

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA

CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA

IN INGEGNERIA MECCANICA

**ELABORATO FINALE DI LAUREA in
DISEGNO TECNICO ASSISTITO DAL CALCOLATORE**

**STUDIO E OTTIMIZZAZIONE PER L'INSTALLAZIONE DEL 1300
JTD SU UN VELIVOLO STRATOSFERICO**

Candidato:

FABIO ANGELINI

Relatore:

Chiar.mo LUCA PIANCASTELLI

Anno Accademico 2011-2012

Indice

• Indice	1
• Capitolo 1 – Introduzione	4
- Obiettivo dello studio.....	4
- Considerazioni sulla progettazione aeronautica.....	5
- Il motore FIAT 1300 jtd.....	6
- L'aereo.....	10
- Il modello di partenza.....	15
- Cenni sul funzionamento del gruppo turbocompressore.....	17
- Il riduttore e il volano.....	20
• Capitolo 2 – Riduttore	23
- Descrizione generale e funzionamento.....	23
- Progetto ruote dentate e disegno al CAD.....	23
- Cuscinetti.....	25
- Tenute.....	26
- Descrizione dei carter e disegno al CAD.....	26
- Montaggio.....	27
• Capitolo 3 – L' elettronica	28
- Introduzione.....	28
- La centralina.....	28
- Disegni al CAD.....	30
• Capitolo 4 – Raffreddamento e lubrificazione	32
- Introduzione.....	32

- Il circuito di lubrificazione.....	34
- Il circuito di raffreddamento.....	37
- Il posizionamento del radiatore.....	42
• Capitolo 5 – L’impianto del gasolio.....	43
- Introduzione.....	43
- Circuito del gasolio in uso sul motore FIAT 1300 jtd.....	44
- La pompa di bassa pressione.....	47
- Il filtro del gasolio.....	49
- La pompa di alta pressione.....	49
- Il tubo collettore combustibile unico (Rail).....	53
- Gli elettroiniettori.....	54
• Capitolo 6 – Il castello motore.....	55
- Introduzione.....	55
- I materiali.....	57
- Gli attacchi motore.....	60
- Modellazione castello motore.....	65
- Nuova modellazione castello motore e disegno al CAD.....	67
• Capitolo 7- Lo scarico e protezioni.....	69
- Introduzione.....	69
- Materiale.....	70
- Disegno al CAD.....	70
- Lamierini di protezione.....	71
- Materiale.....	73
• Capitolo 8- Immagini finali e conclusione.....	73

- Immagini finali.....73
- Conclusione.....76

- Bibliografia.....77

Capitolo 1

Introduzione

- **Obiettivo dello studio**

Con questo elaborato ci si prefigge l'obiettivo di studiare le possibilità di installazione di un motore automobilistico a ciclo Diesel su un aereo ultraleggero. Per la precisione, il motore in questione è il FIAT 1300 jtd che, come detto, è un motore a ciclo Diesel sovralimentato mediante turbocompressore e che sfrutta un sistema di iniezione del gasolio di tipo Common Rail controllato elettronicamente. Il sistema è noto col nome di Multijet e ha la caratteristica di compiere più iniezioni per ciclo oltre alle due canoniche di un Common Rail (iniezione pilota seguita da iniezione effettiva) controllate e tarate di volta in volta dalla centralina del motore. Questo sistema ha permesso di raggiungere discreti livelli di potenza nell'uso automobilistico abbattendo i consumi. L'abbattimento dei consumi è uno dei tanti elementi che hanno portato alla decisione di tentare questa installazione, poiché meno carburante imbarcato implica meno peso.

L'aereo è un modello Enjoy, cioè un aereo ultraleggero biplano in grado di trasportare uno o due passeggeri.

In passato è già stato effettuato un lavoro simile a questo, ma con il motore FIAT 1900 jtd. Nel tempo, però, il motore FIAT 1300 jtd è stato raffinato e oggi è in grado di erogare potenze che sono di poco al di sotto di quelle che erogava il 1900 quando venne fatto lo studio precedente. Quindi, installando il 1300 si ha una riduzione della potenza, ma anche una notevole riduzione del peso, cosa che in aeronautica (soprattutto in quella leggera) è fondamentale.

Per svolgere il lavoro si è dovuto procedere su più strade contemporaneamente, in quanto le esigenze di un motore nella sua installazione sono tante e talmente interconnesse da non poter pretendere di affrontare tutte le problematiche una alla volta, ma è necessario studiarle e risolverle in modo integrato.

Il lavoro è cominciato con la presa visione di materiale raccolto in elaborati precedenti a questo, dove si sono trovati disegni tridimensionali dei principali componenti del motore (basamento, testata, sottobasamento, albero a gomiti, coppa olio, carter olio). Successivamente si è cercato tutto il materiale possibile per comprendere il funzionamento degli impianti necessari all'esercizio del motore (circuito dell'acqua, circuito dell'aria, circuito dell'olio e circuito del gasolio) e gli elementi necessari alla loro realizzazione. Per fare questo si è cercato presso più officine (in particolare l'officina Dekra autorizzata FIAT di via di Corticella e il centro ufficiale ricambi Alfa Romeo di Bologna) il materiale e, di tutto ciò che è stato possibile reperire, si sono fatti i rilievi. Per i pezzi che non si sono reperiti in questo modo ci si è affidati a immagini, disegni e fotografie disponibili su manuali FIAT o riviste specializzate nel settore auto.

Il tutto è stato modellato al CAD per studiare gli ingombri e infine è stato modellato il castello motore necessario per collegare il motore all'aereo e sostenere tutti gli elementi necessari al suo funzionamento.

Solo al termine è stato realizzato un modello agli elementi finiti del castello motore per studiare la resistenza alle sollecitazioni e, poiché la struttura in alcuni punti non è risultata verificata, si è studiata una prima soluzione per rinforzarla dove necessario. Il tutto è stato fatto tenendo sempre conto della necessità di abbattere il peso nonché di utilizzare strutture il più possibile semplici e compatte, in modo da renderle più sicure e meno costose.

Per realizzare questo elaborato si è fatto un uso massiccio di software, in particolare:

“Solid Edge v17” e “Solid Works 2011 x64 Edition” per la realizzazione dei modelli tridimensionali; “Wolfram Mathematica 7” e “Matlab 7.0” per svolgere i calcoli; “Straus 7” e la funzione “Solid Works Simulation” di Solid Works per le verifiche agli elementi finiti.

- **Considerazioni generali sulla progettazione aeronautica**

In ambito aeronautico la progettazione segue parametri profondamente diversi rispetto a quella automobilistica; infatti sono previste normative aeronautiche specifiche che si discostano completamente da quelle utilizzate per le autovetture.

Se si procede in ordine di importanza, il fattore che si deve tenere in maggiore considerazione è il peso, perché quest'ultimo influisce in termini di prestazioni dell'intero velivolo, sia in termini di potenza che di carico.

Per ragioni di sicurezza requisito indispensabile è l'affidabilità dei componenti, e di conseguenza la loro durata, definita come tempo di vita durante il quale viene assicurata l'affidabilità specificata.

In definitiva possiamo dire che il peso proprio del particolare meccanico deve essere ridotto al minimo senza comprometterne la funzione e la sicurezza di funzionamento; tutto questo, ovviamente, senza trascurare l'aspetto economico.

Le costruzioni leggere infatti sono solitamente molto più costose per quanto riguarda la progettazione, la fabbricazione e le prove di collaudo.

Nonostante ciò possono essere economicamente vantaggiose se, grazie alla riduzione di peso, si riescono a realizzare ulteriori risparmi o miglioramenti di carattere funzionale.

A tale scopo si può:

- modificare l'impostazione del problema, attraverso una riduzione ed una limitazione delle forze esterne ed interne, ed adottando misure che consentono coefficienti di sicurezza minori;
- utilizzare materiali di minore massa volumica e di maggiore resistenza o a bassa deformazione;
- progettare sezioni sollecitate correttamente grazie ad un flusso ottimale degli sforzi.

Bisogna altresì considerare in fase di progetto la predisposizione dei componenti in modo che siano facilmente accessibili, questo perché in ambito aeronautico essi sono soggetti a controlli frequenti con annesse revisioni e regolazioni.

- **Il motore FIAT 1300 jtd**

Il propulsore in esame è di derivazione FIAT e la sua denominazione commerciale è 1.3 JTD multijet (JTD-m); la sigla JTD-m sta per "MultiJet Turbo Diesel" e indica l'utilizzo del

sistema di iniezione common rail, unito alla particolare tecnologia di iniettare il gasolio più volte per ogni ciclo, sviluppato dal gruppo Fiat-General motors Powertrain.

La cilindrata è pari a 1248 cm³ frazionata in 4 cilindri in linea con un alesaggio di 69,6 mm e una corsa di 82 mm. Le valvole sono quattro per cilindro e sono azionate direttamente da un doppio albero a camme in testa. Il rapporto di compressione è di 18:1, la potenza massima è di 70 CV e la coppia erogata di 170 Nm.

Le dimensioni sono abbastanza ridotte, rispettivamente 460 mm di lunghezza, 500 mm di larghezza e 650 mm di altezza.

Il basamento è in ghisa con sottobasamento in alluminio, testa in alluminio e albero motore e bielle in acciaio.

Altre due caratteristiche molto interessanti del motore 1.3 multijet "automobilistico" sono i consumi estremamente ridotti, solo 3,3 l per 100 km, e la catena di distribuzione che annulla letteralmente la manutenzione straordinaria fino 250000 km.

Dimensioni e peso contenuti, spazi d'ingombro e consumo di carburante limitati, potenza di tutto rispetto e grande affidabilità meccanica fanno sì che questo motore sia particolarmente adatto ad essere montato su velivoli ultraleggeri.

Scheda tecnica:

Numero cilindri: 4 in linea.

Cilindrata: 1248 cm³.

Alesaggio x Corsa: 69,6 x 82 mm.

Distribuzione: doppio albero a camme in testa con bilancieri a dito e comando a catena.

Valvole: 4 per cilindro (2 + 2).

Basamento: in ghisa con sottobasamento in alluminio.

Sistema di iniezione: "Common Rail" a 1400 bar, con controllo elettronico dell'iniezione (Multijet).

Turbocompressore a geometria fissa.

Potenza massima: 70 CV a 4000 rpm.

Coppia massima 170 Nm a 2000 rpm.

Dimensioni (lunghezza x larghezza x altezza): 460 x 500 x 650 mm.

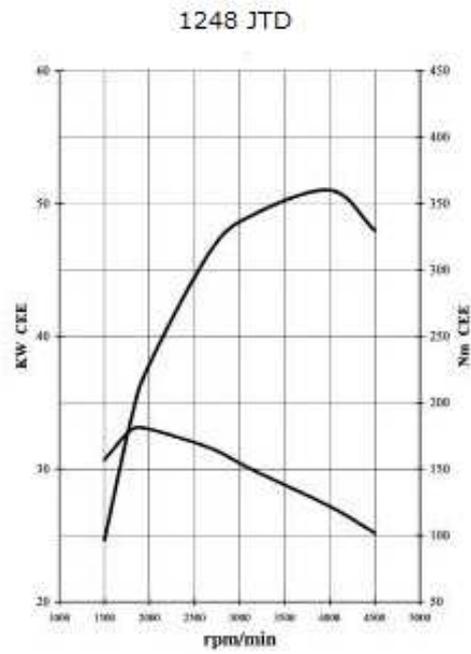


Figura 1 curve caratteristiche del motore FIAT 1300 jtd

Di seguito è riportata un'immagine che è stata molto utile per capire la disposizione degli elementi e i loro ingombri.



Figura 2 immagine del motore 1300 jtd

In figura 2 sono riportati anche elementi che nell'uso aeronautico vengono rimossi, quali il catalizzatore (in quanto il controllo delle emissioni inquinanti non è una priorità), la pompa del climatizzatore che è azionata dalla cinghia dei servizi (perciò sarà necessario montare la cinghia dei servizi del modello senza climatizzatore) e l'EGR, cioè l'impianto di ricircolo dei gas di scarico. Successivamente si vedrà che altre modifiche sono necessarie sul motore. Alcune già sono state studiate, altre sono state realizzate *ex novo*.

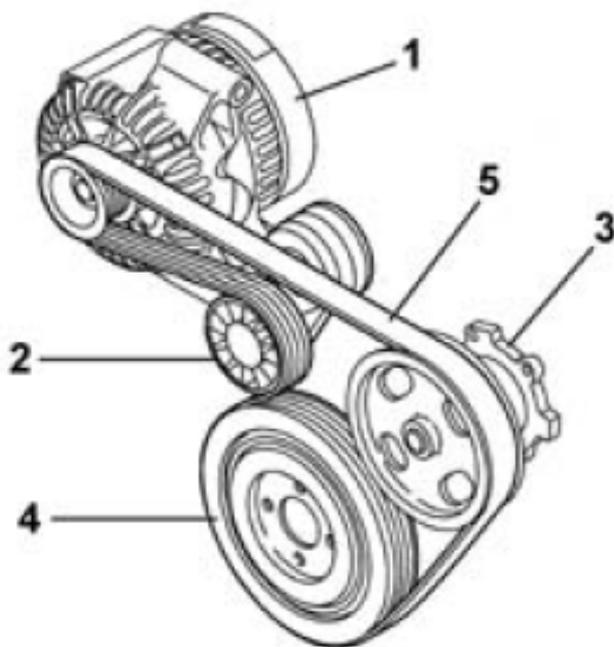


Figura 3 montaggio della cinghia dei servizi

In figura 3 è riportato lo schema del montaggio della cinghia dei servizi della versione senza climatizzatore: la cinghia unica comando organi motore (5), di tipo Poly-V, comanda l'alternatore (1) e la pompa acqua (3).

Il tensionamento è effettuato tramite tenditore automatico (2) che esclude operazioni di manutenzione programmata.

La puleggia dell'albero motore (4) ha integrato un settore elastico che riduce le vibrazioni torsionali dell'albero motore e le sollecitazioni sulla cinghia e quindi sugli organi ausiliari del motore.

- **L'aereo**

L'aereo su cui si intende installare il motore è un ultraleggero biposto a doppia ala denominato Enjoy.



Figura 4 l'aereo Enjoy

La struttura di Enjoy è completamente metallica, costituita da un traliccio di tubi in acciaio (AISI 4130 N) saldati al TIG tra loro. Le gambe di forza del carrello principale, nonché il castello motore, sono realizzate al cromo molibdeno, mentre il balestrino del carrello posteriore è realizzato in alluminio AC100.

La cellula è stata realizzata dopo approfonditi studi sulle caratteristiche dei materiali da impiegare e simulando al computer forze e sforzi che agiscono normalmente sulla struttura durante gli inviluppi di volo a elevato numero di "G". Le risultanze di questi studi consentono di porre i limiti strutturali di Enjoy a + 4 e - 2 G in condizioni MTOW, cioè con due persone a bordo e peso stimato del velivolo in 450 Kg.

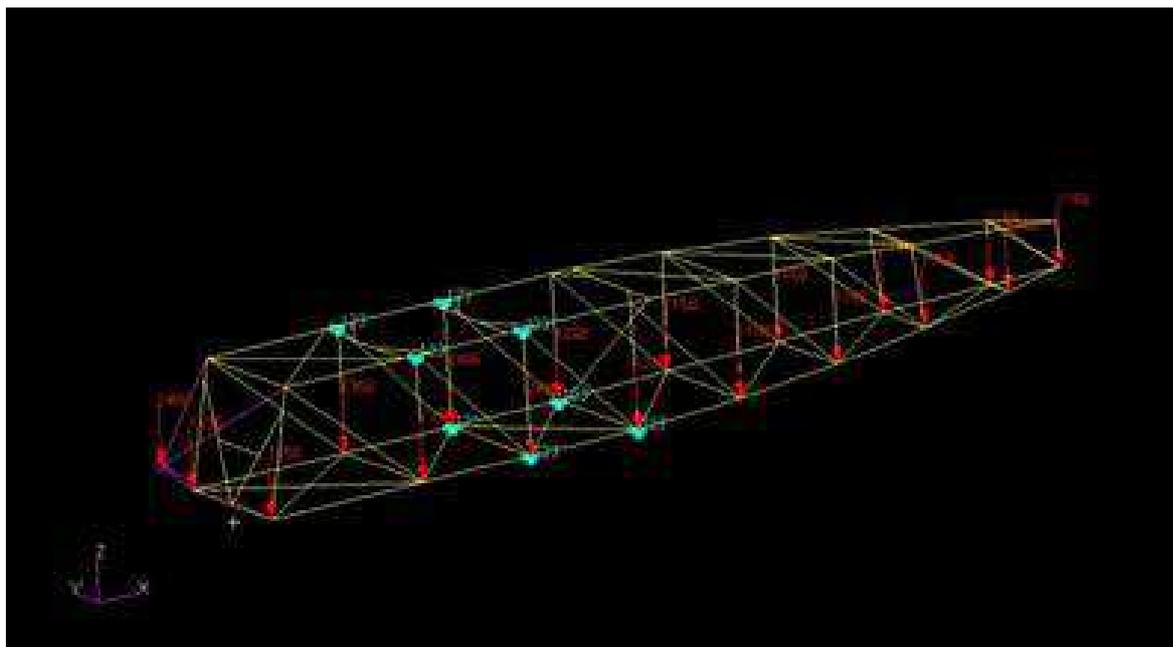


Figura 5 cellula dell'Enjoy sottoposta a caricamento di 4G in condizioni MTOW

L'intera struttura di Enjoy è rivestita in termoretraibile di tipo Dacron, fatto salvo per l'intera parte dorsale, da cofano motore a piano di coda verticale, rivestita in compositi così come carenature ruote, cofani motore e tip alari.

Il carrello è di tipo tradizionale, ovvero biciclo con ruotino pivottante di coda. Le ruote principali sono da 6" pneumatiche mentre il ruotino posteriore è pneumatico da 3". L'impianto frenante è di tipo sdoppiato anche per il passeggero.

La struttura alare, anch' essa completamente metallica, è costituita da 4 longheroni e da 44 centine sagomate; metallici sono anche i profili di bordo di ingresso e di uscita.

Il motore che viene fornito con l'aereo (che ovviamente verrà rimosso) è il classico Rotax 912 ULS da 100 Hp, accoppiato ad un'elica p.v.t. ad elevate prestazioni caratterizzata da una corda, in prossimità della radice, di notevoli dimensioni. L'impianto carburante, seppur ancora sprovvisto di Kit per il volo rovescio, è stato concepito per l'utilizzo sportivo del mezzo e quindi può sopportare tutte le manovre e gli assetti positivi. I serbatoi strutturali sono posti nell'ala superiore e confluiscono per gravità. Ovviamente l'impianto del gasolio che verrà montato sull'aereo, sfrutterà lo stesso serbatoio che attualmente viene usato per il carburante del Rotax.

Performance dell'aereo:

	Solo pilota	Condizioni MTOW
Corsa al decollo	100 m	150 m
Corsa all'atterraggio	90 m	100 m
Velocità di crociera	145 km/h	140 km/h
Velocità di manovra	150 km/h	150 km/h
Rateo salita	6 m/s	4 m/s
Stallo	60 Km/h	65 km/h

Dati tecnici:

Apertura alare: 6,5 m.

Lunghezza: 5,8 m.

Peso a vuoto: 273 kg.

Peso in condizioni MTOW: 450 kg.

Fattore di carico a MTOW: 4G.

Capacità serbatoio: 70 litri circa.

Il castello motore attualmente montato sull'Enjoy verrà completamente rimosso, in quanto non riutilizzabile per l'installazione del FIAT. Ovviamente gli attacchi del castello motore al telaio rimangono invariati; è stata fatta una ricostruzione al CAD della paratia parafiamma dell'aereo per avere dei riferimenti sulla posizione delle viti prigioniere necessarie per il fissaggio nonché per riprodurre la sagoma del parafiamma stesso (inclinato all'indietro di circa 10°) che segue la geometria della carena dell'aereo. Quest'ultimo punto è molto importante in quanto ne motore ne nessun altro componente dovrà sporgere dalla proiezione frontale della sagoma. Si vedrà successivamente che questo vincolo geometrico

non può essere rispettato in pieno e si dovrà tollerare che il motore sporga (anche se solo di qualche centimetro) verso l'alto dalla sagoma del parafiamma.

Nella foto di figura 6 è visibile lo smorzatore (o “Damper” o “Silent Block”), composto da due anelli di gomma che vengono serrati su una apposita superficie nel castello motore in modo da stringerla e fungere da attacco del castello motore alla vite prigioniera. Tali smorzatori sono importanti perché assorbono (anche se non completamente) le vibrazioni del motore e impediscono che si trasmettano al telaio. Nel castello motore che verrà sviluppato per l'installazione del FIAT gli smorzatori non verranno montati nella posizione in cui si trovano ora, ma verranno interposti tra il motore e il castello, in modo che anch'esso sia “protetto” dalle vibrazioni del motore.



