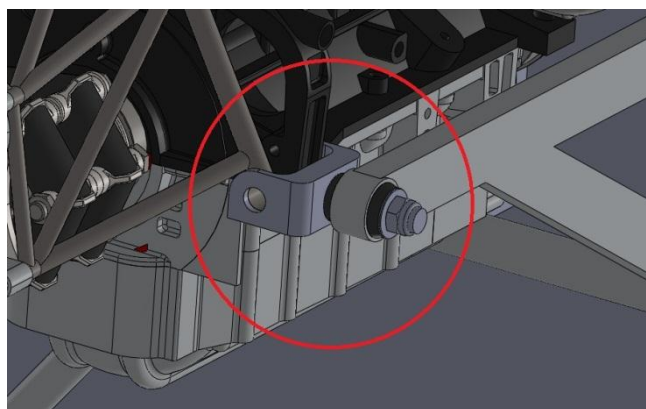
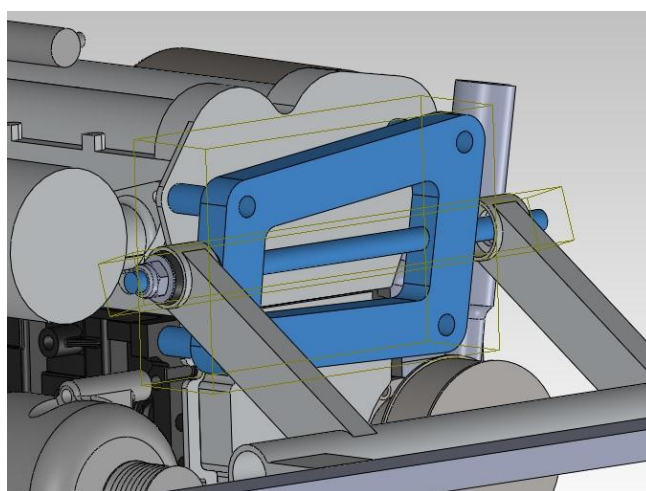


Fig 6.10 – Particolare di uno dei due attacchi anteriori in alto; in basso vista esplosa dell'attacco.



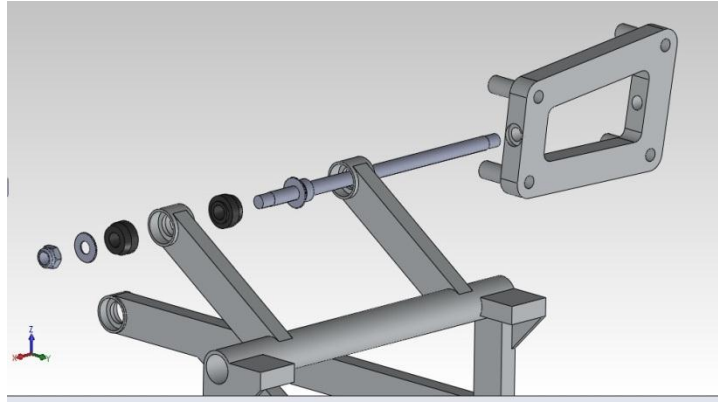


Fig. 6.11 – Particolari dell’attacco posteriore evidenziati in alto; in basso vista esplosa dell’attacco.

Come evidenziato nella figura 6.10 gli attacchi sono costituiti da dei “piedini” che abbracciano il basamento in ghisa del motore e uniti al castello tramite dei silent blocks che servono a smorzare le vibrazioni del motore.

Nella figura 6.11 invece è raffigurato l’attacco posteriore che è costituito da un supporto in lega di alluminio e un’asta in acciaio. Il supporto è stato collegato al motore in parte tramite testata e in parte tramite il basamento in ghisa mediante quattro viti. Si è scelto questo tipo di collegamento perché è quello utilizzato anche sulle autovetture per il fissaggio del motore alla carrozzeria. Anche qui sono presenti i silent blocks.

### 6.5.2 – SECONDA CONFIGURAZIONE

Guardando l’assieme, e in particolare la figura 6.10, si può notare che i “piedini” creati mantengono il castello motore distante dal motore; la causa di questo sta nel fatto che i “piedini” hanno uno sviluppo in senso orizzontale un po’ accentuato. In questo modo si verificano due problemi:

- considerando come sforzo maggiore durante le manovre di volo quello in direzione verticale possiamo facilmente verificare che i “piedini” sono soggetti a sforzi di taglio e momenti flettenti abbastanza importanti;

- in questa configurazione il castello motore risulta poco compatto verso il motore occupando dello spazio che potrebbe essere utile per il posizionamento degli accessori.

Dunque si sono creati dei piedini con la stessa ideologia ma eliminando i due difetti appena esposti spostando l'asse dell'attacco da una posizione orizzontale ad una verticale.

