



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**Progetto di un serbatoio benzina in fibra di carbonio per una
vettura di Formula SAE**

Design of a carbon fiber fuel tank for a Formula SAE car

Relatore:

Chiar.mo Prof. Marco Sasso

Tesi di Laurea di:

Daniele De Angelis

Anno Accademico 2020 / 2021

*Alla mia Famiglia,
a Francesco e Maria Grazia*

SOMMARIO

Lo studio descritto in seguito si è incentrato nel risolvere le problematiche relative al serbatoio di benzina presente nella Peacock 4, la vettura di Formula SAE del Polimarche Racing Team.

Per far questo si è cercato di attingere a più informazioni possibili all'interno del team e non solo, domandando a chi ha esperienza nel campo, con la consapevolezza di avventurarsi in un settore specifico, quello dei materiali compositi, con lo stimolo di imparare sempre nozioni innovative.

Si è partiti dal fatto che il vecchio serbatoio aveva importanti fuoriuscite di benzina, un peso troppo elevato, una capienza eccessiva e la pompa del carburante era sovradimensionata per l'uso che se ne deve fare.

Si è quindi cercato di minimizzare gli ingombri per risparmiare peso e aumentare lo spazio a disposizione all'interno del telaio rispettando i limiti imposti dal regolamento. Successivamente è iniziata la ricerca del materiale più adatto, con la giusta resistenza chimica e meccanica, per poter resistere all'azione corrosiva della benzina. Si è proseguito con lo studio degli stampi per la laminazione del carbonio e la loro realizzazione, rispettando i vincoli relativi alla geometria.

È stata poi studiata la componentistica riguardante l'impianto di alimentazione del carburante, cercando di ridurre i pesi e di semplificarlo, al fine di aumentarne l'affidabilità.

La laminazione è avvenuta in azienda, eseguendo tutte le operazioni necessarie affinché il risultato potesse essere il migliore ottenibile viste le limitazioni nel budget.

Infine, sono state eseguite tutte le lavorazioni di post curing, il fissaggio in auto e verificato il corretto funzionamento del serbatoio.

Tutto il progetto è stato pensato e realizzato rispettando i limiti imposti dal regolamento della Formula Student Germany 2020, applicato in tutte le gare europee del campionato.

In questa tesi sono stati descritti, divisi in capitoli e in ordine cronologico, i vari step che hanno portato alla risoluzione delle problematiche e alle migliorie.

Buona lettura

Indice

1	La Formula Student	1
1.1	La competizione	1
1.2	Eventi statici	2
1.2.1	Cost and Manufacturing Event	2
1.2.2	Business Plan Presentation Event	2
1.2.3	Engineering Design Event	2
1.3	Eventi dinamici	3
1.3.1	Acceleration event	4
1.3.2	Skidpad event	4
1.3.3	Autocross event	4
1.3.4	Endurance and fuel efficiency	5
1.4	Punteggi	5
1.5	Polimarche Racing Team	6
1.5.1	Storia e struttura interna	6
1.5.2	Peacock 4 EVOLUZIONE (P4 EVO)	7
2	Cenni sui Materiali Compositi	8
2.1	Le Fibre	8
2.2	Le Matrici	9
2.3	Disposizione delle fibre	10
2.4	Prepreg	11
2.5	Curing process	12

Indice

3	Studio di fattibilità del progetto	13
3.1	Criticità del serbatoio precedente.....	13
3.2	Regolamento FSG.....	14
3.3	Ricerca delle soluzioni alternative.....	16
3.4	Diagramma di Gantt.....	19
4	Progettazione preliminare	20
4.1	Calcolo del volume e degli ingombri.....	20
4.2	Scelta del materiale.....	21
4.2.1	Resina E3-150N.....	22
4.2.2	Scelta del numero dei plies.....	23
4.2.3	Scelta della disposizione delle fibre.....	24
4.2.4	Scelta del curing process.....	25
4.3	Provino di verifica.....	26
5	Progetto definitivo	28
5.1	Studio dell'impianto di alimentazione del carburante.....	28
5.1.1	Scelta della pompa benzina.....	29
5.1.2	Scelta del nuovo circuito di alimentazione.....	31
5.2	Definizione della forma.....	31
5.3	Studio degli stampi del serbatoio.....	33
5.3.1	Studio della geometria e del materiale.....	33
5.3.2	Realizzazione degli stampi.....	35

Indice

6	Realizzazione del serbatoio	37
6.1	Operazioni preliminari	37
6.2	Laminazione del serbatoio	39
6.3	Operazioni post curing.....	41
6.4	Fissaggio in auto	44
	Conclusioni	45
	Riferimenti	47
	Software utilizzati	48
	Ringraziamenti	49

1 La Formula Student

1.1 La competizione

La Formula Student, conosciuta anche come formula SAE, è una competizione universitaria internazionale di design ingegneristico, proposta inizialmente dalla Society of Automotive Engineers (SAE).

La competizione prevede la progettazione e la produzione di un'auto da corsa in stile formula, partendo da zero e valutata durante una serie di prove in base alle sue qualità di progettazione e di efficienza ingegneristica. Istituita nel 1981, è diffusa in tutto il mondo, con svariati eventi annuali, organizzati direttamente dalla SAE o dalle varie associazioni nazionali di ingegneri e tecnici dell'automobile, con lo scopo di dare agli studenti universitari la possibilità di confrontarsi in una competizione che dia loro l'opportunità di mettere in pratica quanto appreso durante il proprio percorso di studi e che risulti quanto più appetibile e interessante.

L'idea posta alla base della Formula SAE è quindi quella di creare un evento universitario regolamentato, che portasse benefici sia per gli studenti che per le aziende, come per esempio, aumentare le possibilità di lavoro, lavorare in gruppo, rispettare i tempi di progettazione, preparare gli studenti alla reale vita lavorativa, incoraggiare la ricerca e l'innovazione guardando anche ai costi.



Figura 1-1 Panoramica con tutti i teams della Formula Student East, presso l'Hungaroring

Attualmente le categorie di ogni competizione sono 3: Classe 1C (per i veicoli a benzina), Classe 1E (per i veicoli elettrici) e classe 1D (per i veicoli Driverless). Ad esse se ne aggiunge una quarta, denominata Classe 3, a cui partecipano i teams che presentano solo il progetto della vettura, non partecipando quindi agli eventi statici e dinamici, evento che il Polimarche Racing Team ha vinto nel 2018 in Italia, a Varano de' Melegari.

La competizione si divide fundamentalmente in due tipologie di eventi, quelli statici e quelli dinamici.

1.2 Eventi statici

Le prove statiche hanno come obiettivo quello di valutare le modalità che ha adottato il team per realizzare il prototipo, valutandone i costi, il design ed il business plan.

1.2.1 Cost and Manufacturing Event

L'obiettivo è quello di valutare non soltanto il costo del prototipo, ma anche la capacità del team di giustificare le decisioni prese durante la progettazione, anche in base al budget a disposizione. È compito della squadra capire quali siano le tecniche e i processi da attuare durante la produzione dei componenti scelti in fase progettuale, ad esempio, se comprarli o progettarli, il cosiddetto “*make or buy*”.

1.2.2 Business Plan Presentation Event

Questa presentazione è finalizzata a valutare l'abilità del team nello sviluppare e consegnare un ampio ed esaustivo *business case* cioè, il prototipo deve essere, per chi ascolta, un'importante opportunità sulla quale poter investire i propri risparmi e ricavarne del profitto. L'evento è giudicato da persone provenienti dal mondo dell'automobile, pertanto il team deve ipotizzare di confrontarsi non soltanto con ingegneri, ma con un esecutivo rappresentante le varie aree di una società, inclusi manager di produzione, marketing e finanza.

1.2.3 Engineering Design Event

Il concetto alla base dell'evento è quello di valutare le scelte e gli sforzi progettuali, la squadra deve infatti saper rispondere alle domande poste dai commissari, giustificando ogni scelta effettuata in fase di progettazione, attraverso test, dati e validazioni tecniche al fine di provare che il prototipo sia effettivamente il risultato migliore auspicato dal team.

1.3 Eventi dinamici

Per poter partecipare a questa sezione di gara, il prototipo deve prima superare determinate ispezioni tecniche, al fine di verificare che il regolamento sia stato rispettato; di seguito vengono descritte le verifiche tecniche in ordine cronologico di svolgimento:

- **Pre-inspection:** pre-ispezione dove vanno presentati gli equipaggiamenti del pilota, gli estintori e due set di gomme. Segue poi la prova di *driver's egress*, ossia l'uscita dall'auto in caso di emergenza, da parte del pilota, da effettuarsi in meno di 5 secondi;
- **Mechanical Inspection:** qui viene ispezionato ogni singolo componente della vettura affinché si provi la corretta attuazione del regolamento;
- **Tilt Test:** la monoposto viene inclinata lateralmente di 60° , per controllarne la stabilità a ribaltamento e la fuoriuscita di liquidi;
- **Noise Test:** viene misurato il livello di emissione sonora mediante analisi fonometrica, che deve rientrare nei 103db al minimo dei giri motore e 110db quando la velocità del pistone raggiunge i 15.25 m/s;
- **Vehicle Weighting:** pesa del veicolo con serbatoio pieno.
- **Brake Test:** prova di frenata della vettura con bloccaggio delle 4 ruote senza far spegnere il motore.



Figura 1-2 P4 Evo durante il Tilt Test in Formula Student East 2021

Dopo aver effettuato le verifiche sopra citate, l'auto può proseguire con gli eventi dinamici, quelli più fedeli al motorsport.

1.3.1 Acceleration event

Lo scopo della prova è quello di accelerare nel minor tempo possibile in un percorso rettilineo lungo 75 m e largo 5m, ogni team ha a disposizione 4 run, divise fra due piloti.

1.3.2 Skidpad event

L'auto deve percorrere un tracciato a forma di 8, in cui deve affrontare due curve a destra, delle quali solo la seconda è cronometrata e di seguito due a sinistra, dove solo la prima viene cronometrata. Il diametro interno dei due cerchi è di 15,25 m e la distanza tra i due centri è di 18,25 m. Anche qui si hanno a disposizione 4 run, 2 per ogni pilota.

1.3.3 Autocross event

In questa prova il tracciato rimane sconosciuto fino poche ore prima, i piloti possono soltanto fare un *trackwalk* cioè un giro a piedi per cercare di memorizzare il circuito. Lo scopo di questa gara print è quello di percorrere nel minor tempo possibile il circuito di circa 1km con l'auto, evitando di colpire i coni che lo delimitano per non incorrere in penalità. Il numero delle run e le modalità sono le stesse.



Figura 1-3 P4 Evo durante l'Autocross in Formula Student East

1.3.4 Endurance and fuel efficiency

L'obiettivo dell'evento è quello di valutare l'affidabilità della vettura nella percorrenza di un circuito con un layout simile a quello dell'Autocross, ma con lunghezza totale di circa 22km e cambio del pilota obbligatorio a metà gara. L'endurance è l'evento che chiude le gare e sicuramente è quello più stressante, sia per l'auto che per il pilota, dal punto di vista tecnico e prestazionale.

I team che riescono a terminare questo evento passano al *fuel efficiency*, cioè la misura del carburante consumato durante la prova per valutarne i consumi e di conseguenza stabilire l'auto più efficiente da quel punto di vista.



Figura 1-4 Layout Endurance Formula Student East 2021

1.4 Punteggi

I punteggi sono suddivisi in base gli eventi e l'ordine di classifica tramite opportune formule di calcolo, di seguito verranno riportati i punteggi massimi per ogni prova.

Evento	Punteggio
Business Plan Presentation	75
Cost and Manufacturing	100
Engineering Design	150

Tabella 1-1 Punteggi eventi statici

Evento	Punteggio
Acceleration	75
Skidpad	75
Autocross	100
Endurance	325
Efficiency	100

Tabella 1-2 Punteggi eventi dinamici

1.5 Polimarche Racing Team

1.5.1 Storia e struttura interna

Il Polimarche Racing Team è la squadra corse dell'Università Politecnica delle Marche che compete nel campionato internazionale di Formula SAE. Il team nasce nel 2013 grazie alla volontà del Prof. Dario Amodio (attualmente il referente è il Prof. Marco Sasso) e dal supporto costante dei dipartimenti di Costruzione di macchine, Meccanica Applicata, Misure ed altri ancora.

Il team è composto da un gruppo di circa 40 studenti attivi, provenienti da varie facoltà all'interno dell'Ateneo, principalmente Ingegneria Meccanica, Elettronica ed Informatica ma non mancano quelli provenienti da Economia, vista la loro maggior preparazione tecnica negli eventi statici.

La struttura del team segue quella di una vera e propria azienda, dove la parola chiave è il cosiddetto “*teamwork*”, ovvero la capacità di lavorare tutti insieme ed ottenere un risultato che accomuna le idee proposte, scegliendo con criterio quelle ritenute migliori. All'interno del team gli studenti sono suddivisi in vari reparti tecnici: Dinamica, Telaio, Elettronica, Aerodinamica, Powertrain (attualmente chiamato “Battery Pack” vista la progettazione della nuova vettura a trazione elettrica) e Finance & Marketing. Il direttivo, che si riunisce ogni settimana per verificare il lavoro svolto ed organizzare gli impegni futuri, è formato dai responsabili di reparto, supervisionati dal Team Captain e dal Responsabile Tecnico.