Figura 6 foto della paratia parafiamma dell'Enjoy e dello schema di fissaggio del castello motore

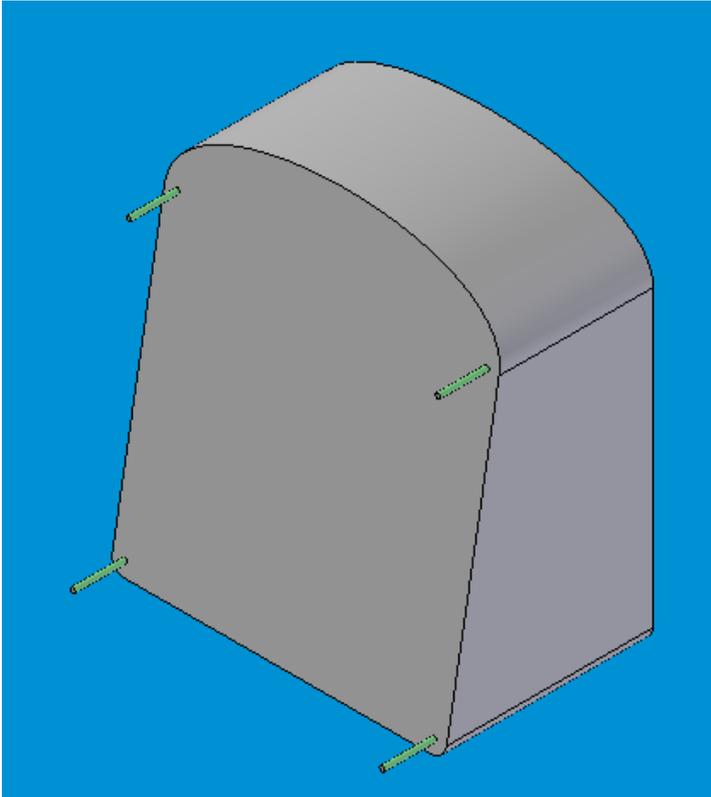


Figura 7 ricostruzione al CAD del parafiamma dell'Enjoy

- **Il modello di partenza**

Il modello di partenza del motore che si è usato per questo studio è il risultato di uno studio precedente intitolato “Elaborazione alimentazione di un motore M-Jtd 1300”. Scopo ultimo di quell’elaborato era aumentare la pressione di sovralimentazione del motore sostituendo il turbocompressore e successivamente realizzare i condotti di aspirazione e scarico necessari per il montaggio del nuovo turbocompressore.

Il gruppo turbocompressore scelto è stato il “Turbocompressore 200 cv geometria variabile montato su BMW 530d” avente diametri di ingresso/uscita del compressore di 74 mm e 51 mm, e diametri di ingresso/uscita della turbina di 41 mm e 54 mm. Tale gruppo ha una massa di 7.3 kg ed è in grado di portare la pressione di aspirazione da 1 a 3,18 bar. Di seguito si considererà una pressione di sovralimentazione di 2,2 bar.



Figura 8: gruppo turbocompressore BMW vista ingresso turbina.



Figura 9: gruppo turbocompressore BMW; vista ingresso aspirazione e uscita compressore.

Si stima che la potenza del motore sovralimentato in questo modo possa salire a 110 kW (150 CV). Questo valore di potenza è sicuramente sufficiente a far volare l'aereo. Considerando questo fattore, unitamente al fatto che il 1300 jtd pesa meno del 1900 jtd, è più affidabile del motore Rotax e costa molto meno, si giustifica ampiamente la scelta di tentarne l'installazione rispetto ad altri motori. Le immagini mostrano la turbina e il compressore con i condotti di aspirazione e scarico ma cerchiamo di capire meglio il funzionamento del cosiddetto turbocompressore.

- **Come nasce**

Il turbocompressore è nato nel lontano 1905 ad opera di uno svizzero, Albert Buchi; esso venne utilizzato quasi esclusivamente sui motori diesel o aeronautici fino ad una ventina di anni fa. Gli americani furono i primi ad utilizzarlo su di una autovettura a benzina di normale produzione commerciale, la Corvair, mentre i primi tentativi europei furono fatti dalla Porsche e dalla BMW. Solo la Renault però, sfruttando la fama acquisita come primo motore in F1 a montare il turbo, venne ripagata da un largo successo commerciale; sulla scia seguirono molte altre case costruttrici, utilizzandolo anche su piccole utilitarie.

- **Com'è fatto**

Il suo aspetto è standardizzato per cui, chiunque sia il produttore, la forma è sempre la medesima ed identici i principi di funzionamento, l'unica parte in cui si hanno delle differenze di costruzione e di azionamento è la valvola Wastegate.

Analizzato nelle sue varie parti il turbocompressore è composto da:

- a) una prima ventola mossa dai gas di scarico racchiusa in un corpo, detto chiocciola, normalmente in ghisa ed avente la forma di una spirale (la turbina);
- b) un corpo centrale destinato a supportare i cuscinetti e la lubrificazione dell'asse che unisce le due ventole;
- c) una seconda ventola destinata ad aspirare e a comprimere l'aria racchiusa in un corpo di alluminio con la forma sempre a spirale detta girante del compressore; è questa la più importante delle due perché il diametro, l'inclinazione e l'altezza delle pale e il

regime di rotazione messi in rapporto tra di loro danno il campo operativo entro il quale dovrà svolgere la propria funzione l'intera turbina, nonché il suo rendimento.

- **Come funziona**

Per comprendere il funzionamento soffermiamoci sulla figura seguente.

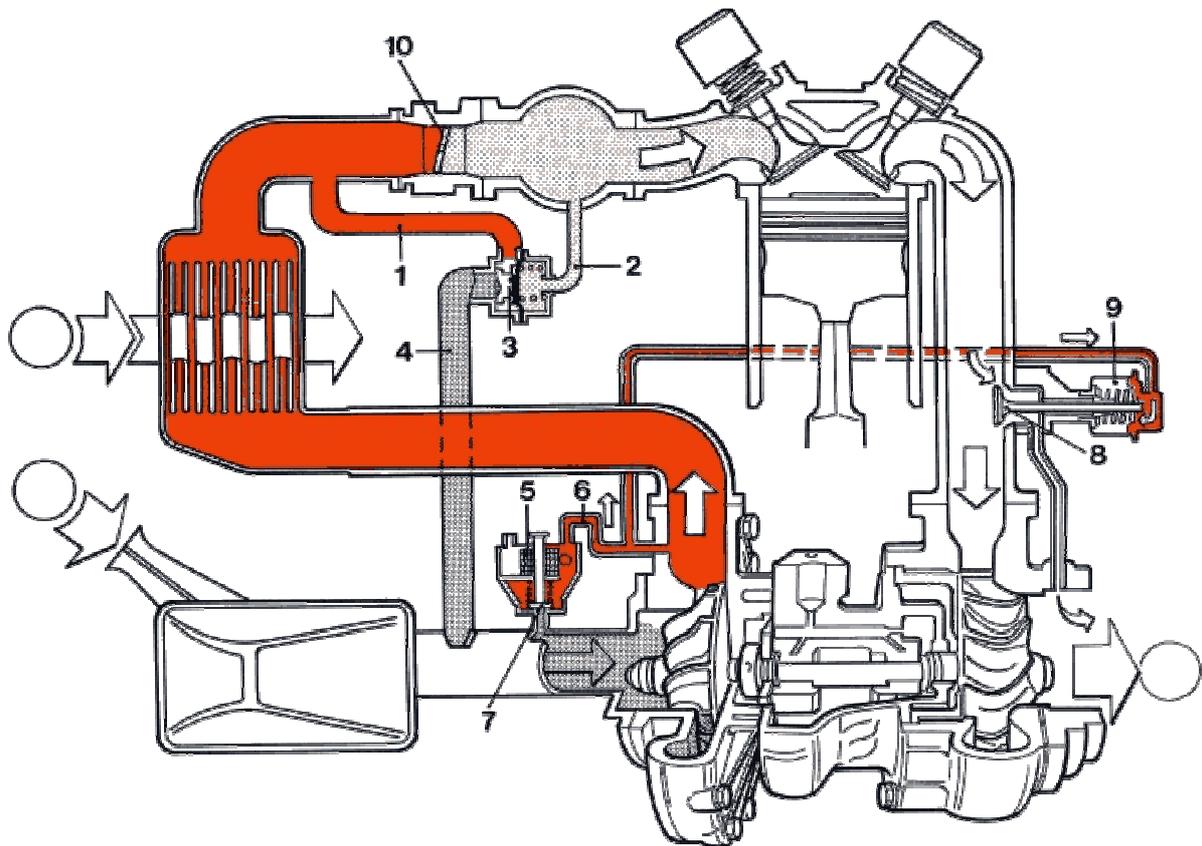


Figura 10: schema di funzionamento gruppo turbocompressore.

- **WasteGate**

Nel funzionamento normale del turbocompressore la regolazione della pressione massima di alimentazione è effettuata tramite l'apertura della valvola wastegate (8). Infatti nel diaframma dell'attuatore (9) è sempre applicata la pressione di sovralimentazione cioè quella esistente a monte del compressore. Questa pressione crea una spinta sul diaframma; quando questa spinta supera quella antagonista della molla di reazione, la valvola wastegate (8) si apre ed una parte dei gas di scarico viene deviata dalla turbina, privando quest'ultima della propria forza.

- **Overboost**

Quando l'avvolgimento (5) viene magnetizzato dalla centralina comando iniezione-accensione, la valvola (7) mette in collegamento la pressione di sovralimentazione del condotto (6) al condotto aspirazione ossia a valle del compressore scaricando la pressione esistente sul diaframma dell'attuatore wastegate (8), per cui una quantità maggiore di gas di scarico va ad alimentare la turbina aumentando la sua velocità e quindi anche quella del compressore, visto che turbina e compressore sono calettati sul medesimo albero, facendo così aumentare il valore della pressione di sovralimentazione.

- **Valvola meccanica**

Questa valvola ha lo scopo di ridurre e annullare il cosiddetto "colpo d'ariete" che si verificherebbe rilasciando bruscamente il pedale dell'acceleratore, con il motore in funzionamento sovralimentato. Quando si chiude la valvola a farfalla (10), la depressione trasmessa dal condotto (2) collegato al collettore di aspirazione, apre la valvola (3); questa apertura consente alla pressione a valle della farfalla (chiusa), di scaricarsi a valle del compressore ed annullare le onde di pressione che causano la rumorosità di funzionamento (colpo d'ariete).

- **Intercooler**

Il componente "attraversato" dalla freccia ondulata viene denominato intercooler. Costui svolge la funzione di raffreddare l'aria di alimentazione del motore perché più aumenta la temperatura dell'aria più essa si espande; infatti a livello microscopico il moto degli atomi si fa via via sempre più veloce con conseguente richiesta di maggior spazio per muoversi. Questa richiesta di spazio si traduce in una minore densità dell'aria e quindi a parità di pressione pompiamo meno aria nel motore, il rendimento dello stesso cala ed aumenta immediatamente quello che è il maggior pericolo di un motore turbo: l'autoaccensione.

Per svolgere bene il suo compito l'intercooler ha bisogno di un grande flusso che lo attraversi e pertanto sia davanti che dietro nulla deve impedire il libero fluire dell'aria ed è anche chiaro che maggiori saranno le dimensioni della superficie dissipante maggiore sarà la potenza a parità di pressione. Per sottolineare l'importanza della densità dell'aria aspirata basti pensare a quando si va in montagna: salendo d'altitudine la densità dell'aria diminuisce e solitamente viene indicata (per i motori turbo) una perdita di potenza dell' 1.5% ogni 100 metri di altitudine e quindi a 1000 metri la perdita di potenza ammonta già al 15%!

Si riporta di seguito l'immagine (figura 11) al CAD del modello di partenza del motore con montati turbocompressore, condotti di scarico e aspirazione.

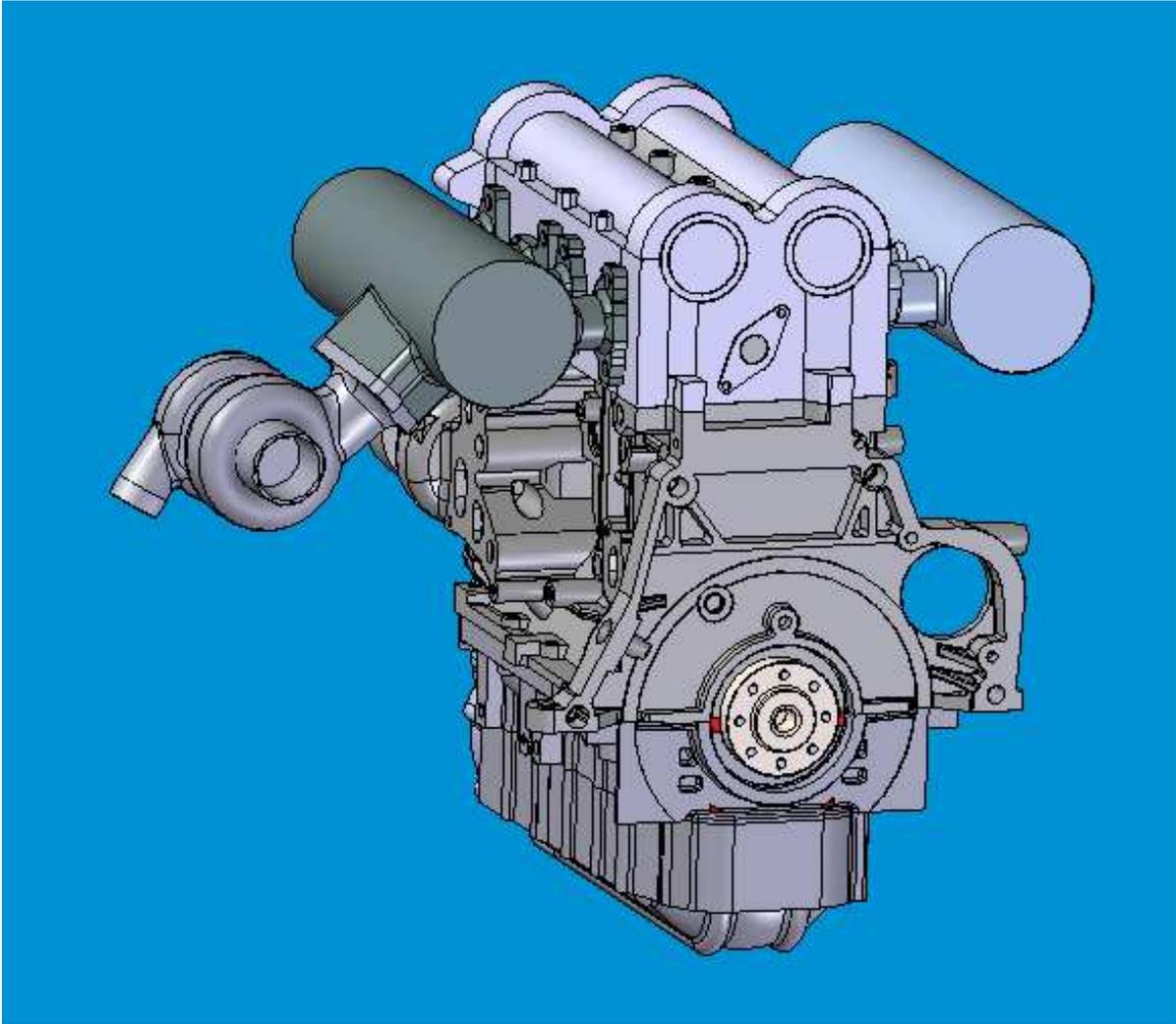


Figura 11: modello di partenza del motore.

- **Il riduttore e il volano**

Un altro elemento da tenere in considerazione è la presenza di un riduttore in uscita dall'albero motore, che lo colleghi all'elica. Anche questo elemento, come i collettori di aspirazione e scarico, è frutto di uno studio precedente.

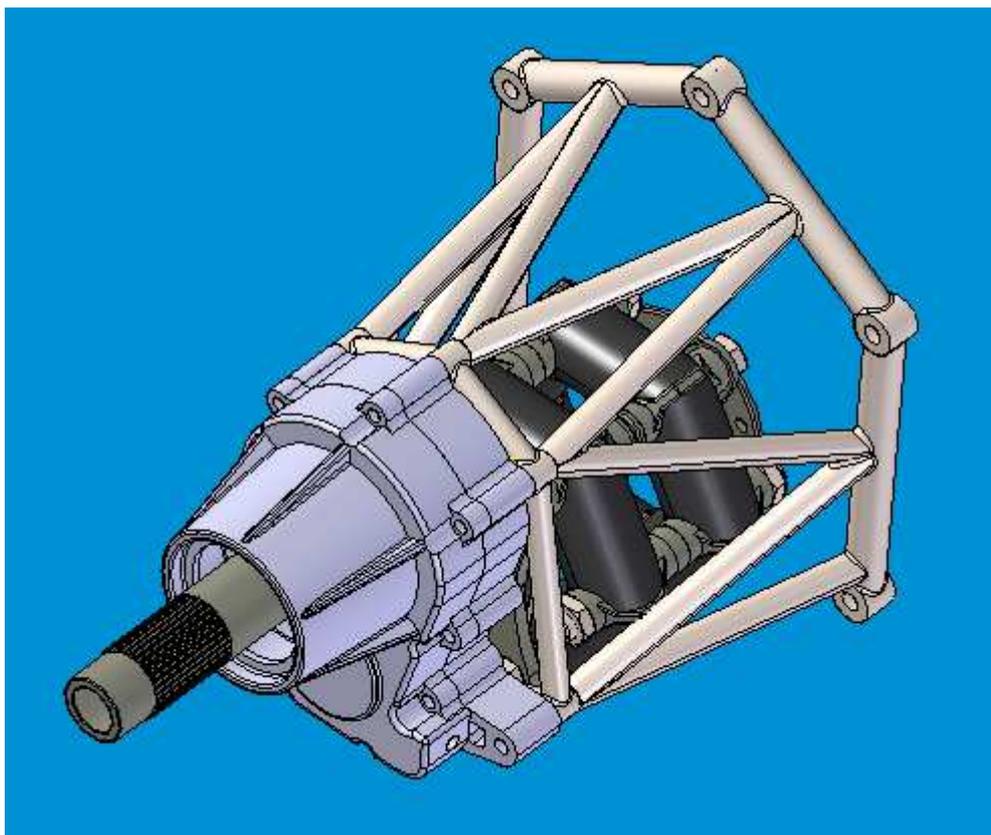


Figura 12: riduttore.

In figura 12 è riportato il disegno dell'assemblaggio del riduttore. In figura è visibile il doppio giunto elastico che fa funzione di parastrappi per evitare la trasmissione di sollecitazioni improvvise.

Il riduttore è stato pensato per essere montato in punta all'aereo, in modo da poterlo aprire facilmente senza dover smontare nulla (eccezion fatta per elica e carena) e quindi modificare in poco tempo il rapporto di trasmissione tra motore ed elica semplicemente sostituendo le ruote dentate all'interno.

Poiché il motore può arrivare a ruotare a velocità prossime ai 6000 rpm è necessario il riduttore per portare l'elica a velocità nell'ordine dei 2500 rpm, velocità di rotazione a cui mediamente un'elica deve girare.

Il telaio che sorregge il riduttore invece verrà sostituito in quanto era stato studiato sempre per un 1300 jtd ma con attacchi differenti da quelli che verranno usati in questo

studio. Il telaietto che verrà montato verrà agganciato agli attacchi che nell'uso automobilistico vengono destinati al fissaggio della trasmissione.

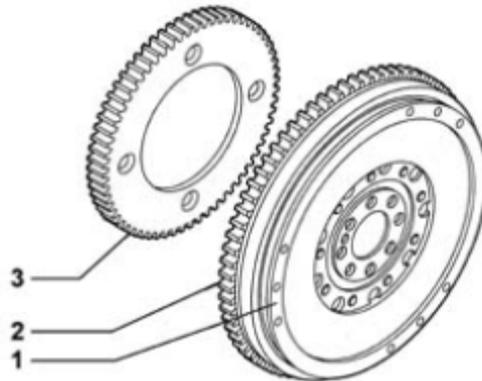


Figura 13: volano

In figura 13 è rappresentato il volano del motore (1), il quale è realizzato in ghisa con corona dentata in acciaio riportata (2). È fissato tramite una flangia con bulloni all'albero motore. Verso il lato motore è fissata una ruota fonica per il sensore di giri (3).

Il volano è l'organo che rende uniforme la rotazione del motore, accumulando energia durante le fasi attive e restituendola durante le fasi passive. Esso viene dimensionato per consentire al motore di girare al minimo senza arrestarsi e vincere il lavoro di attrito da questo sviluppato durante il funzionamento a vuoto.

Si è fatto questo inciso sul volano perché ad esso viene attaccato, mediante flangia, e prende moto il giunto elastico che poi muove il riduttore. Inoltre il montaggio del volano è necessario per valutarne gli ingombri e modellare di conseguenza gli organi che gli sono vicini.

CAPITOLO 2

RIDUTTORE

- **Descrizione generale e funzionamento**

Il riduttore sviluppato è un normale rotismo ordinario ad uno stadio di riduzione.