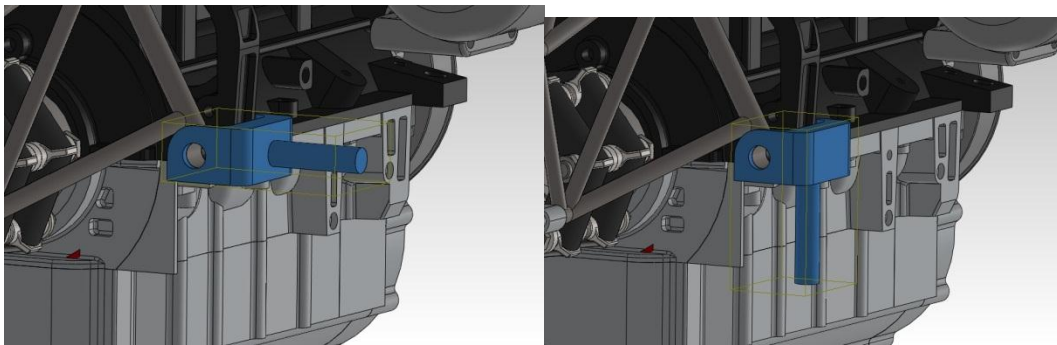


Fig. 6.12 – A destra piedino della prima configurazione; a sinistra piedino della seconda configurazione.

Durante la modifica dalla prima alla seconda configurazione sono anche state modificate le tre travi inferiori della struttura passando da una sezione circolare cava ad una rettangolare cava.

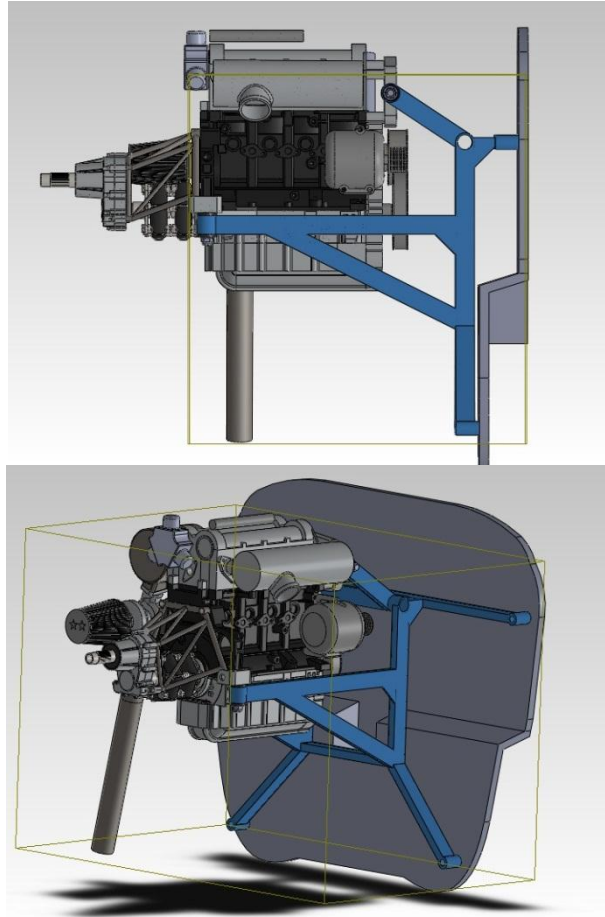


Fig. 6.12 – Seconda configurazione del castello motore.

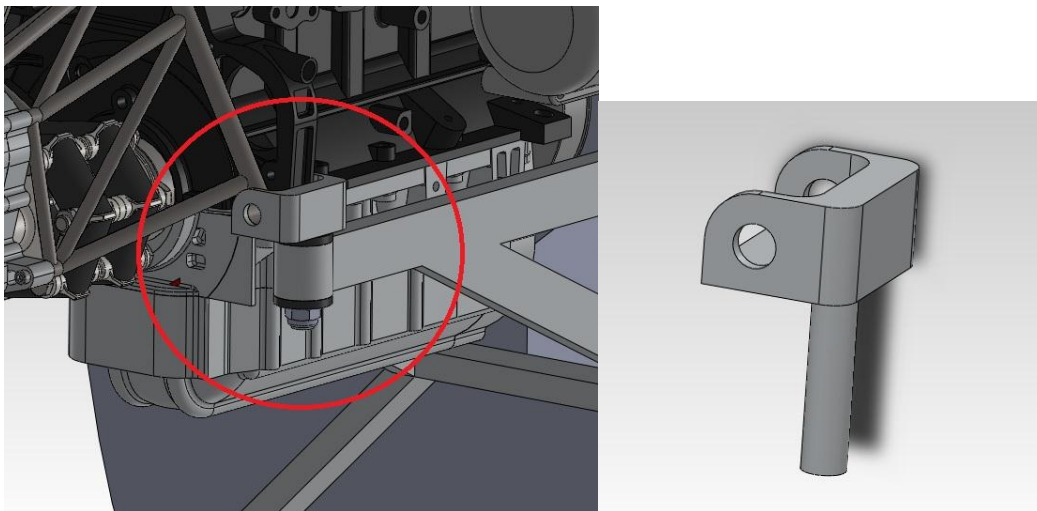


Fig. 6.13 – Particolare di uno dei due attacchi anteriori evidenziato in rosso a sinistra; a destra piedino lato aspirazione.



# CAPITOLO 7 – TEST DEL CASTELLO MOTORE

## 7.1 – PROGRAMMA DI SIMULAZIONE STRAUSS

Per effettuare i test di resistenza della struttura si è utilizzato un programma di simulazione di nome straus7.

