



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Sessione di Laurea dicembre 2023

**Sviluppo di un sedile sportivo automobilistico in
fibre naturali a matrice epossidica**

Relatore:

Cristiana Delprete

Tutor:

Alessandro Genta

Candidato:

Paolo Lippolis

A.a. 2022/2023

*“Considerate la vostra semenza:
fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e canoscenza”*

XXVI canto dell’Inferno, v. 119

Dante Alighieri

Sommario

L'oggetto di discussione di questo elaborato è la progettazione di un Sedile Sportivo in materiale composito, in particolare in questo caso si andrà ad analizzare le Fibre Naturali a matrice Epossidica, che ha notevoli vantaggi rispetto ai materiali tradizionali. Negli ultimi anni si è sviluppato un maggiore interesse in ambito ecologico ed ambientale, a causa del progressivo aumento dei cambiamenti climatici, che si riflettono sulla vita di tutti i giorni e che rischiano di avere conseguenze catastrofiche nei decenni avvenire. Questa maggiore presa di coscienza si sta traducendo in un aumento dell'uso delle fonti rinnovabili e nel cercare di produrre qualsiasi oggetto in modo che sia sostenibile, che si possa riciclare e che abbia un impatto minimo, se non addirittura nullo nei confronti dell'ambiente. Una prima analisi è stata dunque condotta sui materiali scelti per la realizzazione del sedile, partendo dal definire che tipo di materiali sono e la loro varietà presente in natura. In particolare, lo studio si è concentrato sull'uso di Canapa e di Lino. Successivamente si è passati ad un'analisi delle loro caratteristiche meccaniche, fondamentali per capire la fattibilità nella produzione del sedile, andando anche a fare dei paragoni con le fibre di carbonio, anch'esso un materiale composito già largamente usato nel mondo dell'automotive. Successivamente si è passati alla realizzazione tramite CAD del sedile e del suo design. In particolare, è stato condotto un primo studio sulla forma della struttura tubolare dello schienale, che avrà uno spessore finale di 3 mm. Si è passati poi alla definizione della seduta e delle scocchette dello schienale, con spessore di 1.2 mm. Successivamente è stata definita una staffa di collegamento tra la seduta, le guide di scorrimento longitudinali e la struttura dello schienale, in modo da poter tenere insieme tutti questi elementi tra loro. In ultimo, per la regolazione dello schienale, si è scelta una manopola di tipo meccanico, con una barra torcente passante all'interno della base della struttura tubolare. L'ultimo step è stato quello dell'analisi del ribaltamento dello schienale, che rispetto alla sua condizione nominale e a progetto, deve portarsi a ribaltare di 40°. Si è quindi proceduto in una serie di iterazioni per evitare l'interferenza della seduta con la

scocchetta inferiore, mantenendo un margine prefissato per evitare anche l'interferenza tra le schiume. Una volta definito il Design del sedile, si è passati all'analisi tramite calcolatore FEM di quelle che sono le prove di omologazione di un sedile. In particolare, per il mercato Europeo ci sono delle norme che definiscono quali prove di tipo strutturali un sedile deve superare per poter essere omologato, prove su cui ci baseremo per il dimensionamento finale del nostro sedile. In particolare, verrà analizzato il comportamento strutturale del sedile nelle prove di ECE R17, normativa facente parte della UNECE, la commissione economica per le nazioni unite europee, che regola e norma tutta una serie di aspetti, tra cui i requisiti minimi che un sedile deve avere e soddisfare per poter essere venduto in quei mercati che sottostanno a queste regole. In questo modo, è stato possibile valutare se il sedile progettato risulta conforme e quindi può essere omologato e venduto nel mercato Europeo.

INDICE

INTRODUZIONE	I
1. I Materiali.....	- 1 -
1.1 Descrizione dei materiali compositi.....	- 1 -
1.1.1 La Matrice.....	- 1 -
1.1.2 Il Rinforzo	- 3 -
1.1.3 Le Caratteristiche dei Materiali Compositi.....	- 6 -
1.1.4 Processi di Fabbricazione dei Materiali Compositi	- 8 -
1.2 Le Fibre Naturali.....	- 12 -
1.2.1 Composizione Chimica delle Fibre Naturali	- 13 -
1.2.2 Proprietà Fisiche e Meccaniche delle Fibre Naturali	- 15 -
1.3 Tipi di Fibre Naturali.....	- 18 -
1.3.1 Le Fibre di Canapa	- 18 -
1.3.2 Le Fibre di Lino.....	- 19 -
1.4 Le Resine Epossidiche.....	- 20 -
1.4.1 Le Resine Epossidiche rinforzate con Fibre Naturali	- 22 -
2 Progettazione del Sedile Automobilistico.....	- 23 -
2.1 Progettazione della struttura tubolare.....	- 23 -
2.2 Progettazione del Regolatore Schienale e delle Staffe di Collegamento	- 24 -
2.3 Progettazione delle Scocchette dello Schienale.....	- 26 -
2.4 Progettazione della Seduta	- 27 -
2.5 Verifica delle dimensioni del sedile con il 95 Percentile	- 28 -
2.6 Complessivo del Sedile Sportivo	- 29 -
2.7 Fase di Ribaltamento del Sedile	- 29 -
2.8 Fase di ottimizzazione del Design del sedile.....	- 30 -
3. Analisi al calcolatore delle prestazioni del sedile	- 32 -
3.1 La normativa di ECE R17	- 33 -
3.1.1 Verifica della larghezza minima dell'appoggiatesta.....	- 33 -
3.1.2 Verifica della presenza di gap nel sedile	- 34 -
3.1.3 Misura dell'altezza minima di un sedile	- 35 -
3.1.5 Test di dissipazione dell'energia su appoggiatesta	- 37 -

3.1.6 Prova di trattenimento sedili per intrusione bagagliaio.....	- 37 -
3.2 Strumento di calcolo per le simulazioni agli elementi finiti.....	- 40 -
3.3 Prova di assorbimento energia su appoggiatesta con carico frontale....	- 41 -
3.4 Prova di assorbimento energia su appoggiatesta con carico posteriore	- 44 -
3.5 Prova statica dello spostamento schienale e dissipazione appoggiatesta-	46 -

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si è sviluppato un sempre maggiore interesse in ambito ecologico ed ambientale, a causa del progressivo aumento dei cambiamenti climatici, che si riflettono sulla vita di tutti i giorni e che rischiano di avere conseguenze catastrofiche nei decenni avvenire. Questa maggiore presa di coscienza si sta traducendo in un aumento dell'uso delle fonti rinnovabili e nel cercare di produrre qualsiasi oggetto in modo sostenibile, riciclabile e che abbia un impatto minimo, se non addirittura nullo nei confronti dell'ambiente.

L'obiettivo che ci poniamo in questo elaborato è di realizzare un sedile sportivo ad impatto ambientale minimo e a basso peso, realizzandolo in materiale composito a matrice epossidica, rinforzato con fibre naturali, come Canapa e Lino. L'utilizzo delle Fibre Naturali come rinforzo consente di ridurre l'impatto ambientale che può avere un sedile prodotto con materiali e processi produttivi tradizionali. In particolare, si prevede di produrre in materiale composito la scocca tubolare, che funge da base strutturale del sedile, le scocchette che si montano sulla struttura tubolare per andare a definire la forma dello schienale e la seduta.

Inoltre, l'utilizzo delle fibre naturali consente di ottenere un sedile a basso peso, circa inferiore ai 12 kg, parametro molto importante in quanto il peso del sedile, e in generale dei vari componenti che compongono una vettura, influisce sui consumi della stessa e sul suo impatto nei confronti dell'ambiente.

Parte importante nella realizzazione del sedile è quello di rispettare tutti i criteri normativi legati ad esso, come ad esempio i requisiti di Rigidezza Statica da rispettare come l'ECE 17 , e i requisiti di resistenza ai Crash Test, come l'ECE 94, l'ECE 95, l'ECE 135, l'ECE 137 e l'ECE 153, normative appartenenti al gruppo UNECE, la Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite, che regola tutta una serie di settori, tra cui quello del trasporto, regolarizzando la produzione e l'omologazione delle vetture e dei suoi componenti. Nel corso di questo elaborato analizzeremo alcune di queste norme, in particolare quei casi di carico che risultano

essere più severi e impattanti nei confronti del sedile, che ci consentono di fare una prima macro stima della prestazione e della qualità del sedile in oggetto.

1. I Materiali

1.1 Descrizione dei materiali compositi

I materiali compositi sono materiali costituiti da due o più componenti con proprietà chimiche e fisiche diverse, che, quando combinati, producono un materiale con caratteristiche migliorate rispetto ai singoli componenti. Si definiscono costituenti i materiali che formano il composito e possono avere il ruolo di matrice o di rinforzo. Ogni combinazione di diverse matrici e rinforzo produce proprietà finali diverse, a seconda anche della percentuale dei due diversi costituenti e della geometria della fibra. Per ottenere un composito con proprietà meccaniche elevate è importante riuscire ad ottenere una perfetta adesione tra la matrice e il rinforzo. Spesso per risolvere questo problema di adesione si utilizza un agente di accoppiamento, che si dividono in due tipologie: reattivi e non reattivi. Gli agenti di accoppiamento attivi aumentando l'adesione tramite l'utilizzo di legami chimici, i quali formano un legame covalente tra i componenti della miscela. Questi materiali sono ampiamente utilizzati in diversi settori, come quello aerospaziale, quello dell'automotive, nelle costruzioni e nello sport, a causa delle loro proprietà migliorate rispetto ai materiali tradizionali come metalli e polimeri, tra cui il basso peso a parità di volume rispetto ai suoi costituenti iniziali. I materiali compositi continuano a essere oggetto di ricerca e sviluppo per migliorare le loro prestazioni e ridurre i costi di produzione.[1]

1.1.1 La Matrice

La matrice è la componente continua che avvolge e supporta il rinforzo. La matrice trasferisce i carichi al rinforzo e protegge da fattori ambientali. Può essere costituita da polimeri, metalli, ceramica o materiali compositi stessi.

- **Resine Polimeriche:** Le resine polimeriche sono tra le matrici più comuni nei materiali compositi. Possono essere termoplastiche o termoindurenti. Le resine termoplastiche, come il polietilene, diventano plastificate a temperature elevate e possono essere modellate e rinforzate. Le resine termoindurenti, come le resine

epossidiche, subiscono una reazione chimica irreversibile durante il processo di indurimento, conferendo al composito una maggiore stabilità e resistenza.

- **Metalli:** Nella categoria dei compositi a matrice metallica, la matrice è spesso costituita da leghe metalliche come alluminio o titanio, che forniscono robustezza strutturale e resistenza all'usura
- **Ceramica:** I compositi a matrice ceramica utilizzano ceramiche come matrice, spesso rinforzate con altre fibre ceramiche, offrono resistenza a temperature estreme e corrosione.

La matrice nei materiali compositi ha il compito cruciale di fornire supporto strutturale e unire il rinforzo, contribuendo così alla coesione del materiale. Le principali caratteristiche della matrice sono:

- **Adesione al Rinforzo:** una caratteristica fondamentale della matrice è la sua capacità di aderire saldamente al rinforzo. Una buona adesione tra matrice e rinforzo è essenziale per garantire che i carichi siano trasferiti in modo efficiente attraverso il materiale composito.
- **Compatibilità con il Rinforzo:** la matrice deve essere compatibile con il rinforzo scelto. Ad esempio, le resine epossidiche sono spesso associate a fibre di carbonio a causa della loro elevata adesione e compatibilità chimica.
- **Protezione del Rinforzo:** la matrice fornisce protezione al rinforzo da fattori ambientali, come umidità, corrosione e usura. Una matrice ben progettata contribuisce a mantenere le proprietà del rinforzo nel tempo.
- **Distribuzione Uniforme del Carico:** La matrice contribuisce alla distribuzione uniforme del carico attraverso il composito, garantendo che le sollecitazioni esterne siano gestite in modo uniforme su tutta la struttura.
- **Resistenza alla Compressione e alla Trazione:** la matrice contribuisce significativamente alla resistenza complessiva del composito sia alla

compressione che alla trazione, contribuendo alla sua robustezza strutturale. [2]

1.1.2 Il Rinforzo

Il rinforzo è la componente disposta nella matrice per migliorare specifiche proprietà meccaniche. Può essere costituito da fibre, particelle o strati. Fibre come vetro, carbonio e aramidiche sono comuni nel rinforzo di materiali compositi. La distribuzione del rinforzo può avere forme e direzioni diverse, come è possibile vedere nella Figura 1.

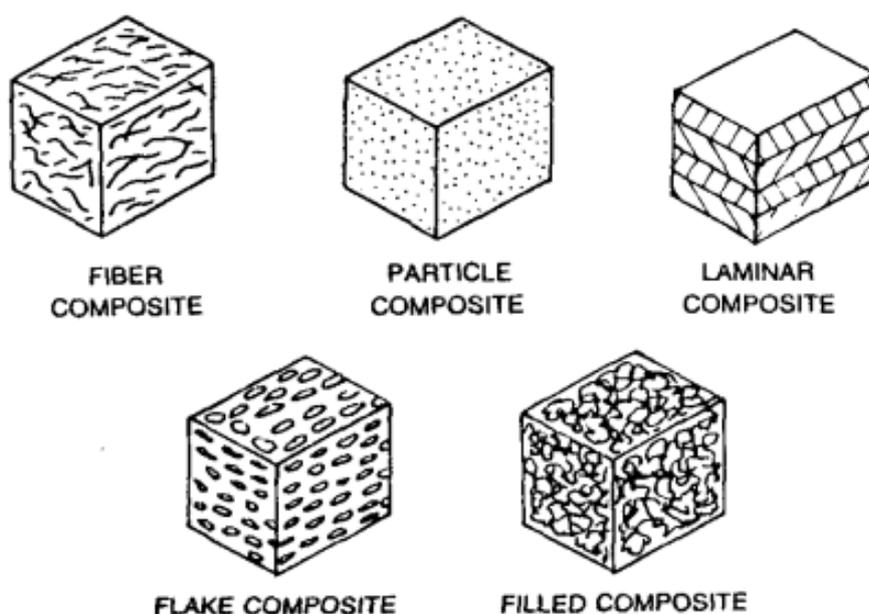


Figura 1: Esempi di diversi tipi di rinforzi immersi nella matrice [3]

I principali tipi di rinforzi utilizzati sono le fibre di Carbonio, di Vetro e di Aramidiche. Le fibre di carbonio, famose per la loro leggerezza e alta resistenza, sono spesso utilizzate per migliorare la robustezza strutturale dei compositi. Le fibre di vetro, con un ottimo rapporto resistenza-peso, sono comunemente adottate in applicazioni automotive e marittime. Le fibre aramidiche, come il Kevlar, sono conosciute per la loro elevata resistenza agli urti e all'abrasione, rendendole ideali per applicazioni di sicurezza.

In base al tipo di rinforzo che si usa, i materiali compositi possono essere divisi in tre diverse categorie: compositi particellari, compositi rinforzati con fibre e compositi strutturati.

I compositi particellari sono materiali anisotropi con il rinforzo disperso nella matrice in particelle (Figura 2). L'anisotropia è una caratteristica che può essere molto vantaggiosa perché, se controllata, consente di ottenere un materiale con caratteristiche meccaniche elevate nelle direzioni desiderate.

I compositi rinforzati con fibre hanno delle forme con dimensioni maggiori rispetto ad altre (lunghezza \gg diametro) e sono materiali più rigidi e resistenti rispetto ai precedenti. Questo è dovuto al fatto che diminuendo la sezione del rinforzo, diminuisce la probabilità di trovare dei difetti, che sono la causa principale delle rotture dei materiali. Questo fenomeno, studiato da Griffith nel 1920[], mette in evidenza che la resistenza tensionale delle fibre aumenta al diminuire del loro diametro, quindi all'aumentare del rapporto lunghezza/diametro, aumenta l'effetto rinforzante della fibra, che risulta essere prevalente nell'asse della fibra. Questo tipo di fibre a sua volta, possono essere divise in compositi a fibre continue (o lunghe) e compositi a fibre discontinue (o corte) (Figura 2).