Figura 1-5 Il Polimarche Racing Team con la P4 EVO, FS EAST 2021

1.5.2 Peacock 4 EVOLUZIONE (P4 EVO)

È l'attuale vettura del Polimarche, frutto di anni di studio e di miglioramento rispetto a quelle precedenti quali: P1, P2, P3, P3 EVO, P4. Il nome, "pavone" in italiano, riprende il logo dell'Università Politecnica delle Marche e ne rispecchia un po' le peculiarità dell'animale stesso, come la sua capacità di essere al centro dell'attenzione, essendo fra le poche vetture del campionato ad assomigliare esteticamente a quelle "formula" quindi con: ala anteriore, ala posteriore mobile "DRS", pance laterali e fondo. In particolare, riprende le stesse caratteristiche della P4 con alcune migliorie: l'affidabilità, l'introduzione del DRS, il controllo di trazione, il cablaggio elettrico perfezionato, la diminuzione del peso complessivo, modifiche dell'ala anteriore e l'introduzione del volante con uno schermo utile al pilota per controllare le temperature dei vari sistemi di raffreddamento, i giri motore, la marcia, e un "manettino" per settare la mappa che più si addice ad una determinata situazione.

SCHEDA TECNICA

Caratteristiche	Descrizione
Nome	Peacock Four Evoluzione
Numero di gara	10 (EAST) – 14 (ITA)
Telaio	Monoscocca in fibra di carbonio ed honey-comb di alluminio (struttura sandwich)
Dimensioni complessive LxWxH	3033 mm x 1422 mm x 1100 mm
Sospensioni	Doppio triangolo e sistema Push-rod con U-bar e barre anti-pitch longitudinali anteriori, sistema Push-rod con U-bar posteriore
Interasse	1600 mm
Carreggiata anteriore e posteriore	1200 mm anteriore, 1200 mm posteriore
Pneumatici	18 x 6.0-10 Hoosier R25B anteriormente, 18 x 6.0-10 Hoosier R25B posteriormente
Cerchi	7x10" BRAID Sturace in alluminio
Motore	KTM 690 LC4 2013/14 monocilindrico, sovralimentato
Trasmissione	A catena, cambio KTM
Differenziale	Autobloccante a slittamento limitato Drexler
Freni	Brembo P4 24 a 4 pistoni anteriormente, AP Racing CP4226-250 posteriormente
ECU	Motec M800



Figura 1-6 Scheda tecnica P4 EVOLUZIONE

2 Cenni sui Materiali Compositi

Affinché la lettura sia più chiara e scorrevole, è bene fare un riassunto di quali sono i materiali compositi, la loro struttura, le loro proprietà e i metodi di produzione.

Per materiale composito si intende un qualsiasi elemento costituito da due o più sostanze semplici. Questa unione dà origine a un prodotto avente proprietà meccaniche superiori rispetto a quelle dei singoli elementi che lo compongono. Solitamente un materiale composito è costituito da un **rinforzo** (o fibra), che assicura rigidità e resistenza meccanica, e da una **matrice**, che racchiude il rinforzo e dà la forma al manufatto stesso.

Nello specifico verrà trattata la fibra di carbonio, gli altri compositi, come ad esempio la fibra di vetro o le fibre aramidiche (tipo *kevlar*), non verranno trattate. I principali vantaggi della fibra di carbonio sono: l'elevatissima resistenza a trazione, la leggerezza, l'elevato modulo di elasticità (o di Young), la bassa espansione termica, la durabilità nel tempo e quindi la resistenza a corrosione; d'altro canto la produzione è molto costosa e componenti in fibra di carbonio non possono essere utilizzati in applicazioni ad alta temperatura.

2.1 Le Fibre

La produzione dei filamenti di carbonio avviene mediante l'ossidazione e la pirolisi termica di molecole organiche a catena lunga di diversi tipi, il più comune è il poliacrilonitrile (PAN), ma possono essere anche derivate dalla pece o dal *rayon*. Tale materiale di partenza, in forma di filamenti sottili, subisce un complesso processo di ossidazione in atmosfera inerte, a temperature che possono raggiungere i 2000°C. Il calore così elevato innesca una serie di reazioni chimiche, che prendono il nome di *grafitizzazione*, il cui risultato è l'eliminazione della gran parte degli atomi diversi da quelli di carbonio, così da trasformare le molecole organiche in grafite (carbonio al 92-96%), con una struttura reticolare esagonale regolare. Infine, le catene organiche grafitizzate si fondono, generando un singolo filamento dalle elevatissime proprietà meccaniche, con un diametro che nella maggior parte dei casi è circa 5-7µm (per rendersi conto dello spessore, si consideri che il diametro di un globulo rosso è pari a 8 µm, quello di un capello varia tra i 65 e i 78 µm e quello di un batterio va dai 0,2 µm ai 30 µm).

A seconda delle loro caratteristiche meccaniche, le fibre di carbonio possono essere classificate commercialmente in base al modulo di Young (o modulo di elasticità):

- **SM** (Standard Modulus) <265 GPa
- **IM** (Intermediate Modulus) 265-320 GPa
- **HM** (High Modulus) 320-440 GPa
- **UHM** (Ultra High Modulus) ~440 GPa

2.2 Le Matrici

Le resine utilizzate nei compositi rinforzati con fibre sono talvolta denominate "polimeri". Tutti i polimeri mostrano un'importante proprietà comune in quanto sono composti da lunghe molecole simili a catene costituite da molte semplici unità ripetute. I polimeri possono essere classificati in due tipi, *termoplastici* e *termoindurenti*, in base l'effetto del calore sulle loro proprietà.

- I materiali **termoplastici**, come i metalli, si ammorbidiscono con il riscaldamento e alla fine si sciolgono, indurendo di nuovo con il raffreddamento, senza alcun effetto apprezzabile sulle proprietà del materiale in nessuno dei due stati nel tempo. Tipici materiali termoplastici sono il nylon, il polipropilene e ABS.
- I materiali **termoindurenti** sono formati da resina e indurente, o resina e catalizzatore, che vengono miscelati al fine di scatenare una reazione chimica irreversibile per formare un prodotto duro e infusibile. Alcuni esempi sono le resine fenoliche, il poliestere e la resina epossidica.

Una volta induriti, i termoindurenti non ridiventeranno liquidi se riscaldati, sebbene, al di sopra di una certa temperatura, le loro proprietà meccaniche cambieranno in modo significativo. Questa temperatura è nota come temperatura di transizione vetrosa (T_g), al di sopra di essa le proprietà, come il modulo della resina (rigidità), diminuiscono drasticamente e, di conseguenza, anche la resistenza alla compressione e al taglio del composito.

2.3 *Disposizione delle fibre*

Per la realizzazione di manufatti in composito le fibre di carbonio vengono dapprima intrecciate in veri e propri panni in tessuto di carbonio, cioè una determinata disposizione di fibre lunghe intrecciate e, una volta messe in posa, vengono immerse nella matrice. Gli strati sono tenuti insieme mediante l'incastro meccanico delle fibre stesse, o con un materiale secondario per legarle insieme e tenerle in posizione, conferendo all'assieme un'integrità sufficiente per essere maneggiato. Le tre principali categorie di orientamento della fibra sono: Unidirezionale, 0/90°, Multi assiale.

- I tessuti **unidirezionali** in carbonio sono composti da fibre orientate in un unico senso, lavorano quindi in una sola direzione, offrendo la possibilità di inserire la fibra nel componente esattamente dove è richiesta, e nella quantità ottimale. Essi si differenziano per la grammatura, corrispondente al peso specifico di un metro quadrato di quel determinato tessuto e per il numero di filamenti che compongono le fibre del tessuto.
- I tessuti **multiassiali** hanno le fibre disposte parallelamente a strati sovrapposti, orientati nelle varie direzioni e poi cucite con sottili filamenti per mantenerle unite.

Nel caso studiato sono stati utilizzati solo tessuti con fibre disposte a 0/90°, cioè dove la *trama* è perpendicolare all'*ordito*, ovvero le due direzioni principali del foglio di carbonio. In particolare, è stata adottata la tipologia “*Twill*”, dove una o più fibre di ordito si intrecciano alternativamente sopra e sotto due o più fibre di trama in maniera regolare e ripetuta. Questo produce l'effetto visivo di una *costola* diagonale dritta o spezzata sul tessuto, a vantaggio della “*drappabilità*”, ovvero la capacità del tessuto di essere modellabile, al fine di assumere la forma desiderata all'interno dello stampo.



Figura 2-1 Tessuto in fibra di carbonio “Twill” 2/2 con fibre disposte a 0/90°



Figura 2-2 Fibra di carbonio unidirezionale

2.4 Prepreg

Un *prepreg* è un rinforzo in FRP (Fiber Reinforced Polymers, materiali fibrorinforzati a matrice polimerica), nel nostro caso tessuti in fibra di carbonio, che vengono preimpregnati con una resina, nella maggior parte dei casi di tipo epossidico. La matrice, spesso di tipo termoindurente, viene solo parzialmente reticolata al fine di essere manipolata facilmente; ciò prende il nome di materiale di “stadio B” e richiede conservazione a basse temperature per evitare il completamento della reticolazione; quindi, affinché il laminato indurisca, è necessario utilizzare una combinazione di pressione e calore.

In commercio i prepreg vengono forniti avvolti su sé stessi formando un rotolo, con un film di supporto su entrambi i lati del tessuto per proteggerlo durante il trasporto e la conservazione. Il prepreg viene quindi tagliato nella forma desiderata, viene poi rimosso il film protettivo e successivamente adagiato sullo stampo per la laminazione, cioè la tecnica utilizzata per la sovrapposizione di più *plies* (strati) di materiale al fine di ottenere la geometria desiderata con il giusto spessore richiesto.

Nonostante il costo elevato, i principali vantaggi di questa tecnica sono:

- Alte proprietà di resistenza date da un rapporto costante di resina (circa il 35%), difficile da ripetere nelle altre soluzioni;
- Uniformità e ripetibilità dei manufatti;
- Meno disordine e meno sprechi.

Esistono altre tecniche di produzione della fibra di carbonio, come le fibre secche, che vengono cosparse di resina direttamente dagli operatori, ma qui non verranno trattate.

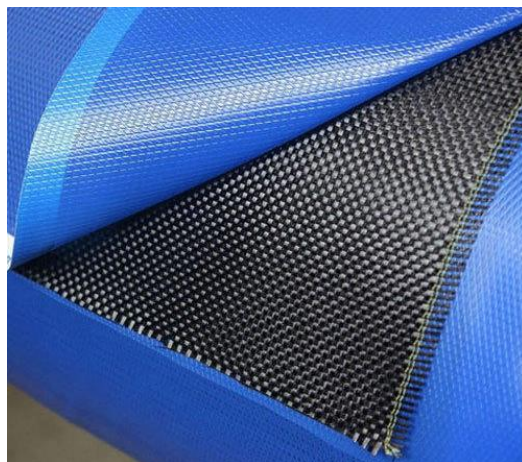


Figura 2-3 Esempio di prepreg Plain con fibre disposte a 0/90° e film protettivo

2.5 Curing process

La cura (dall'inglese curing) è il processo attraverso cui si svolge la reticolazione della matrice polimerica, cioè la creazione di legami chimici fra le catene polimeriche mediante una reazione chimica. La cura avviene in tre stadi:

- **Stadio di flusso:** è la fase iniziale del processo di cura, durante la quale il materiale è una soluzione liquida contenente monomeri che si aggregano formando polimeri.
- **Gelificazione:** è responsabile della trasformazione della resina dallo stato liquido allo stato gommoso. La reazione continua a velocità abbastanza elevata; in questo stadio la viscosità della resina aumenta molto, a discapito della fluidità.
- **Vetrificazione:** si ha quando la temperatura di transizione vetrosa aumenta fino alla temperatura di cura, portando alla trasformazione da gommoso a solido vetroso.

Esistono diversi metodi per la lavorazione e polimerizzazione dei materiali compositi, uno tra i migliori è sicuramente il processo in autoclave, che garantisce gli standard qualitativi e meccanici più elevati.

Possiamo definire l'autoclave come un dispositivo avente chiusura ermetica, con temperatura, pressione e vuoto, controllati in modo digitale ed in remoto, con la funzione di far polimerizzare la resina attraverso il calore e la pressione.

La temperatura è controllata in fase di riscaldamento, mantenimento e raffreddamento. La pressione viene regolata in fase di pressurizzazione, mantenimento e scarico grazie alle valvole pneumatiche. All'interno dell'autoclave il pezzo viene mantenuto dentro appositi sacchi da vuoto (vacuum bag), dove viene applicato il vuoto aspirando l'aria, al fine di far aderire per bene il prepreg allo stampo, eliminando l'aria e la resina in eccesso. Un'altra tecnica è quella in forno o a temperatura ambiente, dove non c'è pressione aggiuntiva ma solo quella dovuta dal sacco da vuoto.

