



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**STUDIO DEL PROCESSO DI
REALIZZAZIONE DI UN VOLANTE IN
MATERIALE COMPOSITO PER VETTURE
DA COMPETIZIONE**

**Study of the manufacturing process for a racing car
composite material steering wheel**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Archimede Forcellese

Correlatore:

Ing. Alessio Vita

Tesi di Laurea di:

Amos Zallocco

Anno Accademico 2020/2021

Sommario

ABSTRACT	1
1. INTRODUZIONE	2
1.1 FORMULA STUDENT	2
1.1.1 EVENTI DINAMICI	4
1.1.2 EVENTI STATICI	5
1.2 POLIMARCHE RACING TEAM	7
1.2.1 Peacock 4 EVOLUZIONE	7
1.3 COMPOSITI	9
1.3.1 MATRICI	9
1.3.2 FIBRE	9
1.4 CFRP	11
1.4.1 LAMINATI VS SANDWICH	15
1.5 TECNOLOGIE PRODUTTIVE	17
1.6 VARIABILI NEI CICLI PRODUTTIVI	20
2. STUDIO PROCESSO PRODUTTIVO	22
2.1 VOLANTE A GUSCIO	22
2.2 OBIETTIVI E VINCOLI PROGETTUALI	23
2.2.1 REQUISITI DOVUTI AL REGOLAMENTO FSG	23
2.2.2 GEOMETRIE PREESISTENTI INVARIABILI	24
2.2.3 INGEGNERIZZAZIONE COMPONENTI INTERFACCIA PILOTA ...	24
2.2.4 CHIUSURA ERMETICA	26
2.2.5 DESIGN FOR MANUFACTURING	26
2.3 DESIGN FREEZING	28

2.4	SCELTA METODO PRODUTTIVO.....	29
2.5	MODELLAZIONE E REALIZZAZIONE STAMPI	29
2.6	SCELTA MATERIALE E CICLO DI CURING	33
2.7	PLYBOOK.....	35
3.	RISULTATI.....	44
3.1	REALIZZAZIONE.....	44
3.2	ASSEMBLAGGIO ED IMPUGNATURE.....	49
4.	CONCLUSIONI.....	51
	BIBLIOGRAFIA/REFERENZE	54

ABSTRACT

Il seguente lavoro di tesi tratta della progettazione di un volante da competizione, più nello specifico sarà analizzato il processo realizzativo del manufatto in composito.

Verrà brevemente descritto il tipo di competizione per dare un quadro d'insieme del contesto dal quale deriva il concept del volante, successivamente saranno presentate le differenti tecnologie applicabili alla modellazione dei compositi, tra le quali si sceglierà quella da utilizzare per il volante.

Brevemente ed in ordine cronologico, si toccheranno tutti i punti della progettazione a partire dalla forma del volante, fino ad arrivare alla geometria finale dello stampo; finita la parte progettuale sarà descritto a grandi linee il processo produttivo e le varie fasi che si sono susseguite per poter permettere la realizzazione del manufatto.

L'obiettivo di questa tesi è progettare un volante per vetture da Formula Student, focalizzando l'attenzione sullo studio della parte realizzativa in maniera tale da poter essere prodotto ed utilizzato in competizioni universitarie.

1. INTRODUZIONE

La seguente introduzione tratterà in maniera sommaria alcuni punti fondamentali per poter comprendere a pieno l'elaborato, senza la necessità di nessun prerequisito tecnico.

1.1 FORMULA STUDENT

La Formula Student è una competizione internazionale tra studenti di atenei universitari, lo scopo è quello di ricreare una dinamica aziendale all'interno del percorso di studi, in modo da preparare gli studenti al mondo del lavoro. Essi infatti dovranno progettare, realizzare, omologare ed in fine gareggiare con il loro prototipo: una vettura da corsa in stile formula.

Il campionato fu istituito dalla SAE (Society of Automotive Engineers), nel 1981 ed oggi conta 13 eventi ufficiali validi per il piazzamento nella Formula Student World Ranking List, oltre a svariati eventi non ufficiali.

Eventi ufficiali:

- America
 - Formula SAE Michigan
 - Formula SAE Lincoln
 - Formula SAE North
- Europa
 - Formula Student Italy
 - Formula Student Germany
 - Formula Student EAST
 - Formula Student Czech
 - Formula Student U.K.
 - Formula Student Spain
 - Formula Student Netherlands
- Asia
 - Formula Baharat

- Formula AE AustralAsia
- Formula Student Japan

Ad oggi vi è una divisione tra gli eventi denominati Formula SAE e Formula Student, infatti, la seconda è nata nel 2017 da una variazione del regolamento SAE apportata dalla Formula Student Germany; la differenza rimane comunque limitata al regolamento tecnico e non intacca lo spirito e lo scopo della competizione, che resta un momento di crescita personale e professionale dello studente.



Figura 1: foto panoramica della competizione FS EAST

Ogni team è equiparato ad una vera e propria scuderia, che deve: progettare, produrre, testare, promuovere e valutare economicamente il proprio prototipo. La valutazione della vettura e del lavoro della squadra avviene in sede di gara, tramite una serie di eventi che possiamo suddividere in due macroaree: eventi dinamici ed eventi statici.

Per poter accedere ai primi, il veicolo deve superare diverse ispezioni tecniche che garantiscono il rispetto del regolamento e delle principali norme di sicurezza. Superate queste ispezioni si accede a quelli che sono gli eventi dinamici.

1.1.1 EVENTI DINAMICI

Acceleration: il veicolo deve accelerare su un percorso rettilineo di lunghezza 75m e di carreggiata 5m. la prova deve essere svolta da 2 piloti differenti, i quali hanno a disposizione 2 run ciascuno per mettere a segno il loro miglior tempo.

Skidpad: in questa prova il percorso non è rettilineo, bensì a forma di 8, il tracciato ha carreggiata 3m e diametro dei cerchi interni 15.25m, come per l'acceleration, la prova deve essere effettuata da 2 piloti ed hanno a disposizione 2 run ciascuno.

Autocross: anche qui si mantiene la stessa modalità di esecuzione per numero piloti e numero di run, il tracciato è un circuito che ha una lunghezza minore di 1,5 km e contiene slalom, rettilinei, curve veloci e curve lente. Possiamo definire questa prova come una sprint-race, infatti qui viene valutata la guidabilità dell'auto e la classifica è stilata in base ai tempi di percorrenza.

Endurance e fuel efficiency: totalmente diversa è quest'ultima prova, la quale si svolge su un circuito simile a quello della precedente, ma con una distanza di percorrenza superiore. Infatti, verranno effettuati più giri per arrivare a percorrere 22km; il cambio pilota è obbligatorio ed avviene a metà evento (11 km). Come facilmente intuibile lo scopo di questa prova è valutare l'affidabilità della vettura e i consumi, perciò, a fine evento verrà misurata anche la quantità di carburante utilizzata.

1.1.2 EVENTI STATICI

Gli statici hanno come obiettivo la valutazione del team e del suo operato piuttosto che quella del veicolo; questi eventi sono rispettivamente:

Business plan presentation: in questo caso i giudici vengono considerati come dei potenziali investitori, che valutano la profittabilità di un investimento in un business che è il veicolo sviluppato dal gruppo. Non fanno parte della valutazione le performance in pista del prototipo, ma solo la bontà del modello di business (Business plan) sviluppato intorno alla vettura.

Cost and manufacturing: questo è l'evento in cui viene valutata la padronanza e la comprensione dei processi produttivi e dei relativi costi da parte della squadra; avviene tramite valutazione della BOM (bill of material), cioè la lista dei componenti e il relativo metodo produttivo usato. L'attenzione si focalizza sul Make or Buy decision, una tematica molto importante nelle aziende che è la scelta tra comprare o produrre una determinata parte.

Engineering design: l'obiettivo di questo evento è la valutazione della parte ingegneristica che porta alla realizzazione dell'automobile. Essa è preponderante nella progettazione del veicolo, ma non si limita alla sola progettazione, infatti, oltre al perché delle scelte tecniche i giudici, (che sono ingegneri di lunga esperienza nel settore automotive) richiedono anche una validazione sperimentale che possa confermare la bontà della scelta effettuata.

Ai fini della classifica generale ogni evento ha un suo punteggio, la cui somma è 1000 punti. Una piccola osservazione va fatta per la categoria¹ di veicolo con cui si partecipa, infatti, essi possono essere di tre tipi: combustion, electric o driverless.

	CV & EV	DV
Static Events:		
Business Plan Presentation	75 points	75 points
Cost and Manufacturing	100 points	100 points
Engineering Design	150 points	300 points
Dynamic Events:		
Skid Pad	75 points	75 points
Acceleration	75 points	75 points
Autocross	100 points	100 points
Endurance	325 points	-
Efficiency	100 points	75 points
Trackdrive	-	200 points
Overall	1000 points	1000 points

Figura 2: punteggi massimi

¹ per completezza va detto che nel nuovo regolamento 2022 sono state apportate modifiche alle categorie di veicolo

1.2 POLIMARCHE RACING TEAM

Il Polimarche racing team, come dice il nome stesso, è il team di formula SAE dell'Università Politecnica delle Marche, è stato fondato nel settembre del 2013 e ad oggi racchiude nel suo organigramma circa 60 studenti provenienti da diverse facoltà di Ingegneria, si va dalla Meccanica all'Informatica passando per quella Elettronica, Gestionale e Biomedica; non sono presenti solo futuri ingegneri ma partecipano anche studenti provenienti dalla facoltà di Economia. La struttura del gruppo simula una vera e propria azienda nella quale è presente un direttivo formato dai responsabili di reparto, dal responsabile tecnico e dal team captain.



Figura 3: stemma del Polimarche Racing Team

1.2.1 Peacock² 4 EVOLUZIONE

È l'ultimo prototipo prodotto ed è quello nel quale è installato il volante oggetto della tesi. Volendo brevemente introdurre la vettura, essa è l'evoluzione della Peacock 4 dalla quale non si differenzia molto, ha mantenuto il telaio monoscocca in fibra di carbonio, con variazione della tipologia di fibre e posizione dei rollbar; il sistema propulsivo è il medesimo: un monocilindrico KTM 690 reso turbo; una leggera variazione è avvenuta nel pacchetto aerodinamico variando la forma dell'ala anteriore.

² Peacock (pavone) è il nome che è stato scelto per le vetture del Polimarche Racing Team, basato sul logo dell'Università Politecnica delle Marche. Il simbolo dell'Università rappresenta due pavoni sull'albero della sapienza, illustrazione presa da un bassorilievo presente nella cattedrale di San Ciriaco di Ancona.



Figura 4: Peacock 4 Evoluzione in pista

1.3 COMPOSITI

Una breve trattazione dei materiali fibrorinforzati è doverosa per permettere al lettore una completa comprensione dell'elaborato.

I compositi sono così detti perché costituiti da due fasi distinte:

- matrice, la quale è usata per diversi scopi, tra cui quello di sostenere le fibre e tenerle insieme per dare quindi forma al manufatto;
- fibre, sono il vero e proprio rinforzo che dà le proprietà desiderate al laminato: rigidità, resistenza meccanica e direzioni preferenziali.

1.3.1 MATRICI

Volendo citare alcune matrici possiamo averne di termoplastiche o termoindurenti:

- termoplastiche: somministrando calore esse fondono, per cui possono essere riutilizzate dopo la solidificazione grazie al loro comportamento reversibile;
- termoindurenti: hanno un comportamento irreversibile, quindi una volta solidificate non ritornano allo stato liquido, dato che la loro solidificazione avviene tramite un agente reticolante; questo processo di polimerizzazione è definito curing ed in base alla tipologia di resina può avvenire a diverse temperature.

Tra le termoindurenti più usate vi sono: resine fenoliche, epossidiche e ammidiche, quelle con migliori caratteristiche meccaniche sono le epossidiche, ma sono comunque di molto inferiori alle caratteristiche delle fibre di rinforzo.

1.3.2 FIBRE

La scelta della tipologia di fibra è fondamentale, infatti, sarà essa a influenzare maggiormente le proprietà del laminato in termini di: resistenza meccanica, modulo

elastico, densità relativa, meccanismi di resistenza e rottura, ma anche in termini di costi.

Le tipologie di fibre più utilizzate ad oggi sono:

- vetro: medio-basso costo e medie proprietà meccaniche;
- carbonio: alto costo e buone proprietà meccaniche, tra tutte rigidezza e resistenza;
- aramidiche: medio-alto costo e discrete proprietà meccaniche, tra tutte spicca la resistenza agli urti e all'abrasione;
- naturali: basso costo e proprietà meccaniche inferiori rispetto alle precedenti, tuttavia va considerato tra gli aspetti positivi il loro basso impatto ambientale.

