



Altair

# project equality

STUDIO DI UN AUTOMOBILE  
SPORTIVA PER UTENZA DISABILE



TESI MAGISTRALE IN DESIGN  
STUDENTE - FRANCESCO DI GIUSEPPE  
RELATORE - GIUSEPPE CARFAGNA  
CORRELATORE - GIUSEPPE LOSCO







## **00. Introduzione**

## **01. Diversa Abilità**

1. Definizione 2. Nascita dell'ICD 3. Dall'ICDH all'ICF 4. ICF: Composizione

## **02. Mobilità & Disabilità**

1. Causalità 2. Ausili alla mobilità personale 3. Ausili alla guida 4. Veicoli per disabili

## **03. Automobile Sportiva**

1. Concetto di sportività 2. Concept car di serie 3. Bellezza tecnica 4. Stradali da corsa

## **04. Ottimizzazione Strutturale**

1. Ispirazione naturale 2. Metodo progettuale 3. Ottimizzazione: Storia e metodologia

## **05. Design Multimateriale**

1. Pensiero personalizzato 2. Approccio innovativo 3. Esperienze tecnologiche

## **06. Introduzione al Progetto**

1. Percorso 2. Struttura Modulare

## **07. Modulo Powetrain**

1. Struttura 2. Sistema Propulsivo 3. Sistema sospensivo

## **08. Modellazione FEM**

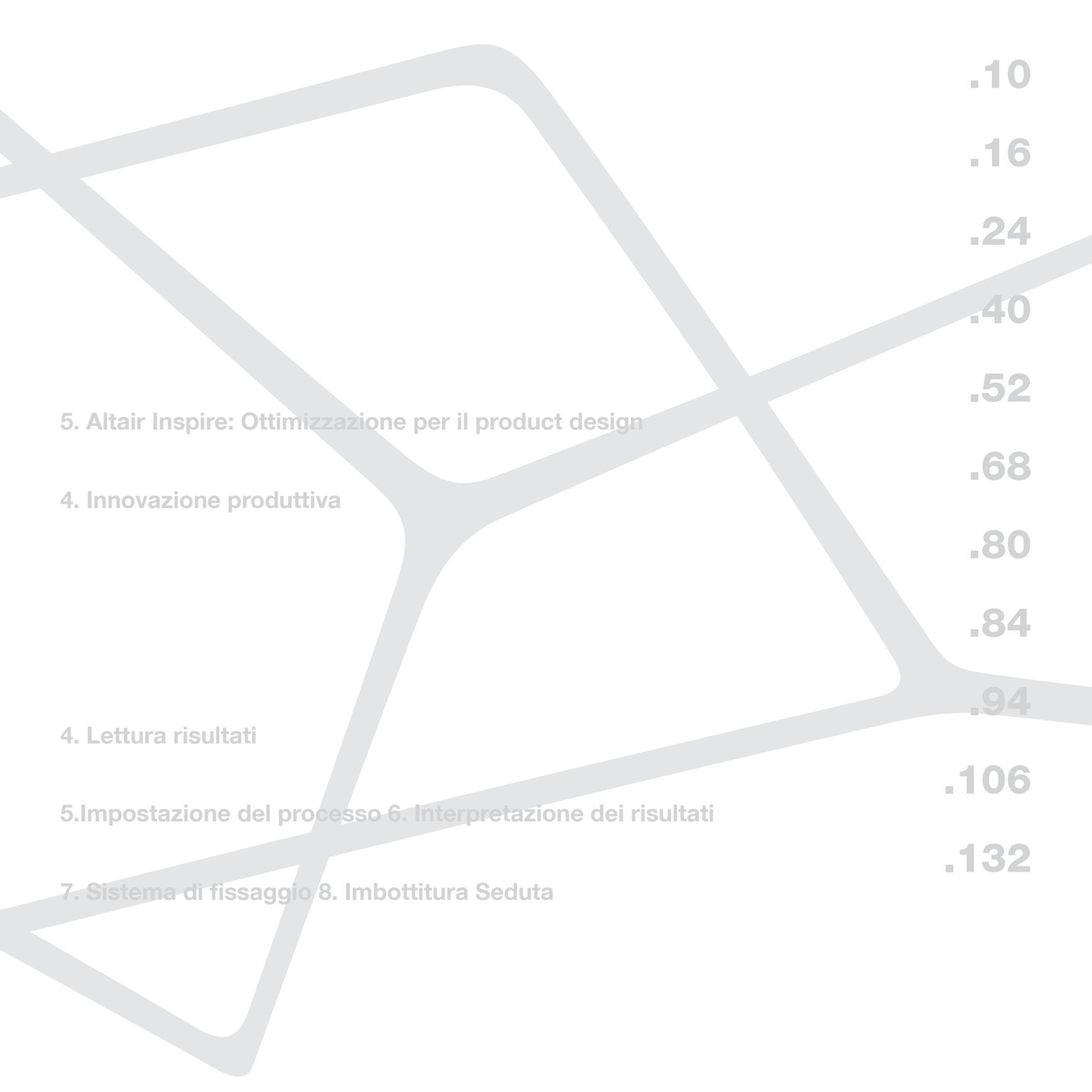
1. Introduzione al FEM 2. Modellazione modulo 3. Impostazione analisi

## **09. Modulo Abitacolo**

1. Concetto 2. Esplorazione formale 3. Ottimizzazione: basi 4. Creazione casi di carico

## **10. Carrozzina**

1. Concept 2. Layout 3. Esplorazione formale 4. Sedile 5. Bracci 6. Sistema sospensivo



.10

.16

.24

.40

.52

.68

.80

.84

.94

.106

.132

5. Altair Inspire: Ottimizzazione per il product design

4. Innovazione produttiva

4. Lettura risultati

5. Impostazione del processo 6. Interpretazione dei risultati

7. Sistema di fissaggio 8. Imbottitura Seduta







La progettazione di un veicolo, nella sua interezza, è tra le sfide più importanti e difficili che un progettista possa trovarsi ad affrontare lungo il suo percorso professionale.

Questa considerazione non si basa esclusivamente sull'entità fisica del prodotto "veicolo" in questione: difatti, questo è l'aspetto di minor conto nel valutare il grado di complessità di un progetto.

Se pensiamo agli sforzi necessari alla progettazione di una nuova tipologia di seduta, possiamo valutare come seppure si tratti di un prodotto fisicamente piuttosto piccolo, tentare di innovare in questo ambito risulta molto difficoltoso.

In un veicolo inoltre, il lavoro progettuale viene portato avanti non da un singolo individuo, o da un singolo team di individui, ma piuttosto da vari dipartimenti, composti da svariati team di progetto, che sezionano lo sforzo progettuale in ogni suo ambito tecnico, per poi ricomporlo per ottenere il prodotto finale.

La vera complessità quindi non sta nella magnitudine dell'opera, quanto nel ricercare una nicchia, nel trovare uno scopo di progetto e, una volta individuato, tentare di apportare un'innovazione tangibile in quel preciso punto.

Se il veicolo di cui si parla è, come in questo caso, l'automobile, forse l'emblema del concetto di veicolo per l'uomo, allora si può notare come la mappa genealogica del prodotto automobile abbia miriadi di ramificazioni, tante quante sono le nicchie progettuali individuate dalla sua nascita, nei primi dell'800, fino ad oggi.

Basta sfogliare una delle tante riviste specializzate del settore, per rendersi conto dell'enormità del numero di specie che

possono ricadere sotto la categoria "automobile", e se si ricerca l'origine di ognuna di esse nella storia dell'auto, si noterà come in principio ogni "nicchia", così come il termine che l'accompagna e la delinea, è nata per rispondere ad un'esigenza, non ancora soddisfatta, dell'utente: un esempio su tutti, station wagon, letteralmente "carrozza da stazione", volumi ampi e funzionali al trasporto di persone e bagagli dai treni fino ai centri abitati.

Sappiamo tutti che il mantra forma-funzione di cui il disegno industriale si è fatto portavoce negli anni, e che ha portato a progettare prodotti che ancora oggi sono rimasti simili a loro stessi, molto spesso viene perduto nei tempi moderni a favore di un pensiero di obsolescenza legato più alla sensazione piacevole legata alla novità, che alla reale utilità della stessa.

Anche e soprattutto nell'ambito dell'automobile, forse molto più che in altri, è possibile trovare conferma di questa tesi.

Il termine anglosassone "styling", attualmente riferito maggiormente al mondo della moda, nasce proprio per definire, con marcata accezione negativa, una corrente legata soprattutto al disegno dell'auto di Detroit, la "motor city" americana, negli anni '30.

Lo styling si può definire come il voler forzare un legame tra un linguaggio formale ed un prodotto senza che tra i due vi sia una reale esigenza di funzionalità: in parole più semplici, "stilizzare" un prodotto in modo che ne richiami un altro.

Raymond Loewy, uno dei padri fondatori della cultura del design statunitense, e soprattutto colui che per primo ha definito la figura del designer free-lance, criticherà fortemente in quegli anni lo styling, facen-



dosi fautore di una progettazione molto attenta a migliorare tutto il processo produttivo dalla base, riducendo i costi di materia prima e manodopera, per ottenere un prodotto non solo nuovo, ma migliore.

Ancora oggi viene usato il termine “re-styling” per indicare qualcosa che non è una novità in termini migliorativi di progetto, ma è una “ri-stilizzazione” che sottosta alle regole non scritte dell’obsolescenza come perdita della sensazione di novità di cui sopra.

L’entità che stabilisce, contraddicendo se stessa, sia la necessità di trovare nuove funzionalità nei prodotti, sia la loro obsolescenza precoce per mancanza di novità, è sempre la stessa: l’utenza.

E’ nella ricerca di un’utenza trascurata, non soddisfatta, che si trova una nicchia, uno scopo per continuare a spingere la tecnica a fornirci nuovi mezzi per la creazione di prodotti innovativi, o semplicemente per

utilizzare tecnologie esistenti in maniere fino ad ora non ancora esplorate.

Nel caso di un prodotto come l’automobile, così trasversale all’intero bacino di possibili utenti, così generalizzata per soddisfare il più alto numero di essi, così standardizzata al fine di semplificarne l’uso alla maggioranza della popolazione umana, la ricerca di un’utenza non soddisfatta deve scendere molto nel particolare per essere il più efficace possibile: più particolare è l’utenza, maggiore sarà il tasso di innovazione da apportare al sistema automobile per poterlo rendere fruibile e funzionale.

Per “caso particolare” di un bacino d’utenza si vuole intendere un allontanamento più o meno marcato dalla condizione ritenuta come standard per l’utente medio: lo stesso principio viene utilizzato per definire ad esempio il concetto di “percentile”, ovvero l’insieme delle caratteristiche comuni ad una categoria d’utente, che automaticamen-

te lo abilitano alla fruizione o alla non fruizione di un prodotto.

Possiamo dunque convenire che minori siano le capacità di fruizione di un prodotto da parte di un utente, più particolare sarà la casistica in cui l’utente ricade.

Sicuramente una condizione di disabilità identifica un’utenza particolare, la cui mancanza di determinate capacità fisiche rende necessario e giustificato uno sforzo progettuale innovativo, atto a rendere fruibili prodotti che altrimenti rimarrebbero destinati esclusivamente ad un’un’utenza normodotata.

Alcuni prodotti possono essere adattati all’utilizzo da parte di un’utenza disabile, il che implica pensare ad oggetti che facciano da tramite e compensino la mancanza di abilità: si tratta della categoria degli ausili.

Per la maggior parte, nel campo automobilistico la disabilità viene trattata da parte

del progettista esattamente in questo modo, cioè progettando delle interfacce che siano capaci di lasciare invariato il sistema automobile "standard", ma che ne modifichino le modalità di utilizzo: si pensi al sistema di accelerazione, che viene spostato dalla parte inferiore del veicolo a quella superiore, per essere utilizzato con le mani.

Tuttavia un progetto originariamente pensato per un'utenza normodotata ha come destinazione ultima proprio quello specifico tipo di utente, e modificando il progetto originario con un ausilio, ovvero un secondo progetto, si ottiene un terzo progetto la cui percezione da parte dell'utente è completamente diversa da quanto pensato originariamente.

Basti pensare all'aspetto di un volante dotato dell'ausilio menzionato precedentemente, e a come questo influenzi la percezione dell'intera plancia del veicolo.

La "nicchia" della progettazione per la disabilità richiede dunque un'innovazione ulteriore rispetto ad un ausilio che renda possibile, ad esempio, l'azione del guidare: la necessità è quella di ripensare completamente la disposizione degli elementi che compongono il sistema automobile per poter dare all'utente disabile lo stesso livello di percezione del prodotto di cui beneficia un utente normodotato ogni qual volta che entra nell'abitacolo della sua vettura.

Questo stravolgimento nel vehicle packaging, ovvero nell'insieme dei vari sistemi meccanici che compongono un'automobile, ne influenza radicalmente anche l'aspetto estetico: il cambiamento che si riscontra nella forma è frutto del cambiamento della destinazione d'uso.

Ovviamente, in un'automobile, la forma non è esclusivamente dettata dalla meccanica sulla quale si basa.

Un'automobile è un prodotto complesso,

la cui forma è frutto di numerosi input di ispirazione: la storia del marchio, la caratterizzazione della società, la tecnologia. Ma forse più di qualsiasi altro aspetto, il design di un'automobile trae ispirazione dalle forme naturali.

La natura può essere intesa universalmente come il designer perfetto: i suoi prodotti tendono al minimo energetico possibile, la loro forma è capace di adattarsi alle circostanze, lo scarto è minimo e non degenerativo dell'ambiente: in altre parole, per la natura forma e struttura coincidono in ogni caso.

Tuttavia, un'automobile deve sottostare alle regole della produzione industriale, come qualsiasi altro prodotto, e questo implica che un progetto debba essere valutato secondo i suoi scenari di utilizzo tipici, con i metodi di calcolo matematico sviluppati dalle scienze ingegneristiche nel corso degli anni.



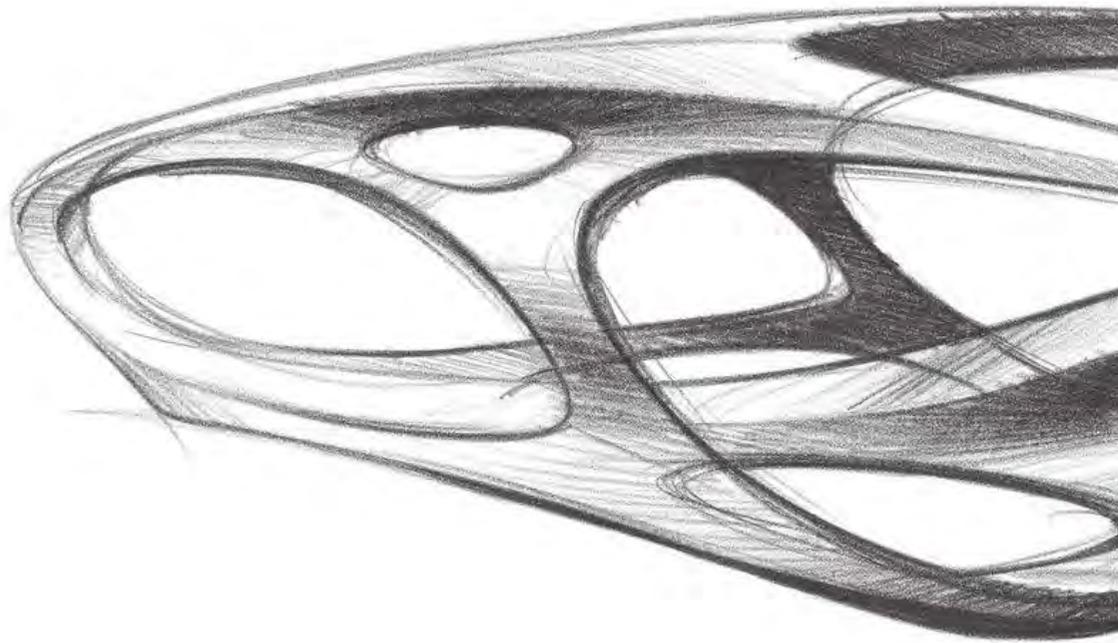
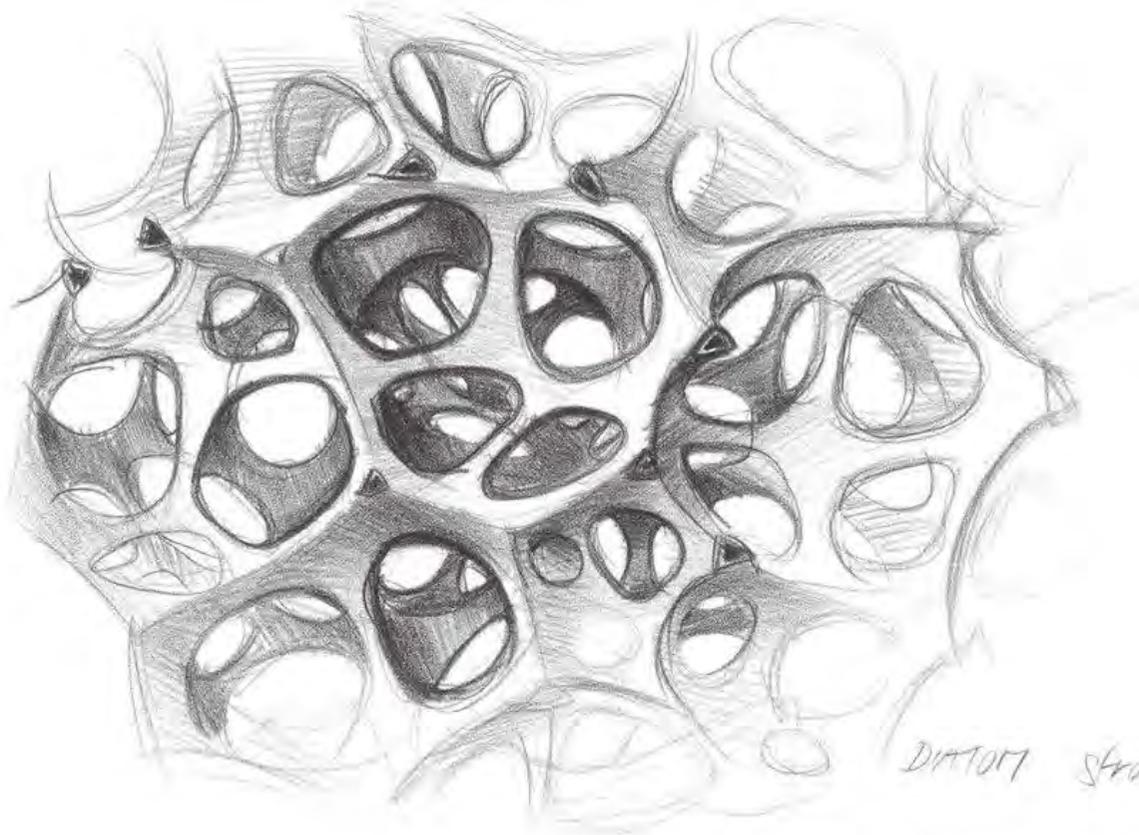
La forma schizzata sul foglio del designer viene quindi messa alla prova nel mondo reale, utilizzando i metodi di calcolo dell'ingegneria strutturale, e associando alla forma un materiale e una serie di scenari di utilizzo tipici.

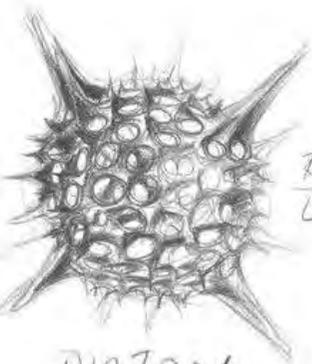
Il ciclo si ripete finchè la forma disegnata dal designer non risulta conforme all'analisi matematica, rendendolo così pronto per essere prodotto.

E' possibile però, imparare dalla natura, ed utilizzare gli stessi metodi di ottimizzazione delle strutture naturali, applicandole a materiali moderni, al fine di risparmiare risorse, accorciare i tempi di sviluppo del prodotto e ottenere un risultato perfettamente coerente nell'identità tra forma e funzionalità.

Le regole naturali possono quindi essere ridotte ad algoritmi matematici ed introdotte negli ambienti software di progettazione sin dalla fase concettuale del prodotto automobile, in modo da instradare il designer verso una visione più corretta e realistica della forma.

Il progetto in esame nelle pagine seguenti è il frutto dell'utilizzo di questa particolare metodologia al fine di ottenere un veicolo che sia corrispondente al suo bacino d'utenza, il disabile paraplegico, e che sia coerente con la lezione della natura.

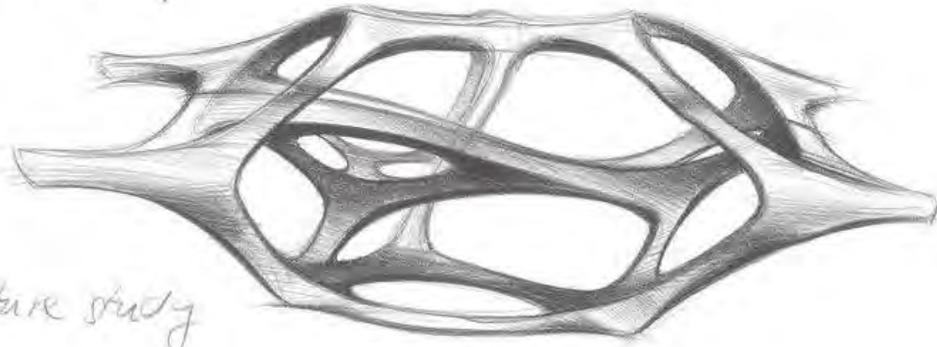




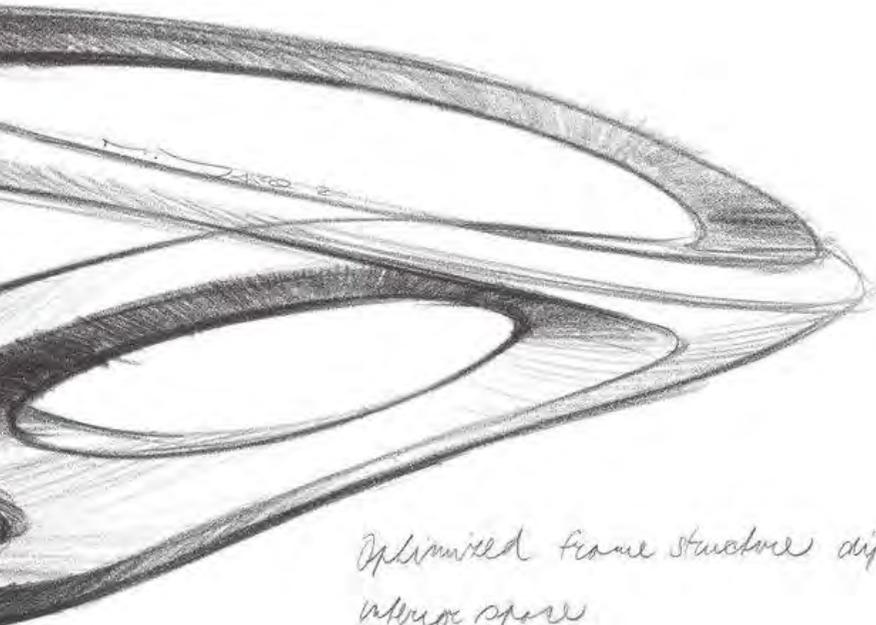
*Facholarians*

↳ one part of the marine plankton  
Lat. *actinomma delicatulum*

DIATOM



structure study



Optimized frame structure defines  
interior space



# 01

# Diversa Abilità

## 1. Definizione

Nell'occuparsi della progettazione per la disabilità motoria è necessario, prima di concentrarsi sul caso specifico, fare una introduzione al concetto di disabilità nella società odierna, come viene classificata, come viene percepita e quali sono le ragioni storiche e sociali che hanno portato alla classificazione in uso.

Negli ultimi decenni la tendenza a considerare il problema dei disabili in prospettiva basata sui diritti umani è maturata e si è ampiamente affermata a livello internazionale.

Solo di recente, infatti, gli Stati più avanzati hanno posto la loro attenzione verso i diritti delle persone con disabilità ed attuato nei loro confronti misure adeguate di politica sociale.

Agli inizi del '900 due sono le visioni della disabilità che hanno determinato altrettanti precisi approcci, ancora riconoscibili nella legislazione di molti Paesi:

1. La disabilità come conseguenza di un danno, di cui nessuno ha colpa, che causa reazione individuale di pietà, a cui la società risponde con un intervento di tipo assistenziale, senza riconoscere all'individuo disabile alcun diritto specifico.

2. La disabilità come conseguenza di un danno alla salute della persona: il disabile, definito in questo caso "malato", deve affidarsi completamente al medico, che la società si impegna a garantire, e che centerà la sua attenzione in particolare alla sua patologia.

A partire dagli anni '60 si sviluppa un terzo approccio in base al quale:

3. La disabilità è una condizione umana

che procura un forte rischio di discriminazione sociale per la persona; la società è l'agente responsabile dell'eliminazione di ogni barriera che non permetta il godimento dei diritti da parte dei cittadini con disabilità e risponde con l'eliminazione delle discriminazioni basate sulle disabilità e con azioni di "discriminazione positiva".

Si può notare come a differenza dei primi due casi, nei quali il protagonista è la società assistenzialista, nel terzo caso è il disabile stesso che può rivendicare il suo diritto alla diversità.

La lotta per assumere il controllo della propria esistenza da parte dei disabili, si riflette nel dibattito sull'uso di una terminologia corretta (non più invalidi, minorati, handicappati) che rispecchi un mutamento concettuale e culturale e non sia solo un linguaggio politically correct.

La società non può continuare ad utilizzare una terminologia ormai obsoleta, spesso priva di coerenza, ma, pur tenendone conto come riferimento storico, deve fare i conti con l'evoluzione della terminologia che definisce la diversità e che rispecchia l'evolversi culturale, oltre che concettuale e scientifico, del modo di porsi nei confronti della problematica della disabilità, già ampia e complessa di per sé.

Tale puntualizzazione non deve essere presa come un'azione fine a se stessa, ma nasce dalla necessità di fare riferimento ad una terminologia chiara e condivisa, dal bisogno di coerenza tra modo di pensare e di parlare di integrazione: adoperare un termine appropriato rappresenta già di per sé un momento di integrazione, riflette un cambiamento di atteggiamenti.

L'introduzione di un nuovo vocabolario ha un valore fortemente "programmatico": i

nuovi termini non inducono solo atteggiamenti, ma evidenziano l'esigenza di nuove abitudini sociali, che si traducono in comportamenti e norme

Un termine abusato è quello di handicap che nel lessico comune (ma purtroppo molto spesso anche fra "gli addetti ai lavori") è usato come sinonimo di danno o menomazione fisica o psichica, di difficoltà, malattia o sofferenza in genere e quindi anche utilizzato per indicare qualcosa di intrinseco alla persona (handicappato, portatore di handicap).

L'estrema disinvoltura nell'usare questo termine è probabilmente determinata dal ritenere poco utile l'annoso dibattito sui problemi legati alla definizione e classificazione delle disabilità.

Nella maggior parte dei Paesi, ancora oggi per parlare di educazione specializzata si fa ricorso impropriamente alla terminologia dell'Handicap.

Risulta quindi importante analizzare la provenienza etimologica del termine per rendersi conto di come anche dal punto di vista dell'ambito in cui viene usato sia decisamente fuori luogo.

La parola Handicap tradisce le sue origini anglosassoni e risulta composta dalla fusione delle tre parole "hand" (mano) "in" e "cap" (cappello) e veniva utilizzata durante le sue prime apparizioni per descrivere delle prove o dei concorsi in cui i concorrenti, in base alla tipologia della gara, risultavano avere le stesse possibilità di vittoria finale.

Il termine fu presto preso in prestito dal mondo ippico per descrivere la necessità di "zavorrare" i cavalli più leggeri e di conseguenza più avvantaggiati in quanto più esili, in modo tale da permettere a tutti i cavalli di partire con le stesse possibilità di vittoria.

I bigliettini contenenti il riferimento numerico al cavallo venivano quindi depositati all'interno di un cappello dal quale ogni scommettitore pescava sapendo di avere, almeno in partenza, le stesse possibilità di qualsiasi altro scommettitore.

Ci si rende conto di come l'etimologia del termine handicap abbia un'accezione assolutamente positiva, venendo ad identificare un livellamento dei vantaggi ed un azzeramento delle differenze iniziali. Se usata correttamente, quindi, la parola non dovrebbe avere la valenza negativa che il suo improprio utilizzo e l'uso corrente hanno poi di fatto determinato.

Questa differente sensibilità scientifica e culturale, che considera il concetto di handicap riduttivo in quanto tende a tralasciare l'insieme dei fattori sociali ed ambientali che di fatto costituiscono la principale fonte di ostacolo (handicap), è la stessa che ha spinto l'Organizzazione Mondiale della Sanità a dotarsi di una serie di strumenti di classificazione che potessero consentire una migliore osservazione ed analisi delle patologie organiche, psichiche e comportamentali delle popolazioni, al fine di migliorare la qualità delle diagnosi di tali patologie.

## 2. Classificazione - Nascita dell'ICD

La prima classificazione elaborata risale al 1970 e prende il nome di ICD, laddove l'acronimo indica International Classification of Diseases. Come si evince dalla stessa dicitura della classificazione, l'attenzione viene puntata sulla parola diseases, ovvero sul concetto di malattia; lo strumento tende infatti ad individuare le cause delle patologie fornendo per ognuna di esse una descrizione delle caratteristiche cliniche e limitandosi a tradurre i dati raccolti dall'analisi in codici numerici.

L'ICD rivela ben presto vari limiti di applicazione dovuti alla sua stessa natura di classificazione secondo le cause mediche, che focalizza cioè l'attenzione sull'aspetto della

disabilità come malattia al punto da spingere l'OMS ad elaborare un nuovo manuale di classificazione, più attento alle diverse componenti ambientali del soggetto che vive una specifica patologia.

Già nel 1980 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) definiva, distingueva e classificava handicap, disabilità e menomazioni con la pubblicazione dell'International Classification of Impairment Disabilities and handicaps (ICIDH)<sup>4</sup>, come appendice dell'International Classification of Diseases (ICD)<sup>5</sup>. Appare chiaro fin dalla sua prima analisi che l'attenzione di questo nuovo strumento di classificazione si focalizzi non più sul concetto di malattia (diseases) bensì su quelli di menomazione (impairment), disabilità (disabilities) e handicap. Si ritiene cioè che non sia tanto importante partire dall'analisi della causa della patologia, ma analizzare al contrario l'influenza che il contesto ambientale esercita sullo stato di salute delle popolazioni.

Si abbandona la classificazione medica a favore di un concetto di salute inteso come benessere fisico, mentale, relazionale e sociale che riguarda l'individuo la sua globalità e l'interazione con l'ambiente.

- “Si intende per menomazione qualsiasi perdita o anomalia a carico di una struttura o di funzioni psicologiche, fisiologiche o anatomiche”. Essa comprende quindi sia le alterazioni transitorie o permanenti e le perdite di organi, sia i deficit di apparati funzionali (compresa la funzione mentale) e rappresenta l'allontanamento dalla norma nella situazione biomedica individuale.
- “Si intende per disabilità qualsiasi restrizione o carenza (conseguente ad una menomazione) della capacità di svolgere un'attività nel modo o nei limiti ritenuti normali per un essere umano”. La disabilità, che può essere transitoria o permanente, si traduce in difficoltà nel realizzare i compiti normalmente attendibili da parte del soggetto considerato”.
- “Si intende per handicap una condizione di svantaggio vissuta da una determinata persona in conseguenza di una menomazione o disabilità che limita o impedisce la possibilità di ricoprire il ruolo normalmente proprio a quella persona (in base all'età, al sesso, ai fattori culturali e sociali)”.

L'handicap risulta allora dalla discrepanza tra l'efficienza reale o lo stato del soggetto e le aspettative di efficienza o di stato che egli stesso o il gruppo al quale appartiene hanno nei suoi confronti. L'handicap rappresenta quindi la socializzazione di una menomazione o di una disabilità e riflette le conseguenze culturali, sociali, economiche e ambientali della disabilità nell'esistenza dell'individuo considerato.

Non è quindi corretto parlare di disabilità o handicap in assenza di menomazioni a carico di una struttura del corpo o delle funzioni mentali.

L'handicap, pur derivando da una menomazione, non può con questa essere identificato, si tratta di uno svantaggio, che per esistere deve essere vissuto in una determinata situazione, anzi è proprio quella determinata situazione che lo genera. Sono, per questo motivo, improprie espressioni come “portatore di handicap” o “handicappato” sarebbe più esatto parlare di “persona in situazione di handicap” proprio per sottolineare che l'handicap non lo si porta mai con sé, lo si trova in un contesto che lo crea nel momento in cui richiede prestazioni di abilità superiori a quelle che una persona con una menomazione può offrire.

Ciò significa che una persona non può essere globalmente disabile, ma anzi, al variare dei

contesti e delle richieste può manifestare abilità o difficoltà.

Allo stesso modo, non può essere considerata globalmente handicappata solo perché, in alcuni ambiti specifici, sarebbe disabile a causa di specifiche menomazioni. Pur essendo vero che le menomazioni continuano ad essere presenti, le disabilità compaiono invece quando si ritengono necessarie alcune prestazioni (es. un audioleso non risulta disabile se deve correre, lo risulta invece se deve ascoltare); a loro volta gli handicap sono presenti solamente quando ci si attendono o si pretendono prestazioni standard a prescindere dalle effettive possibilità dell'individuo in questione.

Anche in questo caso allora non avrebbe senso parlare di handicap o persone handicappate, poiché l'handicap comparirebbe soltanto in contesti di "competizione", di integrazione scolastica, sociale e comunitaria. Il termine handicap viene così utilizzato in riferimento alle effettive difficoltà che un individuo incontra. "E' così possibile che una disabilità produca handicap più gravi in una società, che non in un'altra. Ad esempio l'handicap collegato con menomazioni e disabilità a livello motorio tende ad essere maggiore in una economia primitiva rurale (dove è richiesto molto lavoro manuale) che non nella nostra società. La situazione è inversa in caso di disabilità che coinvolgono le funzioni intellettuali, dato che nella società attuale esse sono più valorizzate che in passato".

Questa classificazione tuttavia, porta ancora al centro dell'attenzione la malattia, riassumendo in uno schema la consequenzialità che occorre tra patologia e handicap:

## **Malattia > Menomazione > Disabilità > Handicap**

### **3. Classificazione - Dall'ICIDH all'ICF**

Nel 1997 l'OMS ha riformulato l'ICIDH: l'International Classification of Impairments, Activities and Participation (ICIDH-2)<sup>11</sup> che, pur mantenendo l'acronimo, ridefinisce due degli ambiti della precedente classificazione, quello inerente le disabilità, qui classificate come attività personali e quello relativo agli handicap, ridefiniti come diversa partecipazione sociale.

L'ICIDH-2 cerca di cogliere e classificare ciò che può verificarsi in associazione ad una condizione di salute, le "compromissioni" della persona o il suo "funzionamento".

A differenza della precedente versione, non è una classificazione che riguarda soltanto le condizioni di persone con disabilità fisiche o mentali, ma può essere applicata a qualsiasi persona in una condizione di salute tale da richiedere una valutazione dello stato di funzionamento a livello corporeo, personale o sociale.

Alla luce di ciò, taluni preferiscono parlare di diversa abilità invece che di disabilità, sostenendo che questo serve non soltanto per sottolineare gli aspetti deficitari di una persona ma per evidenziarne la possibilità di diversi gradi di abilità nelle diverse circostanze. Questa scelta, che non trova un corrispettivo in nessuno dei manuali in uso, sembrerebbe legata quindi ad una valutazione in positivo delle abilità e delle prestazioni di persone con menomazioni fisiche o intellettive che, in alcune situazioni e in determinati contesti, possono presentare prestazioni anche migliori di quelle ritenute standard.

Tuttavia, anche in quest'ultima revisione della classificazione, la relazione tra disabilità e malattia è valutata in maniera spesso negativa; è necessaria quindi un'ulteriore riformulazione del testo per eliminare definitivamente questa connotazione, residuo dei testi antecedenti.

Nell'ultima, definitiva relazione, che prende il nome di ICF, International Classification of Functioning, Disabilities and Health, l'OMS fa riferimento all'analisi della salute dell'individuo in chiave assolutamente positiva.

Attraverso la classificazione si vuole fornire la più completa ed approfondita analisi dello stato di salute degli individui ponendo la correlazione fra salute ed ambiente, arrivando alla definizione di disabilità intesa come una condizione di salute in un ambiente sfavorevole. La revisione viene fatta per rispondere ad alcune richieste: essere funzionale alle esigenze avvertite nei diversi Paesi; essere semplice e facilmente fruibile da parte dei professionisti, che lo percepiscono come una descrizione significativa delle conseguenze delle condizioni di salute.

191 Paesi riconoscono l'ICF come la nuova norma per salute e disabilità. La salute è multidimensionale, così come la disabilità.

L'ICF non è una classificazione che riguarda un "gruppo" ma riguarda tutte le persone poiché tutti possono avere una condizione di salute che in un contesto ambientale sfavorevole causa disabilità. È un capovolgimento di logica: mentre gli indicatori tradizionali si basano sui tassi di mortalità, l'ICF pone come centrale la qualità della vita delle persone affette o meno da una patologia, permette quindi di evidenziare come convivono con la loro condizione e come sia possibile migliorarla affinché possano contare su un'esistenza produttiva e serena.

Lo scopo generale della classificazione ICF è quello di fornire un linguaggio standard e unificato che possa servire da modello di riferimento per la descrizione della salute e degli stati ad essa correlati.

## 4. ICF - Composizione

Nell'ICF la disabilità viene classificata secondo la sua relazione con il contesto sociale, e identifica dei domini, degli ambiti che racchiudono una serie specifica di caratteristiche, azioni e relazioni e le associano ad una particolare condizione di svantaggio sociale.

I domini vengono distinti in due elenchi, a loro volta composti da due sotto-categorie:

Funzionamento e Disabilità

a) Funzioni e strutture corporee;

b) Attività e Partecipazione.

Fattori Contestuali

a) Fattori ambientali;

b) Fattori personali.

Le funzioni corporee sono le funzioni fisiologiche dei sistemi corporei, incluse le funzioni psicologiche. Le strutture corporee sono parti anatomiche del corpo come organi, arti e loro componenti. Attività è l'esecuzione di un compito o di un'azione da parte di un individuo.

Partecipazione è il coinvolgimento di un individuo in una situazione di vita. I fattori ambientali

sono caratteristiche del mondo fisico, sociale e degli atteggiamenti, che possono avere impatto sulle prestazioni di un individuo in un determinato contesto.

In quanto classificazione l'ICF raggruppa in maniera sistematica diversi domini di una persona in una data condizione di salute (cioè quello che una persona con una malattia o un disturbo può o non può fare).

## **Funzioni corporee**

1. Funzioni mentali
2. Funzioni sensoriali e dolore
3. Funzioni della voce e dell'eloquio
4. Funzioni del sistema cardiovascolare, ematologico, immunologico e respiratorio
5. Funzioni del sistema digestivo, metabolico e endocrino
6. Funzioni genitourinarie e riproduttive Funzioni neuromuscoloscheletriche e collegate al movimento
7. Funzioni cute e strutture associate

## **Strutture corporee**

1. Strutture del sistema nervoso
2. Occhio, orecchio e strutture collegate
3. Strutture collegate alla voce e all'eloquio
4. Strutture dei sistemi cardiovascolare, immunologico e respiratorio
5. Strutture collegate al sistema digestivo, metabolico e endocrino
6. Strutture collegate al sistema genitourinario e riproduttivo
7. Strutture collegate al movimento
8. Cute e strutture collegate

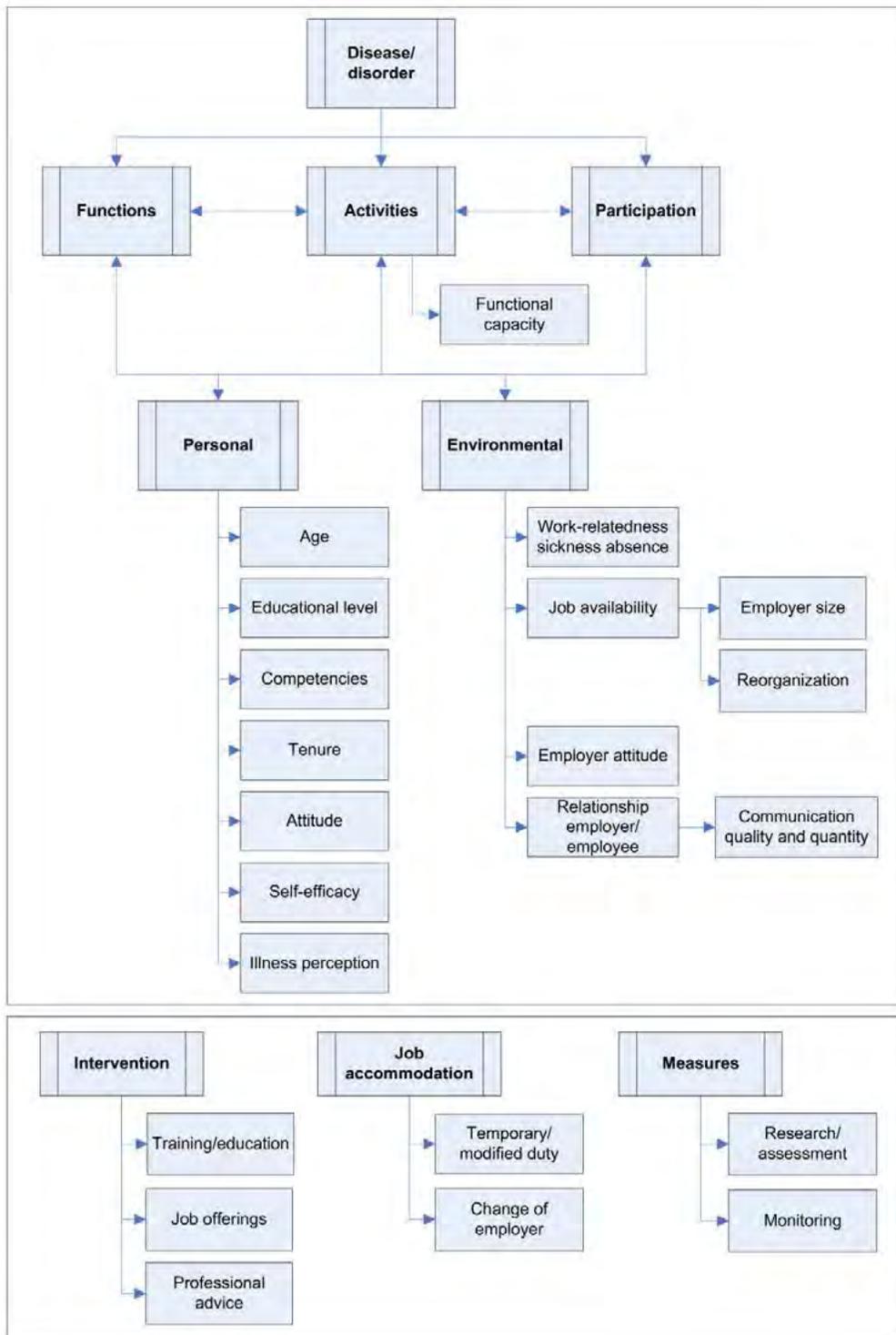
## **Attività e partecipazione**

1. Apprendimento e applicazione della conoscenza
2. Compiti e richieste di carattere generale
3. Comunicazione
4. Mobilità
5. Cura della propria persona
6. Vita domestica
7. Interazioni e relazioni interpersonali
8. Principali aree della vita
9. Vita di comunità, sociale e civica

## **Fattori ambientali**

1. Prodotti e tecnologia
2. Ambiente naturale e cambiamenti apportati dall'uomo all'ambiente
3. Supporto e relazioni
4. Atteggiamenti
5. Servizi, sistemi e politiche

Nel caso in esame, la progettazione di un prodotto per la mobilità, è molto semplice identificare i domini di interesse, che provvederanno a fornire le informazioni necessarie e sufficienti ad una progettazione consapevole della condizione specifica, che risulti quindi in una facilitazione se non un'equalizzazione della condizione del disabile rispetto a quella di un individuo normodotato.