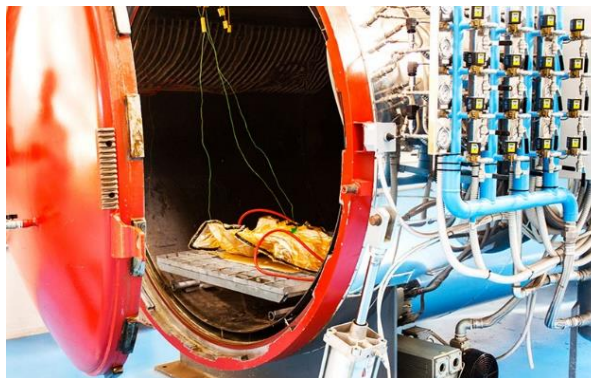


Figura 2-4 estrazione di un manufatto in carbonio dopo il curing process in autoclave

3 Studio di fattibilità del progetto

In questo capitolo verranno riportate le criticità della soluzione precedente, le idee per risolverle attenendosi al regolamento ed il diagramma di Gantt per la pianificazione dei punti chiave.

3.1 Criticità del serbatoio precedente

Il serbatoio della P4, l'auto dalla quale è partito lo studio, aveva seri problemi legati alla fuoriuscita di benzina, dovuti principalmente a tre fattori:

1. Il carbonio e la resina utilizzata non erano adatti al contatto con la benzina;
2. La giunzione mediante viti e bulloni si è rivelata dannosa vista la presenza di fori dai quali filtrava benzina;
3. La giunzione è stata effettuata sulla base del serbatoio, accendendo il fenomeno.

Questi tre fattori hanno portato alla squalifica dell'auto nell'Endurance in Germania nel 2019 e non ha potuto concludere gli eventi, vista la grossa perdita di benzina durante l'attesa per entrare in pista.

Il peso eccessivo era dovuto sia dalla pompa benzina utilizzata, sovradimensionata per l'uso che se ne deve fare, che dal circuito di alimentazione, il quale richiedeva un tratto aggiuntivo per il circuito di by-pass all'interno del serbatoio (tubo in gomma in foto).

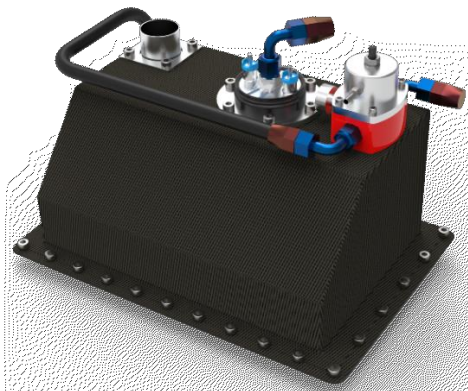


Figura 3-1 render serbatoio precedente, vista dall'alto

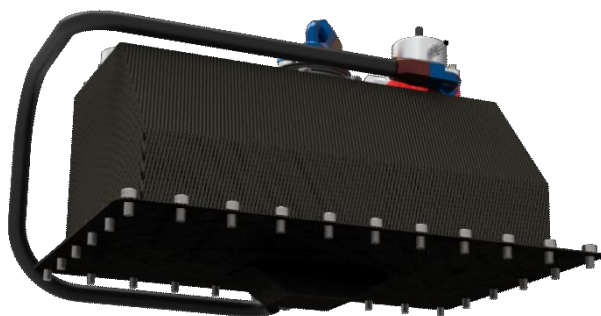


Figura 3-2 render serbatoio precedente, vista dal basso

3.2 Regolamento FSG

Come ogni componente dell'auto, anche il serbatoio è regolamentato e di seguito è riportata la sezione relativa al nostro caso del regolamento FSG (Formula Student Germany) 2020 versione 1.0, utilizzato per tutte le competizioni europee e tradotto in italiano.

- **CV 2.1 Carburante**

CV 2.1.1 I tipi di carburante disponibili sono benzina senza piombo 98RON e E 85.

- **CV 2 Sistema di alimentazione e carburante**

CV 2.1.2 I veicoli devono essere utilizzati con il carburante fornito in gara.

CV 2.1.3 Nella camera di combustione non possono essere introdotti agenti diversi dal carburante e dall'aria.

CV 2.1.4 La temperatura del carburante introdotto nel sistema di alimentazione non può essere modificata con l'intento di migliorare l'efficienza

- **CV 2.2 Requisiti di posizione dell'impianto di alimentazione**

CV 2.2.1 Tutte le parti del sistema di stoccaggio e alimentazione del carburante devono trovarsi all'interno della superficie definita dal tetto del roll bar e il bordo esterno dei quattro pneumatici (vedi Figura 2-3). In vista laterale nessuna porzione del sistema di alimentazione può sporgere al di sotto della superficie inferiore del telaio.

CV 2.2.2 Il serbatoio del carburante deve trovarsi all'interno dell'involucro di protezione contro il ribaltamento.

CV 2.2.3 Tutte le parti del sistema di stoccaggio e alimentazione del combustibile devono essere adeguatamente protette contro le sorgenti di calore e situato ad almeno 50 mm da qualsiasi componente dell'impianto di scarico.

- **CV 2.3 Serbatoio del carburante**

CV 2.3.1 Il serbatoio è definito come la parte del dispositivo di contenimento del carburante che è a contatto con il carburante stesso. Può essere fatto di un materiale rigido o di un materiale flessibile.

CV 2.3.2 Il serbatoio del carburante deve essere fissato saldamente alla struttura del veicolo con supporti che consentano una certa flessibilità tale che la flessione del telaio non possa caricare involontariamente il serbatoio del carburante.

CV 2.3.3 Il serbatoio del carburante non deve toccare nessuna parte del veicolo diversa dal suo supporto e parti del sistema di alimentazione in nessun momento.

CV 2.3.4 Qualsiasi serbatoio di carburante realizzato con un materiale flessibile, ad esempio una “bladder fuel cell” o una sacca, deve essere racchiuso all’interno di un contenitore rigido e saldamente fissato alla struttura del veicolo.

CV 2.3.5 L’impianto di alimentazione deve prevedere lo svuotamento del serbatoio del carburante, se necessario.

CV 2.3.6 Il serbatoio del carburante, per progettazione, non deve avere una capacità variabile.

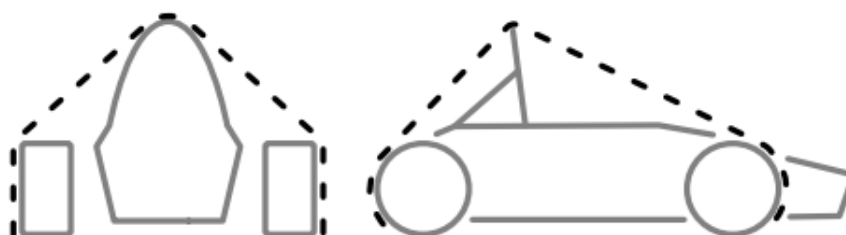


Figura 3-3 Involuppo dell'auto definito dal roll bar e dalle 4 ruote

- **CV 2.4 Tubi carburante per sistemi a bassa pressione**

CV 2.4.1 Le tubazioni del carburante tra il serbatoio del carburante e il rail del carburante e le linee di ritorno devono avere tubi per il carburante in gomma rinforzata con protezione anti-abrasione con fascetta stringi-tubo.

CV 2.4.2 Le tubazioni del carburante devono essere fissate saldamente al veicolo e/o al motore.

CV 2.4.3 Tutte le tubazioni del carburante devono essere protette da possibili guasti alle apparecchiature rotanti o danni da collisione.

3.3 Ricerca delle soluzioni alternative

Il primo problema da risolvere è quello relativo al trafilamento di benzina attraverso la resina e il metodo di giunzione. Infatti, il serbatoio precedente era stato costruito con 3 plies di carbonio CF200-42% e CF600-37%, con EP20TU, una resina epossidica, laminato all'interno dei laboratori dell'Ateneo con un ciclo in forno, applicando solo la depressione nel sacco da vuoto e quindi senza l'utilizzo dell'autoclave.

Lo stampo del coperchio è stato assemblato con vari strati di MDF (Medium Density Fibreboard, che in italiano si può tradurre come “pannello di fibra a media densità”), disposti in modo da riprodurre l'interno del pezzo. È stata poi laminata la base con un incavo per far sì che la pompa non abbia problemi di pescaggio durante la percorrenza delle curve.

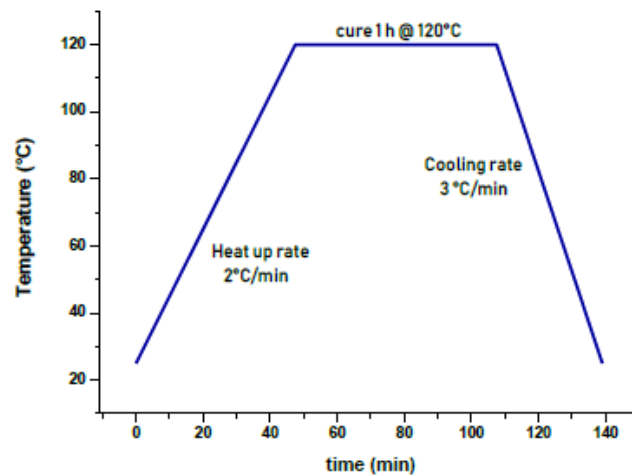


Grafico 1 ciclo di cottura in forno del serbatoio precedente

Property	Value	Test method
Tg [°C]	125	ASTM D3418
Density [g/cm ³]	1.20	ASTM D792
colour	transparent	
Tack	medium	

Tabella 3-1 Proprietà della resina dopo il curing process, datasheet TECHNOLOGYCOM S.R.L.

La trama di carbonio utilizzato è disposta con le fibre a 90°, gli strati esterni ed interni costituiti da CF600, mentre lo strato intermedio da CF200.

PROPERTIES	TEST METHOD	UNITS	MATERIALS*	
			CF200-42%	CF600-37%
TENSILE STRENGTH	ASTM D3039	MPa	790.9	827.7
TENSILE MODULUS	ASTM D3039	GPa	64.3	61.6
FLEXURAL STRENGTH	ASTM D790	MPa	997.3	831.5
FLEXURAL MODULUS	ASTM D790	GPa	63.6	67.6
COMPRESSION STRENGTH	ASTM D695	MPa	540.3	-
COMPRESSION MODULUS	ASTM D695	GPa	50.9	-
ILSS	ASTM D2344	MPa	76.9	67.7
CURED PLY THICKNESS		mm	0.23	0.62

Tabella 3-2 Proprietà della fibra di carbonio, datasheet TECHNOLOGYCOM S.R.L.

Dopo il processo di cottura, sono state unite le due semi-metà attraverso viti M4 e bulloni intorno il perimetro e successivamente incollate con altra resina. Successivamente è stato inserito il cilindro per l'attacco del rabbocco, la pompa benzina, il regolatore di pressione, i relativi filtri, i tubi per il circuito benzina, e il dual lock posizionato al di sotto di due spessori in *honeycomb*, cioè una struttura nido d'ape costituita da fibre aramidiche. Infine è stato applicato un film di nastro adesivo per resistere alle temperature elevate, vista la posizione ravvicinata dello scarico del motore.



Figura 3-4 Serbatoio precedente, visto dall'alto



Figura 3-5 Serbatoio precedente, visto dal basso

Fra le varie soluzioni alternative, per cercare di diminuire il peso ed evitare i problemi sopra citati, la scelta era confinata all'uso dell'Alluminio o confermare la fibra di Carbonio, cambiando fibre e matrici, cercando quindi quelle adeguate al contatto con il combustibile.

Per evitare la soluzione di incollaggio sul fondo, sicuramente la più semplice dal punto di vista progettuale, ma che si è rivelata non adeguata all'utilizzo, si è pensato di effettuare l'incollaggio in alto. Questa soluzione però implica una diversa configurazione degli stampi dovuta agli angoli di sforno relativi alla geometria.

Si è passato poi allo studio degli stampi, che dovevano essere scomponibili e riutilizzabili, ma allo stesso tempo di facile realizzazione ed economici.

Si è poi pensato di sostituire la pompa che manda in pressione il carburante optandone una avente portata e pressione più adeguata, al fine di avere una soluzione più semplice, diminuendo il peso complessivo del circuito e aumentandone l'affidabilità del sistema. Inoltre, visti i consumi dell'auto durante le prove dinamiche, si è capito che la capacità del serbatoio era troppo elevata; quindi, si è deciso di riadeguare le dimensioni dello stesso sia per diminuire il peso che per aumentare lo spazio utile a disposizione all'interno del telaio.

Infine, si è pensato alle operazioni di rifinitura, a come fissare la pompa nel serbatoio e tutto il sistema in auto, rispettando il regolamento, prestando attenzione al peso.

Nei capitoli successivi verranno spiegate, passo dopo passo, le operazioni appena citate, quali sono state scelte e il criterio utilizzato per la realizzazione del componente.