Si definisce rotismo un meccanismo nel quale la trasmissione del moto avviene per mezzo di ruote dentate, esso può essere ordinario, se gli assi di rotazione delle ruote dentate sono fissi, o epicicloidale, se gli assi sono mobili. In particolare nel nostro caso abbiamo gli assi che, oltre ad essere fissi, sono anche paralleli.

Le specifiche di questo rotismo lo rendono idoneo come scelta, dove è importante tenere conto della velocità di rotazione, della grossa potenza trasmessa e dell'elevato rendimento.

Il termine riduttore identifica il rotismo come strumento di riduzione della velocità angolare dell'albero in uscita rispetto alla velocità angolare dell'albero in entrata.

- **Progetto ruote dentate e disegno al CAD**

Requisito fondamentale da cui si è partiti è il rapporto di trasmissione. Esso viene definito come il rapporto fra i giri al minuto del cedente e quelli del movente. Solitamente si identifica con la lettera greca τ .

$$\tau = \frac{n_{cedente}}{n_{movente}}$$

I giri al minuto dell'albero movente si possono ricavare dalla velocità di rotazione del motore Fiat sul quale andrà montato il riduttore, che è di 6000 giri/min. Mentre per l'albero cedente è di 2400 giri/min.

Di conseguenza il rapporto di trasmissione del riduttore è pari a 2.5.

Dato di progetto per verificare che i componenti non siano soggetti a rotture è la potenza trasmessa, la quale è sempre ricavabile dal motore utilizzato e cioè 150 Cv che corrispondono a 110 kW.

Si sono scelte le ruote a denti elicoidali, in modo di diminuire lo sviluppo verticale del riduttore, il suo spessore, e di contenerne il più possibile il peso. Ma soprattutto perché questi tipi di ruote ingranano e si trasmettono le forze in maniera graduale, cosa che si traduce in una minore probabilità di rottura ed usura del dente.

Per la progettazione delle due ruote dentate si è utilizzato un Handbook per il software Solidedge denominato “Spur Gearing Component Wizard”, che ha permesso di effettuare il dimensionamento e la verifica a fatica secondo la ISO 6336: 1996, e di disegnare al CAD i due ingranaggi:

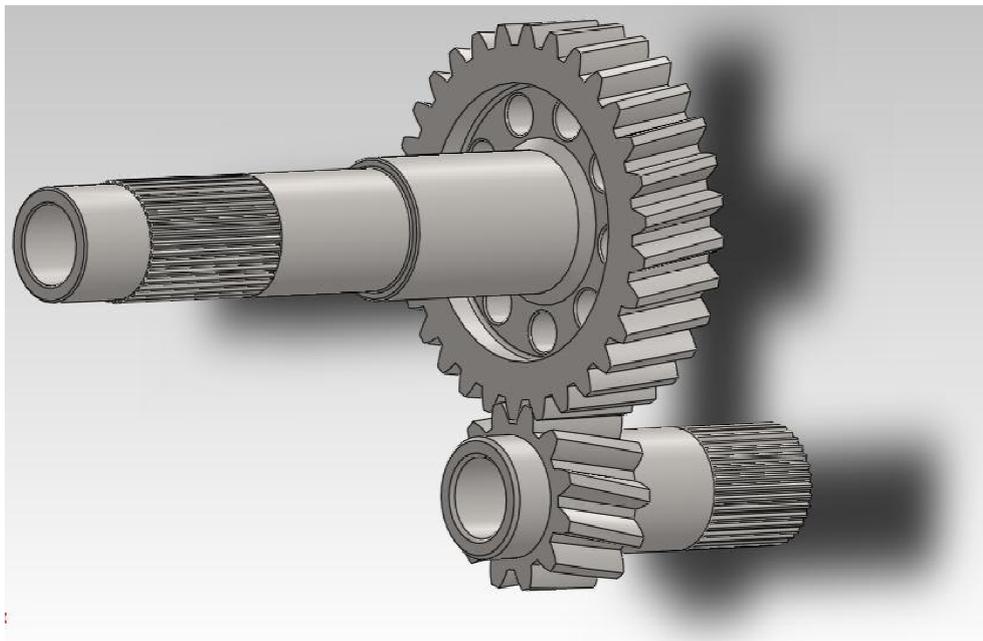


Figura 14: ruote dentate calettate nei rispettivi alberi.

I risultati ottenuti sono:

Angolo di pressione:

Angolo d'elica:

Interasse:

Rendimento riduttore:

Forza tangenziale:

Forza radiale:

Forza assiale:

Forza normale:

Velocità tangenziale: $v = 11.4842 \text{ m/s}$

Durata: 2000 ore

Per l'ingranaggio 1 (movente):

Numero denti: $z_1 = 12$

Potenza trasmessa: $P_1 = 110 \text{ kW}$

Momento torcente: $M_{t1} = 175.0704 \text{ Nm}$

Per l'ingranaggio 2 (cedente):

Numero denti: $z_2 = 30$

Potenza trasmessa: $P_2 = 106,7 \text{ kW}$

Momento torcente: $M_{t2} = 424.5458 \text{ Nm}$

Il materiale utilizzato è 14NiCr18 (nomenclatura DIN 1.5860). Esso possiede le seguenti proprietà:

Carico di rottura: $R_p = 1130 \text{ MPa}$

Carico di snervamento: $R_m = 785 \text{ MPa}$

Modulo elastico: $E = 206000 \text{ Mpa}$

I due alberi su cui sono poste le ruote dentate, come si può vedere dalla figura 2.2.1, sono dotati di profili scanalati per il montaggio rispettivamente dell'albero cedente con l'elica, e quello movente con il giunto.

DESCRIZIONE ALTRI COMPONENTI

- **Cuscinetti**

L'albero primario è sostenuto da due cuscinetti radiali a sfere prodotti dalla SKF, denominati 61906 – RS1, mentre per l'albero elica il montaggio sui carter viene eseguito attraverso due cuscinetti obliqui a sfere. Questa scelta è dettata dal fatto che, essendo presenti due ruote dentate a dentatura obliqua, si generano spinte assiali che un cuscinetto radiale non riuscirebbe a reggere. Tramite il catalogo SKF, si è deciso di utilizzare un cuscinetto

denominato 7206 BE.

- **Tenute**

Sul carter lato motore, all'uscita dell'albero primario, è montato una tenuta denominata CR 30X47X6 HM S5 V. Mentre per la tenuta lato elica, all'uscita dell'albero secondario, si è scelto la CR 30X62X7 HMS5 V.

- **Descrizione dei carter e disegno al CAD**

I due carter, lato motore e lato elica, sono stati realizzati attraverso una lega di alluminio per renderli il più leggeri possibile. Più precisamente si è utilizzata AlSi9Mg, chiamata anche Silafont 30. Essa è una importante lega Al-Si per fonderia suscettibile di trattamento termico (T6), con ottime caratteristiche di colabilità, lavorabilità alla macchina utensile e saldabilità. Ha inoltre una eccezionale resistenza alla corrosione ed un'elevata resistenza meccanica dopo un invecchiamento artificiale. In particolare, dopo il trattamento termico T6, presenta:

a)	Snervamento	315 N/mm^2
b)	Resistenza a trazione	360 N/mm^2
c)	Resistenza a fatica per flessione	110 N/mm^2

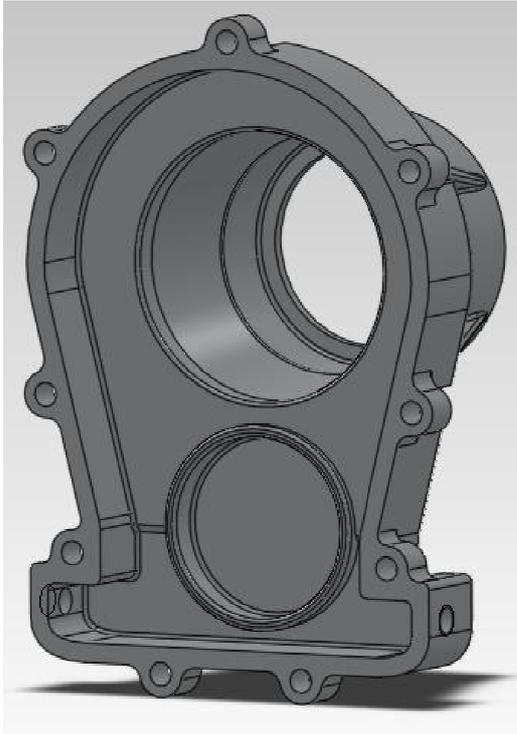


Figura 15: carter lato elica.

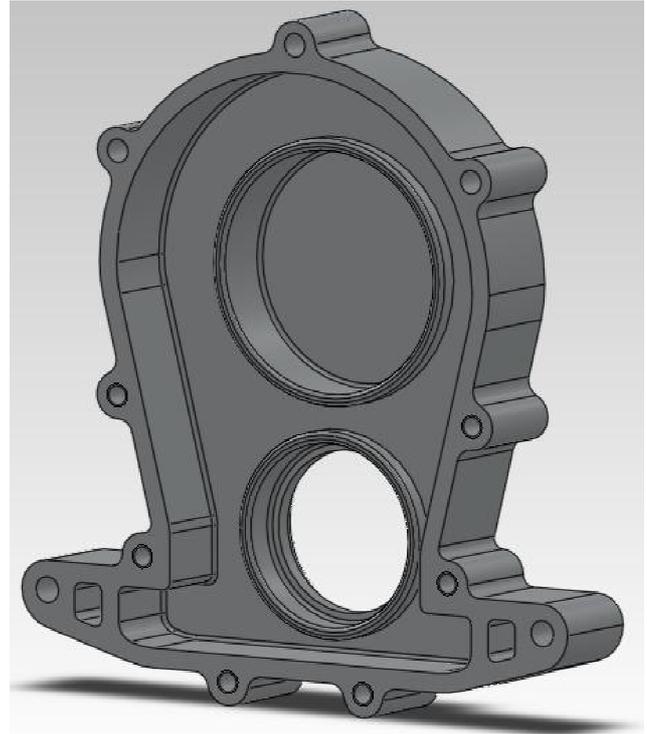


Figura 16: carter lato motore.

Nella figura 15 è possibile notare la realizzazione di una vaschetta per il contenimento dell'olio lubrificante. Sono inoltre presenti due fori, uno nella parte sinistra del carter per il rabbocco, svuotamento e controllo del livello dell'olio, e uno nella parte destra per l'alloggiamento del sensore di pressione dell'olio.

Mentre nella figura 16 si possono osservare due appendici presenti nella zona più bassa del carter lato motore. Quest'ultime servono per l'ancoraggio del riduttore al telaio, il quale è fissato sul basamento del motore Fiat 1.3 Multijet.

- **Montaggio**

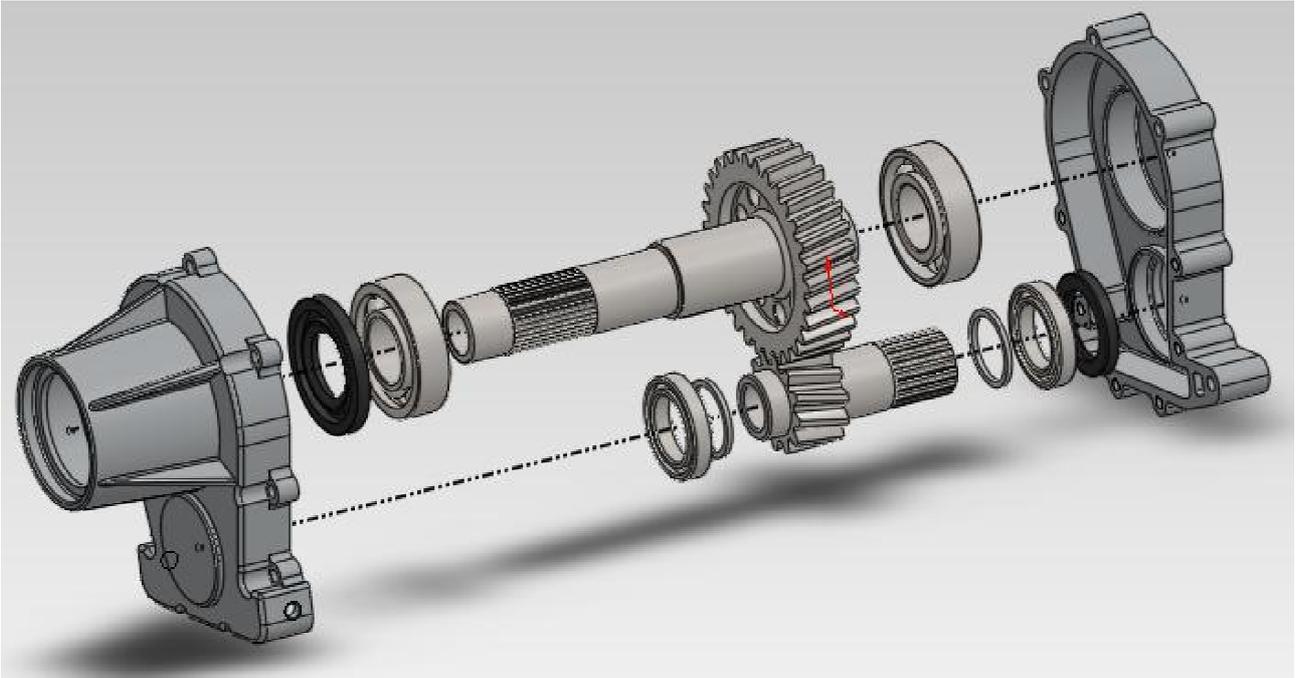


Figura 17: Esploso riduttore.

Dalla figura 17 è possibile osservare le tenute, i cuscinetti, gli spessori e le ruote dentate che costituiscono il riduttore. Inoltre attraverso le linee tratteggiate ci si può fare un'idea di come andranno montati tutti i componenti all'interno di esso.

Capitolo 3

L'elettronica

- **Introduzione**

Oggi giorno, nei motori moderni, l'utilizzo dell'elettronica è diventato indispensabile in quanto, quest'ultima, controlla il corretto del motore nelle sue parti garantendogli un funzionamento ottimale in tutte le condizioni di esercizio in modo tale da innalzare il rendimento globale ed anche limitare le emissioni nocive dei gas tossici che si producono con la combustione del carburante con il comburente. Dalla nascita dei primi motori a combustione interna, avvenuta nella seconda metà del XVIII, fino alla fine del secondo conflitto mondiale i motori erano comandati da sistemi meccanici che governavano i vari organi della distribuzione e alimentazione (valvole, alberi a camme, bilancieri....) tuttavia

questi presentavano inconvenienti dovuti al fatto che erano soggetti a rotture di una certa frequenza, perdevano la sincronizzazione del funzionamento con i vari organi a causa dei “giochi” che acquisivano con l’utilizzo. Allora grazie alla ricerca e allo “sbuzzo” di tecnici competenti nel 1948, nei laboratori Bell in U.S.A., venne inventato, dopo anni di lavoro, il transistor. Il suo utilizzo era prima applicato nei primi circuiti integrati poi solo nel 1964 in U.S.A. e poi in Europa si cominciano ad applicare i sistemi ad accensione con transistor al posto delle classiche “puntine platinato”. Solo 3 anni più tardi c’è la prima iniezione elettronica la quale va a sostituirsi alla classica, ma col tempo obsoleta, alimentazione a carburatore. Al giorno d’oggi la quasi totalità dei veicoli sia terrestri che aeronautici è governato da una o più centraline elettroniche; è un vero e proprio microcalcolatore che, in base a una serie di istruzioni in esso memorizzate (la cosiddetta mappatura) e alle informazioni ricevute dai vari sensori, è in grado di controllare le diverse funzioni del motore e della vettura. Inizialmente le centraline elettroniche sono state utilizzate soprattutto per determinare l’anticipo d’accensione e la quantità di benzina iniettata (iniezione). Con lo sviluppo delle moderne tecnologie e con le sempre maggiori richieste di strategie, di gestione del motore mirate alla riduzione degli inquinanti e all’ottimizzazione delle prestazioni, si è arrivati ad una gestione completa del motore. Oggigiorno una centralina è utilizzata per accensione ed iniezione: regola i tempi di iniezione, gli anticipi di accensione, l’avviamento a freddo e l’arricchimento in accelerazione, il regime di minimo, il cut off, il limite di fuorigiri, la rotazione del corpo sfarfallato (DBW), il controllo di trazione (TCS), la diagnostica, ecc.

- **La centralina**

Il funzionamento si basa, in genere, su mappature: la quantità di combustibile da iniettare è determinata in funzione della velocità di rotazione del motore e della pressione nel collettore di aspirazione misurate da sensori opportuni. Tuttavia queste mappe sono sperimentali. Sono create acquisendo dati in sala prove, validate da collaudi al banco. Questa metodologia di gestione del comportamento del motore attraverso strategie basate su mappe presenta problematiche legate a un numero fitto di punti di calibrazione e messa a punto dell’ordine delle decine di migliaia di unità, tanto è vero che a volte è impensabile farlo al banco e, soprattutto, senza accettare delle approssimazioni. Nasce quindi in parallelo la determinazione delle mappe con l’ausilio, ebbene sì, della statistica. Il metodo di procedura

è il seguente: si determinano i valori delle grandezze fisiche da mappare in determinati punti di funzionamento del motore, estrapolando statisticamente i valori nei restanti punti. Il futuro, già adesso, vedrà la gestione delle funzioni, da parte delle centraline, non tramite mappe, bensì con modelli realizzati conoscendo i fenomeni fisici che li caratterizzano.

- **Disegno al CAD**

Per i veicoli terrestri il luogo per predisporre la centralina principale con annessi i vari sensori non è un problema di rilevanza tale come nei veicoli aeronautici perché in quest'ultimi l'alta quota e la parziale o totale assenza di carrozzeria non consente l'ubicazione che si avrebbe se ci trovassimo ad utilizzare un veicolo terrestre. Infatti nel suddetto caso in esame si avrà a che fare con due centraline elettroniche, battezzate come centralina di potenza e centralina di controllo che andranno ubicate, una, in prossimità del gruppo turbocompressore e l'altra sotto al sedile del pilota. Naturalmente, quella più sollecitata risulta essere la prima che ho menzionato perché il calore per irraggiamento e convezione sprigionato dal gruppo turbocompressore farà sentire il suo effetto; tuttavia ho cercato di proteggere tale luogo con opportuni lamierini come si vedrà nel capitolo più avanti della trattazione. Le figure seguenti mostrano i disegni della centralina con i vari componenti.



Figura 18: centralina elettronica

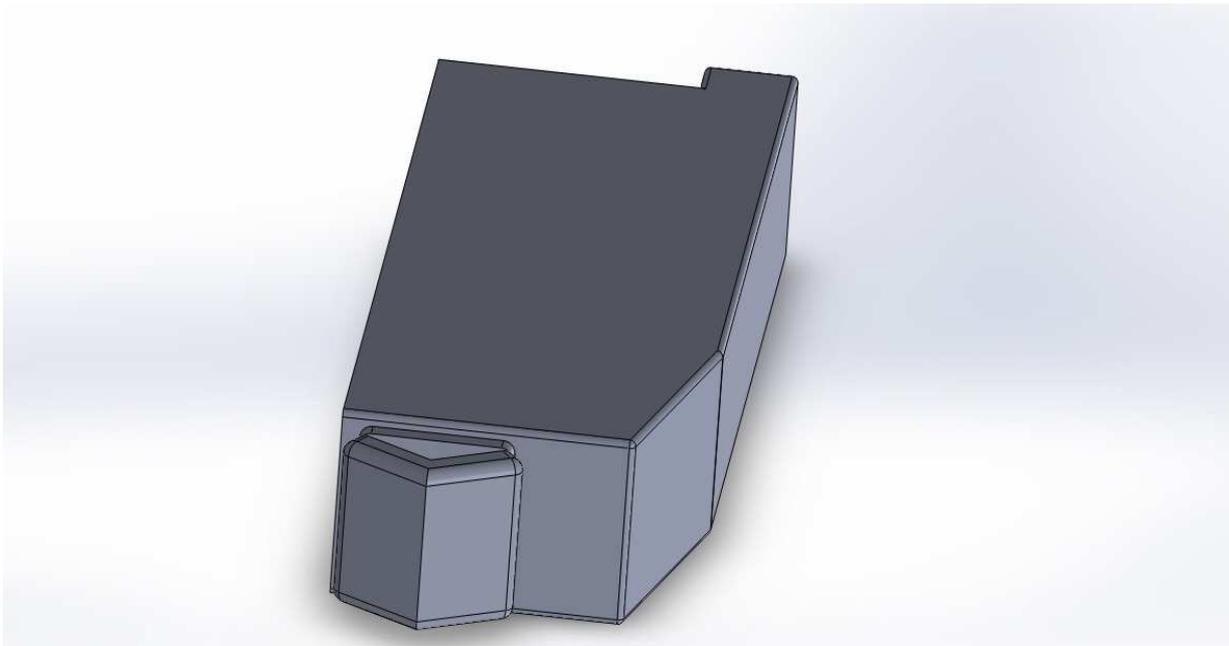


Figura 19: morsetto porta connettori.