Straus7 implementa una formulazione "classica" del metodo degli elementi finiti, per applicazioni sia di tipo lineare che non-lineare (per geometria, materiale e condizioni al contorno), relativamente ad analisi della risposta statica (inclusi problemi di stabilità dell'equilibrio), dinamica (generale e sismica) e termo-meccanica, sia in condizioni stazionarie che transitorie. La biblioteca di elementi finiti - ed i relativi modelli per materiali e leggi costitutive - è particolarmente vasta e completa.

Sono punti di forza del codice:

- l'interfaccia grafica, estremamente efficiente ed user-friendly;
- la codifica di quelli, tra gli elementi, che sono di impiego più frequente nell'ingegneria civile (quali travi, piastre, gusci, funi e membrane), sia per la varietà delle soluzioni prospettate (travi a sezione del tutto generica con calcolo automatico dei parametri geometrici, off-sets nodali e di asse, legami non-lineari momento-curvatura), che per il rendering dei risultati (visualizzazioni "al vero" dello stato tensionale e deformativo sulle sezioni);
- la particolare compattezza del codice: pur di formulazione classica, il codice è scritto completamente "a nuovo", senza cioè i problemi dei codici ad impostazione generale, che contengono normalmente stratificazioni di implementazioni successive;
- il rapporto prezzo/prestazioni, assolutamente unico, che rende l'applicativo particolarmente adatto anche per piccole realtà industriali o professionali;
- la validità sul piano didattico, che lo vede come impiegato ed apprezzato da quasi tutte le università italiane;
- la ricchissima casistica di applicazioni svolte da professionisti italiani, e messe a disposizione degli utenti;

## 7.2 – TEST DELLA SECONDA CONFIGURAZIONE

### 7.2.1 - TEST 1

Si riporta di seguito una schematizzazione della struttura in cui si sono numerate tutte le travi per avere a disposizione un riferimento per l'assegnazione dei tipi di sezione.

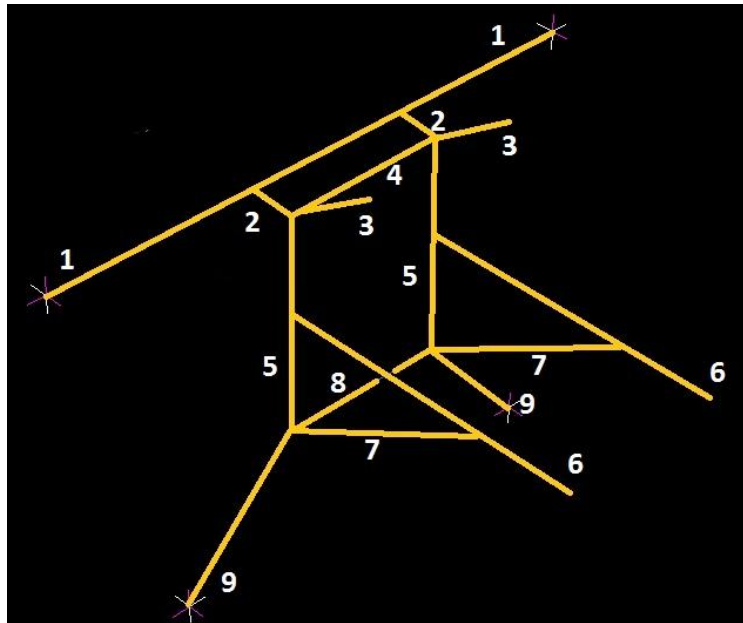


Fig. 7.1 – Numerazione delle travi.

Nel test 1 si sono usate le seguenti sezioni:

A. SEZIONE RETTANGOLARE CAVA 40x20 mm, spessore 2 mm :

travi 1,2,3,5,6,7,8,9

B. SEZIONE CIRCOLARE CAVA  $\phi_{est}=40$  mm, spessore 2 mm :

trave 2

Per effettuare la simulazione è stato inizialmente necessario seguire i passi elencati per creare la struttura in straus7:

- creare una rete di punti in uno spazio in tre dimensioni in cui ognuno di essi rappresenta un'estremità di una trave;



- ogni trave del castello è stata schematizzata inizialmente tramite una linea ricavata come unione di una coppia ben precisa di punti;
- sono state inserite tra le proprietà tutti i tipi di sezione che si sono utilizzate, specificandone dimensioni, spessori e materiali;
- ad ogni trave del castello è stata assegnata la propria sezione.

A questo punto si sono impostati i valori di tensione massima e minima che riguardano il materiale scelto. Per i valori di tensione si è fatta una ricerca su internet e per una lega 5086 O è stata trovata una  $\sigma_{0,2} = 125 \text{ N/mm}^2$ .

Leghe	Stato fisico	Resistenza a trazione RM (N/mm <sup>2</sup> )	Carico di snervamento Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Allungamento su 50 mm A%		Durezza HB
	secondo UNI 8278			(1)	(2)	
5005	0	125	40	27	–	30
	H34	160	135	9	–	45
	H38	200	190	5	–	51
5050	0	145	55	24	–	36
	H34	195	165	8	–	53
	H38	220	200	6	–	63
5052	0	195	95	25	27	49
	H34	250	210	10	12	66
	H38	280	255	7	8	77
5056	0	290	150	27	35	69
	H34/H26	370	315	13	–	99
	H38	410	345	10	15	104
5083	0	300	150	–	21	67
	H32	330	255	–	10	84
	H36	370	300	–	8	97
5086	0	265	125	23	–	65
	H24/H32	310	235	14	–	85
	H26/H36	340	295	9	–	97

Fig.7.2 – Tabella con valori della tensione allo 0.2% di allungamento di alcune leghe di alluminio.