VISITOR  
PARKING

853177



# 02

## Mobilità & Disabilità

### 1. Causalità

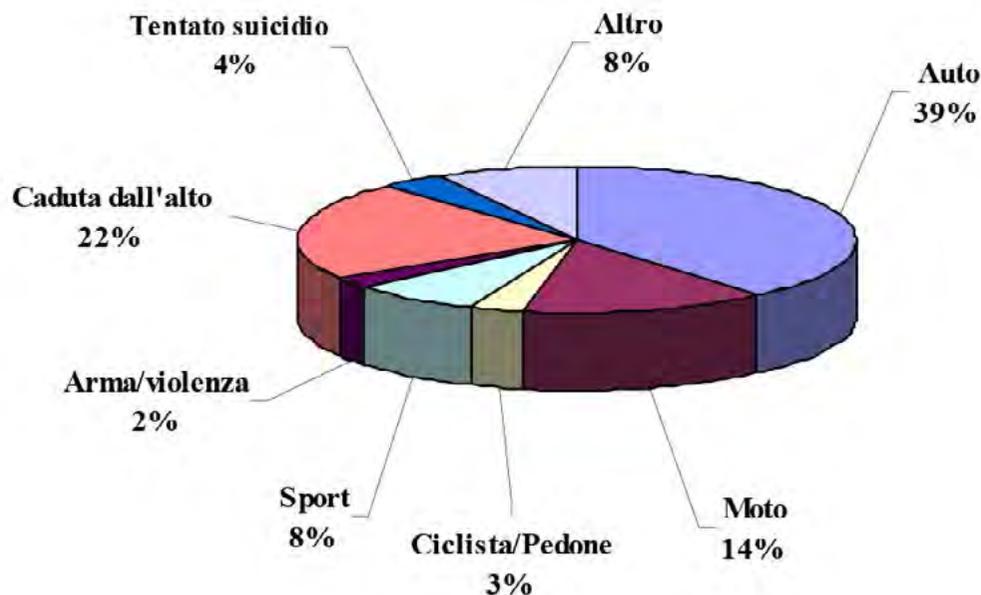
Nel considerare la mobilità disabile bisogna innanzitutto definire il grado di disagio che il disabile deve poter riuscire a superare affinché acquisti una determinata autonomia. Per autonomia intendiamo la capacità di relazionarsi liberamente con il contesto sociale, che possiamo suddividere in relazione con se stesso (qualità e controllo della propria vita), relazione con gli altri (livello di interazione e qualità della stessa) ed infine relazione con lo spazio (capacità di muoversi liberamente, qualità del movimento). E' ovvio che il livello di non-abilità, ovvero l'insieme strettamente clinico delle condizioni psico-fisiche dell'utente, influenza notevolmente le capacità potenziali di raggiungere un'autonomia più o meno ideale,

dove per ideale ci riferiamo alla condizione di un utente normodotato.

In questo caso è bene definire un raggio d'azione entro il quale intendiamo apportare il nostro contributo progettuale.

Nella fattispecie, le condizioni cliniche alle quali facciamo riferimento sono quelle delle lesioni del midollo spinale, provocate da trauma o da malattie degenerative.

Recenti studi hanno dimostrato come la maggior parte degli individui affetti da problemi al midollo, 67% dei casi, ha subito un trauma esterno, mentre minore, circa il 33%, è la percentuale che ha subito le conseguenze di una malattia degenerativa. Si noti come nel caso traumatico, la grande maggioranza della casistica ricad nell'incidente stradale, sia esso in moto o in auto.



Negli incidenti stradali che coinvolgono un singolo veicolo, la probabilità di danni al midollo spinale è risultata cinque volte minore per gli occupanti di vetture berline rispetto ad altri tipi di vetture. La probabilità di danni è, in particolare, molto più elevata per vetture non berline che subiscono un ribaltamento (dieci volte superiore).

Nella casistica delle lesioni spinali, possiamo distinguere due grandi famiglie, all'interno delle quali troviamo livelli diversi di non-abilità: la paraplegia e la tetraplegia. Per paraplegia si intende descrive una paralisi totale o parziale che colpisce le gambe e spesso

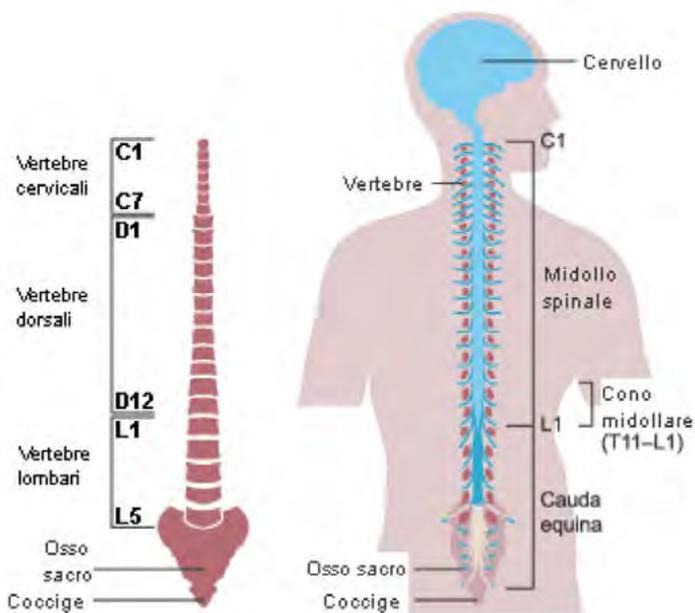
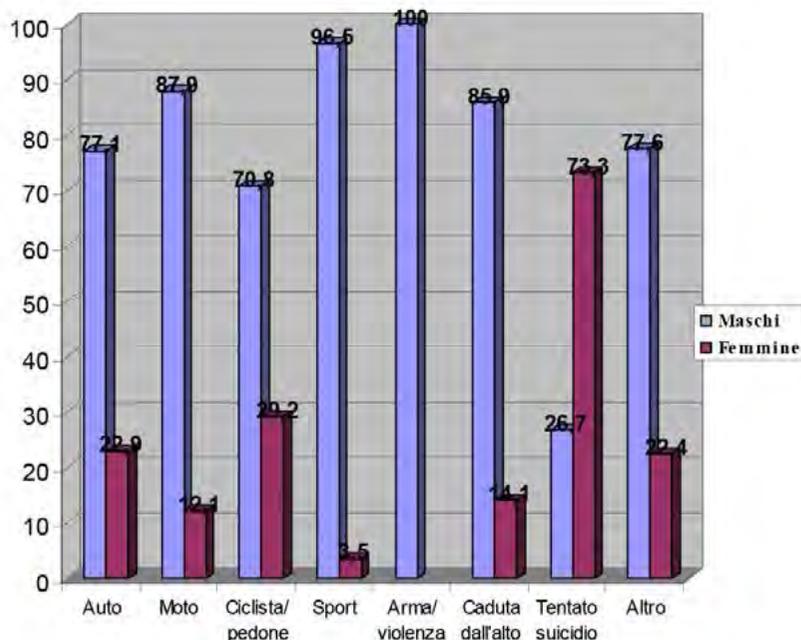
anche il tronco, ma non le braccia. L'estensione del danno al tronco dipende dal punto in cui si è avuta la lesione.

Per tetraplegia invece, si descrive una paralisi totale o parziale dal collo verso il basso, coinvolgendo i quattro arti ed il tronco. Questa condizione si presenta in seguito al danneggiamento del midollo spinale nella regione cervicale. Nella tetraplegia vengono gravemente colpite le funzioni di intestino, vescica e le funzioni sessuali. Per meglio comprendere la classificazione, possiamo fare riferimento ad una scheda redatta dall'A.S.I.A., American Spinal Injury Association., che permette di valutare post trauma il livello di danneggiamento del midollo, e di conseguenza stabilire sommarariamente la condizione di non-abilità dell'individuo.

La spina dorsale viene divisa in segmenti, corrispondenti alla parte del corpo nella quale si trovano, per cui abbiamo le vertebre cervicali, indicate con C, vertebre dorsali, T, vertebre lombari, L, vertebre sacrali, S.

Ad ogni zona corrisponde un numero da 0 a 5, dove zero indica assenza totale di sensibilità e capacità di movimento, mentre 5 indica il massimo grado di sensibilità e capacità di movimento.

Se l'individuo ha un danneggiamento entro le vertebre da C1 a C7, ricadrà nella



casistica tetraplegica, mentre se riporta un danneggiamento a partire dalle vertebre D1 fino a S5 risulterà paraplegico.

I livelli di mobilità degli arti nella condizione di tetraplegia e paraplegia variano a seconda della gravità della lesione e della zona colpita, ma possiamo comunque considerare in questa sede come la paraplegia sia il caso al quale ci riferiamo, e che risulta l'oggetto della progettazione.

Nel caso tetraplegico infatti, la paralisi degli arti superiori, seppure variabile a seconda dei casi, limita notevolmente le capacità di utilizzare ausili che permettano un livello di autonomia comunque discreto; diversamente, nel caso paraplegico, la funzionalità degli arti superiori rimane ottima, e permette, con le dovute approssimazioni, di utilizzare ausili e prodotti atti a raggiungere quell'ideale di autonomia precedentemente analizzato.

Ovviamente l'autonomia non può essere responsabilità singola dell'utente diversamente abile, ma è necessario considerare anche il contesto spaziale in cui il diversamente abile svolge le sue attività principali, e in particolare l'aspetto dell'accessibilità agli spazi.

Per accessibilità intendiamo il grado di adattamento che l'ambiente circostante affinché l'utente possa usufruirne con il minimo ostacolo possibile.

Essa va intesa come fruibilità generale dell'ambiente costruito, degli arredi, dei prodotti, delle tecnologie e dei servizi di uso generale: non dunque un adattamento personalizzato alle esigenze di una determinata persona disabile, ma di tutte le persone che operano in tale ambiente, comprese dunque sia le persone normodotate, che le persone con specifiche limitazioni motorie, sensoriali o cognitive.

Per ausili, oggi detti anche tecnologie assistive, si intendono invece quegli strumenti che permettono l'adattamento individuale della persona all'ambiente: essi comprendono sia dispositivi finalizzati a superare certe barriere all'accessibilità, sia dispositivi volti a compensare determinate limitazioni funzionali ai fini di facilitare o rendere possibili determinate attività della vita quotidiana.

Nella definizione ufficiale dell'OMS, in particolare dello standard ISO 9999 un si definisce ausilio "qualsiasi prodotto (inclusi dispositivi, apparecchiature, strumenti, sistemi tecnologici, software), di produzione specializzata o di comune commercio, atto a prevenire, compensare, tenere sotto controllo, alleviare o eliminare menomazioni limitazioni nelle attività o ostacoli alla partecipazione."



## 2. Ausili per la mobilità

Il prodotto più conosciuto ed utilizzato legato alla mobilità disabile è sicuramente la carrozzina di tipo manuale, per disabilità di tipo paraplegico, mentre si ricorre a carrozzine motorizzate elettricamente per disabilità tetraplegiche con una minima conservazione della mobilità degli arti superiori, anche se non è raro l'utilizzo di carrozzine elettriche anche da parte di individui con ottima mobilità degli arti superiori. Una carrozzina elettrica è sicuramente un oggetto molto più complesso e costoso della sua controparte manuale. Si tratta di un sistema che richiede un motore elettrico e un pacco batterie, solitamente piuttosto ingombrante e che limita notevolmente il disegno del veicolo, oltre ad essere molto pesante. Questo insieme di componenti fa lievitare notevolmente le dimensioni e gli ingombri,

che di conseguenza ne rendono complicato l'utilizzo negli spazi chiusi.

I lati positivi di questa soluzione, così come anche le motivazioni che la rendono ideale per persone con pochissima mobilità degli arti superiori, sono la sua facilità di controllo e la capacità di spostarsi piuttosto velocemente soprattutto all'esterno, senza sforzi da parte dell'utente.

Se consideriamo l'utilizzo ai fini della guida autonoma, tuttavia, i limiti delle carrozzine elettriche si fanno maggiormente evidenti. Sono necessari veicoli molto grandi, come van o monovolume, dove poter predisporre rampe di accesso adatte alla scarsissima escursione delle ruote; inoltre, il peso è nell'ordine delle centinaia di kg per la sola carrozzina, il che non solo limita le prestazioni del veicolo, ma spesso richiede l'assistenza di un normodotato per evitare problemi in fase di trasferimento sul e dal veicolo.

Dunque, sebbene sia necessaria per malati tetraplegici, questa tipologia di carrozzina non è da considerarsi valida nel nostro scenario progettuale.

Nel caso della carrozzina manuale, al contrario, i sistemi sono piuttosto semplici e puntano su una partecipazione necessariamente attiva da parte dell'utente paraplegico.

Questo implica che l'utente debba seguire una particolare preparazione atletica per poter essere in grado di relazionarsi con gli spazi ed affrontare anche eventuali deficit di accessibilità da parte delle infrastrutture frequentate nella vita quotidiana.

L'utente è quindi più facilmente integrato con la società, è attivo, è capace di superare ostacoli fisici ma soprattutto mentali, tutti fattori che elevano all'ennesima potenza il concetto cardine di questo lavoro, il raggiungimento di un'autonomia il più alta possibile.

Una comune carrozzina manuale è composta da una serie di elementi ricorrenti:

- Un telaio, spesso metallico e tubolare
- Due ruote fisse posteriori, provviste di corrimano
- Due ruote sterzanti anteriori
- Un sedile e uno schienale in materiale tessile
- Una pedana, spesso in materiale polimerico

Identificate le componenti standard, vi sono poi innumerevoli tipologie di carrozzina manuale, spesso costruite in esemplare unico su misura dell'utente e ottimizzate per l'insieme delle proprie attività quotidiane tipiche, ma che possono essere racchiuse in categorie specifiche a seconda ad esempio dei materiali o della destinazione d'uso.



## Carrozzina Sportiva

È una tipologia di carrozzina che consente la pratica, a utenti paraplegici, di svariati sport di squadra quali il basket, il rugby, il calcio, ma anche individuali, come l'atletica leggera.

Sono caratterizzate dalla riduzione del peso, dalla semplicità del disegno e dall'aggiunta di caratteristiche tecniche che migliorino la stabilità nell'uso prestazionale.

Sono dotate, ad esempio, di regolazione variabile del camber, che è l'angolo di incidenza della ruota posteriore con il suolo. Un angolo di camber negativo, ovvero un angolo minore di  $90^\circ$  tra parte interna della ruota e suolo, migliora la stabilità e la manovrabilità del mezzo, ma lo rende poco adatto alla deambulazione in linea retta.

L'angolo di seduta è leggermente chiuso e reclinato, in modo da evitare scivolamenti e cadute.

Sono inoltre rinforzate per resistere agli scontri con altri giocatori.



## Carrozzina Riabilitativa

Una specializzazione della classica struttura della carrozzina, con l'aggiunta di ulteriori strutture di supporto, che vadano a facilitare il recupero di aree soggette a trauma e infortunio, o che servano a correggere difetti della postura.

Ad esempio, includono supporti alla testa, braccioli speciali, schienali che consentano la rieducazione della colonna vertebrale.



## Carrozzina outdoor

È una tipologia molto particolare di carrozzina manuale, di concezione piuttosto recente.

Consente infatti, tramite una ricombinazione delle componenti tipiche della carrozzina, e una modifica dimensionale delle stesse, di affrontare terreni sconnessi come terra, pietrisco, sabbia, fango e neve.

Le gomme e le ruote si fanno più larghe e tassellate, il telaio viene rinforzato e dotato di ammortizzatori, le ruote anteriori vengono ridotte da due a una, per facilitare il superamento di ostacoli.



## Carrozzina ultraleggera

Sono lo stato dell'arte delle carrozzine manuali.

I telai vengono costruiti in leghe leggerissime, come il titanio, oppure in materiale composito a fibra lunga, come la fibra di kevlar o di carbonio.

Tutti i sistemi di fissaggio vengono realizzate dal pieno, il disegno viene ottimizzato per il minor peso possibile, le imbottiture utilizzano materiali tecnici ad alte prestazioni.



### 3. Ausili per la guida

Spostando l'attenzione nei confronti dell'atto specifico della guida, possiamo da subito fare una distinzione netta nell'approccio che un disabile può avere per raggiungere il suo obiettivo di massima autonomia.

Il mercato dell'auto è molto ricco di modelli adatti ad essere utilizzati da un'utenza disabile paraplegica attiva, questo anche grazie al fatto che anche le dimensioni di un'utilitaria vengono ormai pensate per

un'utenza trasversale, che tende cioè a racchiudere tutto il percentile umano possibile.

Un primo modo di avvicinarsi alla guida da parte di un disabile è quindi quello di adattare un'automobile presente sul mercato a quelle che sono le sue esigenze di accessibilità e controllo del veicolo.

Questa strada presuppone, come anticipato precedentemente, una modifica radicale non soltanto della funzionalità del veicolo, ma soprattutto della percezione

che l'utente ha di quella che è a tutti gli effetti un'auto "nuova", rispetto al pensiero iniziale del team di designer e tecnici: tuttavia l'utente disabile può facilmente reperire una qualsiasi auto usata e renderla personalizzata alle proprie esigenze, grazie alla grandissima varietà di ausili presenti sul mercato.

#### Accesso a bordo

In questa categoria ricadono tutti gli ausili che permettano o facilitino il passaggio dalla carrozzina al sedile del guidatore, ognuno dei quali richiede un intervento più o meno invasivo sulla struttura del veicolo. Il più semplice è la ribaltina, che crea una superficie di passaggio tra carrozzina ed autovettura, e può essere manuale o elettrica.

Uno step successivo di assistenza è rappresentato da una gru sollevatrice rimovibile, che solleva l'utente e lo deposita direttamente sul sedile di guida.

Il grado più alto di assistenza è forse rappresentato dal sedile montato su piastra girevole, che è in grado di ruotare e traslare fino a trovarsi perfettamente in linea con l'altezza di seduta dell'utente in carrozzina, rendendo molto agevole la salita in auto.



## Controlli

La maggior parte dei prodotti nel campo degli ausili alla guida per disabili ricade in questa categoria.

Entrambi i controlli devono essere trasferiti dalla zona pedaliera alla zona immediatamente circostante il volante, ma non solo: ambedue hanno la caratteristica di essere controlli progressivi e modulabili, e questa caratteristica deve necessariamente essere mantenuta per garantire non solo la padronanza del mezzo, ma anche la sicurezza stradale.

Questi controlli possono trovare applicazione in forme analoghe, come ad esempio leve a lato del volante o anelli montati posteriormente o anteriormente al volante stesso, che vanno premuti o tirati, a seconda delle preferenze personali o della capacità motoria dell'utente.



## Sistemi di fissaggio

Nel caso in cui l'utente voglia guidare un veicolo adattato alla guida direttamente dalla carrozzina, si rendono necessari ausili che assicurino una connessione salda tra quest'ultima e il veicolo, onde evitare che le forze in gioco nella dinamica del veicolo rendano instabile la posizione di guida o addirittura possano sbalzare l'utente e il suo sedile all'interno dell'abitacolo.

Questa tipologia di ausilio è legata soprattutto alla tipologia di carrozzina con la quale si intende guidare, non essendoci un vero e proprio standard in questo settore. Nel caso di una carrozzina manuale, gli ausili più utilizzati sono sistemi di cinture che avvolgono il telaio metallico della carrozzina e vengono ancorate al pavimento della vettura: Il carico sopportabile dal sistema varia a seconda dei materiali e della tipologia di fissaggio.

Questo ausilio tuttavia, necessita di assistenza per essere utilizzato: per ancorare la carrozzina è necessario serrare dei morsetti manuali non raggiungibili dalla posizione dell'utente disabile.

Nell'utilizzare invece una carrozzina elettrica, il sistema di fissaggio è più complesso, a causa del peso e delle dimensioni maggiori.

In questo caso, il sistema più utilizzato consiste in un perno in acciaio che viene montato sul fondo della carrozzina, e si aggancia ad un supporto sul pavimento dell'auto.

Il sistema è dotato di un dispositivo di apertura e chiusura elettrico, che può essere azionato quindi in modo completamente autonomo da parte dell'utente disabile.



## 4. Veicoli per disabili

Fin'ora abbiamo esposto le modalità con le quali è possibile utilizzare un'automobile di produzione e modificarla per poterla adattare alle esigenze dell'utenza disabile, considerando sia i pro che i contro di questa soluzione.

Ma quali veicoli si possono trovare sul mercato, progettati interamente per un'utenza paraplegica?

La definizione utilizzata è veicolo, e non automobile, in quanto i progetti ricercati non possono ricadere, per dimensioni, caratteristiche tecniche e range di utilizzo, sotto la categoria automobile.

Si tratta, infatti, di mezzi per la mobilità personale in aree urbane, quindi con ingombri ridottissimi, e proprio per questo dotate di soluzioni meccaniche minime.

Le motorizzazioni sono principalmente elettriche, poco potenti, e sono dotate di

un pacco batterie ridotto, con un'autonomia di pochi km.

La costruzione dei telai è principalmente di tipo tubolare, con ruote e sospensioni molto sottodimensionate per lasciare spazio al comparto elettrico.

Di conseguenza gli interni sono molto essenziali e scarni, con controlli e interfacce dedicate esclusivamente all'utenza disabile, ma con poca attenzione alla piacevolezza e al disegno dell'abitacolo e dei rivestimenti interni: la sicurezza, come ci si può aspettare, è curata nelle sue componenti essenziali.

Si tratta dunque di veicoli funzionali ai piccoli spostamenti cittadini, ma non si può parlare sicuramente di automobile, e men che meno di veicoli che possono essere associati al divertimento alla guida, o che suscitino particolari emozioni: al contrario, il loro differenziarsi in maniera molto marcata rispetto ai veicoli presenti sulle

strade, contribuisce a creare un senso di emarginazione e differenziazione tra disabili e normodotati, che vanifica ogni sforzo di integrazione e di equalizzazione di cui abbiamo esposto fin dall'inizio.

### Quovis Vexel

E' una vettura monoposto prodotta negli Stati Uniti, ed è stata la prima vettura prodotta in serie interamente concepita per la guida autonoma da parte di un disabile. Le sue caratteristiche meccaniche principali vantano un propulsore diesel di 500cc, con circa 30 cv di potenza massima, un cambio automatico a variazione continua, quattro freni a disco e sospensioni indipendenti di tipo MacPherson sulle quattro ruote da 13 pollici.

Il suo telaio è di tipo tubolare in acciaio, racchiuso da una carrozzeria monovolume in polimero personalizzabile in vari colori.



Queste caratteristiche la rendono omologabile come quadriciclo, vista anche la dotazione di sicurezza basilare e le dimensioni piuttosto contenute, 2.4 m di lunghezza e 1.5 m di larghezza.

Il livello di comfort interno è, per un veicolo di questa tipologia, piuttosto ricco: è possibile trovare vetri elettrici, radio, condizionatore, sensori di parcheggio posteriori e retrovisori elettrici.

Il sistema di salita consiste in una rampa posteriore che scende una volta aperto il portellone, e può essere integrata con un verricello elettrico che aiuta nella fase di superamento del dislivello.

Una volta a bordo, la Vexel offre un sistema di ancoraggio elettrico della carrozzina al fondo della vettura, oltre ad un sistema di cinture ancorabili manualmente alle ruote, per una maggiore stabilità.

L'interfaccia utente si basa su un volante con due acceleratori posizionati posterior-

mente alla corona, solidali con il piantone, in modo da trovarli sempre a portata di mano, mentre il freno si trova lateralmente al volante, in basso, e consiste in una leva da tirare.

La Vexel anche controlli ottimizzati per esigenze specifiche, ad esempio scarsa mobilità degli arti superiori nei casi di tetraplegia, e può essere dotata di controlli a sfioramento per tutte le funzioni interne. Questo veicolo offre una discreta autonomia, dato l'utilizzo del motore termico, quantificata dalla casa in 3 L / 100 Km. Tuttavia, sebbene sia capace di rendere indipendente l'utente disabile nei suoi spostamenti quotidiani, ci troviamo comunque di fronte ad un quadriciclo che assolve matematicamente al suo compito, senza lasciare spazio all'emozione e alla sensazione di piacevolezza che si prova in un abitacolo di un'auto "vera".

Le prestazioni sono limitate, la tenuta di

strada accettabile, la spazialità dell'abitacolo ridotta al minimo essenziale e la caratterizzazione formale da immediatamente l'idea di essere un'auto costruita intorno all'ingombro di un utente disabile, come se fosse racchiuso in un guscio protettivo. Di conseguenza, non c'è un linguaggio formale che ispiri una qualsiasi sensazione di benessere, all'interno e all'esterno, ma tutto è ridotto alla pura funzionalità, e in un mondo in cui il design dell'auto si dirige sempre più verso un'esperienza tailor made ovvero cucita addosso all'utente e al suo bagaglio emozionale, la Vexel è un veicolo che appare molto datato e poco appagante.

Il costo si attesta a circa 19.000 euro per l'auto base, ma ulteriori modifiche agli equipaggiamenti possono sicuramente far lievitare il prezzo anche di qualche migliaio di euro.



## Kenguru

Se la Quovis può vantare la prima auto interamente disegnata per utenti disabili, la Kenguru è sicuramente la prima auto elettrica per utenti disabili.

Prodotta anch'essa negli Stati Uniti, ma originariamente di progetto Ungherese, la Kenguru ha caratteristiche molto simili alla Vexel, ma la sua particolarità principale, la trazione elettrica, cambia leggermente il modo in cui è stata progettata.

La spinta è garantita da due motori elettrici, uno per ruota, sull'asse posteriore, della potenza totale di 6 cv che permettono alla vettura di raggiungere poco più di 40 km/h.

L'autonomia delle batterie è piuttosto scarsa, quantificabile in circa 100 km, con otto ore di ricarica, ed un tempo di decadimento delle prestazioni del pacco batterie piuttosto rapido, a detta della casa costruttrice, tra i 2 e i 5 anni.

Il peso è di circa 550 kg, dovuto principalmente al pacco batterie, e particolarmente incisivo sulle prestazioni dei motori elettrici, piuttosto sottodimensionati.

Il telaio è in acciaio tubolare, con una carrozzeria in fibra di vetro.

Esternamente, l'accesso avviene per mezzo di una rampa di dimensioni molto piccole, ma che permette l'accesso facilitato dal marciapiede: la Kenguru può essere parcheggiata perpendicolarmente, date le sue dimensioni di 2.1 m in lunghezza per 1.6 in larghezza.

Al suo interno, lo spazio è piuttosto esiguo, e al contrario della Vexel, non è presente nessun optional ad aumentare la sensazione di trovarsi all'interno di una quattro ruote.

Il fissaggio della carrozzina avviene tramite una morsa presente nella parte immediatamente sottostante la plancia, azionabile manualmente, mentre il portellone posteriore blocca la carrozzina in posizione.

I controlli della plancia sono racchiusi in





una soluzione a manubrio, con acceleratore sulla manopola destra e freno su quella sinistra, mentre tutti i comandi ausiliari, come luci, frecce, tergi, chiusura portello trovano posto centralmente in un pannello che si muove solidamente con il manubrio, rendendo possibile l'azionamento dei comandi con le dita senza togliere le mani dai controlli principali.

Un piccolo schermo centrale indica le informazioni principali sulla marcia, come velocità e stato di carica delle batterie. La Kenguru è un veicolo molto limitato nel range di utilizzo e nelle modalità di spostamento, ed utilizzarlo come una vettura normale vorrebbe dire esaurire la carica in meno di quattro ore.

Lo spazio interno inesistente lo rende inadatto anche a routine come può essere l'andare a fare la spesa, perchè non si saprebbe dove mettere gli articoli acquistati. La guida è molto limitata dai motori minuscoli, e dal telaio appesantito dal pacco batterie, che rende il veicolo marcatamente soggetto al rollio in curva, anche a bassa velocità.

Il prezzo, infine, di circa 18.000 euro è molto alto per un quadriciclo con queste caratteristiche tecniche.





### 1. Concetto di sportività

Fino ad ora ci siamo occupati del definire, nell'ambito dello scenario in cui si colloca il progetto, l'utente disabile ed il suo rapporto con la guida, in senso strettamente tecnico del termine, cioè abbiamo dato una risposta alla domanda "in che modo un utente disabile riesce a guidare?".

Se l'interesse dell'utente in merito alla guida fosse esclusivamente quello di spostarsi dal punto A al punto B, avremmo potuto già concludere il nostro scenario, avendo esaurito i temi da introdurre per creare un profilo. Ma ciò che è realmente importante nella genesi dell'atmosfera progettuale che stiamo delineando è introdurre un quid aggiuntivo alla mera azione della guida, un qualcosa che si discosti nettamente dall'associazione di idee che è possibile fare mettendo insieme i termini disabilità e automobile.

Un'automobile non è soltanto un prodotto che permette alle persone di muoversi nel mondo, l'automobile è un bagaglio di valori, di cultura, di esperienze, di conoscenza e soprattutto di emozioni; in ogni epoca storica ed in ogni contesto culturale, l'automobile ha assorbito parte dell'atmosfera circostante, restituendola tramite quelli che sono i suoi mezzi, ovvero il disegno delle carrozzerie, degli interni, ma anche la potenza dei motori, la velocità, il desiderio da parte dell'uomo di raggiungere e superare i limiti. In Italia, l'automobile è stata oggetto di culto per molti, pensiamo ad esempio ai Futuristi, che nell'auto veloce trovavano fonte di ispirazione per opere poetiche e pittoriche, nel pilota identificavano l'eroe, l'uomo che sfida se stesso e l'universo a folle velocità, e che si sente più vivo proprio nel momento

in cui il rischio aumenta.

Nel mondo del design dell'auto dunque, viene riservato un trattamento speciale all'auto sportiva, proprio in quanto riesce a racchiudere in sé il desiderio da parte dell'uomo di possederla e di vivere le stesse emozioni del pilota futurista: l'auto sportiva rappresenta l'essenza, il punto più alto dello sviluppo di un determinato marchio, e ne diventa portabandiera.

Nei saloni internazionali dedicati all'auto, i maggiori produttori di automobili espongono, oltre a quella che è la loro offerta in fatto di prodotti, il proprio processo creativo, il lavoro che viene portato avanti dai centri stile, il bagaglio di conoscenza tecnologica, storia ed ispirazione, ed hanno bisogno di un simbolo, un'icona che riesca a sintetizzare questa mole enorme di dati, presentandola in maniera efficace e semplice al pubblico.

L'individuo, che sia determinato all'acquisto di un'auto o che sia già un affezionato di un marchio in particolare, deve riuscire a comprendere il pensiero che si cela dietro ad un'utilitaria o ad un SUV, il filo logico formale che permette di accostare modelli differenti tra loro e contemporaneamente al simbolo che si trova su ognuno di essi: c'è bisogno dunque di qualcosa che attiri l'attenzione, che sia veicolo di messaggi emozionali forti per la maggior parte degli utenti.

Per questo motivo, quelle che vengono definite concept cars, i prototipi di stile e tecnologia delle auto di domani, hanno sin dalla loro prima apparizione nei primi anni del novecento, una fortissima connotazione sportiva.

L'auto riconosciuta come la prima auto concept car della storia è la Cadillac La-



Salle, disegnata dal primo designer di auto della storia, Harley Earl: questa Cadillac era una versione cabrio a due posti di una vettura di produzione di quegli anni, ma il designer l'aveva stravolta a tal punto da diventare un'auto a sè, un concetto appunto, qualcosa che rappresentasse valori più profondi della nascente produzione in serie. L'auto debuttò alla 500 Miglia di Indianapolis del 1927 come pace car, e raggiunse nei test alla General Motors una velocità di 153 Km/h, quattro meno della media dell'auto vincente proprio della 500 Miglia.

Dopo aver visto cosa era capace di realizzare Harley Earl con le proprie automobili, la GM decise di inaugurare un nuovo dipartimento nella sua sede di Detroit, chiamandolo "Arte e Colore" e mettendo alla conduzione il giovane Earl.

La sua prima, vera, creazione ufficiale per la GM fu anche la prima vera concept car ufficiale nella storia di un marchio: si tratta della Buick Y-Job del 1938.

Una carrozzeria da coupè cabriolet ad

apertura elettrica, prima nella storia, con un lunghissimo cofano e ruote coperte da parafanghi morbidi e bombati, ispirati alle carlinghe degli aerei dell'epoca: il nome Y-Job deriva proprio dal codice dei progetti speciali aeronautici, denominati appunto da una Y.

Luci di posizione nascoste, alzacristalli elettrici, tutte funzioni che sarebbero state trasportate sulle auto di tutti i giorni solo tra qualche decennio, e tutte perfettamente funzionanti pur trattandosi di una concept car: non è solo una ricerca di stile, ma un laboratorio tecnologico e costruttivo funzionale.

La sportività, l'esclusività e l'importanza delle concept car, di qualsiasi marchio esse siano, è rimasta intatta sino ai giorni nostri, e la propria funzione è forse diventata più rilevante in questi tempi, in cui il mercato dell'auto ha bisogno di una spinta accessoria per uscire da una crisi piuttosto marcata.

## 2. Concept car di serie

Le persone hanno bisogno di avere nuove icone, nuovi sogni da inseguire, per poter pensare che un futuro migliore è possibile, e l'auto sportiva di certo è l'arma migliore che l'industria automobilistica possiede per far sì che ciò accada.

Questo non è solo appannaggio delle più importanti firme della tradizione motoristica, come Ferrari, Lamborghini, Jaguar, oppure delle rinascenti carrozzerie italiane come Touring, Pininfarina o Giugiaro, ma l'auto sportiva è un'arte che è stata assorbita e metabolizzata anche dai marchi automobilistici di più recente fondazione, come quelli dell'estremo oriente come Mazda, Lexus o Kia, ed ha un ruolo di fondamentale importanza.

Queste case non possono contare sul bagaglio culturale di tradizioni storiche che hanno portato alla creazione delle prime competizioni, delle prime auto da corsa e dell'identità automobilistica nazionale svi-

luppata in Europa in oltre un secolo, ma hanno equamente bisogno di quel senso di emozione ed attrazione nei confronti del proprio prodotto che solo un'auto concettuale sportiva può comunicare: per questo motivo i centri stile di queste case hanno dovuto imparare le modalità, i processi e il significato che disegnare un'auto sportiva rappresenta, ma integrare questa conoscenza con la propria tradizione nazionale e con la loro supremazia in fatto di tecnologia.

Il risultato di questa evoluzione è rappresentato da automobili come la Lexus LFA, o da concept car come la Mazda Furai. Nel caso della LFA, la Lexus ha voluto creare quella che è a tutti gli effetti la prima super-car giapponese, che fosse in grado di rivaleggiare con Ferrari e Lamborghini, ma che risultasse essere perfettamente coerente con il marchio rappresentato. Lexus ha dovuto coniugare il rigore e l'eccellenza giapponese nel campo della tecnologia con la tradizione delicata e naturale

del territorio di provenienza: il risultato di questa concezione è stato presentato soltanto dopo oltre un decennio di sviluppo, nel quale sono state sviluppate tre differenti concept car, che hanno segnato l'evoluzione dell'auto.

La motivazione della quantità enorme di tempo necessario al completamento del progetto non è altro che la necessità di compensare la mancanza di una tradizione sportiva radicata nella cultura del paese, sostituendola con altri valori



progettuali che portassero comunque alla generazione di una forma in grado di comunicare gli stessi valori al pubblico. Inoltre, il progetto LFA si è evoluto anche in termini materici, partendo da una tradizionale carrozzeria in alluminio, il materiale per eccellenza dei battistrada italiani, per arrivare a delle superfici ricavate da polimeri compositi rinforzati con fibre di carbonio, nel solco tipicamente giapponese delle più avanzate tecnologie esistenti sul mercato. E' stata creata così l'icona, il punto focale del marchio Lexus, la propria personale interpretazione del concetto di automobile sportiva, dalla quale tracciare il futuro tecnologico e stilistico dell'intera produzione della casa.

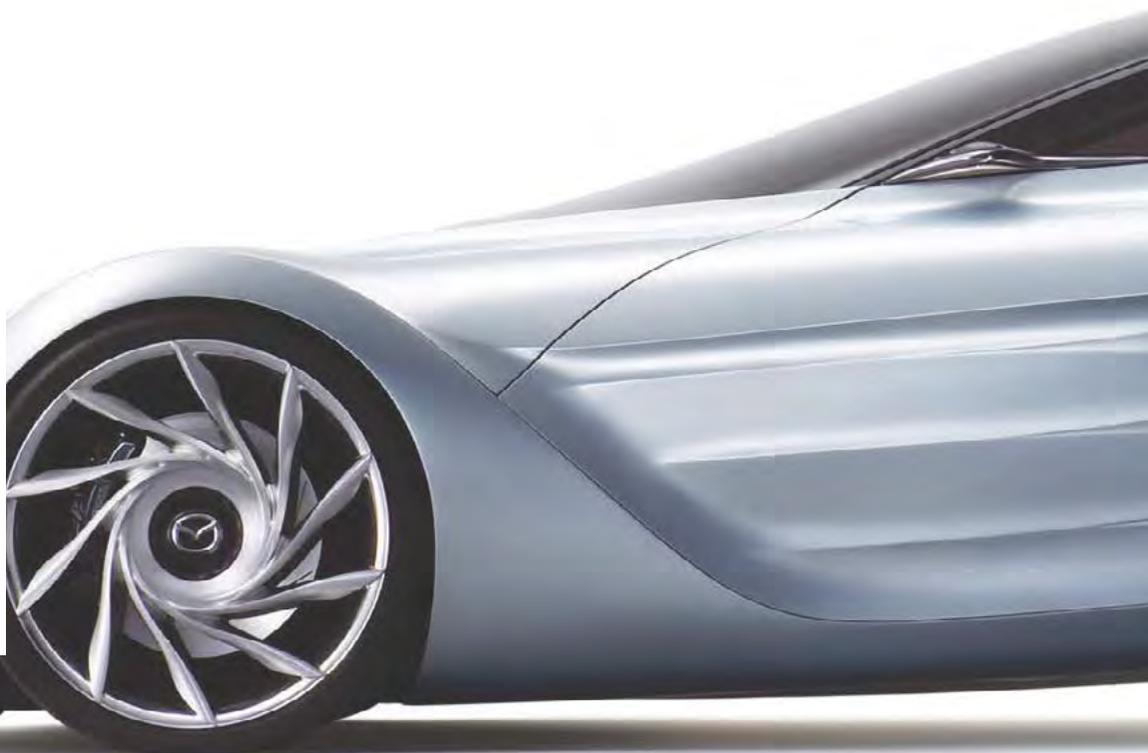
La serie di concept cars denominata Nagare ( flusso in giapponese ) ha portato Mazda ad ottenere la stessa attenzione da parte del pubblico, ma su una scala molto meno elitaria e molto più rivolta alla produzione in serie rispetto a Lexus.

Nel caso di Mazda, l'auto sportiva è stata affrontata secondo una metodologia ispirata alle radici culturali giapponesi e al loro rapporto con la natura: il "flusso" che contraddistingue la serie di concept progettati è lo scorrere dell'acqua, la forza del vento che modella la sabbia, il flusso energetico che contraddistingue il pensiero zen orientale.

Questa base di valori fortemente legati alla religione ed alla spiritualità, uniti al concetto classico di automobile sportiva, hanno dato vita ad un linguaggio formale unico e riconoscibile, declinato in vari modelli relativi ai vari segmenti delle automobili prodotte dalla casa.

La più rappresentativa è sicuramente la concept Furai, che evoca la visione di un prototipo Le Mans da competizione ispirato alla 787B, l'unica vettura da gara della casa nipponica ad aver vinto una competizione mondiale.