1.4 CFRP³

Tra le fibre precedentemente elencate, la più usata nel motorsport è quella di carbonio, per cui scendendo nel dettaglio, questa categoria si può suddividere in relazione alla rigidità delle fibre in:

- LM (Low Modulus)
- SM (Standard Modulus)
- IM (Intermediate Modulus)
- HM (High Modulus)
- UHM (Ultra High Modulus)

Strength and Modulus Figures for Commercial PAN-based Carbon Fibres:

Grade	Tensile Modulus (GPa)	Tensile Strength (GPa)	Country of Manufacture
Standard Modulus (<265GPa) (also known as 'High Strength')			
T300	230	3.53	France/Japan
T700	235	5.3	Japan
HTA	238	3.95	Germany
UTS	240	4.8	Japan
34-700	234	4.5	Japan/USA
AS4	241	4.0	USA
T650-35	241	4.55	USA
Panex 33	228	3.6	USA/Hungary
F3C	228	3.8	USA
TR50S	235	4.83	Japan
TR30S	234	4.41	Japan
Intermediate Modulus (265-320GPa)			
T800	294	5.94	France/Japan
M30S	294	5.49	France
IMS	295	4.12/5.5	Japan
MR40/MR50	289	4.4/5.1	Japan
IM6/IM7	303	5.1/5.3	USA
IM9	310	5.3	USA
T650-42	290	4.82	USA
T40	290	5.65	USA
High Modulus (320-440GPa)			
M40	392	2.74	Japan
M40J	377	4.41	France/Japan
HMA	358	3.0	Japan
UMS2526	395	4.56	Japan
MS40	340	4.8	Japan
HR40	381	4.8	Japan
Ultra High Modulus (~440GPa)			
M46J	436	4.21	Japan
UMS3536	435	4.5	Japan
HS40	441	4.4	Japan
UHMS	441	3.45	USA

Figura 5: paragone proprietà fibre di carbonio

³ Carbon Fiber Reinforced Polymers: nome tecnico del composito in fibra di carbonio

Oltre alla tipologia di fibre in un composito va definita la disposizione e la dimensione delle stesse, dato che influenzano sia le proprietà meccaniche che i meccanismi di rottura ed i processi produttivi. In base alla dimensione le fibre possono essere suddivise in fibre lunghe o corte; la differenza di lunghezza porta ad una maggior resistenza alla trazione nelle fibre lunghe ma il loro limite è quello tecnologico, infatti, in alcuni processi produttivi sono difficilmente applicabili.

La seconda caratteristica, già anticipata, con la quale si caratterizza il laminato è la disposizione delle fibre, prendendo in considerazione solo quelle lunghe (usate ai fini della tesi) si dividono in unidirezionali o tessuti. Ricordiamo che le caratteristiche meccaniche di un laminato dipendono in maniera preponderante dalla fibra e si riscontrano le migliori caratteristiche meccaniche proprio lungo la direzione della lunghezza della stessa.

Negli unidirezionali le fibre sono disposte per la stragrande maggioranza lungo una sola direzione, possono fare eccezione alcuni fasci che sono disposti perpendicolarmente alle altre, al mero scopo di mantenere unite le fibre anche sotto carichi trasversali.

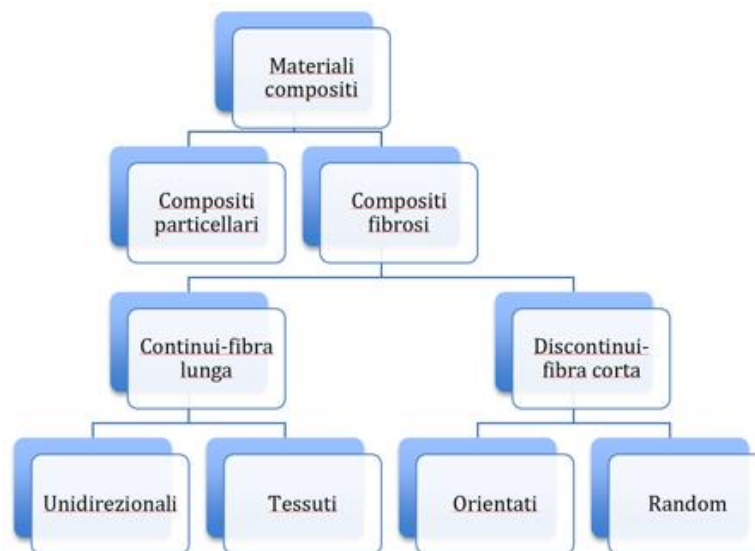


Figura 6: schema riassuntivo di lunghezza e disposizione delle fibre

Per i tessuti, nel corso degli anni ne sono stati sviluppati di diversi tipi, in base alle applicazioni tecnologiche ed alle sollecitazioni meccaniche a cui sono sottoposti i laminati.

Trattando i tessuti biassiali possono essere definite due direzioni principali: la trama e l'ordito. L'ordito, in inglese warp, è la direzione parallela alla lunghezza del tessuto, pensando al tessuto avvolto in un rotolo (forma in cui viene venduto dalle aziende produttrici) essa è la direzione dello svolgimento; la trama, in inglese fill, è la direzione perpendicolare alla precedente: la larghezza del rotolo.

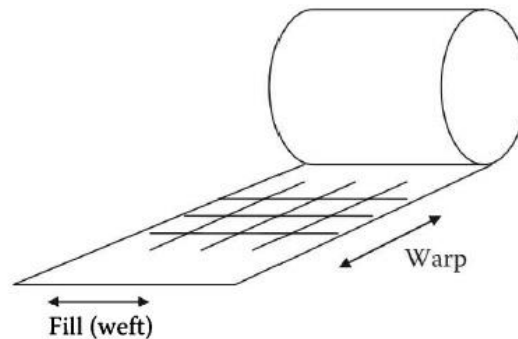


Figura 7: schema direzioni trama ordito

La tipologia di intreccio influisce su diverse caratteristiche tra cui:

1. drappabilità: è la caratteristica del tessuto a seguire le forme dello stampo;
2. stabilità: determina lo spostamento delle fibre durante il processo di formatura nello stampo e la rigidità finale del laminato;
3. disallineamento: tecnicamente definito come crimp, è l'ondulazione fuori dal piano delle fibre, esso comporta un decremento delle performance del laminato.

Tenendo conto delle caratteristiche precedenti, si illustrano i principali tessuti utilizzati nelle applicazioni industriali:

1. plain (tela): l'intreccio avviene con spaziatura e cadenza regolare, questo porta il tessuto ad avere la stessa quantità di fili di ordito e trama, il tessuto viene definito bilanciato; è presente un moderato fiber crimp, che genera una limitazione della rigidità e resistenza del composito a seguito di un carico di trazione;

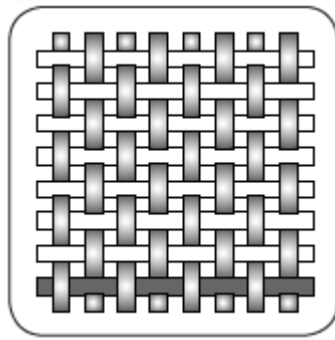


Figura 8: intreccio di tipo plain

2. twill (spina): in questo caso l'intreccio avviene alternando uno o più fili di trama con due o più fili di ordito, questo porta all'effetto visivo caratteristico di una diagonale lungo il manufatto; il numero minore di sovrapposizioni porta ad un minore crimp, che si riflette in una maggiore drappabilità e caratteristiche meccaniche leggermente superiori al precedente tessuto, l'unico svantaggio è una leggera minor stabilità del tessuto;



Figura 9: intreccio di tipo twill

3. satin (raso): è una tessitura simile al twill ma che si differenzia per intrecci più distanziati, possono avere da 3 ad 8 fili tra le intersezioni; ciò comporta un maggior decremento del crimp, quindi, migliori caratteristiche meccaniche, ma la stabilità del tessuto può scendere di molto.



Figura 10: intreccio di tipo satin

1.4.1 LAMINATI VS SANDWICH

Quello visto fino ad ora era un riferimento alla singola lamina, ma nella pratica ingegneristica in base alle sollecitazioni, al metodo produttivo e ad altri fattori si andranno a combinare più strati di carbonio. In termini tecnici sono definiti ply/plies ed il laminato che ne deriva ha la dimensione dello spessore molto minore rispetto le altre. Per incrementarne la rigidità e resistenza flessionale questi laminati vengono incollati ad un core che li distanzia dall'asse neutro; la composizione di lamine e core viene definita pannello sandwich.

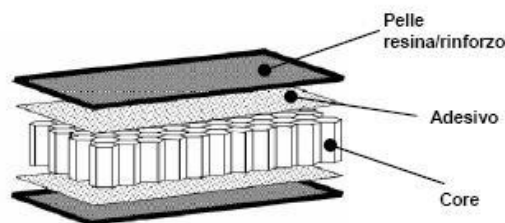


Figura 11: esempio tipico di pannello sandwich

Le pelli esterne sono di materiale fibrorinforzato e sono molto resistenti ma poco spesse, il core o riempitivo è un materiale che, come detto precedentemente, ha il solo scopo di distanziare le pelli per aumentare il momento d'inerzia del pannello e quindi sarà un materiale sicuramente leggero e poco resistente. Particolare attenzione va posta nell'interfaccia dei due materiali dove per tenerli saldamente insieme va inserito un adesivo.

La scelta del materiale che funge da core va fatta caso per caso, dopo una valutazione delle caratteristiche fisiche ricercate nel pannello e può ricadere in quattro macroaree:

- schiume:
 - PVC (PoliVinilCloruro espanso);
 - PUR (schiume di poliuretano);
 - PMI (polimetacrilimmide);
- legno di balsa;
- fibre minerali (usate come isolante termico/acustico);
- honeycomb (alveolari);
 - alluminio;
 - Nomex (derivante dal kevlar).

1.5 TECNOLOGIE PRODUTTIVE

Scegliere i materiali e la loro disposizione spaziale nel laminato non è sufficiente a definirne le caratteristiche meccaniche, infatti, anche la tecnologia produttiva influenza questi aspetti; nel corso del tempo sono state messe a punto varie soluzioni produttive che variano in base alla geometria da realizzare, al numero di parti da produrre e soprattutto alla resistenza meccanica da ottenere.

La principale divisione si ha tra: fibre secche e tessuti pre-impregnati o prepregs.

Le prime sono usate in processi come:

- wet layup: resina e fibra secca sono disposti a mano da degli operatori sullo stampo adeguatamente distaccato con agenti chimici, è uno dei processi più antichi ma anche meno costosi e permette di realizzare forme di dimensioni importanti;

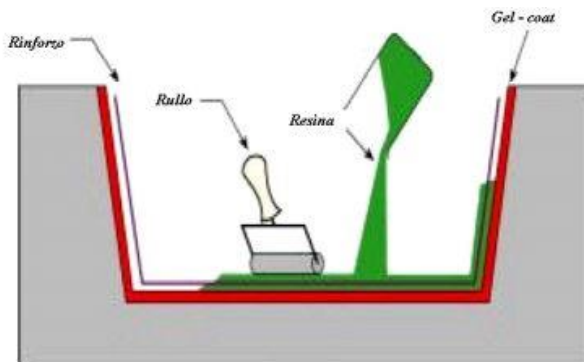


Figura 12: esempio di wet layup

- RTM Resin Transfer Molding: la fibra secca è disposta anche in questo caso su uno stampo e per essere tenuta in posizione viene bagnata da un binder. Una volta terminato il processo di laminazione viene chiuso il contro stampo e viene iniettata la resina. Questa tecnologia è usata per processi ripetitivi su larga scala.