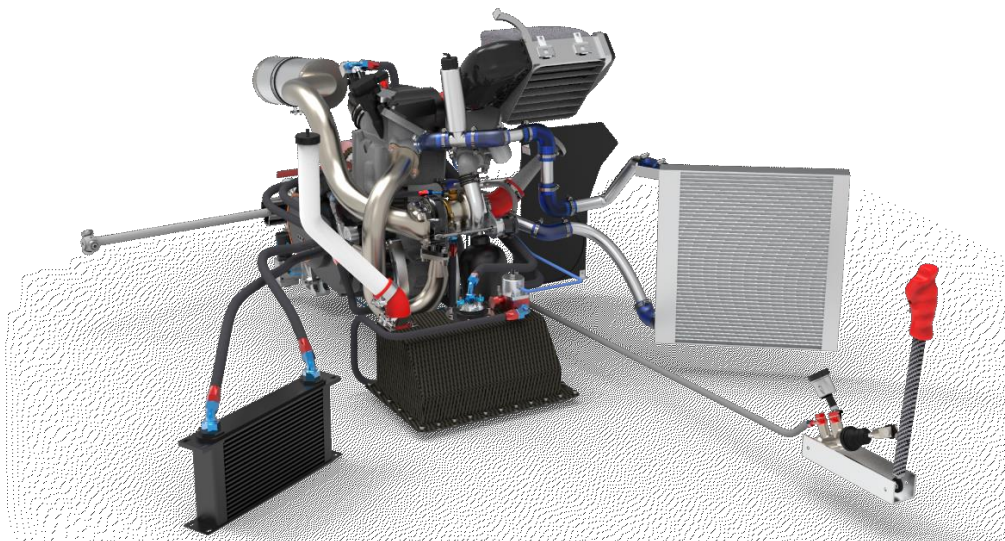


Figura 3-6 Render assieme retrotreno P4 con serbatoio precedente

3.4 Diagramma di Gantt

Per la gestione e il rispetto delle tempistiche richieste dal capo reparto, è stato compilato un diagramma di Gantt, cioè uno strumento che serve a pianificare le attività relative al progetto stesso.

Il diagramma è composto da due assi cartesiani: sull'asse orizzontale troviamo l'arco temporale previsto, sull'asse verticale sono riportate le attività da svolgere.

Una volta inserite tutte le attività nel Gantt, si ha uno schema visivo di come è strutturato il progetto, così da visualizzare quali mansioni vengono prima, quali sono le precedenze da rispettare e quali avvengono successivamente.

	🕒	Nome	Durata	Data di Avvio	Data di chiusura	Predecessori
1		Analisi problematiche attuali	1 giorno	22/02/21 8.00	22/02/21 17.00	
2	📅	Ricerca soluzioni alternative	4 giorni	23/02/21 8.00	26/02/21 17.00	1
3		Idea preliminare e progetto C	2 giorni	01/03/21 8.00	02/03/21 17.00	2
4		Studio del materiale e proces	2 giorni	03/03/21 8.00	04/03/21 17.00	3
5	☑	Validazione provino	33 giorni	05/03/21 8.00	20/04/21 17.00	4
6		Realizzazione stampo provi	1 giorno	05/03/21 8.00	05/03/21 17.00	4
7		Realizzazione provino	1 giorno	08/03/21 8.00	08/03/21 17.00	6
8		estrazione provino stampi	1 giorno	09/03/21 8.00	09/03/21 17.00	7
9		tempo di verifica	30 giorni	10/03/21 8.00	20/04/21 17.00	8
10	☑	Realizzazione degli stam	36 giorni	05/03/21 8.00	23/04/21 17.00	4
11		Studio geometria	3 giorni	05/03/21 8.00	09/03/21 17.00	4
12		disegno CAD definitivo	1 giorno	10/03/21 8.00	10/03/21 17.00	11
13		Taglio laser	20 giorni	11/03/21 8.00	07/04/21 17.00	12
14		Saldatura	1 giorno	08/04/21 8.00	08/04/21 17.00	13
15	☑	Realizzazione serbatoi	7 giorni	09/04/21 8.00	19/04/21 17.00	14
16		Laminazione presso HP C	2 giorni	09/04/21 8.00	12/04/21 17.00	14
17		estrazione dagli stampi	1 giorno	13/04/21 8.00	13/04/21 17.00	16
18		Operazioni post curing	4 giorni	14/04/21 8.00	19/04/21 17.00	17
19		Studio circuito benzina	3 giorni	21/04/21 8.00	23/04/21 17.00	9

Tabella 3-3 Lista delle operazioni con relative precedenze nel Diagramma di Gantt, Project Libre

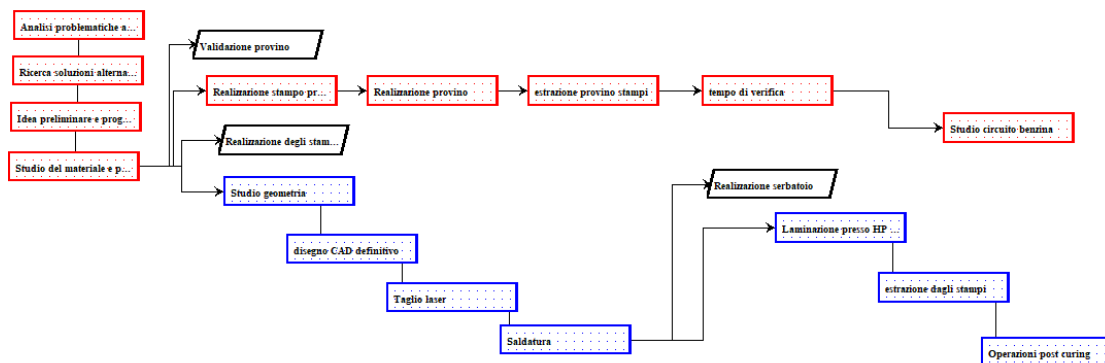


Diagramma 1: Diagramma logico delle operazioni, Project Libre

4 Progettazione preliminare

In questo capitolo verranno specificati i vari punti seguiti durante la fase iniziale del progetto: il dimensionamento, la geometria, la scelta del materiale e la realizzazione del provino per la verifica della resistenza all'assorbimento della benzina.

4.1 Calcolo del volume e degli ingombri

Dai dati raccolti durante i test in pista e dalle gare precedenti, si è calcolato che il consumo massimo del KTM 690 turbocompresso durante una gara non è superiore ai 6 litri (6 dm^3), tenendo conto che la densità della benzina è pari a circa $0,68 \text{ kg/dm}^3$, si ha bisogno di circa 4 kg di carburante.

Al fine di non stravolgere la disposizione dei componenti della vettura, si è deciso di rimanere fedeli alla geometria del serbatoio esistente, variandone solo la capacità.

Tenendo conto delle dimensioni del serbatoio vecchio, avente un volume pari a 7 dm^3 , senza considerare quello del rabbocco, si è diminuito il volume di 1 dm^3 , portandolo a 6 dm^3 , soprattutto diminuendo la larghezza per cercare di rispettare gli ingombri, visto lo spazio a disposizione ristretto al di sotto del *firewall*, una lamina di alluminio che protegge il pilota da un eventuale incendio (le specifiche costruttive del firewall sono descritte nel regolamento Formula Student Rules 2020 Versione: 1.0 nella sezione T4.8).

Nella foto sottostante è possibile notare la posizione del serbatoio all'interno della vettura, si trova al di sotto del sedile e, in questa vista, a destra dello scarico del motore.

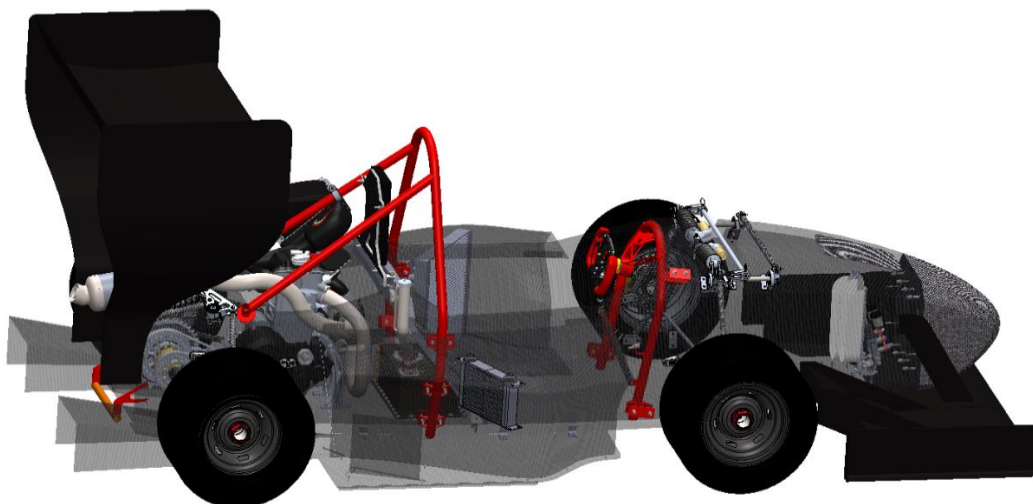


Figura 4-1 Posizione del serbatoio all'interno della P4

4.2 Scelta del materiale

Viste le criticità precedenti e vista la difficoltà di trovare sul mercato prepreg resistenti alla corrosione della benzina (essendo essa un forte solvente, cioè una sostanza che ha la capacità di scioglierne un'altra, o altre, per formare una soluzione, in questo caso la resina), si è dapprima optato per una soluzione in Alluminio e solo successivamente, dopo aver trovato la fibra di carbonio adeguata, è tornata l'idea di realizzare un nuovo serbatoio in materiale composito.

Dopo una vasta ricerca, "HP Composites", azienda sponsor del Polimarche Racing Team, leader a livello mondiale nella progettazione e produzione di componenti in materiale rinforzato in fibra di carbonio per i settori: automotive, motorsport, navale, aeronautico, industriale e design, ha prospettato un materiale che fosse in grado di rispettare i requisiti richiesti.

Si tratta del "**HS Carbon Fabric 380 gsm twill 2/2 12K con resina E3-150N**", dove:

- **HS**: sta per "High Strength", ovvero con alto modulo di elasticità (320-440GPa);
- **380 gsm**: indica l'unità di misura, la "grammatura", cioè "grammi su metro quadro";
- **Twill 2/2**: indica la disposizione delle fibre sul tessuto, dove due fibre di ordito si intrecciano alternativamente con 2 fibre di trama (guarda Figura 2-1);
- **12K**: indica il numero di filamenti che compongono il filo stesso, in questo caso 12000
- **E3-150N**: è la tipologia di resina epossidica utilizzata per preimpregnare il tessuto.

L'azienda produttrice è "Microtex Composites" che collabora con "Carbon Mind", startup che si occupa principalmente di R&D affiliata a HP Composites.

4.2.1 Resina E3-150N

La SERIE E3 MATRIX è una famiglia di matrici epossidiche termoindurenti con temperature di processo che variano da 80°C a 140°C. La matrice E3 presenta elevate proprietà meccaniche e, con opportune operazioni post polimerizzazione, può essere utilizzata a funzionamento continuo con temperature fino a 100°C.

Questa resina è particolarmente adeguata al caso che si sta trattando, visto le ottime prestazioni a contatto con la benzina.

Absorption @RT [Percent weight change following 28 days immersion]

Fuel type	Material		
	GG380T-40 E3-150N ²¹		
RON 102 (E10)	+0.207%		
RON 98	+0.206%		

Tabella 4-1 assorbimento, Datasheet resina E3-150N, Microtex Composites

Come si può notare dalla tabella, si ha un assorbimento pari ad un incremento del peso di + 0.206% a contatto con la benzina RON 98 (unico utilizzo previsto dal regolamento FSG), dopo 28 giorni in immersione, che è in accordo con l'uso che se ne deve fare del serbatoio.

Di seguito è riportato il grafico della viscosità della resina in funzione della temperatura.

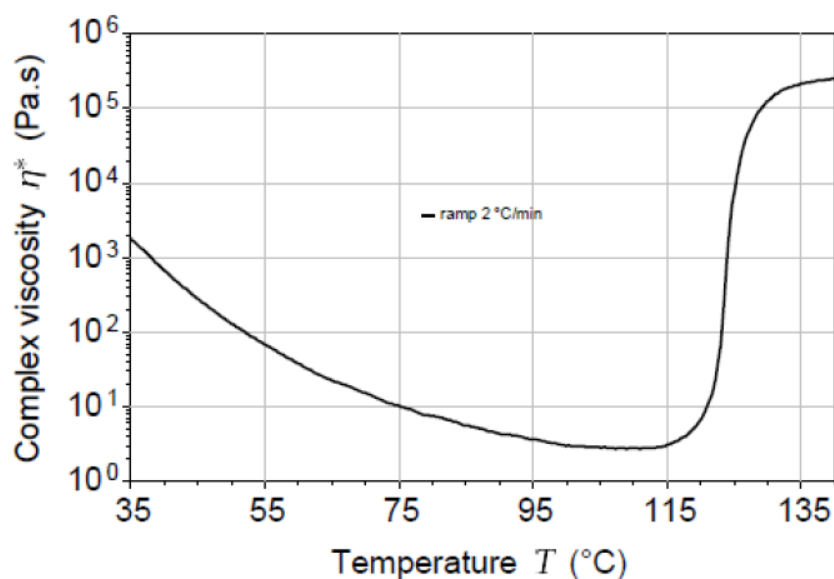


Grafico 2 curva di viscosità E3-150 2 °C/min strain % 0.1, frequency 1.0 Hz, datasheet Microtex

Di seguito è riportato il datasheet del” HS Carbon Fabric 380 gsm twill 2/2 12K con resina E3-150N” riferito al curing process utilizzato, nello specifico la colonna “GG380T-38”.