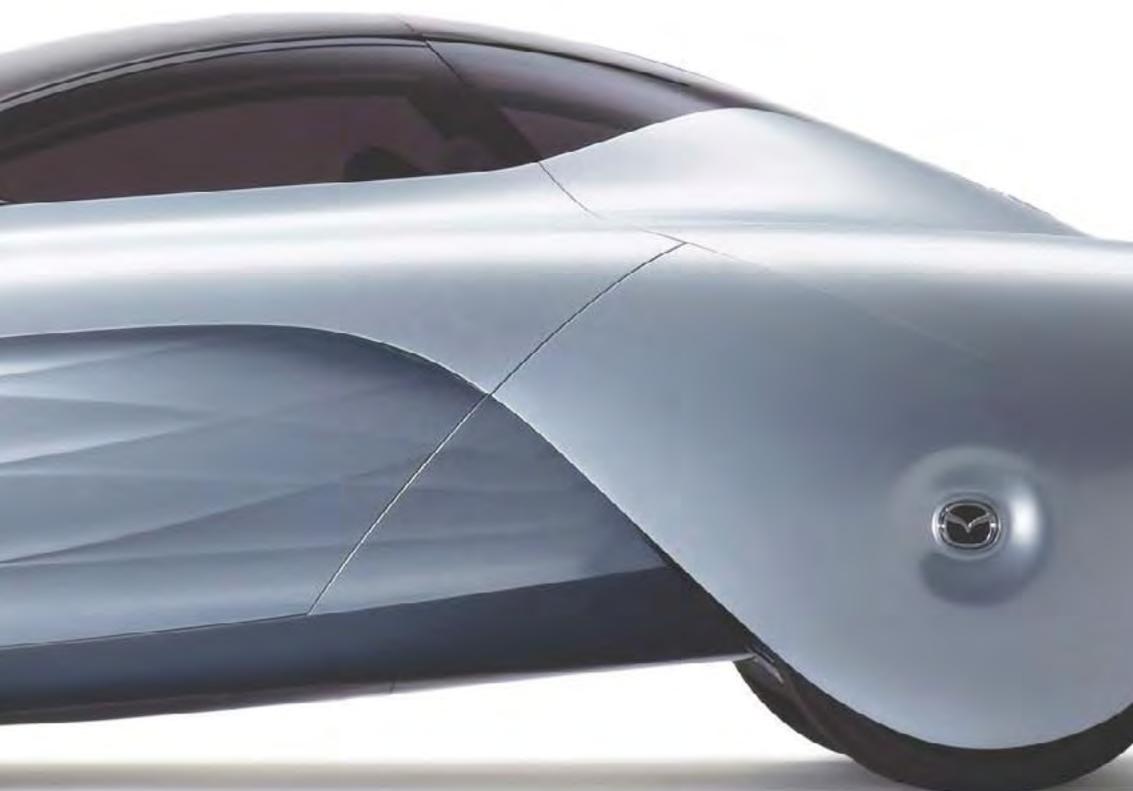
Furai vuol dire letteralmente "suono del vento", e rivela quindi uno studio del flusso





aerodinamico che viene utilizzato per scolpire direttamente la carrozzeria dell'auto e per renderla funzionale utilizzando il linguaggio formale Nagare, plasmando il metallo come se fosse la natura stessa a disegnarla mentre l'auto acquista velocità: il risultato è una carrozzeria che sembra muoversi anche quando in realtà è ferma. Questi concetti, profondamente influenzati dalla filosofia e dalle arti giapponesi, sono stati applicati allo stesso modo sulle vetture di produzione di Mazda, e ne hanno decretato la rinascita dopo un periodo buio e sterile, dimostrando che investire in qualcosa di astratto come può essere un concept di tipo sportivo molto estremo è un'operazione capace di calamitare l'attenzione di tutto il pubblico nei confronti della propria filosofia progettuale, e permette di valutare se la strada intrapresa può essere più o meno corretta prima di passare alla produzione in serie.

### 3. Bellezza tecnica



L'esplosione emozionale può essere dunque creata utilizzando i mezzi del design, seguendo molte strade come abbiamo visto, spaziando tra tradizione e innovazione tecnologica; tuttavia l'emozione della guida sportiva, l'ideale del pilota in gara, ha bisogno anche di altri elementi fondamentali per essere ricreata e soddisfatta appieno. Enzo Ferrari, fondatore della scuderia e, in seguito, della casa automobilistica, diceva che l'automobile più bella è quella vincente: la bellezza della tecnica e della meccanica sopra la bellezza della forma di una carrozzeria sapientemente battuta, un'auto di proporzioni perfette è nulla se non ha la capacità di correre più veloce delle altre. Nella categoria già particolare delle automobili sportive esiste una nicchia che fa di questa filosofia il tema progettuale dominante, rinunciando all'ispirazione che scaturisce dai centri stile o dalla tradizione di carrozzeria, ma attingendo a piene mani

dalla tecnica applicata alle competizioni. Le soluzioni progettuali presenti nelle auto da corsa sono caratterizzate dall'attitudine alla prestazione pura, e di conseguenza non risentono di influenze esterne all'unico scopo del veicolo, ovvero l'essere più veloce dei propri avversari.

Questa ricerca della prestazione a tutti i costi può essere perseguita in varie aree del veicolo, la prima delle quali può essere il comparto motore-cambio: tuttavia le competizioni sono regolamentate da organizzazioni che livellano le potenze dei motori dei vari costruttori al fine di eliminare un eventuale, facile, vantaggio.

La ricerca si sposta dunque in altri ambiti, come quello dell'aerodinamica, del telaio e delle sospensioni.

Tralasciando il comparto aerodinamico, che richiede tempistiche di sviluppo molto complesse e prolungate, il modo più conosciuto per aumentare le prestazioni di una vettura è limitare il peso delle componenti che compongono la struttura del telaio.

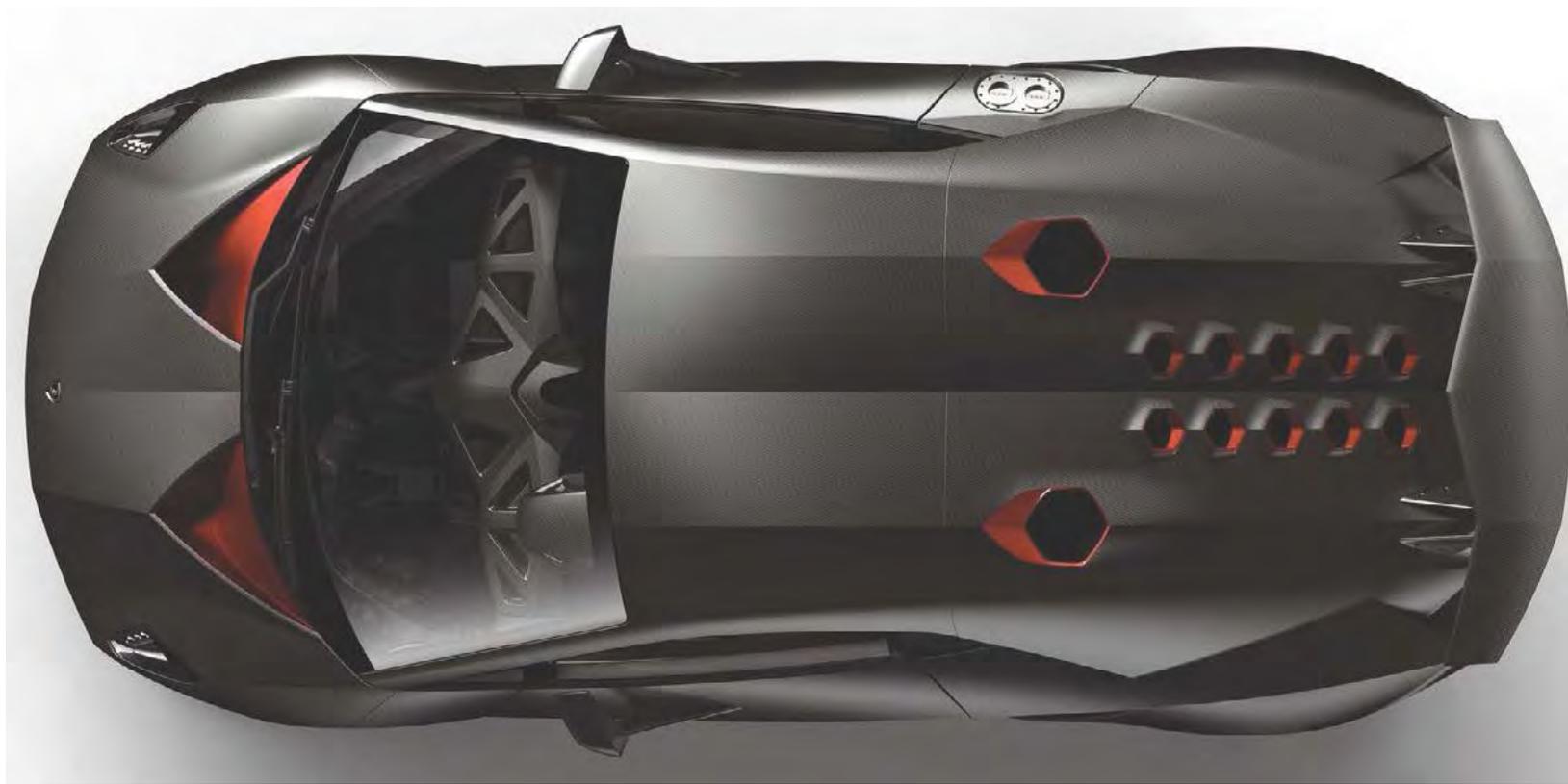
Negli anni di maggiore sviluppo del campionato di Formula Uno, a cavallo tra il 1960 e il 1980, ci fu un personaggio che apportò un contributo di enorme valore innovativo nella progettazione delle monoposto della

massima serie mondiale: Colin Chapman. Chapman, un ingegnere inglese proveniente dal prestigioso University College di Londra, fondò nel 1952 un'azienda chiamata Lotus Cars, utilizzando le sue conoscenze relative all'ingegneria aeronautica per produrre automobili.

Dopo aver costruito e gareggiato in competizioni locali con le Lotus 6 e Lotus 7, della quale ancora oggi vengono prodotti vari modelli con il marchio Caterham, Chapman decise di entrare a far parte del circo della Formula Uno, con la Lotus 25 guidata da Jim Clark.

Il credo progettuale di Chapman era "Ag-





giungere cavalli al motore può renderti più veloce in rettilineo, togliere peso da tutta l'auto ti renderà più veloce ovunque", e lo applicò da subito alle sue auto da F1. Fu il primo ad abbandonare il telaio tubolare in acciaio in uso all'epoca, per sostituirlo con un telaio in lamiera d'alluminio, saldato e rivettato, che prese il nome di "monoscocca", e risultò non soltanto più leggero e resistente della controparte in estruso, ma migliorò notevolmente la sicurezza dei piloti in caso di impatto. Questa concezione è rimasta tutt'oggi il metodo dominante di costruzione dei telai in F1, nonostante il materiale utilizzato è il composito, a base di fibra di carbonio.

Chapman trasportò questa costruzione anche nelle sue automobili stradali, ed in particolare la prima fu la Lotus Elite del 1958, che per la carrozzeria utilizzava la fibra di vetro, anch'essa una prima mondiale. Inoltre, il progettista fu il primo ad utilizzare in maniera estensiva profili aerodinamici sulle F1, dapprima montati alti sulla scocca, per utilizzare l'aria pulita, non disturbata cioè dalle turbolenze dell'auto sottostante.; in seguito, Chapman decise di generare deportanza aerodinamica utilizzando il fondo, nel quale creare una zona di bassa pressione che schiacciasse la vettura a terra alle alte velocità. Per migliorare la tenuta e il comportamento

delle vetture sulla strada alle alte velocità, Chapman decise di spostare tutte le componenti che si trovavano fino ad allora sul frontale della vettura, al centro del telaio, così da accentrare le masse in mezzo agli assi ruota e abbassare il centro di massa dell'auto. Ogni singola soluzione tecnica adottata dalla Lotus sotto la guida del suo fondatore è rimasta ancora oggi alla base della progettazione delle più moderne auto da competizione, non solo in Formula Uno, ma in ogni categoria del motorsport mondiale. Tutti gli sviluppi che Colin Chapman apportò alle auto durante il suo impegno in Formula Uno, campionato in cui vinse sette



Titoli Costruttori e sei Titoli Piloti tra il 1962 e il 1978, vennero in seguito trasportati sulle Lotus di produzione, come la Esprit, la Elise e la Exige, auto riconosciute a livello mondiale per la purezza della loro guida e la capacità, con molta meno potenza, di garantire prestazioni a livello di auto ben più blasonate.

#### 4. Stradali da corsa

Anche grazie a questo progettista, ad oggi nel mondo è possibile trovare molti costruttori che hanno creato vetture stradali seguendo la filosofia del risparmio del peso e dell'ottimizzazione dei materiali, piuttosto che l'aumento della potenza; automobili che si rivolgono a quegli utenti che vogliono provare le stesse sensazioni che solo un'auto progettata per lo scopo specifico della prestazione, come un'auto da gara, può garantire.

In particolare si è sviluppata una vera e propria nicchia di mercato dedicata a questo tipo di vetture e utenti, che racchiude tutte le automobili dedicate ad un uso sportivo intenso su pista ma che è possibile guidare regolarmente su strada. Questa nicchia ristretta viene denominata track day cars, in italiano "automobili per giornate in pista" e si rivolge proprio a persone che amano la guida, ma che per impegni familiari e lavorativi non possono acquistare un'auto con carrozzeria sportiva, come coupé a due posti secchi, e di conseguenza preferiscono acquistare un veicolo completamente dedicato alla guida in pista, con ovvi compromessi dal punto di vista del comfort e dell'affidabilità, per recarsi nel circuito più vicino e passare giornate intere organizzate con turni di guida assieme ad altri appassionati. Pur trattandosi di una parte del mercato dell'auto posizionata all'estremo, vi sono

moltissime case costruttrici che dedicano a questa tipologia di utenza, modelli specificamente progettati, che essendo notevolmente spartani e mancando di qualsiasi comfort interno, vengono venduti a prezzi paragonabili a quelli di una vettura media molto accessoriata.

La BAC, Briggs Automotive Company, è una piccola azienda britannica, fondata nel 2009, con l'obiettivo di progettare un'automobile sportiva ad altissime prestazioni, utilizzando una filosofia progettuale molto vicina a quella di Colin Chapman. Il risultato è la BAC Mono, un veicolo monoposto disegnato attorno alle esigenze del pilota e alla sensazione della guida sportiva.

La costruzione del telaio è multimaterica, e si basa su una struttura primaria in acciaio con telaietti accessori in composito a fibra di carbonio.

La posizione di guida è centrale alla



vettura, con il motore immediatamente dietro le spalle del pilota, e la carrozzeria è di tipo barchetta, senza quindi nessun parabrezza, nè tetto a proteggere l'individuo dall'ambiente esterno: il compromesso a favore del comfort è totalmente assente. Sul muso è possibile trovare un piccolo scomparto per una borsa e un casco, che agisce anche da attutitore in caso di impatto frontale.

Il design dei pannelli della carrozzeria segue e aderisce perfettamente la meccanica sottostante, lasciando intravedere gli organi meccanici più esterni come sospensioni, radiatori e cambio: è un veicolo essenziale ed estremo che riflette perfettamente quella che è la sua funzione, ovvero garantire eccellenti prestazioni nella guida sportiva in circuito.

La Ariel Motor Company è, ancora una volta, un'azienda fondata in Inghilterra nel 2001 ed è la più piccola compagnia

automobilistica in attività, con soli sette lavoratori e meno di 100 vetture costruite all'anno.

Le vetture prodotte dalla Ariel riflettono ancora meglio le tematiche della riduzione del peso, dell'essenzialità progettuale e della sportività trattate in questo capitolo, perchè si tratta del primo veicolo stradale al mondo ad essere disegnato come un esoscheletro attorno a pilota e passeggero: il design che risulta da questo concetto è molto estremo, ma molto caratterizzante. L'auto si compone di un telaio in tubolare di acciaio che abbraccia tutte le componenti interne, compreso l'abitacolo, e le espone completamente all'esterno, senza utilizzare nessun tipo di carrozzeria: il motore, le sospensioni, gli organi del cambio sono tutti visibili attraverso il traliccio portante in estruso.

Questa particolare costruzione la rende una delle auto stradali più leggere in

produzione, circa 500 Kg, e permette con un motore relativamente poco potente per un'automobile sportiva, 200 cavalli, di raggiungere uno scatto da zero a cento Km/h in soli 2,7 secondi.

Si potrebbe banalmente pensare che un prodotto di questo genere non abbia mercato, che sia destinato a scomparire a causa delle contingenze economiche dell'era moderna: ebbene, proprio in questa particolare nicchia di veicoli, risiedono i valori più classici legati al disegno industriale, che si mantengono vivi grazie all'esclusività della produzione, e alle dimensioni minime dell'ambiente di lavoro.

In piccole aziende come la Ariel Automotive è possibile ancora trovare quel connubio contrastante di fortissima caratterizzazione artigianale della produzione e utilizzo di materiali tecnologicamente avanzati, ma anche materiali naturali utilizzati con tecniche di lavorazione all'avanguardia:

questa stessa sensazione di “fatto a mano” è esattamente ciò che le grandi potenze dell’auto mondiale cercano di replicare in una scala enormemente più grande per mezzo della produzione seriale automatizzata, in modo da tentare di vestire i loro prodotti di quello stesso valore aggiunto che è possibile trovare in prodotti che vengono seguiti da due, tre individui al massimo lungo tutto l’arco della produzione. Anche per queste motivazioni, una nicchia ristretta di mercato come quella delle auto sportive da track day riesce a sopravvivere e , anzi, a conquistare mercati nuovi ed emergenti, che richiedono quell’attenzione maggiore al dettaglio e quell’imperfezione di lavorazione che caratterizza una produzione limitata a pochi pezzi, che il mercato dell’automobile moderno non riesce a garantire, a causa dell’enormità della scala produttiva.

Un ultimo esempio di progettazione industriale molto di nicchia, ma che incarna perfettamente la tesi esposta in questo capitolo, è quello della Morgan Motor Company.

Questa piccola azienda automobilistica, anch’essa con sede nel Regno Unito, è nata nei primi anni del 900, ed era specializzata in una particolare tipologia di veicolo, caratterizzato dall’uso di tre sole ruote. Il concetto era quello di progettare un veicolo economico, leggero, tecnicamente molto semplice nelle sue componenti in modo da poter essere riparato con facilità, e che fosse anche non soltanto un oggetto per spostarsi, ma che riuscisse a dare ai suoi occupanti una sensazione di piacere di guida molto più alta rispetto ai classici veicoli a quattro ruote.

Tutto questo, nel 1910, con un mercato dell’auto in fervente sviluppo, era a dir poco ambizioso e molto rivoluzionario. Il progetto della three wheeler è tutt’ora una lezione in termini di uso innovativo dei materiali e di progettazione volta alla riduzione massima delle componenti.

Il veicolo si basa su di un semplice telaio





tubolare in acciaio, con alcuni elementi stressati realizzati utilizzando legno di frassino, e una carrozzeria completamente in alluminio, che prende ispirazione dalle carlinghe degli aerei da combattimento inglesi.

Il motore è di derivazione motociclistica, utilizzato per la semplicità costruttiva, la compattezza e per il costo minore, e trova posto tra le due ruote anteriori, privo di qualsiasi copertura che lo nasconda.

La trasmissione manda la potenza all'unica ruota posteriore, posta immediatamente dietro l'abitacolo, e questo permetteva al pilota di avere una connessione immediata con la strada, permettendogli di "sentire" qualsiasi reazione della vettura.

Il risultato è un veicolo dal design strettamente funzionale, ma che proprio per questo risulta estremamente caratteristico e difficilmente replicabile modificando anche solo uno degli elementi che lo compongono.

La Morgan ha recentemente reintrodotta la Three-Wheeler sul mercato, lasciandone il progetto quasi interamente invariato, se non con qualche modifica per aumentarne la sicurezza e la tenuta di strada e adeguarla alle regole della viabilità moderna: per questo motivo non si può paragonarla al movimento "rétro design" che si è fatto strada con la nuova Mini e la nuova 500. Entrambe sono vetture che sono state disegnate per sembrare come le loro progenitrici, la Morgan al contrario è esattamente identica alla sua antenata, e proprio per questa ricerca dell'originalità del progetto e del gusto per l'artigianalità, e nonostante sia un veicolo che molti possono ritenere a ragione inutile, la Three-Wheeler ha riscosso un successo enorme sin dal momento della sua presentazione al salone di Ginevra 2010.





# 04

# Ottimizzazione Strutturale

## 1. Ispirazione naturale

Nelle fasi iniziali della nascita di un nuovo prodotto, in particolare nella fase di concept, il designer vede posto il suo ruolo in maniera centrale rispetto al progetto, in quanto è richiesta la visualizzazione formale di quella che fino a quel momento è stata soltanto un'idea, una visione scaturita da un'insieme di fattori contingenti, magari dopo un lungo periodo di brainstorming tra entità professionali completamente diverse tra loro e molto spesso estranee al mondo della progettazione nel suo significato più pratico.

A questo punto, il designer ha il compito di conciliare opinioni, ricerche, pensieri, suggerimenti, e tutti quegli elementi evidenziati come fondamentali per la riuscita del progetto finale, e unirli con la sua personale visione del mondo che lo circonda.

E' un lavoro nel quale l'esperienza personale e il bagaglio di conoscenze che ogni progettista è riuscito ad accumulare nel corso degli anni fanno la differenza e riescono a concretizzare l'idea e congelarla in una forma che sia coerente e innovativa. L'ispirazione è la parola che viene utilizzata per definire questo insieme di fattori in maniera semplice e diretta, e l'oggetto dell'ispirazione può essere qualsiasi: è assolutamente fisiologico al processo creativo in atto nella fase concettuale di un progetto, riferirsi ad ambiti completamente estranei a quello in cui ci si trova ad operare.

E' usuale quindi, nel progettare un'automobile, chiamare in causa il mondo dell'orologeria di precisione, con la sua attenzione per i dettagli minimi e l'intricato lavoro dei meccanismi, oppure isolare certi elementi

tipici dei veicoli militari, in particolare il affascinante mondo dell'aeronautica e le superfici esterne lisce e gli abitacoli centrotorace attorno al pilota, o ancora lasciarsi influenzare dal mondo della narrativa a fumetti, utilizzando gli scenari futuristici disegnati su carta come la base sulla quale costruire la rappresentazione visiva dell'idea.

Tuttavia il migliore, e il più abusato, riferimento che ogni progettista può e deve prendere in considerazione è e sarà sempre la natura.

Il mondo naturale è il luogo nel quale ogni "progetto" viene costantemente modificato per adattarsi al suo ambiente, ed è costretto a farlo, se vuole sopravvivere il più a lungo possibile, e convivere insieme agli altri "progetti".

In natura, il concetto di estetica fine a se stessa non esiste: l'estetica è un concetto inventato dall'uomo per definire gli aspetti percepibili di un oggetto o di un'entità, riducendolo ai minimi termini potremmo definire l'estetica come un giudizio dell'uomo.

La natura al contrario, si basa esclusivamente su ciò che funziona per ogni singolo progetto, su ciò che permette a quel particolare progetto di utilizzare il minimo energetico, materico e spaziale possibile, e riuscire a vincere la resistenza dettata dall'insieme dei fattori ambientali che lo circondano.

In poche parole, la natura applica un costante e infinito lavoro di miglioramento ai progetti, per permettere loro di sopravvivere, senza mai raggiungerla, all'ottimalità formale e funzionale, ma solo a una ottimizzazione costante.

La prova che la natura fa un lavoro

noi, sebbene ne siamo ormai assuefatti. Basta infatti guardare fuori dalla finestra, e vedere come un albero si sia ramificato in una particolare direzione e ad un particolare angolo, in modo da poter sostenere il suo peso, il peso dei suoi frutti e di contrastare allo stesso tempo la forza del vento che cerca costantemente di piegarlo. Possiamo notare come per rompere il guscio di un uovo, dobbiamo esercitare una forza concentrata in un punto, sebbene si tratti di una struttura con uno spessore di una piccola frazione di un millimetro: nell'uovo il materiale è stato ridotto al minimo, ma la sua rigidità viene proprio dal modo in cui questo materiale viene distribuito.

L'esempio più vicino a noi è sicuramente quello della struttura ossea, che cresce, si sviluppa e si modifica in maniera differente a seconda degli sforzi che l'individuo compie, e anche in questo caso, il materiale osseo tende al minimo possibile per non appesantire lo scheletro.

La dimostrazione di questo processo di continua modifica può essere trovata nelle ossa degli astronauti che hanno passato un periodo piuttosto prolungato a gravità vicina allo zero: essendo il loro scheletro sottoposto ad uno sforzo tendente allo zero, la loro struttura ossea si indebolisce, in quanto il loro fisico non ritiene necessaria ed ottimale la quantità di materiale osseo presente a gravità normale.

Il lavoro costante della natura possiede sicuramente una forte caratterizzazione estetica, ma è l'uomo stesso a conferirgliela e ad identificarla come "bella" o "piacevole", semplicemente perchè si tratta della migliore forma possibile per l'applicazione specifica.

Tornando al problema iniziale, ovvero quello di un designer, che in fase concettuale deve dare una forma ad un'idea, la lezione della natura è sicuramente il modo migliore per affrontare in maniera completa la progettazione di un prodotto, in maniera particolare per la progettazione di un'auto-





mobile, che in sostanza risulta essere una struttura in movimento, soggetta quindi a forze ambientali che incidono molto sulla sua rappresentazione formale. Sebbene il designer possa osservare il prodotto della natura, analizzarne le caratteristiche che hanno portato alla sua evoluzione, e ispirarsi alla sua esemplificazione formale, è molto più complesso utilizzare lo stesso metodo che la natura utilizza per giungere alle sue stesse conclusioni.

## 2. Metodo progettuale

Bisogna considerare come il mondo naturale sia governato da leggi invisibili, che l'uomo, durante il corso della sua storia evolutiva, ha potuto osservare, studiare e sintetizzare in teorie che sono poi state confermate in maniera empirica. Le leggi della natura quindi si sono trasformate in ciò che chiamiamo matematica,

fisica, tecnica delle costruzioni, e vengono costantemente utilizzate per permettere all'uomo di realizzare prodotti che riescano a interagire con l'ambiente naturale e funzionare correttamente.

Pensiamo a come un edificio molto alto riesca ad essere stabile sulle sue fondamentazioni, e come riesca allo stesso tempo a resistere alla forza del vento che lo colpisce su ogni faccia, e addirittura come riesca a non danneggiarsi in maniera permanente o infine crollare se colpito da un terremoto. Ma in una scala minore, pensiamo ad un'automobile, e a come la sua forma debba assecondare la crescente forza di resistenza che l'aria oppone al suo avanzamento, e a come questa forma influenzi il consumo di carburante, la velocità massima e il rumore percepito all'interno dell'abitacolo.

Come è possibile notare, ad ogni livello, ad ogni scala, è fondamentale nella proget-

tazione simulare la reazione del progetto alla sollecitazione delle forze dell'ambiente naturale, e modificarne la forma affinché ogni possibile scenario che possa inficiarne la funzionalità sia considerato.

Questo richiede ovviamente un processo di lavoro che coinvolge molte figure professionali contemporaneamente, che devono interagire tra loro e completarsi per raggiungere il proprio obiettivo.

Nel caso in esame, bisogna analizzare le figure responsabili materiali per la creazione del prodotto, ovvero il designer, il cui compito come anticipato è materializzare un'idea, e l'ingegnere, che verifica l'operato del designer applicando il dominio delle leggi scientifiche.

Ovviamente, il processo viene ripetuto in maniera ciclica, affinché non si giunga ad una soluzione che unisca l'una e l'altra visione del prodotto, tuttavia la ripetizione di queste fasi è cruciale per ogni proget-

to, in quanto maggiore sarà il tempo nel quale l'idea venga finalizzata in una forma, e maggiori saranno i costi che l'azienda dovrà sopportare per vedere il suo prodotto sul mercato.

Comprensibilmente, un'idea che richieda un tempo eccessivo per essere esemplificata, presenta dei problemi sin dalla sua concezione, ovvero la fase concettuale della quale abbiamo esposto in precedenza. E' responsabilità del designer quindi elaborare un concept iniziale che prenda già in considerazione, a livello formale e di ipotesi materica, le fasi successive di verifica scientifica, senza che però queste restringano il campo creativo dal quale il designer può attingere, altrimenti il suo ruolo all'interno del progetto verrebbe meno.

Bisogna quindi trovare degli strumenti che permettano di fare una media tra la pura ispirazione creativa dettata dal background del designer e l'ispirazione che deriva dalla realtà delle leggi a cui è sottoposta la natura stessa, senza però che quest'ultima prenda il sopravvento in maniera totale.

La figura del designer infatti non sarebbe in grado di comprendere appieno la teoria scientifica alla base delle verifiche effettuate da un ingegnere per poter realizzare un prodotto, così come un ingegnere non è istruito per riuscire a sintetizzare un briefing progettuale dove venga richiesto un valore aggiunto al puro ed effettivo funzionamento del prodotto.

Quello di cui un designer ha bisogno è una guida, un indirizzo che, partendo dalle sue ipotesi formali iniziali, ne corregga gli aspetti strettamente strutturali lasciando invariata l'impostazione di base.

### 3. Ottimizzazione: storia e metodologie.

Com'è possibile sintetizzare il comportamento della struttura naturale, la sua capacità di adattamento e di ottimizzazione del "disegno" e adattarla di volta in volta ad ogni singolo progetto?

Esistono aziende che si occupano esclu-

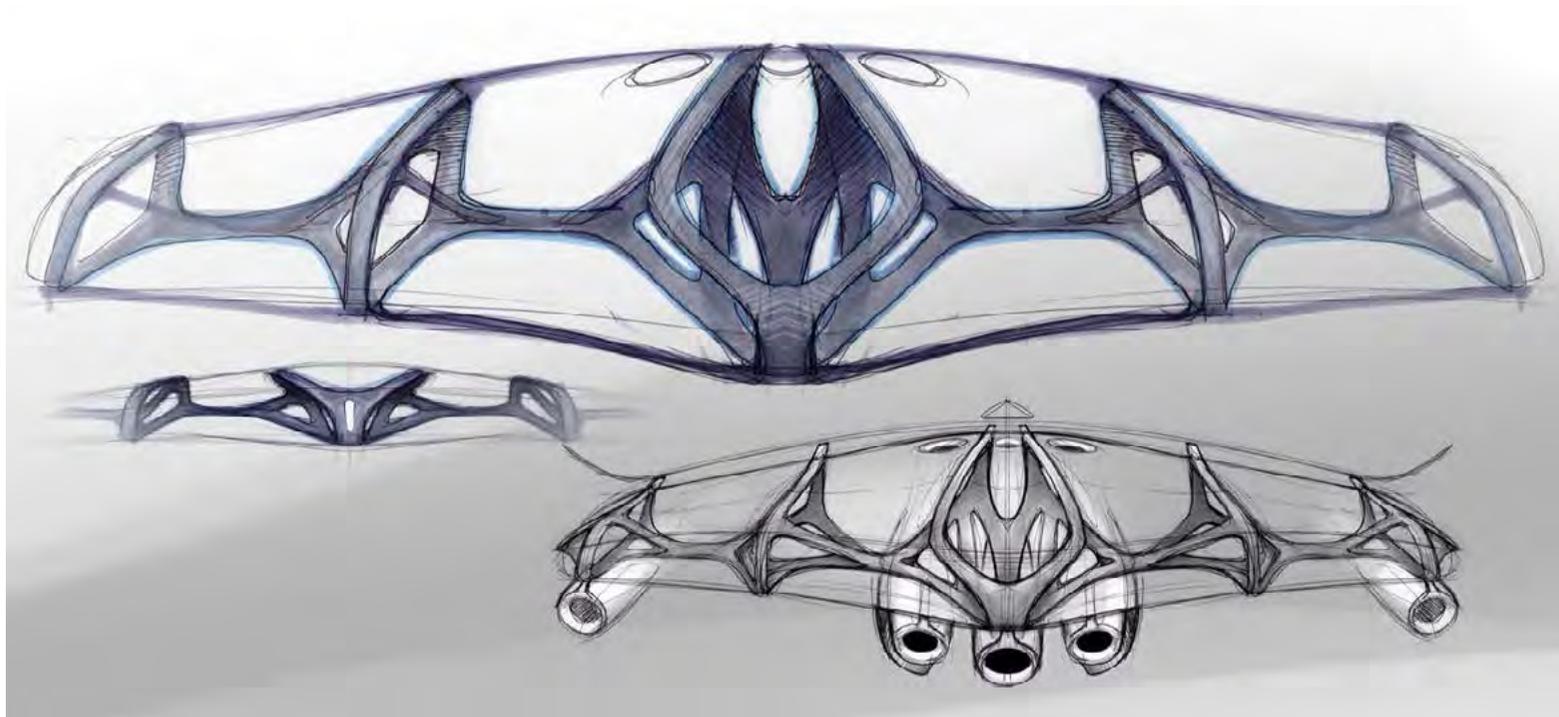
sivamente di estrapolare e riassumere in maniera matematica gli algoritmi con i quali la natura riesce a costruire e ad adattare la sua forma all'ambiente, per poi inserirli all'interno di strumenti software specializzati proprio per aiutare i progettisti ad ottenere le indicazioni formali di cui hanno bisogno.

Non è necessario quindi procedere empiricamente, e testare fisicamente il comportamento delle strutture ma è possibile utilizzare questi sistemi matematici applicati al proprio caso specifico per generare tante ipotesi formali quanti sono i casi reali ai quali il progetto viene sottoposto.

Questo processo, in ambito strettamente matematico, viene identificato con il nome di ottimizzazione strutturale.

L'ottimizzazione strutturale è una disciplina matematica nata concettualmente dapprima con Galileo, che identificava come la resistenza dei materiali variasse a seconda della loro applicazione in varie forme, e soprattutto che in alcuni casi non fosse necessario utilizzare sezioni identiche lungo





un elemento strutturale, come ad esempio una trave, se il carico a cui questo elemento viene sottoposto non fosse uniforme lungo tutto l'elemento stesso: si prende così in considerazione la variazione della forma a seconda della funzione e delle circostanze in cui la struttura si trova ad operare.

Portando questo concetto ai giorni nostri, l'ottimizzazione strutturale è un processo semi-automatico con il quale, a partire da un volume materico iniziale, si riesce ad ottenere una soluzione di progetto funzionale a determinate condizioni di contorno impostate dal progettista, come forze e vincoli.

L'ottimizzazione ha quindi bisogno che il progettista definisca dapprima un involucro di materiale che, ad esempio, racchiuda lo spazio interno di un edificio, o nel nostro caso specifico, un abitacolo di una vettura, ma può trattarsi di oggetti anche molto più

semplici, come il volume di materiale di una sedia o, ancora più semplicemente, di una scarpa.

Bisogna dunque conoscere, anche in base alla tipologia di oggetto, il materiale con il quale realizzare l'oggetto stesso: ogni materiale avrà caratteristiche di rigidità differenti che influenzeranno in maniera molto forte il processo di ottimizzazione. In seguito bisogna distinguere il contorno di condizioni di esercizio tipiche alle quali l'oggetto in esame è sottoposto.

Prendendo ad esempio un edificio, esso dovrà resistere dapprima al suo stesso peso, scaricato sulle fondamenta, a questo carico vanno aggiunte tutte le forze che gli agenti atmosferici esterni applicano alla struttura periodicamente, e variabili a seconda della collocazione spaziale della stessa: ad esempio, il peso che la neve esercita sul tetto dell'edificio.

Oltre alle forze, è necessario stabilire dei

vincoli dei quali l'ottimizzazione deve tenere conto per essere veritiera, come ad esempio quanti punti di appoggio la struttura deve rispettare.

E' possibile differenziare l'ottimizzazione strutturale in due metodologie diverse per quantità e approfondimento del controllo che si attua sul procedimento, e di conseguenza sulla libertà e sull'automazione che il processo può esercitare.

La più complessa, e anche la più completa, è l'ottimizzazione parametrica.

Essa si caratterizza per l'inserimento di alcuni parametri specifici, grandezze numeriche poste manualmente dal progettista, alle quali il modello matematico deve far riferimento per raggiungere l'obiettivo del processo.

Esse possono oscillare tra un minimo ed un massimo accettabile per essere prese in considerazione, ed è possibile inserire come variabili grandezze fisiche come il

modulo elastico dei materiali, lo spesso dei gusci, o anche i raggi di curvatura o di foratura in modelli cad parametrici. E' inoltre possibile utilizzare variabili di lavorazione, come ad esempio la direzione di laminazione nei compositi, per evitare che i risultati siano impossibili da riprodurre con le tecniche di costruzione standard. Un altro modo di concepire l'ottimizzazione strutturale è chiamato ottimizzazione topologica.

In questo secondo metodo, i parametri inseriti dal progettista sono minimi, mentre è l'algoritmo matematico stesso che si occupa di restituire o quantomeno indicare la conformazione ideale del componente secondo le forze ed i vincoli inseriti. Il risvolto negativo di questa procedura è la possibilità che la struttura possa risultare difficilmente riproducibile, specialmente se la tecnologia produttiva con la quale realizzare il componente è già stata stabilita anticipatamente.

In alcuni casi, e a seconda del software all'interno del quale si opera il processo di ottimizzazione, è possibile tuttavia inserire in maniera indicativa informazioni riguardo la direzione di stampaggio del componente, la direzione di estrusione o lo spessore minimo.

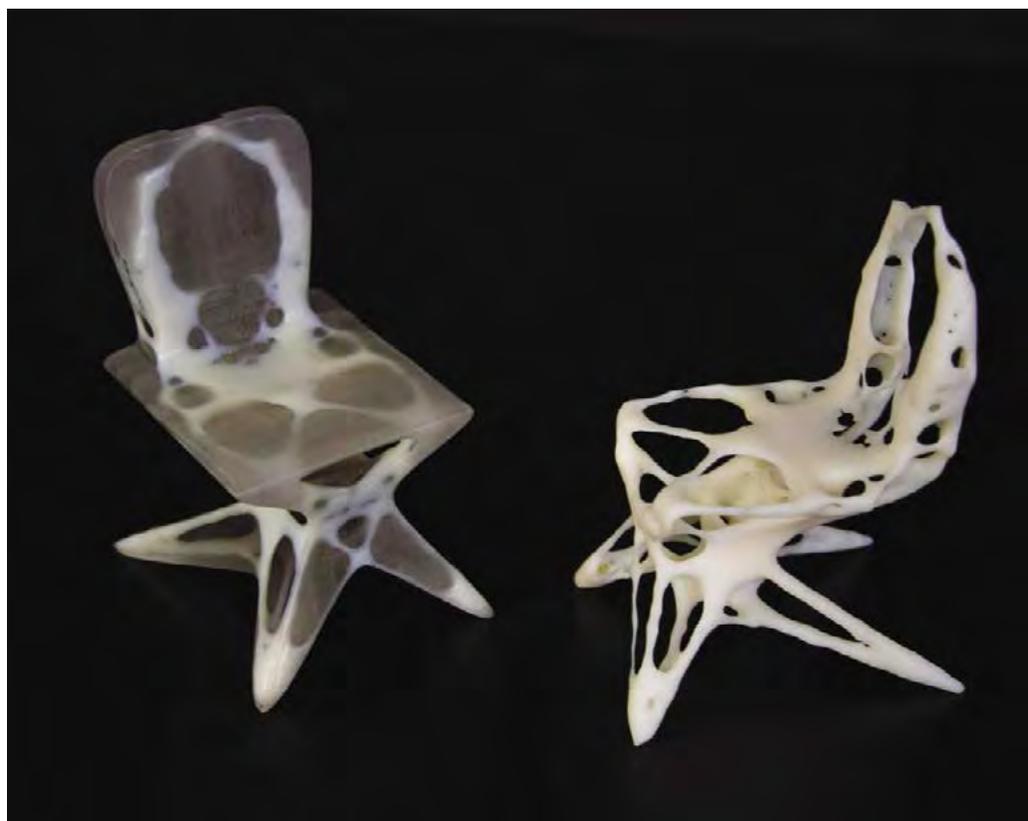
In entrambi questi metodi, il processo di ottimizzazione ha successo se il software è abbastanza potente e permette la scalabilità del processo, e se il progettista è capace di creare le condizioni di contorno necessarie, sufficienti e corrette da applicare al volume di materiale da ottimizzare. Tornando al caso in esame, un designer non necessariamente può indicare con precisione parametri che permettano di utilizzare un'ottimizzazione parametrica, perchè in una fase strettamente concettuale i processi tecnologici relativi al CAD non sono ancora stati stabiliti con precisione, ma si hanno esclusivamente indicazioni sugli eventuali materiali da utilizzare nella costruzione, oltre ad avere una serie di scenari d'uso del progetto dai quali

ricavare le forze necessarie a costruire le condizioni di contorno del processo. Se queste premesse non risultano sufficienti ad utilizzare un'ottimizzazione parametrica, il designer è comunque capace di mettere in atto un'ottimizzazione topologica del volume progettuale identificato, in modo da poter unire alla fase puramente creativa e concettuale un'ulteriore fase, che potremmo chiamare di verifica preliminare, nella quale possono essere generate delle forme corrispondenti a condizioni reali, ma che vengono utilizzate come ispirazione per giungere al progetto definitivo: è un processo ibrido, nel quale il concept pure viene sottoposto alle forze dell'ambiente naturale per simularne l'evoluzione formale, esattamente come la natura evolve i propri progetti.

L'obiettivo finale dell'ottimizzazione è l'uti-

lizzo, proprio come in natura, della minor quantità di materiale possibile per realizzare un progetto, a parità di resistenza alle condizioni di carico al quale è soggetto, dunque questo metodo di progettazione è quanto mai necessario in uno scenario che porta l'attenzione al risparmio di risorse primarie in posizione centrale rispetto ad ogni nuovo concept di prodotto: ottenere le stesse prestazioni minimizzando gli sprechi è il punto cardine del futuro di una produzione industriale che deve essere sostenibile per sopravvivere.