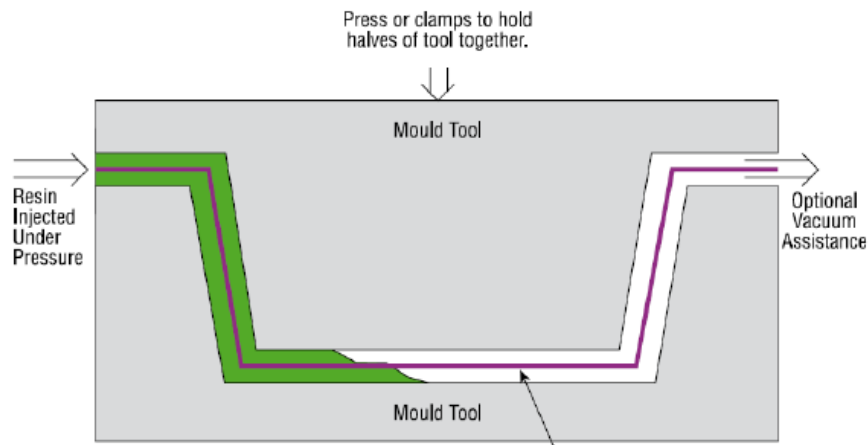


Figura 13: esempio di processo RTM

I prepregs sono principalmente usati nello stampaggio in sacco, bag molding, anche essi si possono suddividere in due categorie di processi:

- in autoclave: il prepreg viene tagliato e posizionato sullo stampo precedentemente distaccato, finita la fase di laminazione viene chiuso il sacco da vuoto ed è aspirata l'aria all'interno. L'ultima fase del processo è la cura che avviene all'interno di un'autoclave, il quale fornisce temperatura e pressione al laminato, conferendogli determinate caratteristiche e proprietà meccaniche;

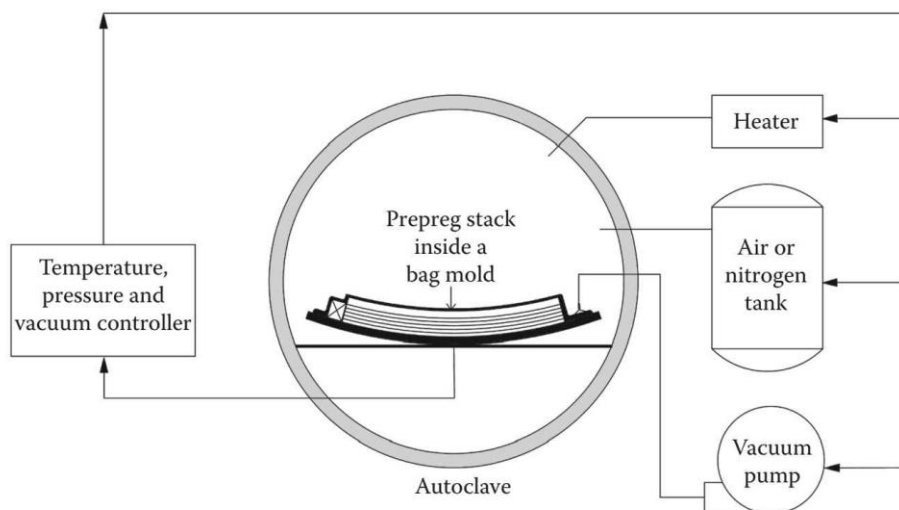


Figura 14: schema di funzionamento di un'autoclave

- out of autoclave: il processo è molto simile al precedente ma avviene in forno o a temperatura ambiente, l'unica pressione fornita al laminato è data dal vuoto del sacco. Questa tecnologia è molto utilizzata per componenti come: parti di aerei o manufatti per il settore eolico, le cui dimensioni non permettono il loro inserimento in un'autoclave.

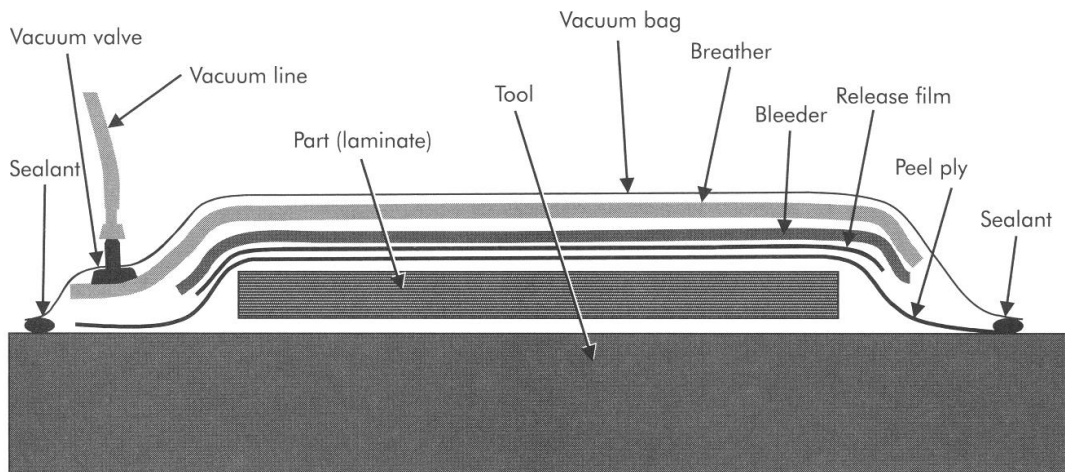


Figura 15: strumenti e componenti usati nel processo bag molding

1.6 VARIABILI NEI CICLI PRODUTTIVI

Le problematiche tecnologiche riscontrabili saranno analizzate nel corpo centrale dell'elaborato, per ora verrà fornita spiegazione del perché vengono applicate pressione e temperatura in fase di curing: il loro effetto combinato permette la polimerizzazione della resina e quindi il conferimento della forma finale al laminato.

Pressione: che sia fornita dal sacco o dall'autoclave essa ha lo scopo di far aderire il laminato allo stampo modellandolo, ma soprattutto permette di uniformare il quantitativo di resina nel laminato facendo fuoriuscire quella in eccesso (squeeze out). Una funzione da non trascurare è quella di evitare la formazione di eventuali vuoti interni che fungerebbero da cricche o microcricche e quindi porterebbero alla rottura della parte, in caso di stress meccanici.

Temperatura: nei preimpregnati il processo di polimerizzazione della resina è già innescato, l'aumento di temperatura ne riduce notevolmente i tempi; infatti, la fase di curing avviene anche a temperatura ambiente per i processi out of autoclave.

La temperatura inoltre influenza la viscosità della resina e quindi facilita l'espulsione di quella in eccesso.

Determinare la giusta temperatura del ciclo di cura in autoclave, significa far avvenire la polimerizzazione completa della resina nel minore tempo possibile. La temperatura come la pressione non sarà costante, ma varierà con un certo gradiente iniziale e finale per permettere al pezzo di scaldarsi in maniera uniforme e controllata.

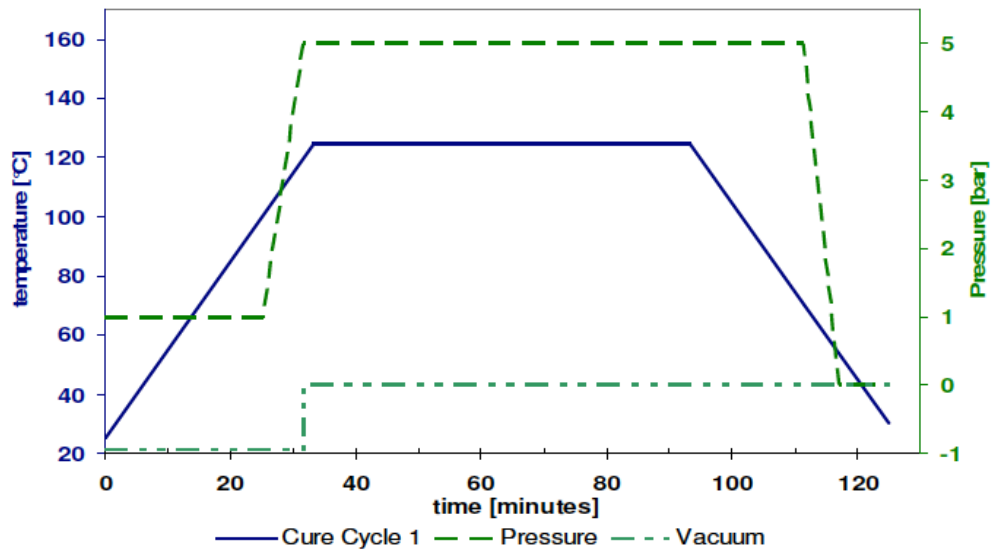


Figura 16: esempio ciclo di cura prepreg con matrice epossidica

2. STUDIO PROCESSO PRODUTTIVO

2.1 VOLANTE A GUSCIO

L'oggetto su cui verte questa tesi è lo studio del metodo produttivo di un volante in composito per vetture da competizione formula SAE; più nello specifico il volante sarà a guscio, quindi, costruito senza utilizzo del core ma solo con pelli di carbonio, da qui deriva l'appellativo shell o guscio.

Il motivo di questa scelta va cercato in primis nella possibilità di inserirvi all'interno tutta quella che è l'interfaccia pilota-vettura e in secondo luogo nel poter mantenere la stessa resistenza e rigidità del precedente volante, abbassando il peso del laminato finale.

L'idea è nata osservando e prendendo spunto dallo sterzo delle massime categorie come Formula E, Formula 1



Figura 17: volante Ferrari SF1000, campionato Formula 1

2.2 OBIETTIVI E VINCOLI PROGETTUALI

I principali vincoli in fase di progettazione sono dettati da vari fattori:

- requisiti dovuti al regolamento FSG⁴;
- geometrie preesistenti invariabili;
- ingegnerizzazione componenti di interfaccia pilota;
- chiusura ermetica;
- design for manufacturing.

2.2.1 REQUISITI DOVUTI AL REGOLAMENTO FSG

Le principali limitazioni di forma e posizione dello sterzo sono descritte nella sezione T⁵ del regolamento, rispettivamente per la forma si hanno le:

- T2.6.7: il volante deve avere un perimetro continuo con forma circolare o circa ovale. Il profilo del perimetro esterno può avere dei tratti rettilinei, ma non tratti concavi;
- T2.6.8: in ogni posizione angolare assunta dal volante, esso non deve sporgere al disopra della superficie tangente al front hoop⁶ nel suo punto più alto.

Per il posizionamento invece si fa riferimento alle:

- T2.6.5: il volante deve essere collegato alla colonna sterzo tramite un dispositivo a sgancio rapido, che deve poter essere azionabile dal pilota nella normale posizione di guida;
- T2.6.6: nessuna parte del volante può trovarsi ad una distanza superiore ai 250 mm dal front hoop, misurati orizzontalmente lungo la mezzeria del veicolo; partendo dalla superficie frontale del front hoop a quella posteriore del volante, con il volante in qualsiasi posizione angolare.

⁴ Formula Student Germany, è l'ente più autorevole per quanto concerne i regolamenti dei campionati Formula Student che si svolgono in Europa

⁵ General Technical requirements

⁶ Roll-bar anteriore atto a proteggere le gambe del pilota

In ottemperanza alle precedenti regole si è optato per acquistare lo sgancio rapido ODS-024-WE dall'azienda OMP, nota nel settore delle competizioni automobilistiche. La scelta è giustificata dal fatto che questo deve essere un componente affidabile, sia dal punto di vista strutturale, che da quello dell'isolamento elettrico, dato che al suo interno ospita un connettore a undici pin, che permette il funzionamento delle interfacce pilota-vettura come i tasti e lo schermo.

Il passaggio successivo alla scelta di questo componente è stato definirne il posizionamento, dato che esso rappresenta l'asse di rivoluzione del volante in fase di sterzata, ed influisce su quello che è l'ambito regolamentato dell'altezza del volante rispetto al roll-bar anteriore (T2.6.8). A sua volta questa altezza limita la geometria del volante in termini di larghezza.

2.2.2 GEOMETRIE PREESISTENTI INVARIABILI

Le geometrie che non è stato possibile sviluppare ex novo sono: la larghezza del volante ed in parte la forma esterna; il motivo va ricercato nel fatto che il volante a guscio è l'evoluzione del precedente. Come questo va posizionato all'interno della vettura e per mantenere l'omocineticità della colonna sterzo, data da due giunti cardanici con lo stesso angolo di apertura, deve essere collocato nella medesima posizione del precedente.

2.2.3 INGEGNERIZZAZIONE COMPONENTI INTERFACCIA PILOTA

A questo punto entra in gioco tutta la parte ergonomica di interfaccia pilota-vettura, le richieste principali dei piloti nel corso del tempo sono state:

- 4 pulsanti, rispettivamente per: marker telemetria, drs, launch control e scroll/refresh del menù;
- un manettino per variare la mappatura del motore;
- tasti e paddle per la cambiata al volante;
- schermo e fascia led per leggere in tempo reale i dati della vettura utili in pista;

- PCB volante: componente elettronica fondamentale per il funzionamento di tutte le parti precedentemente elencate, questa va a posizionarsi all'interno dei gusci assieme al cablaggio ad essa inerente;
- impugnature ergonomiche.