Laminate Mechanical Properties (E3-150/150N/150N2/HM)

Cure cycle: 120 minutes at 120°C , 6.0 bar Room temperature, dry Ramp rate = 2°C/min Cool rate = 3°C/min - Test conditions: 23°C

	Test Reference	Material			
		GG200T-42 ¹	GG380T-38 ²	GG630T-37 ³	GG800T-34 ⁴
0° Tensile strength (MPa)	ASTM D3039 (Normal.Vf 55%)	773.50	986.52	918.10	-
0° Tensile modulus (GPa)		54.80	59.80	58.60	-
90° Tensile strength (MPa)		647.50	943.59	738.20	-
90° Tensile modulus (GPa)		51.10	59.72	59.20	-
45° Tensile strength (MPa)		207.10	-	125.40	-
45° Tensile modulus (GPa)		13.80	-	13.80	-
Poisson		-	-	0.04	-
0° Compressive strength (MPa)	ASTM D6641 (Normal.Vf 55%)	-	679.83	468.00	-
0° Compressive modulus (GPa)		-	55.61	-	-
90° Compressive strength (MPa)		-	690.06	-	-
90° Compressive strength (MPa)		-	56.43	-	-
0° Compressive strength (MPa)	ASTM D3410 (Normal.Vf 55%)	496.00	-	-	-
90° Compressive strength (MPa)		482.00	-	-	-
0° Compressive strength (MPa)	SACMA SRM 1R-94	-	450.29	461.20	-
In plane shear strength (IPSS)	ASTM D3518	-	99.50	58.20	-
In plane shear modulus (IPSM)		-	3.33	3.40	-
0° Interlaminar shear strength (ILSS)	EN 2563	57.00	67.70	60.70	51.00
90° Interlaminar shear strength (ILSS)		-	65.20	-	-
0° Flexural Strength (MPa)	ASTM D790	-	-	797.70	-
0° Flexural modulus (GPa)		-	-	60.50	-
0° Flexural Strength (MPa)	ASTM D5528-01	-	835.20	-	-
0° Flexural modulus (GPa)		-	50.90	-	-
Mode I Strain Energy release Rate G _{Ic} (J/m ²)	ASTM D5528 MBT METHOD	-	1250-1350	1400-1500	-

Tabella 4-2 DATASHEET HS Carbon fabric 380 gsm twill 2/2 12K

4.2.2 Scelta del numero dei plies

Viste le scarse sollecitazioni meccaniche al quale è sottoposto il serbatoio, si è deciso, in accordo con l’azienda e con l’esperienza pregressa, di utilizzare 3 plies di prepreg. La soluzione adottata è basata sul fatto che 3 plies sono adeguati per avere una giusta rigidità, una buona resistenza alla corrosione e per seguire lavorazioni successive senza danneggiare o bucare il serbatoio.

Infatti, una soluzione con un numero maggiore di plies avrebbe implicato un peso maggiore e il componente sarebbe stato sovradimensionato a livello meccanico; d’altro lato, 2 plies sarebbero stati scarsi per effettuare le lavorazioni successive.

4.2.3 Scelta della disposizione delle fibre

Come detto in precedenza si è utilizzato un prepreg con un tessuto a trama “Twill”, al fine di ottenere caratteristiche meccaniche superiori alle altre disposizioni disponibili in mercato e di avere una maggiore “drappabilità” visto lo spazio ristretto su cui laminare. Inoltre, per gli stessi motivi citati nel capitolo 4.2.1, la disposizione delle fibre è stata $0/90^\circ$, anche per diminuire gli sprechi e per far sì che la laminazione risultasse più semplice possibile.

Disposizioni a 45° alternate a quelle $0/90^\circ$ vengono utilizzate principalmente quando sul componente sono applicati carichi lungo direzioni diverse, ma questo non succede nel caso trattato.

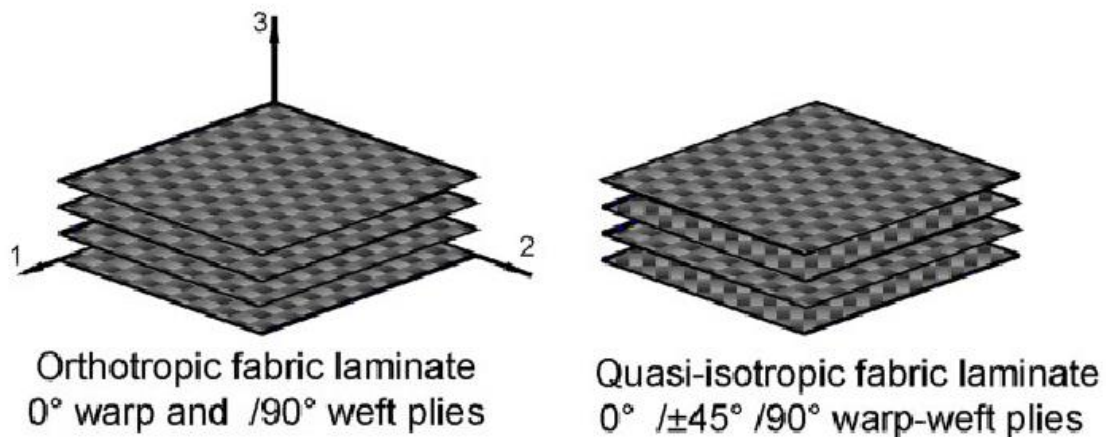


Figura 4-2 Disposizione dei plies

Nella figura di sinistra (disposizione adottata nel caso del serbatoio) si può notare come la sovrapposizione dei plies resta costante nello spessore, con le fibre a $0/90^\circ$. Questa disposizione rende il materiale ortotropo, cioè caratterizzato da proprietà meccaniche uniche e indipendenti nelle tre direzioni reciprocamente perpendicolari.

Nella figura di destra invece la disposizione delle fibre $0/90^\circ$ è alternata a quella con le fibre a $\pm 45^\circ$, questo consente di considerare (nella letteratura tecnica) il materiale “quasi-isotropo” cioè con le proprietà meccaniche quasi identiche in tutte le direzioni.

4.2.4 Scelta del curing process

Il curing process è avvenuto in autoclave, con 6 bar di pressione aggiuntivi alla pressione atmosferica, a 120°C per 120 minuti con una pressione assoluta nel sacco da vuoto di circa 0.7 bar.

Nel seguente grafico, la linea rossa indica la pressione in autoclave, la linea blu indica la temperatura e quella verde indica la pressione assoluta nel sacco da vuoto. La scelta è stata effettuata in base al ciclo consigliato nel datasheet del prepreg, in accordo con l'azienda che ha condotto il ciclo.

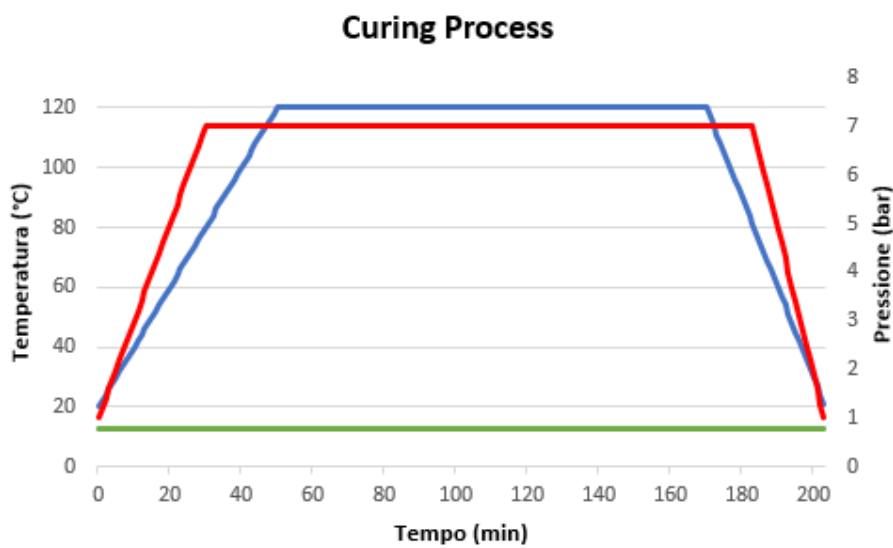


Grafico 3 Andamento curing process

Per completezza, di seguito è riportato il grafico della “gelificazione” (vedi 2.5).

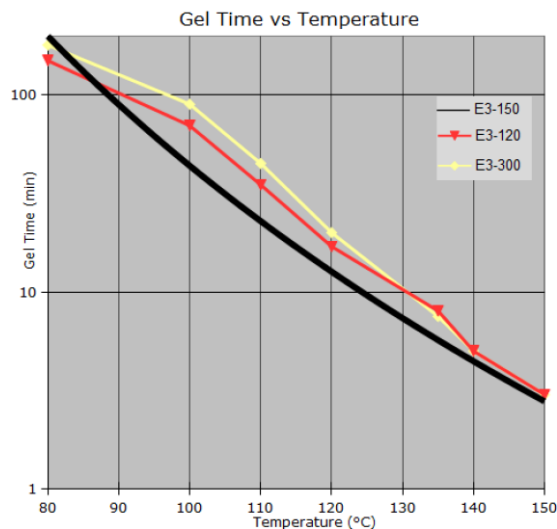


Grafico 4 “gelificazione” E3-150N in funzione della temperatura (linea nera)

4.3 Provino di verifica

Al fine di avere la conferma concreta che il serbatoio potesse resistere al contatto con la benzina, si è deciso di simularne le condizioni realizzando un provino di verifica, ovvero un contenitore a “scatola” realizzato con lo stesso prepreg, lo stesso numero di plies e con lo stesso curing process scelti per la realizzazione del serbatoio. Lo scopo del test è ripetere la prova effettuata nella Tabella 4-1, riempiendo il provino di benzina RON 98 per 28 giorni, in un ambiente chiuso, e poi verificarne l’assorbimento, calcolato mediante la differenza del peso fra il provino all’inizio e alla fine del test stesso.

Inizialmente si è realizzato un semplice stampo in acciaio composto da una base in lamiera di 2mm di spessore e un profilo tubolare quadrato 10x10cm dello stesso spessore, saldato con una saldatrice di tipo MIG (Metal-arc Inert Gas).



Figura 4-3 Stampo del provino, vista dall’alto



Figura 4-4 Stampo provino dopo l’estrazione del provino

Dopo aver terminato la realizzazione dello stampo, si è effettuata la laminazione del provino in azienda (i punti chiave del processo verranno trattati nel capitolo relativo alla realizzazione del serbatoio).

Completata l’estrazione dagli stampi, si è pulito l’interno del provino, pesato e successivamente forato nella parte superiore, al fine di far passare un filo per mantenerlo sospeso durante il periodo di test.

Infine, il provino è stato riempito di benzina per poi esser inserito in un ambiente ignifugo all’interno dei laboratori dell’Università Politecnica delle Marche.

Durante la prova è stato studiato il circuito benzina, gli stampi per la realizzazione del serbatoio, la scelta della pompa e le possibili soluzioni da adottare in caso di fallimento, come ad esempio, resine più resistenti.

Trascorso il tempo necessario per il test si è visto che il peso è aumentato di una percentuale pressoché insignificante dal punto di vista ingegneristico e non è stato registrato nessun trasudamento di benzina.

Quindi, verificata la resistenza al contatto con la benzina, si è proseguito con la realizzazione del serbatoio.



Figura 4-3 Provino all'interno del sacco da vuoto prima di essere inserito all'interno dell'autoclave



Figura 4-4 Provino in fibra di carbonio all'inizio del test.

5 Progetto definitivo

In questo capitolo verrà esposto lo studio per la scelta della pompa, del circuito benzina, la progettazione e la realizzazione degli stampi del serbatoio.

5.1 Studio dell'impianto di alimentazione del carburante

L'impianto esistente era composto dai seguenti componenti disposti in serie:

- La **pompa di alimentazione carburante**, che aspira il carburante dal serbatoio e lo convoglia con la pressione necessaria nel sistema di alimentazione del carburante.
- Il **filtro**, che protegge le valvole d'iniezione da eventuali impurità presenti.
- Il **regolatore di pressione**, che regola la pressione al livello necessario all'interno del circuito, spesso comandato in via pneumatica mediante la depressione nel tubo d'aspirazione.
- Il **Fuel Rail**, dove viene convogliato il carburante, che a sua volta passa all'interno degli iniettori in base alla quantità richiesta, per poi finire all'interno della camera di combustione, mentre quello in eccesso viene riconvogliato nel serbatoio.
- Il **circuito di bypass (o di ritorno)**, è il circuito nel quale la benzina, proveniente dal fuel rail, ritorna nel serbatoio.

I componenti precedentemente descritti possono essere schematizzati come nella figura sottostante, che rappresenta in maniera fedele ciò che avviene nella P4, con la differenza che la pompa è inserita all'interno del serbatoio (guarda Figura 3-1, 3-2).

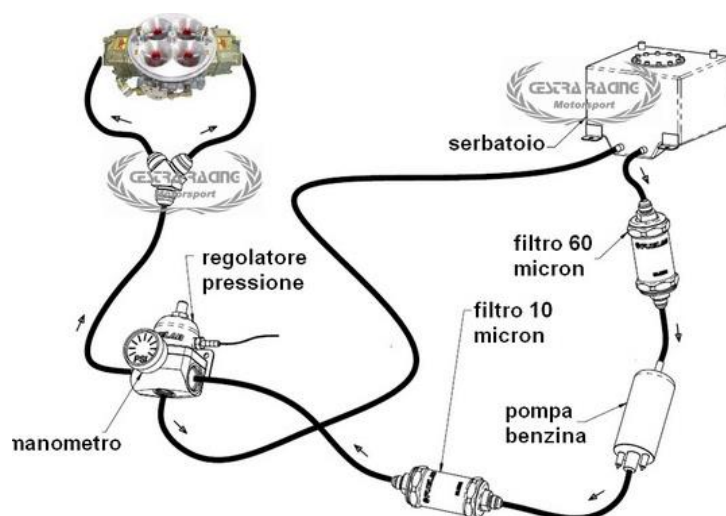


Figura 5-1 Schematizzazione impianto di alimentazione

Nello specifico, nella P4, era presente la “Fuel Pump FP 200” Bosch Motorsport, una pompa a rulli in linea, di seguito è riportato il datasheet.