Rimangono solo da inserire i carichi agenti sulla struttura.

Per il dimensionamento di un componente strutturale come il castello motore si considerano solitamente delle accelerazioni pari a 6 G (accelerazione pari a sei volte l'accelerazione gravitazionale) in direzione verticale e 2,5 G in direzione orizzontale.

Il peso del motore da tenere in considerazione è di 150 kg, in cui sono tenuti in considerazione anche i pesi di tutti gli accessori compresi quelli non presenti in questa trattazione.

Quindi in direzione verticale è stata applicata una forza pari a :

$$F_y = 6 * 9,81 * 150 = 8829 \text{ N} \Rightarrow \mathbf{F_y = 8830 \text{ N}} ,$$

mentre in direzione orizzontale :

$$F_z = 2,5 * 9,81 * 150 = 3679 \text{ N} \Rightarrow \mathbf{F_z = 3680 \text{ N}} .$$

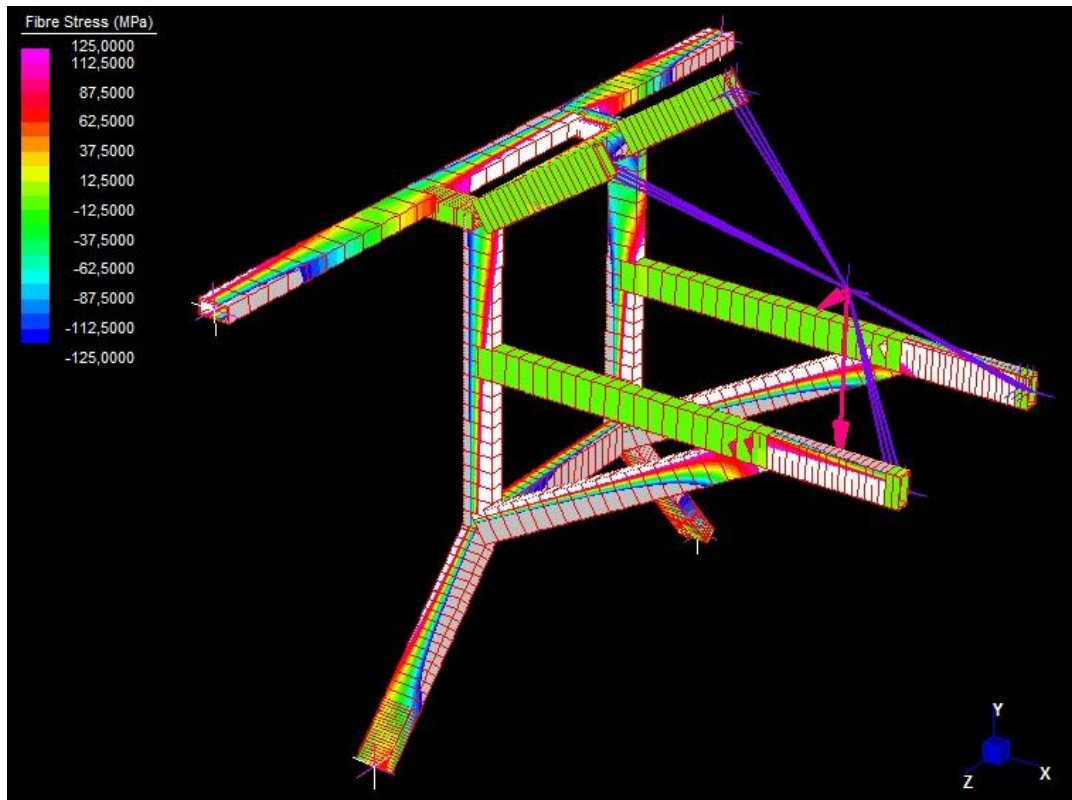


Fig 7.3 – Test 1 della seconda configurazione del castello motore in Strauss7.

Nell'immagine 7.2 è raffigurata la struttura nello spazio 3D di coordinate X,Y,Z. Le forze sono rappresentate in fucsia ed applicate nel baricentro del motore. Le linee viola che uniscono il baricentro alle quattro travi ( rigid link ) sono una schematizzazione degli attacchi, cioè si immagina che i carichi agiscano su una piccola porzione lineare di quelle travi invece che in un singolo punto; questo serve a rendere un po' più reale la distribuzione delle tensioni all'interno del materiale nei risultati ed evitare che in quelle estremità ci si ritrovi con dei picchi di tensioni dovuti a degli errori di calcolo.

In alto a sinistra è invece riportata una scala a colori caldi e freddi seguita da una serie di valori di tensioni, un valore per ogni colore. Questa serve per darci un'idea delle tensioni nei diversi punti delle travi della struttura. Si noti che la scala va da -125 MPa a 125 Mpa che sono i valori di tensione massima e minima impostati perché coincidono con quelli del nostro materiale, come da Fig. 7.1.