Il risparmio di peso inoltre, in alcuni ambiti come quello dei trasporti, è la chiave di volta per ottenere veicoli che abbiano un impatto sempre minore sull'ambiente, e che utilizzino in maniera più efficiente il carburante, qualsiasi esso sia.



## 4. Analisi e ottimizzazione con Altair

Lo strumento fondamentale affinché il processo di ottimizzazione venga completato con successo è sicuramente il software utilizzato, e la potenza degli algoritmi al suo interno, e che evolva costantemente in modo da adattarsi sempre a nuove problematiche, creando nuovi campi d'applicazione per questa tecnica.

La Altair Engineering è sicuramente l'azienda con la maggiore esperienza nel campo dell'analisi software applicata al campo della progettazione industriale, volta a minimizzare i tempi di sviluppo del prodotto e a simulare ogni possibile scenario, al fine di garantire la massima qualità possibile. Nata nel 1985 in Michigan, Altair è partner

chiave delle maggiori aziende mondiali che si occupano di design, progettazione, ingegnerizzazione e produzione di prodotti in tutti i settori del mercato: aerospaziale, automobilistico, medicale, beni di consumo, militare, energetico.

Tra le aziende e le organizzazioni governative che utilizzano i servizi di Altair possiamo trovare nomi come Boeing, GM, Volkswagen, Adidas, Canon, NASA, Caterpillar, Motorola.

Il raggio d'azione dell'azienda è molto vasto e, con esso, il know how che Altair ha accumulato nel corso dei quasi trent'anni di attività è molto specializzato.

Il principale prodotto di Altair è Hyperworks, una suite software di modellazione, analisi, ottimizzazione e calcolo ingegneristico, definito CAE ovvero Computer Aided Engineering.

All'interno della suite, operano i vari modelli matematici di simulazione sviluppati da Altair, ognuno dei quali fa capo ad un ambiente software con un compito specifico:

**Modellazione** - Hypermesh Si occupa di creare, a partire dal modello CAD importato, un secondo modello che sfrutta il metodo ad elementi finiti, FEM, e genera una mesh, una griglia di nodi ed elementi che definiscono le superfici del modello, alla quale è possibile associare parametri come materiali, spessori, vincoli e forze.

**Analisi** - RADIOSS E' il solutore standard di Hypermesh, ovvero un algoritmo che si occupa di leggere il modello creato con Hypermesh e risolvere i vari casi di carico in esso contenuti.

Si occupa specificatamente di risolvere problemi strutturali statici e dinamici, mentre per altre tipologie di modelli e scenari, vi sono altri solutori come AcuSolve, per risolvere modelli relativi alla dinamica dei fluidi, o Hypercrash, per analizzare strutture soggette a impatto.

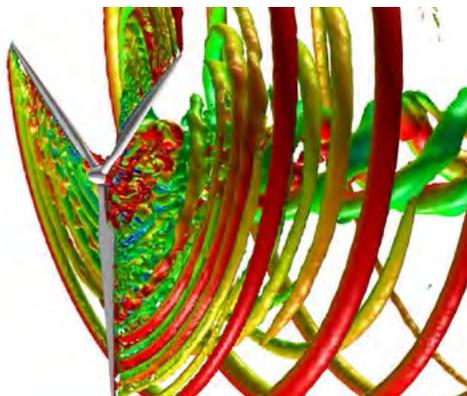
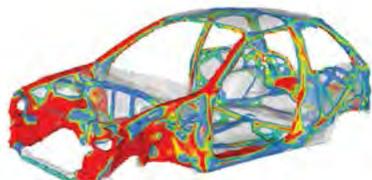
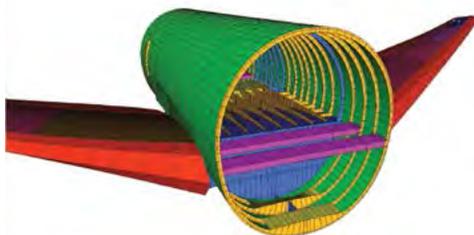
**Visualizzazione** - Hyperview E' il modulo con il quale viene visualizzato il risultato dell'analisi, e dove l'ingegnere è in grado di valutare l'effettiva validità del progetto, tramite grafici o anche direttamente sul modello, con animazioni dettagliate.

**Ottimizzazione** - Optistruct Si tratta del modulo nel quale è possibile, una volta conclusa la fase di analisi, impostare dei parametri e delle variabili con le quali l'algoritmo può agire sul modello, restituendone un'ulteriore versione ottimizzata.

Quest'ultimo è l'ambiente del quale maggiormente ci interessa argomentare.

La tipologia di software nella quale ricade Hyperworks si rivolge alla figura professionale dell'ingegnere, che può in questo ambiente modellare tridimensionalmente il progetto, applicare i vincoli strutturali, creare un caso di analisi, visualizzarlo ed eventualmente ottimizzarlo.

In precedenza abbiamo introdotto il concetto di ottimizzazione strutturale paramet-



rica, e il modulo Optistruct rappresenta esattamente la metodologia più complessa: in Optistruct è possibile indicare al software ogni valore desiderato e far sì che l'algoritmo segua esattamente le indicazioni che il progettista gli impone, in poche parole, le condizioni di contorno da valutare ed inserire in Optistruct sono molto complesse e possono portare a risultati non validi e non desiderati, qualora non si conosca a fondo il problema da risolvere.

Altair, tuttavia, non si rivolge esclusivamente al campo dell'ingegneria e dell'analisi strutturale, ma è presente anche nella prima fase progettuale, quella che abbiamo in precedenza identificato come il concept del progetto.

L'azienda infatti ha creato una seconda suite di software, che si rivolge in maniera esplicita alla figura del designer, chiamata SolidThinking.

Si tratta di un ambiente CAD di disegno, nel quale al centro del processo non vi è l'analisi di un modello, ma la creazione del modello stesso.

Il designer, partendo dall'idea iniziale alla

base del progetto, crea e modifica in maniera parametrica un modello tridimensionale, che può in seguito visualizzare in maniera realistica tramite il modulo di rendering integrato.

Negli ultimi anni tuttavia, seguendo l'evoluzione del software e continuando il suo core business nel campo dell'ingegneria, Altair ha notato come l'ambiente dedicato al product design potesse sfruttare le stesse potenzialità dell'ambiente dedicato all'engineering design, in modo da interfacciarsi l'uno con l'altro, creando una continuità tra l'ambito concettuale e l'ambito analitico-matematico: l'obiettivo è creare un software ibrido e innovativo, che aiutasse da una parte il designer a migliorare il livello delle sue proposte, dall'altra l'ingegnere ad avere delle proposte di modelli tridimensionali che fossero già accettabili in fase di ingegnerizzazione e analisi.

L'ambiente solidThinking si è così differenziato in due moduli distinti, INSPIRE ed EVOLVE.

Se EVOLVE è l'ambiente di disegno CAD di Altair, INSPIRE è il modulo che più rappre-

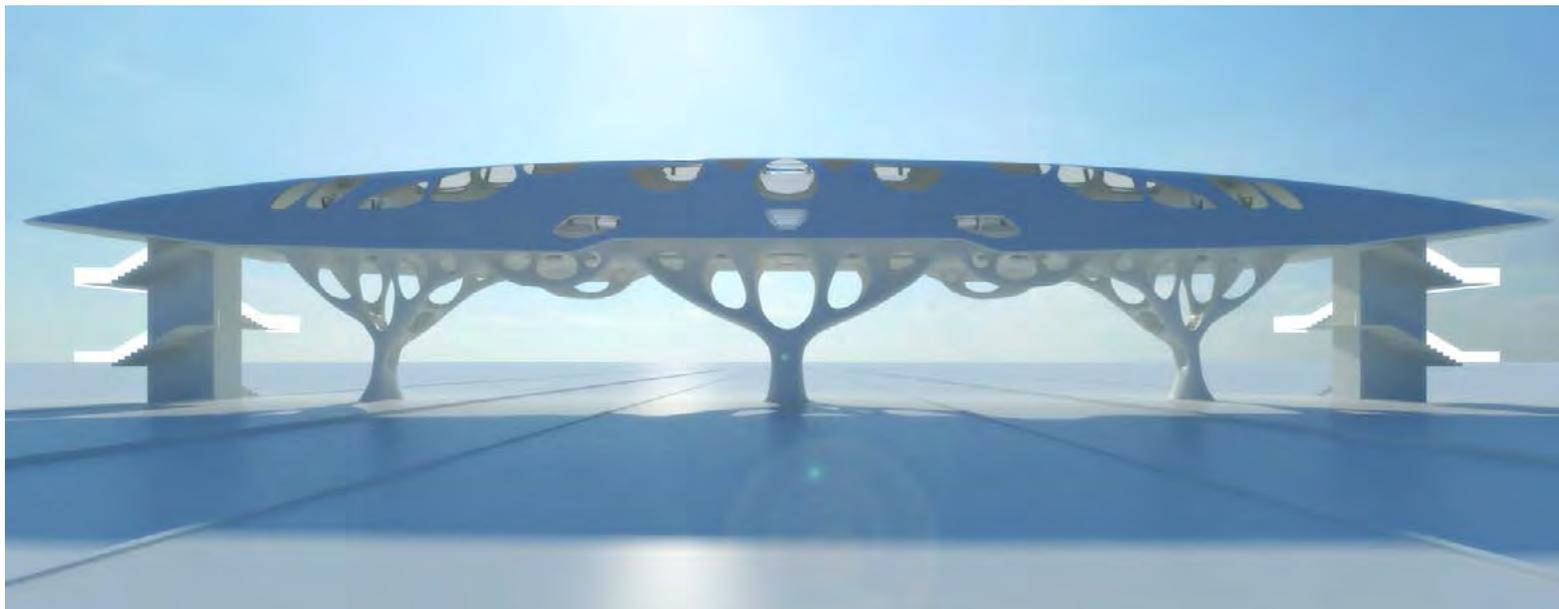
senta l'innovazione attuata dall'azienda.

## 5. Inspire, ottimizzazione per il product design

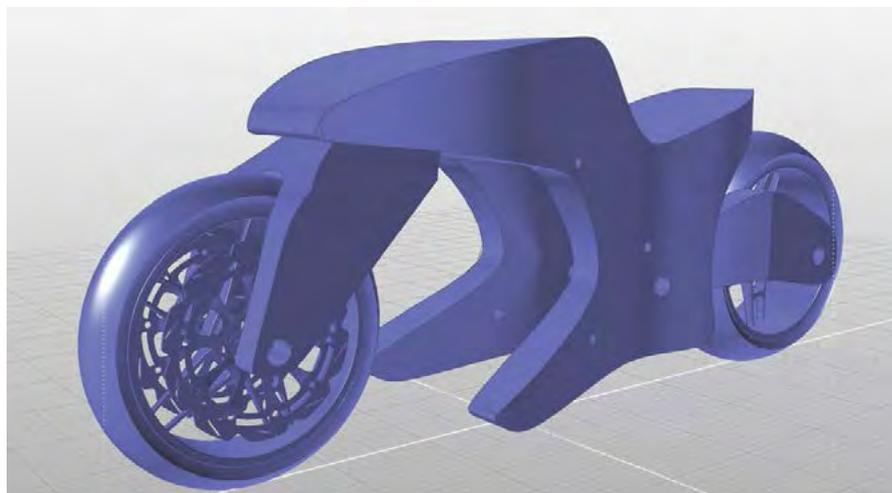
INSPIRE è un ambiente nel quale è possibile, per un designer, applicare il metodo dell'ottimizzazione topologica nella maniera più immediata ed intuitiva possibile.

Si tratta di un software che implementa gli algoritmi matematici e la potenza di calcolo di Optistruct, ma in un ambiente stand-alone che non ha bisogno di essere supportato da Hyperworks: non è quindi necessario creare manualmente la mesh ad elementi finiti del modello, così come non è necessario inserire manualmente tutti i parametri e le variabili che si vuole vengano prese in considerazione, ma bisogna conoscere materiale e scenario, o scenari, di carico da applicare al modello.

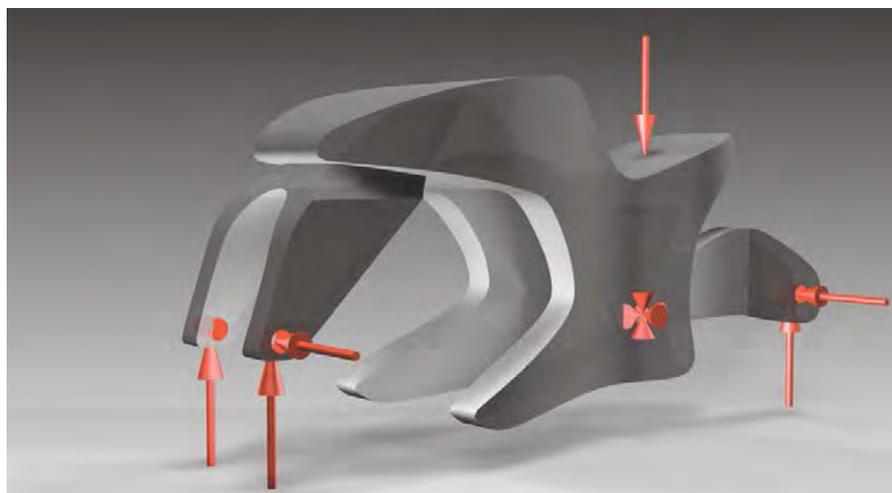
Il processo con il quale si utilizza INSPIRE è molto semplice.



Si crea, con EVOLVE o con qualsiasi CAD, un modello del design space da utilizzare per l'ottimizzazione, e lo si importa all'interno di INSPIRE.



Si definiscono i vincoli e i carichi ai quali il volume di materiale è soggetto, a seconda dello scenario immaginato dal designer: in questo caso, il telaio della motocicletta è soggetto alle sollecitazioni derivanti dall'alta velocità e dal peso del pilota. Si impostano inoltre le proprietà materiche del design space.



Si procede all'ottimizzazione del modello, inserendo come obiettivi dell'ottimizzazione la percentuale di materiale desiderata, o analogamente il peso desiderato nel modello ottimizzato.

E' possibile specificare ulteriori parametri, relativi alla dimensione delle geometrie ottimizzate, agli spessori di materiale e alle rigidità finali desiderate.



Il risultato dell'ottimizzazione è un modello tridimensionale per poligoni, che definisce delle strutture risultanti dall'applicazione dei carichi.

Le forze agenti sul materiale vengono evidenziate dalla maggiore o minore, o addirittura assente, presenza di materiale, indicando le direzioni del "flusso" forzante all'interno del progetto.

Questo modello "grezzo" deve servire al designer come una visualizzazione della pura quantità di materiale necessaria a quel determinato componente per poter essere funzionale.

Come anticipato, è un'ispirazione dettata

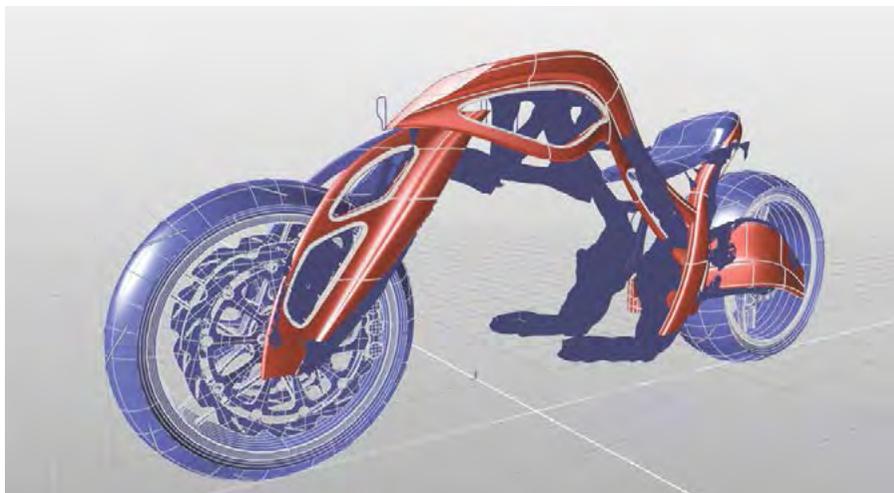
dalla combinazione di regole matematiche e leggi naturali, applicato ad un caso specifico.

La forma risultante è quasi organica, e questo evidenzia come l'algoritmo alla base dell'ottimizzazione sia una derivazione degli stessi algoritmi alla base dei processi di originazione della forma in natura.

Da questo punto in poi, il designer ha una base di partenza sulla quale sviluppare varie iterazioni formali, che non sono esclusivamente dettate dal proprio background culturale, ma partono da un ragionamento che considera in nuce lo scontro con le forze dell'ambiente naturale.

La strada da scegliere a questo punto è soltanto quella del come sfruttare queste indicazioni, e come interpretarle all'interno della proposta finale che il designer è tenuto a formulare, tenendo conto ovviamente anche e soprattutto degli aspetti produttivi del progetto, che come già menzionato, sono il tallone d'achille del metodo dell'ottimizzazione topologica.

Si torna dunque al punto di partenza, ovvero al foglio bianco, con un'indicazione che permetterà di seguire una linea formale molto più corretta dal punto di vista dei materiali, della produzione e dell'effettiva funzionalità del progetto.



A questo punto, una volta scelta la proposta formale che si intende portare avanti, il designer può procedere alla finalizzazione del design in maniera completa, rifinando lo schizzo all'interno dell'ambiente CAD, realizzando un modello che sarà in seguito verificato con l'analisi ingegneristica.

Questa ottimizzazione non riguarda quindi soltanto il processo concettuale e creativo del prodotto, ma coinvolge tutto il processo di vita del progetto, in quanto d'ora in poi le fasi di ingegnerizzazione potranno contare su una base più solida e concreta, senza che il ruolo fondamentale del designer venga meno o risulti influenzato a tal punto che il suo contributo scompaia in seguito alle considerazioni di natura strettamente produttiva del progetto.

L'applicazione dell'ottimizzazione strutturale topologica è virtualmente senza limiti, con l'unica considerazione della potenza di calcolo necessaria affinché i tempi nei quali venga realizzata siano accettabili: modelli molto grandi e con diversi volumi di materiale richiedono ovviamente molte più risorse rispetto ad oggetti semplici.

Un caso di applicazione della metodologia con una scala enormemente più grande è quello relativo all'architettura.

In questo settore le restrizioni formali relative alle tecnologie costruttive sono molto

più marcate rispetto a progetti di scala minore, in quanto l'architettura è strettamente e giustamente regolamentata per prevenire ogni tipo di problematica.

In questo caso le simulazioni sono fondamentali, in quanto non si può avere un riscontro reale del progetto come succede, ad esempio, con i prototipi nel campo dei veicoli o dell'arredamento: in architettura si valuta attentamente ogni singolo dettaglio ed il suo rapporto con l'ambiente è cruciale per l'obiettivo finale, ovvero la costruzione di un edificio in completa sicurezza.

Il lavoro dell'ottimizzazione in questo caso, è necessario quando si vuole spingere sull'innovazione formale per mezzo dell'utilizzo intelligente dei materiali: una struttura architettonica risente in maniera molto amplificata ad un cambio di concezione materica rispetto ad un qualsiasi altro oggetto, e la valutazione di una tecnologia costruttiva diversa porta con sé molte problematiche.

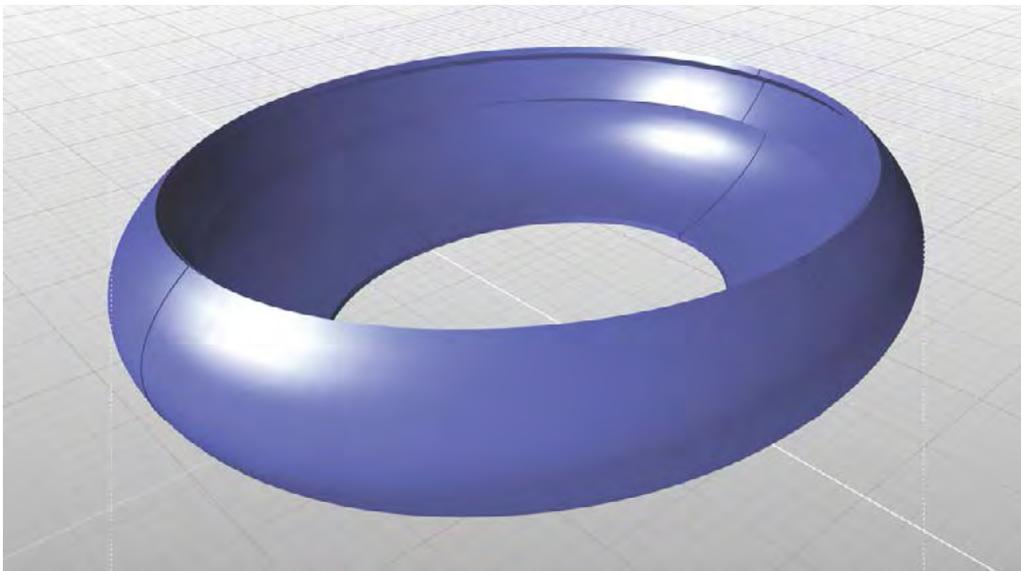
Il poter simulare il comportamento di un volume di materiale ogni volta differente, su una scala molto grande ed in maniera immediata, può essere uno strumento molto prezioso per la realizzazione di strutture che hanno l'ambizione di innovare in un settore tradizionale come l'architettura. Il lavoro dell'architetto Luca Frattari, Ph.D. della Scuola di Architettura e Design di Ascoli Piceno, è, in questo senso, un esempio di come l'ottimizzazione può dare un'indicazione molto importante, e cruciale per realizzare strutture architettoniche complesse.

Il suo lavoro di dottorato ha portato all'attenzione l'ottimizzazione strutturale a più livelli, approfondendo sia la fase concettuale sia la fase più tecnica di calcolo matematico, essenziale come già evidenziato ad un settore dove non è possibile fare errori nel prodotto finale.

Il progetto di uno stadio è un esempio di struttura che è costantemente oggetto di sfida per gli architetti, in quanto si tratta di strutture particolari, che devono veicolare valori di innovazione molto più presenti rispetto ad altre tipologie di strutture: molto spesso, rappresentano una vera e propria sfida per testare nuovi concetti costruttivi, e per creare stupore e ammirazione in occasione di eventi sportivi importanti per la nazione ospitante.

Nel progetto Colossus quindi l'architetto Frattari ha voluto spingere il concetto di ottimizzazione della topologia, dimostrando come il materiale influenzi enormemente il risultato formale definitivo.

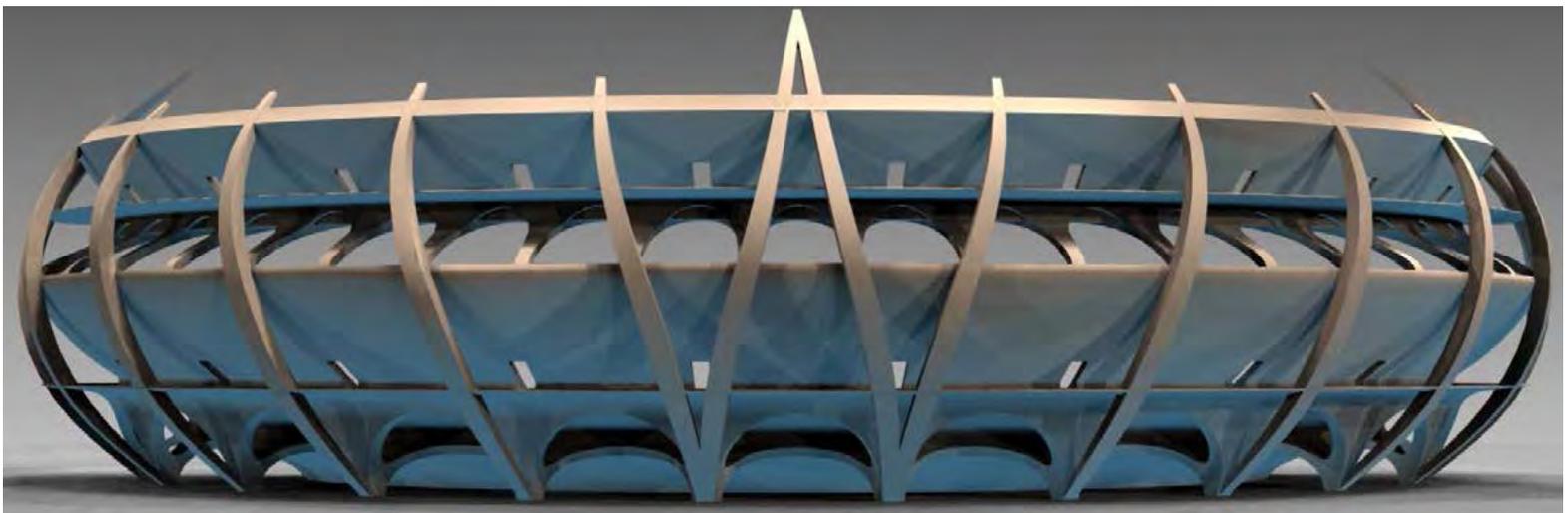
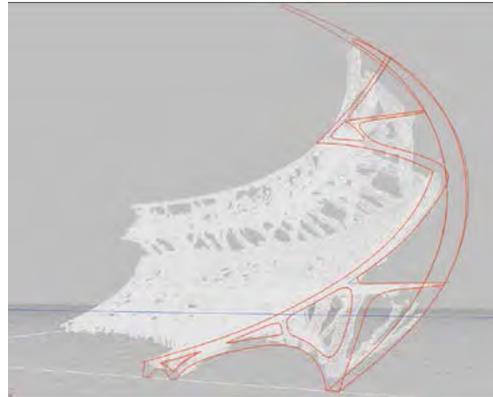
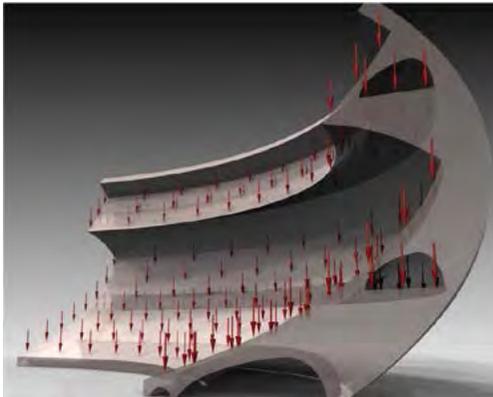




Il design space di Colossus è quello di uno stadio nel senso tradizionale e storico del termine, un ovale di 120 x 140 metri, con un'altezza di 30 m.

Applicando il caso tipico di carico della struttura, ovvero la forza peso derivante dal pubblico ospitato, è giunto a tre differenti esemplificazioni, ognuna delle quali rappresenta la sua interpretazione secondo l'utilizzo di un materiale specifico.

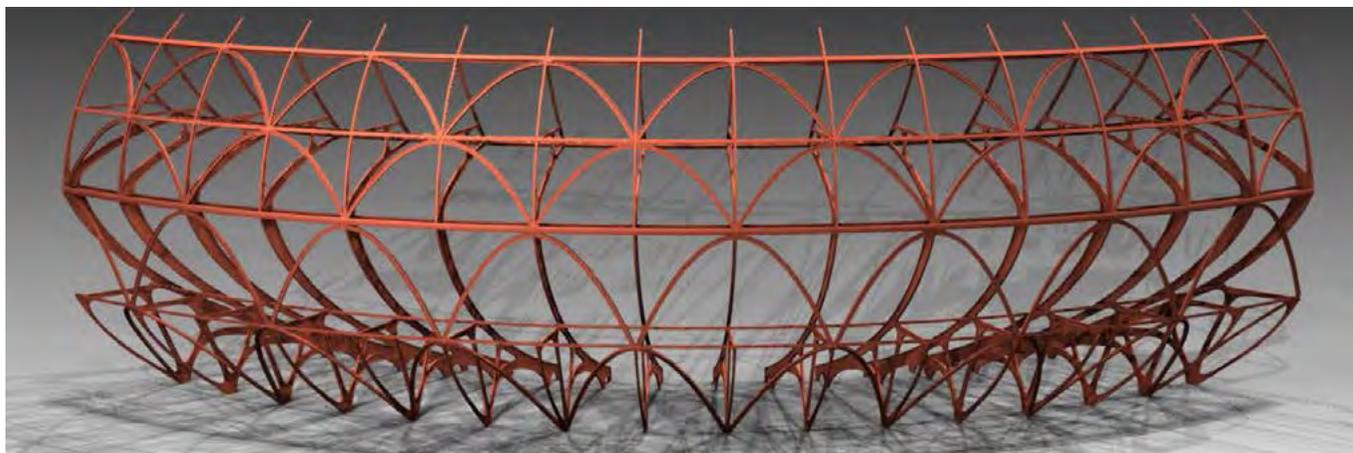
La prima, realizzata in cemento, evidenzia le decisioni del progettista nel disegnare le travi portanti della struttura, dando maggiore o minore importanza a certi elementi in base al loro impatto finale.



La seconda proposta formale è la reinterpretazione del concept utilizzando travi in acciaio con profili commerciali, che fanno quindi riferimento in maniera ancor più marcata alla tecnologia costruttiva.

La struttura viene stravolta notevolmente dimostrando come sia importante la variazione del materiale nel processo.

Nella terza ed ultima interpretazione, lo stadio è stato ridisegnato in maniera molto fedele al risultato dell'ottimizzazione, con forme molto organiche e difficilmente realizzabili con le tecniche costruttive tradizionali, ma che deve appunto risultare una sfida nei confronti dell'industria architettonica a trovare nuovi metodi per riuscire a costruire strutture sempre più avanzate e vicine a ciò che è la struttura naturale.





Un impiego in una scala più ridotta del processo di ottimizzazione, e che è stato portato fino alla produzione, riguarda un settore nel quale questo tipo di ragionamento sul risparmio di peso e materiale è fondamentale, e ogni singolo grammo è più che significativo.

Si tratta delle biciclette, un ambiente nel quale la cura per il dettaglio costruttivo, il materiale e la raffinatezza delle soluzioni progettate servono a rendere un mezzo di trasporto relativamente semplice il più prestazionale possibile.

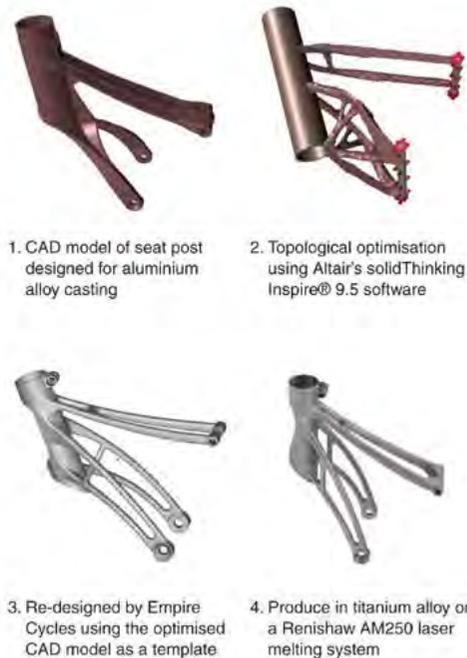
L'esempio preso in esame è quello della Empire Cycles, che in collaborazione con Renishaw, hanno studiato ed ottimizzato soluzioni innovative per la produzione di un telaio da mountain bike.

L'oggetto dell'ottimizzazione è stato il canotto reggisella, un componente stressato direttamente dal peso del ciclista, e cruciale per garantire la rigidità dell'intero

telaio oltre al feeling di guida.

La Empire si è servita dell'ottimizzazione topologica creando il caso di stress tipico di una mountain bike, e ha ottenuto un componente con un risparmio di materiale di circa il 44%, passando da 360g a 200g. La Renishaw, azienda che si occupa di fornire strumenti per la produzione additiva laser di componenti in metallo, ha fornito il know how per produrre il pezzo in titanio. Questa tecnologia ha permesso di replicare esattamente la geometria frutto dell'ottimizzazione, con sezioni cave e ramificazioni difficilmente riproducibili in uno stampaggio o in una fusione.

L'obiettivo era quello di creare un componente funzionale e testato per la produzione, di conseguenza è stato sottoposto ai test standard a fatica, subendo 50.000 cicli di stress a 1200N, secondo lo standard EN 14766: il componente ha ecceduto 6 volte lo standard previsto dalla normativa.



1. CAD model of seat post designed for aluminium alloy casting

2. Topological optimisation using Altair's solidThinking Inspire® 9.5 software

3. Re-designed by Empire Cycles using the optimised CAD model as a template

4. Produce in titanium alloy on a Renishaw AM250 laser melting system

In seguito, la Empire ha proceduto a realizzare l'intero telaio in tecnologia additiva, raggiungendo il peso di 1,4 Kg per l'intero telaio, sempre completamente in titanio. Questo caso studio è utile per comprendere come grazie alle geometrie complesse risultanti da un'ottimizzazione, vengono spinti al limite i processi produttivi standard, e come in questo caso, ne vengono sviuppati e perfezionati di nuovi, al fine di cercare un tasso di innovazione che punti all'eccellenza.

Il costo di produzione è sicuramente proibitivo, ma utilizzare questi nuovi strumenti produttivi è l'unico modo per riuscire a far

si che queste tecnologie escano dall'ambito sperimentale e si diffondano in modo da creare competizione, e da abbassare il costo per componente a livelli accettabili per una produzione in serie.





BMW i8 Concept

### 1. Approccio innovativo

L'approccio alla progettazione utilizzando processi fortemente innovativi e sperimentali, come quello dell'ottimizzazione topologica, pone al centro dell'attenzione i metodi produttivi tradizionali, e spinge l'industria a cercare modalità produttiva che riescano a trasmettere fisicamente, senza compromessi a livello strutturale, il design scaturito dal metodo.

Il settore automobilistico in particolare, è un campo nel quale i materiali e i processi produttivi vengono sicuramente aggiornati e cambiati molto più frequentemente rispetto ad altri settori, in quanto l'auto è un prodotto cruciale e molto diffuso.

La prima considerazione è quella sui consumi, che si ripercuote in maniera identitaria sull'inquinamento atmosferico: l'automobile è responsabile, seppure in parte minoritaria rispetto ad altri settori, del rilascio nell'atmosfera di quantità notevoli di particelle inquinanti.

Uno dei modi più efficaci di risolvere e influenzare questo aspetto, è quello della riduzione del peso dell'auto, sfruttando in maniera più efficiente i materiali tradizionali, e implementando applicazione per materiali non appartenenti tradizionalmente al mondo dell'auto, tutto questo sempre considerando che l'utente finale deve essere in grado di accettare questi cambiamenti affinché siano effettivi.

Molto più frequentemente infatti, l'utente vede l'automobile come un'estensione della propria personalità e del proprio modo di vivere, e all'insieme dei materiali utilizzati tradizionalmente per la produzione dell'automobile, specialmente per gli interni, sono stati attribuiti valori che vanno

ben al di là della funzionalità: modificare o stravolgere questo ordine risulta pertanto un rischio, quello della reazione opposta da parte dell'utente, cioè di sviluppare un attaccamento ancora maggiore ad un'auto tradizionalista, non innovativa.

Una seconda considerazione che si collega direttamente a quest'ultima, è proprio relativa alla tradizione costruttiva dell'auto, sia dal punto di vista del processo sia dei materiali.

Si è creata nel corso degli anni, una serie di standard consolidati da parte dei costruttori di auto, che ha portato ad investimenti produttivi tutti in un unico senso: pensiamo ad esempio alla realizzazione delle scocche e dei telai, dove l'acciaio stampato è considerato lo standard, o ancora alla concezione della composizione dell'auto secondo certi dettami, come la tipologia e il posizionamento dei motori, la collocazione dei vani bagagli, o anche la stessa disposizione degli occupanti all'interno.

Modificare ognuno di questi aspetti, anche il più insignificante, porterebbe da parte dell'industria a una revisione completa di tutti i processi produttivi, costringendola ad abbandonare l'utilizzo di certi processi e alla creazione ed al perfezionamento di nuovi metodi, che richiedono tempo, denaro e risorse umane specializzate.

Ovviamente, parliamo di evoluzioni che effettivamente sono costantemente in atto, ma che soltanto i marchi più grandi riescono ad attuare in tempi piuttosto brevi, e a portare in maniera completa e concreta sulle strade, proprio per la grande necessità di risorse di cui questi progressi necessitano.

Un'ultima considerazione riguarda la tendenza evolutiva dei veicoli nei rispettivi

segmenti di appartenenza.

L'utenza dell'automobile e dei veicoli in generale è molto ampia, possiamo tranquillamente affermare che quasi la totalità della popolazione del mondo industrializzato ha un qualche rapporto con l'oggetto automobile, se non dal punto di vista del guidatore sicuramente dal punto di vista del passeggero.

Questa enorme diffusione ha creato nel corso degli anni un'aspettativa nei confronti dei marchi automobilistici per quanto riguarda la vita a bordo dell'auto, il comfort percepito, la quantità di azioni che è possibile compiere in un abitacolo.

Ad esempio, pensiamo a quegli utenti che utilizzano in maniera molto intensiva l'automobile come passeggero per lavoro, e di conseguenza necessita di particolari attenzioni per permettere a queste particolari categorie di continuare a svolgere i propri compiti durante il viaggio.

Anche in famiglia, l'automobile viene considerata ormai parte della propria abitazione, e si vede costretta ad offrire la stessa quantità di gadget che si può trovare in un salotto moderno.

Tutto questo ha comportato ovviamente nel corso del tempo un'esponentiale aumento delle dimensioni dei veicoli, e tutta questa quantità di tecnologie e progetti dedicati alla vivibilità dell'auto, ha generato una parabola ascendente nel peso delle vetture.

Questo grande insieme di problematiche sono legate da una parte all'utente, che ha ormai un mapping di aspettative nei confronti delle nuove generazioni di veicoli che dovranno migliorare la proposta delle precedenti, dall'altra alle responsabilità dell'intero settore automotive a doversi conformare ai sempre più stringenti limiti delle normative anti inquinamento mondiali. Il lato dello sforzo economico-tecnologico

dei marchi si contrappone a quello dell'abitudine-assuefazione dell'utente.

La problematica risulta in una sfida importante per l'industria automobilistica, che reagisce in maniera differente a seconda del proprio background tecnologico, ma la linea guida condivisa e comprovata da numerosi studi di processo è quella dell'approccio multimateriale al progetto.

## 2. Pensiero personalizzato

Per spiegare questo pensiero tecnologico, il punto cruciale è cercare il modo migliore per produrre un componente singolarmente, e non come un unicum, come si è portati a pensare quando si considera il telaio tipico di un'auto tradizionale: la costruzione di uno space frame in acciaio non tiene conto di questa differenza, ma tende a ridurre i tempi di manifattura al minimo accorpendo in un unico processo quanti





più componenti e funzionalità possibili. Al contrario, l'approccio multimateriale se vogliamo torna leggermente indietro, risultando più simile ad un concetto di body-on-frame, ovvero di una scomposizione del veicolo nei vari componenti, assemblandoli tra loro, ma senza stravolgere la struttura tipica della vettura.

Con questa tendenza produttiva infatti, è possibile conservare parte delle tecniche tradizionali di produzione e integrarle con l'apporto innovativo di ulteriori materiali, applicati in maniera non convenzionali a componenti chiave delle strutture. Inoltre, questo approccio è scalabile a vari

livelli di intervento sulla scocca base della vettura, che può essere ottimizzata intorno al materiale preferito o maggiormente utilizzato, come l'acciaio o l'alluminio, sulla base del know how sviluppato dalla casa specifica.

### 3. Esperienze progettuali

Il caso del gruppo Audi/Volkswagen è utilissimo per riuscire a comprendere come un colosso produttivo come quello tedesco abbia individuato la sua linea di innovazione per le vetture del futuro immediato.

Audi ha da tempo orientato i suoi prodotti nei confronti dell'uso di materiali nobili anche per la creazione di componenti apparentemente di poca importanza, ma che considerati in un quadro globale di riduzione dei pesi sono molto importanti.

Da qui nasce il concetto di Audi Ultra Lightweight Technology, una tendenza progettuale che prende spunto dall'esperienza di Audi nel mondo delle competizioni di durata, derivata dalla lunga serie di vittorie nel circuito Le Mans Series.

Audi è partita dalla sua caratteristica principale, ovvero l'uso dell'alluminio come materiale chiave per i telai e le carrozzerie

delle sue vetture.

Da questa base, si è lavorato per cercare nuove soluzioni materiche per sostituire l'alluminio in alcune aree chiave delle vetture, in congiunzione con i processi di ottimizzazione strutturale, arrivando ad ottenere strutture ibride che coniugano materiali profondamente differenti tra loro. Come sappiamo, questo porta a dover abbandonare le tecniche di giunzione ed assemblaggio meccanico tradizionali, come la saldatura, che diventa impossibile da realizzare quando nello stesso ambiente sono presenti oltre che metalli di natura differente, polimeri e compositi.