Il posizionamento di tutte queste componenti è stato più volte messo in discussione con i piloti e variato in base alle loro esigenze e richieste al fine di facilitarne l'utilizzo durante la guida.

In ottica di migliorare l'ergonomia del volante, sono state modificate le impugnature del precedente sterzo, valutate in maniera positiva dai piloti, adattandole alla nuova geometria. Il metodo produttivo delle impugnature è rimasto invariato, stampa 3D con tecnologia F.D.M⁷. passando però da un materiale chiamato PETG⁸ al TPU⁹ molto più morbido al tatto e deformabile, proprio quest'ultima caratteristica permette alle impugnature di essere utilizzate da più piloti, mantenendo invariata la geometria di progetto e quindi senza essere sostituite ad ogni cambio pilota. L'opzione di sviluppare impugnature su misura per ogni pilota è stata scartata per varie problematiche, prima fra tutte la difficoltà di cambiarle direttamente in pista.

L'ultima componente sviluppata, sia in maniera tale da essere facilmente fruibile, che in modo da adattarsi agli ingombri ed alle altre parti dell'assieme volante è il paddle cambiata ed i relativi tasti. Il paddle è ricavato da una lamina in fibra di carbonio tagliata water-jet nella forma desiderata, per variarne la rigidità sono state prodotte diverse lamine di vari spessori, in maniera tale da permettere ai piloti una scelta nel feedback della cambiata ed evitare variazioni di marcia dovute ad azionamenti involontari.

⁷ Fused Deposition Modelling, è un processo di stampa 3D

⁸ PETG: polimero derivante dal polietilene tereftalato (PET) di largo impiego nella stampa 3D

⁹ TPU: Poliuretano termoplastico, è un elastomero flessibile

2.2.4 CHIUSURA ERMETICA

Questo requisito scaturisce dal fatto che all'interno del volante vi sono tutte le componenti elettroniche necessarie al suo funzionamento, ovviamente devono essere protette da una possibile infiltrazione di acqua, in caso di condizione di gara bagnata. Per non incorrere in queste problematiche, la scelta iniziale era di scomporre il volante in due semigusci ed incollarli lungo la linea di divisione, così facendo non si sarebbe incorso in problemi di infiltrazioni grazie all'adesivo. Però per permettere il posizionamento e la manutenzione delle componenti interne ai gusci, andava creato uno sportellino estraibile sul quale vincolare tutta l'elettronica; questo significa che la problematica della protezione da agenti atmosferici non risolta e minore rigidità dei gusci data appunto dal taglio delle fibre, per lasciare spazio allo sportellino removibile. Infine, si è optato per avvitare i due semigusci, in maniera da poter accedere con estrema facilità alle componenti interne e provvedere alla protezione dall'acqua tramite un sigillante da apporre sul bordo del piano di divisione del volante.

2.2.5 DESIGN FOR MANUFACTURING

Da tenere sempre in considerazione in fase di progetto è il metodo produttivo del componente che si sta modellando, questo stile o strumento di progettazione è definito design for manufacturing; esso prende in considerazione la tecnologia produttiva già in fase di progetto, ciò permette di conoscere a monte le limitazioni tecnologiche a cui sarà soggetto il componente in fase realizzativa e quindi ovviare ad alcune problematiche, progettando adeguatamente la parte da produrre.

Nello specifico i gusci in carbonio sono stati realizzati usando la tecnologia bag-molding, le principali limitazioni che ne scaturiscono sono:

- adeguati angoli di sforno;
- difficoltà realizzativa di sottosquadri.

Nello specifico l'angolo di sforno usato è di circa 2°, il valore numerico è stato consigliato dallo sponsor tecnico del Polimarche Racing Team, HP Composites, dopo aver valutato assieme la geometria da realizzare ed il materiale dello stampo. Per i sottosquadri, anche se sono stati ridotti al minimo, sono ugualmente presenti, dato che

erano utili e non eliminabili, per cui si è dovuto lavorare sullo stampo per poterli realizzare in maniera adeguata.

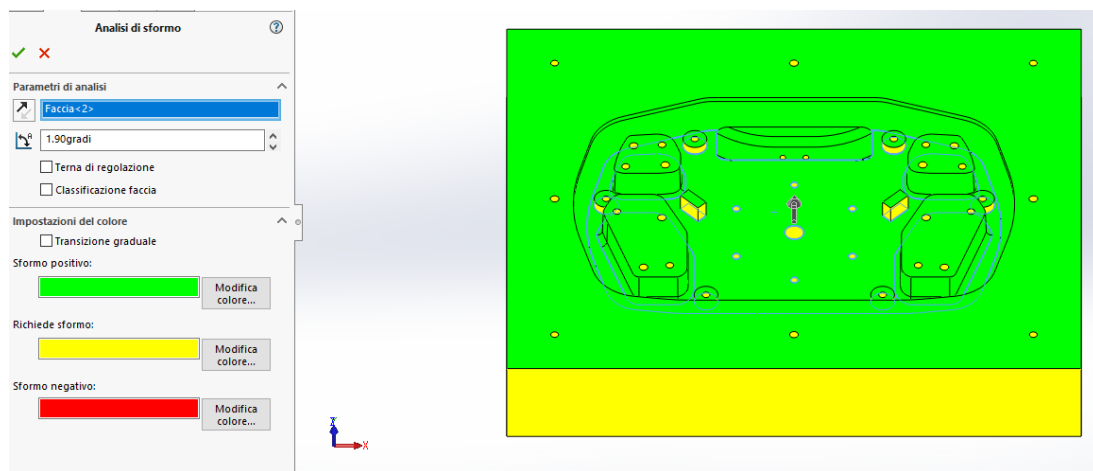


Figura 18: analisi di sformo su stampo inferiore

2.3 DESIGN FREEZING

Nel processo di progettazione o ingegnerizzazione di componenti, spesso si hanno diversi input e diversi vincoli da tenere in considerazione, questi stessi variano nel tempo man mano che il progetto diventa più dettagliato e completo. Per poter arrivare ad una conclusione in questa fase e procedere con quella successiva, che è quella produttiva, spesso bisogna imporre una scadenza temporale definibile design freeze. Quindi arrivati ad un certo grado di dettaglio, si blocca la progettazione e si procede alla verifica o validazione del lavoro fatto fino a quel momento.

Nella progettazione del volante ce ne sono state un paio di queste pause progettuali ed hanno permesso di ricontrollare il lavoro fatto, valutando l'ottemperanza ai requisiti sopra citati. Nello specifico i principali controlli eseguiti sono stati: la valutazione degli ingombri interni della parte elettronica, anche essa in fase di progettazione e soggetta a variazioni; anche l'ergonomia è stata rivista assieme ai piloti utilizzando la tecnologia di prototipazione rapida F.D.M.



Figura 19: prototipo assieme volante, in precedente configurazione con sportellino

Ovviamente la parte progettuale può definirsi conclusa solo quando tutti i controlli del design freeze danno esito positivo.

2.4 SCELTA METODO PRODUTTIVO

La scelta del metodo produttivo avviene a grandi linee parallelamente alla progettazione, come detto nel capitolo del design for manufacturing; però una volta conclusa la parte progettuale si scende più nel dettaglio, valutando come allestire il processo produttivo. Nel nostro caso si è optato per il bag molding, vi sono ancora da definire varie cose, tra cui: i materiali da usare, il ciclo di cura del composito e soprattutto la tipologia di fibra.

2.5 MODELLAZIONE E REALIZZAZIONE STAMPI

Una volta definita la geometria da realizzare si può procedere alla progettazione dello stampo, nel nostro caso, dato che direttamente in fase di progettazione è stato diviso il modello in due semigusci, per permettere agevolmente l'assemblaggio del volante una volta realizzato, si è optato per realizzare due stampi divisi: uno per ogni semiguscio.

Per la scelta del materiale dello stampo, le opzioni più adoperate nel settore automotive sono: fibra di carbonio, MDF o materiale poliuretano.

- CFRP: ha come vantaggio l'ottima ripetibilità del processo produttivo e poche limitazioni per quello che riguarda il ciclo di cura, dato che questo materiale resiste bene a tutte le pressioni e le temperature consigliate dai principali produttori di compositi. Tutte queste caratteristiche portano ad un'ottima finitura del manufatto; come contro però c'è l'alto costo di realizzazione, dato che per poter essere realizzato lo stampo in CFRP necessita a sua volta uno stampo apposito, sul quale viene depositato il carbonio;
- MDF¹⁰: i suoi pregi sono la lavorabilità alle macchine utensili ed il basso costo del materiale grezzo; va però detto che come contro si hanno limitazioni nel ciclo di cura: in termini sia di pressione, che soprattutto di temperatura, con conseguente basso grado di finitura del manufatto ed infine la ripetibilità è molto bassa: per alcuni stampi l'utilizzo è limitato ad un ciclo unico;

¹⁰ Medium Density Fibreboard: è un derivato del legno

- materiali poliuretanic: sono commercializzati sottoforma di tavole da incollare per formare il grezzo da lavorare alle macchine utensili, in base all'azienda che le commercializza variano: la composizione chimica, la densità, il colore e persino il nome (es: Ureol, Raku tool). Rispetto agli altri materiali si posiziona nel mezzo come caratteristiche: è lavorabile alle M.U.¹¹, la finitura del laminato è di qualità medio-alta, dato che in termini di cicli di cura limita sia la temperatura che la pressione ma in maniera minore del legno MDF; la ripetibilità è vincolata ma non troppo stringente, si arriva anche a 6 o 7 cicli. Di contro si ha il costo elevato del materiale e della lavorazione alle M.U.

Per il volante si richiede sicuramente una buona finitura superficiale, dato che è uno dei componenti più in vista di tutta l'auto, invece, in termini di ripetibilità sono previsti dai due ai quattro cicli di cura. Facendo anche una brevissima valutazione economica si elimina l'opzione CFRP, dato che il costo sarebbe troppo elevato rispetto ai benefici che si otterrebbero. Rimangono gli stampi in MDF o quelli in materiale poliuretanic, viste le piccole dimensioni degli stampi e quindi anche del grezzo, i costi sono pressoché simili perché più che dal materiale, sono influenzati dalle lavorazioni meccaniche da eseguirvi, che sarebbero le medesime. Chiedendo all'azienda HP Composites, si è riuscito ad avere a titolo gratuito due grezzi di tavole poliuretaniche di dimensione 500mm x 250mm x 50mm, ricavati dagli scarti di altre lavorazioni, per cui si è usato questo tipo di materiale.

Definito il materiale si è passato alla realizzazione della geometria da lavorare alle M.U. per fare ciò tramite software CAD, è stato intersecato e sottratto il modello del volante alla geometria rappresentativa del grezzo. Una volta riportata la forma sul disegno dello stampo, sono state create le sedi per le spine di riferimento, esse hanno lo scopo di indicare dove deve essere apportato un foro nel ply che si sta laminando, in modo da facilitare il posizionamento dello stesso. Altri fori sullo stampo sono stati apportati per semplificare l'estrazione del laminato una volta terminato il ciclo di cura.

¹¹ Macchine Utensili

La parte più complessa degli stampi è dovuta al sottosquadro, al quale si accennava precedentemente, dato che esso non può essere rimosso si è optato per scomporre la parte di stampo che non permette l'estrazione del manufatto. In pratica, il problema è stato risolto usando delle battute di metallo tagliate water-jet ed avvitate sulla sommità dello stampo.

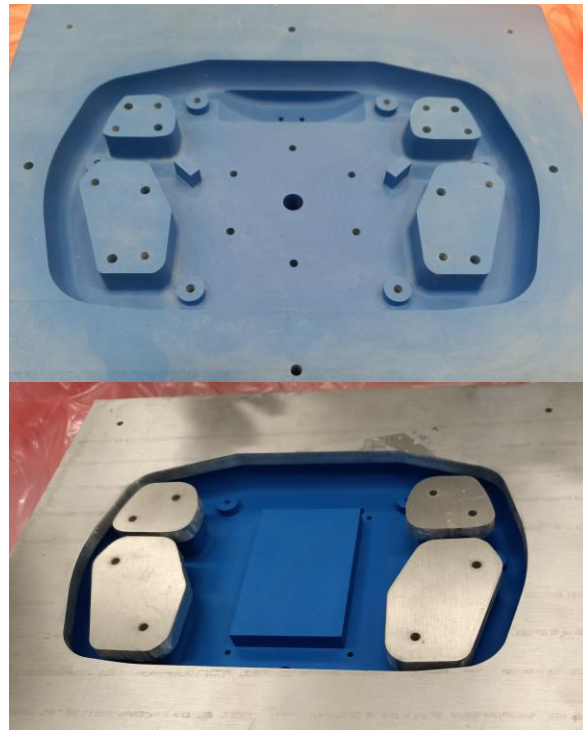


Figura 20: dettaglio di stampi con e senza appendice metallica

Queste parti removibili, da un lato hanno reso la laminazione più complessa, ma dall'altro hanno permesso la creazione di un bordo piano, sul quale poter applicare un sigillante, che permettesse la tenuta stagna dell'assieme finale (si ricorda che era uno dei vincoli progettuali del volante).