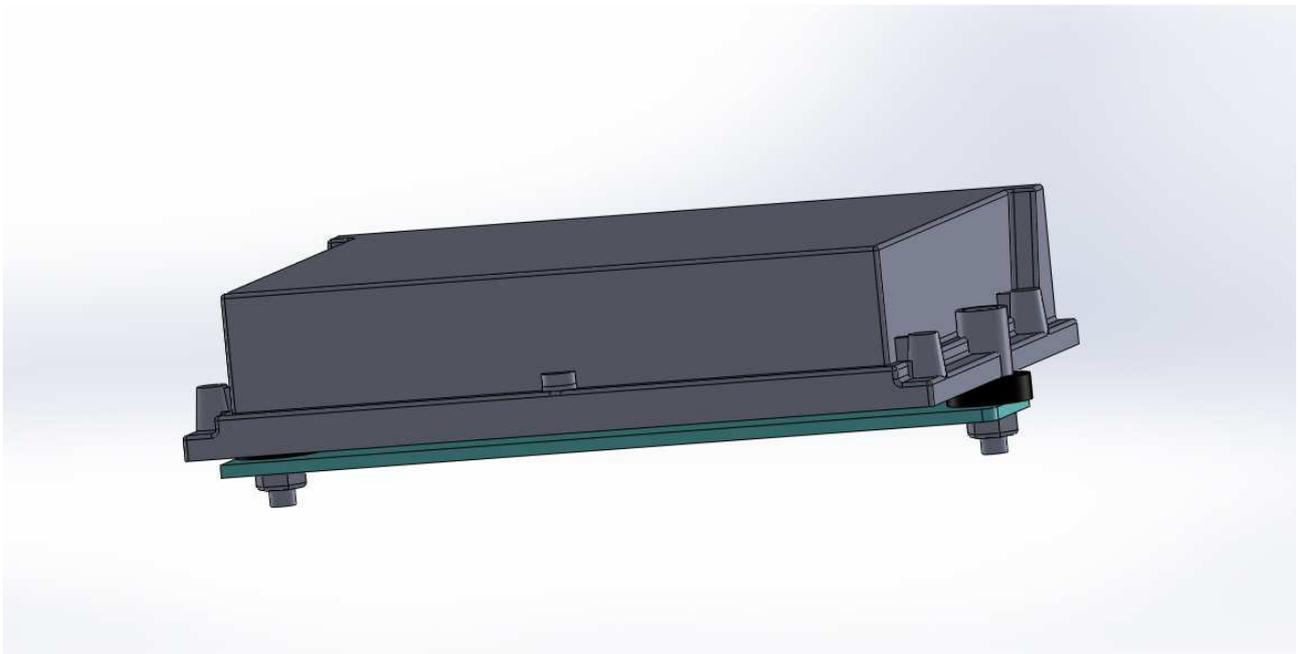


Figura 20: centralina con particolari per collegamento al motore; in nero si notano le rondelle, in azzurro la piastrina fungente da collegamento col telaio motore, dadi di serraggio situati sotto alla piastrina ed infine viti M6 che collegano i vari membri descritti.

Capitolo 4

Raffreddamento e lubrificazione

- **Introduzione**

Manovellismo, iniezione e distribuzione costituiscono l'insieme necessario per il funzionamento del motore, che, tuttavia, non potrebbe funzionare se non fosse corredato di alcuni servizi: il circuito di lubrificazione e il circuito di raffreddamento.

Nel brevissimo tempo in cui avviene la combustione, si sviluppano nella testata dei carichi termici enormi. Quantità molto elevate di calore vengono cedute (anche per irraggiamento, alle elevatissime temperature a cui avviene la combustione) alle pareti della testata e alla sommità del pistone. Il fenomeno prosegue, pur con progressiva attenuazione, durante la fase di espansione dei gas.

Una riduzione notevole dei tormenti termici si ha nelle altre tre fasi del ciclo (in caso di motore a quattro tempi quale è il 1300 jtd), soprattutto in quella di aspirazione, che porta aria fresca dentro al cilindro. Aria che è comunque molto calda, come si è detto nel capitolo 3, ma a una temperatura non paragonabile a quelle che si sviluppano in fase di combustione. In ogni caso, la cessione di calore dal fluido in combustione al motore è talmente elevata da non essere sufficiente l'aria fredda in aspirazione per attenuare il surriscaldamento. Per evitare il blocco del motore si appronta un impianto di raffreddamento che in modo sistematico e continuo sottrae calore dai componenti.

Usualmente si valuta che circa un terzo del calore introdotto nella macchina si trasformi in lavoro meccanico, un altro terzo vada perso in calore dei gas di scarico e l'ultimo terzo venga sottratto dal sistema di raffreddamento.

Ne consegue che la potenza termica da smaltire col raffreddamento è pari a quella meccanica erogata dal motore. Per quanto riguarda i sistemi di raffreddamento, essi sono detti "ad acqua" o "ad aria", anche se in entrambi i casi, alla fine, il calore viene sempre scaricato all'aria ambiente; l'acqua funge solo da circuito intermedio.

Tra i due sistemi, il circuito ad acqua (che è quello in uso sul motore FIAT) è sicuramente più costoso perché richiede la complicazione di cilindri del motore e di testate dotati di intercapedini, dette *camicie*, che debbono essere attraversate da un moto continuo di acqua che sottrae calore e lo va a cedere all'aria esterna in un apposito scambiatore, il radiatore, fuori dal corpo motore.

In generale gli elementi di cui è composto un circuito di raffreddamento ad acqua sono:

- il radiatore: lo scambiatore attraverso cui l'acqua cede il calore all'aria;
- la pompa dell'acqua: una pompa meccanica o elettrica che assicura il moto continuo del fluido nelle canalizzazioni;
- le tubazioni: i tubi che servono a portare il liquido refrigerante (acqua) dal radiatore al motore e viceversa.

Questi elementi sono quelli minimi necessari al funzionamento dell'impianto di raffreddamento; altri dispositivi usati sono le ventole (di solito elettriche), necessarie a mandare aria forzata sul radiatore quando il veicolo è fermo. Sulla versione automobilistica del FIAT 1300 jtd è prevista la presenza di una ventola che non verrà usata nella versione aeronautica in quanto l'aereo in quota avrà sempre a disposizione il moto naturale dell'aria mentre, quando è fermo a terra, può essere raffreddato tramite ventole esterne che vengono rimosse prima del decollo. In questo modo si intende recuperare del peso.

In generale la differenza di temperatura con cui l'acqua entra ed esce dal motore non supera i 10°C, in modo che si possa assicurare una buona uniformità delle temperature nel motore, con omogeneità delle dilatazioni delle varie parti. Questo è un grosso vantaggio che il sistema di raffreddamento ad aria non può garantire. Un altro enorme vantaggio del sistema ad acqua è che non è necessario esporre il motore alla corsa dell'aria, ma basta che lo sia il radiatore che, con opportune canalizzazioni, riporta il liquido refrigerante al motore. Ciò consente una quasi totale libertà nella disposizione degli organi del motore all'interno del veicolo (sia esso aereo o terrestre) e, di conseguenza, nel disegno della carenatura.

Quindi rimane un interrogativo: quanto calore bisogna asportare dal motore nel suo funzionamento? La risposta non è semplice, ma, in generale, bisogna limitare l'asportazione di calore al minimo consentito (per non abbattere il rendimento del motore) dal sistema di

lubrificazione. Bisogna, cioè, che la temperatura dell'olio, che assicura il buon funzionamento dei molti accoppiamenti rotoidali e prismatici presenti nel motore, non superi i valori al di là dei quali perde le sue caratteristiche lubrificanti.

In definitiva è l'impianto di lubrificazione che determina il dimensionamento dell'impianto di raffreddamento. Nel trasferire il motore da un'autovettura a un aereo non si sono avuti problemi con il circuito dell'olio che, in pratica, è stato riportato esattamente uguale. Si è dovuto lavorare, invece, sulla disposizione del radiatore e delle tubazioni del circuito dell'acqua, in quanto, mentre nell'alloggiamento automobilistico l'albero motore è perpendicolare alla marcia, nell'installazione aerea è parallelo alla marcia. Questo fatto ha comportato la necessità di immettere tubazioni più lunghe, in quanto il motore è predisposto per avere ingresso e uscita acqua sullo stesso lato.

- **Il circuito di lubrificazione**

In figura 21 è riportata l'immagine dell'impianto di lubrificazione del motore FIAT 1300 jtd.

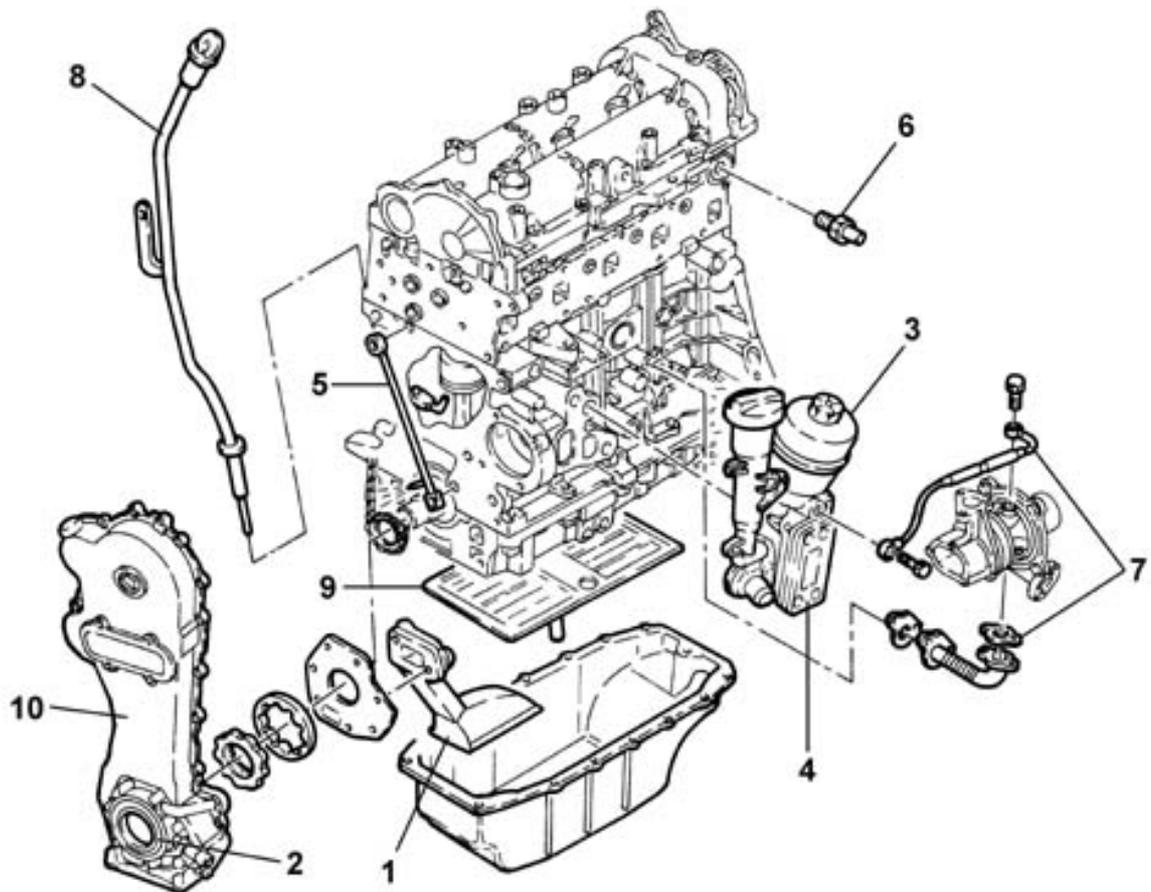


Figura 21: impianto di lubrificazione

In figura sono visibili il pescante con relativa reticella filtrante (1), che serve a pescare l'olio dalla coppa posta sotto il motore, dentro cui fluisce colando dal motore per gravità. Sono inoltre rappresentati la pompa dell'olio (2), lo scambiatore di calore acqua-olio (4), necessario per raffreddare l'olio lubrificante mediante l'acqua in ingresso nel motore, la cartuccia del filtro olio (3), lo spruzzatore (5), che spruzza l'olio sulla catena di distribuzione, e il coperchio della catena di distribuzione (10).

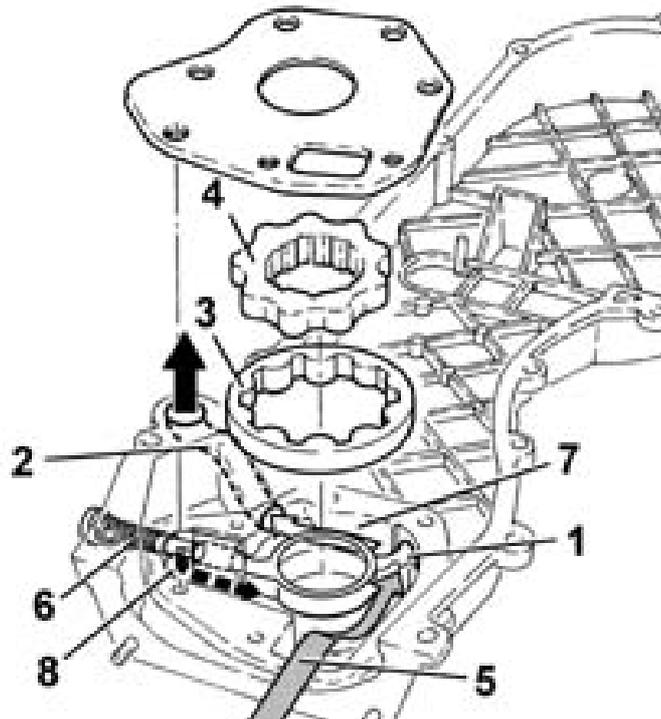


Figura 22: pompa olio

In figura 22 è rappresentato l'esploso della pompa olio motore. Il funzionamento è semplice: l'olio viene aspirato dalla coppa mediante la depressione creata dalla rotazione degli ingranaggi calettati sull'albero motore. La depressione è presente a partire dalla paratia di separazione (1) degli ingranaggi sino alla pescante della coppa olio. La pressione si sviluppa, invece, a partire dalla paratia di separazione (1) in tutti i condotti di mandata olio motore (2). Quando la pressione supera il valore di 5 bar, la spinta che agisce sulla valvola limitatrice (6) vince la reazione della molla sottostante e sposta la valvola sino ad aprire il condotto (8), fra la camera di alta pressione (7) e la camera di bassa pressione (5). Sono inoltre visibili l'ingranaggio condotto (3) e l'ingranaggio conduttore (4), calettato sull'albero motore, che, effettivamente, compongono la pompa dell'olio.

Il funzionamento del circuito dell'olio è, di conseguenza, il seguente: l'olio cade per gravità nella coppa dopo aver lubrificato gli organi del motore, nella coppa viene pescato dalla pompa calettata sull'albero motore che lo rimanda sugli organi da lubrificare. Una parte dell'olio in mandata, però, non va a lubrificare gli organi ma va allo scambiatore acqua-olio indicato con 3 in figura 3, dove viene filtrato da un apposito filtro (2) e raffreddato. Dallo

scambiatore, l'olio ricade nella coppa dove è pronto per essere immesso di nuovo nel circuito. In figura 3 è riportato anche il tappo del rabbocco olio (1) di cui si è già parlato nel capitolo 2.

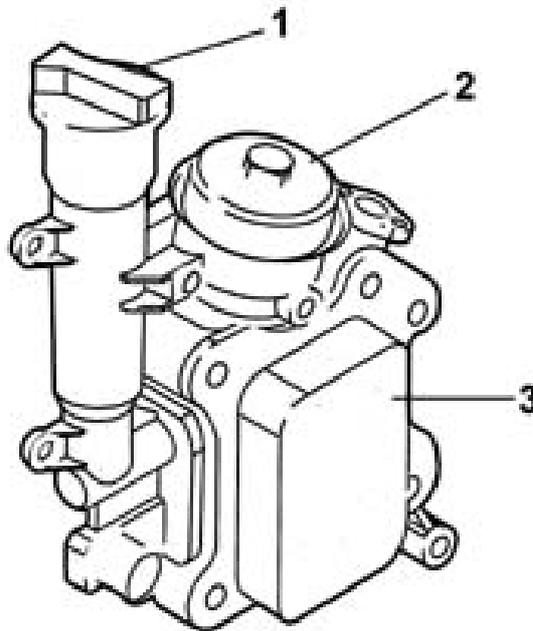


Figura 23: scambiatore acqua-olio

- **Il circuito di raffreddamento**

Nel passaggio del motore dall'automobile all'aereo si è prestata molta attenzione al circuito di raffreddamento, in quanto, a differenza del circuito dell'olio, su di esso si è dovuta fare qualche modifica.

Come primo passo si è cercato di capire esattamente il funzionamento di questo circuito e la disposizione dei suoi elementi sull'autovettura, poi si è pensato a come adattare il tutto alla nuova installazione.

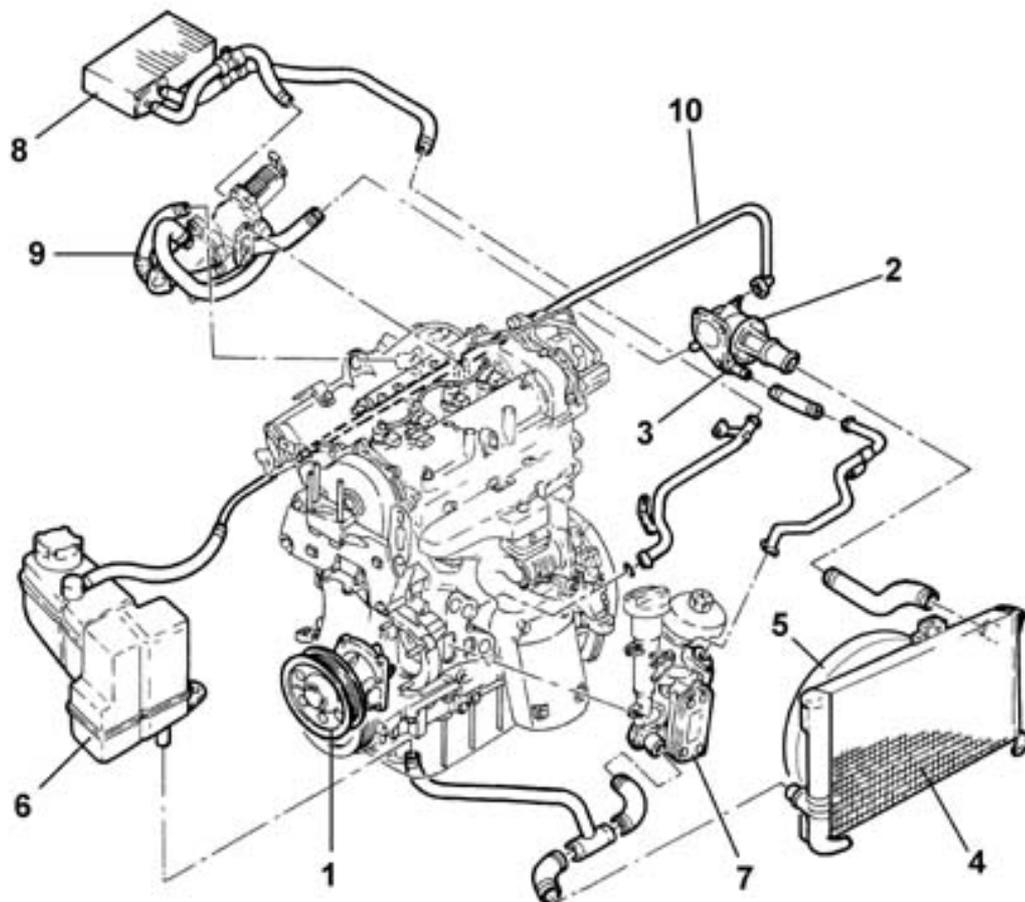


Figura 23: impianto di raffreddamento nella versione automobilistica

In figura 23 è riportato lo schema dell'impianto di raffreddamento in uso nella versione automobilistica, in cui sono rappresentati la pompa dell'acqua (1), il sensore di temperatura del liquido refrigerante (2), il termostato (3), il radiatore (4), l'elettroventilatore (5), il serbatoio di alimentazione (6), lo scambiatore di calore acqua-olio (7), il radiatore di riscaldamento interno vettura (8), lo scambiatore di calore coi gas di scarico (9) e la tubazione di ricircolo dell'acqua (10).

La pompa dell'acqua è di tipo centrifuga a palette con corpo pompa in lega di alluminio e girante in resina fenolica, fissata al basamento motore e azionata direttamente tramite la cinghia dei servizi.

La pompa dell'acqua manda il liquido nelle camicie del basamento motore, dove scambia calore con le pareti. Il liquido risale verso la testata per raffreddarla ed esce da essa andando

nella valvola termostatica, che, se la temperatura del liquido è minore di $80^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$, si chiude e lo devia verso lo scambiatore dell'olio, superato il quale rientra nella pompa. Se la temperatura è superiore a $80^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ la valvola si apre e devia il liquido verso il radiatore.