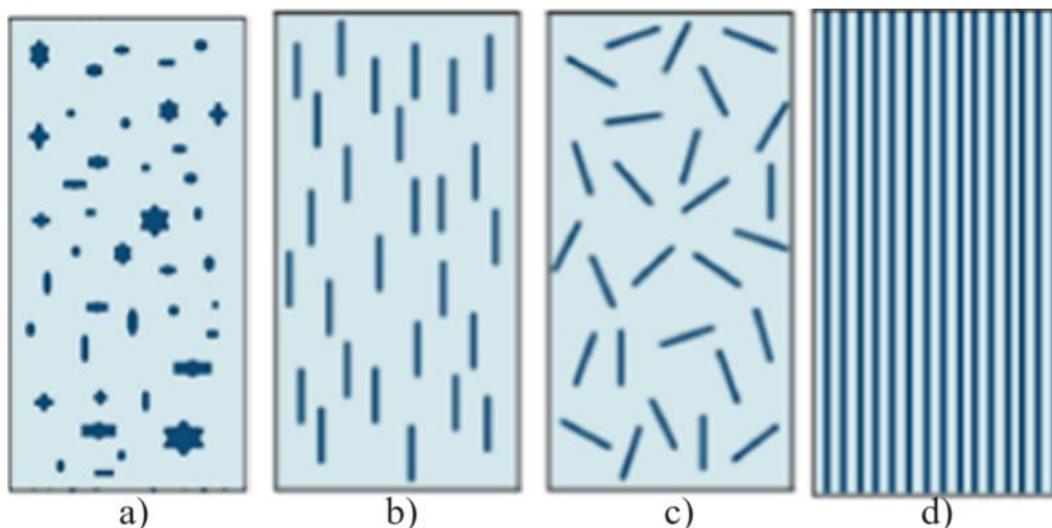


Figura 2: Esempio di un composito particellare a) con fibre corte ordinate b), fibre corte disordinate c) e fibre lunghe d). [4][5]

I compositi a fibra corta normalmente sono disposti in maniera casuale per ottenere un comportamento meccanico finale isotropo ma possono essere disposte in maniera

ordinata, come i compositi particellari, per ottenere proprietà anisotrope. I compositi a fibra lunga le fibre sono allineate e disposte in una direzione ben precisa, ottenendo proprietà meccaniche anisotrope.

Se si uniscono insieme più strutture di compositi a fibra lunga, andando a formare un materiale a strati, si ottiene un tipo di compositi strutturati: i compositi laminati. In particolare, gli strati tra loro sono disposti con orientazione delle fibre diverse tra loro, in modo da rendere le proprietà meccaniche del composito uniforme in tutte le direzioni, quindi con un comportamento finale isotropo. Esiste una struttura più complessa che fa parte della famiglia dei compositi strutturati: i compositi con struttura a sandwich (Figura 3). Questi sono formati da due strati di fibre lunghe che fungono da facce esterne, mentre tra di loro c'è uno strato chiamato anima. Questo tipo di compositi presenta delle caratteristiche migliori rispetto ai singoli strati. Lo strato interno normalmente è un materiale leggero e resistente, mentre gli strati esterni sono più resistenti e rigidi, in modo da fornire resistenza strutturale.

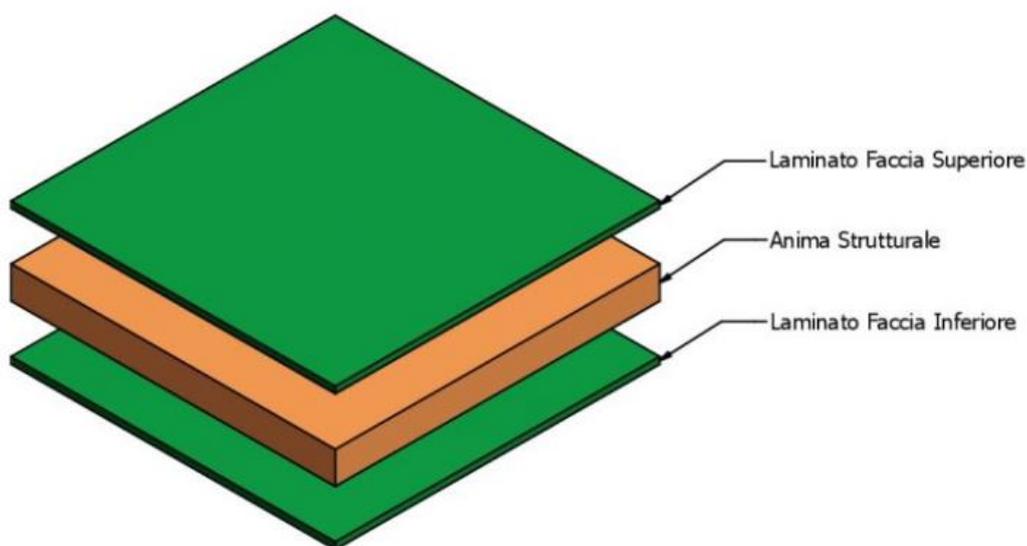


Figura 3: Esempio di struttura a sandwich. [6]

1.1.3 Le Caratteristiche dei Materiali Compositi

I materiali compositi presentano diverse caratteristiche che li rendono particolarmente distintivi, che analizzeremo di seguito. Prima di tutto, offrono un'elevata resistenza specifica, ovvero una notevole resistenza meccanica rispetto al peso complessivo. Questa caratteristica è evidente nei compositi a base di fibre di carbonio, famosi per la loro straordinaria capacità di fornire resistenza senza aggiungere eccessivo peso al materiale.

Un'altra caratteristica fondamentale è la leggerezza, che deriva dalla combinazione di matrici polimeriche e rinforzi in fibra. Infatti, rispetto ai materiali convenzionali, i compositi risultano notevolmente più leggeri, contribuendo significativamente alla riduzione del peso totale nelle applicazioni dove la leggerezza è una priorità.

La flessibilità di progettazione è un altro aspetto chiave, reso possibile dalla versatilità nella disposizione del rinforzo. Questa flessibilità consente una progettazione adattabile alle esigenze specifiche dell'applicazione. L'orientamento strategico delle fibre può migliorare ulteriormente le proprietà direzionali del materiale, consentendo una personalizzazione più approfondita delle prestazioni.

Un'altra caratteristica importante e vantaggiosa è la resistenza alla corrosione, specialmente quelli che incorporano fibre di vetro o carbonio e resine polimeriche. Questa caratteristica li rende adatti a operare in ambienti aggressivi senza subire danni significativi nel tempo. I materiali compositi dimostrano anche una notevole adattabilità a una vasta gamma di temperature. Alcuni compositi, in particolare quelli con matrici termoindurenti, sono in grado di resistere a temperature elevate senza compromettere le loro prestazioni, mentre altri mantengono buone caratteristiche anche a temperature estremamente basse.

Infine, la bassa conduttività termica ed elettrica è una proprietà utile dei compositi. Questo li rende idonei per applicazioni in cui l'isolamento termico ed elettrico è essenziale, contribuendo così alla loro versatilità in diversi contesti industriali e applicazioni specifiche. In sintesi, i materiali compositi incarnano una combinazione

unica di caratteristiche che li rendono essenziali in settori che richiedono materiali leggeri, resistenti e altamente adattabili.

Nella Figura 4 sono riportati alcuni esempi di applicazioni in ambito automotive in cui questi materiali risultano essere molto vantaggiosi.

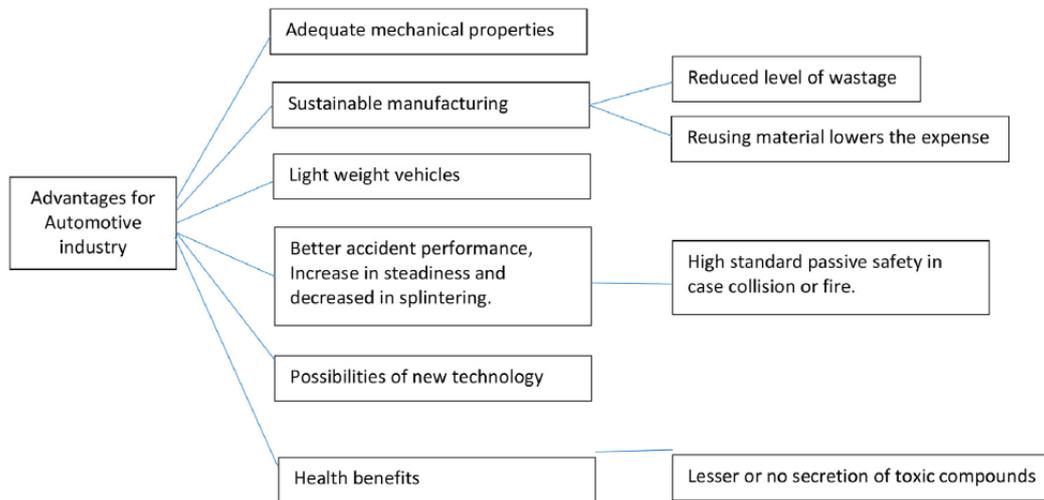


Figura 4: Vantaggi nell'uso di materiali rinforzati con fibre naturali in ambito automotive.[7]

Tuttavia, l'utilizzo dei materiali compositi presenta anche alcune sfide. I costi iniziali elevati, legati ai materiali avanzati e ai processi complessi di fabbricazione, rappresentano uno degli svantaggi principali. La difficoltà di riciclo è un'altra problematica, poiché la complessità della separazione dei componenti e la mancanza di infrastrutture adeguate possono limitare l'aspetto sostenibile dei compositi.

La sensibilità alla temperatura durante la produzione o l'uso può richiedere attenzione nella gestione termica. La difficoltà di riparazione, soprattutto quando coinvolge il rinforzo, può essere un ostacolo pratico. L'impatto ambientale delle resine utilizzate nelle matrici è una preoccupazione, poiché alcune di queste possono comportare conseguenze negative durante la produzione.

In conclusione, nonostante gli svantaggi, i materiali compositi rimangono una soluzione tecnologicamente avanzata per numerose applicazioni. La loro continua evoluzione è guidata dalla ricerca di soluzioni per affrontare le sfide e sfruttare appieno i vantaggi che offrono in settori che vanno dall'aerospaziale all'industria automobilistica.

1.1.4 Processi di Fabbricazione dei Materiali Compositi

I processi di fabbricazione dei materiali compositi rivestono un ruolo cruciale nel determinare le proprietà e le prestazioni del materiale finale. Questi processi variano in base al tipo di matrice e rinforzo utilizzati, offrendo una gamma diversificata di approcci per la produzione di componenti compositi. Di seguito andremo ad analizzare 5 processi di fabbricazione utilizzati per realizzare dei componenti in materiale composito: Laminazione, Stampaggio ad Iniezione, Infusione del Vuoto, Stampaggio a Compressione e Tessitura 3D.

La laminazione è uno dei processi più comuni per la produzione di materiali compositi. Coinvolge la sovrapposizione di strati di rinforzo, spesso in forma di tessuti di fibre di vetro o carbonio, con uno strato di matrice. Questo assemblato viene poi sottoposto a pressione e calore per permettere alla matrice, spesso una resina termoindurente come l'epossidica, di indurirsi.

Il processo di laminazione è versatile e può essere adattato per produrre compositi con diverse orientazioni delle fibre, consentendo una progettazione personalizzata. Tuttavia, la laminazione può richiedere attenzione particolare per garantire un'adesione uniforme tra la matrice e il rinforzo, evitando bolle d'aria e assicurando la qualità del composito finale (Figura 5).

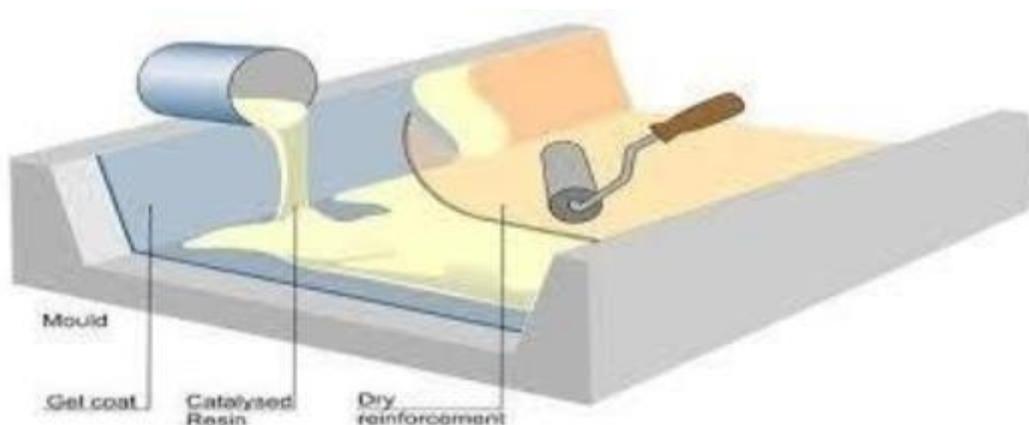


Figura 5: Esempio di processo di laminazione dei materiali compositi. [8]

Lo stampaggio a iniezione è un processo adatto soprattutto per resine termoplastiche e termoindurenti. Coinvolge l'iniezione di una resina liquida e rinforzo in uno stampo, seguito dalla solidificazione o indurimento della resina. Questo processo è ampiamente utilizzato per la produzione di componenti complessi e di alta precisione.

Lo stampaggio a iniezione offre un'efficienza produttiva notevole, ma può presentare sfide come il controllo della distribuzione della resina e la formazione di bolle. Il processo richiede attenzione ai dettagli durante la progettazione dello stampo e la gestione della temperatura (Figura 6).

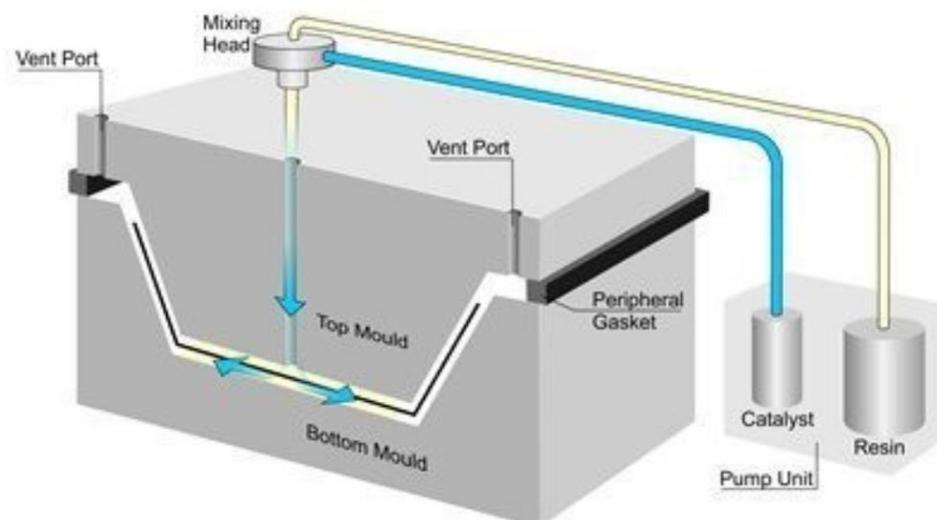


Figura 6: Esempio di stampaggio ad iniezione con miscela di resina e rinforzo nello stampo [9]

L'infusione del vuoto è un processo che coinvolge la creazione di un vuoto all'interno di uno stampo contenente il rinforzo. La resina viene quindi fatta fluire nel rinforzo sotto l'effetto del vuoto, garantendo una distribuzione uniforme della matrice attraverso il composito.

Questo metodo è particolarmente efficace per minimizzare le bolle d'aria e ottenere una densità uniforme nel composito. Tuttavia, richiede attenzione ai dettagli durante la preparazione dello stampo e può essere più lento rispetto ad altri processi (Figura 7).

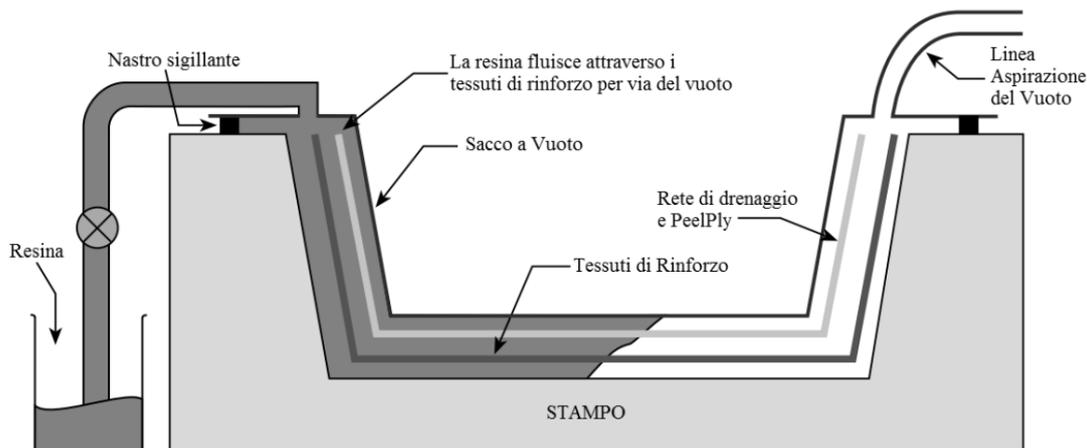


Figura 7: Esempio di stampaggio per infusione del vuoto [9]

Lo stampaggio a compressione è un processo tradizionale utilizzato principalmente per compositi a matrice termoindurente. Coinvolge la formatura di fogli preimpregnati (prepreg) in uno stampo riscaldato e sottoposto a pressione. La resina si polimerizza durante il processo, formando un composito solido.