Al fine di semplificare al massimo il processo di estrazione, si è provveduto oltre a creare dei fori tramite i quali spingere sulle parti metalliche ed espellerle dal laminato, a

posizionare delle linguette a perdere, tramite le quali afferrare ed estrarre il manufatto.

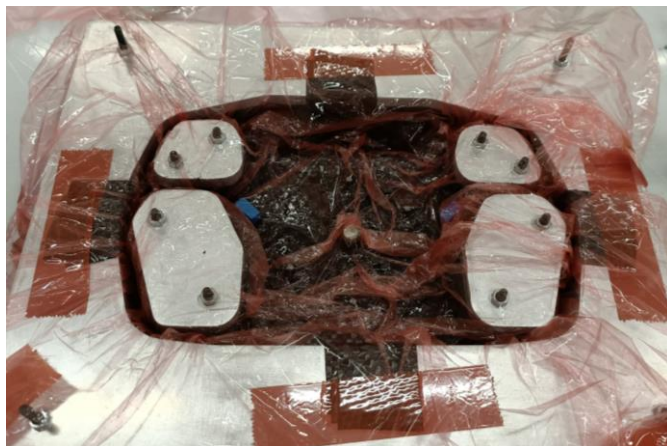


Figura 21: dettaglio linguette per estrazione

2.6 SCELTA MATERIALE E CICLO DI CURING

Questa scelta va fatta in contemporanea a quella del materiale dello stampo, perché se da un lato è esso che limita temperatura e pressione massime del ciclo, dall'altro il laminato deve completare la polimerizzazione. Nel nostro caso, data la piccola entità di materiale, si è optato per usare un prepreg precedentemente caratterizzato in università ed utilizzato per realizzare la vettura completa del Polimarche Racing Team.

Va sempre controllata la compatibilità della resina del prepreg con il ciclo di cura definito dalla tipologia di stampo, per l'UREOL i valori sono stati: 100°C per 4 ore alla pressione di 2 Bar, come proposto sul datasheet del materiale tra i cicli alternativi, infatti, quello raccomandato prevedeva una temperatura di 130°C; troppo alta per il nostro stampo.

Va specificato che i valori numerici sopra forniti, si riferiscono al tempo che serve alla resina per formare i legami, ad esso vanno aggiunti i tempi di riscaldamento e raffreddamento dell'insieme parte e stampo. Solitamente la temperatura viene fatta aumentare di un valore pari a 2°C/min e in fase di discesa 3°C/min; i tempi di variazione della temperatura sono fortemente influenzati dal materiale dello stampo.

I prepregs utilizzati sono rispettivamente:

- GG 200T T800 E3-150 44%
- GG 370P MR60 E3-150 38%

Dalle sigle si evince che entrambi hanno il medesimo sistema di resina, ma diverse percentuali di impregnaggio, la classe di resistenza della fibra è differente ma confrontabile, infatti, sono entrambi i tessuti di modulo intermedio (IM). L'unica grande variazione è data dalla grammatura del materiale che viene espressa in $[g/m^2]$ e rappresenta solamente il peso su un'area unitaria della fibra.

CURING CONDITIONS

Recommended Autoclave Cure ^{6,7}			
Time (min)	Temp. (°C)	Time (min)	Pressure (bar) ⁸
0	30	0	1
30	90	10	2
55	90	30	4
75	130	50	6
165	130	165	6
181	60	166	1

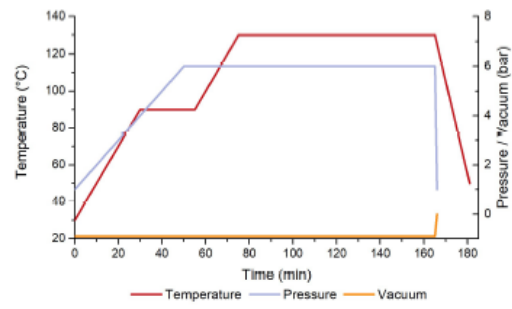


Figura 22: ciclo di curing raccomandato per resina E3 (microtex)

2.7 PLYBOOK

Definite tutte le variabili precedentemente trattate, il progettista può sviluppare una stratificazione del manufatto che confluirà in un plybook, esso non è altro che un documento, nel quale sono elencati tutti i passaggi, che in fase di laminazione devono essere compiuti per poter realizzare adeguatamente il pezzo.

La disposizione dei plies e il loro numero, influenza la resistenza meccanica del manufatto; nella pratica ingegneristica per determinare il posizionamento migliore delle fibre, si utilizzano dei software che simulano le sollecitazioni del componente che si sta realizzando. Questi software sono detti FEA¹² ed inserendovi i giusti input, le caratteristiche del materiale; creando il giusto modello fisico, sollecitazioni e vincoli; danno in uscita varie grandezze fisiche tra cui: la deformazione del componente, le tensioni interne e i valori numerici che definiscono l'entità del danneggiamento nel materiale.

Per i nostri scopi si è proceduto ipotizzando un certo layup successivamente validato con questo software, il risultato è stato considerato soddisfacente quando il laminato non supera valori di deformazione massima di 0,5mm e valori di TSAI-WU superiori a 0.7. Lo tsai-wu è un criterio di crisi utilizzabile per materiali compositi, quindi anisotropi, che permette di prevedere la rottura del laminato; essa avviene quando il coefficiente raggiunge valore unitario.

Entrando nel dettaglio della simulazione, per prevedere la risposta del manufatto alle principali sollecitazioni in fase di guida, sono stati ricercati in letteratura i casi di carico più onerosi di uno sterzo: la spinta del pilota sul volante e la coppia impressavi in fase di sterzata. Non possedendo né i dati di carico delle precedenti vetture, né una strumentazione adatta a misurare queste condizioni, i valori numerici di questi carichi sono stati cercati in diversi elaborati scientifici, di cui il più inerente alla formula SAE è uno studio condotto da FSG tramite apposita strumentazione, su reali squadre iscritte a quella competizione.

¹² Finite Element Analysis

Driver	Sex	Height	Weight	Extended Nm (ft.lbs)	Mid Nm (ft.lbs)	Close Nm (ft.lbs)	Δ Delta Nm (ft.lbs)
MAT	F	183cm (66")	64kg (140 lbs)	34(25)	41(30)	41(30)	7(5)
CMM	F	173cm (68")	77kg (170 lbs)	34(25)	37 (27)	43(32)	9(7)
BAK	M	170cm (67")	70kg (155 lbs)	47(35)	41(30)	47(35)	0(0)
SAK	M	188cm (74")	64kg (140 lbs)	41(30)	47(35)	47(35)	7(5)
NJP	M	170cm (67")	59kg (130 lbs)	41(30)	47(35)	47(35)	7(5)
MAF	M	175cm (69")	77kg (170 lbs)	50(37)	61(45)	56(41)	5(4)
DHC	M	180cm (71")	73kg (160 lbs)	47(35)	68(50)	61(45)	14(10)
SKW	M	175cm (69")	68kg (150 lbs)	47(35)	61(45)	61(45)	14(10)
JAC	M	175cm (69")	64kg (140 lbs)	54(40)	61(45)	61(45)	7(5)
TMJ	M	190cm (75")	70kg (155 lbs)	50(37)	57(42)	61(45)	11(8)
YAY	M	175cm (69")	68kg (150 lbs)	54(40)	61(45)	68(50)	14(10)
AAS	M	183cm (72")	73kg (160 lbs)	68(50)	68(50)	68(50)	0(0)
JWW	M	175cm (69")	64kg (140 lbs)	50(37)	64(47)	70(52)	20(15)
SMF	M	183cm (72")	84kg (185 lbs)	71(52)	81(60)	81(60)	11(8)
JAS	M	175cm (69")	66kg (145 lbs)	50(37)	74(55)	84(62)	34(25)
PKF	M	175cm (69")	100kg (220 lbs)	66(49)	80(59)	88(65)	22(16)

Figura 23: dati raccolti dal comitato di gara FSG

Ritornando all'analisi FEA, dapprima si procede alla modellazione della parte, che nel nostro caso è stata modellata solo per metà, data la sua simmetria rispetto al piano di mezzeria. Questo comporta un alleggerimento della simulazione dal punto di vista computazionale, visto che invece di ricavare le nostre richieste di deformazione e stress, per ogni elemento della mesh di tutto il volante, lo fa solo su metà ed estende il risultato sulla restante parte. Per fare ciò bisogna applicare il vincolo di simmetria al modello rispetto al piano desiderato.

Per risolvere il nostro quesito, il software ha bisogno di discretizzare la geometria in tanti elementi che compongono la mesh; questa va definita tramite l'apposito tool.

Una volta definito modello e mesh, si impongono i carichi e le relative condizioni di vincolo, che nel nostro caso sono:

- spinta assiale;
- coppia sterzante.

Per il primo caso il valore imposto raggiunge i 600N, applicati al manufatto nella parte sulla quale verrà posta l'impugnatura. Tra i vincoli invece, si hanno: un incastro sulla

superficie a contatto con lo sgancio rapido, ed il vincolo di simmetria precedentemente descritto.

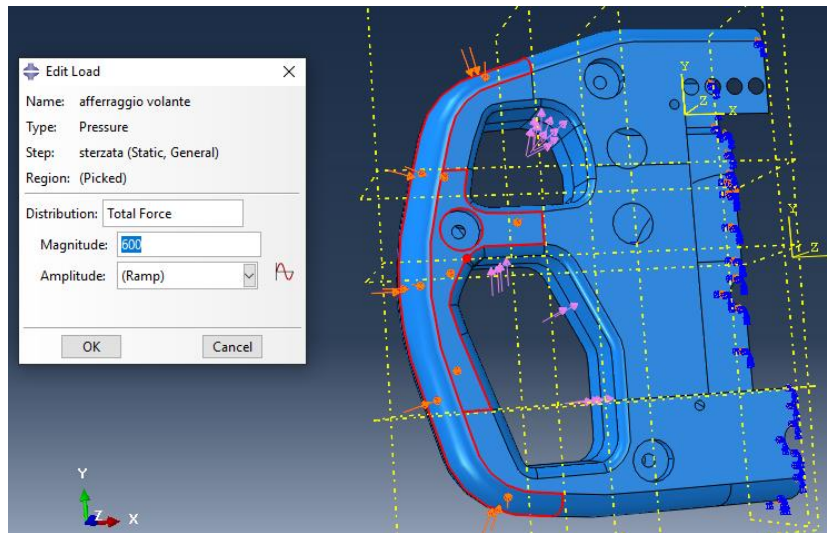
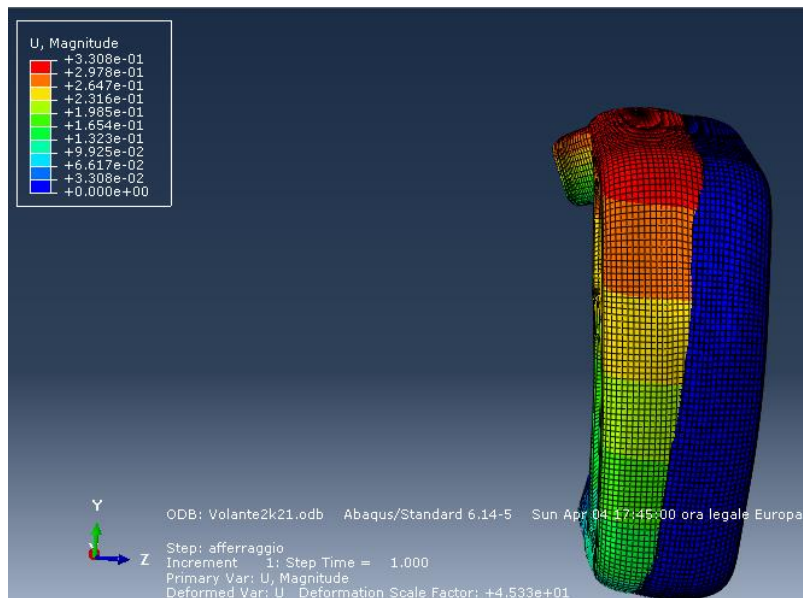


Figura 24: applicazione carico assiale nell'ambiente FEA

Come valori in output dalla simulazione sono richiesti: lo spostamento e il valore di tsai-wu.