In prima analisi si considerano questi come valori di tensione da non oltrepassare, ma una volta stabilita come sarà la struttura del castello si dovrà tenere in considerazione un coefficiente di sicurezza pari a 1,5 che limiterà le tensioni max ad un valore di 83 MPa.

Guardando la struttura si nota immediatamente che essa è ricca di zone bianche che rappresentano le zone in cui si sono oltrepassati i valori massimi di tensione. Come ci immagina si è dovuto immediatamente modificare la struttura perché in questa situazione non reggerebbe.

## **7.2.2 - TEST 2**

Nel test 2 si sono usate le seguenti sezioni:

- A. SEZIONE RETTANGOLARE CAVA 45x45 mm, spessore 2 mm :  
travi 1,2,3,5,6,7,8,9
- B. SEZIONE CIRCOLARE CAVA  $\phi_{est}=40$  mm, spessore 2 mm :  
trave 2

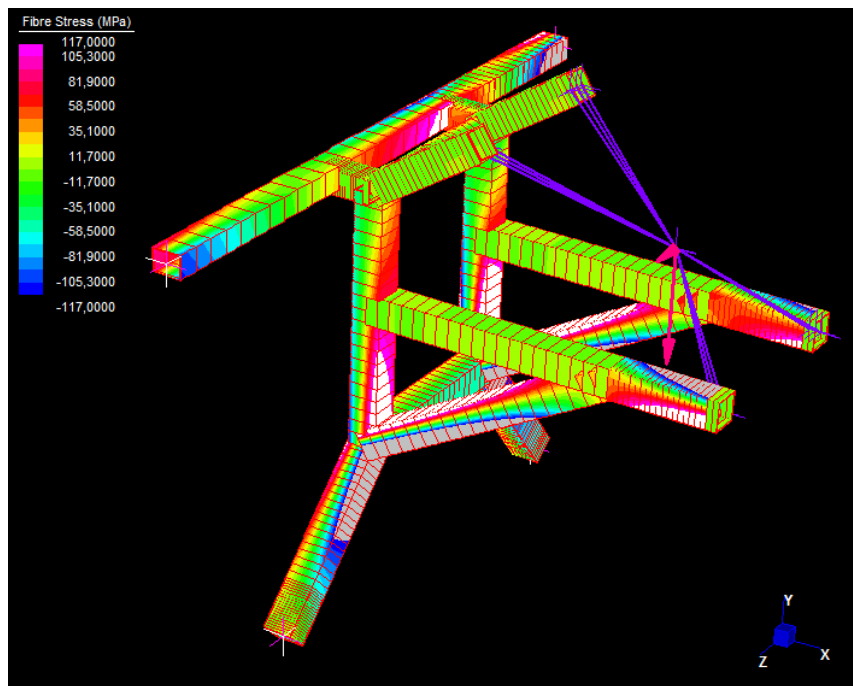


Fig. 7.4 – Test 2 della seconda configurazione del castello motore in Strus7.

Confrontando le figure 7.3 e 7.4 si nota che le tensioni all'interno delle travi si sono limitate grazie all'aumento delle dimensioni delle sezioni. Comunque non è stato sufficiente perché tutte le travi sono ancora troppo sollecitate, in particolare le 5,7 e 9 oltrepassano il valore di snervamento.

### 7.2.3 - TEST 3

Nel test 3 si sono usate le seguenti sezioni:

- A. SEZIONE RETTANGOLARE CAVA 55x45 mm, spessore 2 mm :  
travi 5,6,7,8,9
- B. SEZIONE RETTANGOLARE CAVA 50x40 mm, spessore 2 mm :  
travi 1,2 e le due travi aggiunte tra le 9 e 6
- C. SEZIONE CIRCOLARE CAVA  $\phi_{est}=40$  mm, spessore 2 mm :  
trave 2

Nel test 3 si sono inserite due nuove travi che contribuiscono a limitare le tensioni nel complesso e sono state posizionate tra le travi 9 e 6.