Questo metodo è noto per la produzione di parti di grandi dimensioni e componenti strutturali ad alte prestazioni. Tuttavia, richiede attenzione alla qualità dello stampo e ai controlli accurati della temperatura e della pressione (Figura 8).

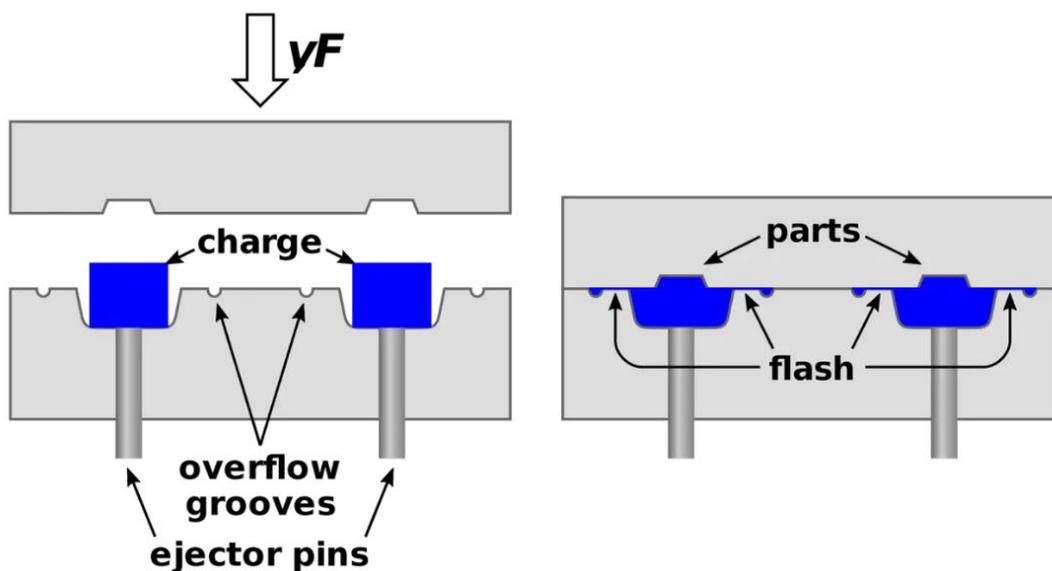


Figura 8: Esempio di stampaggio a compressione. [10]

La tessitura 3D è un processo avanzato che coinvolge la formazione di compositi mediante l'intreccio tridimensionale di fibre. Questo processo consente di ottenere

proprietà meccaniche superiori in tutte le direzioni, fornendo una maggiore resistenza e duttilità. La tessitura 3D può coinvolgere diverse matrici, comprese resine termoplastiche e termoindurenti. Questo processo è particolarmente utile per applicazioni in cui è richiesta una distribuzione uniforme delle proprietà meccaniche.

1.2 Le Fibre Naturali

Le fibre naturali sono materiali fibrosi che si trovano nella natura e che vengono utilizzati per vari scopi, inclusi tessuti, carta, cavi e altri prodotti. Esse hanno un basso costo, sono facilmente gestibili, hanno notevoli proprietà meccaniche, richiedono minor energia nel processo produttivo e sono biodegradabili. L'utilizzo crescente delle Fibre Naturali è motivato principalmente da una sempre maggiore sensibilità al rispetto dell'ambiente, in gran parte dovuta alle problematiche degli ultimi anni, legate alla difficoltà nello smaltimento dei rifiuti e al tentativo di ridurre la produzione di CO₂. Rispetto alle Fibre Sintetiche, l'utilizzo di questi costituenti offre numerosi vantaggi in termini di prestazioni, prezzo, disponibilità e impatto ambientale. A supporto di ciò, ci sono alcuni studi che affermano che l'uso delle fibre naturali come rinforzo nei materiali compositi garantisce una riduzione del 20% dei costi e una riduzione del peso del 30% di parti automobilistiche, con tutti i vantaggi che ne conseguono. [11] Le fibre naturali possono essere suddivise in diverse categorie in base alla loro origine:

1. Fibre Vegetali:

- **Cotone:** Una delle fibre naturali più comuni al mondo, ottenuta dal cotone.
- **Lino:** Proveniente dal lino, è nota per la sua resistenza.
- **Canapa:** Derivata dalla pianta di canapa, è resistente e durevole.
- **Juta:** Una fibra rigida ottenuta dalla pianta di juta, utilizzata per sacchi e tessuti grezzi.

2. Fibre Animali:

- **Lana:** Proveniente dal vello di pecore, capre e altri animali a pelo lungo.
- **Seta:** Ottenuta dai bachi da seta, è conosciuta per la sua morbidezza e lucentezza.
- **Mohair:** Fibra proveniente dal pelo di capre angora, nota per la sua morbidezza e lucentezza.

- **Alpaca e Cashmere:** Fibre prelevate rispettivamente dalla lama e dalla capra cashmere, famose per la loro morbidezza e calore.

3. Fibre minerali:

- **Asbesto:** Una fibra minerale naturale utilizzata in passato per la sua resistenza al calore e al fuoco, ma ora ampiamente ritenuta pericolosa per la salute umana.

Le Fibre Naturali derivano da piante che possono essere classificate in primarie e secondarie. Per piante primarie si intende quelle piante il cui scopo è quello di produrre direttamente le fibre come prodotto principale, mentre per piante secondarie si intende quelle piante le cui fibre sono un sottoprodotto, come ad esempio Ananas, Palma da Olio e Cocco. Di seguito, in Tabella 1, viene riportata la produzione mondiale del 2019 delle fibre naturali, valori che sono sempre ogni anno in aumento.

Fonte di fibra	Produzione mondiale (10 ³ ton)
Bambù	30.000
Iuta	2300
Kenaf	970
Lino	830
Sisal	378
Canapa	214
cocco	100
Ramiè	100
Abaca	70
Bagassa di canna da zucchero	75.000
Erba	700

Tabella 1: Produzione mondiale delle fibre in commercio [11]

1.2.1 Composizione Chimica delle Fibre Naturali

La struttura delle Fibre Naturali è composta da una parete primaria sottile e una parete secondaria composta da tre strati: il livello medio dello spessore influisce sulle

proprietà meccaniche della fibra. Per questo motivo, le Fibre Naturali vengono definite di per sé come materiali compositi.

A livello chimico, le Fibre naturali sono formate da cellulosa, emicellulosa, lignina, cera, pectina e, in misura molto minore, da zuccheri e proteine; le percentuali di ogni elemento determinano le caratteristiche finali della fibra. Di seguito vengono riportate alcune informazioni di dettaglio sui suoi principali elementi (Figura 9):

- **Cellulosa:** è l'elemento organico che dà resistenza meccanica, rigidità e stabilità. Esso è formata da una lunga catena di unità di glucosio collegate tra di loro, che a loro volta sono allineate tra loro andando a formare dei lunghi fasci che si chiamano microfibrille;
- **Emicellulosa:** è un componente amorfo ed è molto legata alle microfibrille della cellulosa tramite legami a idrogeno;
- **Lignina:** è un polimero naturale complesso e amorfo, fornisce sostegno strutturale alle pareti cellulari, aumentandone la resistenza meccanica;
- **Pectina:** è una sostanza polisaccaridica e fornisce flessibilità alle piante.

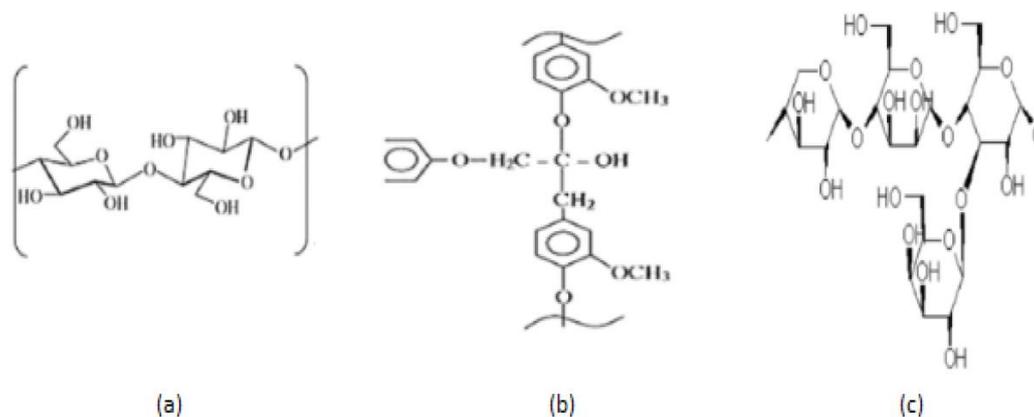


Figura 9: Struttura chimica dei diversi costituenti delle fibre naturali a) Cellulosa b) Lignina c) Emicellulosa [12]

I fattori che influenzano la composizione chimica delle fibre naturali sono la specie di origine, le condizioni geografiche e climatiche, dalla varietà della pianta, dalla condizione del suolo e dalle condizioni atmosferiche. Inoltre, la composizione chimica delle fibre influenza le proprietà fisiche e meccaniche di quella fibra.

Fibra	Cellulosa (% in peso)	Emicellulosa (% in peso)	Lignina (% in peso)	Cere (% in peso)
bagassa	55.2	16.8	25.3	-
Bambù	26-43	30	21-31	-
Lino	71	18.6-20.6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Iuta	61-71	14-20	12-13	0.5
Canapa	68	15	10	0.8
Braccio	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Abaca	56-63	20-25	7-9	3
Sisal	65	12	9.9	2
Coir	32-43	0.15-0.25	40-45	-
Olio di palma	65	-	29	-
Ananas	81	-	12.7	-
Curaua	73.6	9.9	7.5	-
paglia di grano	38-45	15-31	12-20	-

Tabella 2: Composizione chimica delle fibre naturali [13]

1.2.2 Proprietà Fisiche e Meccaniche delle Fibre Naturali

Per quanto riguarda le proprietà fisiche e meccaniche le Fibre Naturali hanno una serie di caratteristiche che le rendono uniche. Di seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche comuni delle fibre naturali:

- **Resistenza:** Alcune fibre naturali, come il ramie e il sisal, sono note per la loro resistenza. La resistenza è la capacità di una fibra di sopportare la trazione senza rompersi.
- **Flessibilità:** Le fibre naturali possono essere molto flessibili, il che significa che possono essere piegate senza rompersi. Questa flessibilità le rende adatte per essere tessute in vari tipi di tessuti.
- **Tenacità:** La tenacità si riferisce alla capacità di una fibra di resistere a forze di trazione. Le fibre naturali come il cotone e la lana hanno buona tenacità, il che significa che sono resistenti quando sottoposte a stress meccanici.

- **Rigidità:** Alcune fibre naturali possono essere piuttosto rigide, come ad esempio la juta. Questa rigidità può essere un vantaggio in applicazioni specifiche, come nella produzione di sacchi resistenti.
- **Elasticità:** Alcune fibre naturali, come il cotone, hanno una certa elasticità che consente loro di allungarsi leggermente senza rompersi. Tuttavia, questa elasticità è limitata rispetto a molte fibre sintetiche.
- **Assorbimento d'acqua:** Le fibre naturali, in particolare il cotone e il lino, hanno la capacità di assorbire una quantità significativa di acqua senza perdere la loro resistenza strutturale. Questa caratteristica le rende adatte per tessuti assorbenti e indumenti da bagno.
- **Isolamento termico:** Alcune fibre naturali, come la lana, offrono eccellente isolamento termico, mantenendo caldo il corpo umano anche in condizioni fredde.
- **Biodegradabilità:** Una caratteristica unica delle fibre naturali è la loro biodegradabilità. A differenza delle fibre sintetiche, le fibre naturali si decompongono naturalmente nell'ambiente, riducendo l'impatto ambientale.

Le proprietà meccaniche delle fibre naturali sono fortemente influenzate dalle sue proprietà fisiche come ad esempio il diametro, la lunghezza, la densità (Tabella 3), l'assorbimento di umidità e l'angolo d'inclinazione delle microfibrille. Ad esempio, l'angolo di inclinazione delle microfibrille influenza la resistenza a trazione, in quanto più sono allineate all'asse della fibra e più aumenta la resistenza alla trazione e della rigidità, aumentando però anche la fragilità. Questo è dovuto al fatto che, quando viene applicato un carico, le fibre si allineano alla direzione di applicazione del carico; quindi, avendo un angolo basso di inclinazione, l'allungamento è molto basso e la resistenza a trazione invece risulta essere molto alto.

Di seguito, in Figura 10, viene riportato un esempio di come varia il Modulo di Young al variare dell'angolo delle microfibrille. Nella tabella sotto si può infatti notare come esso diminuisca all'aumentare dell'angolo di inclinazione.

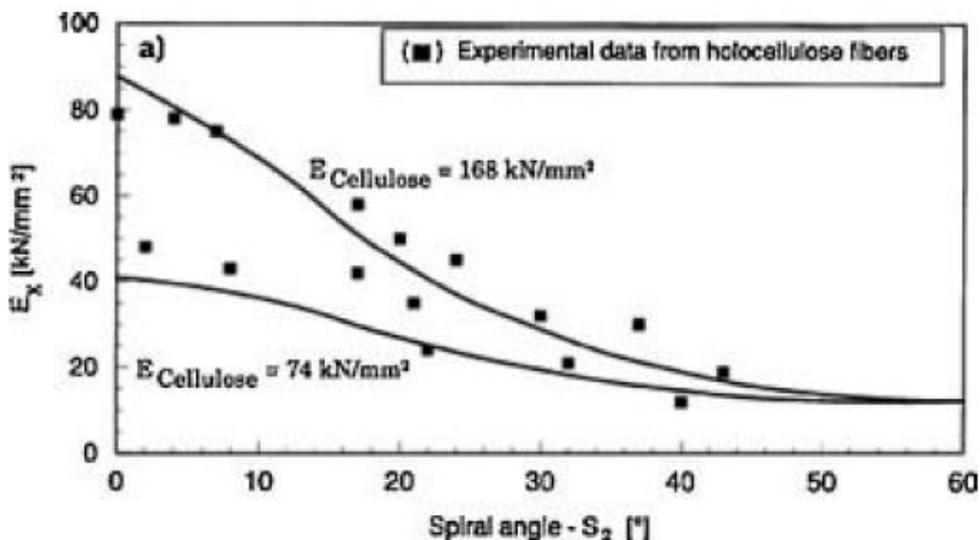


Figura 10: Andamento del Modulo di Young in funzione dell'angolo delle microfibrille [13]

Un altro esempio è la capacità di assorbire umidità da parte della fibra, che, se troppo elevato, incide negativamente sulle proprietà meccaniche, in particolare sulla resistenza a trazione e sulla sua flessibilità.

Fibra	Resistenza alla trazione (MPa)	Modulo di Young (GPa)	Allungamento a rottura (%)	Densità [g/cm ³]
Abaca	400	12	3-10	1.5
bagassa	290	17	-	1.25
Bambù	140-230	11-17	-	0.6-1.1
Lino	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Canapa	690	70	1.6	1.48
Iuta	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Braccio	560	24.5	2.5	1.5
Olio di palma	248	3.2	25	0.7-1.55
Ananas	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Coir	175	4-6	30	1.2
Curaua	500-1150	11.8	3.7-4.3	1.4

Tabella 3: Proprietà meccaniche delle fibre naturali [13]

1.3 Tipi di Fibre Naturali

In natura ci sono tante Fibre Naturali e diverse tra loro, che possiamo dividere in sei principali categorie: Fibre di Semi (Kapok, Cotone), Fibre di Nucleo (Canapa, Iuta e Kenaf), Fibre di Erba e Canna (Miscanto, Bambù), Fibre di Foglie (Banana, Ananas, Sisal, Curaua), Fibre di Rafia (Abaca, Lino, Juta, Canapa, Kenaf, Ramia) e le Fibre di Legno e Radici. Di seguito verranno analizzate le principali Fibre di nostro interesse.