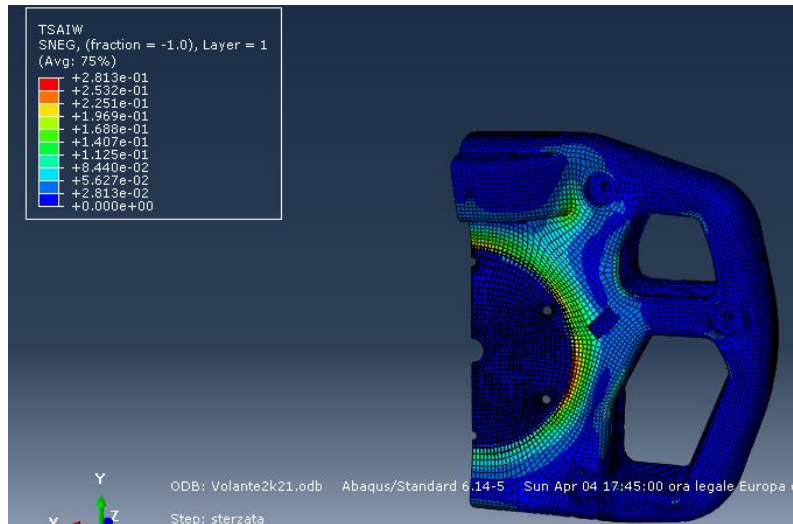


Figura 25 valori in output della simulazione di carico assiale

Dalle immagini sopra mostrate si evince che lo spostamento massimo del componente avviene nella parte superiore del volante e vale: 0.33mm, invece il coefficiente di tsai-wu, che quando raggiunge il valore unitario indica una rottura del laminato, è ben lontano da questo caso: 0.28.

Alla luce di questi valori validiamo il layup di progetto e procediamo con la successiva simulazione.

Coppia sterzante: il modello rimane lo stesso, come anche i vincoli applicati al volante, l'unica variazione apportata è la sostituzione della forza assiale con una verticale, posta ad una distanza dal fulcro che permettesse di simulare una coppia di 42 Nm.

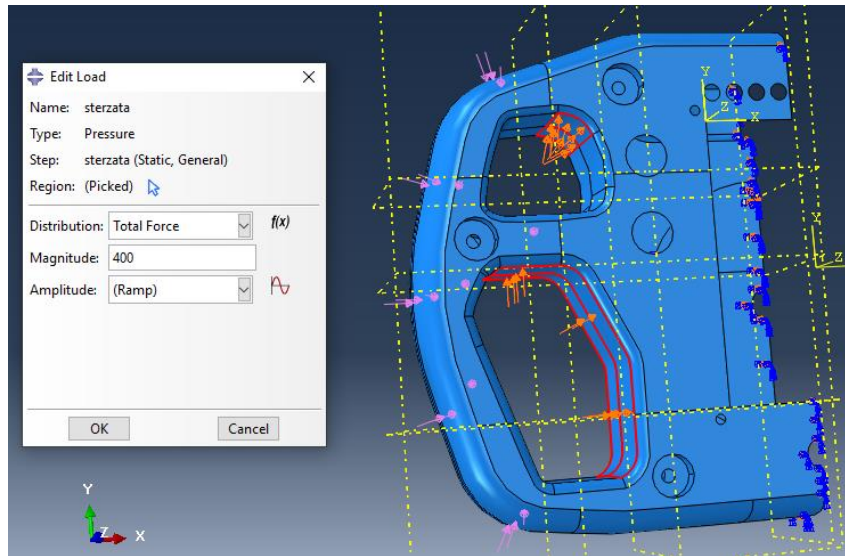
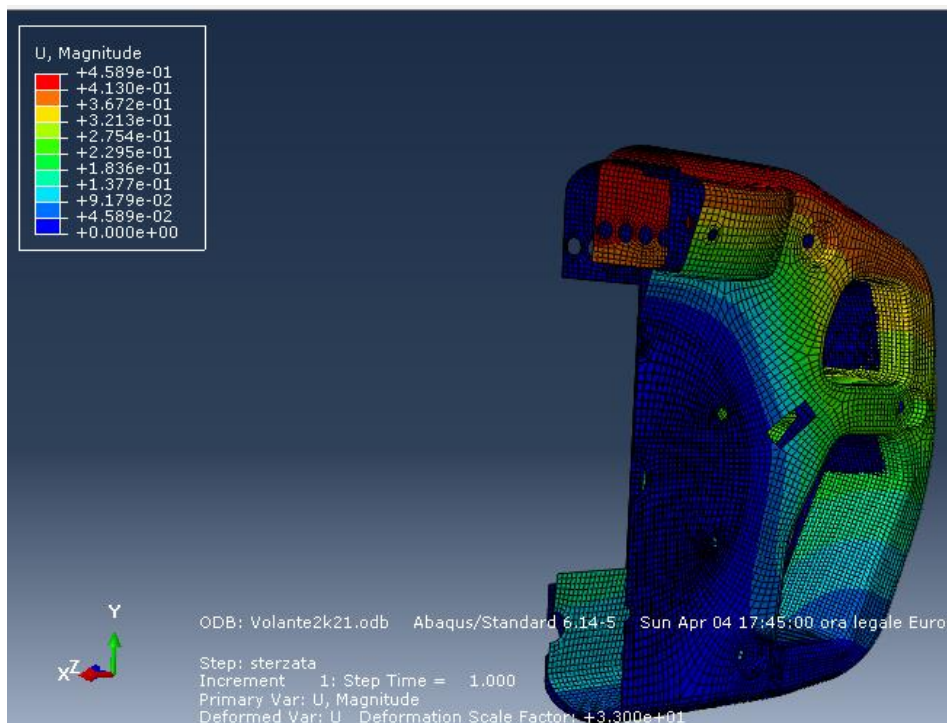


Figura 26: applicazione coppia sterzante nell' ambiente FEA

A questi carichi il materiale risponde con un valore di spostamento di 0.46mm e un coefficiente di tsai-wu di 0.32



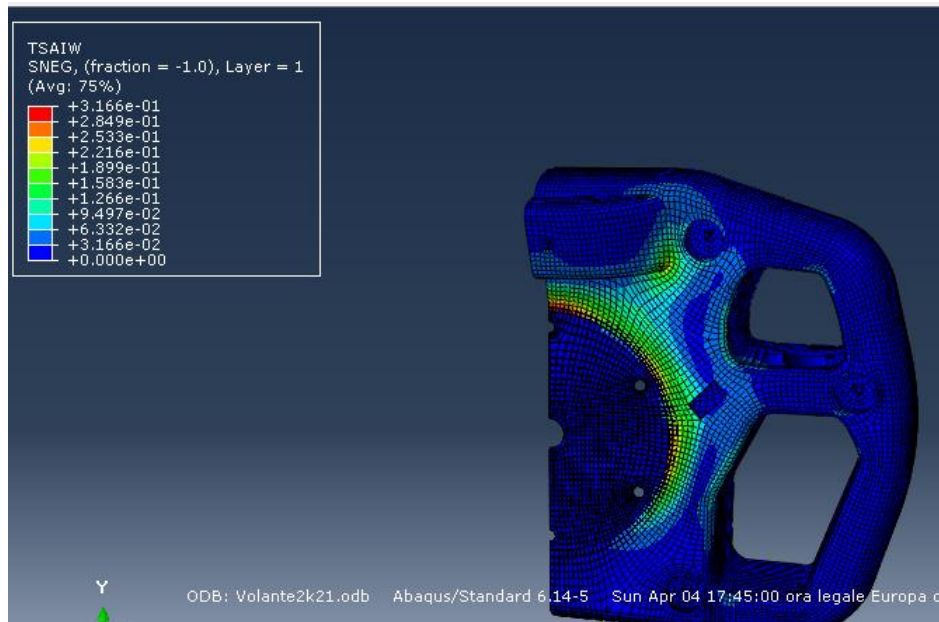


Figura 27: valori in output della simulazione di coppia sterzante

Anche in questo caso i valori sono inferiori a quelli considerabili limite per i nostri scopi, perciò definiamo questo layup accettabile.

Per la stratificazione del componente, quella precedentemente validata è la seguente

<i>Ply</i>	<i>Materiale</i>	<i>Angolo di rotazione rispetto alla terna di riferimento</i>
------------	------------------	---

1	GG 200T	0/90°
2	GG 370P	± 45°
3	GG 370P	0/90°
4	GG 370P	± 45°
5	GG 200T	0/90°

Da una rapida occhiata si evince che il laminato è simmetrico: per ogni lamina al disopra del piano medio, ne esiste una identica con lo stesso spessore ed orientamento al disotto. Questo in termini strutturali permette un comportamento estensionale e

flessionale disaccoppiato, infatti sono disgiunti qualsiasi sia la loro causa, sollecitazioni termiche, igroscopiche o derivanti da tensioni. Generalmente se questa condizione di simmetria nella stratificazione viene meno, si ha che:

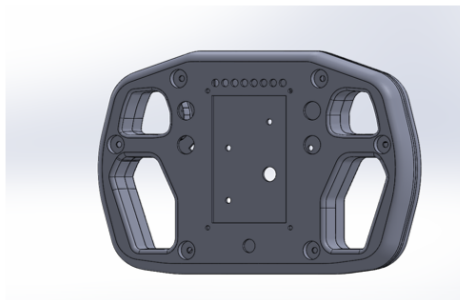
- applicando tensioni normali o di taglio nel piano si genera anche la flessione, che è una deformazione fuori dal piano;
- applicando momenti flettenti o torcenti si generano anche deformazioni nel piano medio.

Dato il layup adottato questo non accade.

Di seguito è riportato il plybook sviluppato per il volante:

PLYBOOK

Steering wheel



Materiali

Descrizione	Codice
GG 200T T800 E3-150 44%	
GG 370P MR60 E3-150 38%	
FILM DISTACCANTE NON FORATO	

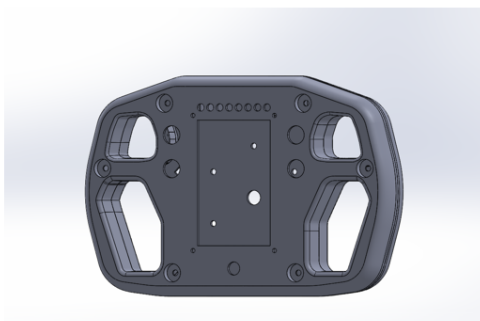
Note

--	--

Materiali Alternativi

Tempo LAM+SACCO			Gomme	Si
Presenza INSERTI				
Spessore medio finale				

FASE	N. Strati	Angolo	Materiale	TIPO LAM	Note
10	1	0/90°	GG 200T T800 E3-150 44%	GENERALE	RIFILARE A ZERO
20	-	-	VUOTO A TEMPERATURA AMBIENTE	-	
30	1	±45°	GG 370P MR60 E3-150 38%	GENERALE	RIFILARE A ZERO
40	1	0/90°	GG 370P MR60 E3-150 38%	GENERALE	RIFILARE A ZERO
50	-	-	VUOTO A TEMPERATURA AMBIENTE	-	
60	1	±45°	GG 370P MR60 E3-150 38%	GENERALE	RIFILARE A ZERO



FASE	N. Strati	Angolo	Materiale	TIPO LAM	Note
70	1	0/90°	GG 200T T800 E3-150 44%	GENERALE	RIFILARE A ZERO
90		-	FILM DISTACCANTE FORATO	GENERALE	
100	-	-	VUOTO A TEMPERATURA AMBIENTE	-	
110		-	FILM DISTACCANTE NONFORATO	GENERALE	
120			GOMMA SUGLI SPIGOLI COMPLESSI		CONTROLLARE SPIGOLI SOTTO LE BATTUTE DI METALLO
130			VUOTO FINALE		

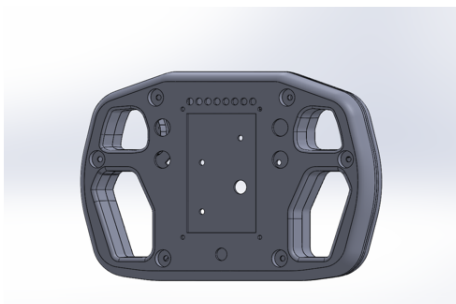


Figura 28: Plybook volante

Vista la difficoltà tecnica nella fase di laminazione, nel plybook si è deciso di lasciare margine operativo al laminatore in termini di drappaggio e tagli ai plies, per permetterne il corretto posizionamento. Questo comporta discrepanze tra il laminato ideale, quello simulato nell'ambiente FEA e quello reale, che tuttavia sono trascurabili date le stringenti richieste iniziali di deformazione e tsai-wu; esse, infatti, comprendono anche dei coefficienti di sicurezza.