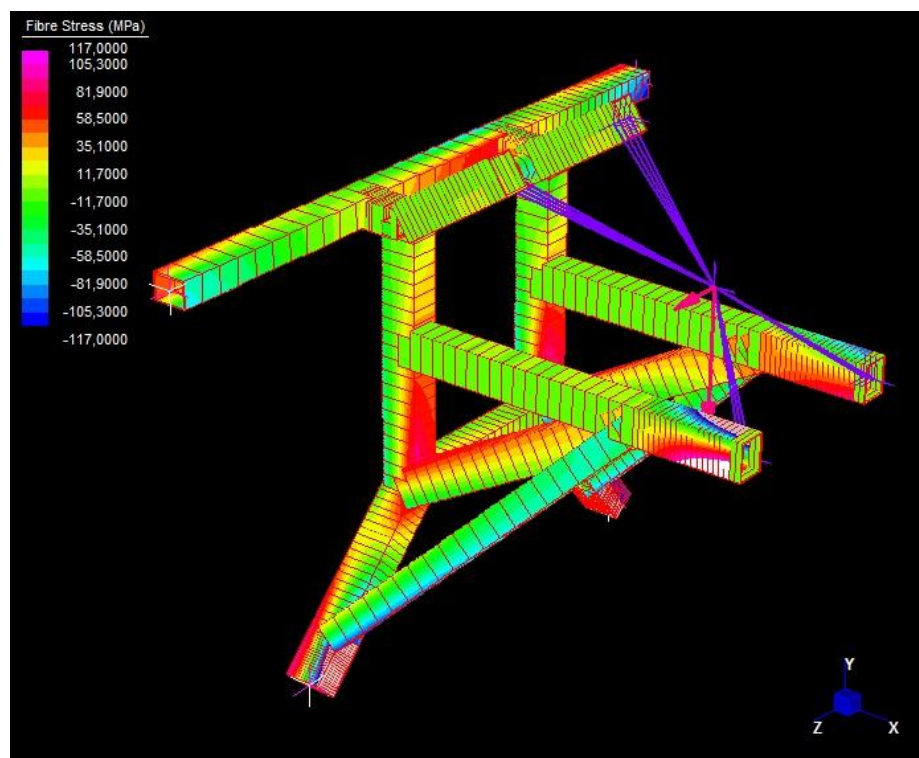


Fig. 7.5 – Test 3 del castello motore in Strus7.

Come si nota nella figura 7.5 si sono limitate le tensioni in tutti i punti del castello motore. Con questa configurazione le zone in cui le tensioni superano i valori di tensione massima imposta ( $\sigma_{\max} = 83 \text{ MPa}$ ) sono solo nelle estremità delle travi 6 e 9 e in piccola parte nelle 5. Si può comunque tenere in considerazione l'utilizzo di questa configurazione perché di norma accade che effettuando test con programmi di simulazione come strus7 si ottengono dei picchi di tensione sulle estremità delle travi.



# CAPITOLO 8 – CREAZIONE E POSIZIONAMENTO DEGLI ULTIMI PARTICOLARI

## 8.1 – POSIZIONAMENTO INTERCOOLER E RADIATORE

Le prese d'aria disponibili sul cofano che possono garantire un flusso d'aria sufficiente ai due scambiatori sono tre.

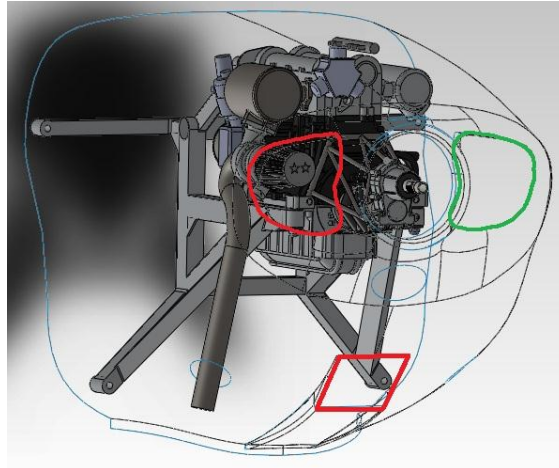


Fig. 8.1 – Immagine che evidenzia le tre prese d'aria utilizzabili per gli scambiatori.

Le prese d'aria disponibili sono le tre evidenziate in figura 8.1, ma l'unica che si può effettivamente utilizzare è quella in verde. Quelle in rosso non sono sfruttabili; quella superiore perché è troppo vicina al filtro, mentre quella inferiore perché non è abbastanza grande, inoltre i due scambiatori rimarrebbero in una posizione troppo distante dal motore obbligandoci a costruire dei condotti inutilmente lunghi.

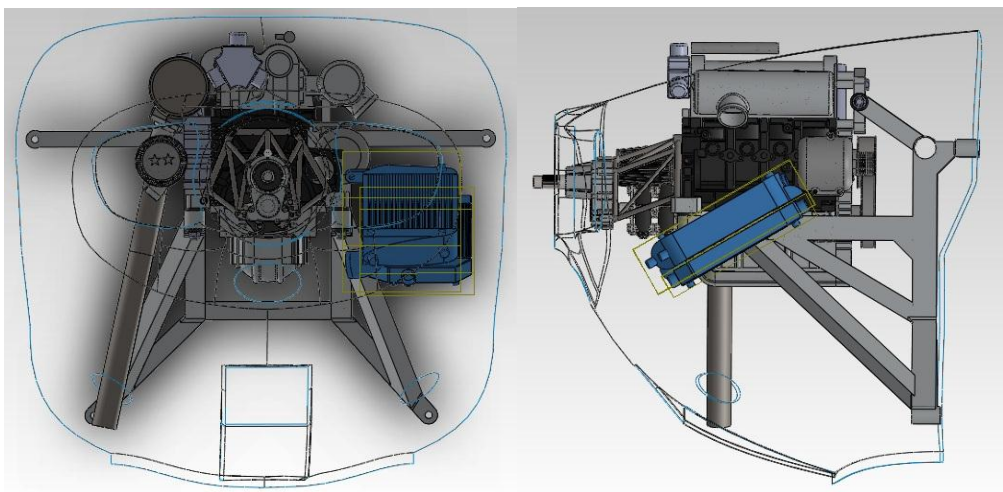


Fig. 8.2 – Posizionamento degli scambiatori.