1.3.1 Le Fibre di Canapa

Le Fibre di Canapa sono considerate uno dei membri della famiglia delle Fibre Naturali a bastone, che derivano dalla pianta di canapa della specie *Cannabis*. Le Fibre di Canapa sono costituite al 70% da Cellulosa, al 15% da Emicellulosa, al 1-3% da Pectina, al 3% da Lignina e la restante parte è formata da proteine, minerali e grassi. Le Fibre di Canapa si ottengono dalla *Cannabis Sativa* che appartiene alla famiglia delle Cannabacee. Essa è una pianta annua che cresce in climi temperati, con fusti eretti e radici fittonanti, con altezze che possono variare da pochi centimetri a 5 metri. Ogni Fibra è formata da una parete primaria sottile avvolta da una parete secondaria formata a sua volta da tre strati. Ognuna di queste Fibre ha un foro centrale, detto Lumen, che gli dà leggerezza e traspirabilità. Le lunghe catene di cellulosa si legano tra loro tramite attrazione chimica andando a formare un fascio di fibre, chiamate anche Microfibrille, composte normalmente da 40 fili di cellulosa, con un diametro finale di 5 nm. Questo insieme di fasci a loro volta si uniscono per formare macro-fibrille di circa 20-40 nm di diametro, unite questa volta da una rete di emicellulosa; l'unione di più macro-fibrille vanno a formare le Fibre di Cellulosa finale, visibili nella Figura 11 sotto.

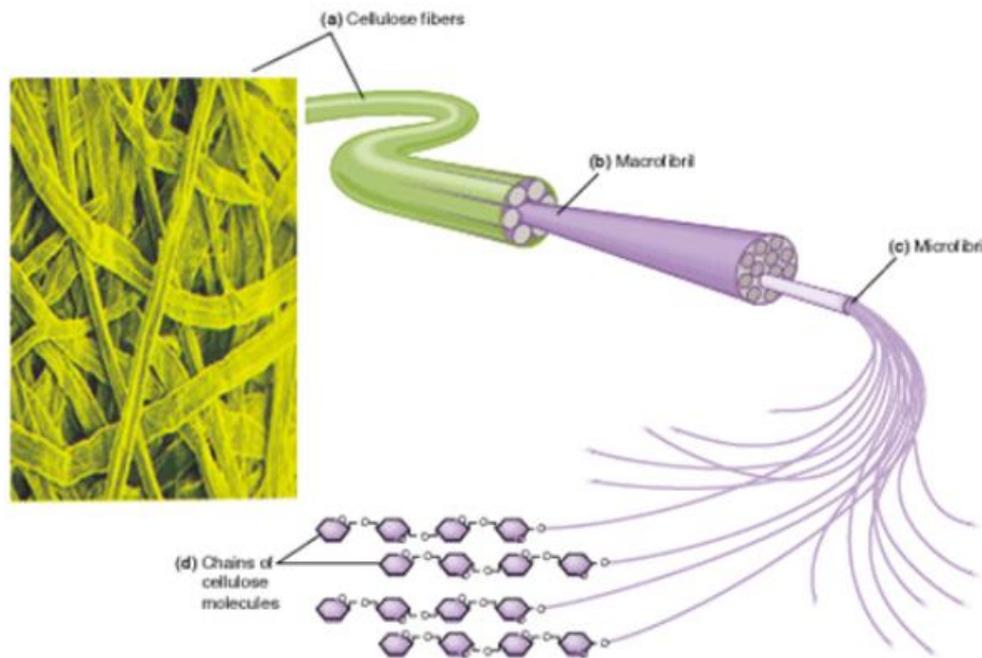


Figura 11: Struttura interna delle Fibre di Canapa. [14]

Le microfibrille all'interno della cellulosa non sono perfettamente allineate all'asse della cellulosa ma presentano un certo angolo di inclinazione, normalmente di circa 6° . L'angolo di inclinazione è un parametro importante che influenza le proprietà meccaniche della fibra.

1.3.2 Le Fibre di Lino

Il Lino è un polimero di cellulosa che deriva dalla pianta di rafia di lino, ha una struttura fortemente cristallina che lo rende rigido e molto resistente. Il lino è costituito dal 70-85% di Cellulosa, dal 10-25% di Emicellulosa, dal 3-4% di Lignina, dal 1-2% di Pectina e la restante parte è formata da Oli, proteine e ceneri. La pianta di Lino ha un diametro variabile tra i 12-16 μm con altezze che arrivano fino a 90 cm. Il lino è formato da una parete cellulare composta da diversi strati: lo strato più esterno delle cellule, relativamente sottile e flessibile, viene chiamata parte primaria; adiacente ad esso si trova lo strato secondario, che è molto più spesso di quello primario, e conferisce resistenza e struttura alla fibra. Infine, troviamo il Lume, cioè la parte di spazio vuoto all'interno della fibra, all'interno del quale scorrono le sostanze nutritive e l'acqua. In Figura 12 possiamo notare uno schema dell'interno della fibra di lino. In particolare,

notiamo come la parete secondaria sia più spessa di quella primaria e che la parete secondaria è formata a sua volta da tre strati. Lo strato S2 è quello più spesso ed è formato da un numero fitto di microfibrille di cellulosa, con un angolo di inclinazione di 10° , che fornisce il contributo principale di resistenza strutturale alla fibra.

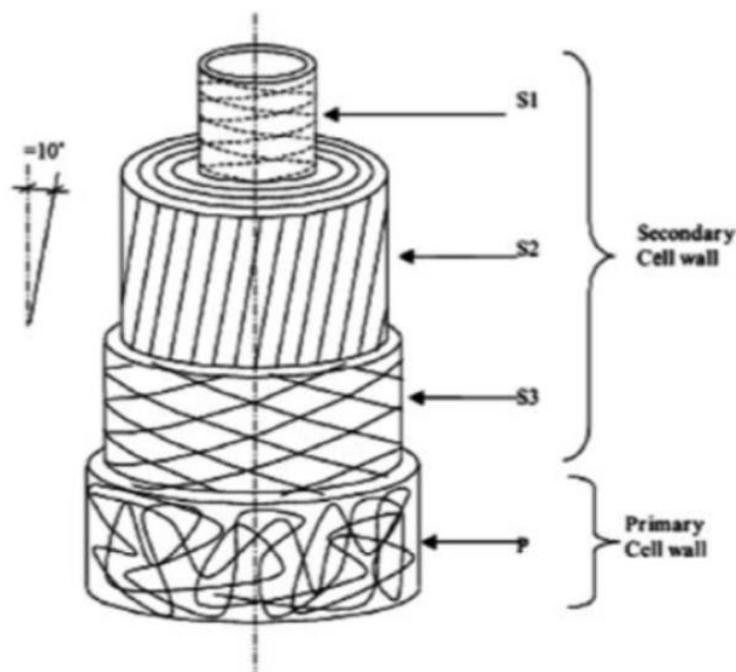


Figura 12: Struttura interna delle fibre di lino [15]

1.4 Le Resine Epossidiche

Le resine epossidiche sono un tipo di polimeri termoindurenti, comunemente noti come resine epossidiche o resine epoxy. Sono costituite da una classe di polimeri caratterizzati dalla presenza di gruppi epossidici, noti anche come gruppi ossirano, all'interno della loro struttura molecolare (Figura 13).

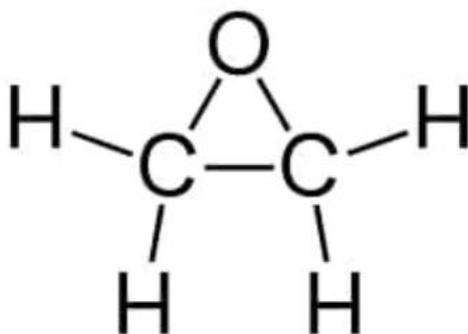


Figura 13: Struttura molecolare di una molecola di epossido.[16]

Le resine epossidiche sono ottenute dalla reazione tra un epossido (generalmente un composto contenente ossigeno nell'anello) e un agente indurente o reagente curante, spesso noto come "indurente". Questa reazione è chiamata reazione di polimerizzazione e porta alla formazione di un materiale solido e resistente.

Le resine epossidiche rappresentano una categoria significativa di materiali polimerici utilizzati in molteplici ambiti grazie alle loro eccezionali proprietà. La loro struttura molecolare unica conferisce loro una serie di caratteristiche peculiari che le rendono estremamente utili e versatili.

Questi polimeri termoindurenti mostrano una notevole tenuta e resistenza, garantendo una notevole durezza e capacità di sopportare sforzi meccanici intensi. Sono rinomati per la loro resistenza all'usura, all'abrasione e agli urti, qualità che li rendono particolarmente adatti in applicazioni dove è richiesta robustezza e durabilità nel tempo.

Una delle caratteristiche distintive delle resine epossidiche è la loro capacità di adesione. Questi materiali possono legarsi efficacemente a una vasta gamma di superfici, inclusi metalli, vetro, plastica e legno, creando un'aderenza solida e resistente. Questa proprietà di adesione eccezionale li rende fondamentali in molteplici settori industriali dove è cruciale avere materiali che possano aderire in modo affidabile e duraturo.

Oltre alla resistenza meccanica e all'adesione, le resine epossidiche mostrano anche una notevole resistenza chimica. Sono in grado di resistere a diversi agenti chimici, solventi, oli e all'azione degli agenti atmosferici, mantenendo le loro proprietà intatte anche in ambienti corrosivi o aggressivi.

La versatilità delle resine epossidiche è una delle ragioni principali per cui vengono impiegate in così tante applicazioni industriali e commerciali. Vengono utilizzate per la produzione di adesivi, rivestimenti protettivi, compositi avanzati e materiali per stampaggio, tra molti altri utilizzi. Sono presenti nell'industria aerospaziale, automobilistica, elettronica, dell'edilizia e in molte altre, svolgendo un ruolo chiave nella realizzazione di prodotti che richiedono robustezza, resistenza e affidabilità.

1.4.1 Le Resine Epossidiche rinforzate con Fibre Naturali

Le resine epossidiche rinforzate con fibre naturali sono un tipo di materiali compositi che combinano le resine epossidiche con fibre provenienti da fonti naturali come canapa, lino, juta o altre piante. Questi compositi sfruttano le proprietà uniche delle resine epossidiche, come aderenza, resistenza chimica e durabilità, insieme alle caratteristiche specifiche delle fibre naturali, come leggerezza, biodegradabilità e resistenza.

Il processo di produzione di questi compositi di solito coinvolge la miscelazione delle resine epossidiche con le fibre naturali, seguita da processi di stampaggio, pressatura o laminazione per creare il materiale composito finale. Durante questo processo, le fibre vengono impregnate con la resina epossidica, creando una struttura solida e integrata.

Le proprietà meccaniche dei compositi a matrice epossidica con fibre naturali dipendono da diversi fattori, inclusi il tipo di resina epossidica, la natura e la disposizione delle fibre, il trattamento delle stesse e le condizioni di produzione. Nella Tabella 4 sono riportati alcuni esempi di proprietà meccaniche di fibre naturali con matrice polimerica, dove si può notare che i valori di resistenza a trazione hanno degli intervalli di 300-1000 MPa e dei Moduli di Young tra i 10-70 GPa; quindi, si può notare come si hanno intervalli anche molto ampi, che per dipende dai numerosi fattori sopracitati.

Fibers	Manufacturing Methods	Polymer Matrix	Mechanical Properties of Fiber			Chemical Properties of fiber		
			Tensile Strength	Failure Strain	Young's Modulus	Cellulose%	Hemicelulose%	Lignin%
Flax	Compression molding, Resin transfer molding, vacuum infusion	HDPE	343–1830	1.3–3.3	27–100	71	18.6–20.6	22
Kenaf	Pultrusion and Compression molding	Epoxy	295–930	–	22–60	72	20.3	9
Jute	Compression/Injection molding and hand layup	Epoxy	187–800	1.16–1.5	10–55	61–71	14–20	12–13
Hemp	Compression molding, Resin transfer molding, vacuum infusion	–	550–1110	2–4	30–70	68	15	10
Sisal	Compression molding and hand layup	PS	468–855	3–7	9–28	65	12	9.9
Coir	Extrusion and Injection molding	–	130–580	15–40	4–62	32–43	0.15–0.25	40–45
Ramie	Injection molding through extrusion	–	400–938	–	44–128	68.6–76.2	13–16	0.6–0.7
Sugarcane Bagasse	Compression molding, Injection molding and Extrusion	PP	–	–	–	45	30	24

Tabella 4: Proprietà meccaniche di materiali compositi rinforzati con fibre naturali.[17]

2 Progettazione del Sedile Automobilistico

La progettazione del sedile è stata fatta seguendo dei vincoli prestabiliti, vincoli nati da specifiche di progetto ben precise. Una delle principali specifiche è stata quella di realizzazione il sedile con una struttura portante tubolare cava, con spessore di 3 mm, con lo schienale formato da 2 scocchette separate tra loro di circa 2 mm, una seduta formata da un corpo unico, con spessore sempre di 2 mm, l'utilizzo di un regolatore dell'angolo dello schienale con manopola di tipo commerciale, collegata direttamente con la struttura tubolare tramite una staffa e infine l'utilizzo di una seconda staffa per collegare la struttura tubolare alla seduta e alla guide di movimentazione orizzontale del sedile.

Un'altra importante specifica è stata di quella di avere un design del sedile in linea con lo stile attualmente in uso, cercando anche di fare una previsione su dove il mercato dei sedili sportivi si stesse muovendo.

Per realizzare il prototipo del sedile a livello grafico 3D, è stato utilizzato il software Catia V5, uno dei più famosi e importanti software usati nella progettazione 3D.

2.1 Progettazione della struttura tubolare

La prima parte di sviluppo del sedile sportivo riguardava la realizzazione della parte strutturale tubolare dello schienale del sedile. La struttura tubolare ha uno spessore di 3 mm ed è uno dei componenti realizzato in fibre naturali.

Una delle prime fasi della progettazione ha riguardato la scelta di avere o meno una barra centrale di collegamento per il passaggio delle cinture a 4 punti; in Figura 14 è possibile vedere entrambe le soluzioni.

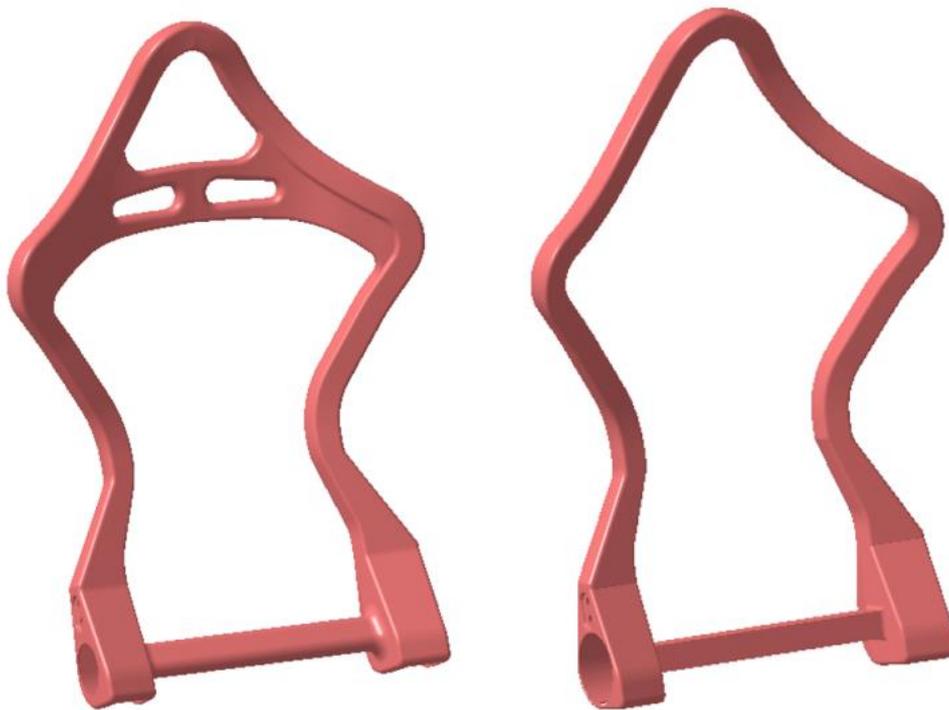


Figura 14: Struttura tubolare a) con barra centrale e b) senza barra centrale

La scelta finale è stata quella di avere il tubolare con la barra centrale (Figura 14 a) in modo da garantire una maggiore rigidezza alla struttura, soprattutto per quanto riguarda la parte di resistenza ai crash test laterali, garantendo una efficienza a questo tipo di urto, evitando possibili deformazioni del sedile, che avrebbero avuto un impatto negativo sulla prestazione biomeccanica del passeggero.

2.2 Progettazione del Regolatore Schienale e delle Staffe di Collegamento

Successivamente è stata definita la zona di aggancio del regolatore dell'angolo schienale. Come è possibile vedere in Figura 15, sono state definite delle staffe metalliche di collegamento tra il regolatore (in blu) e la struttura tubolare, che si fisseranno tra di loro tramite delle viti e dei dadi saldati sulla staffa più piccola in giallo. In particolare, è stato creato un basso fondo sulla struttura tubolare (Figura 3.4) su cui esternamente si appoggia la staffetta (in giallo), mentre internamente si andrà a collegare un'altra staffa (in marrone), che a sua volta sarà collegata al regolatore dello

schienale. Infine, per mezzo di una barra, che passerà all'interno della struttura inferiore della scocca tubolare, si andranno a collegare i regolatori posizionati in ambo i lati.