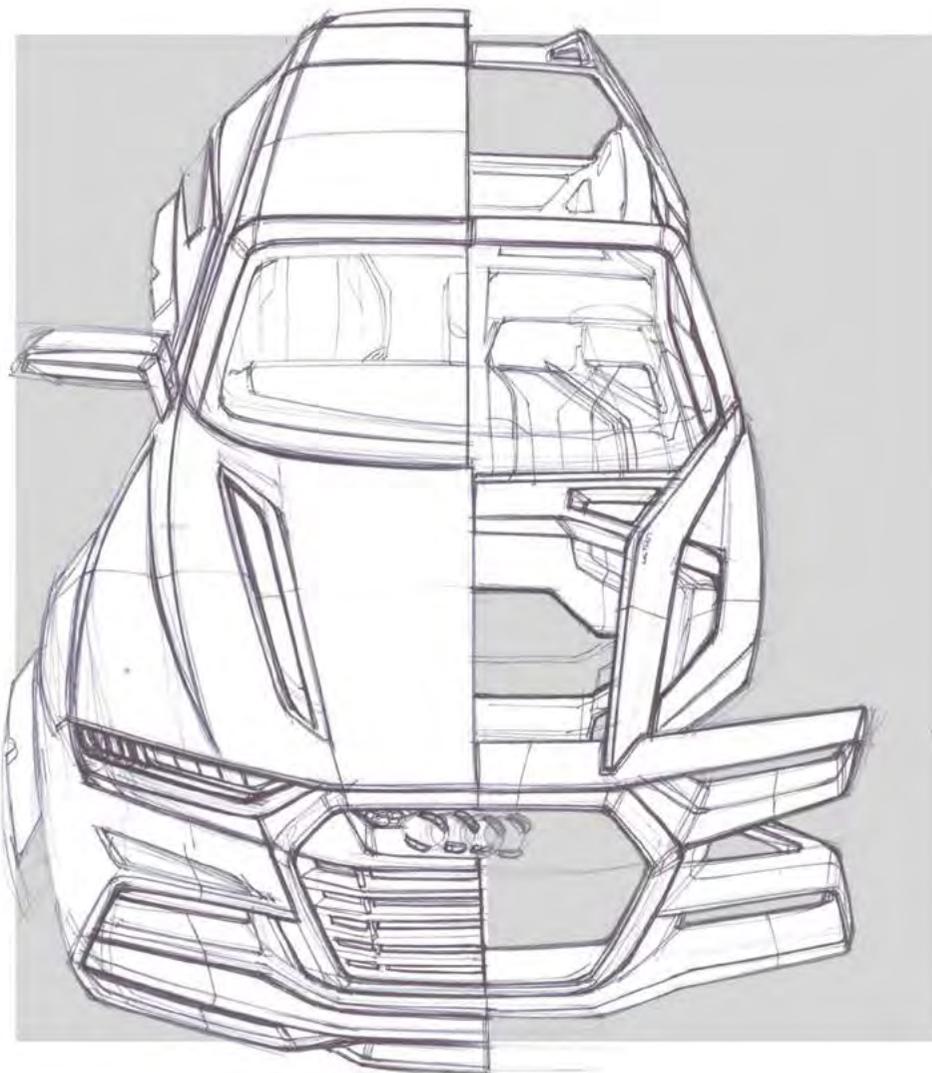
In questo modo la ricerca e sviluppo deve anche occuparsi di trovare nuovi metodi di giunzione, come adesivi e ultrasuoni. Questa direzione tecnologica viene posta anche al centro del design del futuro di Audi, per riuscire a trasmettere all'esterno quello che si può trovare all'interno, e dare così un senso ed un'importanza nuova a componenti una volta considerati da nascondere.

La filosofia della "trasparenza" tecnologica è dimostrata dal concept Audi Crosslane, un SUV compatto il cui obiettivo è creare la visione futura dei prodotti Audi che utilizzeranno l'approccio Ultra.

Dall'esterno è possibile infatti osservare come la carrozzeria assume connotati visivi differenti a seconda del componente, e anche parti di carrozzeria tradizionali come il cofano, vengono connotati formalmente in maniera da lasciare trasparire quello che c'è al di sotto: si ha quindi la sensazione di avere un esoscheletro più che una semplice carrozzeria che copre il telaio e lo nasconde per non mostrarne le imperfezioni.

Un altro modo di affrontare la costruzione multimateriale è rappresentato dalla ricerca che BMW ha compiuto nel campo dei compositi basati su fibra di carbonio, della loro produzione su larga scala, e dell'impiego in vetture di grande serie.

Come sappiamo, la fibra di carbonio è



Sellers@Audidesign

una tipologia di materiale composito molto performante, impiegata per la sua caratteristica di coniugare grande leggerezza a incredibile sopportazione dello stress meccanico.

Dapprima materiale aeronautico, in seguito la fibra di carbonio ha trovato applicazione in tutti quei campi nei quali venissero richieste prestazioni massime, ad esempio le competizioni automobilistiche.

BMW ha voluto andare oltre l'applicazione specialistica della fibra di carbonio, ma ne ha fatto la base per una propria linea di modelli, le BMWi, che uniscono le potenzialità del materiale con i vantaggi della trazione elettrica e ibrida, per restituire

automobili che si avvicinino quanto più possibile all'obiettivo delle zero emissioni. La piattaforma BMWi si basa sul concetto precedentemente citato di body-on-frame, ovvero sulla separazione dell'auto in due organi distinti, che si occupano di due compiti differenti.

Da una parte abbiamo un modulo propulsivo, la base del veicolo, che comprende a seconda delle modalità, il generatore termico, le batterie, i motori elettrici e tutto il comparto sospensivo e meccanico necessario alla vettura.

Dall'altra vi è la cosiddetta "cellula vitale", un secondo modulo che racchiude l'abitacolo della vettura, e che quindi ospita tutte

quelle sottostrutture necessarie alla vita a bordo, insieme all'elettronica del veicolo. Il primo modulo viene realizzato utilizzando materiali convenzionali, riveduti e modificati per lo scopo, come alluminio ed acciaio, oltre a tecnopolimeri.

Il secondo modulo invece viene concepito come una monoscocca in fibra di carbonio stampata, suddivisa in sezioni singole che vengono poi incollate e assemblate tra loro in una struttura rigida e sicura per i suoi occupanti.

La fibra di carbonio utilizzata tiene conto anche dei problemi dell'ecosostenibilità di questo processo, e viene prodotta utilizzando oltre il 70% dell'energia da fonti





idroelettriche.

Gli scarti di produzione dei pannelli in fibra vengono riutilizzati per la costruzione di componenti polimerici esterni non strutturali, tramite un processo sviluppato in collaborazione con Boeing.

Infine, queste due strutture vengono assemblate per comporre l'auto nella sua completezza, insieme con le parti di carrozzeria esterne, realizzate anch'esse in fibra riciclata. Questa filosofia, completamente diversa da quella di Audi, presuppone la creazione di infrastrutture nelle quali riuscire a produrre la fibra, rendere il processo accettabile ad una produzione non manuale, e mantenere i costi sufficientemente bassi per attrarre una clientela.

I rischi sono molto alti, ma il risultato è un progetto effettivamente radicale nella concezione, e che soprattutto garantisce risultati realmente innovativi e tangibili nel merito al risparmio di peso ed alla riduzione dei consumi.

Il design che ne risulta inoltre, è molto più libero da vincoli produttivi, in quanto il processo è realizzato specificatamente per la vettura, e la fibra garantisce una libertà formale molto alta rispetto ad uno stampaggio tradizionale.

Negli interni, l'innovazione nel campo dei materiali è ancora maggiore.

Per rifinire i sedili e la consolle centrale della BMW i8 e i3 è stato sviluppato un ibrido polimerico che si basa su PET riciclato con il 40% di lana, per ottenere un materiale tessile di copertura.

Entrambi i casi studio analizzati si riferiscono a due importanti gruppi automotive di grande produzione e diffusione, che quindi dimostrano come si possa cambiare l'architettura dei veicoli e la loro composizione materica, e allo stesso tempo far sì che questo ragionamento non rimanga fine a se stesso ma anzi riesca ad arrivare pressochè invariato fino alla vendita.

L'approccio multimateriale non è soltanto

appannaggio dell'industria automobilistica, ma certamente la complessità dell'oggetto automobile lo rende un metodo particolarmente efficace ed azzeccato in questo campo specifico: il suo impiego in maniera estensiva all'interno dell'automotive può sicuramente generare un effetto domino nei confronti di altri ambiti.

Soprattutto, è l'occasione per lo sviluppo e l'applicazione di metodi produttivi nuovi, che permettano ancora maggiore libertà di progettare, seguendo molto più fedelmente le indicazioni di un'ottimizzazione topologica.

### 3. Innovazione produttiva

Nel corso degli ultimi anni, una tecnologia che potenzialmente potrebbe soppiantare i metodi tradizionali per produrre componenti metallici e polimerici, è quella dall'additive manufacturing.



La fabbricazione additiva, come la si potrebbe tradurre, è una tecnica per la quale un qualsiasi oggetto o modello tridimensionale, può essere riprodotto con tecnologie che lavorano layer by layer, ovvero strato per strato, ad esempio depositando materiale allo stato di fusione, o sinterizzando materiale allo stato di polvere.

Questo processo presenta numerosi vantaggi a livello produttivo, oltre che funzionale, nei risultati che è possibile ottenere.

La prima caratteristica fondamentale è quella della totale mancanza di tooling, ovvero lavorazioni aggiuntive con macchine utensili o direttamente in modo manuale: mancano quindi fasi di asportazione del materiale, che permettono di ridurre al minimo o eliminare completamente gli sfridi di lavorazione, o anche fasi di saldatura, che indeboliscono la struttura molecolare della materia e ne influenzano le prestazioni.

Altra caratteristica è quella dell'integrazione di funzionalità o componenti direttamente all'interno dell'oggetto: con il processo che "forma la materia" in tempo reale, è possibile, ad esempio, inserire in spazi appositamente disegnati in fase di progettazione circuiti e dispositivi elettronici, che altrimenti avrebbero necessitato di scomporre l'oggetto in gusci o sezioni da assemblare in seguito.

Una terza caratteristica è quella della potenziale personalizzazione del componente: dato che la lavorazione è di tipo "just in time", ovvero eseguita secondo la richiesta, il cliente può decidere ancora in fase software quali modifiche apportare, ed eventualmente realizzare provini di differenti varianti dell'oggetto, e decidere quale produrre toccando con mano le differenze. Da un punto di vista economico, sebbene ad oggi queste tecnologie siano ancora piuttosto costose per una produzione su una vasta scala, soprattutto per componenti molto grandi, l'additive manufacturing presenta moltissimi vantaggi.

Ad esempio, è possibile abbattere il costo di stoccaggio dei componenti: la produzi-

one viene richiesta ed eseguita in maniera rapida in quantità prestabilite, anche minime.

E' possibile spostare più facilmente la produzione, in casi nei quali si tratta di componenti di piccole dimensioni: pensiamo alle situazioni delle scuderie automobilistiche, che necessitano di numerosi componenti di ricambio ad ogni spostamento del team, con conseguente dispiego logistico.

Inoltre, l'additive manufacturing è economicamente molto vantaggioso in quei business nei quali vi è una produzione in piccoli volumi, ma di grande qualità e precisione: pensiamo ai settori aeronautico, navale,

militare, medicale e tutte le applicazioni nel mondo delle competizioni, dove sono necessarie tutte le caratteristiche sovraelencaate, nel minor tempo possibile.

Il limite attuale, a livello materico, è la lavorazione per materiali singoli, come metallici, polimerici o ceramici, in strutture completamente omogenee, senza quindi poter creare componenti con più materiali differenti, che cooperino strutturalmente, in un unico processo.

Tuttavia, la ricerca e sviluppo in molti enti universitari, sta lavorando proprio nella direzione della produzione additiva multifunzionale, che riesca quindi a produrre com-

ponenti matericamente non omogenei, le cui componenti esplitino varie funzionalità all'interno del singolo oggetto.

In Inghilterra, all'interno della Nottingham University, ha sede il centro di innovazione nella produzione additiva (Innovative Manufacturing in Additive Manufacturing) dell'EPSCR, l'Engineering and Physical Science Research Council, ovvero un'organizzazione governativa che tutela e finanzia la ricerca scientifica e tecnica nel Regno Unito. All'interno di questo laboratorio vengono sviluppate tecnologie produttive completamente nuove, che permettono di co-stampare nello stes-





so pezzo, ad esempio, un polimero fotosensibile ed un circuito termico, per sfruttare le potenzialità di entrambi i materiali, o ancora, di innestare direttamente all'interno del metallo, sensori e circuiti elettrici, senza il bisogno di disegnare da CAD gli alloggiamenti per la conduzione di energia elettrica. Tutti questi processi porteranno nel corso del prossimo decennio, a rivoluzionare il modo in cui vengono concepiti gli oggetti d'uso, integrando funzionalità all'interno del materiale stesso.

Nel campo specifico dell'automotive, la EDAG ha recentemente presentato un concept tecnologico e formale di un piccolo telaio monoposto interamente ottimizzato e prodotto per additive manufacturing, la EDAG Genesis.

Seguendo il pensiero espresso in precedenza, ovvero portare la tecnologia additiva ad un livello di qualità produttiva eccellente, EDAG ha applicato i principi dell'ottimizzazione topologica ad un telaio di una piccola automobile monoposto, e ha orientato il concept della struttura attorno al guscio della tartaruga, un esempio efficiente di protezione delle parti vitali che risiedono al suo interno.

Così come nell'animale, questo componente unico ha la funzione principale di proteggere l'occupante, di conseguenza il materiale è stato ottimizzato seguendo il flusso forzante che deriva da sollecitazioni tipiche degli urti a cui una vettura è sottoposta con i crash test.

Il processo ha evidenziato una forma tipica scheletrica, molto efficiente ma molto complessa da riprodurre con lavorazioni tradizionali, e di conseguenza si è deciso di proseguire nella costruzione del pezzo secondo le tecniche tipiche dell'additiva manufacturing.

In questo esempio, la tecnologia additiva viene portata al suo estremo dimensionale e prestazionale, in quanto si tratta della produzione di un intero elemento stressato in un'unica stampata.

Il guscio esterno, che riprende fedelmente

è elaborato come un sandwich all'interno del quale si notano strutture tiranti molto piccole, mentre il telaio interno è un intricata giunzione di sezioni ovali, che circondano l'occupante in tutte le direzioni, offrendo la massima protezione possibile, ma evitando di utilizzare materiale dove non è necessario.

Questo è un esempio estremo di additive manufacturing, che esce fuori dai canoni produttivi tradizionali sin'ora espressi con queste tecnologie, ma è anche un esperimento innovativo che dimostra come sia possibile, seppure attualmente con costi enormi, produrre un interno telaio monoposto, funzionale e strutturale, utilizzando esclusivamente una tecnologia produttiva, senza nessuno spreco di materiale, nessuno scarto di lavorazione, nessun intervento utensile ulteriore e nessun componente aggiuntivo.

Anche se l'utilizzo industriale di questi metodi è ancora allo stadio embrionale, i vantaggi in materia di maggiore libertà nello sviluppo e nella produzione senza utensili rendono questa tecnologia una possibilità per il futuro.

Dal punto di vista del presente, la produzione di componenti, e nel corso dei prossimi anni, di interi moduli, è certamente fattibile. Per quanto riguarda il target di utilizzo della produzione additiva per la realizzazione di carrozzerie complete, c'è ancora molta strada da fare prima che questo diventi un'applicazione industriale, quindi per il momento, rimane una visione.

Il processo di sviluppo completo, a partire dalle specifiche di progetto fino all'analisi topologica, allo sviluppo di funzioni, al design topologico e al design per la produzione, non è ancora stato stabilito con esattezza, ed è ancora un procedimento molto lungo.

Le tecnologie di produzione additiva non sono ancora stati integrati all'interno dell'ottimizzazione industriale.

Le tecnologie additive decentrate aiuteranno





conoscenza e l'esperienza in produzione in serie, in maniera esclusiva tra i produttori. Una produzione additiva potrebbe anche rendere possibile, nell'immediato futuro, la produzione in piccola serie di interi veicoli, ottimizzati secondo le normative anti-inquinamento e di sicurezza, come l'Euro NCAP, per la circolazione urbana in aree in via di sviluppo, o semplicemente per la creazione di flotte urbane dove è richiesto un sensibile abbassamento dei livelli di inquinanti.

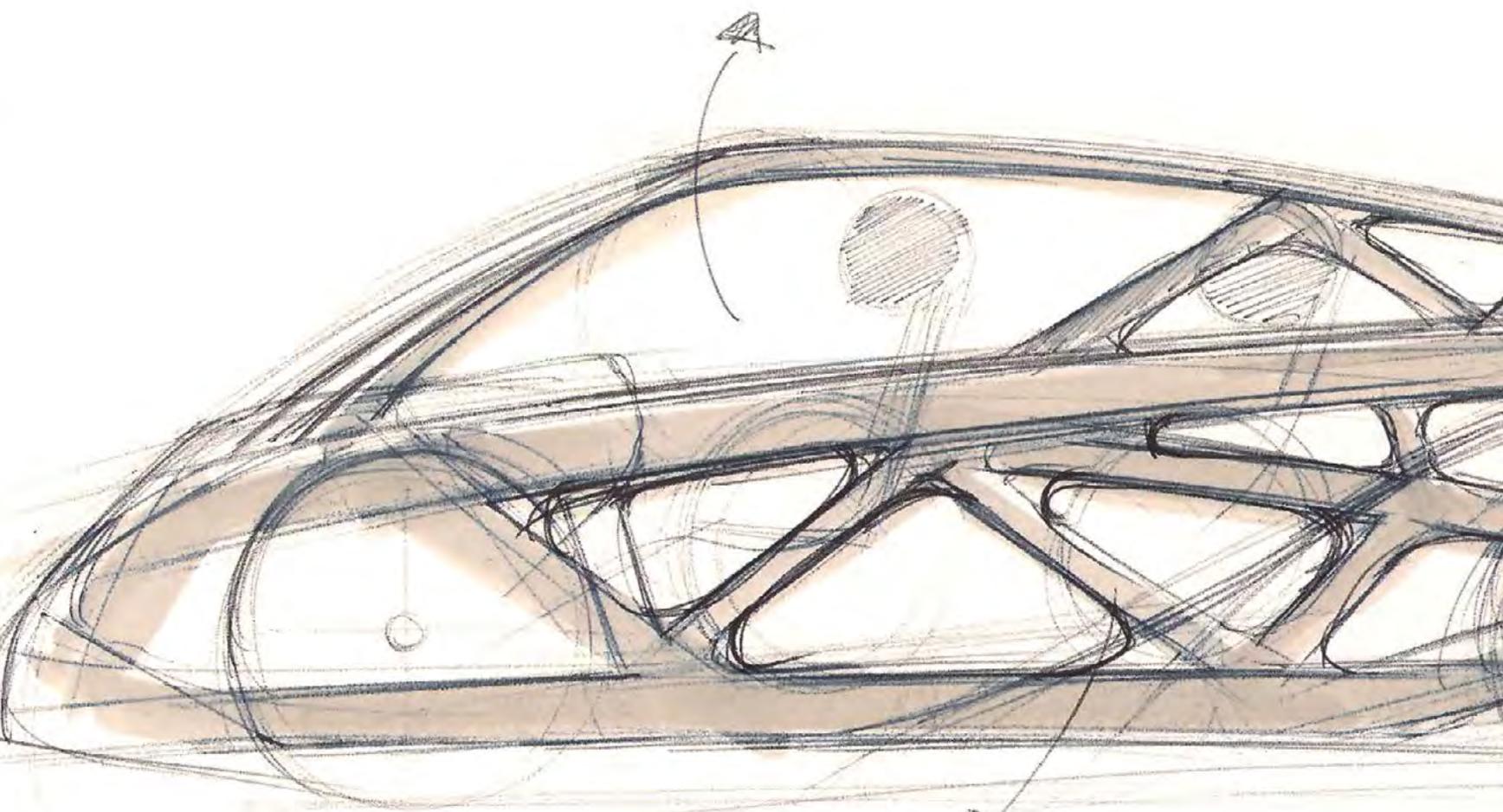
Nuove opzioni di design aiuteranno anche a ridurre l'impatto delle aree produttive, con conseguente risparmio di energia nelle fasi di produzione e nel loro funzionamento: la tendenza è verso componenti più leggeri, utensili leggeri, tecniche di fissaggio leggere, robot più piccoli.

La produzione additiva semplificherà il layout delle aree di produzione e stampaggio, e ne ridurrà l'area occupata.

Poiché la tecnologia additiva richiede pochissimi fissaggi, il sistema di produzione reagirà con molta più tolleranza alle variazioni nella produzione dei vari modelli, ai restyling di prodotti esistenti e alle modifiche personali del prodotto stabilite dall'utente.

L'obiettivo è quello di sviluppare e rendere concrete applicazioni di queste tecnologie nel mondo produttivo reale su progetti reali.

La prima tappa è sicuramente la produzione di componenti di piccole dimensioni, ma la visione futura è sicuramente quella della produzione di interi sistemi complessi realizzati con l'utilizzo delle sole tecniche additive.



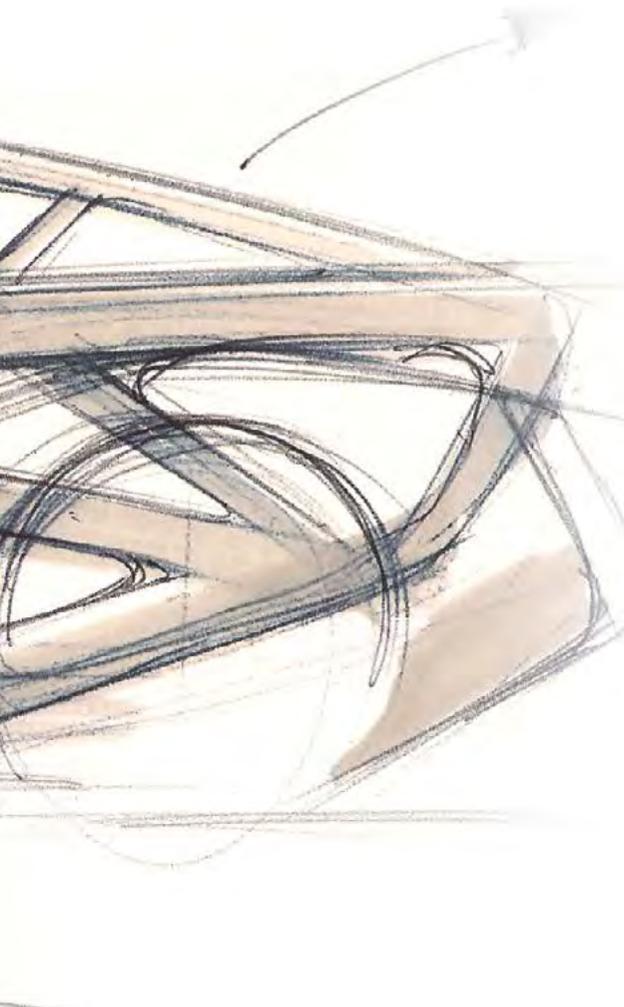
STRUTTURA ORGANICA

---

LEGGIEREZZA VISIVA

1.

## Percorso



La progettazione di un'automobile partendo da zero, e la definizione di tutti i sistemi e gli elementi che la compongono è un processo che richiederebbe un intero team di designer e ingegneri, ognuno preposto ad un compito specifico.

In questa sede, ovvero un lavoro che intende chiudere un percorso formativo, il processo che normalmente avrebbe richiesto oltre quattro anni, è stato affrontato in un anno, e non da un team di progettisti, ma da un singolo individuo.

Di conseguenza, alcuni aspetti sono stati trattati in maniera maggiormente specifica, al contrario di altri, che sono stati definiti in maniera più concettuale.

Il lavoro è stato portato avanti con l'aiuto ed il supporto di un'azienda, la Altair Engineering, che ha fornito la formazione e le licenze per i software utilizzati in fase di analisi e verifica.

Ciò ha implicato per il candidato un periodo piuttosto consistente di formazione teorica sia sul software, ma soprattutto sui metodi matematici sui quali si basano i processi operanti al suo interno.

La prima fase della progettazione, immediatamente successiva alla fase di ricerca dello scenario esposta in precedenza, ha riguardato quindi il dimensionamento e la modellazione a mezzo CAD di una struttura di base della vettura.

Successivamente, durante una fase di colloqui con il tutor in Altair Engineering, l'Ing. Roberto D'Aria, si è stabilita una tabella di marcia all'interno della quale è stato pianificato il livello di approfondimento dell'analisi statica da applicare alle strutture e i casi di carico specifici relativi al progetto, oltre che

i soggetti teorici e pratici da approfondire con la formazione in azienda.

La formazione ha richiesto un periodo totale di circa 72 ore, suddivise in corsi specifici su varie fasi di utilizzo del software di analisi.

In queste giornate sono stati approfonditi concetti teorici e matematici introdotti durante il percorso formativo, in particolare il metodo degli elementi finiti applicato al calcolo di strutture, oltre che la teoria dell'ottimizzazione topologica.

In seguito alla formazione, questi strumenti di calcolo sono stati applicati alla struttura precedentemente ipotizzata: è stato realizzato un modello per elementi, creati i casi di carico e generato un modello di analisi.

Durante la fase di analisi il candidato è stato affiancato ulteriormente dall'Ing. D'Aria, in modo da supervisionare e verificare che il lavoro svolto fosse conforme alle casistiche previste precedentemente, e i risultati fossero conformi a quelli attesi.

Nelle fasi successive, la progettazione ha riguardato principalmente la traduzione di questi risultati in un'effettiva esemplificazione formale: in questa fase sono state stabilite le dimensioni ergonomiche interne che hanno influenzato in maniera molto decisa l'aspetto esterno dell'automobile, trattandosi di un veicolo rivolto ad un pubblico diversamente abile.

In questo momento, la vettura ha assunto quelle che sono poi le sue forme e dimensioni esterne ed interne definitive, talvolta confermando le ipotesi formulate inizialmente in fase con-

cettuale, talvolta invece modificando radicalmente elementi fondamentali per l'intero progetto, costringendo il candidato ad una rettifica impegnativa di interi aspetti dell'automobile.

Sono stati finalizzati i processi tecnologici riguardanti gli aspetti produttivi del progetto: alcuni di essi sono stati considerati in virtù del lato economico della produzione industriale e dell'efficienza dei processi e dei materiali tradizionali, altri sono stati scelti in quanto applicazioni interessanti di tecnologie produttive e materiali innovativi, e non ancora pronti per una commercializzazione su larga scala, ma che trovano nel progetto una loro collocazione ideale come impulso ad una maggiore diffusione, e di conseguenza ad un abbassamento dei costi produttivi.

Nei capitoli seguenti andremo quindi ad analizzare passo per passo il processo progettuale di ogni marco-sistema presente all'interno del progetto, spiegando e motivando in maniera completa quanto introdotto in questo breve paragrafo.

## 2. Struttura Modulare

Nelle fasi iniziali del progetto, dopo aver concluso la componente di ricerca, sono state immediatamente stabilite delle linee guida generali per il progetto, ed in particolare sono stati realizzati degli schizzi riguardanti le dimensioni fondamentali del veicolo, in relazione a varie caratteristiche evidenziate con la ricerca e l'osservazione del mercato di riferimento: in queste battute

iniziali l'obiettivo è stato costruire una base sulla quale evolvere e costruire il progetto, ma rispettando dei confini dimensionali e tecnologici stabiliti e non modificabili.

Sono state quindi definite delle misure relative alle grandezze tipiche che definiscono l'aspetto e la categoria di un veicolo: il passo, gli sbalzi anteriori e posteriori, la carreggiata, l'altezza.

Il dimensionamento iniziale è una fase cruciale del progetto, in quanto all'interno degli spazi definiti devono essere collocate tutte le componenti relative alla propulsione del veicolo, ed inoltre devono essere considerati i meccanismi preposti alla dinamica, come tipologia e schema dei sistemi sospensivi, diametri delle ruote, involucro del volume di sterzata.

Dall'insieme di queste scelte dimensionali



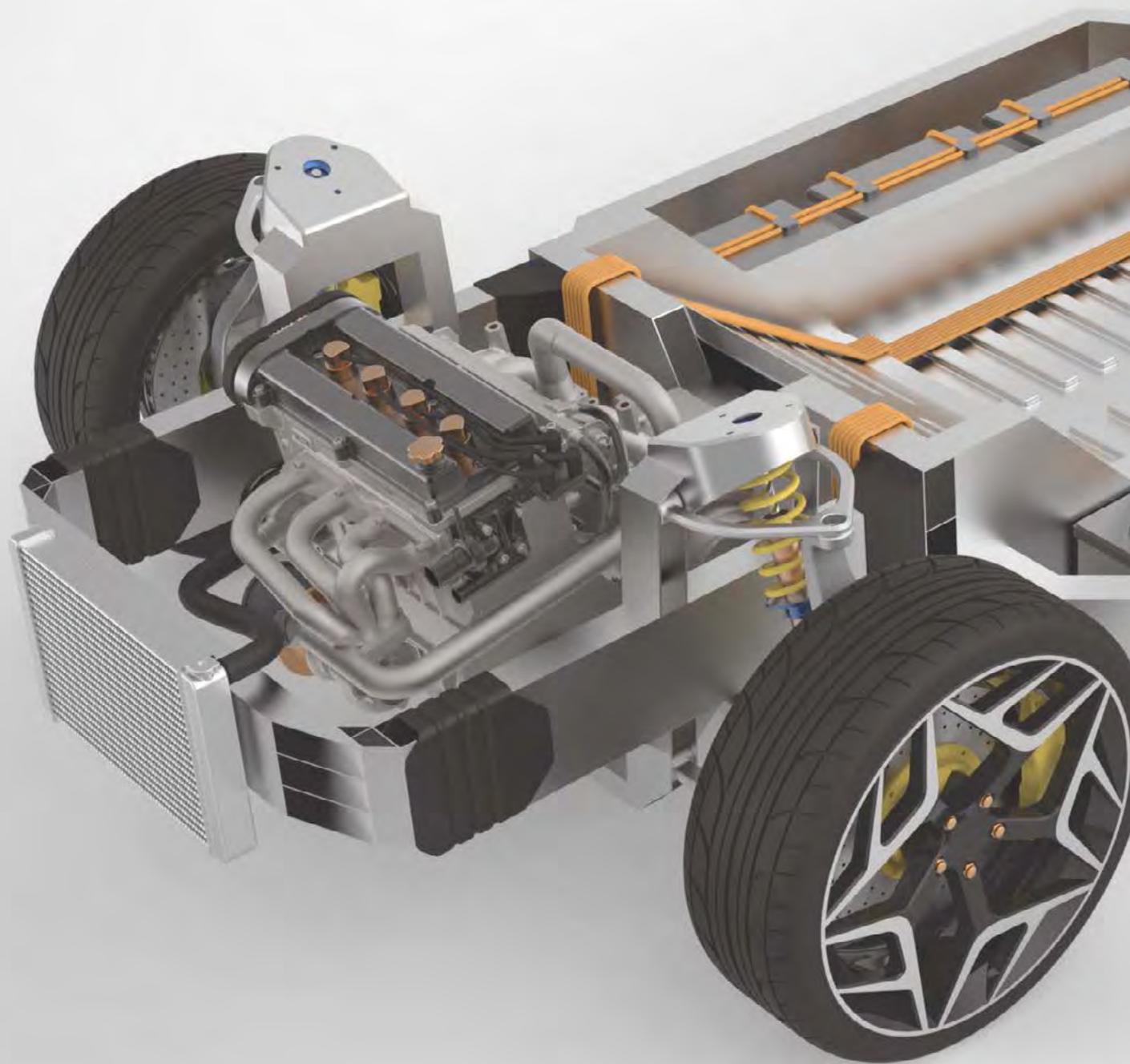
e tecnologiche, risulterà il telaio base della vettura, ovvero la sua struttura principale. Nel ricercare dei casi studio ideali sui quali basarsi per strutturare il veicolo, sono stati considerate varie tipologie di telaio, come evidenziato nella ricerca, che approcciano il problema strutturale dell'automobile in modalità differenti a seconda dell'obiettivo. Nel caso di questo progetto, la scelta è caduta su di un telaio composto da due macro-elementi principali, ognuno dei quali si occupa della risoluzione di aspetti differenti della vettura: un primo elemento strutturale viene destinato a contenere e gestire gli aspetti meccanici e dinamici del veicolo, un secondo elemento strutturale si occupa invece della protezione degli occupanti e delle funzioni ergonomiche e abitative del veicolo. Questa soluzione è stata considerata in virtù

della flessibilità della progettazione e della modularità del sistema: si vengono a creare in questo modo due entità ben distinte, che possono essere modificate per creare nuovi veicoli destinati ad un uso differente.

Oltre alla modularità, la separazione del veicolo in questi due moduli rende molto più semplice la riparazione di un singolo elemento, sia esso nel modulo meccanico o nel modulo abitativo della vettura: al contrario, in un'auto tradizionale, con una struttura space-frame portante unica, la riparazione di alcuni componenti, soprattutto gli elementi di lamiera esposti all'esterno, e quindi parte dell'estetica del veicolo, è molto difficile se non impossibile senza operazioni di taglio e saldatura che indeboliscono la struttura, e senza la rimozione di organi meccanici ingombranti come il motore.

Seguendo la strada percorsa da BMW dunque, si è delineata una struttura composta, della quale tratteremo in maniera separata le caratteristiche costruttive ed il processo di realizzazione e verifica.





# 07

## Modulo Powertrain

1.

### Struttura

Il primo modulo in esame è quello relativo alla meccanica del veicolo, soprannominato Modulo Powertrain, dal termine anglosassone che definisce tutti i sottosistemi che mettono il veicolo in condizione di muoversi. Partendo dal dimensionamento di base introdotto nel capitolo scorso, si è passati alla definizione di una tecnica costruttiva sulla quale sviluppare il disegno vero e proprio della geometria del telaio.

Sono stati dunque ricercati esempi di strutture realizzate con elementi standard, reperibili in commercio, al fine di contestualizzare in maniera precisa l'ambito produttivo e riuscire così a stimare un ipotetico ambito economico di collocazione del progetto.

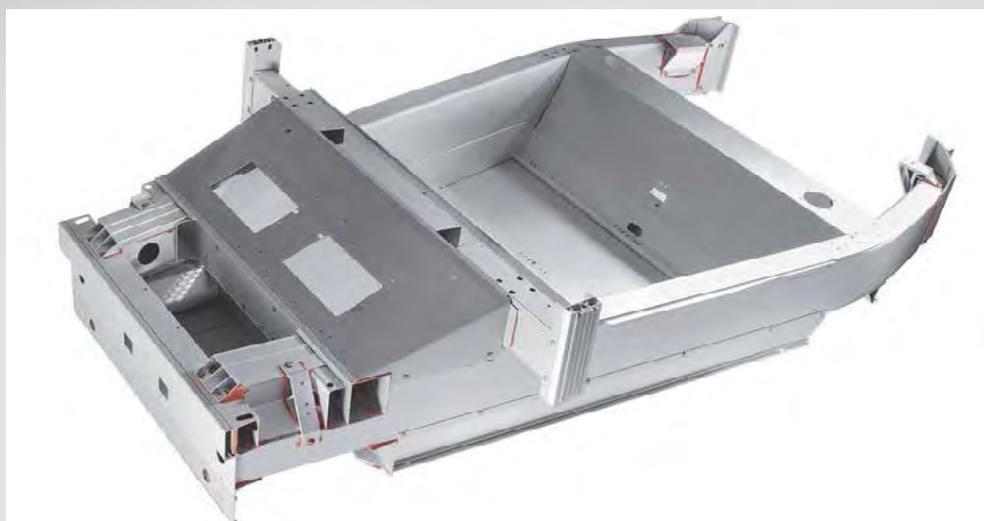
In particolare, la caratteristica della struttura doveva essere quella di coniugare la resistenza alle sollecitazioni dinamiche di un veicolo sportivo ad un peso contenuto in modo da garantire prestazioni in linea con

quelle del mercato di riferimento.

L'ambito nel quale cercare questa tipologia di strutture è quello della produzione sportiva in piccola-media serie, un mercato nel quale le aziende non hanno la capacità tecnologica dei grandi gruppi, ma riescono a produrre strutture molto più raffinate e curate nella tecnica grazie al minor numero di vetture prodotte.

L'esempio alla base del telaio sviluppato è analogo alla tipologia alla base delle vetture prodotte dalla Lotus, proprio per la cura della casa inglese nella ricerca delle prestazioni tramite la leggerezza.

In particolare nella Lotus Elise, il telaio della vettura viene costruito interamente in alluminio, con uno schema scatolare, utilizzando cioè profili ed estrusi con superfici piane: ne risulta un telaio del peso di soli 65 kg, con una rigidità torsionale pari a 6,3 kN/rad.



E' stato stabilito dunque di seguire l'esempio progettuale Lotus, e di basare il Modulo Powertrain sulla stessa tecnologia costruttiva.

Sono stati dunque rilevati ed evidenziati osservando la struttura Lotus i profili principali costituenti il telaio, ed in seguito sono stati disegnati, tramite l'utilizzo del CAD Creo 2.0, i profili necessari alla creazione della struttura seguendo le linee guida dimensionali tracciate in precedenza.

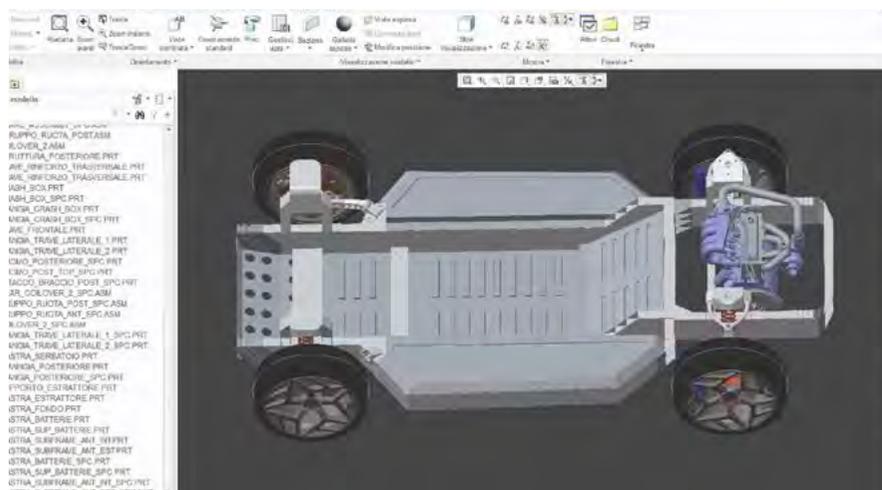
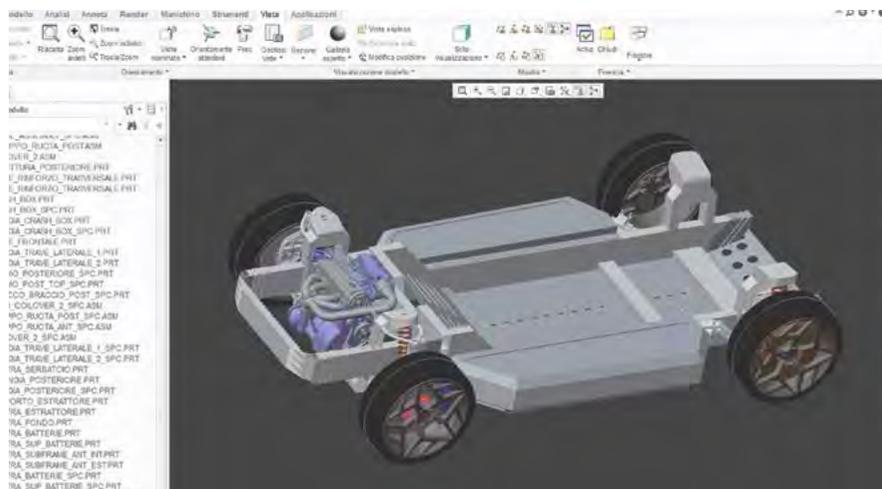
Tenendo conto della destinazione d'uso della vettura, ovvero un'utenza disabile paraplegica, le geometrie del telaio sono state orientate nei confronti di una disposizione radicalmente differente delle componenti meccaniche e degli occupanti della vettura, rispetto a qualsiasi altro esempio simile.

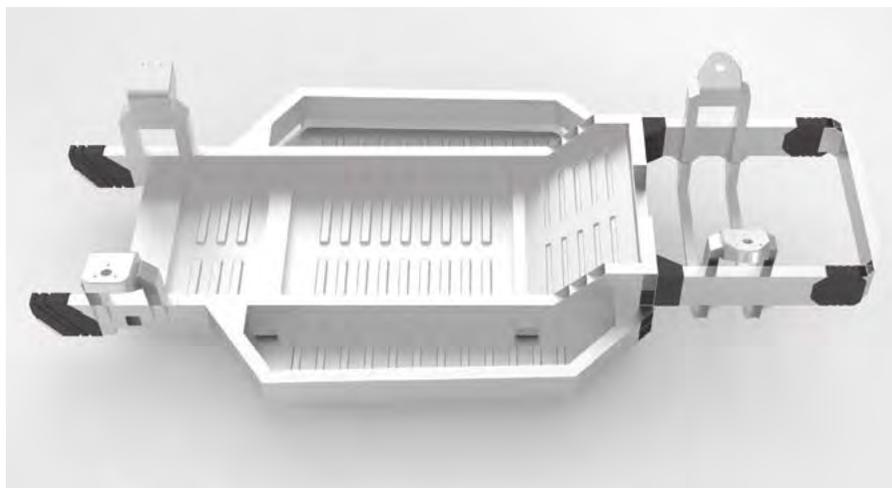
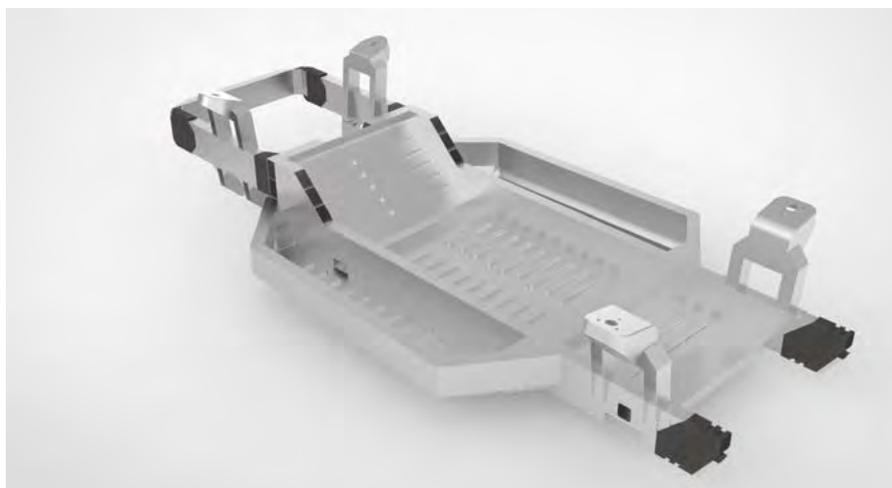
La disposizione degli utenti all'interno del veicolo è stato il primo fattore caratterizzante: si è scelto infatti di creare un corridoio centrale nella struttura, che permettesse di ricavare uno spazio adeguato alla sistemazione di due occupanti con disabilità, posti in una sedia a rotelle di tipo manuale, uno dietro l'altro.