Technical Specifications	
Mechanical Data	
Diameter	60 mm
Length	196 mm
Weight	1,030 g
Fuel pressure	5 bar or 8 bar
Delivery rate at 5 bar and 22°C	260 ± 5 l/h at 14 V

Tabella 5-1 Datasheet FP-200

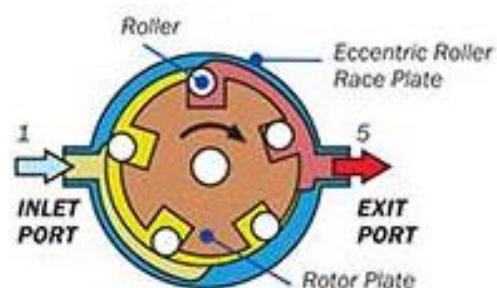


Figura 5-2 Schema funzionamento pompa a rulli

Come si può notare, la pompa utilizzata ha un peso molto elevato, la portata molto più alta di quanta realmente serve per il KTM 690 ed infine la pressione di 5 bar è più alta di quella richiesta dall’impianto.

Per chiarezza la questione di “prevalenza” non è stata valutata, considerando la differenza di altezza trascurabile fra il serbatoio e il fuel rail (lo stesso per l’energia elastica di pressione).

La scelta di installare questa pompa è stata fatta al fine di evitare di inserire la pompa originale, per una serie di problemi legati all’installazione.



5-4 FP 200 Bosch Motorsport



5-3 Regolatore pressione

5.1.1 Scelta della pompa benzina

Dopo una ricerca sul mercato per trovare la pompa adatta, si è deciso di installare comunque la pompa originale del KTM 690 per una serie di motivi:

- Peso limitato: la pompa originale pesa all’incirca 200g;
- Non necessita del circuito di ritorno, infatti il regolatore di pressione, anch’esso più leggero, è interno al serbatoio e scarica direttamente la benzina;

- Non necessita di honeycomb per limitare lo “sloshing” (lo sloshing è definito come l’agitazione di un fluido nel suo recipiente, causato da un’eccitazione sismica del recipiente stesso). Infatti, specialmente in curva, con questo fenomeno, la pompa potrebbe rimanere a secco e non pescare benzina per un tempo limitato ma comunque dannoso. Nella soluzione precedente era stato inserito dell’honeycomb che, limitando il movimento delle particelle all’interno del serbatoio, annullava o quasi il fenomeno dello sloshing.

La pompa originale ha una vaschetta apposita che serve proprio a contenere una quantità di benzina utile a compensare i possibili vuoti dovuti all’intensificarsi del fenomeno, specialmente in condizioni di rollio o beccheggio;

- Minor pressione: la pompa manda in pressione il carburante a 3.5 bar, che è di poco superiore alla pressione di utilizzo, circa 3bar;
- Minor portata rispetto la FP 200, ma comunque sufficiente per la richiesta;
- Minor assorbimento di corrente elettrica, viste le dimensioni contenute;
- Maggior affidabilità dell’impianto, considerando che è più semplice dal punto di vista realizzativo.

Per il calcolo della portata massima si è proseguito nel seguente modo: a causa dello strozzo in aspirazione (diametro di 20mm da regolamento), la portata massica di aria raggiungibile è di 71g/s. Avendo un rapporto di compressione stechiometrico pari a 14,7, i grammi di benzina massimi sono 4,8g quindi, volendo essere pessimisti e applicando un coefficiente di sicurezza pari a 2, si hanno circa 9,5 g/s di benzina.

Dividendo ora per la densità della benzina (circa 0,68 kg/l) danno 0,0142 l/s, volendo poi ottenere come unità di misura i litri all’ora, si moltiplica il precedente risultato per 3600, ottenendo 51 l/h. La pompa originale ha una portata massima di circa 70 l/h, quindi più che sufficiente per l’utilizzo che se ne deve fare.



Figura 5-4 Pompa originale KTM 690

5.1.2 Scelta del nuovo circuito di alimentazione

Come detto in precedenza, la pompa originale non ha bisogno del circuito di ritorno, per questo motivo è stato “rivisto” il circuito esistente e ne sono stati modificati alcuni punti:

- **Sostituzione della pompa**, la quale sarà completamente immersa nel serbatoio, incollata nella base di esso ed inserita all’interno dell’apposita vaschetta originale;
- **Sostituzione del regolatore di pressione**, inserito sulla superficie del coperchio del serbatoio, così da permettere la diretta reimmissione della benzina all’interno di esso;
- **Eliminazione del circuito di ritorno**, per il motivo spiegato sopra;
- **Modificazione del cablaggio elettrico della pompa**, il quale sarà totalmente immerso nella benzina: i fili provenienti dalla batteria saranno collegati con un connettore al regolatore di pressione e da lì raggiungeranno la pompa.

5.2 Definizione della forma

Come detto nei capitoli precedenti, si è deciso di confermare la forma esistente, cambiando un minimo la geometria per diminuire la capienza del serbatoio.

Inoltre, si è deciso di modificare leggermente l’incavo in basso, rendendo le pareti laterali parallele e verticali (con un piccolo angolo di sformo), al fine di limitare il più possibile il fenomeno dello sloshing; di seguito sono riportate le quote del progetto finale.

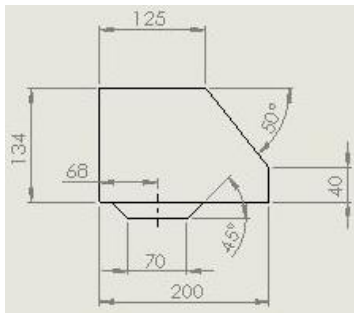


Figura 5-5 Vista laterale

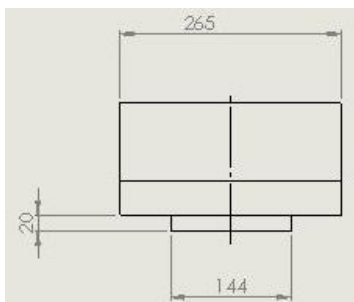


Figura 5-7 Vista frontale

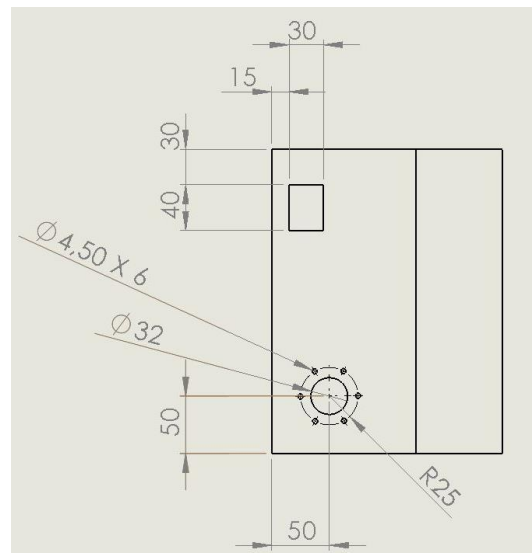


Figura 5-6 Vista dall’alto

Di seguito sono riportati i render del serbatoio con l'aggiunta del regolatore di pressione e della flangia per l'attacco del rabbocco.



Figura 5-8 Vista posteriore, lato flangia

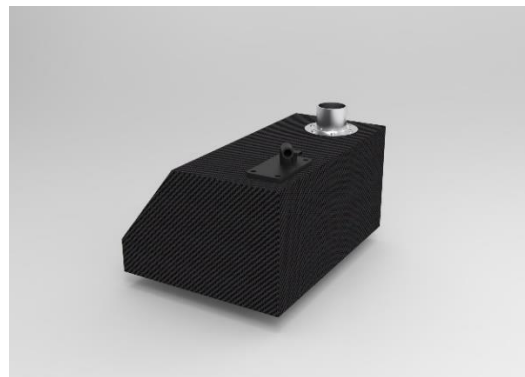


Figura 5-9 Vista posteriore, lato regolatore



Figura 5-10 Vista anteriore

Infine, di seguito, è riportato l'assieme complessivo del powertrain con la soluzione adottata (Nota: eliminazione dell'impianto di ritorno in confronto con la Figura 3-7).

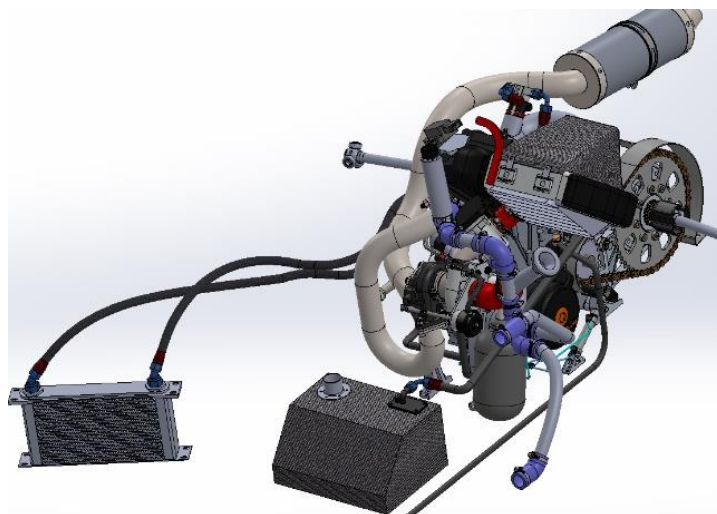


Figura 5-11 Assieme powertrain

5.3 Studio degli stampi del serbatoio

In questa sezione verrà esposto il lavoro che è stato fatto per la progettazione degli stampi e la loro realizzazione.

5.3.1 Studio della geometria e del materiale

Per quanto riguarda i materiali per gli stampi, quelli più utilizzati sono:

- **Alluminio:** questo materiale dal peso specifico molto ridotto, risulta essere davvero molto utilizzato e versatile per questo tipo di applicazione, ma ha un costo molto elevato, soprattutto se gli stampi vengono ottenuti dal pieno. Può essere riutilizzato per più cicli di cura ed è lavorabile alle macchine utensili, ottenendo geometrie complesse con bassa rugosità;
- **Resine Poliuretatiche (Ureol):** fra le resine, l'Ureol è il materiale maggiormente diffuso in commercio, possiede le stesse caratteristiche di lavorabilità del legno ma con tempi di fresatura ridotti. Il materiale si presenta come una tavola di colore variabile, con densità che vanno dai 150 a 1300 kg/m³, è riutilizzabile (meno dell'alluminio) e lavorabile alle macchine utensili, spesso in lastre di 5cm che vengono incollate le une sulle altre;
- **Fibre di Legno (MDF):** L'MDF è un pannello di fibre finissime di legno a media densità (tra i 500 e gli 800 kg/m³), legate tra loro da collanti innovativi che lo rendono estremamente compatto; è l'acronimo di Medium Density Fibreboard che in italiano si può tradurre come "pannello di fibra a media densità". È un materiale riciclabile, ma scarsamente riutilizzato per più di un ciclo di cura, vista la scarsa resistenza meccanica dovuta alle fibre che tendono a sfaldarsi;
- **Acciaio:** gli stampi in acciaio sono utilizzati spesso per applicazioni non inerenti ai materiali compositi, ma comunque vengono utilizzati, dato il costo del materiale relativamente basso rispetto le altre soluzioni;
- **Fibra di Carbonio:** viene utilizzata quando si hanno geometrie complesse e quando i cicli di cura sono numerosi, dato il costo molto elevato del materiale. Il vantaggio di questa soluzione è che il laminato è a contatto con un materiale molto affine a sé stesso, sia dal punto di vista chimico, che da quello strutturale (per esempio, hanno la dilatazione termica circa uguale, aspetto da non trascurare quando si fanno curing process in autoclave).

Nel caso trattato, si è scelto di utilizzare l'acciaio per la facilità di giunzione e di accoppiamento, per la semplice reperibilità del materiale e per il basso costo di acquisto; in particolare si sono utilizzate delle lamiere di acciaio al carbonio con uno spessore di 3mm.

Per quanto riguarda la geometria si è deciso di realizzare due stampi divisi: uno per il *coperchio* del serbatoio e un altro, a sua volta scomponibile, per la “*scatola*” inferiore (per scatola si intende la base del serbatoio e le superfici verticali laterali). In questo modo, si è riusciti ad eliminare l'incollaggio in basso, unendo i lembi del coperchio all'esterno della “scatola”. Di seguito vengono descritti i due stampi:

- **Stampo del coperchio:** è semplicemente un trapezio estruso, cavo all'interno, pensato per essere laminato esternamente.
- **Stampo della “scatola”:** è formato da due semi-metà unite mediante 10 viti M8 e relativi bulloni. Una prima semi-metà è composta da due lamiere saldate a 90°, che corrisponde alla base e alla parete posteriore. Sulla base è presente l'incavo per l'alloggio della pompa, il quale avendo le pareti laterali verticali, ha bisogno di un angolo di sforno (circa 3 gradi) affinché l'estrazione del laminato possa avvenire senza problemi (le altre due pareti non creano difficoltà alla sformatura dato l'angolo di 45° fra la base dell'incavo e le pareti stesse).