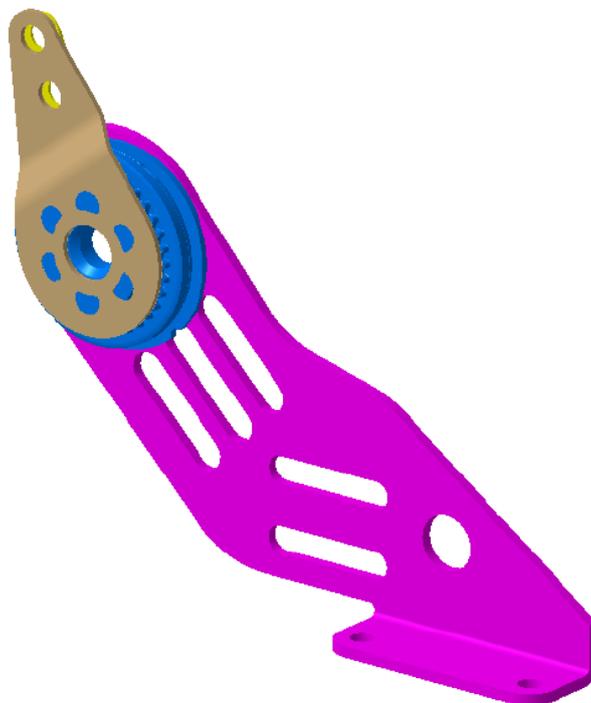


Figura 15: Staffe di collegamento tra tubolare, regolatore schienale e guide sedile.

Infine, il regolatore e più in generale tutta la struttura, sarà collegata a terra alle guide di movimentazione del sedile tramite un'altra staffa metallica, indicata in rosa sempre nella Figura 16.



Figura 16: Zona relativa al regolatore schienale

2.3 Progettazione delle Scocchette dello Schienale

Subito dopo aver definito la parte della struttura tubolare, si è passati alla realizzazione delle scocchette dello schienale. Una prima scelta è stata quella di non realizzare un corpo unico ma di creare due componenti distinti. Come è possibile vedere in Figura 17, sono stati ottenuti i seguenti design delle scocchette.



Figura 17. Design delle scocchette dello schienale

Nella fase di progettazione delle scocchette, molto importante è stata la definizione della parte inferiore. In particolare, sono stati due i criteri di massima da seguire nel corso della progettazione. Il primo è stato quello di garantire una larghezza adeguata in Y, avendo come riferimento un manichino 95%ile, che rappresenta statisticamente il 95% dell'altezza e della corporatura della popolazione esistente; in questo modo si garantisce un'adeguata dimensione in termini di larghezza in Y.

Il secondo criterio da seguire è stato quello di garantire che non ci fossero interferenze durante la fase di ribaltamento dello schienale anteriormente tra la scocchetta inferiore e la seduta, che di norma risulta essere di 40° circa. Per poter garantire che non ci fossero interferenze, si è dovuto realizzare un primo design della scocchetta e successivamente, solo dopo aver realizzato anche il design della seduta, si è passati all'analisi di questo vincolo.

2.4 Progettazione della Seduta

L'ultima fase della progettazione del sedile riguarda la realizzazione della seduta. In Figura 18 è possibile vedere un primo design della seduta, con 6 fori di fissaggio alle guide e una forma che garantisca il non verificarsi del fenomeno del submarining. Questo è un fenomeno che si verifica in fase di urto del veicolo, che fa scivolare il passeggero sopra o sotto la cintura, non garantendo un adeguato sistema di protezione, che negli urti omologativi o di rating delle vetture, costituisce un importante penalizzatore.



Figura 18: Design della seduta

Inoltre, come è possibile vedere nella Figura 19, per garantire maggiore rigidità strutturale alla seduta, sono state realizzate delle nervature nelle zone laterali, che fungono da zona di collegamento per il fissaggio con le guide.



Figura 19. Design della seduta vista dal basso.

2.5 Verifica delle dimensioni del sedile con il 95 Percentile

In fase di progettazione del sedile, è stato verificato che le dimensioni del sedile fossero adeguate a tutta la popolazione, in particolare si è tenuto conto delle dimensioni del 95 percentile, che rappresenta quella parte di popolazione con dimensioni in termini di peso e altezza maggiori; l'incidenza del 95 percentile si rifletteva prevalentemente sulla dimensione Y del sedile. Di seguito, in Figura 20 sono riportate due viste con il sedile con sopra posizionato un modello 3D del manichino 95 percentile.

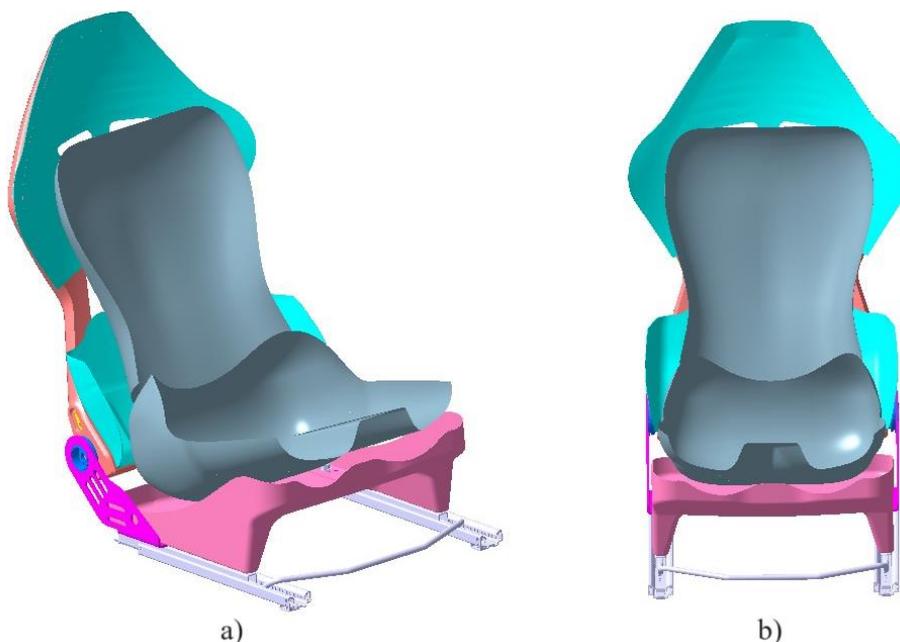


Figura 20: Verifica del posizionamento del manichino 95 percentile a) vista isometrica b) vista frontale

2.6 Complessivo del Sedile Sportivo

Dopo aver definito il design di ogni componente del sedile, sono stati messi insieme e il risultato finale del sedile sviluppato è visibile nella Figura 21.



Figura 21: Design Finale del sedile sportivo.

2.7 Fase di Ribaltamento del Sedile

L'ultima fase della progettazione è stata quella di considerare la fase di ribaltamento del sedile, che è di circa 40° . In questa fase, è possibile che la scocchetta inferiore e la seduta vadano in interferenza. Per questo è stato necessario modificare entrambi i pezzi per garantire che si potesse raggiungere un risultato ottimale, cercando di continuare a rispettare tutti i limiti precedentemente imposti. In Figura 22 è possibile vedere il risultato finale, che rispetta i limiti imposti.

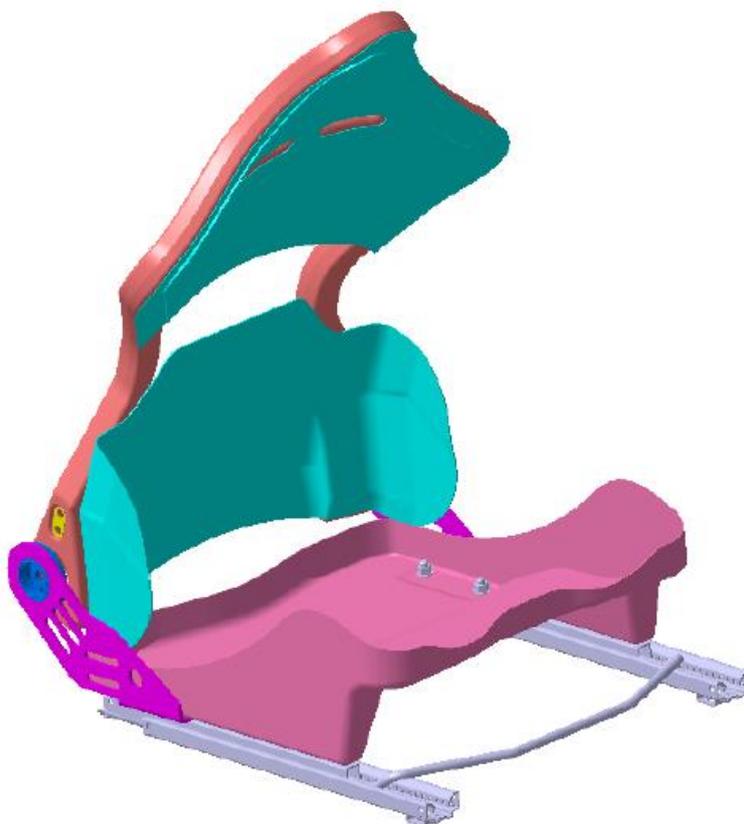


Figura 22. Fase di ribaltamento dello schienale.

2.8 Fase di ottimizzazione del Design del sedile

L'ultima attività che è stata svolta è quella di ottimizzare il design del sedile, in particolare della scocca tubolare, in modo da renderlo maggiormente competitivo e appetibile sul mercato. L'idea di base è stata quella di mantenere i concetti originari, come l'uso di una barra centrale per aumentare la rigidità laterale del sedile, così come mantenere le zone di interfaccia con gli altri componenti, quindi con le scocchette e con le staffe di collegamento. Questa attività di ottimizzazione è stata svolta in collaborazione con un team di designer e il risultato è visibile nella Figura 23.



Figura 23. Design finale della struttura tubolare del sedile

3. Analisi al calcolatore delle prestazioni del sedile

Una volta definito il design completo del sedile, si è passati all'ultima fase, quella di analisi numerica per la verifica delle prestazioni del sedile, soffermandoci in particolare sull'analisi della prestazione del sedile per la parte dei crash test. Infatti, tra i tanti aspetti che riguardano la prestazione dei sedili, la verifica della prestazione dei sedili durante i crash test rappresenta un aspetto fondamentale, in quanto, oltre alla presenza degli airbag e delle cinture, il sedile rappresenta un componente molto importante nel contesto generale del crash, in quanto anch'esso, con la sua struttura, partecipa alla buona riuscita di un urto e quindi alla protezione dell'occupante.

A livello omologativo, ci sono diverse prestazioni che bisogna garantire e variano in base al Paese o all'ente di riferimento che norma per quel Paese quelli che devono essere gli standard minimi per la produzione e la messa in commercio di un sedile. Di seguito, nel corso di questo capitolo, andremo ad analizzare a calcolo alcune di queste prestazioni, in particolare quelle definite dalla norma di ECE R17. Come detto in precedenza, queste sono alcune delle prestazioni che un sedile deve rispettare e garantire per poter essere vendute ma rappresentano i casi di carico che maggiormente stressano il sistema e che quindi risultano essere dimensionanti in fase di sviluppo.

3.1 La normativa di ECE R17

L'analisi della prestazione strutturale del sedile è stata la verifica andando ad applicare la normativa di ECE R17, che contiene al suo interno numerose verifiche da fare su un sedile per renderlo omologabile e tra questi ci sono delle verifiche statiche e dinamiche, cioè l'applicazione di carichi in diversi punti e zone del sedile, proprio per verificare se, a livello strutturale, il sedile presenta una adeguata resistenza e rigidità. La norma di ECE R17 prevede tutta una serie di verifiche e di requisiti che un sedile deve rispettare per poter essere messo in commercio, verifiche di tipo geometrico, statico e dinamico; di seguito sono elencate le principali verifiche da fare. Ognuna di queste prove prevede che il sedile venga posto in una condizione normale di utilizzo, ovvero con angolo schienale di 25° , se non diversamente indicato dal costruttore, e a metà corsa di regolazione longitudinale del sedile.

3.1.1 Verifica della larghezza minima dell'appoggiatesta

Una prima verifica è quella della determinazione della larghezza minima di un appoggiatesta, nel caso in cui l'appoggiatesta sia regolabile e rimovibile, caso opposto al nostro, dove abbiamo l'appoggiatesta integrato nella struttura.

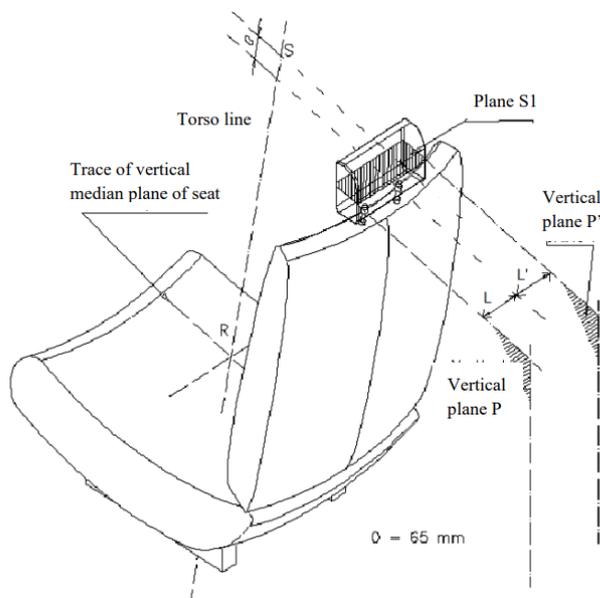


Figura 24: Esempio di valutazione geometrica della larghezza minima dell'appoggiatesta. [18]

In Figura 24, vediamo la costruzione geometrica per la definizione della larghezza minima dell'appoggiatesta, in cui si crea un piano S1 parallelo ad un piano

perpendicolare ad una linea verticale che parte dal Punto R, spostato verso il basso di 65 mm; i punti estremi di intersezione tra questo piano e l'appoggiatesta definisce il valore della larghezza dell'appoggiatesta, che non deve essere minore di 85 mm.

3.1.2 Verifica della presenza di gap nel sedile

La seconda verifica geometrica è quella che riguarda la presenza di eventuali gap nell'appoggiatesta, come nella figura 25, o tra appoggiatesta e schienale sedile, come nella figura 26.

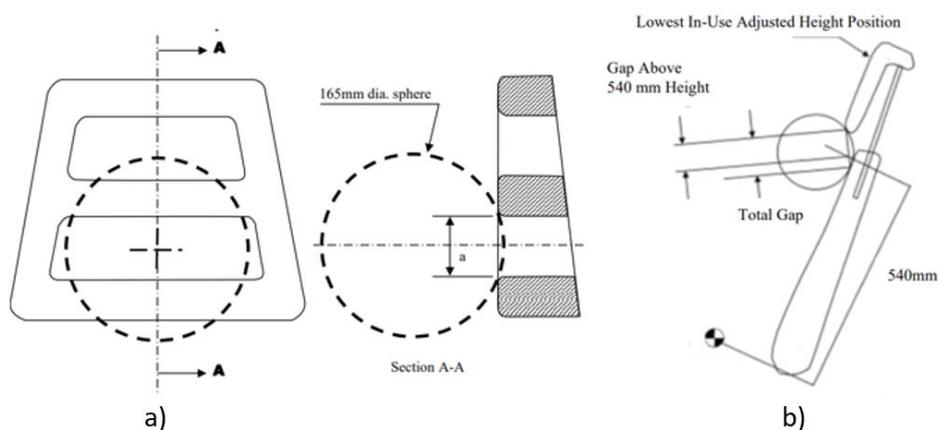


Figura 25: Esempio di verifica della presenza di gap nell'appoggiatesta. [18]

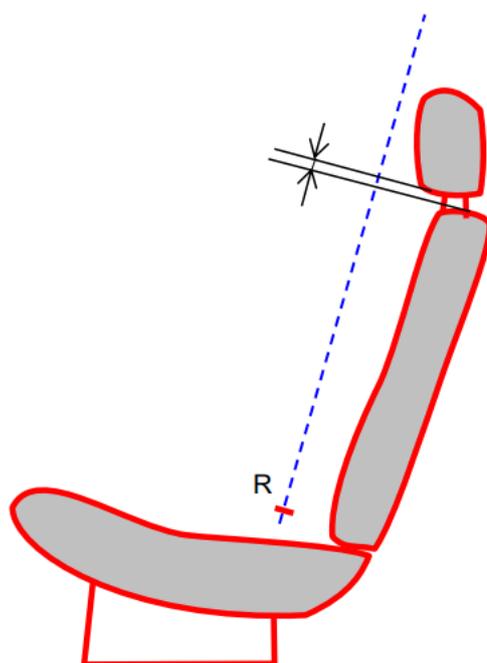


Figura 26: Esempio di gap tra appoggiatesta e schienale. [18]

Per quanto riguarda la prima verifica, la zona da analizzare viene definita da una linea di lunghezza 540 mm, che parte dal Punto R ed è parallela all'angolo torso dello schienale. Definita l'area, bisogna prendere una sfera di 165 mm di diametro e, con una forza di massimo 5N, spingerla all'interno di questi gap e verificare che il valore di questi gap non ecceda gli 85 mm. La stessa procedura deve essere fatta anche per il gap che c'è tra appoggiatesta e schienale, con l'unica differenza che non si usa una sfera ma si verifica che due piano paralleli tra loro, uno passante per il punto superiore dello schienale e uno passante per il punto inferiore dell'appoggiatesta, e perpendicolari alla linea parallela a quella dell'angolo torso, sia sempre inferiore agli 85 mm.