Questa decisione è stata operata sia in funzione della massima comodità all'interno della vettura, sia della massima protezione possibile in caso di impatto laterale: la distanza tra l'utente e il profilo esterno del telaio è notevolmente maggiore rispetto ad un veicolo tradizionale; inoltre tra l'utente e l'esterno sono posizionati i profili principali della struttura, oltre a varie travi di rinforzo, in modo da proteggere in maniera completa gli occupanti. Con questa disposizione, la collocazione dell'accesso al veicolo è stata una scelta piuttosto obbligata, ma comunque la più efficace tra le proposte ipotizzate, anche in funzione del mercato di riferimento.

Si è optato dunque per un accesso posteriore, tramite una rampa ribaltabile ed estensibile, con un meccanismo di attuatori elettrici lineari.

La pendenza relativa all'accesso è di circa l'11%, un compromesso tra uno standard





ideale di accessibilità dell'8% e una destinazione d'uso che tiene conto di un'utenza relativamente giovane che conduce una vita il più possibile attiva.

Una volta stabilite le dinamiche di accesso, si è provveduto a chiudere la struttura, considerando anche il sistema sospensivo, la collocazione dei motori, del serbatoio di carburante e delle batterie, oltre che a stabilire i punti maggiormente soggetti ad urti e a rinforzarli con strutture crash-box adeguate.

Gli spessori considerati nella scelta dei profili e degli estrusi variano tra gli 1,5 e i 2 mm, valori standard per applicazioni automotive, mentre la lega di alluminio scelta è di tipo AA 6063 - T6.

L'assemblaggio della struttura viene realizzato senza l'utilizzo della saldatura, in quanto l'alluminio non si presta favorevolmente a questa tipologia di fissaggio.

In sostituzione, i profili vengono incollati con un adesivo epossidico heat-cured, ovvero essiccato a caldo, prodotto dalla 3M.

Le componenti vengono poste su maschere di assemblaggio manualmente, mentre dei robot pongono una quantità molto controllata di adesivo nelle zone interessate: l'adesivo non solidifica a freddo, dunque rendendo l'applicazione agevole.

Il telaio viene tenuto insieme da strutture provvisorie, e viene posto in forno per 4 minuti a 180°C per finalizzare le giunzioni.

In seguito, la struttura viene testata con la nebulizzazione di acido solforico, per testare la durabilità, per un tempo di 1000 ore, nel quale una similare struttura in acciaio verrebbe sciolta interamente.

Questo processo produttivo permette inoltre, in caso di riparazione, la sostituzione di un'intera sezione del telaio, senza che gli altri componenti debbano essere cambiati o modificati.

## 2. Sistema Propulsivo

Avendo stabilito la struttura base del modulo, passiamo ad introdurre le tecnologie di propulsione scelte per il veicolo.

Osservando il mercato di riferimento, è stato evidenziato come la tendenza dei costruttori di automobili è quella di introdurre, in maniera sempre maggiore, la trazione elettrica anche su veicoli di impostazione prettamente sportiva, che quindi sono soggetti ad un maggiore consumo di risorse dovuto alla maggiore potenza delle motorizzazioni.

In questo scenario, un sistema propulsivo elettrico si trova in condizione di svantaggio, visti i limiti attuali delle tecnologie di stoccaggio dell'energia elettrica.

Per garantire un livello prestazionale paragonabile ad una vettura con un motore termico convenzionale, una vettura puramente elettrica avrebbe bisogno di un motore elettrico potente, che quindi richiederebbe molta energia per essere alimentato, energia che dovrebbe essere accumulata all'interno di un pacco batterie molto ingombrante e che di conseguenza farebbe

lievitare il peso della vettura limitandone le prestazioni: ne risulta un circolo vizioso che porta comunque ad un compromesso tra autonomia, potenze e pesi.

Tuttavia i costruttori hanno sperimentato come introducendo un piccolo generatore termico nel circuito, che quindi non sia destinato a muovere il veicolo ma soltanto a produrre energia elettrica, possa rendere estremamente prestazionale anche una vettura elettrica.

Il concetto prende il nome di extended range, ovvero autonomia estesa, e risulta il compromesso ibrido migliore tra motorizzazione elettrica e termica: permette di utilizzare un motore elettrico prestazionale, un pacco batterie non eccessivamente pesante e permette comunque un'autonomia di guida superiore ai 300 km.

In una versione ulteriormente sviluppata di questo sistema ibrido, il motore termico e quello elettrico possono anche lavorare insieme, aumentando la potenza della vettura e sfruttando i benefici di una trazione integrale.

Sul mercato di riferimento, la proposta più vicina al concetto di auto sportiva elettrica

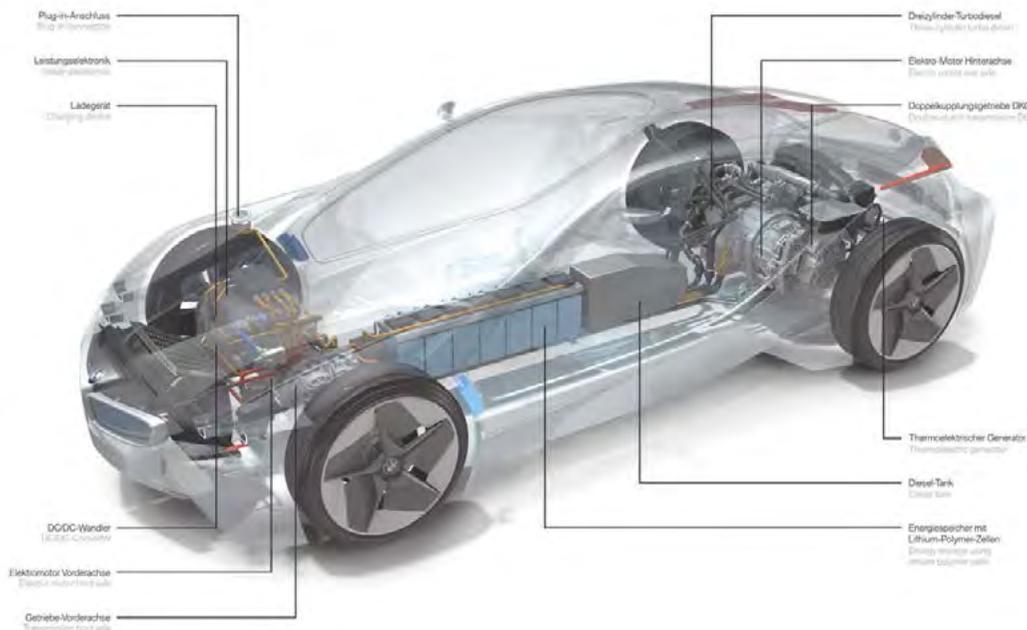
con un'autonomia paragonabile, è la BMW i8.

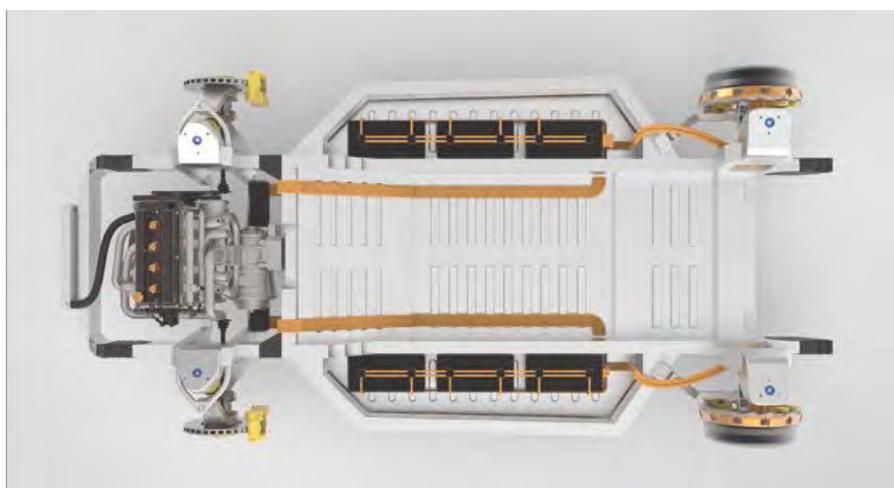
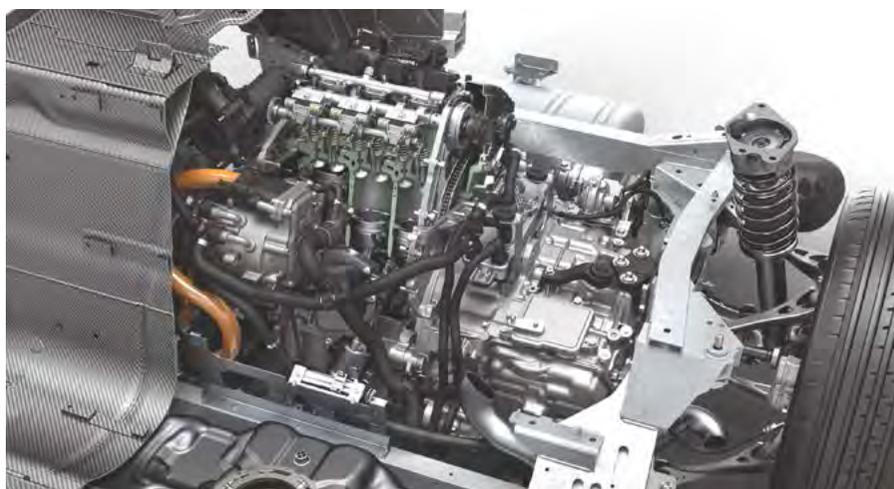
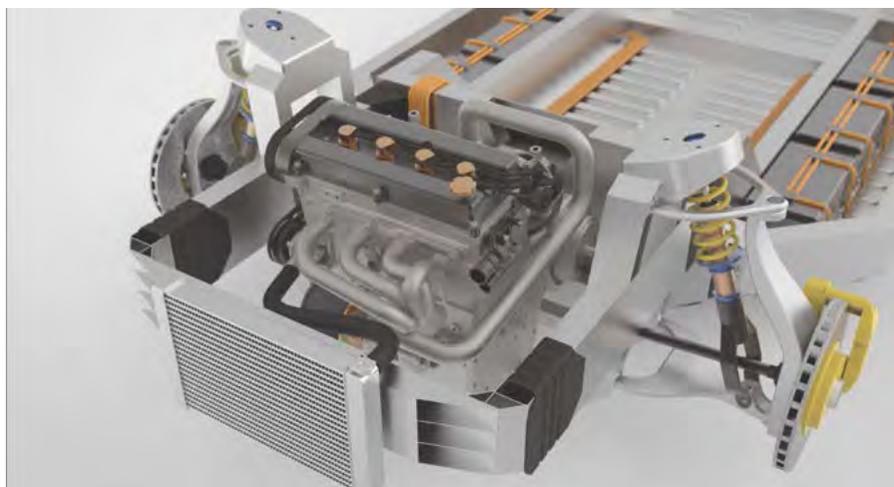
Questo veicolo unisce un motore elettrico sull'asse anteriore, della potenza di circa 130 cv, ad un motore tre cilindri turbo benzina sull'asse posteriore, con una potenza di 230 cv.

In questa versione ulteriormente sviluppata del sistema ibrido, il motore termico e quello elettrico possono anche lavorare insieme, aumentando la potenza della vettura e sfruttando i benefici di una trazione integrale.

Il pacco batterie è molto compatto, posizionato a centro vettura, e ha una capacità di 7,5 kWh, che risultano in una autonomia esclusivamente elettrica di 40 km.

Nell'analizzare questo sistema, e nel cercare un'ipotesi di applicazione al progetto, si è deciso di conservarne gli elementi fondamentali, motore termico, batterie e motori, ma di modificarne sia la disposizione che la funzionalità, oltre a cercare di superare i limiti imposti dall'architettura precedentemente introdotta.





## MOTORE TERMICO

Partendo dal motore termico, è stato scelto per il veicolo lo stesso motore tre cilindri turbo benzina da 1,5 Litri di capacità, con una potenza in questo caso di 150 cv ed una coppia di 300 Nm circa.

Il motore termico viene posizionato anteriormente, ma arretrato rispetto all'asse, in modo da aiutare la equa ripartizione dei pesi.

Il motore è stato scelto per l'elevata efficienza, per la compattezza, e per l'alto livello di coppia sviluppato, che permette prestazioni notevoli con un consumo medio combinato di circa 2,5 litri di benzina ogni 100 km.

Il serbatoio per il motore termico viene posizionato immediatamente dietro la paratia frontale del motore, in posizione avanzata rispetto agli occupanti.

La capacità è di 40 Litri

## PACCO BATTERIE

Passando al pacco batterie, data la collocazione centrale degli utenti, quest'ultimo è stato suddiviso in due parti, poste all'interno del telaio nelle due "panche" laterali formate dalle travi.

Questa collocazione risulta vantaggiosa in quanto i pesi sono perfettamente centrati all'interno degli assi, e la presenza delle batterie non reca nessun compromesso nell'abitabilità della vettura.

L'obiezione più evidente che si potrebbe muovere a questa soluzione è l'esposizione eccessiva ad urti laterali, e la possibilità che le batterie vengano danneggiate irrimediabilmente, o che possano generare fenomeni di combustione.

Tuttavia, le celle sono state spostate quanto più possibile verso l'interno della struttura, e vengono protette da un gap dimensionale di circa 300mm, oltre che da una delle travi principali della struttura: le panche inoltre vengono strutturate con

un honeycomb in alluminio per proteggere ulteriormente il pacco batterie.

La capacità delle batterie è stata aumentata rispetto al riferimento BMW i8, passando da 7,5 kW/h a 10kW/h, che garantiscono dunque una maggiore autonomia in modalità esclusivamente elettrica, circa 50 km.

Le batterie prese a riferimento sono prodotte dalla A123 Systems, e si basano sulla chimica al polimero di Ione Litio Nanofosfato.

Questa tecnologia permette di ottenere celle di dimensioni ridotte ( 7.5mm in spessore , 160mm in lunghezza, 160 mm in altezza nella versione più sottile), con un peso di circa 500 g e un contenuto energetico di 65 W/h.

Utilizzando questi dati, il pacco batterie per il progetto risulta pesare 75 kg, con 150 celle suddivise in 6 moduli da 25 celle ciascuno.

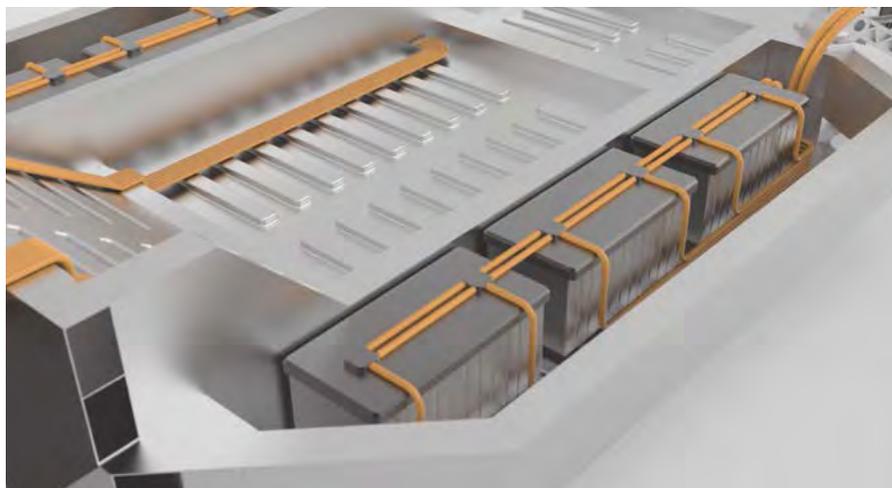
## MOTORI ELETTRICI

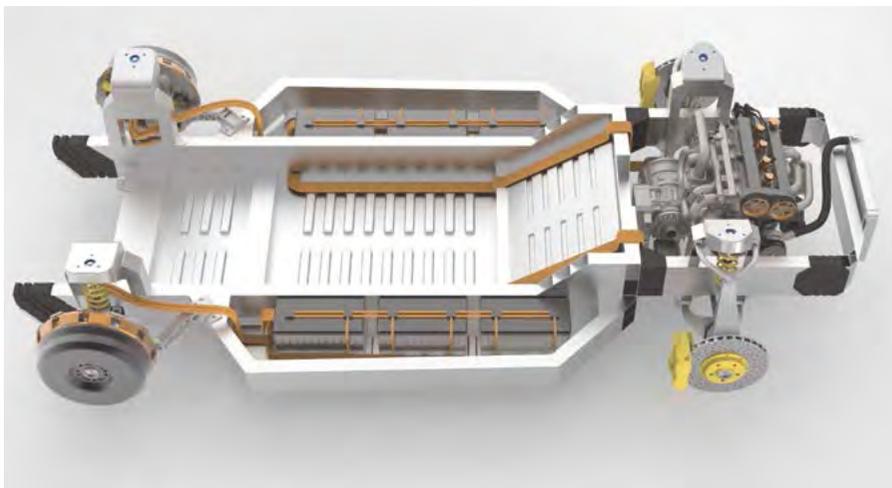
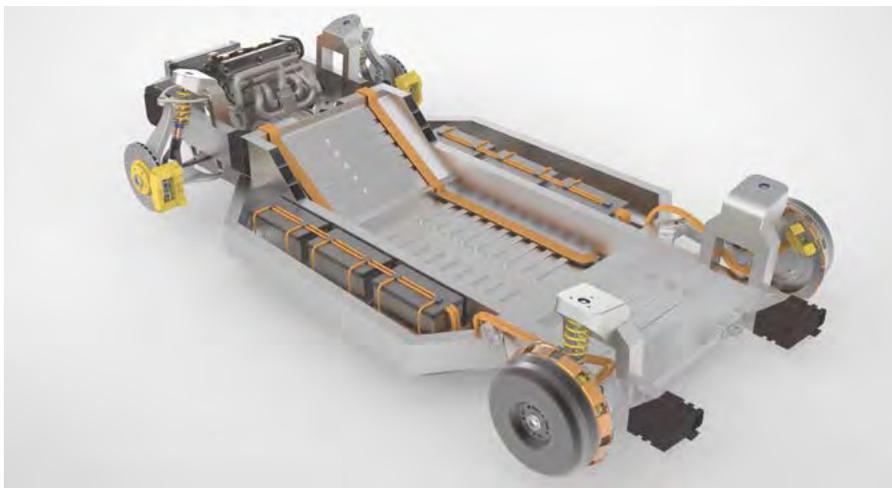
Per quanto riguarda l'ultimo elemento del sistema propulsivo, il motore elettrico, nel progetto la trazione elettrica è stata affidata ad una coppia di motori posti all'interno delle ruote posteriori, secondo l'architettura definita, appunto, in-wheel.

Questa scelta, tecnologicamente di grande impatto, è stata particolarmente influenzata da un insieme di fattori dovuti all'architettura del telaio e alla destinazione d'uso del veicolo.

Per quanto riguarda il primo fattore, la disposizione centrale degli occupanti ed il conseguente accesso posteriore hanno portato all'eliminazione di qualsiasi elemento che potesse ostacolare l'accessibilità, di conseguenza una soluzione con un singolo motore condiviso dall'asse posteriore è stata tassativamente scongiurata dai limiti dimensionali.

Inoltre, e questo per quanto riguarda il secondo fattore, il posizionamento del veicolo in linea con il mercato dell'auto sportiva





comprende una serie di valori aggiunti che differenziano questa tipologia di veicoli dagli altri, tra i quali la trazione, che in veicoli sportivi si tende a preferire posteriore o al massimo integrale.

Dunque, un motore elettrico anteriore sarebbe risultato essere un compromesso nei confronti del piacere di guida, che è una delle motivazioni principali che porterebbe all'acquisto di un prodotto di questo tipo.

E' stata ricercata di conseguenza una soluzione integrata all'interno delle ruote posteriori che potesse risultare in linea con le premesse alla base del progetto, ed è stata trovata in un particolare tipo di motore in-wheel, prodotto dalla Protean Electric.

Il motore Protean è un motore elettrico a magneti permanenti, delle dimensioni di 420 mm di diametro per 150 mm di profondità, che è possibile dunque inserire all'interno di ruote di dimensioni a partire da 18 pollici.

La potenza espressa per ogni motore è di circa 100 cavalli, con circa 700Nm di coppia per motore.

Il sistema integra inoltre un freno a disco perimetrale, data l'impossibilità di montare dischi e pinze convenzionali, in modo da integrare tutte le funzionalità richieste all'interno della sagoma della ruota.

La potenza elettrica totale di 200 cavalli, unita ai 150 cavalli del motore termico anteriore, risulta in una potenza combinata totale di 350 cavalli.

La trazione integrale combinata permette un controllo diretto sulla quantità di coppia da inviare alle ruote posteriori, i cui motori agiscono da differenziale, ed è possibile inoltre variare a piacimento la modalità di marcia in base alle esigenze.

Gli schemi sospensivi per il progetto sono stati analizzati in funzione della loro corrispondenza con gli scenari di dinamica del veicolo affrontati, in congiunzione con i limiti dimensionali derivanti dalle scelte telaistiche e meccaniche operate fino a questo momento.

Entrambi i sistemi adottati sono stati scelti ricercando nel mercato di riferimento esempi di eccellenza nel comportamento dinamico, sia in un utilizzo sportivo che in situazioni di marcia più tradizionali.

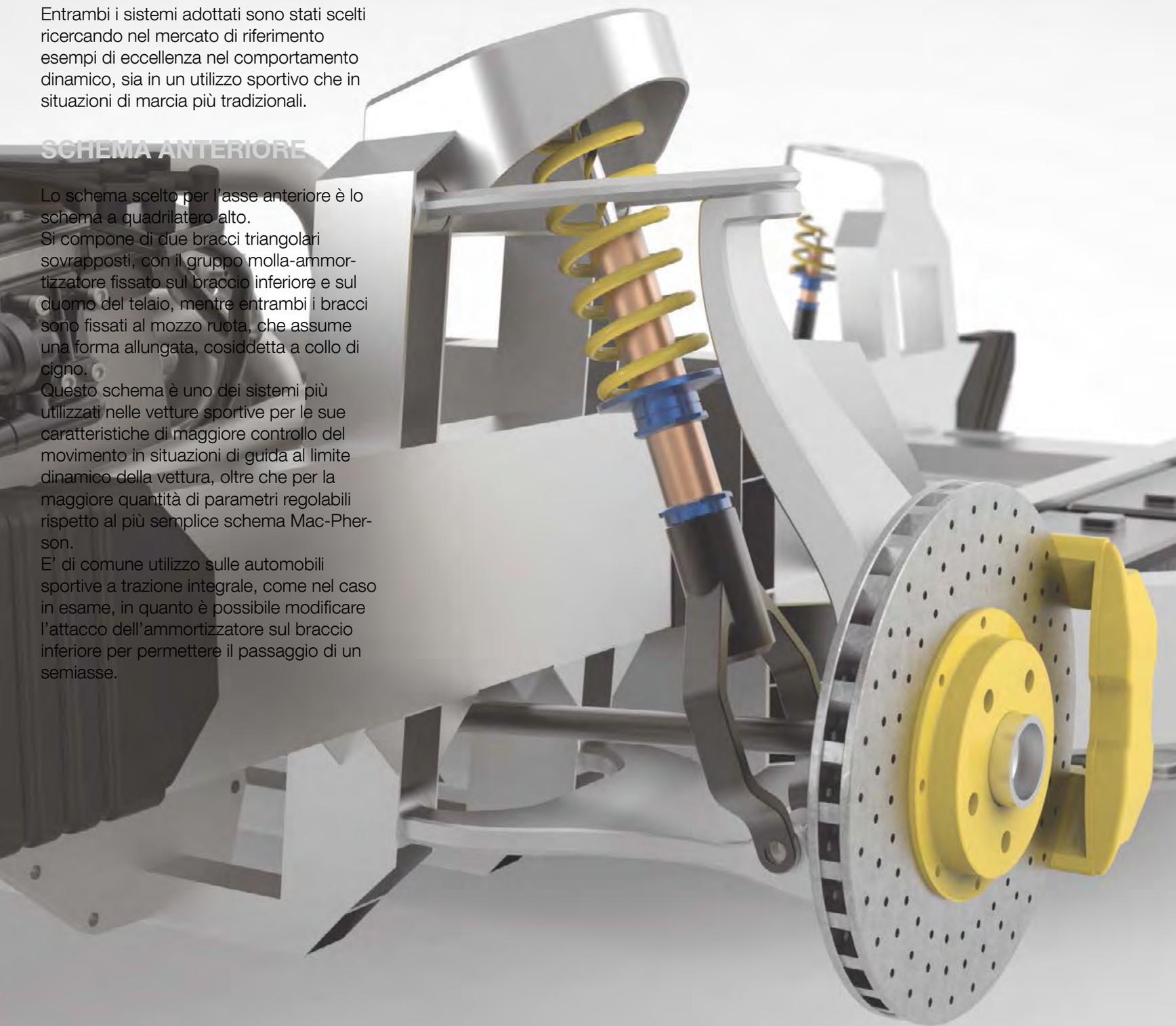
## SCHEMA ANTERIORE

Lo schema scelto per l'asse anteriore è lo schema a quadrilatero alto.

Si compone di due bracci triangolari sovrapposti, con il gruppo molla-ammortizzatore fissato sul braccio inferiore e sul duomo del telaio, mentre entrambi i bracci sono fissati al mozzo ruota, che assume una forma allungata, cosiddetta a collo di cigno.

Questo schema è uno dei sistemi più utilizzati nelle vetture sportive per le sue caratteristiche di maggiore controllo del movimento in situazioni di guida al limite dinamico della vettura, oltre che per la maggiore quantità di parametri regolabili rispetto al più semplice schema Mac-Pherson.

E' di comune utilizzo sulle automobili sportive a trazione integrale, come nel caso in esame, in quanto è possibile modificare l'attacco dell'ammortizzatore sul braccio inferiore per permettere il passaggio di un semiasse.



## SCHEMA POSTERIORE

Lo schema sospensivo posteriore segue lo schema indipendente a braccio tirato.

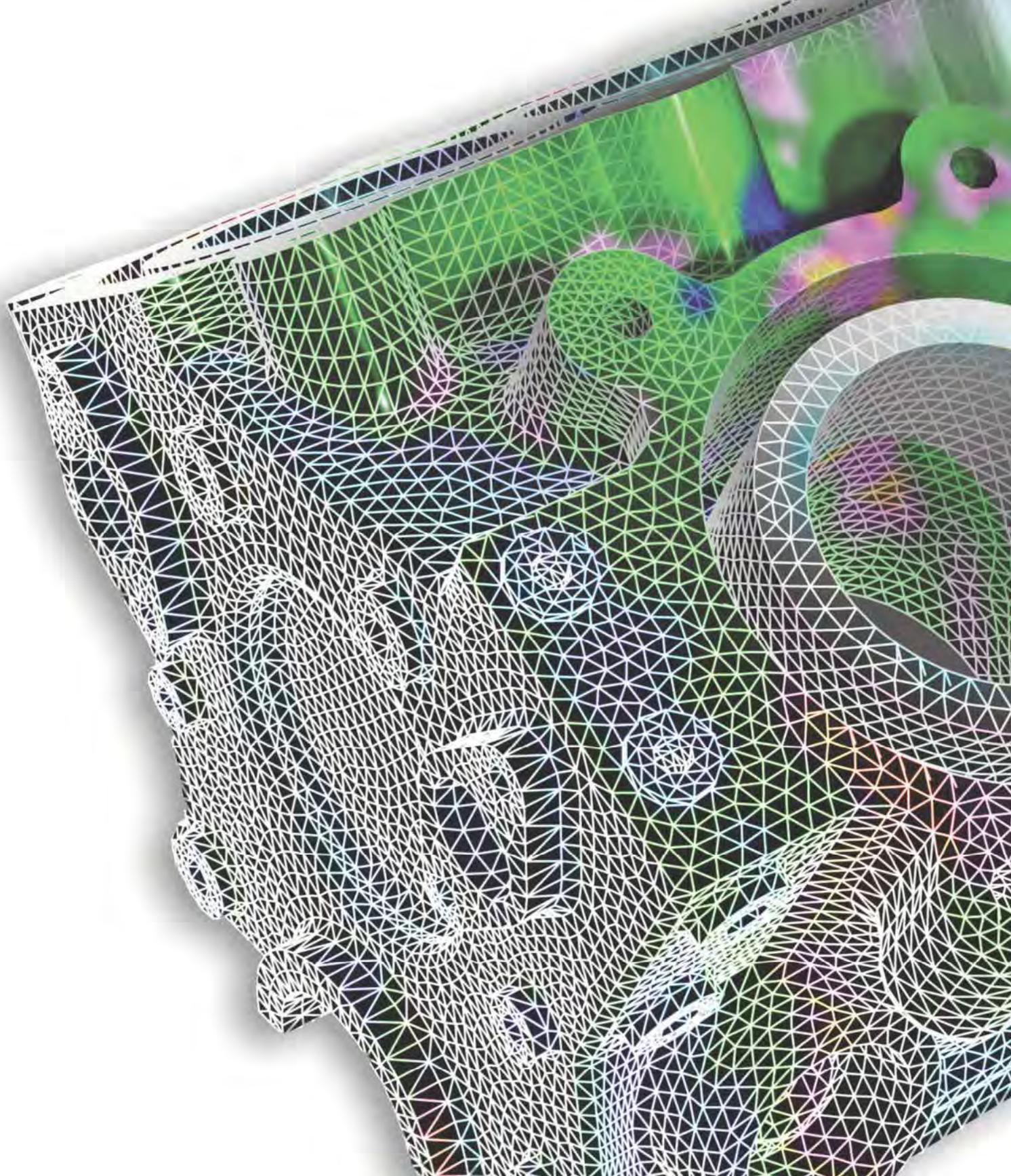
Si tratta di un braccio longitudinale fissato al telaio in modo da muoversi in senso verticale in maniera indipendente, con il gruppo molla-ammortizzatore fissato ad esso e al duomo posteriore.

Per controllare e smorzare lo scuotimento laterale vengono aggiunti due bracci trasversali.

Questo particolare schema non è molto adatto alla guida sportiva, ma il suo impiego nel progetto è dovuto esclusivamente ad esigenze particolari di spazio.

La necessità di un ampio corridoio interno nel telaio, e l'accesso posteriore, difatti non permettono l'impiego di sistemi più consoni, come il Multilink, che richiederebbe un ingombro trasversale molto maggiore.





## 1. Introduzione al FEM

Una volta descritte le caratteristiche meccaniche e costruttive del modulo, è possibile passare alla fase di modellazione per elementi finiti, che permetterà in seguito, l'analisi statica lineare secondo i casi di carico stabiliti.

Il metodo degli elementi finiti (FEM dall'inglese Finite Element Method) è una teoria numerica che viene utilizzata nel campo della progettazione per risolvere problemi di analisi delle strutture, verificando così la loro validità.

Il metodo è stato sviluppato per poter riuscire a valutare gli stati di tensione e deformazione, derivanti da varie casistiche di sollecitazione, in strutture complesse, impossibili da verificare con metodi di calcolo tradizionali: si tratta infatti di un metodo matematico che viene implementato da software di analisi, per poter sfruttare la superiore potenza di calcolo numerico dei computer, e creare così una simulazione virtuale della struttura e del caso di sollecitazione.

Alla base del metodo FEM vi è il concetto di discretizzazione, ovvero, la suddivisione di un corpo fisico qualsiasi esso sia in una serie, molto grande, di elementi geometrici di forma contenuta e definita, con caratteristiche matematiche omogenee, che riproducono il cosiddetto continuum della struttura: agli elementi vengono cioè associate caratteristiche materiche ben precise, definite dal modulo elastico, Modulo di Young, e dal coefficiente di deformazione trasversale, Coefficiente di Poisson.

Ogni elemento viene descritto da una serie di punti, detti nodi, che ne definiscono le caratteristiche geometriche e ne descrivo-

no il comportamento alla sollecitazione: ad ogni punto corrisponde un calcolo numerico relativo alla forza del carico in quel punto, forza che restituisce uno spostamento del nodo rispetto alla sua posizione iniziale. L'equazione alla base di questo spostamento viene definita Matrice di rigidezza, nella quale si ha:

$$K \times u = F$$

Dove K è la matrice di rigidezza, F è la forza di sollecitazione e u è il vettore spostamento.

Gli algoritmi numerici all'interno del software si occupano di risolvere il sistema di equazioni derivante dall'insieme di tutte le matrici di rigidezza dei nodi, invertendo la matrice di rigidezza K e restituendo il valore di spostamento u desiderato.

All'interno di ogni elemento, maggiore sarà il numero di nodi, tanto più preciso sarà il calcolo degli spostamenti, e di conseguenza più accurata risulterà l'analisi della deformazione di tutta la struttura.

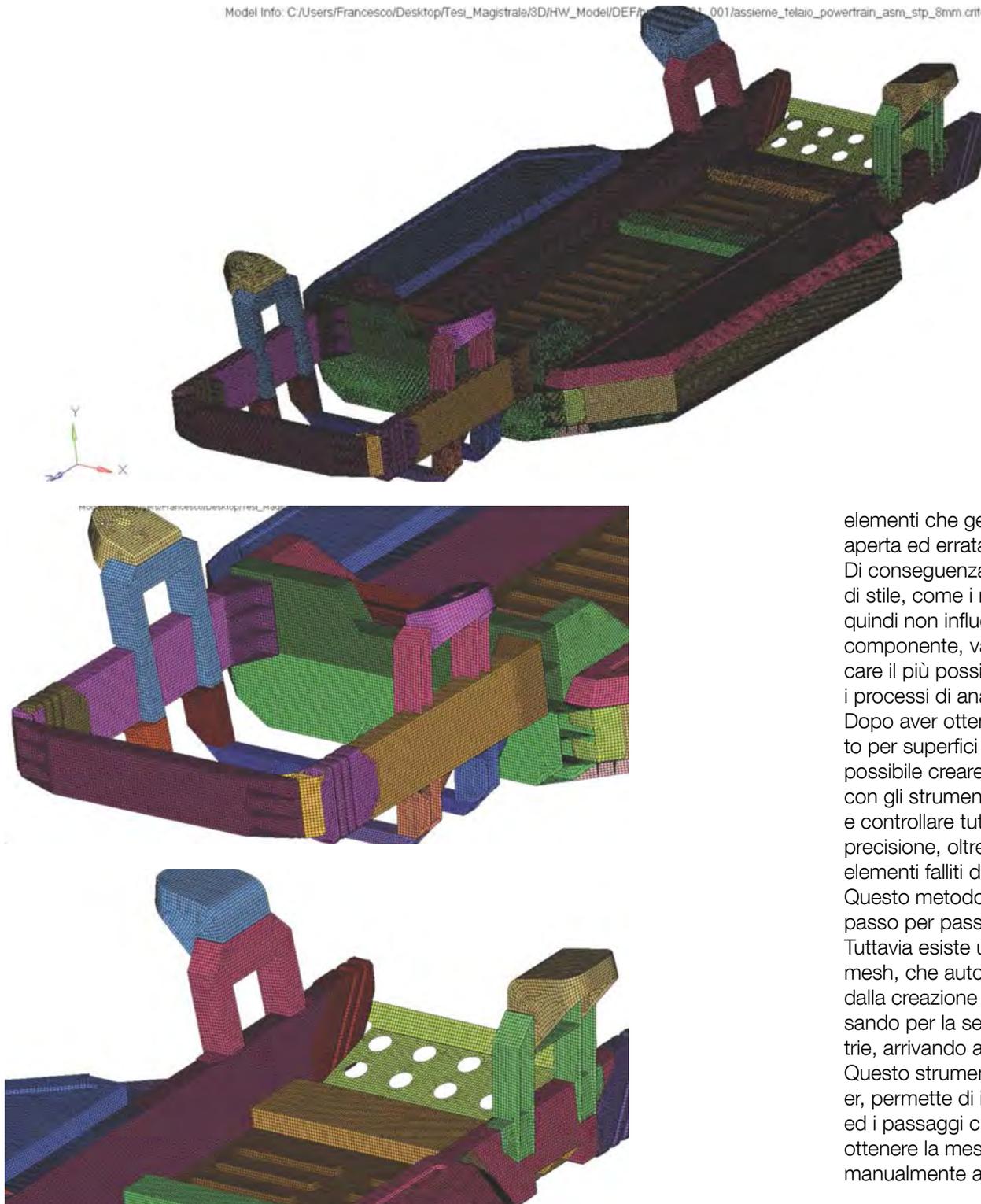
Il numero dei nodi all'interno dell'elemento viene governato da delle funzioni matematiche definite funzioni di forma.

Gli elementi possono dunque essere di geometria differente a seconda della complessità del problema matematico da affrontare.

Abbiamo elementi bidimensionali, 2D, che possono essere di tipo triangolare, TRIA, o quadrangolare, QUAD, classificati secondo il numero di nodi presenti al loro interno.

Gli elementi 2D vengono utilizzati per descrivere geometrie nelle quali la componente dello spessore è trascurabile nei confronti dell'estensione dell'area, ad esempio profili estrusi o piastre.





elementi che genererebbero una mesh aperta ed errata. Di conseguenza, anche tutte le feature di stile, come i raccordi e gli smussi, che quindi non influenzano la struttura del componente, vanno eliminati per semplificare il più possibile la mesh e facilitare così i processi di analisi.

Dopo aver ottenuto il modello completo per superfici medie di tutto il telaio, è possibile creare una mesh bidimensionale con gli strumenti presenti in Hypermesh, e controllare tutti i parametri relativi alla precisione, oltre che correggere eventuali elementi falliti durante la creazione. Questo metodo va eseguito manualmente, passo per passo.

Tuttavia esiste un plugin, esterno ad Hypermesh, che automatizza l'intero processo, dalla creazione delle superfici medie, passando per la semplificazione delle geometrie, arrivando ad ottenere una mesh. Questo strumento, chiamato Batch Mesher, permette di impostare tutti i parametri ed i passaggi che si desidera svolgere per ottenere la mesh desiderata, senza dover manualmente applicare lo stesso metodo

ad ogni elemento singolarmente.

Per creare le mesh del modulo powertrain dunque, è stato utilizzato il Batch Mesher, che è stato impostato secondo parametri concordati con il tutor Altair.

Una volta terminato il processo, si procede all'apertura del file contenente il modello in elementi finiti, insieme alla geometria delle superfici medie generate.

Si passa a verificare gli elementi ottenuti con il Quality Index, uno strumento di controllo ed ottimizzazione della mesh, che evidenzia in maniera grafica tutti gli elementi e distingue con vari colori il grado di perfezione degli elementi, evidenziando in rosso quelli falliti, ed in giallo quelli non ottimali.

Una volta verificata la bontà della mesh, è possibile passare alla connessione dei vari componenti del modello.

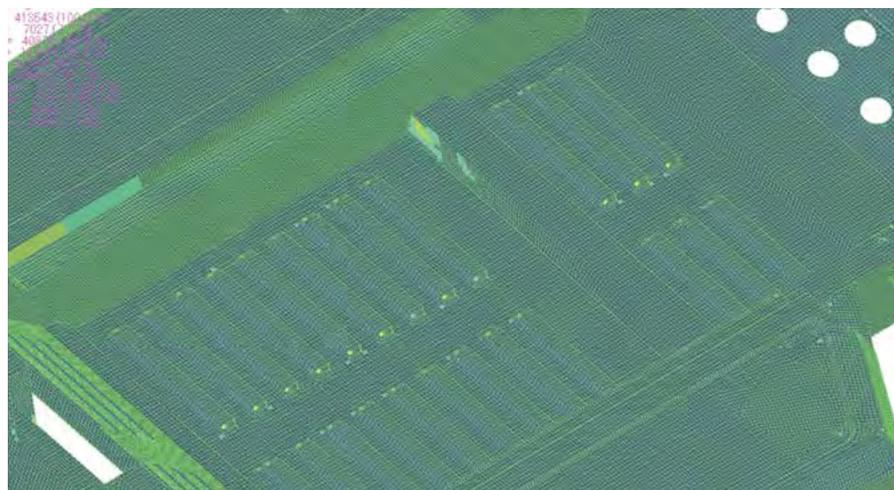
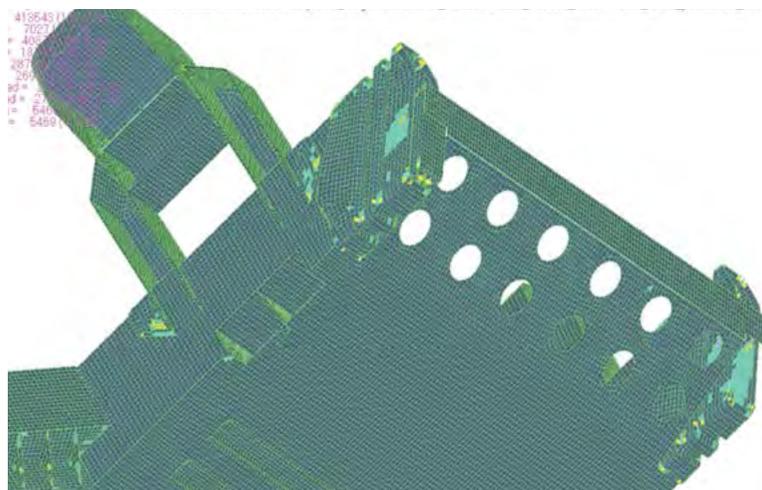
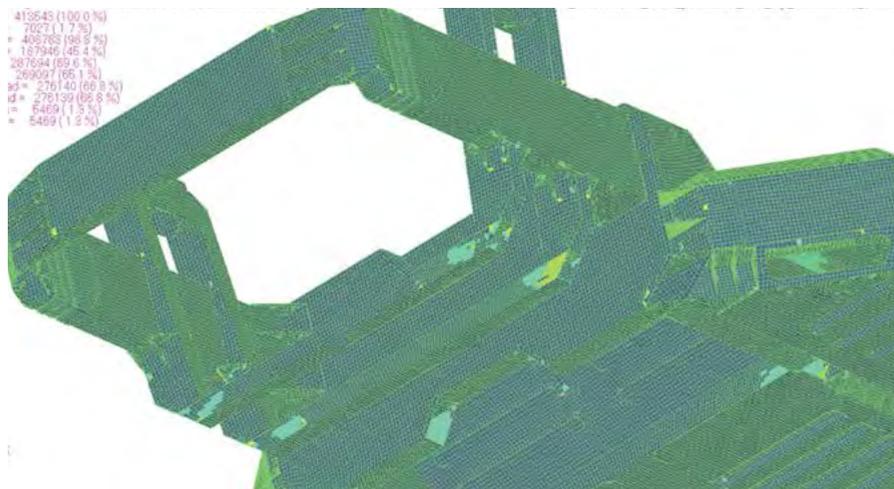
A questo stadio infatti, il modello è semplicemente un insieme di parti collocate in uno spazio definito dalla geometria CAD importata, ma che non hanno alcuna connessione tra loro.