Il radiatore è composto da una massa di tubi con alettature esterne in alluminio e da due vaschette in plastica laterali per l'ingresso e l'uscita del liquido.

Nell'attraversare il radiatore, il liquido refrigerante cede calore all'aria ambiente, raffreddandosi, e, successivamente, viene reimpresso nel motore attraverso lo scambiatore dell'olio, dove viene pescato dalla pompa dell'acqua.

In parallelo a questo circuito vi è un altro circuito che esce dalla valvola termostatica e va alla vaschetta dell'acqua (posta più in alto rispetto alla pompa), da cui esce per rientrare nel motore sempre attraverso lo scambiatore dell'olio. La vaschetta dell'acqua ha la funzione di alimentare il circuito ed assorbe le variazioni di volume del liquido di raffreddamento al variare della temperatura motore. Serve, inoltre, a rabboccare il fluido refrigerante e/o ad aggiungerne additivi; viene montata più in alto della pompa dell'acqua per essere sicuri che abbia sempre pescaggio.

Le modifiche necessarie per l'adattamento del circuito di raffreddamento sono partite con la rimozione del radiatore di riscaldamento vettura e dell'EGR, che non servono nell'uso aereo. Si è poi deciso di sostituire il serbatoio di alimentazione motore con uno più piccolo; quindi si è mantenuto quello già presente sull'aereo ma non lo si è attaccato alla paratia parafiamma bensì direttamente al castello motore (è visibile nella figura 6 del capitolo 1, nel suo posizionamento attuale).

Per via degli ingombri del motore è risultato conveniente montare il radiatore al di sotto di esso e in serie all'intercooler. Di conseguenza, è stato necessario rifare i tubi, i quali, nell'uso aeronautico, sono generalmente metallici e raccordati con giunzioni di gomma.

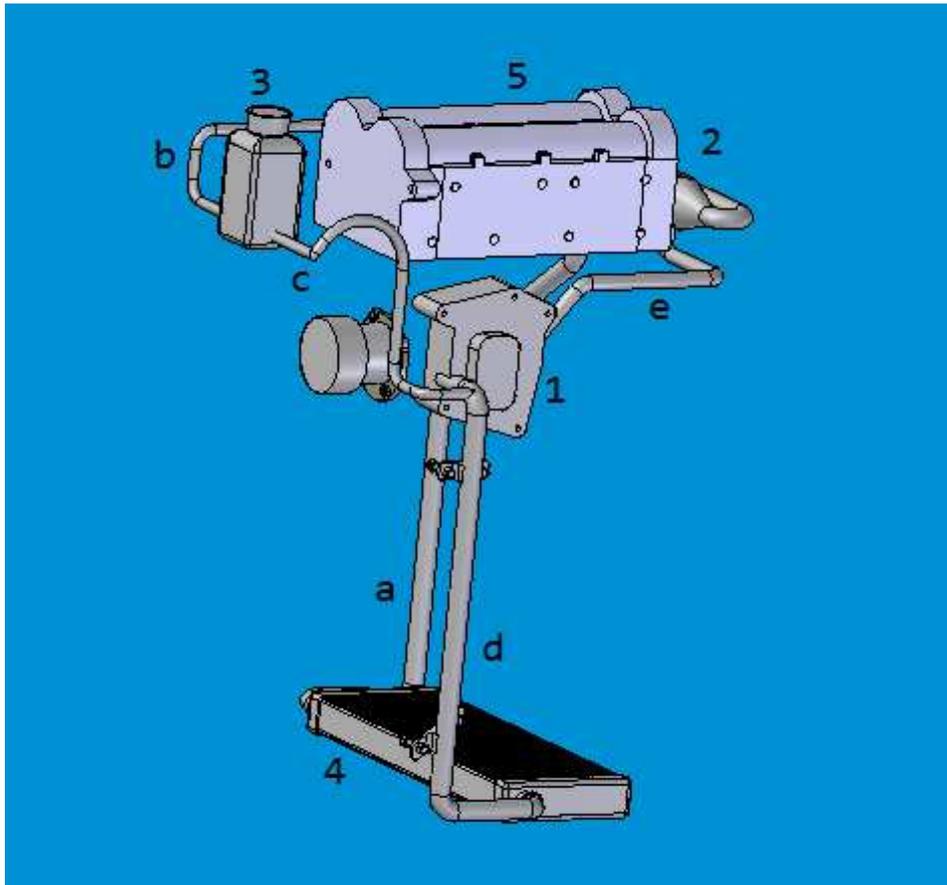


Figura 24: immagine dell'installazione del circuito di raffreddamento

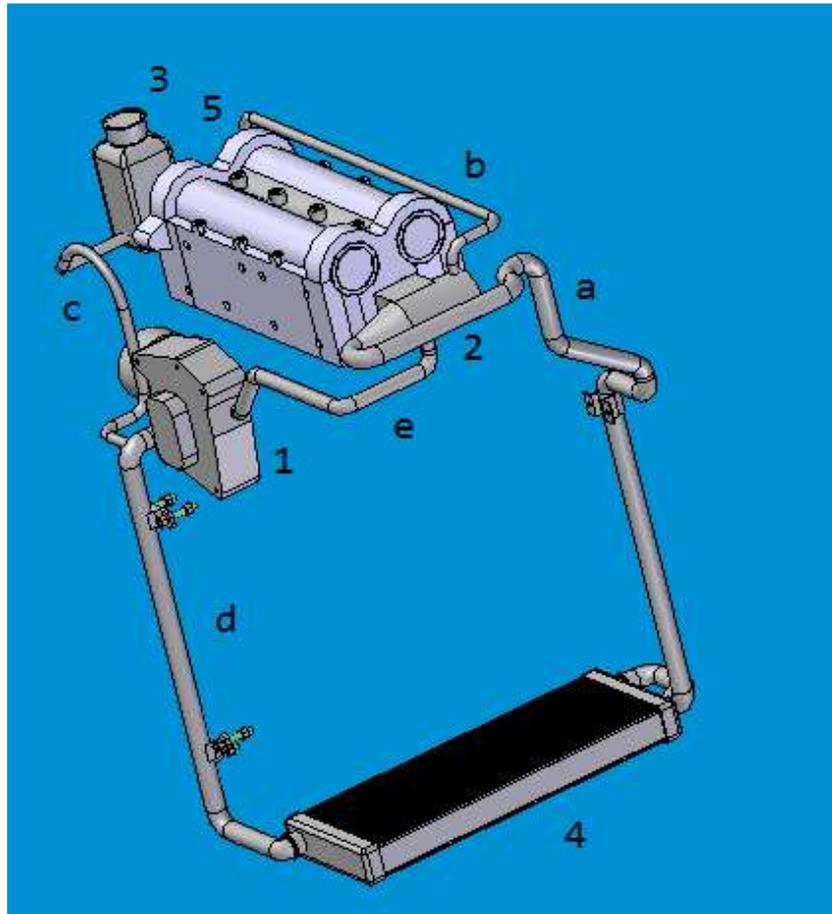


Figura 155: immagine dell'installazione del circuito di raffreddamento

Nelle immagini 24 e 25 è riportata la disposizione degli organi del circuito di raffreddamento ottenuta in Solid Edge, prendendo l'assemblaggio definitivo di tutto il motore e, tramite la funzione "Hide" dell'ambiente Assembly, nascondendo tutti gli elementi non facenti parte del circuito stesso. Nelle immagini sono stati usati numeri per indicare i componenti e lettere per le tubazioni:

1. Scambiatore olio – acqua
2. Valvola termostatica
3. Serbatoio alimentazione
4. Radiatore
5. Testata
- a. Tubo valvola termostatica → radiatore
- b. Tubo valvola termostatica → serbatoio alimentazione

- c. Tubo serbatoio alimentazione → Scambiatore olio-acqua
- d. Tubo radiatore → scambiatore olio-acqua
- e. Tubo valvola termostatica → scambiatore olio-acqua

Nelle immagini è visibile anche la pompa dell'acqua e si nota che i tubi sono tutti predisposti per il montaggio delle viti necessarie ad attaccarli al castello motore.

- **Il posizionamento del radiatore**

Si nota, nelle immagini 24 e 25, che il radiatore non ha attacchi per il fissaggio. Ciò è dovuto al fatto che, essendo il FIAT 1300 jtd un motore montato su una vastissima gamma di veicoli, esso non ha attacchi, ma, di volta in volta, viene sagomata una scatola di plastica a seconda del modello di autovettura su cui lo si deve installare. Il radiatore viene bloccato in tale scatola che, a sua volta, porta gli attacchi che permettono di fissarlo al telaio. Nell'installazione sull'aereo questa scatola non può essere utilizzata per vari motivi. Il primo motivo è che tale scatola, generalmente, sorregge anche altri elementi che non verranno usati (ventole, cavi dei fari...). Il secondo motivo è un fatto di resistenza: sui modelli stradali il radiatore è generalmente montato verticale fra due traverse del telaio, quindi la scatola in plastica non deve sorreggere il peso del radiatore; nel caso dell'aereo, si è rivelato necessario montare il radiatore orizzontalmente e, quindi, si è deciso di realizzare una scatola dello stesso materiale del castello motore, che a esso verrà collegata mediante saldatura.

In figura 26 è stata riportata la vista laterale destra solo di alcuni elementi, per mostrare come essi sono stati collocati sull'aereo. Prendendo come riferimento l'ogiva dell'elica (1), vi è un primo convogliatore (2) che porta aria all'intercooler (3). Dopodichè un secondo convogliatore (4) porta aria al radiatore (5) che è montato molto in basso nel vano motore dell'aereo.

I due convogliatori sono stati realizzati divergenti per rallentare il flusso d'aria in arrivo sugli scambiatori ed aumentarne l'efficienza di scambio.

In figura 27 vi è una vista frontale del gruppo di figura 26.

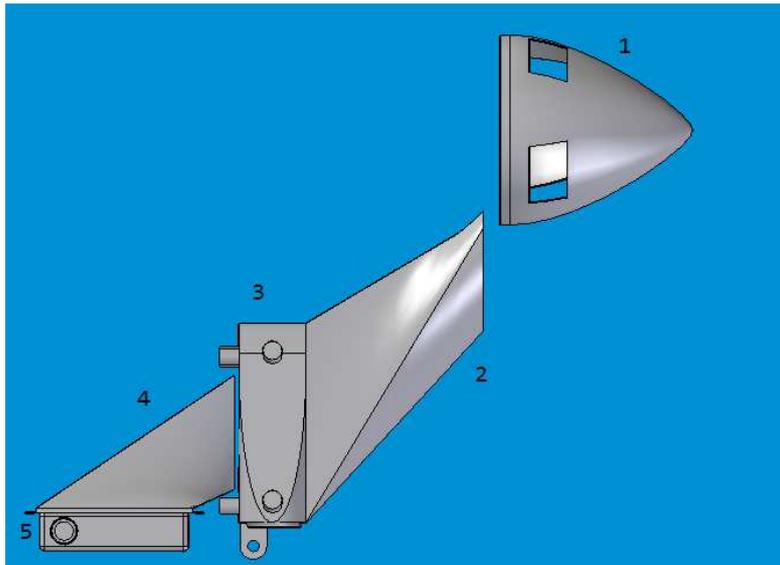


Figura 166: montaggio scambiatori

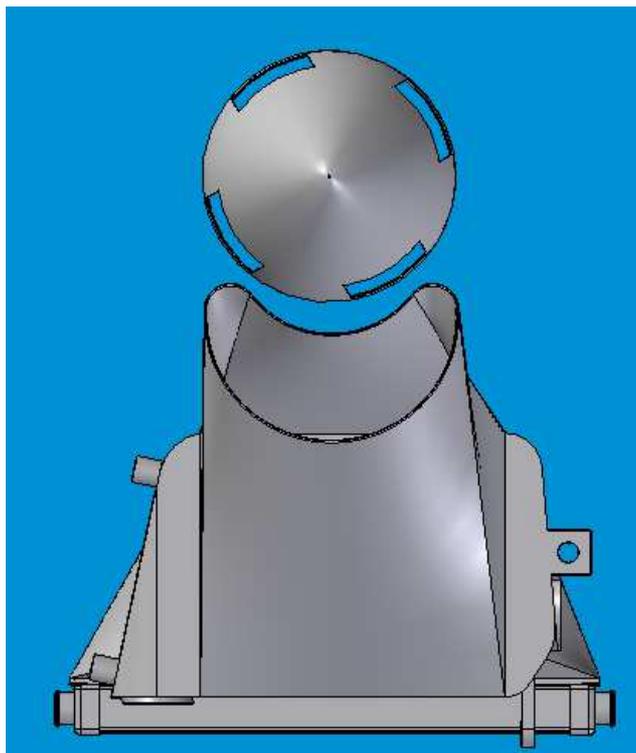


Figura 177

Capitolo 5

L'impianto del gasolio

- **Introduzione**

Il Common Rail è un sistema di iniezione diretta, il cui elemento centrale è un accumulatore comune di gasolio ad alta pressione. A differenza dei sistemi con pompe a blocco o singole a comando diretto, nei sistemi di iniezione Common Rail, la generazione di pressione viene staccata dal comando di iniezione. La pressione di iniezione può essere così generata indipendentemente dal regime di funzionamento del motore e può essere regolata entro ampi limiti e lo stesso vale per la durata, l'inizio e la fine dell'iniezione. L'elevata pressione massima di iniezione, che si attesta attorno ai 1450 bar, favorisce la particolarizzazione del gasolio con una combustione conseguentemente migliore, con rendimenti più alti e con minori incombusti allo scarico. Inoltre, per sconfiggere il "battito in testa" e la ruvidità della combustione, meno accentuata nei motori funzionanti a benzina, ma tipica dei diesel ad iniezione diretta, si sfrutta l'iniezione pilota. Prima della 3^oa fase del ciclo diesel, il sistema di gestione elettronica digitale apre per un breve istante l'iniettore centrale; ciò permette di generare un inizio di "combustione morbida" cui fa seguito quella del volume principale di gasolio (iniettato con un breve sfasamento). Il risultato che ne consegue è un'emissione acustica più gradevole unitamente ad una migliore combustione, frutto della gradualità dell'espansione dei gas nella camera di combustione. Permangono tuttavia problemi di ruvidezza del motore agli alti carichi, perciò il numero di giri massimo si attesta mediamente attorno ai 4500 rpm.

- **Circuito del gasolio in uso sul motore FIAT 1300 jtd**

In figura 1 è riportato lo schema del circuito del gasolio montato sul motore FIAT 1300 jtd.

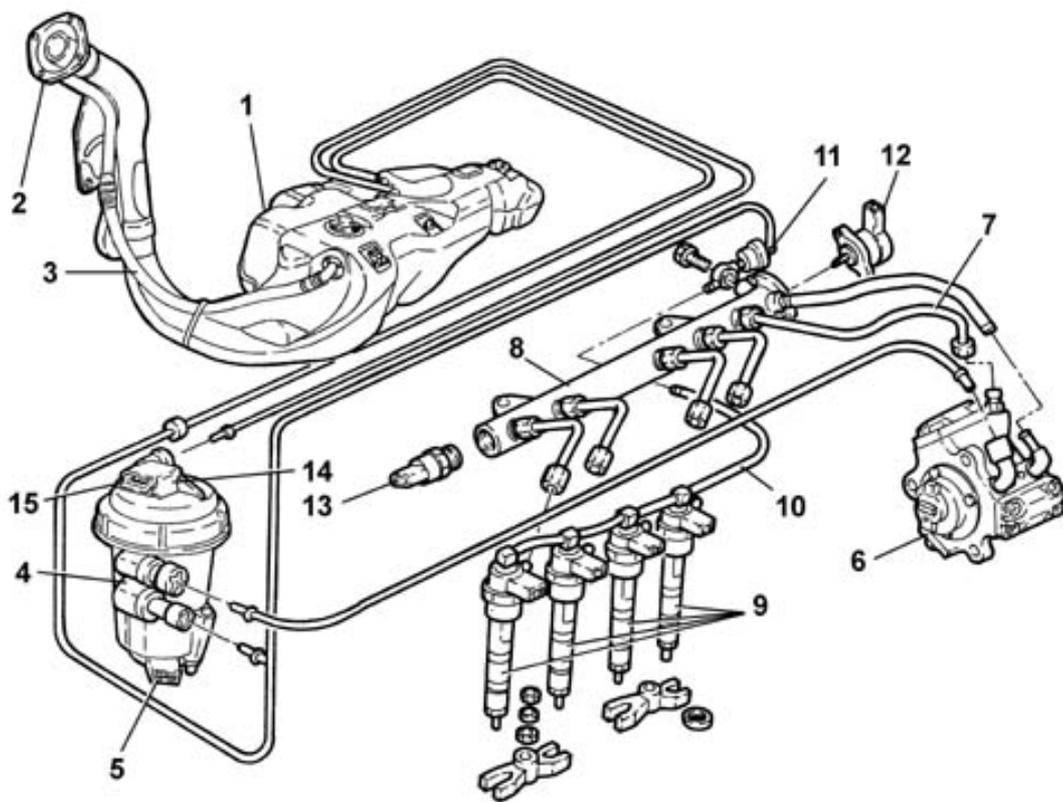


Figura 18 circuito del gasolio motore FIAT 1300 jtd

Il carburante viene stivato nell'apposito serbatoio (1) dove è posizionata una pompa di bassa pressione immersa nel carburante stoccato. La pompa di bassa pressione (non visibile in figura) manda il gasolio al filtro combustibile (4) da cui successivamente passa alla pompa di alta pressione (6). La pompa di alta pressione immette il gasolio nel Tubo collettore combustibile unico (in genere chiamato Rail ed indicato con 8 in figura) a pressioni comprese tra 150 e 1400 bar a seconda delle condizioni di lavoro del motore. Il Rail alimenta gli iniettori che spruzzano il gasolio nebulizzato ad altissima pressione all'interno delle camere di combustione, dove, entrando in contatto con l'aria compressa e surriscaldata proveniente dal circuito di aspirazione, dà luogo alla combustione.

Come detto questo sistema di iniezione combustibile utilizza una pressione di alimentazione elevata controllata elettronicamente. L'erogazione del combustibile in camera di combustione è caratterizzata da una o più iniezioni pilota (in base alle condizioni di funzionamento del motore), controllate elettronicamente dalla centralina di iniezione

attraverso l'elettroiniettore. Tale sistema è in grado di effettuare fino a cinque iniezioni per ciclo, in base alle condizioni di funzionamento del motore stesso.

Il valore della pressione è uno dei parametri fondamentali per l'ottimizzazione del consumo di combustibile.

La gestione di più iniezioni pilota rende possibile un preriscaldamento nel cilindro in modo da evitare il picco di pressione causato da una rapida combustione, garantendo un funzionamento più regolare e riducendo i carichi sui manovellismi (che infatti nel passaggio da una versione del motore alla successiva sono stati progressivamente alleggeriti).

La regolazione della pressione di iniezione è possibile grazie alle caratteristiche costruttive del sistema, che è dotato di pompa di pressione, regolatore di pressione, sensore di pressione ed elettroiniettori separati, tutti gestiti da una centralina. In questo modo la pressione di iniezione è indipendente dalla velocità di rotazione dell'albero motore.

Le principali caratteristiche di questo sistema di iniezione sono:

- Pressione di iniezione elevata (fino a 1400 bar);
- Pressione di iniezione modulabile da 150 a 1400 bar in ogni condizione di lavoro del motore;
- Introduzione di carburante fino a $50 \text{ cm}^3/\text{ciclo}$ in un regime compreso tra i 100 ed i 5200 giri/minuto;
- Grande precisione del comando di iniezione, sia come anticipo che come durata;
- Una o due iniezioni pilota prima del PMS, gestite in funzione del numero di giri e del carico motore che consentono di distribuire più uniformemente la pressione in camera di combustione.

Il circuito complessivo di alimentazione carburante è suddiviso in circuito di bassa pressione e circuito di alta pressione.

Il circuito di bassa pressione è composto da: una elettropompa ausiliaria immersa nel serbatoio, un filtro combustibile con cartuccia interna, il tubo collettore ritorno combustibile e le tubazioni di collegamento (quasi tutte in gomma o plastica).

Il circuito di alta pressione comprende: la pompa di alta pressione, il tubo collettore combustibile unico (Rail) con regolatore di pressione e sensore di pressione integrati, gli elettroiniettori e le tubazioni di collegamento (in metallo).

- **La pompa di bassa pressione**

L'elettropompa combustibile, riportata in figura 2, dispone di un motorino elettrico a magnete permanente (1) che comanda la girante della pompa (2) e di un coperchio terminale (3) che contiene i collegamenti elettrici ed idraulici. È quindi una pompa a flusso continuo, ed i vantaggi rispetto alle pompe volumetriche sono il peso ridotto e le dimensioni limitate.

Tale pompa nella versione automobilistica è completamente immersa nel serbatoio carburante ed il suo scopo è assicurare un flusso continuo di gasolio all'aspirazione della pompa di alta pressione.