3.1.3 Misura dell'altezza minima di un sedile

La terza e ultima verifica geometrica riguarda la verifica dell'altezza minima che deve avere un sedile, prendendo come riferimento il Punto R del sedile e il punto più dell'appoggiatesta, definito da un piano passante per quel punto e perpendicolare all'asse Z, come nella Figura 27. Inoltre, questo tipo di misura, è stata aggiornata nella nuova revisione della norma di ECE R17 e viene descritta nella serie 10.

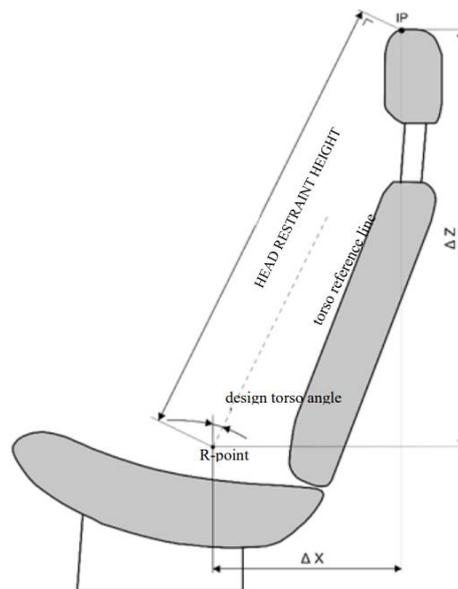


Figura 27: Verifica altezza minima di un sedile. [18]

L'altezza minima definita deve essere di 830 mm per almeno una delle posizioni che può avere un appoggiatesta e non deve essere meno di 720 mm per qualsiasi posizione

che può avere l'appoggiatesta; nel caso di appoggiatesta fisso, la misura minima deve essere di 830 mm. Questa è una verifica che è stata sul sedile in analisi, come è possibile vedere nella figura 28. Il risultato dell'analisi mostra che l'altezza del sedile è di 845 mm circa, maggiore del valore minimo di 830 mm indicato.

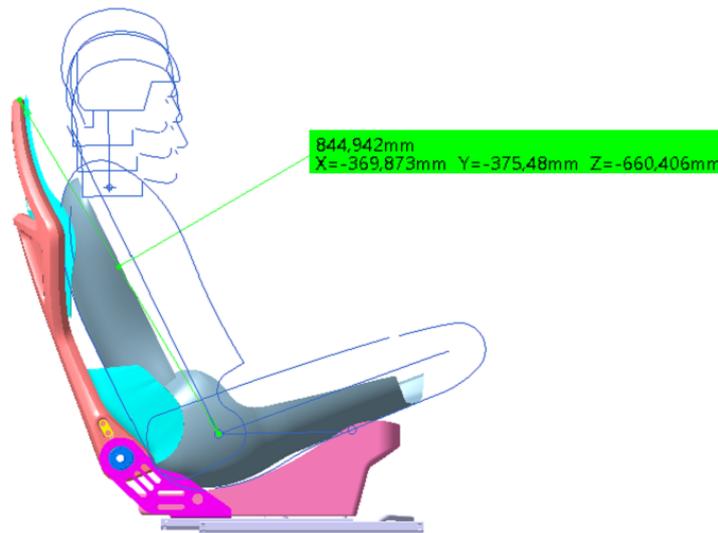


Figura 28: Verifica dell'altezza minima del sedile. [18]

3.1.4 Prova di cedimento appoggiatesta con carico in direzione Z

La prova di cedimento dell'appoggiatesta con carico in Z è una prova di tipo statica in cui viene applicato un carico in Z tramite un cilindro di 165 ± 2 mm di diametro e con una lunghezza di 152 ± 2 mm di lunghezza, posizionato nella sua mezzeria a contatto con l'appoggiatesta. Prima di iniziare il test si prende la misura del punto più basso dell'appoggiatesta, definito tramite un piano orizzontale, e il punto più alto dello schienale, anch'esso definito da un piano orizzontale, e ne si calcola la distanza. La prova prevede quindi di applicare un carico quasi statico in Z verso il basso con un tasso di velocità di 250 N/minuto, con un precarico di 50 N, fino ad arrivare ad un carico finale di almeno 500 N, che deve essere mantenuto per 5 secondi e successivamente, con lo stesso tasso di velocità, si rilascia il carico applicato al sedile. Si riprende dunque la misura della distanza tra appoggiatesta e schienale e la prova viene considerata superata se la distanza tra questi due punti non scende sotto i 25 mm.[18]

3.1.5 Test di dissipazione dell'energia su appoggiatesta

Un'altra prova di verifica strutturale del sedile è quella della verifica della dissipazione dell'energia andando ad impattare tramite un pendolo con all'estremità una sfera di 165 ± 2 mm di diametro, con un peso di 6.8 kg, alla velocità di 24.1 ± 0.5 km/h, con una direzione di impatto di 45° rispetto ad un piano orizzontale, mentre il punto di impatto può essere un punto qualsiasi di un'area definita dalla norma. Quest'area è definita come l'area compresa tra 2 piani paralleli a 100 mm dal piano medio longitudinale dello schienale, prendendo come limite inferiore un piano posto a 100 mm sotto al punto più alto dello schienale; in caso di sedile senza appoggiatesta, come il sedile in oggetto in questo elaborato, il piano inferiore da considerare è quello perpendicolare alla linea verticale che parte dal Punto R, lungo 630 mm. Il test risulta superato se la decelerazione massima non eccede gli 80g per più di 3 ms, se non ci sono rotture che causano il mancato movimento del sedile, per consentire all'occupante di poter uscire agevolmente dalla vettura spostando il sedile, e se non ci sono rotture e parti strutturali esposte che possono rappresentare un pericolo per l'occupante. [18]

3.1.6 Prova di trattenimento sedili per intrusione bagagliaio

Questo tipo di prova serve per valutare la resistenza strutturale dei sedili che comunicano direttamente con il bagagliaio nel caso in cui degli oggetti presenti del bagagliaio, finiscano, a causa di una frenata o in generale di un incidente, direttamente a contatto con i sedili. Normalmente questa prova viene eseguita montando i sedili sulla scocca, che a sua volta viene montata su una pedana a contatto con un pistone idraulico, che applica una accelerazione alla pedana e quindi alla scocca stessa, andando a simulare una condizione di frenata o appunto di urto. Questa verifica prevede l'utilizzo di due diversi blocchi in due prove diverse, o a discrezione del costruttore, possono essere testati insieme. La prima prova, come visibile in Figura 29, prevede l'uso di 2 masse da 18 kg di dimensione 300 mm x 300 mm x 300 mm, posti ad una distanza di almeno 200 mm dal primo punto di contatto con il sedile o con altre parti della scocca interposti tra essi, e con una distanza di 50 mm dalla mezzera della scocca..

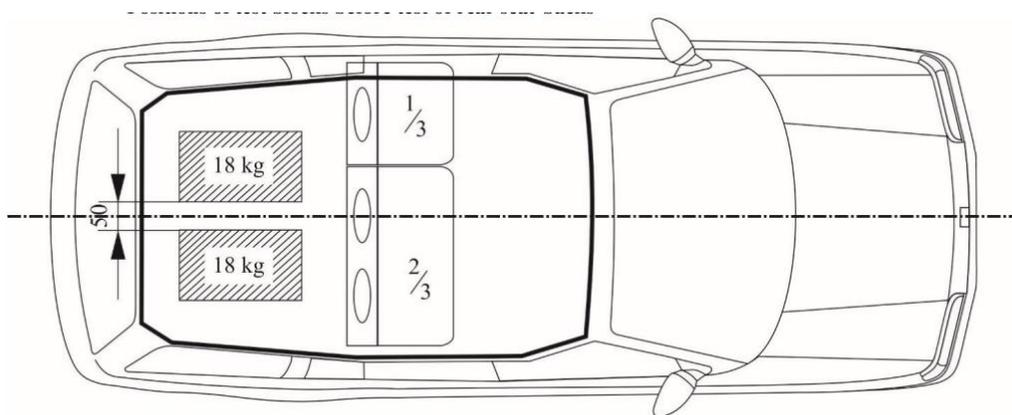


Figura 29: Posizione dei blocchi 1 nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]

La seconda prova, come visibile in Figura 30, prevede l'uso di un blocco da 10 kg di grandezza 500 mm x 350 mm x 125 mm, posizionato con una struttura in una posizione rialzata, a contatto con l'appoggiatesta lungo la faccia di area 500 mm x 350 mm.

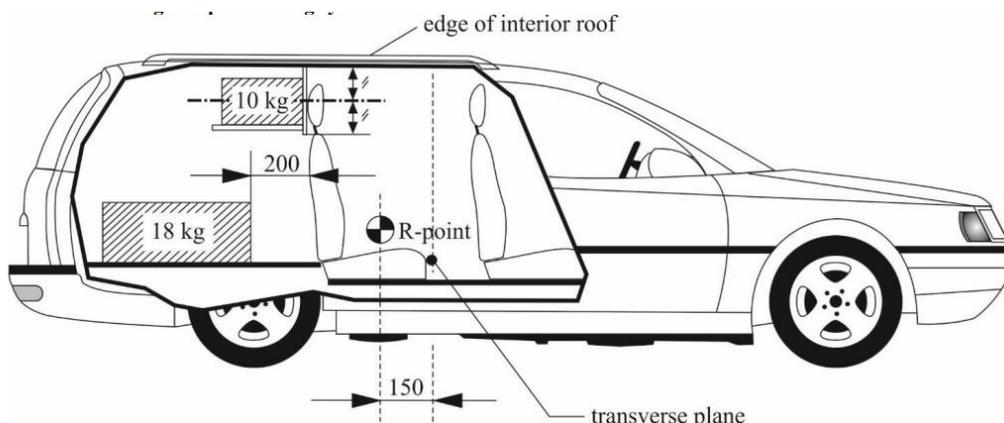


Figura 30: Posizione dei blocchi 1 e 2 nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]

Per entrambe le prove, il carico o la decelerazione da applicare è quello indicato nella Figura 31.

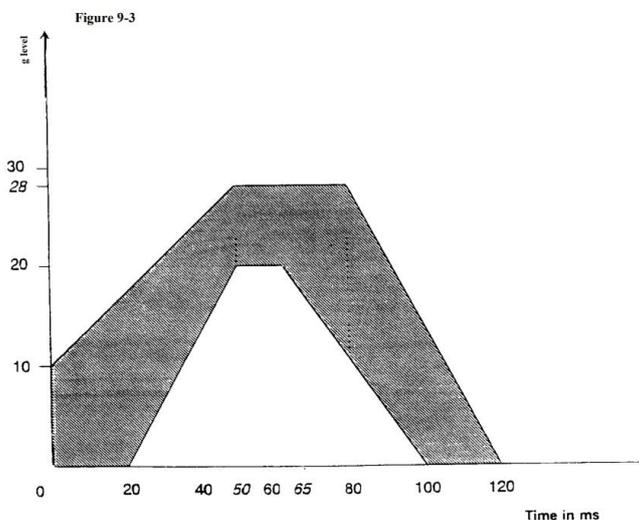


Figura 31: Curva di carico da applicare nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]

La prova viene considerata superata se il sedile risulta essere ancora agganciato alla scocca nei suoi punti di attacco, se l'escursione massima in dinamica dello schienale non supera di 100 mm il Punto R e se l'escursione massima in dinamica dell'appoggiatesta non supera di 150 mm il Punto R.

3.1.7 Verifica statica spostamento schienale e dissipazione appoggiatesta

L'ultima delle verifiche richieste dalla normativa è quella della verifica statica dello spostamento schienale, con verifica finale della dissipazione dell'energia per l'appoggiatesta. La prova viene fatta andando ad applicare sullo schienale un momento di 373 ± 7.5 Nm ad un'altezza di 290 ± 13 mm rispetto al Punto R del sedile, con un tasso di applicazione del carico che varia tra i 2.5 Nm/s e i 3.7 Nm/s. Una volta raggiunto il carico, con una sfera di 165 ± 2 mm di diametro, si applica sempre un carico di 373 ± 7.5 Nm rispetto al Punto R, ad un'altezza di 65 mm più in basso rispetto al punto più alto dell'appoggiatesta e lo si mantiene per almeno 5 secondi; passati i 5 secondi, si prende la misura dello spostamento verso il posteriore del sedile e questa deve essere inferiore agli 80 mm. Una volta fatto questo, si applica un carico finale con la sfera un carico con un tasso di applicazione del carico tra i 5 N/s e i 200 N/s, fino ad arrivare ad 890 ± 5 N; bisogna dunque verificare che non ci siano state rotture nello schienale e nell'appoggiatesta (Figura 32). [18]

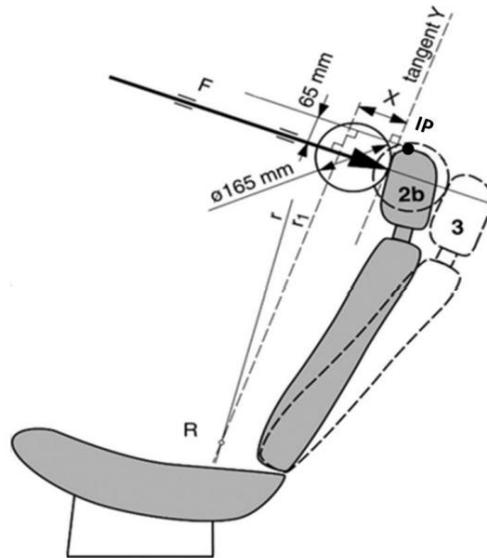


Figura 32: Applicazione del carico su appoggiatesta. [18]

3.2 Strumento di calcolo per le simulazioni agli elementi finiti

Per valutare la prestazione del sedile a calcolo, sono stati utilizzati due software: Altair HyperWorks e Ls-Dyna. Altair HyperWorks è un software che a sua volta è formato da Hypermesh, che viene usato nella fase di pre-solving e HyperWorks, che viene usato nella fase di post-processing, mentre Ls-Dyna è lo strumento che funge da solving, cioè è il software che effettivamente effettua il calcolo. Di seguito verrà fatta una breve descrizione sul normale utilizzo di questi software

La prima parte dell'attività viene svolta tramite l'uso di Hypermesh, che, come detto in precedenza, viene usato per la parte pre-solving, cioè per la creazione della mesh. In pratica, viene caricata una versione CAD del modello che si vuole analizzare, nel nostro caso il sedile, e successivamente si passa alla creazione della mesh, ovvero viene fatta la discretizzazione delle superfici di ogni componente del sedile; la discretizzazione può essere 1D, 2D e 3D e nel nostro caso abbiamo usato una discretizzazione 2D, con la terza dimensione che è stata definita successivamente tramite le proprietà degli elementi. Una volta che viene fatta la discretizzazione e quindi viene creata la mesh, bisogna effettuare dei controlli sulla qualità della mesh, in quanto una mesh non accurata comporterebbe dei risultati non affidabili. In particolare,

i controlli che vengono fatti sulla mesh sono: controllo della dimensioni degli elementi, controllo della distorsione degli elementi, ridurre il numero di tria, cioè di elementi triangolari che portano dei risultati meno affidabili, controllare ed eliminare eventuali bordi aperti e controllare che non ci siano elementi ripetuti.

La seconda parte dell'attività viene svolta tramite l'uso del software Ls-Dyna, che svolge la parte di solving, cioè di esecuzione vera e propria del calcolo; per questo motivo, viene anche definito risolutore. Questo programma è molto utile per l'analisi di fenomeni dinamici non lineari che evolvono molto velocemente nel tempo, cosa tipica per i fenomeni reali e che risulta essere affine con la nostra analisi del sedile.