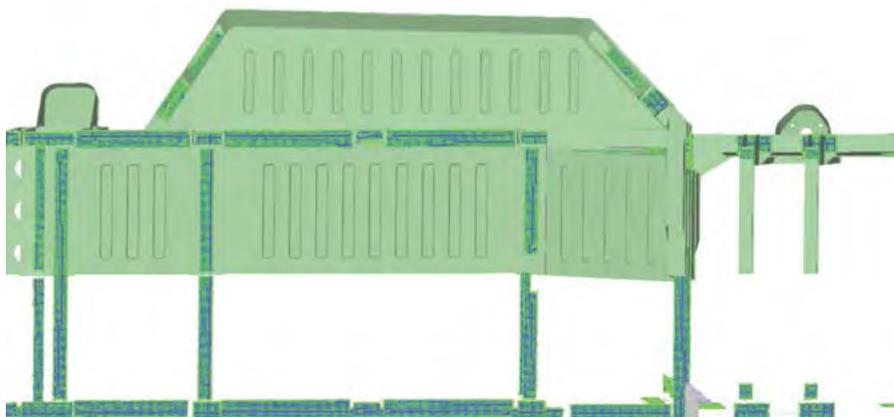
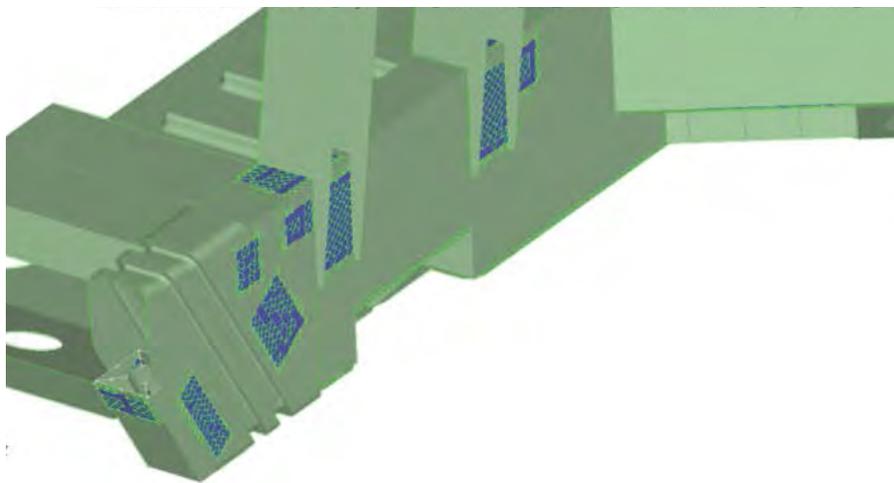
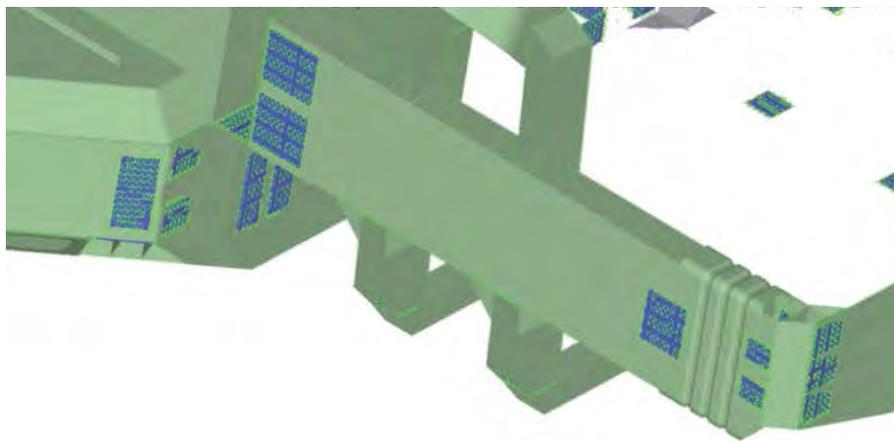
Di conseguenza, si devono vincolare le varie parti secondo la tecnologia di fissaggio scelta in fase di progettazione.

In questo caso, i profili e le piastre del telaio vengono fissate per mezzo di incollaggi con adesivo strutturale, di conseguenza bisogna ricreare all'interno di Hypermesh questo tipo di fissaggio.

Per simulare connessioni di qualsiasi genere in Hypermesh, è necessario utilizzare degli elementi specifici, definiti connectors, di geometria identica a quella degli elementi tradizionali, ma con proprietà e parametri differenti a seconda della connessione da simulare.

E' possibile simulare connessioni meccaniche come rivetti e bulloni, oltre che saldature a punti, con elementi 1D ROD che simulano il comportamento e la massa dell'elemento di fissaggio, e creano connessioni con gli elementi della mesh circostante; i fissaggi tramite saldatura continua vengono simulati con elementi 2D QUAD





in serie lungo tutta la linea di fissaggio individuata tra i componenti; gli incollaggi infine vengono simulati con elementi 3D interposti tra due componenti.

L'incollaggio richiede l'uso di un elemento 3D in quanto deve essere simulata la reazione dell'adesivo allo stress della forza applicata, e come esso reagisce nei confronti delle componenti che deve fissare, di conseguenza non basta descrivere la connessione come bidimensionale, ma è necessario introdurre un numero maggiore di nodi per meglio specificare la distribuzione del carico in quel punto.

Si procede dunque ad individuare le aree soggette ad incollaggio e si posizionano i connectors relativi agli incollaggi, chiamati AREA in Hypermesh.

A questo punto il modello FEM è definito nella sua geometria ed è fissato secondo la tecnologia scelta per la realizzazione.

Il passo successivo è la creazione delle card dei materiali, ovvero i profili che contengono le caratteristiche fisiche da applicare agli elementi, per descriverne il comportamento fisico.

Sebbene il modello sia composto da un singolo materiale, la lega di alluminio 6063, è necessario creare un profilo anche per l'adesivo, altrimenti Hypermesh non riuscirebbe a definire il suo comportamento in fase di analisi, facendo fallire il modello.

### 3. Impostazione Analisi

Tutti gli elementi necessari alla definizione del modello sono ora presenti, e descrivono in maniera completa l'entità fisica del telaio.

Il processo successivo consiste nella creazione dei casi di carico, definiti load steps, che comprendono due componenti fondamentali, ovvero i vincoli e le forze.

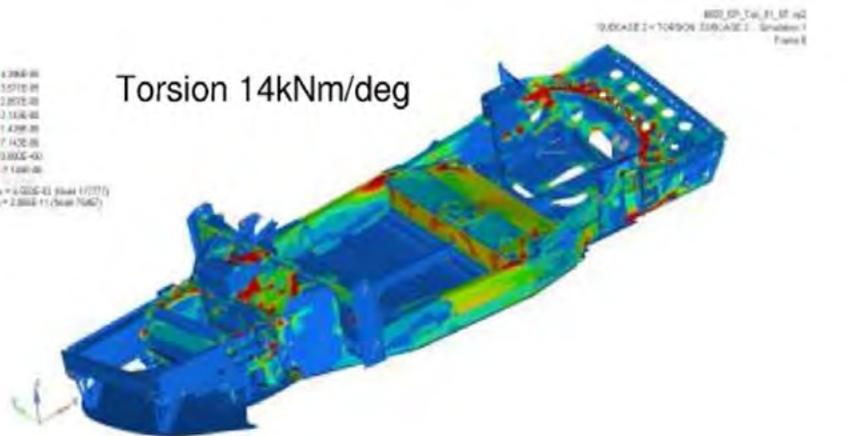
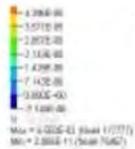
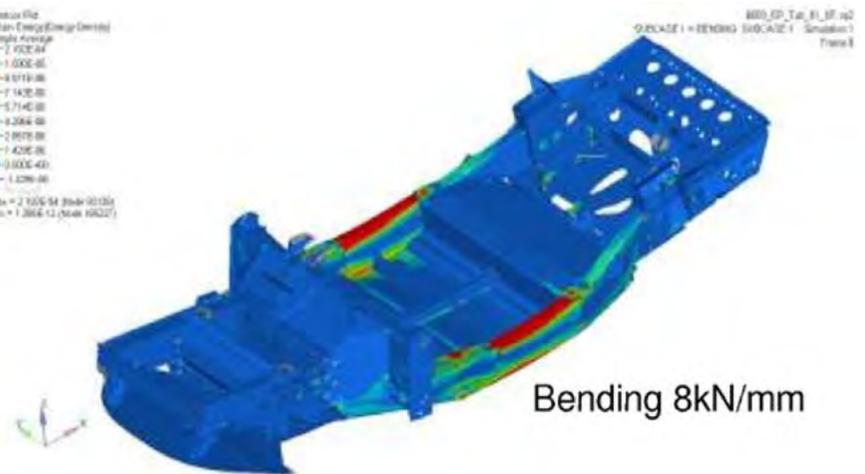
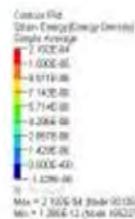
La combinazione di questi due elementi deve essere attentamente valutata per descrivere in maniera il più accurata possibile lo scenario di stress al quale si vuole

sottoporre il modello, per poi confrontarlo magari con un caso studio di riferimento. Nel caso di questo progetto, sono stati presi a riferimento i valori relativi alle rigidità torsionali e flessionali dell'analisi statica del telaio di una Lotus Evora. E' bene precisare che la Evora è una vettura gran turismo di categoria elevata, con una raffinatezza progettuale al top della gamma, che presenta un'attenzione molto particolare nei confronti della dinamica sportiva e del comportamento stradale. Di conseguenza, i valori relativi a queste analisi sono da considerarsi degli obiettivi ideali, certamente non raggiungibili dal progetto trattato in queste pagine: servono dunque a comprendere a che livello collocare il progetto, e a capire quale direzione prendere per migliorare la struttura ed ottimizzarne le prestazioni. Andiamo dunque ad osservare il comportamento del telaio Lotus nei casi di rigidità torsionale e flessionale, rilevando i seguenti risultati.

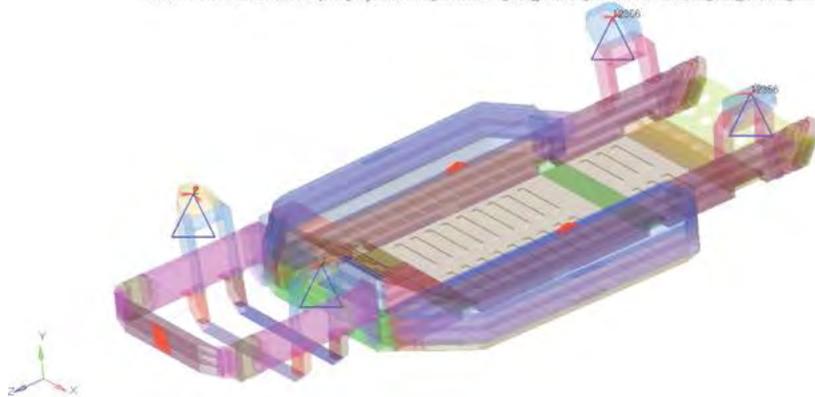
Per quanto riguarda la flessione, Lotus ha rilevato un valore di 8 kNm/deg, mentre per la torsione il valore è di 14 kNm/deg.

I valori ottenuti da Lotus sono ovviamente ottimi e garantiscono un comportamento della vettura in linea con le aspettative del mercato, se non al di sopra.

Si passa di nuovo in ambiente Hypermesh, per impostare i casi di carico corrispondenti con quelli del report Lotus: verranno impostate un'analisi flessionale, due differenti analisi torsionali e un'analisi modale.



Model Info: C:\Users\Francesco\Desktop\Testi\_Magstrale\SDIHW\_Model\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO.rvt

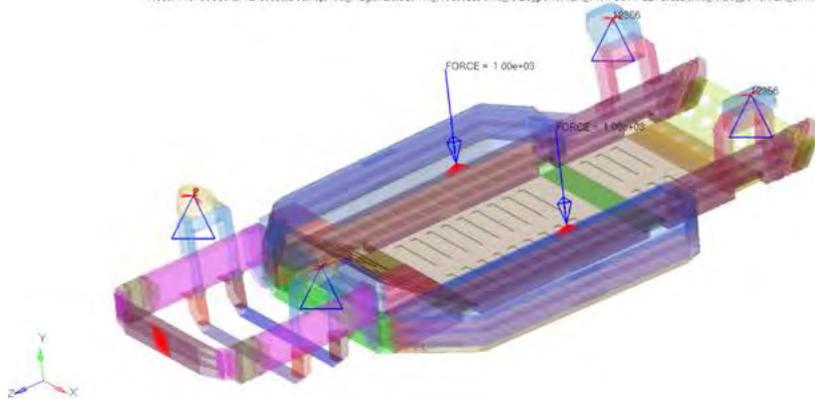


Partendo dalla prima, vengono dapprima creati i vincoli adatti a simulare il comportamento della struttura sottoposta a carico centrale.

I vincoli vengono applicati sulle componenti che nella dinamica del telaio risultano essere i punti di connessione tra l'automobile e gli organi meccanici preposti allo smorzamento degli urti, ovvero i duomi anteriori e posteriori.

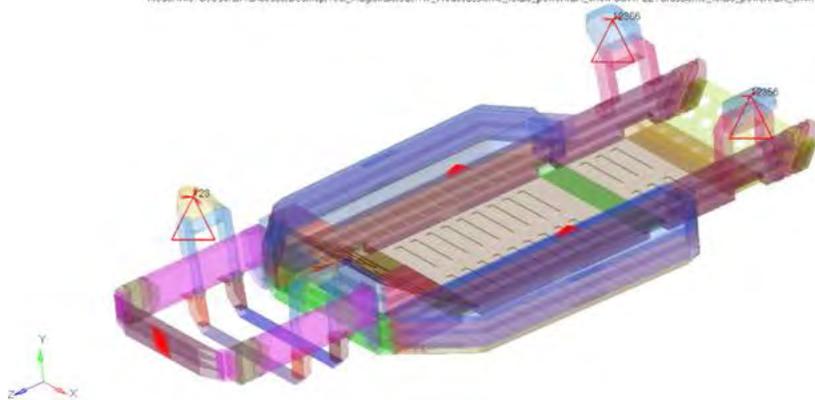
Il vincolo implica anche la quantità di gradi di libertà della struttura in quel punto.

Model Info: C:\Users\Francesco\Desktop\Testi\_Magstrale\SDIHW\_Model\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO.rvt



Si procede a stabilire le forze da applicare al modello, nel caso flessionale un carico complessivo da 2000 N, posizionato centralmente sui longheroni principali del telaio, in direzione Z negativa.

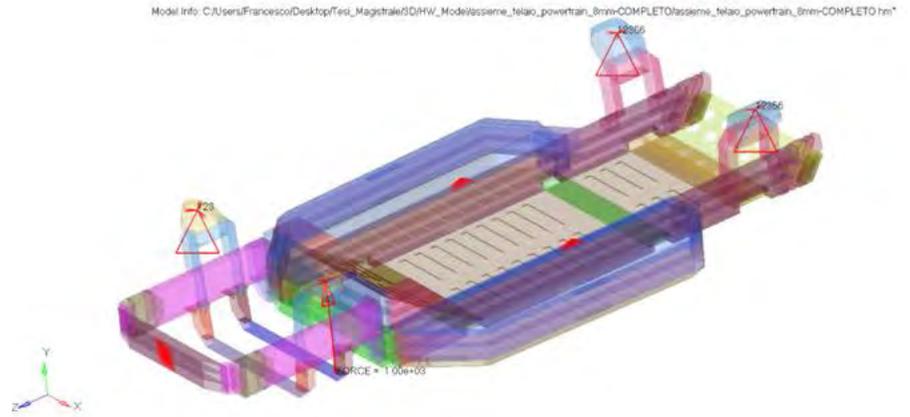
Model Info: C:\Users\Francesco\Desktop\Testi\_Magstrale\SDIHW\_Model\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO\asseme\_telaio\_powertrain\_8mmv-COMPLETO.rvt



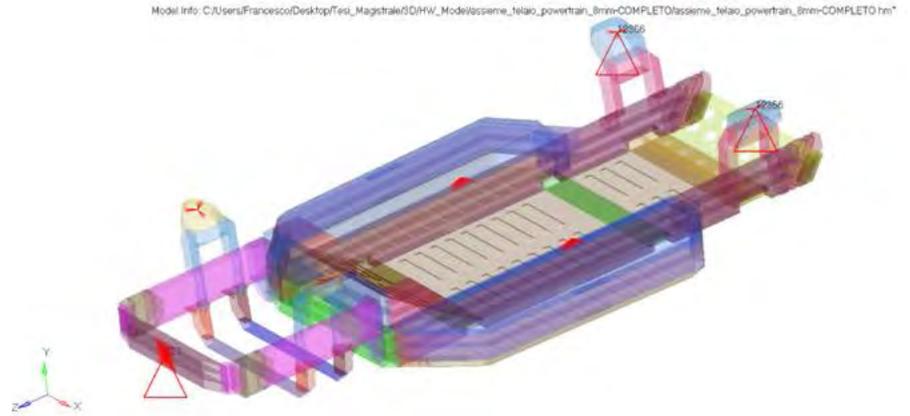
Passando alla prima analisi torsionale, vengono stabiliti anche qui i vincoli e il numero di gradi di libertà da adottare.

In questo caso, vengono vincolati i duomi posteriori e il duomo anteriore destro.

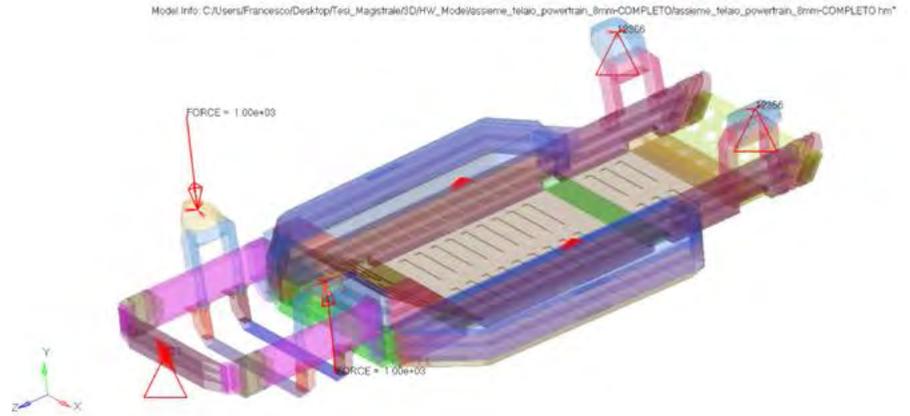
La forza in questo scenario viene posizionata sul duomo anteriore sinistro, con direzione Z positiva, e un valore di 1000N



Nel secondo caso torsionale, i vincoli vengono posti ai duomi posteriori e alla trave paraurti frontale, per creare un caso torsionale più corretto.



Le forze in questo secondo caso vengono applicate in entrambi i duomi anteriori, con direzione Z positiva nel duomo sinistro e con direzione Z negativa nel duomo destro. Il valore di entrambe è 1000N.  
L'ultimo load step riguarda la casistica modale.  
L'analisi modale verifica la risposta di una struttura quando questa viene sottoposta a vibrazioni di differente frequenza, valutando le deformazioni derivanti da queste ultime.  
Una volta impostate tutte le casistiche di carico da analizzare, si procede con il lancio dell'analisi vera e propria.



## 4. Lettura Risultati

Una volta conclusa l'analisi, si procede con la visualizzazione delle varie casistiche utilizzando il modulo di post-processing di Hypermesh, denominato Hyperview. In questo ambiente è possibile visualizzare in maniera grafica qualsiasi aspetto dell'analisi processata, e verificare gli spostamenti tramite la creazione di animazioni.

Per quanto riguarda le analisi condotte sul telaio, i valori ottenuti sono notevolmente minori rispetto a quelli ottenuti da Lotus sul telaio della Evora.

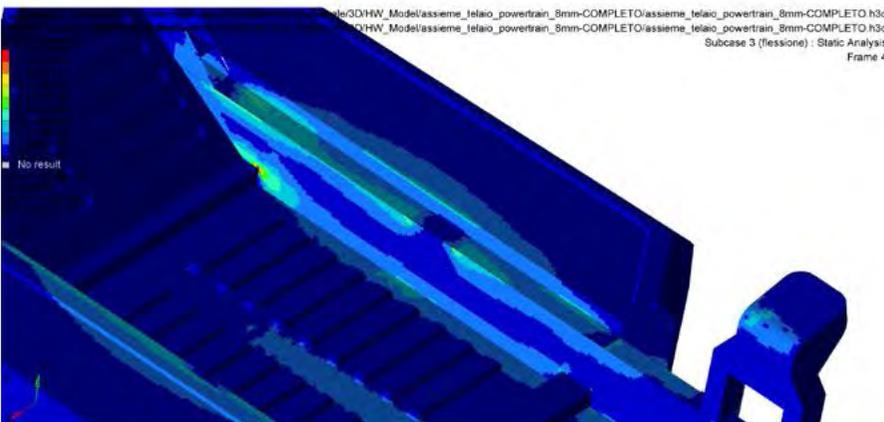
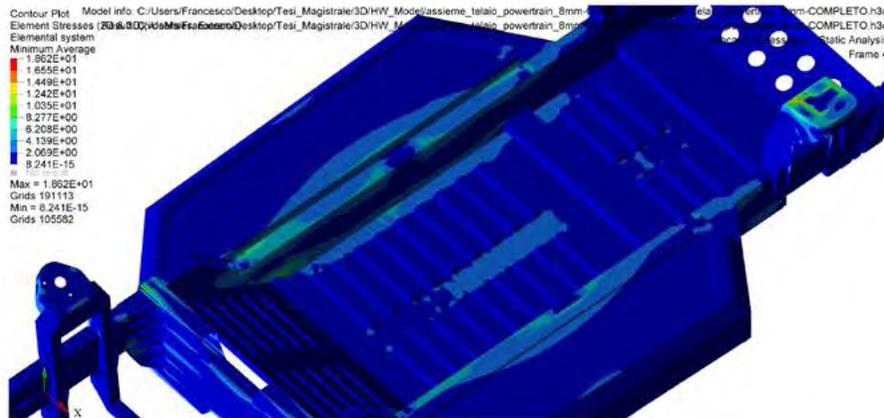
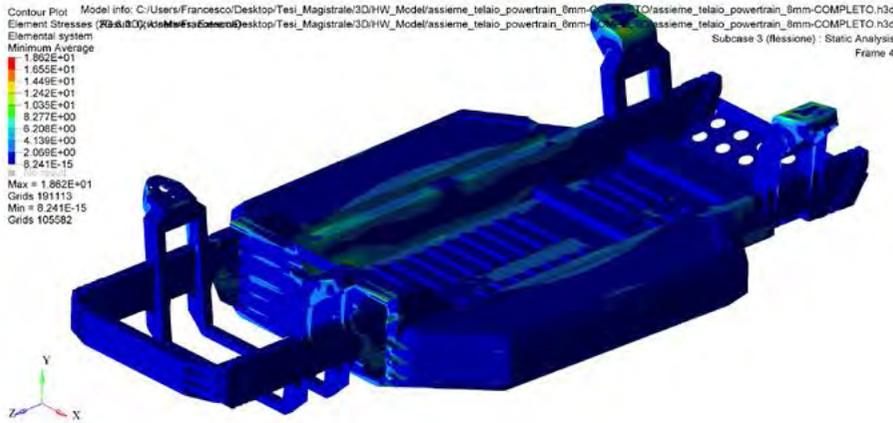
Questo da un lato per la mancanza di competenze in materia ingegneristica da parte del candidato, dall'altro per lo scopo finale di questo lavoro.

Infatti, l'obiettivo dello studio strutturale del telaio è quello di dimostrare come sia necessaria una conoscenza dei temi della progettazione di strutture anche da parte di un designer, e inoltre quello di identificare una direzione di sviluppo ulteriore del progetto in un'ottica di maggiore approfondimento ingegneristico.

Analizzando le varie casistiche, partiamo dall'analisi flessionale.

Il valore ottenuto per questo caso è stato di 1.62 kNm/deg.

Confrontato con il valore ottenuto da Lotus, di 8 kNm/deg, si evidenzia come la struttura disegnata non sia molto prestazionale in questo aspetto, principalmente per la mancanza di rinforzi lungo i longeroni centrali, che essendo molto estesi flettono con una certa facilità

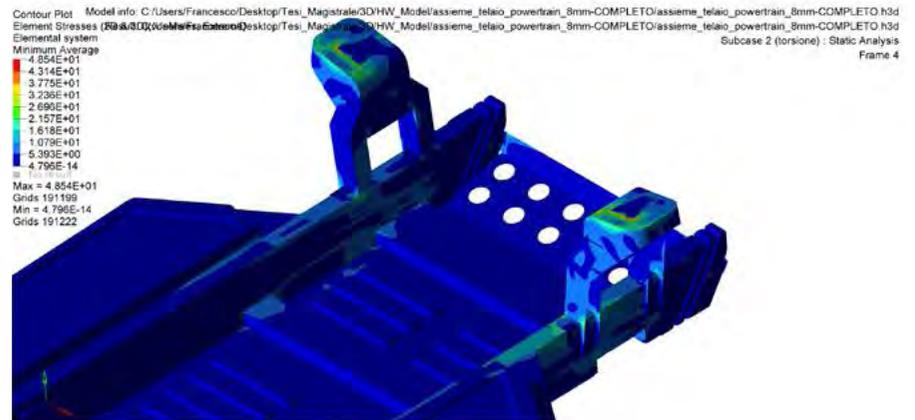
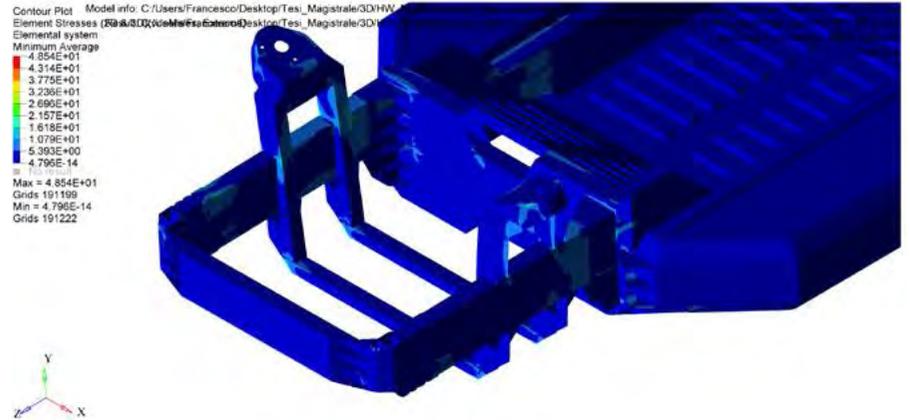
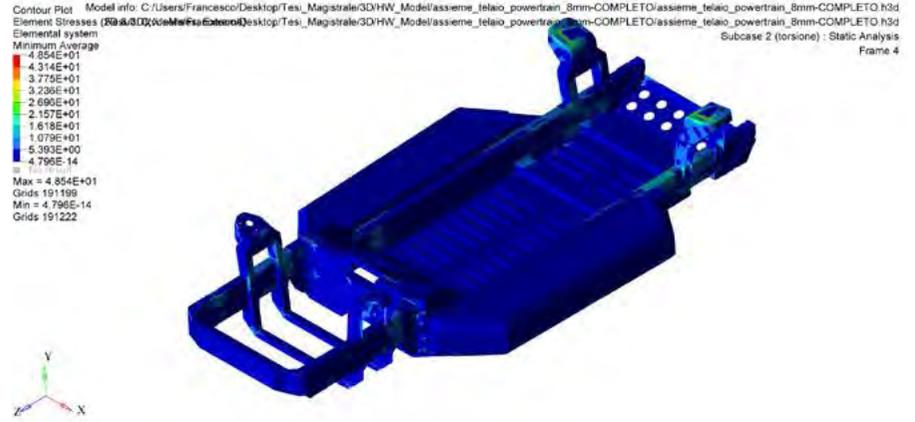


Passiamo al primo caso di analisi torsionale.

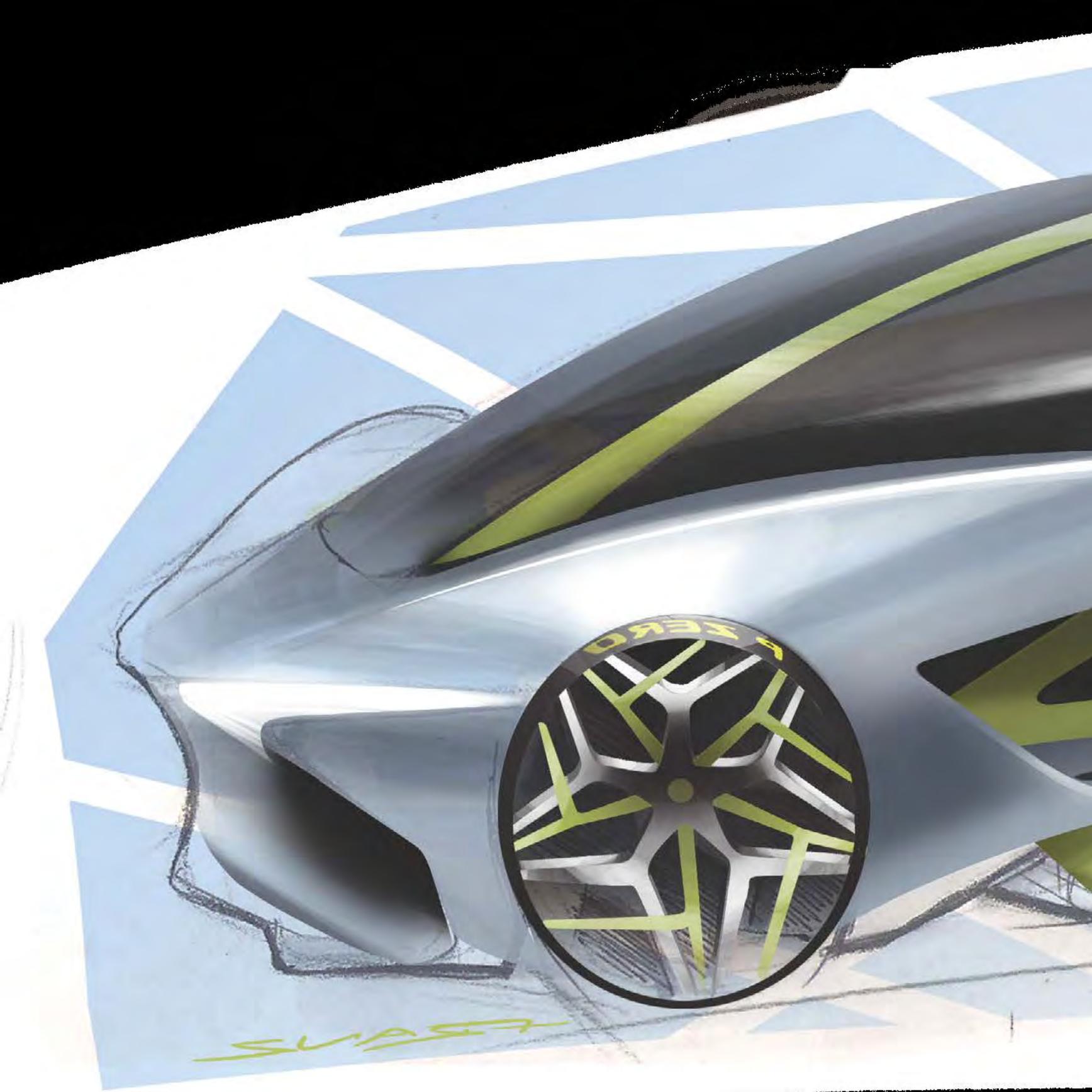
Il valore ottenuto in questo caso è di 3.2 kNm/deg.

Questa casistica è risultata maggiormente positiva nei confronti della prima, e se confrontata con l'analisi di riferimento, la Lotus ha ottenuto un valore di 14 kNm/deg.

Anche qui, il lavoro da fare per migliorare il valore sarebbe sicuramente rinforzare l'area dei duomi, che risulta essere troppo poco supportata.







SVASA

## 1. Concetto

Il secondo modulo che compone la struttura del veicolo è quello relativo alla protezione degli occupanti.

Nella definizione di questo componente, il concetto iniziale è stato quello di voler creare una struttura che comunicasse protezione e solidità attraverso il suo disegno, che risultasse dunque organica nella sua ramificazione dal modulo powertrain inferiore, ma allo stesso tempo avesse una funzione strutturale importante nell'ottica della riduzione dei pesi e dell'ottimizzazione dell'uso dei materiali.

In fase di ricerca, come illustrato nei capitoli precedenti, è stata condotta un'attenta osservazione della forma naturale e di come alcuni progetti siano riusciti a sfruttare le caratteristiche di ottimizzazione delle strutture presenti in natura, e a tradurle in prodotti non soltanto formalmente simili a queste ultime, ma altamente innovativi nello sfruttare nella maniera più corretta e funzionale il materiale dei quali si compongono. La strada perseguita per la progettazione del modulo abitacolo è stata quindi, quella dell'ottimizzazione topologica, utilizzando ancora una volta l'aiuto dei software Altair Engineering, nello specifico solidThinking Inspire.

## 2. Esplorazione Formale

All'inizio dello sviluppo del modulo, sono state formulate delle ipotesi formali, tramite la realizzazione di bozzetti di stile, in modo da tracciare una direzione formale lungo la quale sviluppare la progettazione.

Il volume unico, necessario al veicolo per poter essere utilizzato da un utenza disa-

bile, è stato da subito visualizzato come il nucleo di un corpo organico, utilizzando la terminologia dell'anatomia umana, lo si può identificare come lo scheletro dell'intera vettura, il cui compito è proteggere i fragili organi interni.

Nell'intento di comunicare il concetto dell'abitacolo come apparato osseo della vettura, è necessario dunque che questa struttura risulti ben visibile all'esterno, e nel realizzare le prime ipotesi formali, il leit motiv è stato da subito quello di creare una struttura che alternasse superfici vetrate trasparenti a puntoni e tiranti che abbracciassero il volume.

Questa apertura verso l'esterno, oltre che creare uno spazio molto aperto e luminoso, permette di visualizzare direttamente dall'esterno la situazione degli occupanti del veicolo: attraverso la trama della struttura infatti, è possibile scorgere la carrozzeria con la quale l'utente è salito a bordo. Ciò crea sicuramente una reazione da parte dell'osservatore, che rimarrà stupito dall'associazione inusuale tra un veicolo molto sportivo e un individuo con disabilità, la cui condizione non risulta soltanto mostrata in un contesto di valori positivi, ma assume un carattere attivo, capace di compiere azioni che fino a quel momento si sarebbero considerate impossibili.

L'osservatore si troverà nella posizione di voler provare quel veicolo e di sapere che tipo di emozione si prova nel trovarsi all'interno dell'abitacolo, ma essendo quest'ultimo creato solo ed esclusivamente per l'utente con disabilità, il suo desiderio rimarrà non esaudito.

Di fatto si punta all'inversione della condizione del disabile rispetto a quella del normodotato: in questo veicolo è il nor-

modotato a non poter soddisfare un suo desiderio, e l'intero aspetto della vettura deve contribuire all'accentuazione di questa condizione di non-eguaglianza.

Con l'abitacolo immaginato come lo scheletro, l'intera vettura è stata trasportata nell'immaginario anatomico del mondo naturale animale.

Dallo scheletro dunque si immagina che partano le connessioni che rendono possibile la biomeccanica degli esseri viventi, e di conseguenza tutti gli apparati responsabili del movimento: i tendini, le terminazioni nervose, i muscoli, il tutto coperto dalla protezione della pelle.

Se consideriamo quindi, il telaio alla stregua dello scheletro della vettura, possiamo considerare gli altri elementi come organi ulteriori di un unico corpo, caratterizzandoli a livello formale per suggerire a chi osserva la medesima riflessione.

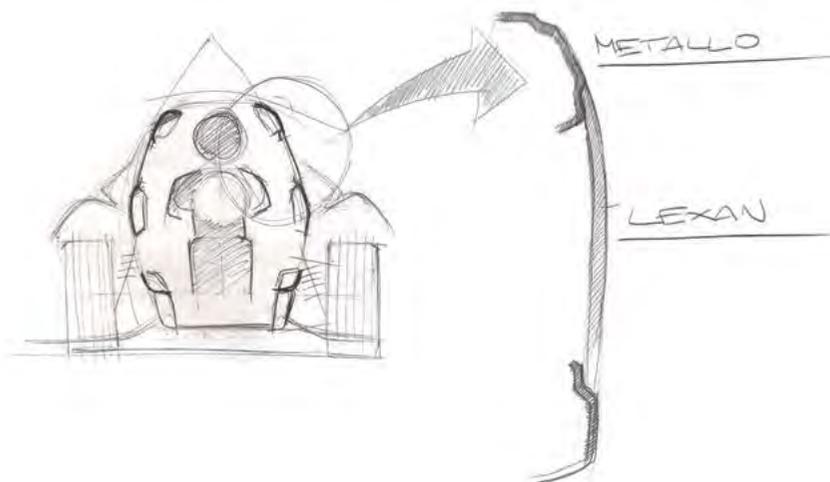
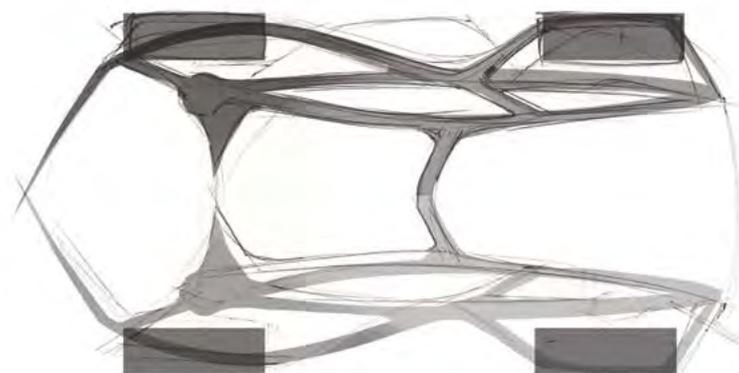
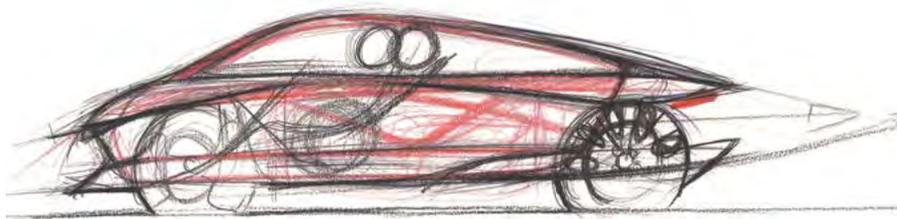
Un'auto sportiva è un veicolo che si muove ad alta velocità grazie al suo motore, così come un atleta è capace di prestazioni superiori a quelle di un individuo normale grazie ai suoi muscoli allenati, e questo è evidente nell'aspetto di ogni atleta: la sua struttura è definita, quasi trasparente, permette di osservare dall'esterno ciò che è all'interno.

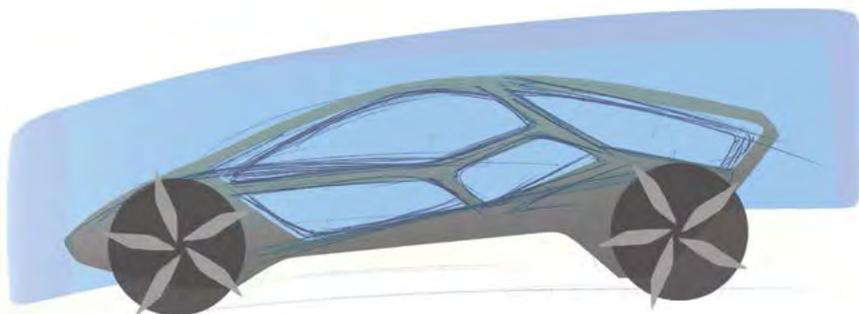
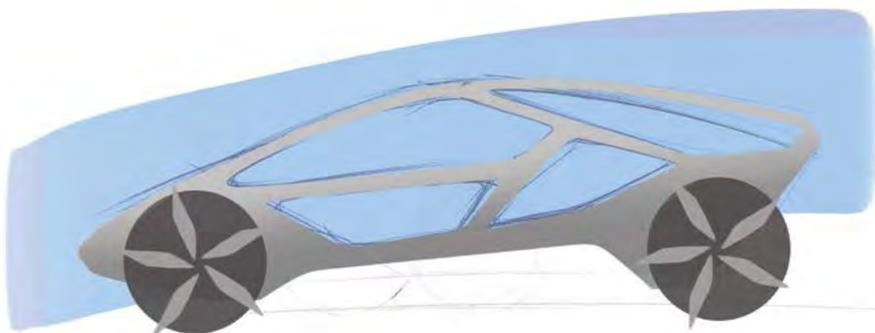
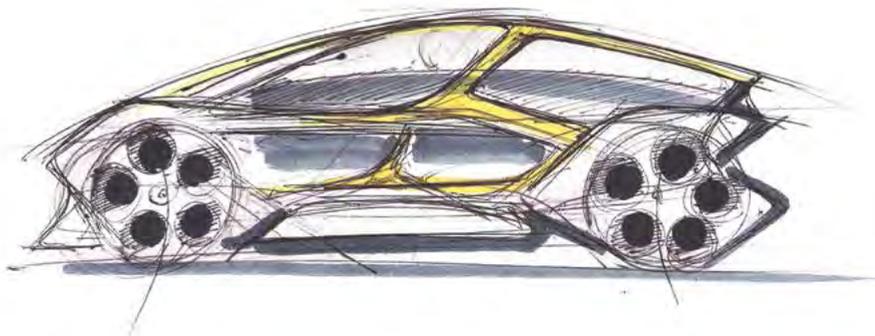
Nel definire la carrozzeria del veicolo è stato utilizzato lo stesso principio: creare una superficie che suggerisca all'esterno ciò che c'è all'interno, che non sia una copertura opaca, ma più un velo che lasci intravedere gli organi meccanici, che suggerisca potenza e prestazione, e che lasci intendere la struttura che la forma.