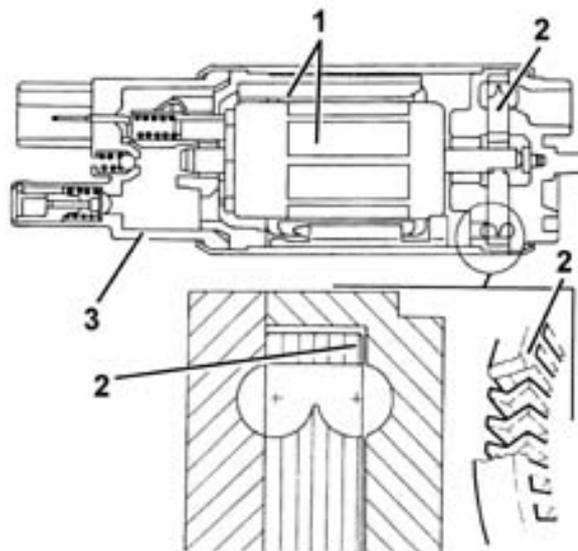


Figura 19 elettropompa combustibile di bassa pressione

Poiché sull'aereo il serbatoio combustibile non è accessibile si è modificata la posizione della pompa. Sull'aereo il serbatoio combustibile è posto all'interno dell'ala superiore, da cui il carburante (benzina nel caso del motore Rotax) esce per gravità all'interno di un apposito condotto e va ad alimentare il motore. Nell'installazione si sfrutterà lo stesso condotto che dal serbatoio porta il carburante al motore, ma invece di andare direttamente

nel motore verrà fatto fluire all'interno di una scatola attaccata al castello motore dentro cui verrà alloggiata la pompa di bassa pressione.

La scatola è rappresentata in figura 3. È composta da un corpo di lamiera d'alluminio (1) con un coperchio (2) anch'esso d'alluminio chiuso con quattro rivetti. Tra i due elementi è interposto del silicone per impedire le fughe del liquido. Sul coperchio sono ricavati il foro per l'alimentazione elettrica (3) ed i fori per l'arrivo del gasolio dal serbatoio (4) e la mandata verso la pompa d'alta pressione (5). È inserito un ulteriore foro (6) per il ritorno del carburante dal Rail. Il corpo della scatola porta due ali forate (7) predisposte per agganciare tutto il blocco al castello motore.

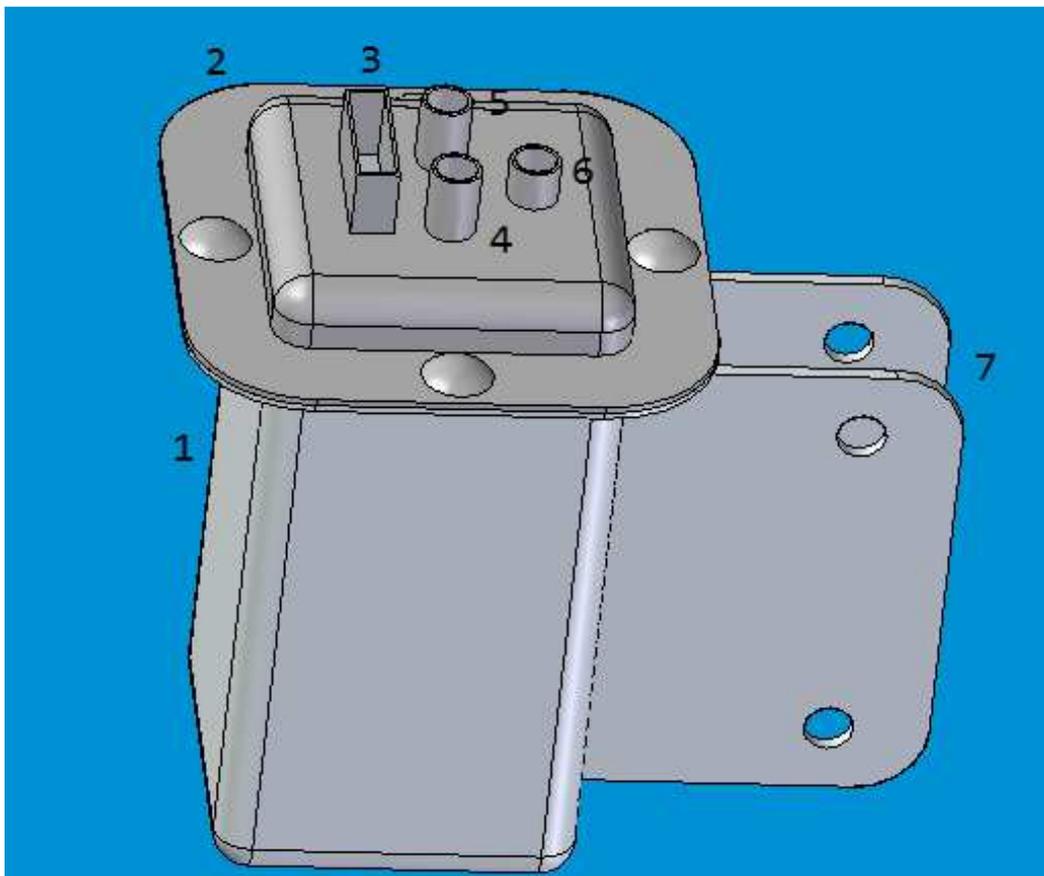


Figura 20 scatola per l'alloggiamento della pompa di bassa pressione

Il peso stimato da Solid Edge per tutta la scatola (quindi con pompa e carburante esclusi) è di 150 grammi. Quindi è una soluzione molto buona in quanto leggera e che risolve i problemi di installazione, in quanto non vi è più la necessità di modificare il serbatoio dell'aereo.

- **Il filtro del gasolio**

Il filtro combustibile (riportato in figura 4) nella versione automobilistica è montato nel vano motore vicino alla paratia parafiamma. È costituito da un involucro in plastica che contiene al proprio interno una cartuccia setto (2) di profondità in materiale sintetico con alte prestazioni in termini di efficienza, durata e separazione dell'acqua.

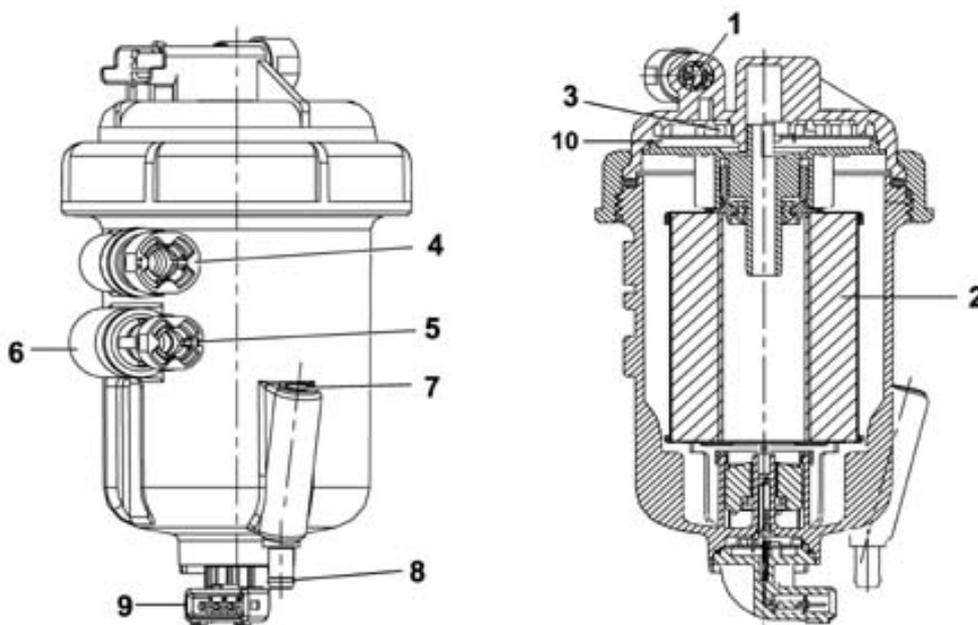


Figura 21 filtro del carburante

Anche nel caso del filtro, come nel caso della pompa di bassa pressione è stato realizzato un involucro di alluminio per poterlo fissare direttamente al castello motore e non alla paratia parafiamma.

- **La pompa d'alta pressione**

La pompa d'alta pressione è una pompa volumetrica a tre pistoni radiali (cilindrata totale $0,567 \text{ cm}^3$) disposti a 120° . È comandata dall'asse a camme tramite un giunto di Oldham. Tale pompa al montaggio non ha posizioni di fasatura, in quanto non vi è relazione tra la posizione dell'albero motore e la pressione necessaria all'alimentazione.

Ogni gruppo pompante è costituito da un pistone azionato da un eccentrico solidale con l'albero della pompa mosso dall'albero a camme.

La pompa di alta pressione deve essere alimentata con una pressione di almeno 0,7 bar, a cui provvede l'elettropompa ausiliaria di bassa pressione. La pressione massima di mandata raggiunge i 1400 bar.

Non vi è necessità di raffreddamento e/o lubrificazione, in quanto mediante opportune canalizzazioni interne è il gasolio stesso che svolge questi compiti durante l'attraversamento.

Nelle figure 4 e 5 sono riportati i disegni della pompa d'alta pressione.

Figura 23 pompa d'alta pressione

- **Il tubo collettore combustibile unico (Rail)**

Il tubo collettore combustibile unico (detto Rail) è montato sulla testa cilindri dal lato di aspirazione. Con il suo volume di circa 20 cm³, smorza le oscillazioni di pressione del combustibile dovute al funzionamento della pompa d'alta pressione e all'apertura degli iniettori. Da un lato del collettore di mandata è montato il sensore di pressione combustibile e dall'altro è collegato il regolatore di pressione. I collegamenti idraulici (in alta pressione) tra collettore-pompa e collettore-elettroiniettori sono effettuati mediante tubazioni in acciaio aventi diametro interno 2 mm e diametro esterno 6 mm.

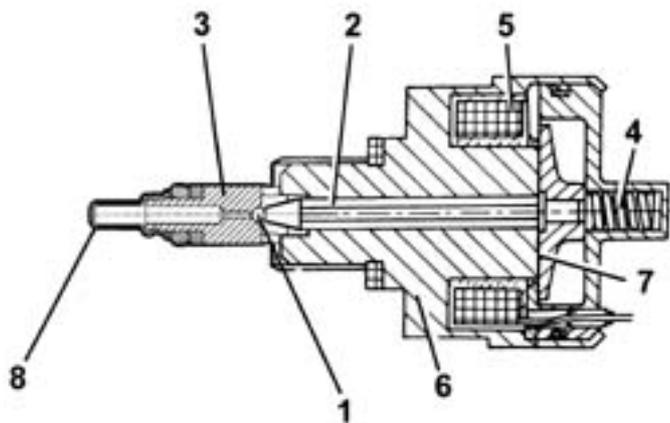


Figura 24 regolatore di pressione

Il regolatore di pressione, riportato in figura 7, è montato sul rail e comandato dalla centralina motore, regola la pressione di alimentazione combustibile agli elettroiniettori. È composto principalmente da un otturatore sferico (1), un perno (2) di comando valvola (3), una molla di precarico (4) ed una bobina (5).

verso il collettore di ritorno (10) provocando un calo di pressione sull'area di controllo (7). Contemporaneamente la pressione del Rail, attraverso il condotto di alimento (12) esercita nel volume di alimento (8) una forza $F_a > F_c$, provocando l'innalzamento della spina (2) con conseguente introduzione di combustibile nei cilindri.

La terza fase è la Fine Iniezione: la bobina (4) non è più attraversata da corrente e fa tornare in posizione di chiusura l'otturatore (6) che ricrea un equilibrio di forze tale da far tornare in posizione di chiusura la spina (2) e di conseguenza terminare l'iniezione.

Capitolo 6

Il castello motore

- **Introduzione**

Nei capitoli precedenti sono stati descritti tutti i dispositivi necessari al funzionamento del motore. Come si è visto, alcuni elementi sono stati riportati nell'installazione sull'aereo esattamente come sono nell'installazione sulle autovetture (come, ad esempio, il circuito di alta pressione del gasolio). Altri elementi sono stati modificati in elaborati precedenti a questo e sono stati utilizzati nella versione modificata (come il collettore di aspirazione) o sono stati ulteriormente modificati (il collettore di scarico). Altri elementi sono stati sostituiti con componenti commerciali che svolgono la stessa funzione, seppure diversi da quelli utilizzati nell'installazione automobilistica (il turbocompressore e l'intercooler). Altri elementi sono stati eliminati (il catalizzatore, l'EGR e il silenziatore). Infine, alcuni componenti non presenti sulle automobili sono stati implementati *ex novo* (lo scambiatore di calore e relativo circuito).

Avendo a disposizione tutti i pezzi necessari al funzionamento del motore, si è modellato il castello motore necessario a collegare il propulsore (e tutti i suoi accessori) all'aereo.

Nel disegno del castello motore si è dovuto tenere conto di una serie di vincoli geometrici che hanno notevolmente complicato l'esecuzione del modello tridimensionale realizzato con Solid Edge. Tali vincoli sono:

- il castello motore deve essere predisposto a sostenere non solo il motore, ma anche tutti gli elementi accessori. Si vuole, infatti, che sia possibile montare e smontare in blocco tutto il gruppo del propulsore dall'aereo;
- il castello motore deve essere predisposto per tenere in considerazione le necessità dei singoli componenti. Ad esempio, come si vedrà in seguito, l'alloggio della batteria deve essere previsto dal lato aspirazione, per evitare che le alte temperature del lato scarico (dovute al turbocompressore) possano danneggiarla. Altro esempio è la necessità di prevedere gli alloggi del radiatore e dell'intercooler, e dei relativi convogliatori, in modo che il flusso d'aria che li investe possa raffreddarli in serie (prima l'intercooler e poi il radiatore) prima di sfogare in una apposita uscita nella parte bassa della carenatura motore;
- il castello motore deve essere fatto in modo che l'asse di rotazione dell'elica si trovi 90 mm al di sotto delle viti prigioniere superiori del parafiamma e si discosti il meno possibile dal piano di mezzeria dell'aereo. Inoltre, ovviamente, l'asse elica deve trovarsi in un piano orizzontale;
- il castello motore deve essere posizionato in modo che nessun elemento esca dalla sagoma del parafiamma nella sua proiezione frontale (ad eccezione del terminale di scarico, che deve essere rivolto all'indietro). Questo vincolo, purtroppo, non può essere rispettato in pieno, in quanto il motore è un propulsore a cilindri verticali (e, di conseguenza, molto alto), mentre l'aereo è pensato per montare il Rotax a cilindri orizzontali contrapposti. Succede, quindi, che, per rispettare il vincolo del punto precedente sui 90 mm di distanza tra asse elica e viti prigioniere, si debba accettare che il motore sporga in alto nella proiezione frontale. Si vedrà che tale sporgenza c'è, ma non è esagerata. Inizialmente si era pensato di inclinare il motore, ma ciò avrebbe comportato un allontanamento esagerato dell'asse elica dal piano di mezzeria dell'aereo e, soprattutto, notevoli problematiche al funzionamento del circuito dell'olio. Un'altra soluzione sarebbe quella di rifare il riduttore, in modo che, aumentandone l'interasse, sia possibile abbassare l'albero motore lasciando fisso

l'asse elica. Quest'ultima soluzione è molto buona ma riprogettare il riduttore esula dagli scopi di questo elaborato;

- il castello motore deve essere fatto in modo che l'asse elica nella proiezione dall'alto non sia perfettamente allineato con la direzione di volo dell'aereo, ma formi un piccolo angolo. Ciò è dovuto al fatto che l'elica, nella sua rotazione, applica una coppia all'aereo che lo inclina da un lato (dipendente dal verso di rotazione dell'elica). Tale inclinazione implica che l'aereo, a timone libero, invece di proseguire in moto rettilineo tenderebbe a seguire una curva. Per evitare questo inconveniente si dovrebbe modificare il timone facendo in modo che, quando non è utilizzato, presenti una leggera inclinazione preimpostata per compensare l'errore. Questa soluzione non è utilizzata perché peggiorerebbe il profilo aerodinamico dell'aereo e aumenterebbe i consumi di carburante. Per risolvere il problema, quindi, si inclina l'asse elica da un lato, di un angolo molto piccolo, in modo da immettere un errore di rotta che vada a compensare l'errore di rotta iniziale. Si è assunta un'inclinazione di 5° verso sinistra;
- il castello motore deve essere fatto in modo da ridurre il più possibile lo sbalzo anteriore.

• I materiali

Per realizzare i componenti che andranno a formare il castello motore si è subito scartato l'acciaio, poiché, nonostante possieda notevoli caratteristiche meccaniche e tecnologiche, ha valori medi di densità molto alti (circa 8000 kg/m^3), che renderebbero il castello molto pesante.

Conseguentemente allo scarto dell'acciaio ci si è orientati verso altri materiali, quali titanio e alluminio.

Il Titanio

Il titanio è un elemento primo, ossia, a differenza dell'acciaio, che è una lega, è un elemento naturale. Nonostante questo, generalmente viene utilizzato alligato con altri elementi, perciò è più corretto parlare di leghe a base di titanio.

In generale, l'aumento del contenuto di ossigeno, azoto e idrogeno aumenta la resistenza e diminuisce la durezza del titanio puro; mentre l'ossigeno è l'unico elemento che viene aggiunto deliberatamente per dare resistenza maggiore, gli altri elementi insieme con ferro e carbonio sono introdotti durante la produzione come impurità.

Poiché il titanio cosiddetto "commercialmente puro" contiene comunque delle impurità, è stata creata dall'ASTM (American Society for Testing and Materials) una classificazione in 4 gruppi detti rispettivamente *grado 1*, *grado 2*, *grado 3* e *grado 4*. Per ciascuno di tali gruppi è stato definito il contenuto massimo di azoto, carbonio, idrogeno, ossigeno e ferro, nonché i valori minimi di alcune caratteristiche meccaniche.

Grado	% N	% C	% H	% O	% Fe	Modulo elastico (MPa)	Carico di rottura (MPa)	Allungamento (%)
Gr 1	0,03	0,10	0,01	0,18	0,20	170	240	24
Gr 2	0,03	0,10	0,01	0,25	0,30	275	345	20
Gr 3	0,05	0,10	0,01	0,35	0,30	380	450	18
Gr 4	0,05	0,10	0,01	0,40	0,50	485	550	15

Grado 1: titanio commercialmente puro con basso contenuto di ossigeno. Questa qualità ha basso carico di rottura e alta duttilità, viene utilizzato per il profondo stampaggio ed è adatto alla deformazione a freddo.

Grado 2: titanio commercialmente puro con un più alto contenuto di ossigeno ed una maggior resistenza rispetto al grado 1. E' il titanio commercialmente puro più largamente usato e offre il miglior compromesso di resistenza, saldabilità e formabilità.

Grado 3: titanio commercialmente puro con contenuto di ossigeno ancora maggiore del grado 1 e 2 (maggior resistenza e minor duttilità); inoltre, è ben saldabile. Viene utilizzato per la costruzione di recipienti in pressione.

Grado 4: titanio commercialmente puro con le caratteristiche di resistenza più elevate. Viene utilizzato per organi di trasmissione e nell'industria aeronautica.

Nell'utilizzo del titanio per il castello motore e/o i suoi accessori, si utilizzerà titanio appartenente al Gruppo 2, in quanto è un buon compromesso tra proprietà meccaniche e lavorabilità (in particolare, la saldabilità).

L'alluminio

Per quanto riguarda l'alluminio, anch'esso, come il titanio, è un elemento primo, ma viene sempre utilizzato sotto forma di leghe tra le più svariate. L'alluminio possiede caratteristiche meccaniche nettamente inferiori all'acciaio e al titanio, tuttavia ha la caratteristica di essere molto leggero.

Mediamente l'acciaio ha densità di $7.8 - 8.0 \text{ g/cm}^3$, il titanio $4.4 - 4.8 \text{ g/cm}^3$, mentre l'alluminio si attesta nel range di $2.5 - 2.9 \text{ g/cm}^3$. Si nota, quindi, che l'alluminio pesa circa la metà del titanio e un terzo dell'acciaio. Di contro, i valori di snervamento dell'acciaio possono raggiungere e superare i 1000 MPa, così come il titanio pregiato. L'alluminio raramente supera i 300 MPa.

Nonostante il problema relativo alle tensioni di snervamento, l'alluminio è sicuramente una buona soluzione per la realizzazione del castello motore, tanto che si utilizzerà una sua lega per realizzarlo: la 5086-O.

La lega d'alluminio 5086-O ha densità $2,66 \text{ g/cm}^3$. La composizione chimica è:

Cromo 0.05 – 0.25 % ; rame 0,1 % massimo ; ferro 0,5 % massimo ;
magnesio 3.5 – 4.5 % ; manganese 0.2 – 0.7 % ; silicio 0.4 % massimo ;
titanio 0.15 % massimo ; zinco 0.25 % massimo ; altri 0.15 % massimo. Rimanente:
alluminio.

La lega presenta le seguenti proprietà meccaniche in un range da -28°C a $+100^\circ\text{C}$:

tensione di snervamento: 117 MPa;

tensione di rottura: 262 MPa;

modulo elastico: 71000 MPa;

allungamento a rottura: tra 22 - 30 %, dipendente dalla temperatura.