La terza e ultima parte per svolta tramite HyperView, che svolge la parte di post-processing, cioè di analisi critica dei risultati e quindi dei dati ottenuti a valle delle simulazioni. È possibile effettuare sia un'analisi visiva dei risultati, osservando l'animazione della simulazione e l'evoluzione nel tempo delle condizioni dinamiche imposte a monte, oltre che di poter visualizzare delle mappe colometriche, che consentono di visualizzare, tramite una distribuzione di colori, le grandezze fisiche di interesse per quella data simulazione. A supporto di ciò, abbiamo anche la possibilità di visualizzare i risultati in termini di dati numerici e tramite l'uso di grafici, consentendo quindi di effettuare un'analisi profonda dei risultati della simulazione.

3.3 Prova di assorbimento energia su appoggiatesta con carico frontale

La prima prova simulata al calcolatore è stata quella di assorbimento dell'energia su appoggiatesta, come è visibile in Figura 33, tramite l'applicazione di un carico con una inclinazione di 45° tramite una sfera di 165 mm di diametro alla velocità di 24.1 km/h (Figura 34), applicato in zona centrale e mediana della parte tubolare superiore, che simula l'appoggiatesta. L'output di questa prova è la decelerazione finale e la deformazione che subisce il sedile.

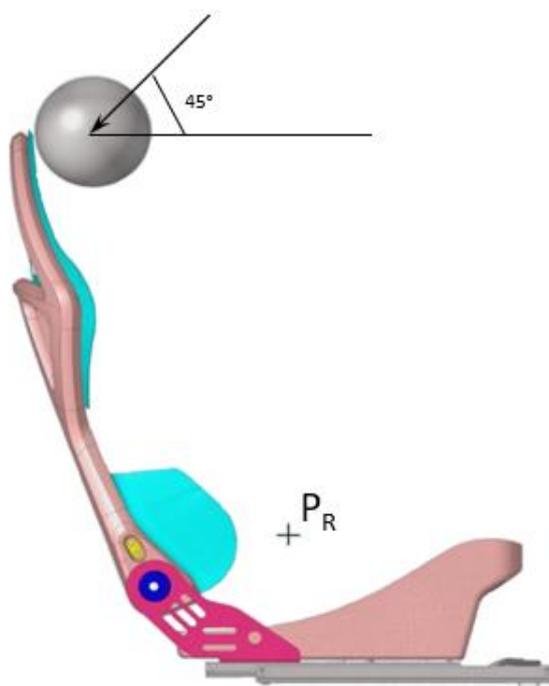


Figura 33: Test di verifica assorbimento dell'energia dell'appoggiatesta con carico frontale.

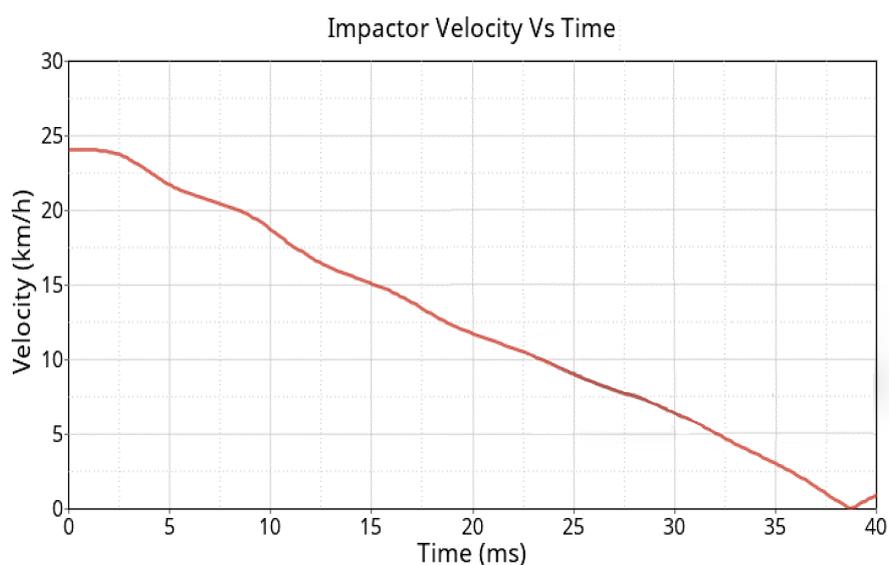


Figura 34: Grafico della velocità di impatto della sfera.

Nella Figura 35 è possibile vedere la decelerazione del sedile, e si può notare come questa non superi il limite degli 80g per 3 ms, con dei valori massimi compresi tra i 23g e i 30g per più di 3 ms. Quindi la risposta all'impatto del sedile è molto solida.

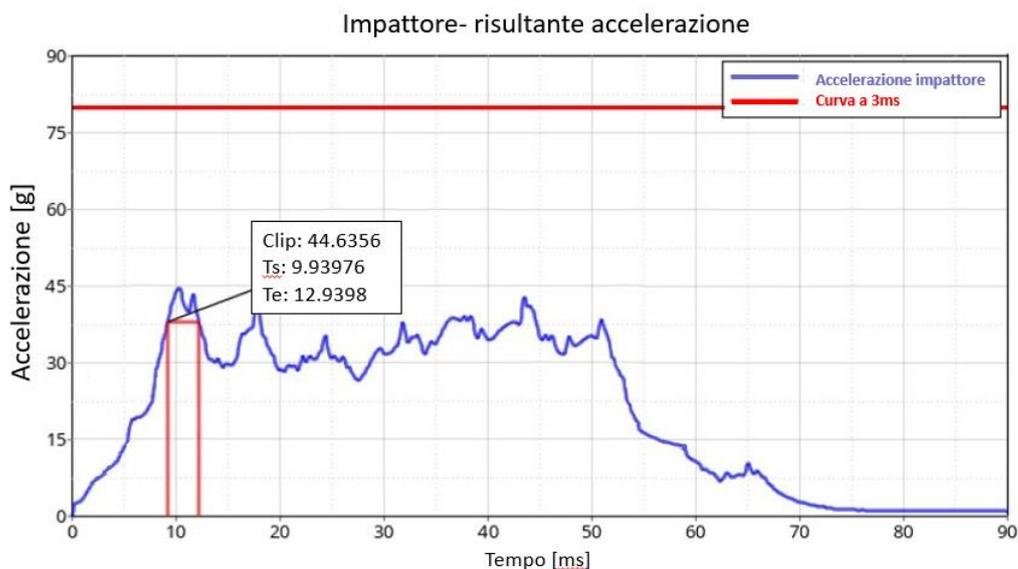


Figura 35: Curva di decelerazione del sedile.

In Figura 36 è possibile invece vedere i carichi che subisce il sedile, che risultano essere molto bassi e localizzati nella zona di impatto. Inoltre, dai valori indicati in figura, si può supporre che il sedile non abbia subito rotture e che quindi non presenti nessuna zona di pericolo per la sicurezza dell'occupante. Il test, dunque, può essere considerato superato.

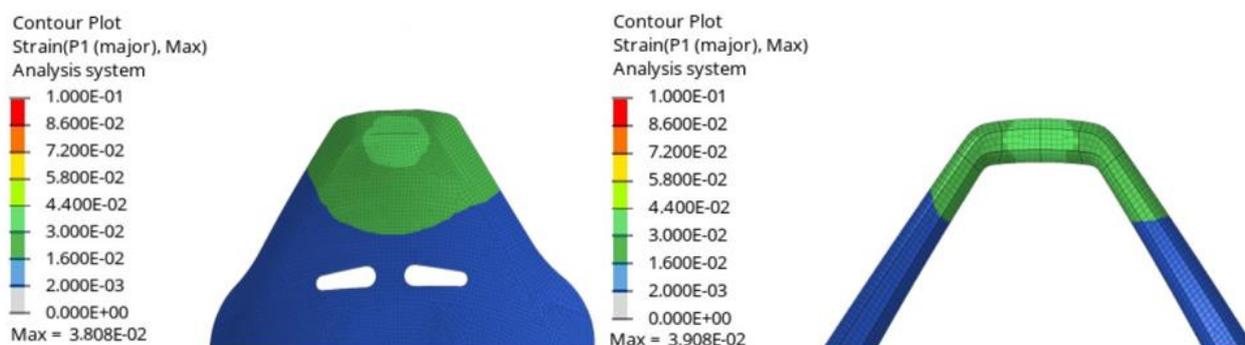


Figura 36: Valori di tensione rilevati sul sedile a seguito della prova.

3.4 Prova di assorbimento energia su appoggiatesta con carico posteriore

La seconda prova è simile alla precedente ma il carico viene applicato sulla parte posteriore del sedile, in modo da simulare un occupante che va a sbattere contro il sedile. L'impostazione della prova, quindi, è la medesima di quella precedente e gli output finali sono gli stessi, cioè decelerazione inferiore agli 80g per almeno 3 ms e nessuna rottura della struttura. In Figura 37 è possibile vedere la configurazione della prova, con il carico che viene sempre applicato a 45° rispetto all'orizzontale, mentre in Figura 38 si può vedere la velocità con cui si muove l'impatto sferico.

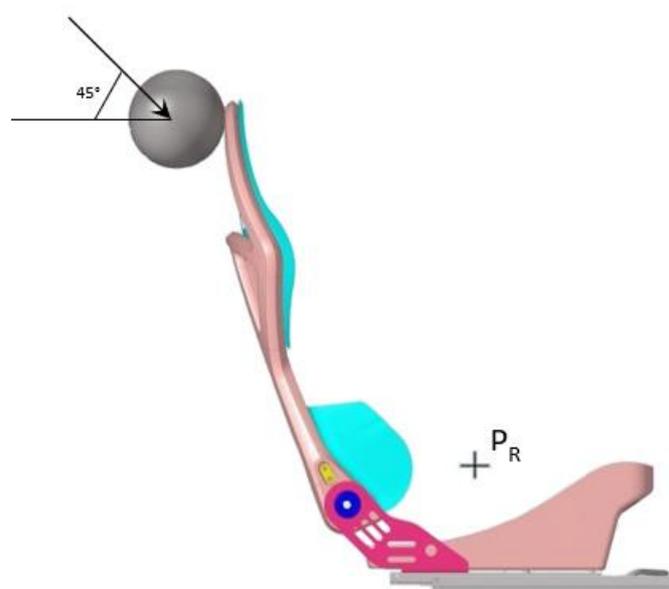


Figura 37: Configurazione della prova dissipazione energia con carico posteriore.

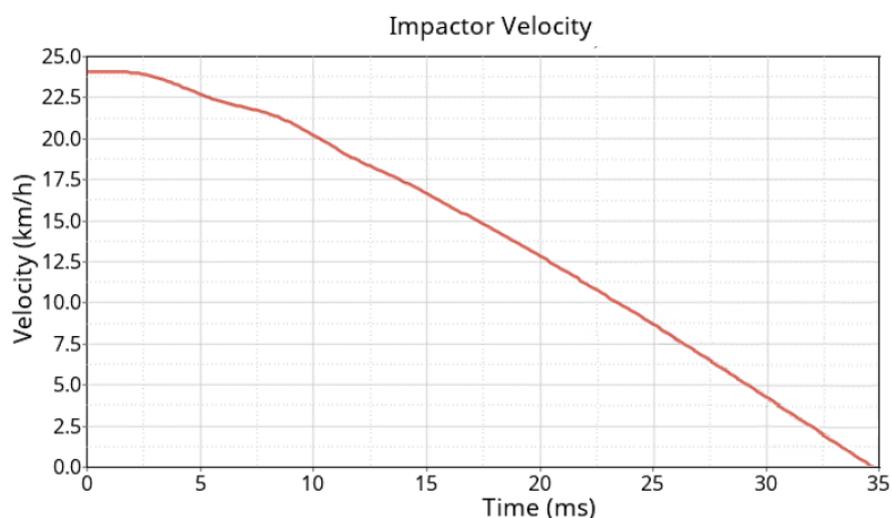


Figura 38: Grafico della velocità di impatto della sfera.

Il risultato della prova vede anche in questo caso un buon risultato, con una decelerazione massima di circa 26g per 3 ms, valore inferiore al limite indicato nella norma (Figura 39).

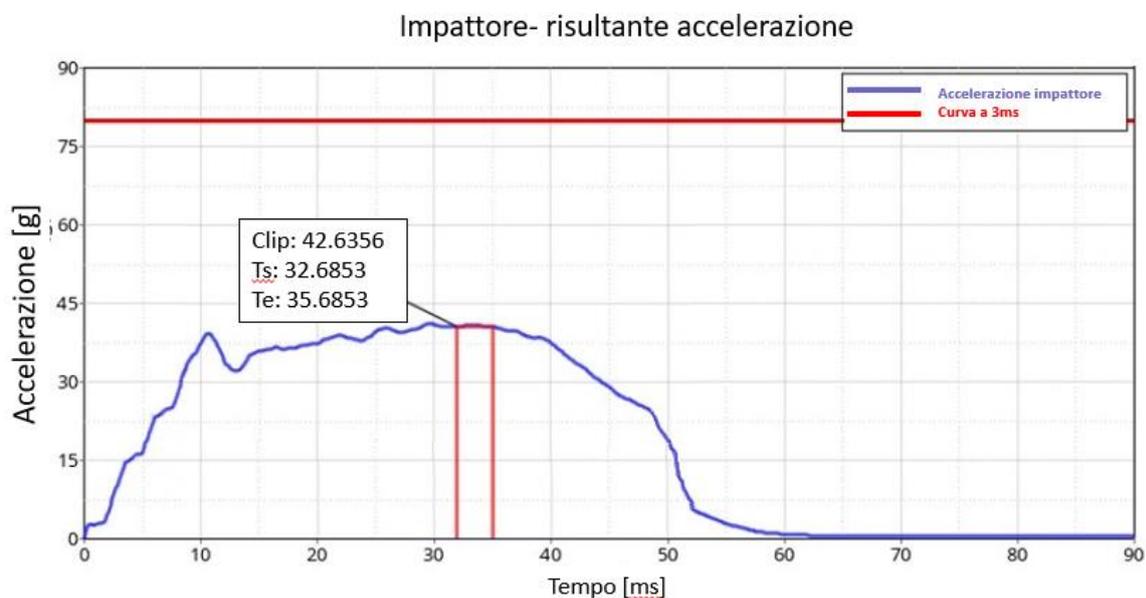


Figura 39: Curva di decelerazione del sedile.

Infine, nella Figura 40, è possibile vedere i valori di tensione a cui è sottoposta la zona di impatto del sedile. Anche qui è possibile notare come i carichi che risente il sedile sono molto bassi, consentendo quindi di affermare che non ci sono rotture e quindi rischi per l'occupante.

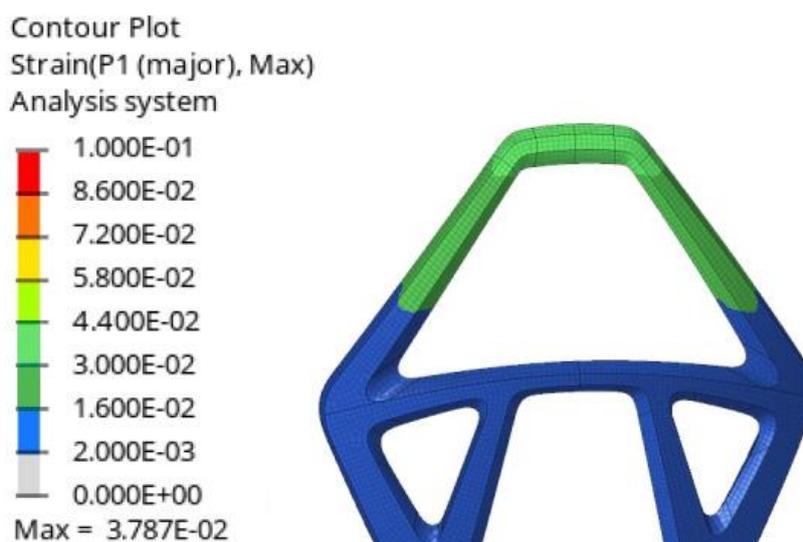


Figura 40: Valori di tensione rilevati a seguito del carico applicato.

3.5 Prova statica dello spostamento schienale e dissipazione appoggiatesta

L'ultima prova eseguita per la verifica dell'integrità strutturale del sedile è stata la prova di verifica dello spostamento dello schienale, spiegata nel paragrafo 3.1.7, dove a seguito di un carico applicato di 373 Nm ad una distanza di 290 mm dal punto R sulla schienale e un successivo carico sempre di 373 Nm applicato però sull'appoggiatesta, o nel nostro caso sulla parte superiore della struttura tubolare che ha il ruolo di appoggiatesta, circa nel centro di questa zona e si mantiene il carico per almeno 5 secondi; in Figura 41 è visibile come è stato applicato il carico in due fasi alterne e in Figura 42 è visibile invece il tempo che è stato impiegato per raggiungere il carico in entrambe le fasi, scalato rispetto al valore finale di 373 Nm.