Un accorgimento tecnico molto importante è l'applicazione della gomma nella fase finale della laminazione, che garantisce anche agli spigoli più piccoli, dovuti a bassi valori di raggi di raccordo nello stampo, un'adeguata pressione in fase di polimerizzazione.

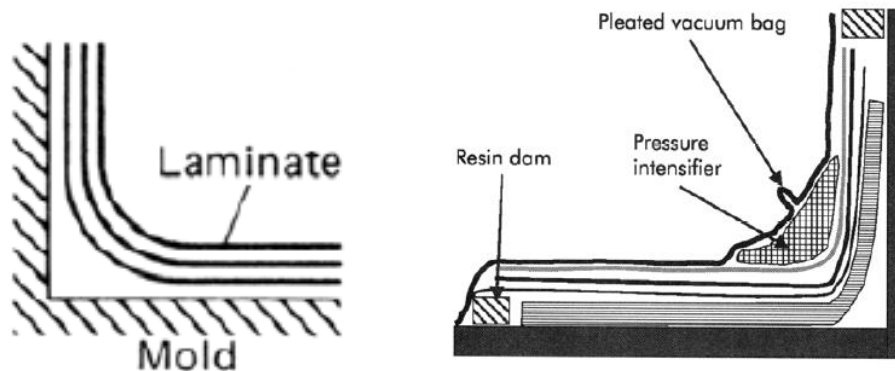


Figura 29: comparativa tra laminato con e senza l'uso di accorgimenti tecnici negli spigoli

Questa sovrappressione può essere conferita al laminato da una camera d'aria, un piastrino in materiale metallico o della gomma; che fungono da controstampo nella zona critica.

Per il volante queste zone di applicazione della gomma, sono state quelle a ridosso degli inserti metallici avvitate sulla sommità dello stampo, infatti, come precedentemente descritto, essi rappresentano un problema sia dal punto di vista dei sottosquadri nello stampo, che in fase produttiva per la laminazione.

3. RISULTATI

Terminata la parte progettuale riguardante lo studio del metodo produttivo del volante, potremmo definire concluso l'elaborato; però ora vanno valutati i risultati di questo studio, a partire dal processo fisico di produzione del manufatto, fino ad arrivare all'assemblaggio finale dello sterzo.

3.1 REALIZZAZIONE

Tutto il processo realizzativo è stato eseguito nei locali dello sponsor tecnico HP Composites, che oltre a mettere a disposizione i propri spazi, ha fornito supporto tecnico in fase di laminazione.

La parte di produzione ha inizio con la realizzazione degli stampi tramite fresatura a controllo numerico, eseguita presso l'azienda BIT&GML; e taglio water-jet delle piastre di chiusura. Il passaggio successivo è il controllo della rugosità superficiale dei supporti di laminazione, stampi e parti metalliche, perché proprio dalla bontà di queste superfici si otterrà un laminato con una finitura carbon-look.

Oltre all'estetica bisogna tenere in considerazione anche la parte di estrazione, per agevolarla al massimo, gli stampi e tutti gli ausiliari metallici (inserti, spine e viti) vengono dapprima sgrassati tramite appositi composti chimici e poi distaccati. Per la precisione, dato che il materiale poliuretano degli stampi è poroso e quindi tenderebbe ad assorbire la resina del laminato, impossibilitandone l'estrazione; dopo la fase di pulizia dello stampo viene applicato un turapori, che ha lo scopo di evitare questo assorbimento involontario di resina da parte del materiale poroso.

Per completare la preparazione degli stampi viene applicato un distaccante filmogeno sulle superfici a contatto con il prepreg. Questo permette un'agevole fase di estrazione senza grosse problematiche relative al manufatto, rottura o perdita di dettagli o graffi e cosa più importante, per stampi che devono essere riutilizzati, previene il deterioramento della superficie di stampaggio, che può essere dovuto a residui di resina inglobati ed assorbiti dallo stampo o a graffi dovuti ai metodi estrattivi.

Preparati i supporti della fase di laminazione non resta che procedere al taglio delle dime, esse rappresentano lo sviluppo in piano della geometria più o meno complessa che bisogna realizzare. Il taglio del prepreg può avvenire in vari modi: a mano tramite operatore, tramite tranciatrici o con macchinari computerizzati, che una volta impostata la geometria desiderata, ricava dal rotolo dove è avvolto il preimpregnato la forma che si cerca.

Per i nostri scopi si è usato sia il taglio a mano, che quello automatizzato. Per il secondo, dalla geometria del volante sono stati ricavati i file in formato dxf delle dime da realizzare; il taglio a mano è servito per le zone di difficile laminazione, dove le pelli non riuscivano a seguire le strette curvature dello stampo senza deformarsi troppo.

La fase produttiva più complessa è stata la laminazione, perché la semplice stratificazione non rispecchia la complessità dello stampo, che richiede pazienza e manualità per essere ben drappeggiato. La differenza in questa fase la fa l'esperienza dell'operatore e nel nostro caso grazie alle tecniche suggerite dall'azienda ospitante siamo riusciti a riprodurre questa complessa geometria.

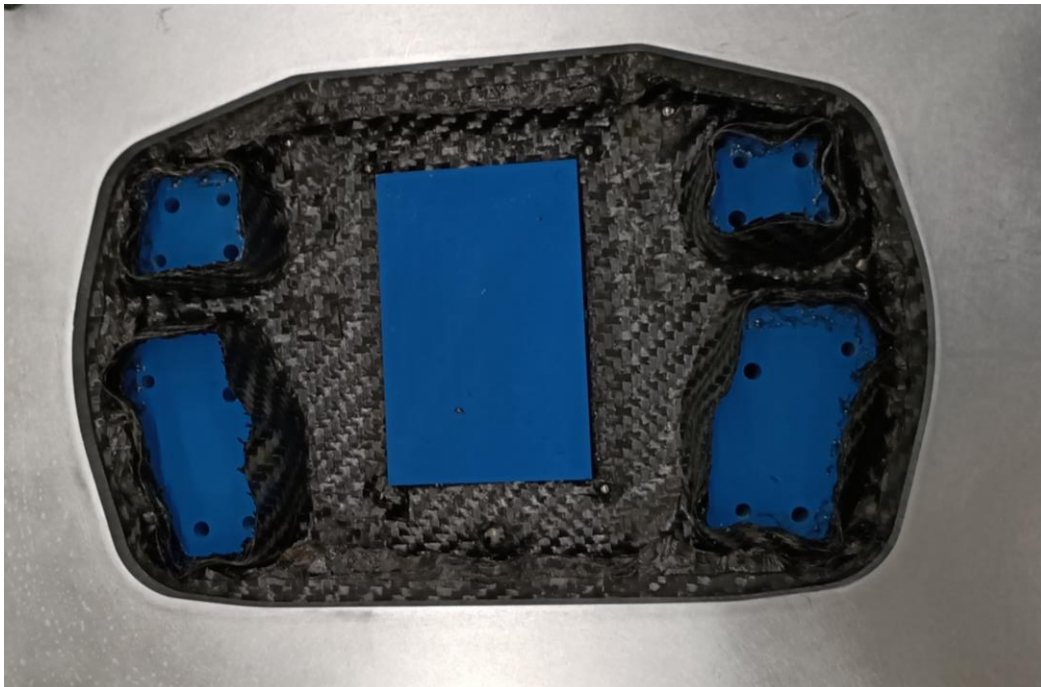


Figura 30: dettaglio della fase di laminazione con stampi senza battute metalliche

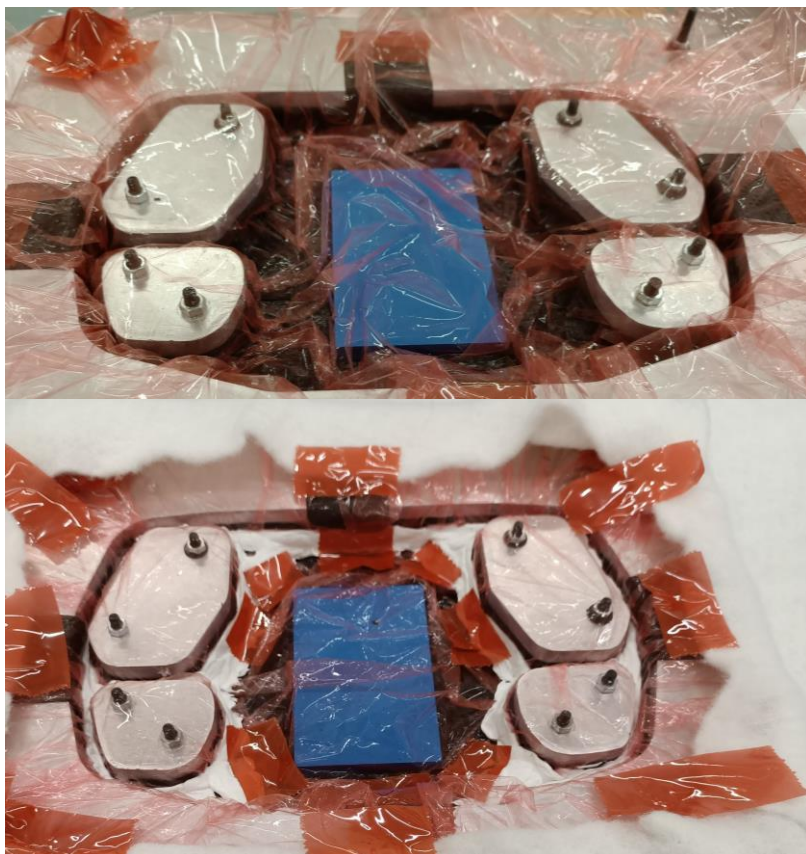


Figura 31: stampo superiore prima e dopo aver applicato la gomma negli spigoli interni

Terminata la fase di laminazione, viene chiuso il sacco da vuoto ed è aspirata l'aria al suo interno. Questa operazione ha molteplici scopi, tra cui quello di permettere il corretto posizionamento del sacco sul laminato, le zone più critiche anche qui sono i bordi e le variazioni di curvature repentine, perché possono portare alla rottura del sacco. Il circuito dell'aspirazione deve rimanere collegato anche dentro l'autoclave, in questo caso lo si fa per evitare i vuoti all'interno del laminato, dato che la depressione che si crea aspirando l'aria dal sacco, favorisce una fuoriuscita omogenea della resina in eccesso dai vari plies, senza creare zone in cui resta intrappolata dell'aria. Si ricorda che la problematica dei vuoti all'interno dei laminati, può portare ad una notevole diminuzione della resistenza meccanica del manufatto finale.

Per il curing si è proceduto come descritto in precedenza, con un ciclo dedicato a questo specifico materiale da stampo, che prevede: 100°C e 2 bar di pressione per 4h, alle quali vanno sommate i tempi di riscaldamento e raffreddamento dello stampo.

L'operazione di estrazione è avvenuta appena lo stampo è uscito dall'autoclave e si trovava ad una temperatura di circa 60°C, questo accorgimento ha facilitato le operazioni, che non sono state difficoltose viste le precauzioni prese sin dalla fase progettuale: angoli di sforno, distaccante, fori e linguette di estrazione; gli stampi sono rimasti integri dopo il processo estrattivo.

Al contrario di quello che ci si può aspettare una volta separato dallo stampo, il laminato non ha la classica finitura superficiale carbon-look, ma presenta un aspetto opaco e in alcuni punti sono presenti delle imperfezioni, per raggiungere quell'effetto bisogna procedere alla finitura del manufatto.