La lega d'alluminio 5086 è molto usata per costruire piccole imbarcazioni e yacht, è molto leggera, resistente allo sforzo e alla corrosione. Ha, inoltre, la caratteristica di essere facilmente saldabile mediante arco elettrico (tipicamente saldature TIG e MIG) e la variazione delle proprietà meccaniche non varia apprezzabilmente nel cordone di saldatura.

La lega 5086-O è la lega di base, esistono varianti di essa la cui composizione chimica è identica ma cambiano le proprietà meccaniche a causa di processi termici, generalmente tempre. Queste varianti (denominate H111, H112, H116, H321) hanno proprietà meccaniche più elevate della versione O, ma imprevedibili dopo saldatura. Poiché per realizzare il castello motore si dovranno realizzare parecchie saldature, si decide di utilizzare la lega Al 5086-O.

- **Gli attacchi motore**

Per realizzare il castello motore, la prima cosa da fare è cercare di capire la posizione degli attacchi sul motore, cioè gli attacchi con cui esso viene alloggiato nel vano motore nelle versioni automobilistiche.

Per trovare gli attacchi si è prima cercato in un manuale d'officina per avere un'idea di come il motore viene alloggiato sulla vettura. Successivamente, si è visionato il motore per avere un riscontro della posizione dei fori di attacco e, in ultimo, li si è cercati nel modello tridimensionale del gruppo basamento-testata del FIAT 1300 jtd realizzato in precedenza.

Nella versione automobilistica, i supporti del gruppo motopropulsore hanno la funzione di collegamento strutturale tra motopropulsore e scocca, sono dimensionati per reggere il peso del motopropulsore e sopportare i carichi derivati dalla coppia trasmessa dal motore. Ciascun supporto è provvisto di un tassello in gomma-metallo che ha il compito di smorzare le vibrazioni generate dal motore, riducendo in gran parte le vibrazioni trasmesse alla scocca.

Si tratta di una supportazione motopropulsore di tipo baricentrico, composta da due tasselli più una bielletta di reazione che funge da tirante (questa bielletta non sarà necessaria

nell'installazione sull'aereo), in cui i supporti sono allineati su un asse passante per il baricentro del motore, in modo da ottenere forze di reazione di braccio nullo.

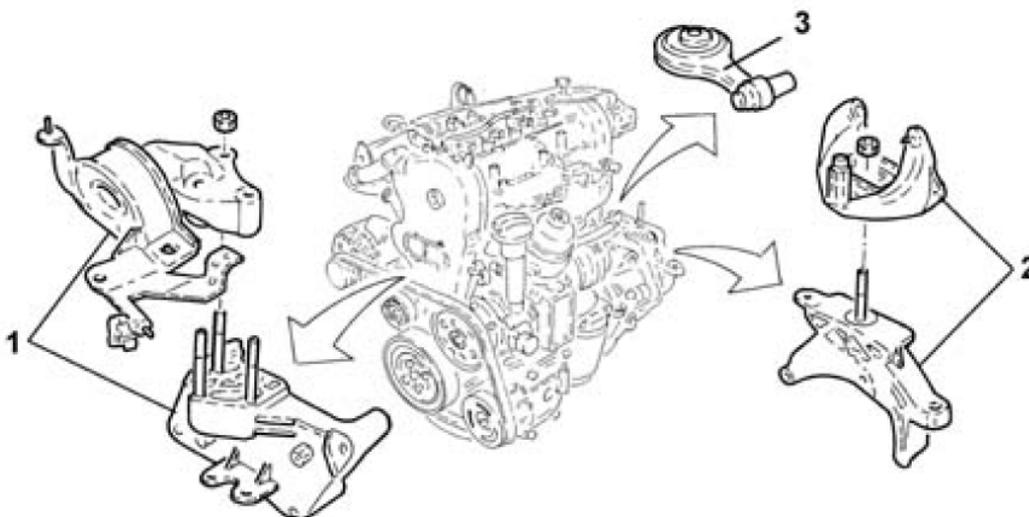


Figura 26 supporti motore FIAT 1300 jtd

In figura 1 è riportato lo schema dei supporti in uso dalla FIAT per alloggiare il motore; sono visibili il supporto lato distribuzione (1), il supporto lato cambio (2) ed il tirante di reazione (3).

Si nota che il supporto lato distribuzione è formato da una piastra che viene collegata, dal lato motore, mediante due viti al basamento e altre due viti alla testata. La piastra è montata a sbalzo per lasciare lo spazio necessario al carter olio. Dall'altra parte la piastra è collegata, mediante smorzatore, ad un supporto solidale col telaio. Questo schema di attacco mediante piastra è stato utilizzato anche nell'alloggiamento aereo, anche se si è dovuta realizzare una piastra ad hoc.

Dall'altro lato del motore rispetto alla piastra, esso è collegato a un supporto (a sua volta collegato tramite smorzatore al telaio) che non si attacca direttamente al basamento ma alla campana della frizione. Poiché nella versione aeronautica la frizione e la relativa scatola vengono rimossi, verranno realizzati dei supporti che si attaccheranno direttamente ai fori predisposti per l'attacco della trasmissione al basamento. Per motivi di spazio si è deciso di integrare a questi supporti il telaietto che sorregge il riduttore.

In figura 2 è riportata la foto degli attacchi (fori filettati M10) del motore dal lato distribuzione. Con 1 e 2 sono indicati i fori sulla testata, con 3 e 4 i fori sul basamento e con 5 è indicato l'attacco per la pompa dell'acqua.



Figura 27 attacchi motore lato distribuzione

In figura 3 è riportata la posizione degli attacchi del motore, indicati con 1 e 2, dal lato trasmissione realizzati nel modello tridimensionale del basamento.

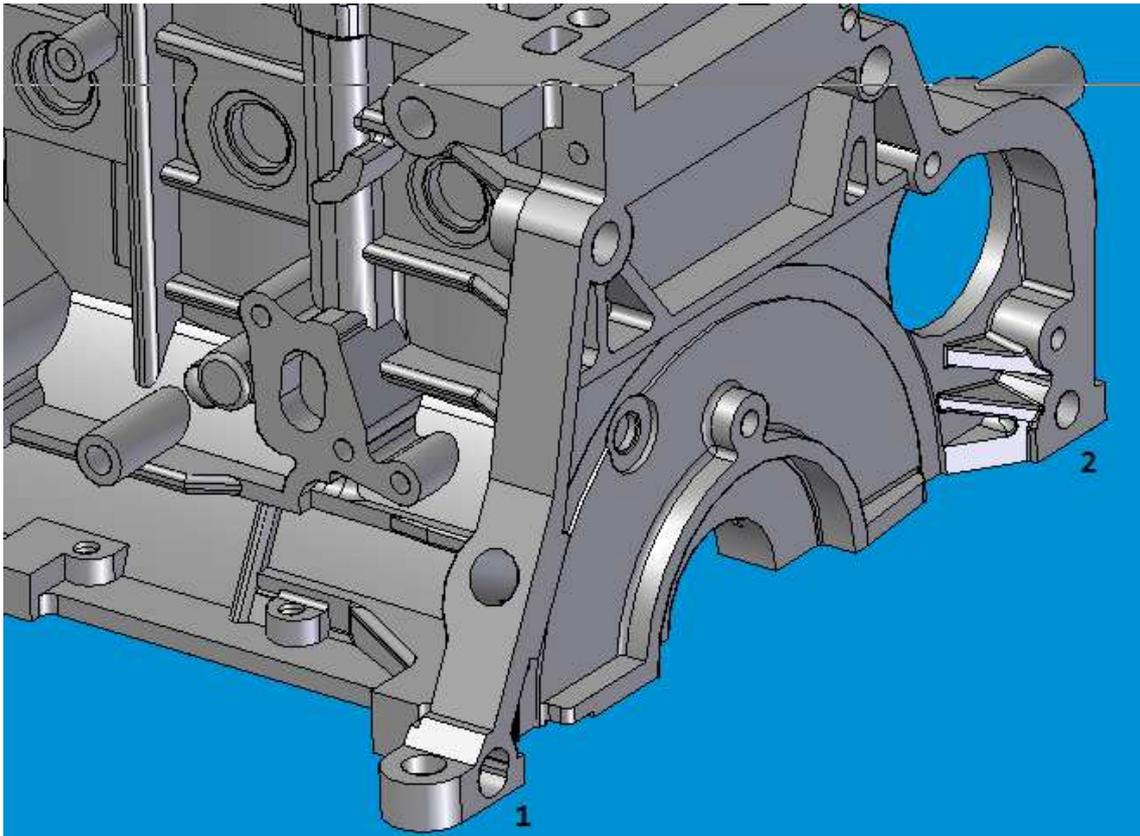


Figura 28 attacchi motore lato trasmissione

Si è quindi proceduto alla modellazione al CAD della piastra nuova, rappresentata in figura 4. La piastra è stata realizzata in titanio, unendo (mediante saldatura) tre travi di sezione quadrata cava di dimensioni 50 x 50 mm e spessore 2 mm; le travi in questione sono quelle numerate con 1, 2 e 3. La quarta trave, che chiude il quadrilatero, è indicata con 4 ed è di sezione rettangolare cava 60 x 50 mm di spessore 2 mm. Su questa piastra sono fissate le guide delle viti (che attraversano la sezione scatolata in tutta la sua lunghezza) indicate con 8, 9, 10 ed 11. Il perno cavo (5), avente diametro esterno 30 mm e diametro interno 16 mm, è messo in modo da attraversare tutta la piastra a cui viene saldato col pezzo 4. Al perno cavo vengono saldate alle estremità dei perni pieni filettati (6 e 7).

Il montaggio è molto semplice, la piastra viene appoggiata al motore in modo tale che le guide 8, 9, 10, 11 coincidano con i fori M10 presenti su basamento e testata (guide 8 e 9 per la testata; 10 e 11 per il basamento), e serrata con quattro viti M10 che la attraversino in tutta la sua lunghezza. In questo modo la piastra diventa solidale al motore e

successivamente verrà collegata, attraverso i perni filettati 6 e 7, agli smorzatori solidali col castello motore, mediante bulloni autofrenanti M16.

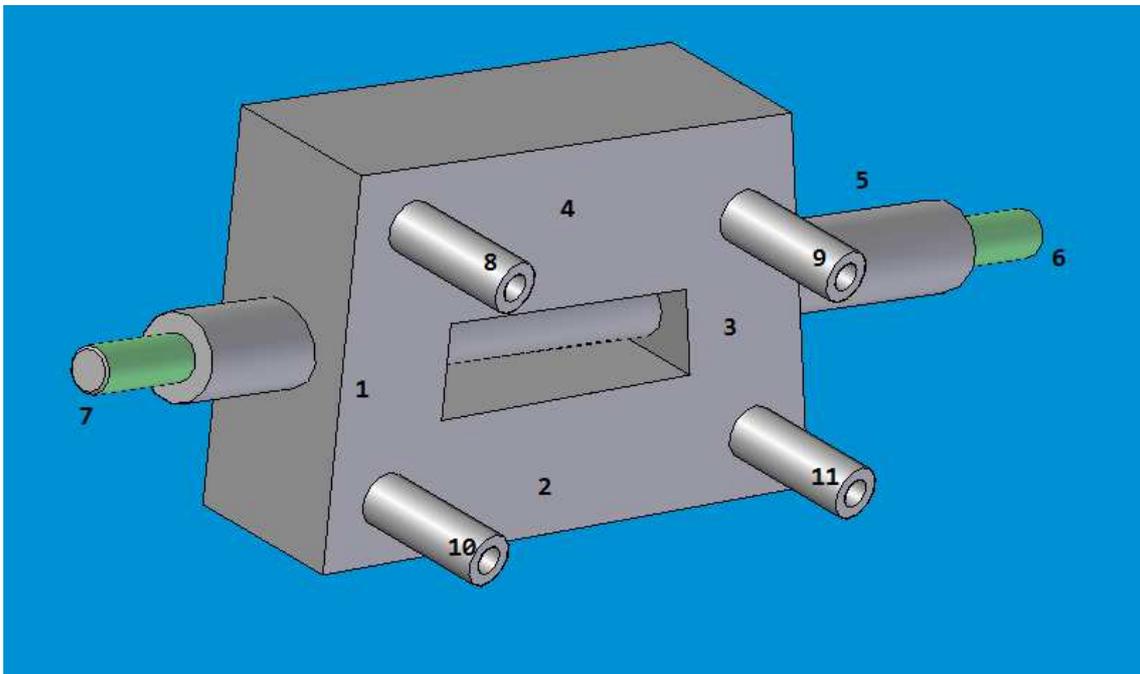


Figura 29 piastra d'attacco lato distribuzione

In corrispondenza degli attacchi lato trasmissione verranno invece montati due supporti in titanio scatolati, dotati di perni filettati M20 che verranno integrati con il telaio di supporto del riduttore. Anche i due supporti anteriori andranno a collegarsi agli smorzatori solidali con con il castello motore.

In figura 5 è riportato l'assemblaggio completo del motore con supporti, piastra e riduttore (nella figura mancano alcuni ausiliari omessi per chiarezza dell'immagine e perché inutili ai fini del fissaggio del gruppo motore-riduttore). Tale assemblaggio è completo e pronto per essere montato nel castello motore.

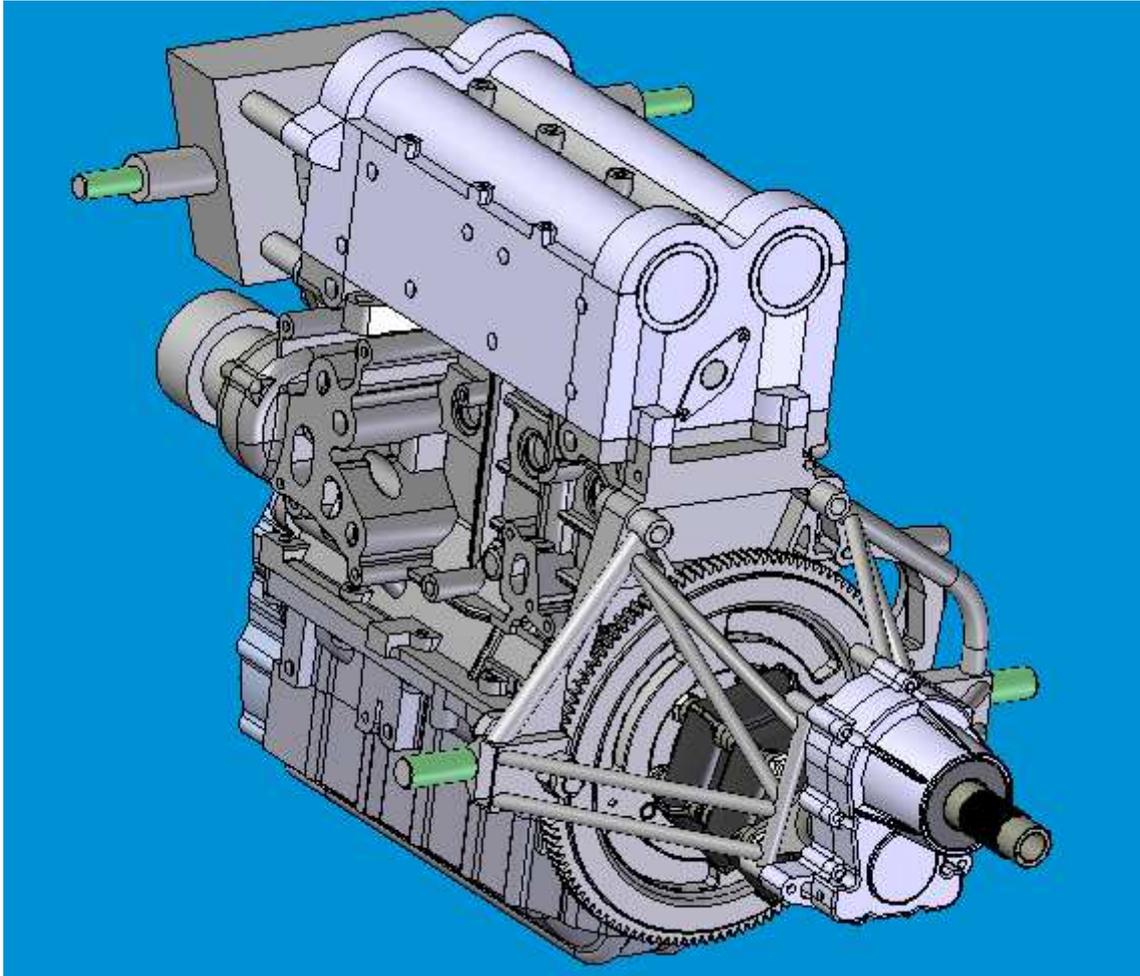


Figura 30 gruppo motore-riduttore con supporti e piastra

- **Modellazione del castello motore**

Per la modellazione del castello motore, si è cominciato posizionando in un ambiente Assembly in Solid Edge il gruppo motore-riduttore di figura 5 e il disegno tridimensionale del parafiamma dell'aereo. Il posizionamento è stato fatto utilizzando opportuni vincoli per realizzare le richieste esplicitate nell'introduzione di questo capitolo. Successivamente, sono stati aggiunti tutti gli ausiliari solidali col motore e gli smorzatori. A questo punto, si è modellato il castello motore in modo che collegasse tutti gli attacchi, potesse alloggiare gli smorzatori e non andasse in interferenza con alcun elemento (in particolare, dal lato distribuzione si è dovuta prestare molta attenzione e sono state realizzate colonne di sostegno abbastanza larghe da non interferire con la cinghia dei servizi, ed allo stesso tempo messe in modo da permettere di montare il motore il meno a sbalzo possibile).

Le travi usate per realizzare il castello motore sono tutte a sezione rettangolare di dimensioni esterne 45 x 20 mm con spessore 2 mm.

Successivamente sono stati posizionati gli scambiatori (radiatore ed intercooler) al di sotto del motore, poiché lateralmente non c'era spazio. Si sono tentate più geometrie di posizionamento, per poi decidere di montarli uno verticale ed uno orizzontale in serie. È, quindi, stata realizzata la parte del castello motore (in tubi cavi) che sorregge la scatola d'alloggiamento del radiatore e i supporti dell'intercooler.

Infine, sono stati posizionati tutti gli ausiliari non direttamente collegati al motore, ma al castello (batteria, filtro del gasolio, pompa di bassa pressione del gasolio) e, dopo aver realizzato tutte le tubazioni e i convogliatori, sono stati realizzati i fori per permettere di imbullonare o rivettare (nel caso dei convogliatori) tutti gli elementi al castello motore.

In figura 6 è raffigurato il castello motore così ottenuto, agganciato al parafiamma. Nell'immagine sono segnati con "a" i due alloggiamenti degli smorzatori in cui si collegherà la piastra, con "b" i due alloggiamenti degli smorzatori in cui si impegneranno i due attacchi dal lato trasmissione, con "c" i supporti dell'intercooler e con "d" la scatola del radiatore saldata al castello. Tutti i fori visibili nell'immagine e non segnati da lettere sono predisposti per viti M6 e servono al fissaggio di tubi o ausiliari rispettivamente.

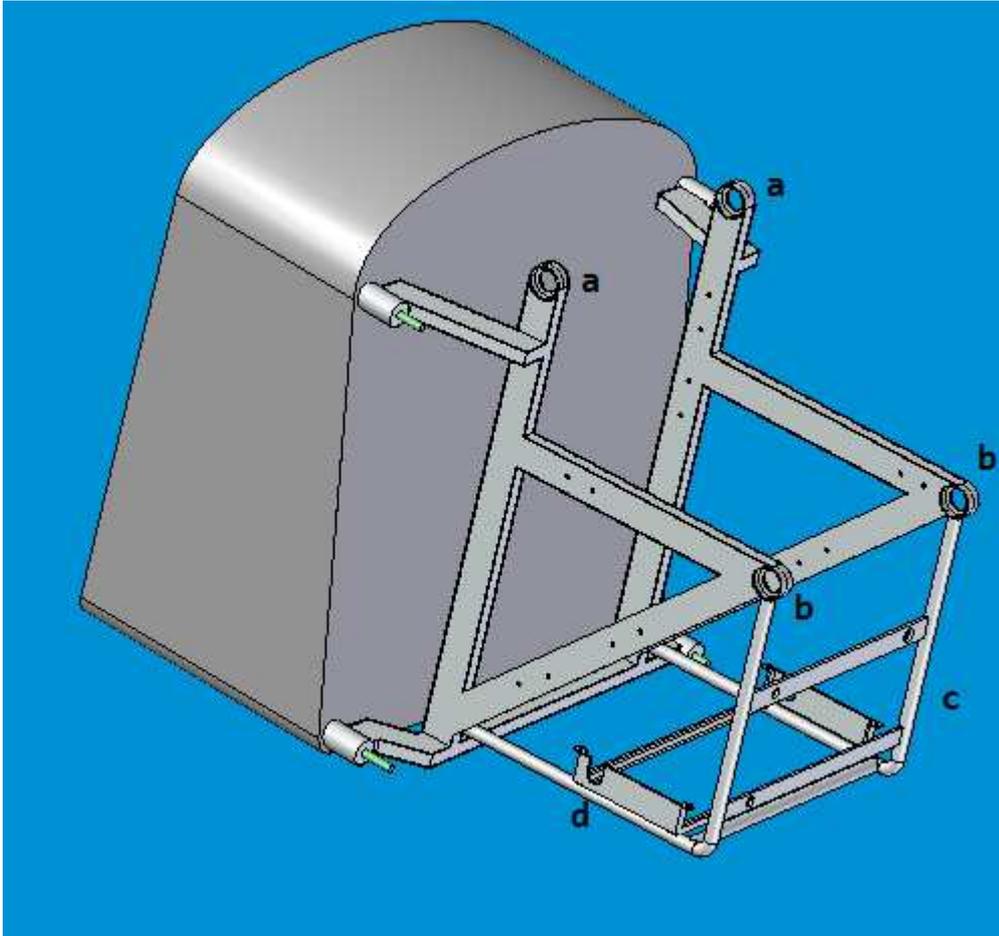


Figura 31 castello motore ancorato al parafiamma

- **Nuova modellazione castello motore**

La precedente versione del castello motore è stata ritenuta non adatta a successive applicazioni in velivoli ultraleggeri a causa di alcuni ingombri i quali sono stati di difficile soluzione nella fase di studio e progetto. Allora si è studiato una nuova soluzione che fino qui sembra poter soddisfare i requisiti prefissati in fase progettuale. Le successive immagini mostrano i vari componenti che costituiscono tale assieme.