Gli scambiatori sono stati posizionati il più frontalmente possibile alla presa d'aria anche se rimangono lievemente spostati verso sinistra a causa dell'ingombro del castello motore (situazione migliorata con l'adozione della seconda configurazione di quest'ultimo di cui si è parlato al capitolo 6.5.2). Sono disposti lungo un piano non orizzontale ma inclinato in modo tale da occupare meno spazio possibile; questa posizione è l'ideale per creare dei condotti ante e post intercooler molto corti. Inoltre, con questa inclinazione degli scambiatori, l'aria che transiterà nel convogliatore sarà in grado di generare una lieve portanza.

## 8.2 – CONDOTTI INTERCOOLER

Dopo aver posizionati gli scambiatori si sono creati i condotti dell'intercooler.

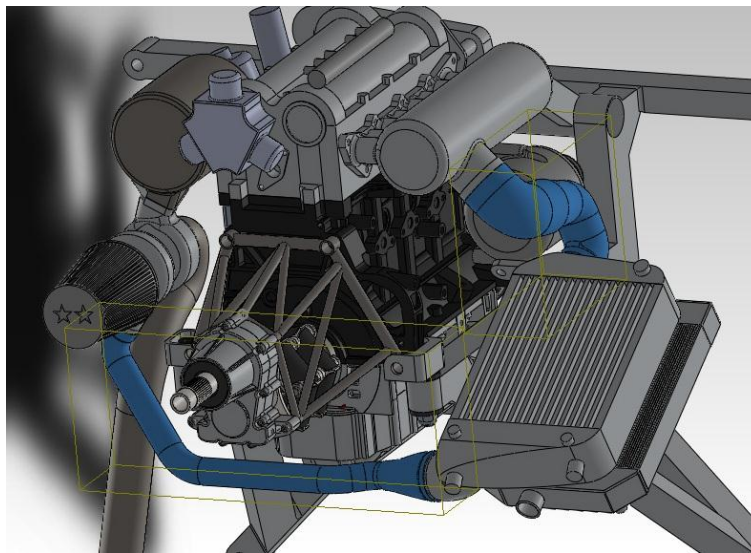


Fig. 8.3 – *Condotti dell'intercooler.*

Il compressore centrifugo comprime l'aria che il primo condotto porta all'intercooler. Poi, dopo essersi raffreddata, l'aria viene portata dal secondo condotto al collettore di aspirazione.



### 8.3 – CONVOGLIATORE ARIA

Per convogliare l'aria incidente sul cofano motore verso gli scambiatori si è creato un convogliatore apposito che possiede a monte la forma della presa d'aria del cofano e a valle riprende al meglio la superficie dell'intercooler e del radiatore.

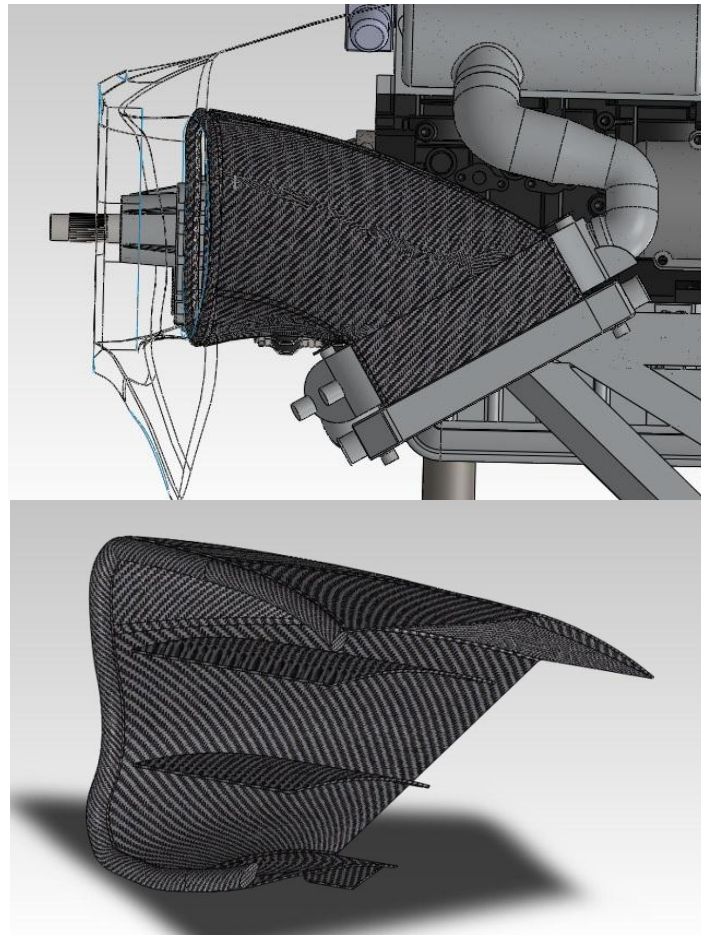


Fig. 8.4 – *Convogliatore d'aria per gli scambiatori.*

Nell'immagine in basso di figura 8.4 è stata riportata una vista con sezione che risalta la forma delle due appendici; esse permettono al flusso d'aria di entrare nell'intercooler con una direzione ortogonale alla sua superficie.