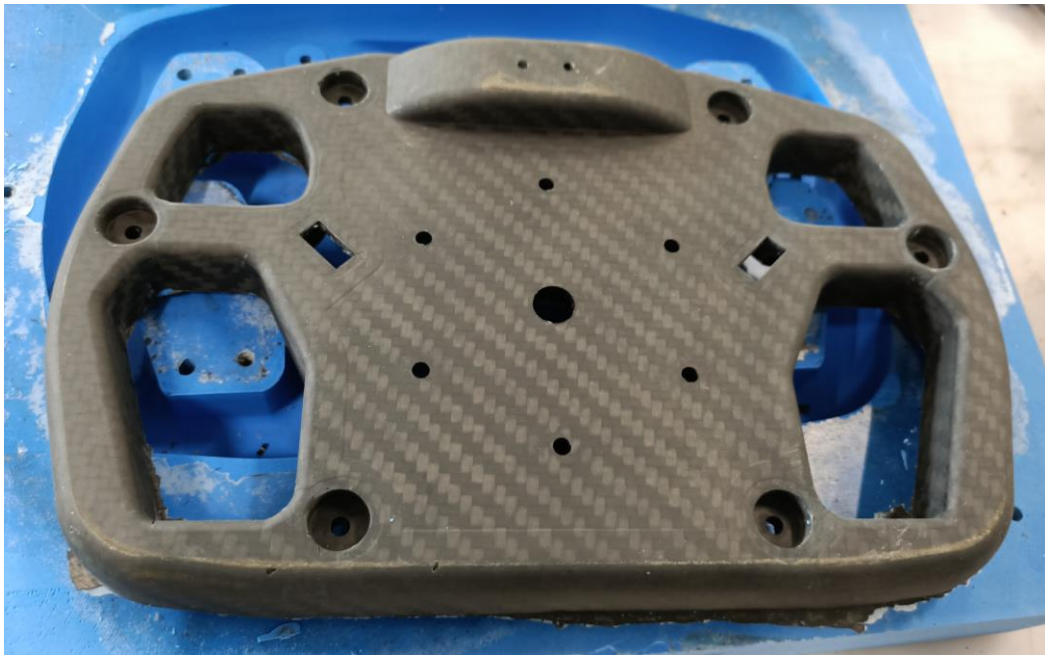


Figura 32: semiguscio inferiore appena estratto dallo stampo, si può notare il suo aspetto ancora grezzo

Le ultime operazioni da apportare prima di passare alla verniciatura sono:

- portare a misura i fori: infatti, essi sono stati ricavati tramite delle spine che indicano, in fase di laminazione, dove bisogna incidere la fibra per permettere il corretto posizionamento del ply, ovviamente questi fori non hanno la dimensione richiesta in fase di progetto, che bisogna raggiungere tramite l'ausilio di punte a forare;

- eliminazione di spigoli vivi e bave derivanti da resina in eccesso: essi sono taglienti e quindi pericolosi in fase di assemblaggio o addirittura nell'utilizzo corrente dello sterzo;
- incollaggio di colonne di sostegno, queste sono state sviluppate allo scopo di evitare lo schiacciamento del laminato, nei punti in cui i due semigusci vengono avvitati. Le colonne, altro non sono che dei cilindri forati, di materiale plastico, che fungono da inserto.

Terminate tutte queste operazioni, il volante è stato preparato per la verniciatura tramite levigatura con carta abrasiva a grana molto fine ed in ultimo si è proceduto con lo spruzzaggio, tramite vernice trasparente lucida. Queste ultime operazioni sono state effettuate da professionisti del settore, tramite sponsorizzazione, data l'importanza della manualità e dell'esperienza nel risultato estetico finale.

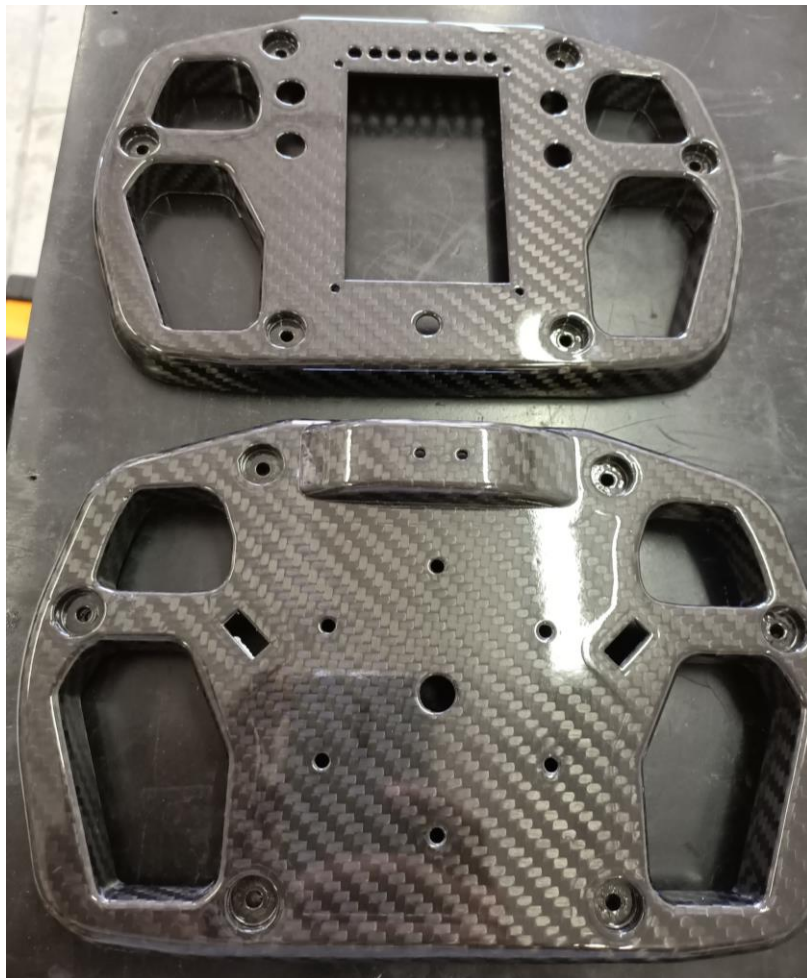


Figura 33: semigusci dopo il processo di finitura

3.2 ASSEMBLAGGIO ED IMPUGNATURE

L'assemblaggio è avvenuto in due macro-fasi, la prima ha permesso il funzionamento del volante e la seconda è servita per affinare tutta la parte ergonomica dell'insieme.

La prima operazione effettuata è stato il posizionamento di un salvaschermo in plexiglas e la sua sigillatura tramite apposito silicone, a seguire sono state posizionate tutte le altre componenti elettroniche precedentemente cablate, vincolandole ai semigusci.

Il fissaggio delle componenti meccaniche è stato effettuato rispettando il regolamento FSG, nello specifico sono state usate viti con grado di resistenza 8.8 o superiore per assemblare il quick-release.



Figura 34: comparazione volante in funzione senza impugnature e in configurazione finale con le impugnature

La seconda fase prevede la scelta e la validazione delle componenti prettamente ergonomiche da parte dei piloti: paddle cambio e impugnature.

Per il primo quasi all'unanimità, 3 piloti su 4, hanno optato per il paddle della cambiata più rigido, il motivo di questa scelta è quello di evitare cambiate involontarie, dovute a tocchi accidentali della leva.

Le impugnature precedentemente scelte e prototipate, sono state applicate al volante finito e successivamente coperte con del tape antiscivolo; il feedback dei piloti riguardo

le dimensioni delle impugnature e la loro capacità di adattarsi ai vari movimenti dello sterzo è stato positivo.

In ultimo, prima di chiudere in maniera definitiva i semigusci e portare il prototipo in pista, si è provveduto ad applicare il sigillante, in maniera tale da rendere l'assieme a prova di gara bagnata.

Per non tralasciare l'aspetto visivo, molto importante negli eventi statici delle competizioni Formula SAE, sono stati modellati e realizzati con tecnologia F.D.M. anche: il manettino, facilmente azionabile con i guanti e dei piccoli tappi per coprire le teste delle viti, le quali recano in bassorilievo lo stemma del Polimarche Racing Team.

4. CONCLUSIONI

Volendo fare il punto della situazione ed analizzare i pro ed i contro dello sviluppo di questo volante a gusci e del suo metodo produttivo, si può partire dalla comparazione con il precedente volante.

La soluzione adottata era molto simile: era presente uno sgancio rapido di modello diverso da quello sopra descritto, ma sempre prodotto dalla stessa azienda; dal punto di vista strutturale oltre a delle pelli di carbonio prevedeva l'utilizzo di un core da 5mm in PVC. Più precisamente il volante era ricavato da un pannello piano, tagliato waterjet nella forma desiderata. Alle estremità venivano posizionate le impugnature, molto simili a quelle adottate nella soluzione a guscio, ma di materiale più rigido: PETG.

Un discorso a parte va fatto per il posizionamento dell'elettronica, che aveva la parte interattiva, i bottoni, sulla zona anteriore del volante; invece, le schede di controllo si trovavano nella parte posteriore; ma quello che differenziava la precedente soluzione da quella attuale è il posizionamento della dashboard sul supporto dello sterzo.

Come unico vantaggio, la soluzione appena descritta ha il basso costo e la semplicità di realizzazione.

Ovviamente il volante a semigusci, essendo lo sviluppo del precedente, è più complesso e costoso, ma porta altri vantaggi quali:

- riduzione di peso;
- pulizia nel design;
- cablaggio minimal;
- tutti i dati sono in mano al pilota.

Nel mondo delle competizioni la riduzione dei pesi è uno dei principi fondamentali, che porta a superare sfide tecnologiche e quindi a continue innovazioni.

In questo caso, sono state inserite evoluzioni tecniche all'interno del veicolo progettato e prodotto da studenti quali siamo, queste migliorie alzano sempre di più l'asticella, in ottica di continuo miglioramento di tutto il team.

Andando a valutare i pesi dell'assieme volante nelle due versioni abbiamo:

- prima versione: il peso del solo volante (lastra sandwich + sgancio rapido + elettronica del volante) è di 680g ai quali vanno ad aggiungersi 280g della dashboard, totale 1130g;
- seconda versione: il peso si attesta a 850g.

La riduzione è di 280g che rappresenta un decremento del 25% del peso iniziale.

Oltre a diminuire il peso dello sterzo, la soluzione a gusci porta ad una maggiore pulizia nel design, infatti, il volante risulta più elaborato ed esteticamente più d'impatto rispetto al precedente. Questo nelle competizioni Formula Student, viene valutato in un evento definito design event, dove per l'appunto, si analizzano le scelte tecniche prese dagli studenti sotto diversi punti di vista, tra cui anche quello del design e dell'ergonomia.

Uno dei tasti dolenti, nella vettura precedente era il disordine del cablaggio, soprattutto nella sezione del cockpit, l'eliminazione della dashboard e l'inserimento dei cavi internamente allo sterzo, portano ad una diminuzione del disordine e ad un maggiore senso di cura dei dettagli; l'altro lato della medaglia è l'aumento della difficoltà nel cablare il volante.

Aver spostato tutte le componenti di interfaccia pilota sul volante, oltre a permettere di eliminare la dashboard, facilita la fruizione delle stesse, dato il loro posizionamento tra le mani del pilota. Infatti, in questa maniera è stato possibile inserire uno schermo che aggiornasse in tempo reale il guidatore sui dati del veicolo.

Vista la continua evoluzione del progetto Formula SAE nel corso delle stagioni sportive, di seguito si presentano alcuni dei possibili miglioramenti da apportare al volante.

Tra gli sviluppi futuri di questo componente possiamo elencare:

- uno schermo con maggiore definizione, che tramite un'interfaccia migliore permette una più facile e veloce comprensione dei dati da parte del pilota;
- l'inserimento di un connettore esterno, per poter programmare il volante o comunque apportare piccole modifiche al software, senza dover aprire i due

semigusci; così oltre a risparmiare tempo si eviterebbe di applicare più volte il sigillante alle due parti;

- la valutazione di uno sgancio rapido più leggero da cercare in commercio o la valutazione di progettarne uno (Make or buy decision);
- possibilità di variare il layup o il prepreg in ottica di minimizzare il peso del laminato.

BIBLIOGRAFIA/REFERENZE

- ✓ S. Fox, Cockpit control forces - or - how robust do driver controls really need to be?, 2010.
- ✓ Materiale didattico corso di perfezionamento Ingegneria dei Materiali Compositi: iMACOMP
- ✓ Gurit guide-to-composites, Gurit.com
- ✓ FSG Rules 2020, FSG.com