La seconda semi-metà è composta dalle pareti laterali e frontali compresi i lamierini per la giunzione. In questo caso, non avendo sottosquadri o angoli di 90°, non si hanno problemi di estrazione; di seguito sono riportati i render del disegno CAD degli stampi.



Figura 5-12 Stampo del serbatoio visto dal basso

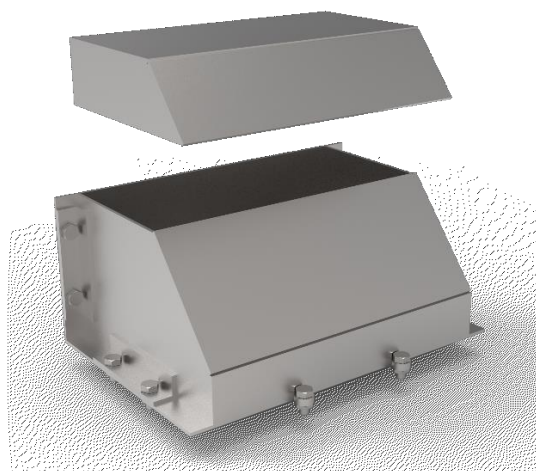


Figura 5-13 stampo del serbatoio visto dall'alto

5.3.2 Realizzazione degli stampi

La realizzazione degli stampi è partita dal taglio delle lamiere che, trattandosi di acciaio, sono state ritagliate con il laser a partire da un foglio spesso 3mm.

Il taglio laser è una delle lavorazioni del metallo più apprezzate per la sua capacità di tagliare con precisione la lamiera (fino al centesimo di millimetro per le applicazioni industriali di grandi dimensioni), permettendo di ottenere pezzi di dimensioni e spessori variabili. Il taglio avviene per mezzo di un raggio laser che colpisce la superficie del materiale e lo riscalda al punto da fonderlo. Una volta che il raggio laser è penetrato completamente nel materiale in un determinato punto, ha inizio il processo di taglio dove l'ugello, muovendosi, crea la curva desiderata. I principali vantaggi del taglio laser su materiali metallici, come acciaio o alluminio, sono: la flessibilità, la velocità, l'automazione, la precisione e la ripetibilità.

Le lamiere tagliate sono state successivamente saldate al fine di ricreare la geometria descritta in 5.3.1. La tecnica di saldatura utilizzata per questo fine è chiamata TIG ovvero "Tungsten Inert Gas"; è un procedimento di saldatura ad arco con elettrodo infusibile di tungsteno, sotto protezione di gas inerte, che può essere eseguito con o senza metallo di apporto (nel caso trattato senza materiale di apporto).



Figura 5-14 Semi-metà dello stampo in fase di realizzazione



Figura 5-15 Coperchio in fase di realizzazione e saldatrice TIG nello sfondo

Dopo le operazioni di giunzione, si è proseguito con il fissaggio dei lamierini, la foratura e l'unione delle due semi-metà mediante viti e bulloni al fine di creare la geometria disegnata e progettata.

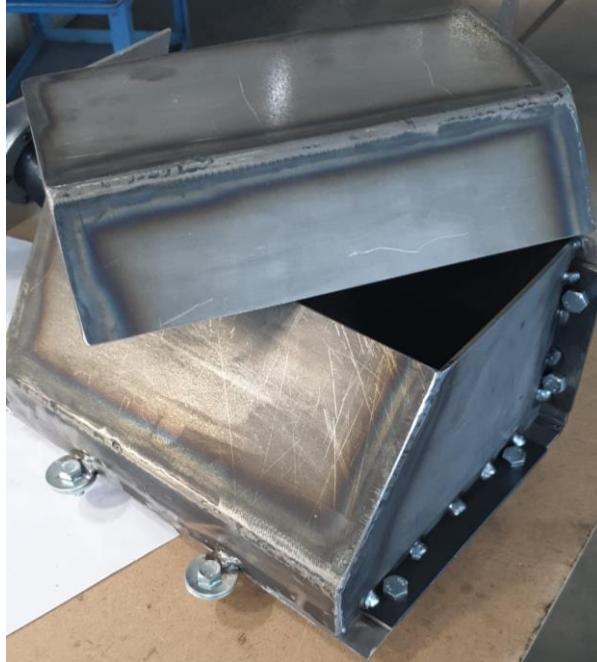


Figura 5-16 Stampo del serbatoio completo

Idea di laminare la parte inferiore del serbatoio all'interno dello stampo ed il coperchio all'esterno è data dal fatto che in questo modo le dimensioni nominali, essendo uguali (principalmente la larghezza), non hanno bisogno di accorgimenti particolari per la chiusura ermetica. Così facendo, il coperchio sarà sempre in grado di chiudere la scatola con una tolleranza sufficiente affinché l'accoppiamento sia con gioco e chiudere tale gap con la resina, una volta inseriti i componenti necessari.

Un aspetto non considerato, dal momento che il componente non è visibile perché all'interno del telaio, è il design estetico. Quest'ultimo è molto dipendente dal fatto che il lato visibile del laminato (quello esterno) sia o meno a contatto con lo stampo; avremo quindi una ottima finitura nel primo caso, più bassa nel secondo.

Nel caso trattato, la parte esterna della "scatola" è a contatto con lo stampo, mentre il coperchio no; questo fa sì che il componente non risulta omogeneo, ma ciò non è rilevante perché tutto è stato poi ricoperto con un film di nastro isolante termico ai fini della protezione dal calore generato dallo scarico del motore.

6 Realizzazione del serbatoio

In questo capitolo conclusivo verranno esaminate le varie operazioni eseguite per la realizzazione ed il fissaggio in auto del serbatoio.

6.1 Operazioni preliminari

Prima di laminare il componente è d'obbligo eseguite delle operazioni preliminari essenziali per la buona riuscita di tutto il processo:

- **Pulizia dello stampo:** è essenziale pulire lo stampo dalle impurità e da sostanze oleose affinché esse non vadano a contatto con il laminato, mediante appositi detergenti e solventi. I detergenti per gli stampi sono progettati per aiutare nella preparazione di stampi nuovi e per mantenere matrici, utensili ed attrezzature nella miglior condizione di lavoro, permettendo di massimizzare l'efficienza operativa.

La pulizia va effettuata anche su stampi già utilizzati per eliminare la resina rimasta ed eventuali prodotti di scarto.

- **Applicazione del distaccante:** agisce creando una barriera tra il substrato e la superficie dello stampo che elimina l'adesione tra i due materiali, previene danni allo stampo e ne assicura la separazione. Senza il distaccante, in particolare la resina, si incollerebbe allo stampo, con enormi effetti negativi sulla qualità e sull'efficacia del processo stesso.

In commercio esistono diversi tipi di distaccanti: quelli a base cerosa, filmogeni e quelli semipermanenti.

I distaccanti a base cerosa lasciano una patina di cera sulla superficie, garantendo un distacco sicuro anche su superfici imperfette e rugose.

Quelli filmogeni creano un film plastico sulla superficie trattata, permettendo un distacco perfetto anche su stampi non dotati di finitura eccellente. Infine, quelli a base di acqua sono maggiormente utilizzati per la laminazione dei compositi e sono progettati per mantenere stampi e modelli in condizioni ottimali.

In questo caso sono stati utilizzati quelli a base cerosa, eseguendo circa 7 passate di prodotto, visto che gli stampi non erano mai stati utilizzati; infatti l'applicazione su stampi già utilizzati richiede meno passate se trattati in precedenza.

- **Taglio del prepreg:** in gergo detto “*taglio delle pelli*” è il processo mediante il quale, dal rotolo di prepreg, otteniamo forme piane che, poste le une sulle altre e successivamente laminate, formano il manufatto. Questo processo può essere effettuato a mano o dalle macchine utensili (nel caso analizzato, trattandosi di geometrie relativamente semplici è stato fatto a mano, mediante appositi utensili).
- **Preparazione dei sacchi da vuoto:** servono a sigillare lo stampo in modo tale da poter creare una pressione relativa negativa rispetto l'ambiente, al fine di far aderire bene il laminato allo stampo e di far uscire aria e resina in eccesso fra gli strati di prepreg. Essi sono caratterizzati da una buona elasticità e resistenza allo strappo, suddivisibili in due macrocategorie, film classici e tubolari; i primi sono composti da un film unico, mentre il secondo, essendo presigillato su due lati, può ridurre notevolmente le tempistiche di produzione. Nel caso trattato è stato tagliato il rotolo a misura, ovvero più del doppio della dimensione dello stampo per evitare parti in tensione e strappi durante il processo di cura.
- **Taglio del feltro aeratore:** è un panno di feltro di diverso spessore che ha tre principali funzioni: assorbire la resina in eccesso, evitare che il sacco si buchi a causa di spigoli sullo stampo e sul laminato, stabilizzare il livello di vuoto lungo l'intera superficie dello stampo.
- **Taglio del film distaccante forato:** serve a far fuoriuscire la resina in eccesso verso l'aeratore e, allo stesso tempo, di non far aderire il laminato al sacco da vuoto e al panno assorbente stesso.

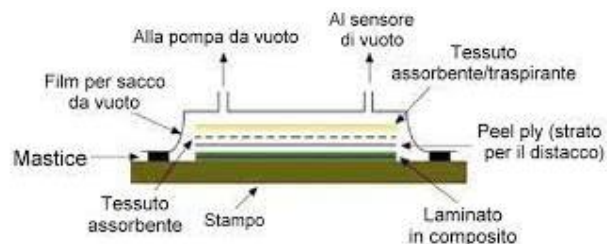


Figura 6-1 Schema corretto posizionamento del laminato

6.2 Laminazione del serbatoio

La laminazione del serbatoio è avvenuta con la tecnica dell'overlap ovvero la sovrapposizione alternata dei bordi dei vari plies, al fine di ottenere una struttura omogenea e senza spazi vuoti.

Il rotolo di prepreg, estratto dal congelatore qualche ora prima del taglio, è stato srotolato su di un piano di lavoro e successivamente sono state sagomate le geometrie con un pennarello, considerando circa 2cm di bordo in più per la sovrapposizione.

Successivamente sono state tagliate le forme con un taglierino, eliminato lo strato di film protettivo e posizionate con cura sullo stampo. Questa è una fase molto delicata del processo, dove la cura e l'attenzione giocano un ruolo fondamentale; bisogna infatti controllare che nei bordi non si vengano a creare zone di tensione, bolle o spazi vuoti e, allo stesso tempo, evitare l'incollaggio fra gli strati dove questo non è voluto.

Per far questo ci si aiuta con cunei e prodotti che "ammorbidiscono" la resina rendendola più malleabile, come l'aria calda, o in alternativa, per scollare plies dove non è necessario, si utilizza il ghiaccio spray.

Dopo la stesura del primo ply sullo stampo, si aspira l'aria con la pompa da vuoto chiudendo lo stampo all'interno del sacco mediante l'utilizzo di una gomma adesiva apposita. Questa operazione, denominata *vuoto intermedio*, permette di far aderire per bene il primo strato sullo stampo stesso, semplificando il posizionamento dei plies successivi. A seguire, si elimina il sacco e si continua con la laminazione, fino ad ottenere il manufatto finale dello spessore desiderato.

A questo punto si è proseguito con la preparazione per il curing process (i dettagli sono stati descritti nel capitolo precedente) :

- **Preparazione dello stampo:** in questa fase, con degli accorgimenti, si fa in modo che lo stampo non causi la rottura del sacco durante la fase di cura. Può avvenire mediante scotch adesivo per alte temperature o con un materiale modellabile (simile al DAS), spalmato sugli spigoli.
- **Applicazione del film distaccante forato:** viene adagiato e fatto aderire allo stampo senza creare zone di tensione.

- **Applicazione del feltro aeratore:** viene disteso sopra al film distaccante forato, facendo attenzione a non lasciare spazi vuoti e allo stesso tempo di evitare troppi strati sovrapposti. Per far questo ci si può aiutare con della colla spray.
- **Inserimento all'interno del sacco da vuoto:** in questa fase il laminato e lo stampo vengono posizionati all'interno del sacco ancora aperto.
- **Posizionamento della valvola per l'aspirazione:** la valvola per l'attacco dell'aspirazione dell'aria è da posizionare sullo stampo in una zona esterna al perimetro del manufatto da produrre. Prima di inserire l'attacco è necessario forare il sacco da vuoto (è sufficiente un foro del diametro di 1 cm circa) nel punto dove poi andrà posizionato l'attacco. L'attacco è composto da due parti (la base e la chiusura ad innesto): la base è da inserire all'interno del sacco, mentre la chiusura (preceduta dalla guarnizione in silicone) è da avvitare all'interno della base attraverso il foro fatto in precedenza.
- **Chiusura del sacco:** In questa fase viene applicata una gomma sigillante in tutto il perimetro del sacco al fine di evitare ogni ingresso di aria nelle fasi successive; affinché il procedimento sia fatto correttamente, è necessario applicare pressione con le dita e assicurarsi di non creare grinze o zone dove non è presente la gomma.
- **Aspirazione dell'aria:** In questa fase viene aspirata parte dell'aria all'interno del sacco al fine di modellarlo sullo stampo, creando delle grinze per far sì che non vi siano tensioni, specialmente nei bordi; in questa fase, eseguita da un personale qualificato, ci si aiuta con appositi cunei.
- **Verifica finale:** l'ultima fase, prima del posizionamento in autoclave, è la verifica che non ci siano aspirazioni di aria dall'esterno del sacco (in caso affermativo si procede ad individuare la falla e modellare la gomma sigillante mediante pressione con le dita, affinché l'aria cessi di entrare). Inoltre, si verifica che non ci siano tensioni e che tutti i componenti sopra citati siano ben posizionati.