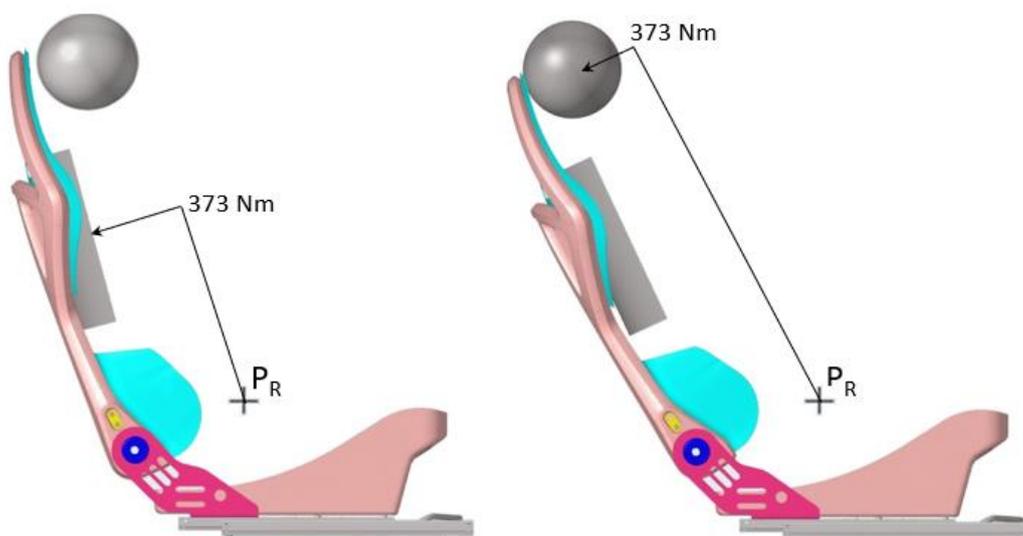


Figura 41: Applicazione dei due carichi a fasi alterne nella prova.

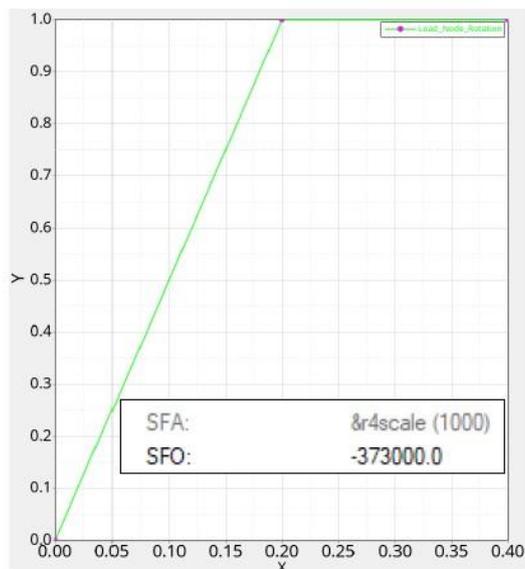


Figura 42: Curva di applicazione di carico scalato rispetto al valore finale di 373 Nm.

In Figura 43 è visibile lo spostamento relativo nel tempo dello schienale a seguito dell'applicazione del carico e si può vedere come, dopo che sono stati applicati entrambi i carichi, la distanza tra la linea dell'angolo torso e il limite di 80 mm lungo la linea che si forma nella rotazione del sedile.

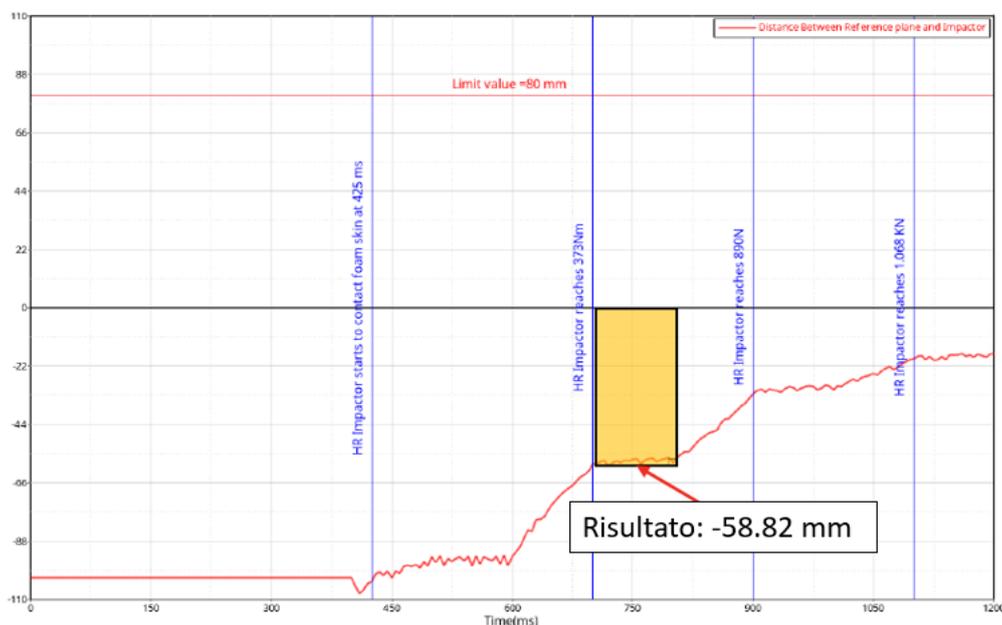


Figura 43: Curva di Spostamento relativo del sedile durante la fase di applicazione dei carichi.

L'ultima fase della prova prevede l'applicazione di un carico tramite la sfera fino ad un valore di almeno 890 N, per almeno 5 secondi. In Figura 44 sono visibili i risultati finale della simulazione, dove si può vedere lo stato tensionale, che risulta essere

buono. Come ultima cosa, si deve verificare che non ci siano rotture che possano provare dei danni nei confronti degli occupanti, cosa che anche in questo caso non si è verificato, arrivando quindi a concludere che la prova nel suo complesso è stata superata.

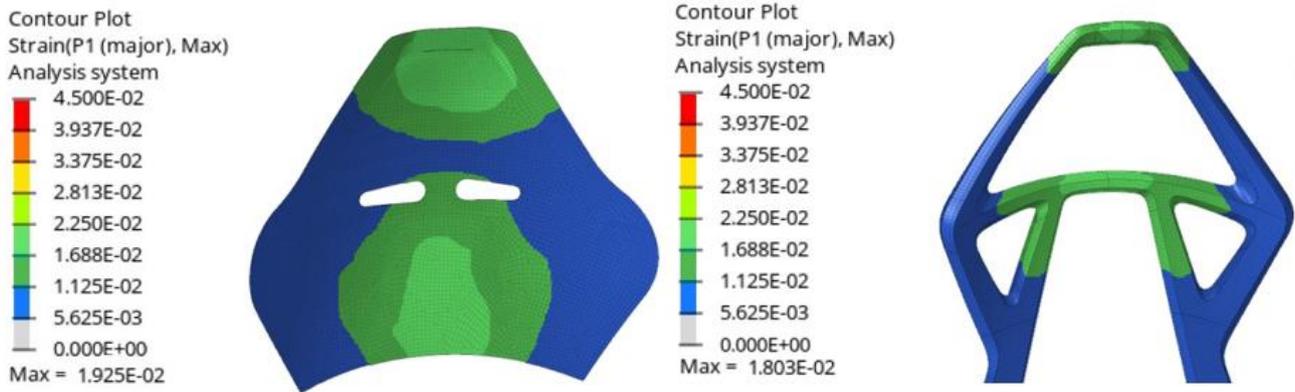


Figura 44: Livelli di tensione alla fine della prova.

4 Conclusione

Il mondo dell'automotive è sempre in continua evoluzione e alla ricerca di tecnologie e soluzioni ingegneristiche innovative. L'obiettivo di questo studio è stato quello di offrire una soluzione a due problemi che il mondo dell'automotive affronta ormai quotidianamente, ovvero quello della riduzione del peso dei componenti di una vettura e quindi del peso totale della vettura, in modo da ridurre i consumi e aumentarne le prestazioni, e quello della riduzione dell'inquinamento dovuto alla produzione di tutti i componenti che compongono la vettura; da qui nasce la sfida del realizzare un sedile sportivo in fibre naturali.

Sono stati quindi raggiunti gli obiettivi che ci siamo posti ad inizio lavoro, infatti si è ottenuto un sedile con basso peso, nell'ordine dei 12 kg, paragonabile ad un sedile performante e di qualità in carbonio, che nel mondo automobilistico, soprattutto delle auto sportive e di lusso, rappresenta il top di gamma. Il vantaggio però nell'uso di questo tipo di sedile è quello di ridurre notevolmente le emissioni di CO₂ necessarie per la produzione del sedile, cosa che invece con l'utilizzo del carbonio risulta invece elevata. Inoltre, l'uso delle fibre naturali, consente la riduzione delle emissioni già durante la produzione e la raccolta delle fibre dalla pianta da cui nascono.

Infine, si è anche verificato il comportamento strutturale del sedile, tramite l'applicazione della normativa di ECE R17, che ci ha aiutato a valutare l'integrità strutturale del sedile, in modo da capire se la strada intrapresa nella progettazione è quella corretta o meno. La valutazione è stata condotta a livello virtuale e nelle 3 prove a cui è stato sottoposto, si è potuto osservare che la prestazione strutturale risulta essere positiva e accettabile.

I prossimi passi sono quelli di verificare, dopo aver definito le schiume del sedile, il comportamento del sedile quando vi è presente un manichino, in quanto il peso e la dinamica tutta del manichino, influenzano fortemente il comportamento della struttura del sedile. Dall'altra parte invece è necessario che aumentino gli studi sui materiali, in modo da riuscire ad ottenere materiale sempre più performanti e in linea con le caratteristiche di materiali tradizionali.

Lista delle Figure

Figura 1: Esempi di diversi tipi di rinforzi immersi nella matrice [3]	_____	- 3 -
Figura 2: Esempio di un composito particellare a) con fibre corte ordinate b), fibre corte disordinate c) e fibre lunghe d). [4][5]	_____	- 4 -
Figura 3: Esempio di struttura a sandwich. [6]	_____	- 5 -
Figura 4: Vantaggi nell'uso di materiali rinforzati con fibre naturali in ambito automotive.[7]	_____	- 7 -
Figura 5: Esempio di processo di laminazione dei materiali compositi. [8]	_____	- 8 -
Figura 6: Esempio di stampaggio ad iniezione con miscela di resina e rinforzo nello stampo [9]	_____	- 9 -
Figura 7: Esempio di stampaggio per infusione del vuoto [9]	_____	- 10 -
Figura 8: Esempio di stampaggio a compressione. [10]	_____	- 10 -
Figura 9: Struttura chimica dei diversi costituenti delle fibre naturali a) Cellulosa b) Lignina c) Emicellulosa [12]	_____	- 14 -
Figura 10: Andamento del Modulo di Young in funzione dell'angolo delle microfibrille [13]	_____	- 17 -
Figura 11: Struttura interna delle Fibre di Canapa. [14]	_____	- 19 -
Figura 12: Struttura interna delle fibre di lino [15]	_____	- 20 -
Figura 13: Struttura molecolare di una molecola di epossido.[16]	_____	- 20 -
Figura 14: Struttura tubolare a) con barra centrale e b) senza barra centrale	_____	- 24 -
Figura 15: Staffe di collegamento tra tubolare, regolatore schienale e guide sedile.		- 25 -
-		
Figura 16: Zona relativa al regolatore schienale	_____	- 25 -
Figura 17. Design delle scocchette dello schienale	_____	- 26 -
Figura 18: Design della seduta	_____	- 27 -
Figura 19. Design della seduta vista dal basso.	_____	- 28 -
Figura 20: Verifica del posizionamento del manichino 95 percentile a) vista isometrica b) vista frontale	_____	- 28 -
Figura 21: Design Finale del sedile sportivo.	_____	- 29 -
Figura 22. Fase di ribaltamento dello schienale.	_____	- 30 -
Figura 23. Design finale della struttura tubolare del sedile	_____	- 31 -
Figura 24: Esempio di valutazione geometrica della larghezza minima dell'appoggiatesta. [18]	_____	- 33 -
Figura 25: Esempio di verifica della presenza di gap nell'appoggiatesta. [18]	_____	- 34 -
Figura 26:Esempio di gap tra appoggiatesta e schienale. [18]	_____	- 34 -
Figura 27: Verifica altezza minima di un sedile. [18]	_____	- 35 -
Figura 28: Verifica dell'altezza minima del sedile. [18]	_____	- 36 -

Figura 29: Posizione dei blocchi 1 nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]	- 38 -
Figura 30: Posizione dei blocchi 1 e 2 nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]	- 38 -
Figura 31: Curva di carico da applicare nella prova di trattenimento bagagliaio. [18]	- 38 -
Figura 32: Applicazione del carico su appoggiatesta. [18]	- 40 -
Figura 33: Test di verifica assorbimento dell'energia dell'appoggiatesta con carico frontale.	- 42 -
Figura 34: Grafico della velocità di impatto della sfera.	- 42 -
Figura 35: Curva di decelerazione del sedile.	- 43 -
Figura 36: Valori di tensione rilevati sul sedile a seguito della prova.	- 43 -
Figura 37: Configurazione della prova dissipazione energia con carico posteriore.	- 44 -
Figura 38: Grafico della velocità di impatto della sfera.	- 44 -
Figura 39: Curva di decelerazione del sedile.	- 45 -
Figura 40: Valori di tensione rilevati a seguito del carico applicato.	- 45 -
Figura 41: Applicazione dei due carichi a fasi alterne nella prova.	- 46 -
Figura 42: Curva di applicazione di carico scalato rispetto al valore finale di 373 Nm.	- 47 -
Figura 43: Curva di Spostamento relativo del sedile durante la fase di applicazione dei carichi.	- 47 -
Figura 44: Livelli di tensione alla fine della prova.	- 48 -

BIBLIOGRAFIA

- [1] https://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/materia_1/2017-05-29_-_materiali_compositi.pdf
- [2] Asrar Rafiq Bhat ^a, Rajiv Kumar ^b, Prasanna Kumar S. Mural ^a, “Natural fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review of Tribo-Mechanical properties”, ^a Metallurgical Engineering and Materials Science Department, IIT Bombay, India, ^b School of Mechanical Engineering, Shri Mata Vaishno Devi University, India, Tribology International 189 (2023)
- [3] <https://www.unisalento.it/documents/20152/1109756/Lezione+12+Compositi.pdf/0ade4490-76df-11f2-c32d-a3b65cc620d8?version=1.0>
- [4] https://it.wikipedia.org/wiki/File:Fiber-reinforced_composites_tipology.svg
- [5] <https://tecmatied.wordpress.com/2014/04/29/i-materiali-compositi/>
- [6] <https://www.skyscooter.it/2016/11/28/il-laminato-a-sandwich/>
- [7] Potential of natural fiber based polymeric composites for cleaner automotive component production -a comprehensive review
- [8] <https://vehiclecue.it/materiali-compositi-tecniche-laminazione-automotive/26901/>
- [9] <https://www.skyscooter.it/2017/10/01/il-processo-di-infusione-sottovuoto/>
- [10] <https://formlabs.com/it/blog/stampaggio-compressione/>
- [11] Bilotta A., Ceroni F., Lignola G.P., Prota A., “Use of DIC technique for investigating the behaviour of FRCM materials for strengthening masonry elements”, in ScienceDirect, 2017.
- [12] Yan L., Chouw N., “Sustainable Concrete and Structures with Natural Fibre Reinforcements”, Publisher: OMICS Group Incorporation, Editors: Yang Lu, pp. 1-25, 2014.

- [13] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, M. Sain, 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, Volume 37, Issue 11,(Pages 1552-1596).
- [14] Dr. Matteo M. Melosini, “Fibre e Cellulosa di Canapa”, su Research Gate, Aprile 2017
- [15] L. Yan, N. Chouw, K. Jayaraman, 2013. “Flax fibre and its composites – A review” *Composites Part B: Engineering*, Volume 56, (Pages 296-317).
- [16] <https://chimicamo.org/chimica-organica/resine-possidiche/>
- [17] Ritesh Koundal¹, Rajeev Khanduja¹, Ankush Sharma², Karun Singh³, “A Review of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composite Chemical, Physical, and Thermo-Mechanical Properties”, ¹Department of Mechanical Engineering, Jawaharlal Nehru Government Engineering College, Sundernagar, India, ²Department of Textile Engineering, Jawaharlal Nehru Government Engineering College, Sundernagar, India, ³Lab Technician, Jawaharlal Nehru Government Engineering College, Sundernagar, India, *Journal of Fibers and Polymer Composites* 2 (2): 67-80 (2023)
- [18] <https://unece.org/transport/documents/2023/08/standards/un-regulation-no-17-rev7>