## CONCLUSIONI

In questa trattazione ci siamo posti l'obiettivo di adattare il motore Fiat 1.3 JTD multijet su velivolo Cessna 172, procedura che comprendeva il posizionamento del motore e dei suoi ausiliari principali all'interno del cofano motore e inoltre la creazione di un castello motore ottimale per questo impiego, tutto tenendo in considerazione di due aspetti basilari:

- il montaggio del nuovo motore deve risultare, per quanto possibile, di tipo Plug&play, cioè il numero maggiore possibile di componenti deve essere installato senza necessità di modifiche;
- mantenere dei costi di realizzazione del progetto relativamente bassi.

Per quanto riguarda gli accessori si è sempre cercato di utilizzare quelli originali Fiat, infatti mantenere i componenti originali avrebbe permesso da un lato, di evitare la riprogettazione degli stessi, e dall'altro di evitare dei costi inutili. Si può affermare che questo aspetto del progetto sia riuscito positivamente e senza particolari problemi.

La creazione del castello motore ha rappresentato la fase fondamentale del lavoro in cui si sono dovute affrontare diverse scelte quali il tipo di materiale, i tipi di sezione ed infine la geometria della struttura. Quest'ultima è quella che ha necessitato da parte nostra di un'attenzione maggiore in quanto sarebbe dovuta essere testata secondo le condizioni di funzionamento del velivolo.

Nel capitolo dei test sono state necessarie una serie di considerazioni iniziali in cui si sono valutati i posizionamenti dei carichi, la loro intensità, il loro collegamento alla struttura e le tensioni massime e minime che questa avrebbe potuto reggere assecondando un coefficiente di sicurezza pari a 1,5.

Rispetto al telaio che era stato creato come prima prova si sono dovute apportare delle modifiche alle travi. In seguito a qualche prova, però, si è ottenuta una struttura in grado di soddisfare tutti gli aspetti che ci eravamo imposti, che sono:

- costi di realizzazione relativamente bassi;
- resistenza;
- leggerezza;

- facilità di realizzazione;
- facilità di installazione di tutti i componenti su di essa.

Dunque si può ritenere soddisfacente il risultato di questa trattazione da cui si evince che il progetto è realizzabile.

Come proseguimento del progetto si potrà considerare, anche se non strettamente necessario, di migliorare in qualche punto la resistenza della struttura; inoltre si dovranno creare ed inserire nell'insieme tutti i componenti ausiliari mancanti.

I progetti di adattamento come quello in esame mi hanno affascinato da sempre per il semplice fatto che alla base della loro ideazione risiede un tentativo di miglioramento e innovazione dei componenti che lo costituiscono con tutti i possibili inciampi del caso. Per questo motivo spesso le idee di partenza vengono modificate o addirittura abbandonati gli interi progetti. Ma quale soddisfazione più grande per un ingegnere è quella di vedere la propria realizzazione che FUNZIONA?

## **BIBLIOGRAFIA**

- Niemann G. e Winter H. (1983), *Elementi di macchine. Vol. I-II*, Berlin, Springer-Verlag, Milano, Edizioni Scienza e Tecnica.
- Giovanozzi R. (1980), *Costruzione di macchine*, vol. I / II, Pàtron Editore, Bologna.
- Juvinall R.C. e Marshek K. M. (1993), *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, Edizioni ETS, Pisa.
- Funaioli E., Maggiore A. e Meneghetti U. (1987), *Lezioni di meccanica applicata alle macchine vol. I-II*, Pàtron editore, Bologna.

## SITOGRAFIA

- Foto radiatore 1.3 JTD-m, [http://www.ebay.it/itm/Radiatore-Fiat-Punto-1-3-Multijet-Dal-03-NUOVO-/260730895901#ht\\_1916wt\\_952](http://www.ebay.it/itm/Radiatore-Fiat-Punto-1-3-Multijet-Dal-03-NUOVO-/260730895901#ht_1916wt_952)
- storia cessna e dimensioni, <http://www.172guide.com/History.aspx>
- motore cessna Lycoming, [http://it.wikipedia.org/wiki/Lycoming\\_IO-360](http://it.wikipedia.org/wiki/Lycoming_IO-360)
  
- motore multijet, [http://www.newstreet.it/articolo\\_id\\_194.html](http://www.newstreet.it/articolo_id_194.html)
  
- foto intercooler,  
[http://www.bachecabakeca.com/18/annunci\\_gratis/8\\_Veicoli/96\\_Ricambi\\_e\\_Accessori/35065\\_Radiatore\\_intercooler\\_usato\\_alfa\\_156\\_1\\_9\\_2\\_4\\_jtd.html](http://www.bachecabakeca.com/18/annunci_gratis/8_Veicoli/96_Ricambi_e_Accessori/35065_Radiatore_intercooler_usato_alfa_156_1_9_2_4_jtd.html)
  
- straus7, <http://www.enginsoft.it/software/straus/index.html>
  
- tensione snervamento 5086 O,  
<http://www.maestrimetalli.it/catalogo/alluminio.pdf>

La data dell'ultimo accesso alle URL citate è: 15/03/2012

## **RINGRAZIAMENTI**

*Al termine di questa trattazione ringrazio il relatore ing. Luca Piancastelli per la sua continua disponibilità.*

*Ringrazio i miei genitori che mi hanno sempre sostenuto nel proseguimento degli studi.*

*Un saluto particolare alla mia ragazza Chiara e a tutta la sua famiglia.*

*Infine un grazie anche a tutti i miei amici.*