Figura 7: telaio base dove si notano i braccetti laterali dove si collocheranno i futuri organi di fissaggio del motore.

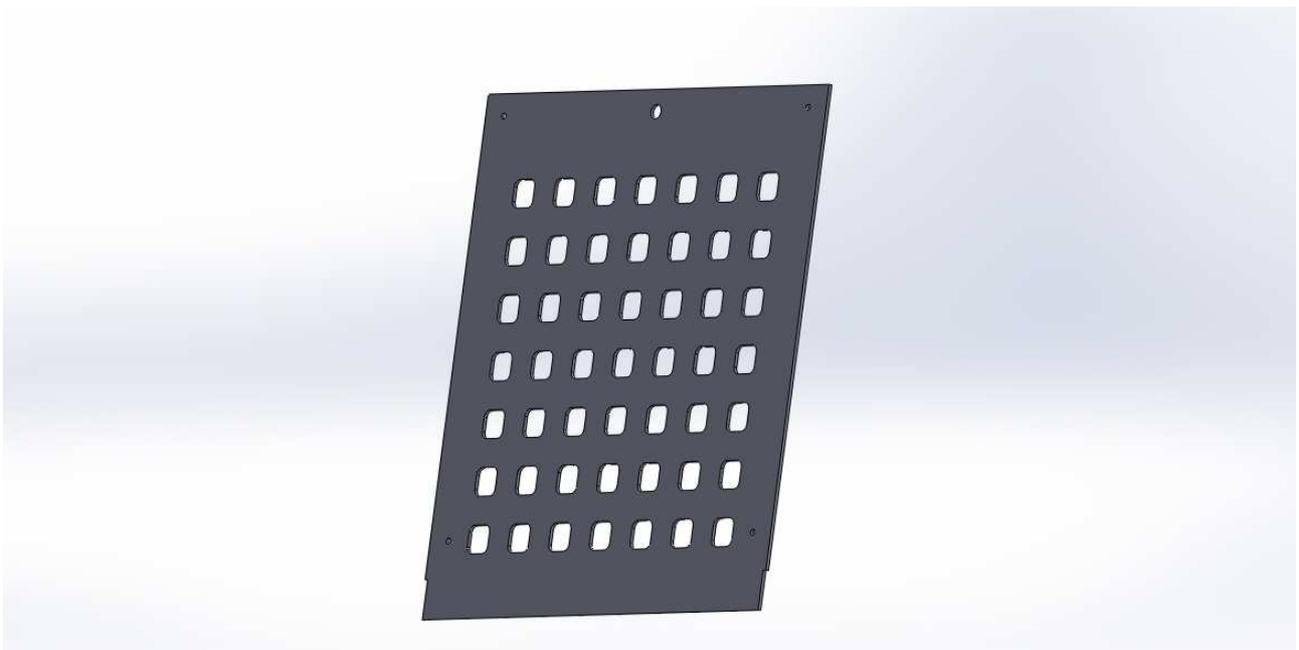


Figura 8: piastra forata e opportunamente sagomata per motivi d'ingombro e di esercizio.

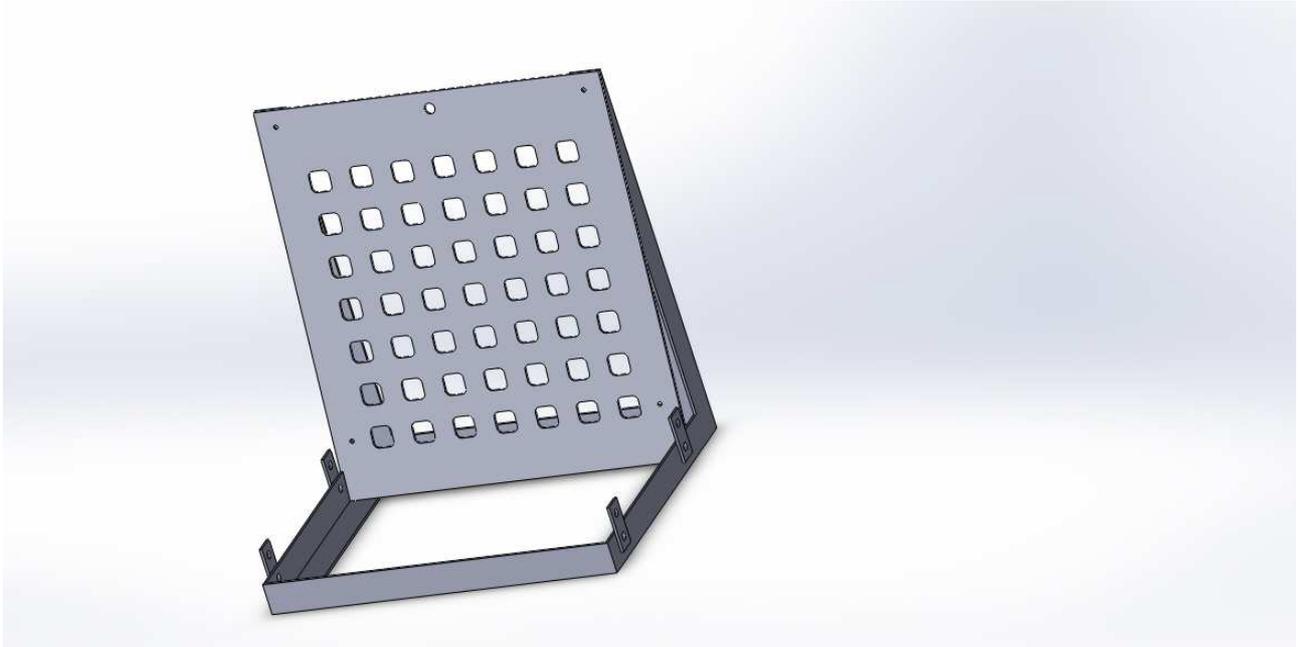


Figura 9: assieme dove verrà collocato il motore una volta che si saranno posizionati e serrati i vari particolari di collegamento.

Capitolo 7

Lo scarico e protezioni

- **Introduzione**

Ogni qualsivoglia motore a combustione interna dopo la conclusione della terza fase del ciclo termodinamico subentra quella che si definisce fase di scarico cioè i prodotti della combustione della miscela tra carburante e comburente vengono espulsi tramite l'apertura della di valvola di scarico presente nella testata del medesimo motore. Questi prodotti della combustione; i quali sono composti per il 99% da azoto, acqua, monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (diossido di carbonio), ossigeno, idrogeno ed idrocarburi incombusti; non possono essere espulsi direttamente in atmosfera ma passano prima nel collettore di scarico e successivamente in quello che si chiama marmitta. Il sistema di scarico svolge la funzione di collegare, dal punto di vista fluidodinamico, il motore ad un eventuale gruppo di sovralimentazione, che aumenti artificialmente la densità dell'aria con

cui l'unità motrice viene alimentata. Altresì attenuare il rumore di natura gasdinamica dovuto al sistema di onde di pressione prodotte dall'instazionarietà dei processi che vi hanno luogo. Queste onde di pressione si propagano (con la velocità del suono rispetto al moto del fluido) lungo l'impianto che collega, dal punto di vista fluidodinamico, il motore all'ambiente, riflettendosi parzialmente ad ogni discontinuità ed interagendo con altre onde eventualmente incontrate. Poiché le pareti della struttura non sono mai perfettamente rigide, queste oscillazioni di pressione ne provocano delle vibrazioni, con conseguente emissione di rumore verso l'ambiente. Ovviamente il gruppo di scarico al suo interno viene con opportune lavorazioni reso più "silenzioso" per ridurre il più possibile il rumore che provoca.

- **Materiale**

Il complessivo che verrà mostrato nella figura successiva è stato realizzato in acciaio per usi generali. L'acciaio è una lega composta da ferro e carbonio con percentuale di quest'ultimo che può arrivare fino al 2,08%. Il carbonio nell'acciaio compare sempre come carburi di ferro Fe_3C (cementite) mentre il ferro è un prodotto siderurgico ma il suo impiego industriale è molto limitato. Ovviamente la percentuale scelta tra i due elementi è stato, come al solito, una scelta di compromesso perché se da un lato, all'aumentare della percentuale di carbonio degrada in maniera significativa la saldabilità e la tenacità del materiale, dall'altro migliorano la durezza e la resistenza meccanica. Quindi:

Acciaio al carbonio; densità: $7,83 \text{ gr/cm}^3$; tipo di struttura: ferritica; temperatura di fusione: $1400-1500^\circ\text{C}$; allungamento percentuale: 10; carico di rottura: 30 kg/mm^2 ; carico di snervamento: 38.67 kg/mm^2 ; durezza (in gradi Rockwell): 80-95 R_B.

- **Disegno al CAD**

Per effettuare il collegamento tra motore e gruppo turbocompressore si è optato per una soluzione apparentemente grezza ma rivelatasi efficace quando ci si è apprestati a verificarne la funzionalità in tutto il suo insieme. La figura mostra il complessivo, correlato dai vari particolari, fungente da collegamento tra unità motrice e gruppo turbocompressore.

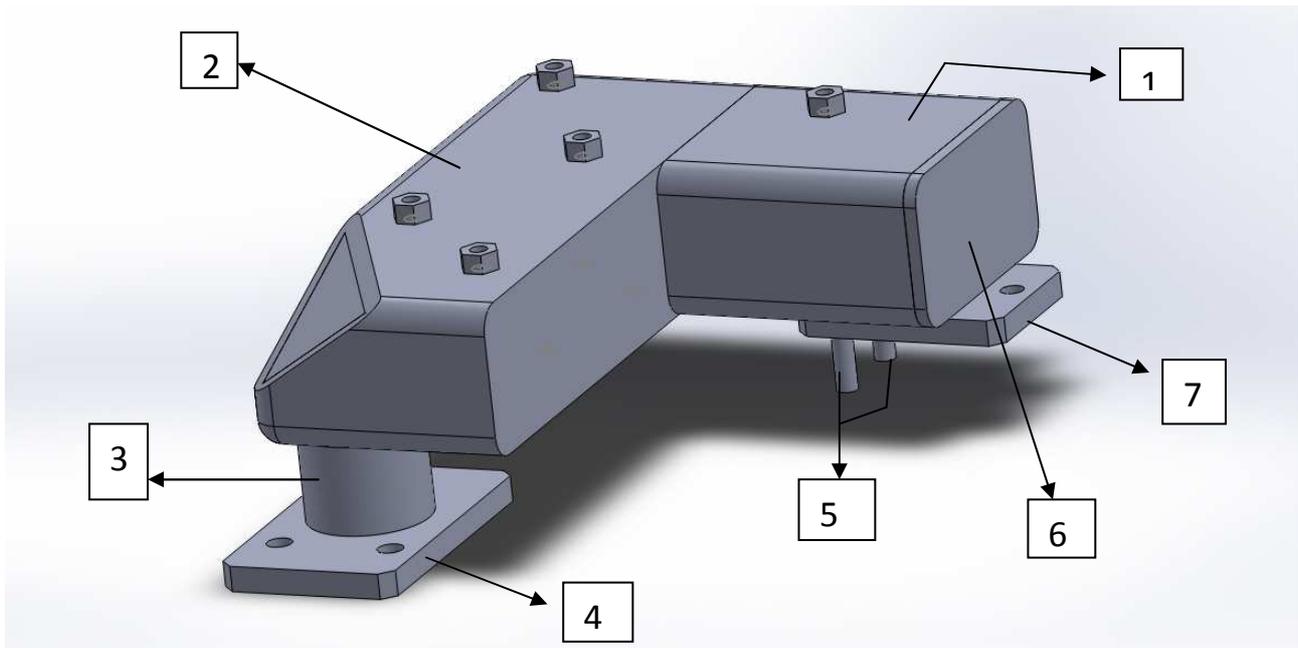


Figura 1: assieme collegante motore con gruppo turbocompressore.

Si riportano nell'ordine i vari membri facenti parte del complessivo che risultano essere:

1. Tubolare attacco lato motore (collettore di scarico),
2. Tubolare attacco lato gruppo turbocompressore,
3. Boccola collegante il membro 2 con il successivo membro,
4. Piastra attacco lato gruppo turbocompressore,
5. Barrette filettate M8, saldate al membro 1, le quali verranno calettate nel collettore di scarico del motore,
6. Piastra saldante il foro presente nel membro 1,
7. Piastra attacco lato motore (collettore di scarico).

- **Lamierini di protezione**

La struttura così ottenuta nel paragrafo precedente mostra nella parte superiore e inferiore dei dadi che ubicati in quel modo sembrano messi lì a caso. Ciò, naturalmente, trova pronta smentita perché la messa a dimora dei dadi è stata voluta per poter fissare al complessivo dei lamierini i quali dovranno svolgere la funzione di proteggere il gruppo turbocompressore e la zona del motore situate in prossimità della struttura collegante l'unità

motrice con il gruppo di sovralimentazione. Il lavoro svolto risulta essere più esplicito con le immagini che lo riguardano.



Figura 2: lamierini che proteggono il gruppo turbocompressore.



Figura 3: lamierini che proteggono le zone limitrofe dell'unità motrice.

- **Materiale**

Il materiale adoperato per eseguire le protezioni è il rame. Metallo di color rosso salmone, simbolo chimico Cu e numero atomico 29, con struttura reticolare cubica a facce centrate. Appartiene agli elementi di transizione della tavola periodica, nella stessa colonna di argento e oro, con cui ha molte affinità chimico-fisiche. Possiede una spiccata attitudine a legarsi con altri metalli, formando un elevatissimo numero di leghe (bronzo, ottone, lega alluminio-rame solo per citarne alcune) di interesse tecnologico. Ha scarsa affinità con l'ossigeno e a contatto con la maggior parte dei metalli, generalmente meno nobili, non subisce corrosione galvanica. E' l'unico, tra i metalli puri di uso industriale, ad avere un potenziale elettrochimico positivo: questo gli consente di non sciogliersi negli acidi a meno che non siano fortemente ossidanti quali HNO_3 e H_2SO_4 (acido solforico). Il rame viene ricavato principalmente dalla calcopirite (CuFeS_2) e dalla calcosina (Cu_2S), che lo contengono dall'1 al 4% nonché dalla cuprite (Cu_2O). Quindi:

Rame; temperatura di fusione: 1083°C ; temperatura di ebollizione: 2595°C ; densità a 20°C : $8,91 \text{ kg/dm}^3$; carico di rottura (ricotto): circa 220 N/mm^2 ; carico di rottura: $240\text{-}480 \text{ N/mm}^2$; durezza Brinell: $50\text{-}120 \text{ HB}$.

Capitolo 8

Immagini finali e conclusione

- **Immagini finali**

Si riportano alcune viste dell'assemblaggio complessivo del castello motore al parafiamma con montati tutti gli elementi necessari al corretto funzionamento.



Figura 1: protezione gruppo turbocompressore.



Figura 2: protezione zone limitrofe unità motrice.



Figura 3: particolare collegato al gruppo della sovralimentazione con protezioni. Si nota lo “sbocco” eseguito per applicare il connettore alla turbina.



Figura 4: vista dall'alto della figura 3.

- **Conclusione**

Questo elaborato mostra che l'idea di montare un motore automobilistico, come il FIAT 1300 jtd, su un aereo ultraleggero, quale è l'Enjoy, è ampiamente realizzabile. In questo studio si è cercato di analizzare approfonditamente tutti i dispositivi necessari e si è proposta una strada per adattarli alle nuove esigenze. Ovviamente la soluzione proposta non è l'unica disponibile, perciò non si può escludere che ne esista una ancora più vantaggiosa. Se si deciderà di rimettere mano alla disposizione degli elementi bisognerà comunque fare attenzione che nulla venga montato dal lato scarico per via delle alte temperature, eccezion fatta per quei pezzi facenti parte del circuito scarico stesso.

Il peso complessivo di pochissimo inferiore ai 6 kg di tutto il particolare che collega il collettore di scarico alla turbina è sicuramente un buonissimo risultato. Soprattutto se si considera il fatto che, ottimizzando i disegni della sezione interna e cambiando materiale, si può ulteriormente pensare di abbattere il peso anche di un altro chilogrammo circa.

Si può pensare di realizzare un riduttore ad interasse più lungo (magari a cinghia), in modo da poter abbassare il motore rispetto alle viti prigioniere dei supporti. In questo modo sarebbe possibile impedire al motore di sporgere dalla parte superiore della sagoma frontale del parafiamma, pur mantenendo rispettati i requisiti sul posizionamento dell'asse elica. Nel caso non si voglia realizzare questa modifica sarà necessario predisporre la carenatura con un rialzo per lasciare spazio al motore.

Detto ciò è evidente che considerando i costi, i consumi e l'affidabilità di un motore automobilistico prodotto in larghissima serie rispetto ai motori aeronautici medi, l'installazione risulta non solo realizzabile, ma può avere un buon ritorno economico. Ciò è dovuto anche all'utilizzo, nell'installazione, di componenti reperibili in commercio a prezzi ragionevoli, mentre i pezzi non reperibili sono stati modellati con geometrie molto semplici, perciò non sono complessi (e costosi) da realizzare.

Bibliografia

- Donald Kern,
Process Heat Transfer
McGraw-Hill, 1950
- William Kays – A.L. London
Compact Heat Exchangers
McGraw-Hill, 1984
- Alessandro Cocchi
Elementi di termofisica generale e applicata
Esculapio, 1998
- Giorgio Minelli
Motori Endotermici Alternativi
Pitagora, 1998
- Francesco Cesari – Vincenzo Dal Re
Esercizi di Meccanica delle strutture
McGraw-Hill, 2009
- Luigi Baldassini
Vademecum per disegnatori e tecnici (19° edizione)
Hoepli, 2002
- Giuseppe Cantore
Macchine, appunti tratti dalle lezioni del Prof. Giuseppe Cantore
Progetto Leonardo, 1999
- Fausto Caboni

Costruzione di Macchine

Pitagora, 1974

- G. Manfè – R. Pozza – G. Scarato
Disegno Meccanico, vol. I – II – III
Principato, 2002
- E. Funaioli – A. Maggiore – U. Meneghetti
Lezioni di meccanica applicata alle macchine, vol. I – II
Patron, 2005
- FIAT Auto
Manuale di assistenza tecnica Lancia Y (CD-Rom)
FIAT Auto, 2003
- FIAT Auto
Manuale di assistenza tecnica FIAT Grande Punto (CD-Rom)
FIAT Auto, 2006

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia:

Il prof. Ing. Luca Piancastelli per la tanta allegria e per la sua più completa disponibilità nei miei confronti senza dimenticare il suo grande aiuto per realizzare questo elaborato.

L'officina C.L.S. Titanium Parts, ubicata in via Monte San Michele 25, Forlì, per avermi lasciato adoperare le loro attrezzature per eseguire misure e rilievi sul motore.

Il sig. Giorgio, proprietario della SALTEC 2000, per avermi aiutato alla realizzazione di alcuni particolari con lo scopo di adattarli al nuovo progetto.

Gli assistenti del prof. Ing. Piancastelli Luca per la disponibilità e la pazienza nell'aiutarmi e nel farmi comprendere ragionamenti ed argomenti non affrontati in ambito accademico.

Tutti i laureandi, che a breve diventeranno ex, per l'aiuto concessomi in applicazioni ed utilizzo di software che fino a quel momento, a me, erano sconosciute/o.

Per ultimo, ma non meno importante, ringrazio sentitamente la mia famiglia per l'enorme supporto morale ed economico nell'affrontare quello che per me è stato, fino a questo momento, il più grosso sbaglio della mia vita.