Giunti a questo punto si è proseguito con l'inserimento del laminato all'interno dell'autoclave per il ciclo di cura descritto in 4.2.4.



Figura 6-2 Dettaglio dell'interno del serbatoio



Figura 6-3 Serbatoio nel sacco da vuoto

6.3 Operazioni post curing

A seguito del processo di cura eseguito in autoclave, si è proseguito con la sformatura, ovvero l'estrazione del serbatoio dallo stampo.

Si è quindi proseguito con la carteggiatura dei bordi, al fine di eliminare eventuali residui e di smussare gli spigoli vivi. Questa operazione è avvenuta utilizzando carta vetrata a grana fine per non assottigliare troppo il manufatto visto il suo spessore piuttosto sottile (circa 2mm).

Per avere una maggior sicurezza di riuscita del processo e per avere un serbatoio di backup, si è deciso di ripetere la laminazione una seconda volta; uno dei due serbatoi è stato lasciato aperto per poter inserire dentro i componenti in un momento successivo.



Figura 6-4 Stampi dopo la sformatura

L'altro serbatoio è stato prima sabbiato, (ovvero un procedimento meccanico con il quale si erode la parte più superficiale di un materiale tramite l'abrasione dovuta a un getto di sabbia e aria), successivamente rivestito internamente con uno strato di resina aggiuntiva per evitare qualsiasi problematica relativa alla corrosione della benzina, ed infine è stato sigillato in azienda.

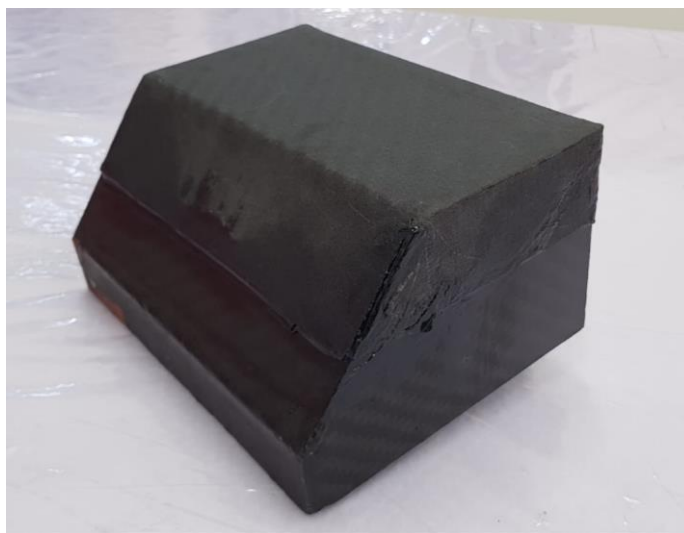


Figura 6-5 Serbatoio di backup chiuso

Per l'incollaggio è stata utilizzata la resina epossidica Elan-tech® AS 89.1/AW 89.2, di seguito sono riportate le principali caratteristiche:

SPECIFICHE DI SISTEMA					
Resina					
Viscosita' a:	25°C	IO-10-95 (ISO3219)	mPas	300.000	500.000
Indurente					
Viscosita' a:	25°C	IO-10-95 (ISO3219)	mPas	300.000	420.000
CARATTERISTICHE TIPICHE DEL SISTEMA					
Dati di lavorazione					
Colore resina				Lattescente	
Colore indurente				Nero	
Rapporto in peso		per 100 g resina	g	100:45	
Rapporto in volume		per 100 ml resina	ml	100:50	
Densita' 25°C Resina		IO-10-51 (ASTM D 1475)	g/ml	1,11	1,15
Densita' 25°C Indurente		IO-10-51 (ASTM D 1475)	g/ml	0,96	1,00
Tempo di utilizzo	25°C (40mm;100ml)	IO-10-53 (*)	min	15	25
Picco esotermico	25°C (40mm;100ml)	IO-10-53 (*)	°C	125	145
Viscosita' miscela iniziale a:	25°C	IO-10-50 (ISO3219)		-	tix
Tempo di gelificazione	15°C (1mm)	IO-10-88 (ASTM D5895-03)	h	4,5	5,5
	25°C (1mm)		h	2,0	2,5
Tempo di presa	25°C 0,1 mm	(*)	min	200 - 220	
Cicli di indurimento consigliati		(**)		2hrs at 80°C	

Tabella 6-1 Datasheet Elan-tech® AS 89.1/AW 89.2

Nel grafico seguente si può notare come la resistenza iniziale della resina non è influenzata dal contatto con la benzina:

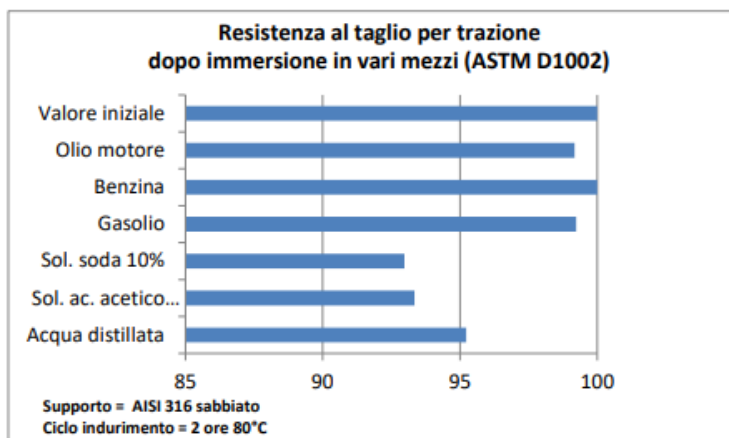


Tabella 6-2 Datasheet Elan-tech® AS 89.1/AW 89.2

Il serbatoio utilizzato in auto è stato unito ed incollato nei laboratori della facoltà, dopo aver inserito la pompa al suo interno. Inoltre, è stato avvitato ed incollato il regolatore di pressione e la flangia per il rabbocco. Per l'incollaggio dei componenti è stata utilizzata la resina epossidica LOCTITE® EA 9466™.

PROPRIETA' TIPICHE DEL PRODOTTO POLIMERIZZATO

Polimerizzato per 7 giorni a 22 °C, spessore film 1,2 mm

Proprietà Fisiche:

Temperatura di transizione vetrosa ASTM E 1640, °C	62
Durezza Shore , Durometro D, ISO 868	60
Allungamento , ISO 527-3, %	3
Resistenza a trazione ASTM D 882	N/mm² 32 (psi) (4 640)
Modulo elastico , ISO 527-3	N/mm² 1 718 (psi) (249 110)

Proprietà Elettriche:

Resistenza rottura dielettrico, IEC 60243-1, 30 kV/mm

Tabella 6-3 Datasheet LOCTITE® EA 9466™

Sulla tabella seguente si può notare che la resistenza iniziale addirittura aumenta se la resina si trova a contatto con la benzina.

Ambiente	°C	% di resistenza iniziale	
		500 h	1000 h
Olio motore (10W-30)	87	135	145
Benzina senza Pb	22	95	125
Acqua/Glicole 50%	87	75	75

Tabella 6-4 Datasheet LOCTITE® EA 9466™

6.4 Fissaggio in auto

Il fissaggio in auto è avvenuto mediante lamierini di alluminio incollati sia sul serbatoio che sul telaio. Si è proceduto con il collegamento dell'impianto di alimentazione del carburante e del cablaggio elettrico.



Figura 6-6 Serbatoio posizionato in auto, vista frontale.

Al fine di schermare il serbatoio dal calore prodotto dallo scarico del motore, la parete posteriore è stata ricoperta con del nastro adesivo in alluminio. Il nastro utilizzato è termoriflettente e fotoriflettente fino ad una temperatura di 300°C, in più resiste a fiamme, umidità e acqua.

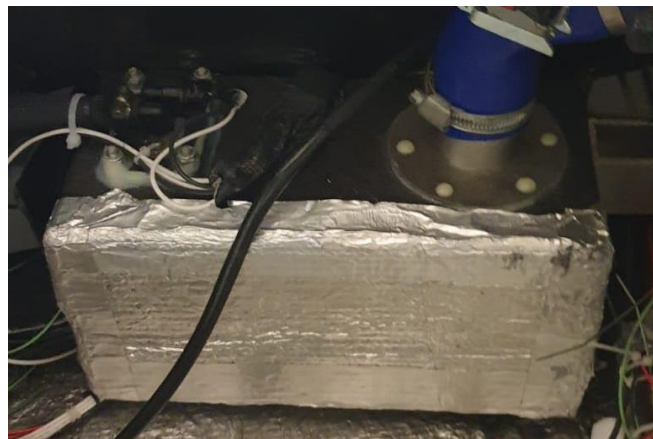


Figura 6-7 Serbatoio posizionato in auto, vista posteriore.

Conclusioni

Come illustrato nei capitoli precedenti, lo scopo iniziale del progetto era quello di eliminare la fuoriuscita di benzina, limitarne il peso e adottare un impianto di alimentazione più semplice e funzionale.

Si può affermare che la soluzione pensata, progettata e realizzata ha avuto il successo sperato; infatti, sono state riscontrate le seguenti migliorie:

- **Nessuna fuoriuscita di benzina:** il nuovo serbatoio non ha avuto nessun problema legato a questo fattore, nonostante non sia mai stato svuotato dopo le gare del 2021.
- **Incollaggio ben riuscito:** la resina utilizzata per l'incollaggio del serbatoio non ha avuto alcun problema di corrosione o di deterioramento.
- **Risparmio del peso:** con la soluzione adottata, si è riusciti a risparmiare circa 1,2kg di peso; si è infatti eliminato il circuito di bypass, il nuovo regolatore è più leggero, la pompa utilizzata attualmente ha un peso inferiore di circa 800g rispetto quella precedente e le dimensioni stesse del serbatoio sono diminuite.
- **Minore ingombro:** le dimensioni ridotte hanno consentito di avere più spazio disponibile all'interno del telaio, utile per il posizionamento del cablaggio elettrico.
- **Aumento dell'affidabilità:** la soluzione trovata ha anche risolto i problemi di affidabilità; infatti, non sono stati registrati problemi riguardanti l'impianto di alimentazione del carburante, precedentemente legati soprattutto al consumo eccessivo della batteria.
- **Risparmio della corrente elettrica:** la pompa della benzina, essendo più piccola, ha un assorbimento minore, a vantaggio della durata della batteria.

In conclusione, si può affermare che il lavoro svolto è stato utile, risolutivo e migliorativo rispetto la situazione di partenza.

Le date di inizio e fine progetto prevista nel diagramma di Gantt sono state pressoché rispettate, se non con qualche giorno di differenza.

Alcune limitazioni nella realizzazione del serbatoio sono dovute al budget molto ristretto che il team ha riservato al progetto e al tempo limitato per lo studio della soluzione da adottare.

Un approfondimento da studiare potrebbe essere legato al fenomeno di sloshing e studiarne gli effetti per poi trovare una soluzione adeguata a limitarne gli aspetti negativi. Inoltre, si potrebbero effettuare dei calcoli FEM riguardanti le vibrazioni generate dal motore per vederne l'andamento.



Figura 6-8 serbatoio precedente a sinistra, serbatoio di backup a destra, FS EAST 2021

Riferimenti

- [1] carbonovus.com - processi produttivi del carbonio-
- [2] formulastudent.de -rules 2020-
- [3] polimarcheracingteam.com - storia e organizzazione del polimarche-
- [4] wikipedia.org -chiarimenti-
- [5] reglass.it - fibra di carbonio-
- [6] gurit.com - guide to composites-
- [7] greelane.com - prepreg-
- [8] modmod.it -strumenti e tecniche di lavorazione del carbonio-
- [9] ms-motorservice.com - pompe benzina-
- [10] mates.it - distaccanti –
- [11] mikecompositi.it - tecniche di laminazione -

Software utilizzati

- Dassault Systèmes™Solidworks®: modellazione CAD dei componenti
- KeyShot: realizzazione dei Render
- Project Libre: stesura del diagramma di Gantt
- Excel: rappresentazione grafica del curing process

Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Marco Sasso per essere il relatore di questa tesi e per avermi permesso di concludere il percorso di studio triennale in ingegneria meccanica.

Ringrazio tutti i professori, i collaboratori e gli assistenti dell'Università Politecnica delle Marche che hanno permesso al Polimarche Racing Team di nascere e continuare ad esistere, grazie per aver creduto in questo progetto.

Ringrazio la mia famiglia, i miei amici e la mia ragazza per avermi supportato sempre, in ogni mia scelta.

Ad maiora