Nel materializzare queste forme, sono stati esplorati concetti molto diversi dalla carrozzerie in lamiera o in polimero, che sarebbero risultate una traduzione dei concetti in modo solido e non modificabile.

Al contrario, la soluzione scelta è una trasposizione molto fedele di una pelle esterna tesa da un apparato muscolare.

Il concetto definitivo è stato quello di creare delle strutture di supporto, che si





diramassero dalla cellula abitacolo seguendo gli intrecci, e che facessero da supporto ad una superficie in tessuto elastico. In questo modo la superficie risultante è fluida, essenziale e tesa verso l'esterno. Nelle intercapedini tra l'abitacolo e la carrozzeria, si intravedono sia i supporti della carrozzeria stessa, sia la meccanica del veicolo, dando proprio la sensazione che sia un corpo atletico pronto per la prestazione sportiva, la sua ragione di esistere. Di concerto con questa rappresentazione, tutti gli elementi del veicolo sono stati orientati seguendo la stessa linea: i fari e i fanali sono parte della struttura "muscolare", e risultano funzionali nel tendere il tessuto, così come gli spoiler anteriori e posteriori, tutto fa parte dello stesso corpo ed è coerente.

L'obiettivo finale del veicolo nel complesso vuole essere quello di restituire all'utente disabile che lo desidera la possibilità di provare un'esperienza di guida eccellente ed esclusiva rispetto all'utente normodotato, da qui anche la scelta di non introdurre sedili per quest'ultimo, e colpire chi osserva il passaggio della vettura generando lo stesso stupore che il disabile stesso prova nell'osservare auto sportive classiche a lui inaccessibili.

### 3. Ottimizzazione: basi

Definito un concetto di stile, che getti le basi per lo sviluppo del progetto, si passa alla realizzazione di un modello che possa essere soggetto al processo di ottimizzazione.

La prima operazione da compiere è quella di creare un modello CAD del modulo, suddividendolo nelle parti necessarie in fase di analisi, separando il design space dal resto del modulo.

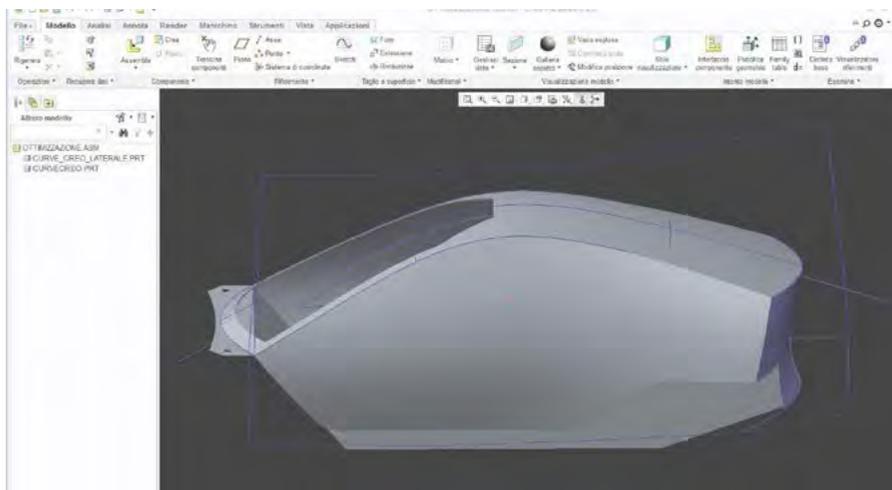
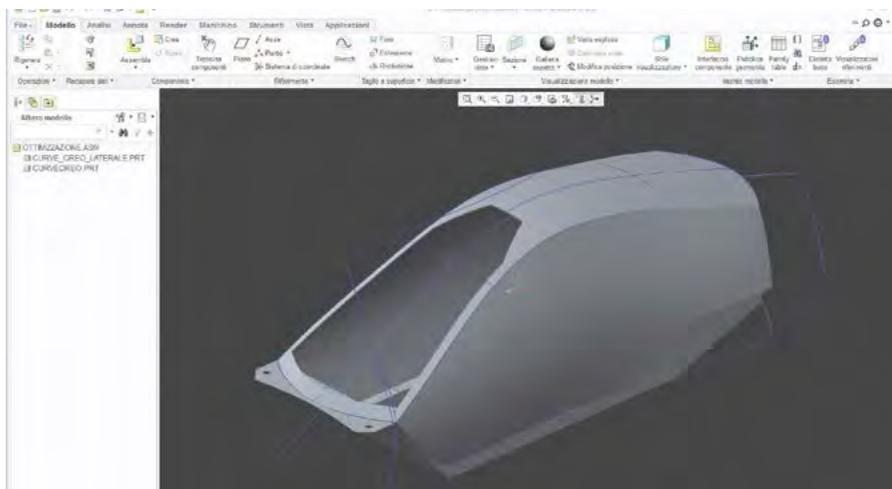
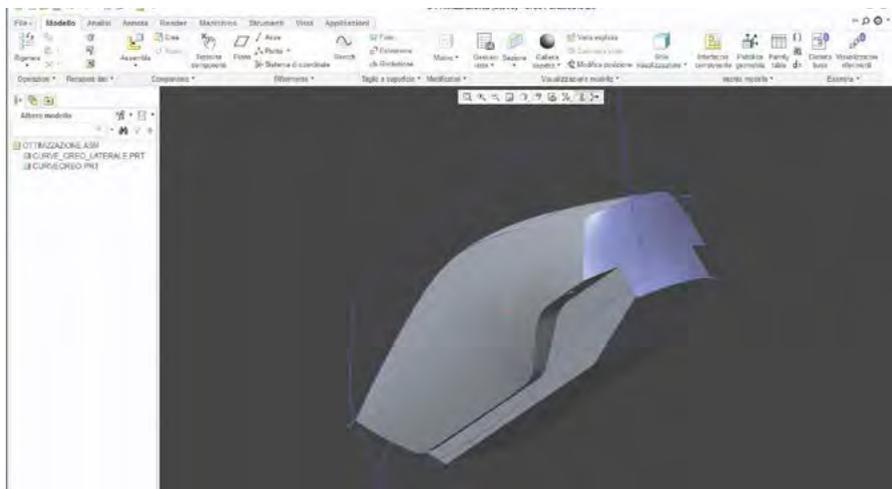
In questa fase è necessario decidere in quale tecnologia si intende produrre il componente, in quanto nella fase di impostazione dell'ottimizzazione con Inspire, quest'ultimo richiederà le caratteristiche del materiale da utilizzare per effettuare l'analisi.

In questo caso, è stato deciso di realizzare il modulo con una serie di componenti in lamiera stampata, che vengono successivamente assemblati per restituire una struttura chiusa.

Le ragioni di questa scelta sono principalmente la necessità del software ottimizzatore di lavorare con un materiale isotropo, eliminando di fatto tutti i compositi, probabilmente più adatti ad una realizzazione di questo tipo, e in aggiunta, la volontà di creare un componente con materiali a basso impatto sia economico che ambientale: la lamiera stampata è il materiale più utilizzato nell'automotive, di conseguenza il know-how è molto elevato, specialmente nella gestione del ciclo di vita del componente.

Viene dunque modellato in CAD Creo 2.0 un involucro composto da una vasca inferiore, che andrà a connettersi con il Modulo Powetrain, e un volume superiore continuo di materiale che chiude la struttura.

Di fatto la struttura risulta molto simile ad un telaio portante tradizionale, tuttavia in questo caso la struttura si occupa di proteggere i suoi occupanti e supportare il modulo sottostante, dandogli maggiore



rigidità, mentre quest'ultimo si occupa di accogliere gli apparati meccanici e propulsivi, cosa che in una scocca tradizionale viene eseguita sempre dalla stessa struttura portante. In questo modo i compiti vengono separati e le strutture semplificate. Avendo disegnato il modello CAD, si può passare a definire uno scenario di utilizzo da usare in fase di ottimizzazione.

#### 4. Creazione del caso di carico

Come introdotto in precedenza, il software utilizzato per l'ottimizzazione, solidThinking Inspire, ha bisogno di un modello CAD solido e di una serie di vincoli e forze che agiscono su di esso per poter effettuare l'analisi di ottimizzazione del materiale.

Nel caso di un veicolo, l'insieme delle forze statiche e dinamiche che agiscono sulla sua struttura sono innumerevoli, e per simulare la quantità di stress alle quali viene sottoposto durante tutte le possibili situazioni di guida sarebbe necessaria una quantità enorme di rilievi sperimentali e calcoli numerici, al fine di descrivere in maniera completa ogni genere di situazione.

Inoltre, la dinamica di un veicolo è un argomento ingegneristico molto complesso, che si occupa di definire parametri elastici secondo i quali poter impostare di fatto il comportamento della vettura in ogni condizione: in sostanza, si predicono le sensazioni che l'auto deve trasmettere al guidatore prima ancora che venga costruito un prototipo marciante sul quale testarle empiricamente.

Nella ricerca di uno scenario dal quale estrapolare delle forze fisiche alle quali sottoporre il modulo abitacolo, si è cercato di trovare un caso rappresentativo della categoria alla quale il progetto appartiene, le auto sportive, e che in qualche modo racchiudesse gli sforzi maggiori che un veicolo di questo tipo deve affrontare.

Sicuramente una delle condizioni nelle quali una vettura sportiva deve eccellere è nella percorrenza delle curve, ed un buon telaio deve essere capace di percorrere una curva alla massima velocità possibile.

E' la stessa condizione che si verifica all'interno di un circuito, nel quale un'auto viene stressata al massimo delle sue possibilità facendone emergere i difetti.

Nel delineare quindi un caso studio, si sono analizzate in primo luogo le forze in gioco durante la percorrenza in curva.

Sappiamo che la velocità massima alla quale un'auto può percorrere una curva è data dalla relazione:

$$\frac{mv^2}{r} \leq \mu_s mg$$

Dove  $m$  è la massa del veicolo,  $v$  la sua velocità,  $r$  il raggio di curvatura,  $\mu_s$  il coefficiente di attrito statico con l'asfalto,  $g$  l'accelerazione di gravità.

Notiamo come è possibile scrivere la formula semplificando  $m$ , rendendo il risultato indipendente dalla massa del veicolo.

Si tratta in sostanza della relazione tra due accelerazioni, dove la seconda deve risultare maggiore o tutt'al più eguagliare la prima, affinché l'auto riesca a svoltare senza perdere aderenza con l'asfalto.

Per riuscire a visualizzare quali siano i valori da considerare validi, è possibile creare una

tabella Excel nella quale mettere a sistema le due formule, parametrizzando velocità e raggio di curvatura e impostando un colore differente in caso l'accelerazione relativa alla combinazione sia valida o meno.

Per simulare le varie condizioni stradali possibili, vengono realizzate tabelle con differenti valori di attrito statico pari a  $0.2 \leq \mu_s \leq 0.9$ , dove **0.2** equivale ad una condizione di asfalto innevato, e **0.9** ad una condizione di asfalto ideale.

velocità		$\mu=0.2$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13.9	6.4	3.9	2.8	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
60	16.7	9.3	5.6	4.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
70	19.4	12.6	7.6	5.4	4.2	3.4	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
80	22.2	16.5	9.9	7.1	5.5	4.5	3.8	3.3	2.9	2.6	2.4	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6
90	25.0	20.8	12.5	8.9	6.9	5.7	4.8	4.2	3.7	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0
100	27.8	25.7	15.4	11.0	8.6	7.0	5.9	5.1	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5
110	30.6	31.1	18.7	13.3	10.4	8.5	7.2	6.2	5.5	4.9	4.4	4.1	3.7	3.5	3.2	3.0
120	33.3	37.0	22.2	15.9	12.3	10.1	8.5	7.4	6.5	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1	3.8	3.6
130	36.1	43.5	26.1	18.6	14.5	11.9	10.0	8.7	7.7	6.9	6.2	5.7	5.2	4.8	4.5	4.2
140	38.9	50.4	30.2	21.6	16.8	13.7	11.6	10.1	8.9	8.0	7.2	6.6	6.0	5.6	5.2	4.9
150	41.7	57.9	34.7	24.8	19.3	15.8	13.4	11.6	10.2	9.1	8.3	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6
160	44.4	65.8	39.5	28.2	21.9	18.0	15.2	13.2	11.6	10.4	9.4	8.6	7.9	7.3	6.8	6.4
170	47.2	74.3	44.6	31.9	24.8	20.3	17.2	14.9	13.1	11.7	10.6	9.7	8.9	8.3	7.7	7.2
180	50.0	83.3	50.0	35.7	27.8	22.7	19.2	16.7	14.7	13.2	11.9	10.9	10.0	9.3	8.6	8.1
190	52.8	92.8	55.7	39.8	30.9	25.3	21.4	18.6	16.4	14.7	13.3	12.1	11.1	10.3	9.6	9.0
200	55.6	102.9	61.7	44.1	34.3	28.1	23.7	20.6	18.2	16.2	14.7	13.4	12.3	11.4	10.6	10.0
210	58.3	113.4	68.1	48.6	37.8	30.9	26.2	22.7	20.0	17.9	16.2	14.8	13.6	12.6	11.7	11.0
220	61.1	124.5	74.7	53.4	41.5	34.0	28.7	24.9	22.0	19.7	17.8	16.2	14.9	13.8	12.9	12.0
230	63.9	136.1	81.6	58.3	45.4	37.1	31.4	27.2	24.0	21.5	19.4	17.7	16.3	15.1	14.1	13.2
240	66.7	148.1	88.9	63.5	49.4	40.4	34.2	29.6	26.1	23.4	21.2	19.3	17.8	16.5	15.3	14.3
250	69.4	160.8	96.5	68.9	53.6	43.8	37.1	32.2	28.4	25.4	23.0	21.0	19.3	17.9	16.6	15.6

velocità		$\mu=0.3$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13.9	6.4	3.9	2.8	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
60	16.7	9.3	5.6	4.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
70	19.4	12.6	7.6	5.4	4.2	3.4	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
80	22.2	16.5	9.9	7.1	5.5	4.5	3.8	3.3	2.9	2.6	2.4	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6
90	25.0	20.8	12.5	8.9	6.9	5.7	4.8	4.2	3.7	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0
100	27.8	25.7	15.4	11.0	8.6	7.0	5.9	5.1	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5
110	30.6	31.1	18.7	13.3	10.4	8.5	7.2	6.2	5.5	4.9	4.4	4.1	3.7	3.5	3.2	3.0
120	33.3	37.0	22.2	15.9	12.3	10.1	8.5	7.4	6.5	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1	3.8	3.6
130	36.1	43.5	26.1	18.6	14.5	11.9	10.0	8.7	7.7	6.9	6.2	5.7	5.2	4.8	4.5	4.2
140	38.9	50.4	30.2	21.6	16.8	13.7	11.6	10.1	8.9	8.0	7.2	6.6	6.0	5.6	5.2	4.9
150	41.7	57.9	34.7	24.8	19.3	15.8	13.4	11.6	10.2	9.1	8.3	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6
160	44.4	65.8	39.5	28.2	21.9	18.0	15.2	13.2	11.6	10.4	9.4	8.6	7.9	7.3	6.8	6.4
170	47.2	74.3	44.6	31.9	24.8	20.3	17.2	14.9	13.1	11.7	10.6	9.7	8.9	8.3	7.7	7.2
180	50.0	83.3	50.0	35.7	27.8	22.7	19.2	16.7	14.7	13.2	11.9	10.9	10.0	9.3	8.6	8.1
190	52.8	92.8	55.7	39.8	30.9	25.3	21.4	18.6	16.4	14.7	13.3	12.1	11.1	10.3	9.6	9.0
200	55.6	102.9	61.7	44.1	34.3	28.1	23.7	20.6	18.2	16.2	14.7	13.4	12.3	11.4	10.6	10.0
210	58.3	113.4	68.1	48.6	37.8	30.9	26.2	22.7	20.0	17.9	16.2	14.8	13.6	12.6	11.7	11.0
220	61.1	124.5	74.7	53.4	41.5	34.0	28.7	24.9	22.0	19.7	17.8	16.2	14.9	13.8	12.9	12.0
230	63.9	136.1	81.6	58.3	45.4	37.1	31.4	27.2	24.0	21.5	19.4	17.7	16.3	15.1	14.1	13.2
240	66.7	148.1	88.9	63.5	49.4	40.4	34.2	29.6	26.1	23.4	21.2	19.3	17.8	16.5	15.3	14.3
250	69.4	160.8	96.5	68.9	53.6	43.8	37.1	32.2	28.4	25.4	23.0	21.0	19.3	17.9	16.6	15.6

velocità		$\mu=0.4$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13.9	6.4	3.9	2.8	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
60	16.7	9.3	5.6	4.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
70	19.4	12.6	7.6	5.4	4.2	3.4	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
80	22.2	16.5	9.9	7.1	5.5	4.5	3.8	3.3	2.9	2.6	2.4	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6
90	25.0	20.8	12.5	8.9	6.9	5.7	4.8	4.2	3.7	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0
100	27.8	25.7	15.4	11.0	8.6	7.0	5.9	5.1	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5
110	30.6	31.1	18.7	13.3	10.4	8.5	7.2	6.2	5.5	4.9	4.4	4.1	3.7	3.5	3.2	3.0
120	33.3	37.0	22.2	15.9	12.3	10.1	8.5	7.4	6.5	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1	3.8	3.6
130	36.1	43.5	26.1	18.6	14.5	11.9	10.0	8.7	7.7	6.9	6.2	5.7	5.2	4.8	4.5	4.2
140	38.9	50.4	30.2	21.6	16.8	13.7	11.6	10.1	8.9	8.0	7.2	6.6	6.0	5.6	5.2	4.9
150	41.7	57.9	34.7	24.8	19.3	15.8	13.4	11.6	10.2	9.1	8.3	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6
160	44.4	65.8	39.5	28.2	21.9	18.0	15.2	13.2	11.6	10.4	9.4	8.6	7.9	7.3	6.8	6.4
170	47.2	74.3	44.6	31.9	24.8	20.3	17.2	14.9	13.1	11.7	10.6	9.7	8.9	8.3	7.7	7.2
180	50.0	83.3	50.0	35.7	27.8	22.7	19.2	16.7	14.7	13.2	11.9	10.9	10.0	9.3	8.6	8.1
190	52.8	92.8	55.7	39.8	30.9	25.3	21.4	18.6	16.4	14.7	13.3	12.1	11.1	10.3	9.6	9.0
200	55.6	102.9	61.7	44.1	34.3	28.1	23.7	20.6	18.2	16.2	14.7	13.4	12.3	11.4	10.6	10.0
210	58.3	113.4	68.1	48.6	37.8	30.9	26.2	22.7	20.0	17.9	16.2	14.8	13.6	12.6	11.7	11.0
220	61.1	124.5	74.7	53.4	41.5	34.0	28.7	24.9	22.0	19.7	17.8	16.2	14.9	13.8	12.9	12.0
230	63.9	136.1	81.6	58.3	45.4	37.1	31.4	27.2	24.0	21.5	19.4	17.7	16.3	15.1	14.1	13.2
240	66.7	148.1	88.9	63.5	49.4	40.4	34.2	29.6	26.1	23.4	21.2	19.3	17.8	16.5	15.3	14.3
250	69.4	160.8	96.5	68.9	53.6	43.8	37.1	32.2	28.4	25.4	23.0	21.0	19.3	17.9	16.6	15.6

velocità		$\mu=0,5$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13,9	6,4	3,9	2,8	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
60	16,7	9,3	5,6	4,0	3,1	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
70	19,4	12,6	7,6	5,4	4,2	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
80	22,2	16,5	9,9	7,1	5,5	4,5	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6
90	25,0	20,8	12,5	8,9	6,9	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0
100	27,8	25,7	15,4	11,0	8,6	7,0	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5
110	30,6	31,1	18,7	13,3	10,4	8,5	7,2	6,2	5,5	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0
120	33,3	37,0	22,2	15,9	12,3	10,1	8,5	7,4	6,5	5,8	5,3	4,8	4,4	4,1	3,8	3,6
130	36,1	43,5	26,1	18,6	14,5	11,9	10,0	8,7	7,7	6,9	6,2	5,7	5,2	4,8	4,5	4,2
140	38,9	50,4	30,2	21,6	16,8	13,7	11,6	10,1	8,9	8,0	7,2	6,6	6,0	5,6	5,2	4,9
150	41,7	57,9	34,7	24,8	19,3	15,8	13,4	11,6	10,2	9,1	8,3	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6
160	44,4	65,8	39,5	28,2	21,9	18,0	15,2	13,2	11,6	10,4	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8	6,4
170	47,2	74,3	44,6	31,9	24,8	20,3	17,2	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	8,9	8,3	7,7	7,2
180	50,0	83,3	50,0	35,7	27,8	22,7	19,2	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1
190	52,8	92,8	55,7	39,8	30,9	25,3	21,4	18,6	16,4	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,6	9,0
200	55,6	102,9	61,7	44,1	34,3	28,1	23,7	20,6	18,2	16,2	14,7	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0
210	58,3	113,4	68,1	48,6	37,8	30,9	26,2	22,7	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	11,0
220	61,1	124,5	74,7	53,4	41,5	34,0	28,7	24,9	22,0	19,7	17,8	16,2	14,9	13,8	12,9	12,0
230	63,9	136,1	81,6	58,3	45,4	37,1	31,4	27,2	24,0	21,5	19,4	17,7	16,3	15,1	14,1	13,2
240	66,7	148,1	88,9	63,5	49,4	40,4	34,2	29,6	26,1	23,4	21,2	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3
250	69,4	160,8	96,5	68,9	53,6	43,8	37,1	32,2	28,4	25,4	23,0	21,0	19,3	17,9	16,6	15,6

velocità		$\mu=0,6$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13,9	6,4	3,9	2,8	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
60	16,7	9,3	5,6	4,0	3,1	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
70	19,4	12,6	7,6	5,4	4,2	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
80	22,2	16,5	9,9	7,1	5,5	4,5	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6
90	25,0	20,8	12,5	8,9	6,9	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0
100	27,8	25,7	15,4	11,0	8,6	7,0	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5
110	30,6	31,1	18,7	13,3	10,4	8,5	7,2	6,2	5,5	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0
120	33,3	37,0	22,2	15,9	12,3	10,1	8,5	7,4	6,5	5,8	5,3	4,8	4,4	4,1	3,8	3,6
130	36,1	43,5	26,1	18,6	14,5	11,9	10,0	8,7	7,7	6,9	6,2	5,7	5,2	4,8	4,5	4,2
140	38,9	50,4	30,2	21,6	16,8	13,7	11,6	10,1	8,9	8,0	7,2	6,6	6,0	5,6	5,2	4,9
150	41,7	57,9	34,7	24,8	19,3	15,8	13,4	11,6	10,2	9,1	8,3	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6
160	44,4	65,8	39,5	28,2	21,9	18,0	15,2	13,2	11,6	10,4	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8	6,4
170	47,2	74,3	44,6	31,9	24,8	20,3	17,2	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	8,9	8,3	7,7	7,2
180	50,0	83,3	50,0	35,7	27,8	22,7	19,2	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1
190	52,8	92,8	55,7	39,8	30,9	25,3	21,4	18,6	16,4	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,6	9,0
200	55,6	102,9	61,7	44,1	34,3	28,1	23,7	20,6	18,2	16,2	14,7	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0
210	58,3	113,4	68,1	48,6	37,8	30,9	26,2	22,7	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	11,0
220	61,1	124,5	74,7	53,4	41,5	34,0	28,7	24,9	22,0	19,7	17,8	16,2	14,9	13,8	12,9	12,0
230	63,9	136,1	81,6	58,3	45,4	37,1	31,4	27,2	24,0	21,5	19,4	17,7	16,3	15,1	14,1	13,2
240	66,7	148,1	88,9	63,5	49,4	40,4	34,2	29,6	26,1	23,4	21,2	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3
250	69,4	160,8	96,5	68,9	53,6	43,8	37,1	32,2	28,4	25,4	23,0	21,0	19,3	17,9	16,6	15,6

velocità		$\mu=0,7$														
		raggio di curvatura in m														
Km/h	m/s	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
50	13,9	6,4	3,9	2,8	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
60	16,7	9,3	5,6	4,0	3,1	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
70	19,4	12,6	7,6	5,4	4,2	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
80	22,2	16,5	9,9	7,1	5,5	4,5	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6
90	25,0	20,8	12,5	8,9	6,9	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0
100	27,8	25,7	15,4	11,0	8,6	7,0	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5
110	30,6	31,1	18,7	13,3	10,4	8,5	7,2	6,2	5,5	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0
120	33,3	37,0	22,2	15,9	12,3	10,1	8,5	7,4	6,5	5,8	5,3	4,8	4,4	4,1	3,8	3,6
130	36,1	43,5	26,1	18,6	14,5	11,9	10,0	8,7	7,7	6,9	6,2	5,7	5,2	4,8	4,5	4,2
140	38,9	50,4	30,2	21,6	16,8	13,7	11,6	10,1	8,9	8,0	7,2	6,6	6,0	5,6	5,2	4,9
150	41,7	57,9	34,7	24,8	19,3	15,8	13,4	11,6	10,2	9,1	8,3	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6
160	44,4	65,8	39,5	28,2	21,9	18,0	15,2	13,2	11,6	10,4	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8	6,4
170	47,2	74,3	44,6	31,9	24,8	20,3	17,2	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	8,9	8,3	7,7	7,2
180	50,0	83,3	50,0	35,7	27,8	22,7	19,2	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1
190	52,8	92,8	55,7	39,8	30,9	25,3	21,4	18,6	16,4	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,6	9,0
200	55,6	102,9	61,7	44,1	34,3	28,1	23,7	20,6	18,2	16,2	14,7	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0
210	58,3	113,4	68,1	48,6	37,8	30,9	26,2	22,7	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	11,0
220	61,1	124,5	74,7	53,4	41,5	34,0	28,7	24,9	22,0	19,7	17,8	16,2	14,9	13,8	12,9	12,0
230	63,9	136,1	81,6	58,3	45,4	37,1	31,4	27,2	24,0	21,5	19,4	17,7	16,3	15,1	14,1	13,2
240	66,7	148,1	88,9	63,5	49,4	40,4	34,2	29,6	26,1	23,4	21,2	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3
250	69,4	160,8	96,5	68,9	53,6	43,8	37,1	32,2	28,4	25,4	23,0	21,0	19,3	17,9	16,6	15,6

velocità		μ=0,8															
Km/h	m/s	raggio di curvatura in m															
		30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	
50	13,9	6,4	3,9	2,8	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	
60	16,7	9,3	5,6	4,0	3,1	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	
70	19,4	12,6	7,6	5,4	4,2	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	
80	22,2	16,5	9,9	7,1	5,5	4,5	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	
90	25,0	20,8	12,5	8,9	6,9	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0	
100	27,8	25,7	15,4	11,0	8,6	7,0	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	
110	30,6	31,1	18,7	13,3	10,4	8,5	7,2	6,2	5,5	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0	
120	33,3	37,0	22,2	15,9	12,3	10,1	8,5	7,4	6,5	5,8	5,3	4,8	4,4	4,1	3,8	3,6	
130	36,1	43,5	26,1	18,6	14,5	11,9	10,0	8,7	7,7	6,9	6,2	5,7	5,2	4,8	4,5	4,2	
140	38,9	50,4	30,2	21,6	16,8	13,7	11,6	10,1	8,9	8,0	7,2	6,6	6,0	5,6	5,2	4,9	
150	41,7	57,9	34,7	24,8	19,3	15,8	13,4	11,6	10,2	9,1	8,3	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6	
160	44,4	65,8	39,5	28,2	21,9	18,0	15,2	13,2	11,6	10,4	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8	6,4	
170	47,2	74,3	44,6	31,9	24,8	20,3	17,2	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	8,9	8,3	7,7	7,2	
180	50,0	83,3	50,0	35,7	27,8	22,7	19,2	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1	
190	52,8	92,8	55,7	39,8	30,9	25,3	21,4	18,6	16,4	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,6	9,0	
200	55,6	102,9	61,7	44,1	34,3	28,1	23,7	20,6	18,2	16,2	14,7	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0	
210	58,3	113,4	68,1	48,6	37,8	30,9	26,2	22,7	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	11,0	
220	61,1	124,5	74,7	53,4	41,5	34,0	28,7	24,9	22,0	19,7	17,8	16,2	14,9	13,8	12,9	12,0	
230	63,9	136,1	81,6	58,3	45,4	37,1	31,4	27,2	24,0	21,5	19,4	17,7	16,3	15,1	14,1	13,2	
240	66,7	148,1	88,9	63,5	49,4	40,4	34,2	29,6	26,1	23,4	21,2	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3	
250	69,4	160,8	96,5	68,9	53,6	43,8	37,1	32,2	28,4	25,4	23,0	21,0	19,3	17,9	16,6	15,6	

velocità		μ=0,9															
Km/h	m/s	raggio di curvatura in m															
		30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	
50	13,9	6,4	3,9	2,8	2,1	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	
60	16,7	9,3	5,6	4,0	3,1	2,5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	
70	19,4	12,6	7,6	5,4	4,2	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	
80	22,2	16,5	9,9	7,1	5,5	4,5	3,8	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	
90	25,0	20,8	12,5	8,9	6,9	5,7	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0	
100	27,8	25,7	15,4	11,0	8,6	7,0	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	
110	30,6	31,1	18,7	13,3	10,4	8,5	7,2	6,2	5,5	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2	3,0	
120	33,3	37,0	22,2	15,9	12,3	10,1	8,5	7,4	6,5	5,8	5,3	4,8	4,4	4,1	3,8	3,6	
130	36,1	43,5	26,1	18,6	14,5	11,9	10,0	8,7	7,7	6,9	6,2	5,7	5,2	4,8	4,5	4,2	
140	38,9	50,4	30,2	21,6	16,8	13,7	11,6	10,1	8,9	8,0	7,2	6,6	6,0	5,6	5,2	4,9	
150	41,7	57,9	34,7	24,8	19,3	15,8	13,4	11,6	10,2	9,1	8,3	7,5	6,9	6,4	6,0	5,6	
160	44,4	65,8	39,5	28,2	21,9	18,0	15,2	13,2	11,6	10,4	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8	6,4	
170	47,2	74,3	44,6	31,9	24,8	20,3	17,2	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	8,9	8,3	7,7	7,2	
180	50,0	83,3	50,0	35,7	27,8	22,7	19,2	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1	
190	52,8	92,8	55,7	39,8	30,9	25,3	21,4	18,6	16,4	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,6	9,0	
200	55,6	102,9	61,7	44,1	34,3	28,1	23,7	20,6	18,2	16,2	14,7	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0	
210	58,3	113,4	68,1	48,6	37,8	30,9	26,2	22,7	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	11,0	
220	61,1	124,5	74,7	53,4	41,5	34,0	28,7	24,9	22,0	19,7	17,8	16,2	14,9	13,8	12,9	12,0	
230	63,9	136,1	81,6	58,3	45,4	37,1	31,4	27,2	24,0	21,5	19,4	17,7	16,3	15,1	14,1	13,2	
240	66,7	148,1	88,9	63,5	49,4	40,4	34,2	29,6	26,1	23,4	21,2	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3	
250	69,4	160,8	96,5	68,9	53,6	43,8	37,1	32,2	28,4	25,4	23,0	21,0	19,3	17,9	16,6	15,6	

Avendo un quadro completo delle accelerazioni massime che una vettura può raggiungere in base al raggio e alla velocità di percorrenza, dobbiamo ricavare la forza di stress sul veicolo derivante da queste accelerazioni.

Sappiamo innanzitutto che la forza totale agente sul veicolo in condizione di percorrenza è rappresentata dalla sommatoria:

$$F_{TOT} = F_{ST} + F_{DIN}$$

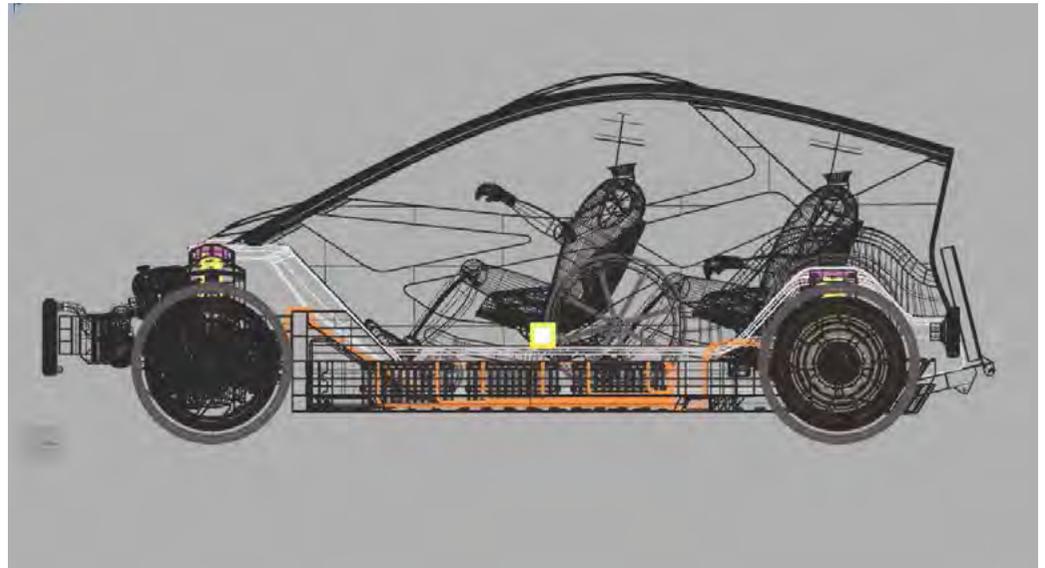
Nella quale  $F_{ST}$  è la forza peso statica del veicolo, mentre  $F_{DIN}$  è la forza dinamica del veicolo.

La formula completa risulta essere la seguente:

$$F_{TOT} = (m \times g) + \left( \frac{m \times h_G \times a}{c} \right)$$

Dove  $m$  è la massa del veicolo,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $h_G$  l'altezza da terra del baricentro del veicolo,  $a$  l'accelerazione normale durante la curva e  $c$  la carreggiata del veicolo.

I dati necessari a ricavare la  $F_{TOT}$  sono tutti noti, ad esclusione dell'  $h_G$ . Questo valore fa riferimento a  $G$ , ovvero il baricentro o centro di massa del veicolo. Nella fisica il centro di massa è un punto dove si considera concentrata la massa del corpo: questo ci aiuta nei ragionamenti sulla dinamica del movimento. Nelle vetture si identifica un baricentro globale che è un punto, all'interno della vettura, dove possiamo ipotizzare di applicare la risultante peso della vettura: tanto più basso è questo punto, rispetto al suolo, tanto meglio è per la dinamica della vettura in quanto si disturba meno l'equilibrio del mezzo applicandovi forze che ne disturbano la stasi. E' possibile trovare manualmente, applicando una formula numerica, il baricentro di molti corpi geometrici noti: tuttavia l'auto è un insieme di volumi differenti tra loro, di conseguenza possiamo ricorrere agli strumenti del nostro CAD per computare il baricentro con l'ausilio del software.



Nel nostro caso il baricentro  $G$  ha un'altezza da terra  $h_G=438 \text{ mm}$ , e una distanza dall'asse anteriore  $l_{FRONT}=1222 \text{ mm}$  e dall'asse posteriore  $l_{REAR}= 1227 \text{ mm}$ . Come possiamo notare il baricentro della vettura è posizionato piuttosto in basso, questo grazie all'accentramento della massa quasi esclusivamente all'interno del passo, e risulta quasi esattamente centrale alla sagoma del veicolo. A completare i dati dimensionali necessari, la carreggiata  $c= 1660 \text{ mm}$ . Nel calcolo delle forze statiche e dinamiche, dobbiamo tener conto della ripartizione della forza peso sull'asse anteriore e posteriore, che andrà in seguito divisa a metà, restituendo la forza peso scaricata da ogni ruota: in curva la vettura scarica la  $F_{TOT}$  sulle ruote esterne, ed è necessario quindi conoscere quanta di questa forza colpisce ogni ruota dei due assi. La formula per il calcolo della ripartizione del peso tra gli assi è la seguente:

$$m_{ant} = m \times \left( \frac{l_{FRONT}}{L} \right)$$

In questo caso l'esempio si riferisce all'asse anteriore, quindi verrà utilizzata la  $I_{FRONT}$ , mentre per l'asse posteriore, la  $m_{post}$  verrà calcolata utilizzando la  $I_{REAR}$ .  
 $L$  è invece la misura del passo, ovvero la distanza tra i due assi, che risulta essere pari a **2452 mm**.

Data la  $m = 1300 \text{ kg}$ , otteniamo una  $m_{ant} = 689 \text{ kg}$  ed una  $m_{post} = 647 \text{ kg}$ .

Considerando la massa su ogni ruota, avremo una  $m_{Rant} = 344.5 \text{ kg}$  e una  $m_{Rpost} = 323.5 \text{ kg}$ , da cui una  $F_{Rant} = 3379 \text{ N}$  ed una  $F_{Rpost} = 3173 \text{ N}$ .

Possiamo ora applicare la formula per il calcolo della forza totale agente su ogni ruota in base all'accelerazione normale scelta come riferimento.

Sono stati scelti sei differenti casi con sei differenti accelerazioni, scelte a campione dalle tabelle precedentemente ottenute, per valutare le forze in gioco in situazioni di carico molto differenti.

Applicando le formule precedentemente illustrate otteniamo:

$a = m/s^2$	$F_{TOTRant}$	$F_{TOTRpost}$
0.6	3433 N	3224 N
1.0	3470 N	3258 N
1.8	3542 N	3326 N
2.5	3606 N	3386 N
5.4	3870 N	3634 N
7.2	4033 N	3787 N

La serie di  $F_{TOT}$  ottenute descrivono la quantità di forza scaricata su ogni ruota durante ogni curva, e di conseguenza, la forzante relativa al sistema sospensivo di riferimento che fa capo all'intero telaio della vettura.

In aggiunta a queste forzanti, è stata introdotta anche una seconda tipologia di forza, molto significativa, che agisce molto violentemente sulla struttura del veicolo: si tratta della forza di decelerazione.

Per ricavare questa seconda tipologia di carico è stata ipotizzato il caso limite nel quale il veicolo di trovi a dover applicare violentemente i freni in fondo ad un lungo rettilineo, dopo il quale vi sia una curva molto stretta.

Analizzando i circuiti nei quali si raggiunge la velocità massima più alta, è stato scelto il rettilineo principale dell'Autodromo di Monza, della lunghezza di **1100 m**, nel quale le monoposto di Formula 1 toccano velocità di oltre **360 km/h**.

Nel valutare l'entità di questa forza si deve considerare un'accelerazione negativa data da una variazione di velocità rispetto ad una variazione temporale:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Nel nostro caso, si prendono a riferimento valori di vetture di pari peso e pari potenza, di conseguenza consideriamo una decelerazione da **240 km/h** a **70 km/h** nel tempo di **8 s**.  
 Facendo le dovute conversioni, si ottiene un'accelerazione negativa pari a **5.6 m/s<sup>2</sup>**.

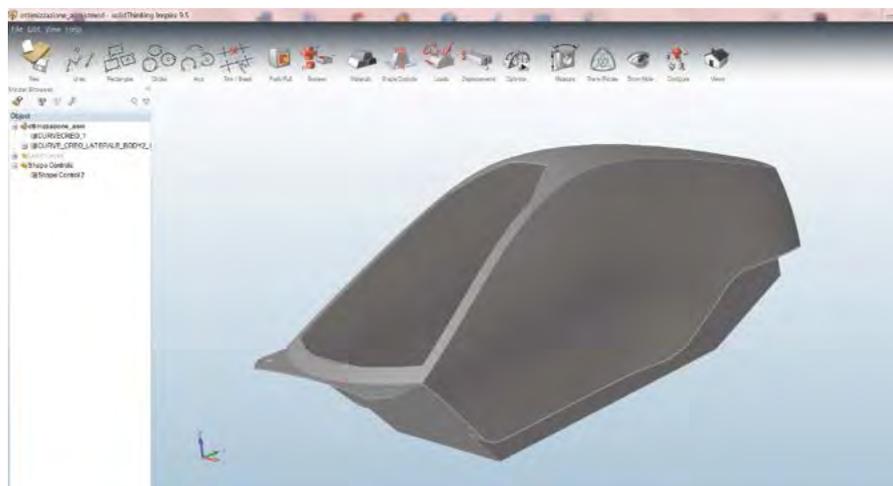
Utilizziamo di nuovo la formula per il calcolo della forza dinamica totale:

$$F_{DEC} = (m \times g) + \left( \frac{m \times h_G \times a}{L} \right)$$

Notiamo come al posto della carreggiata c venga sostituito il passo L, questo perchè il trasferimento di carico avviene in direzione longitudinale al veicolo.

Sostituendo i valori si ottiene una forza di decelerazione  $F_{DEC} = 4679 \text{ N}$  che grava interamente sull'asse anteriore all'apice della frenata.

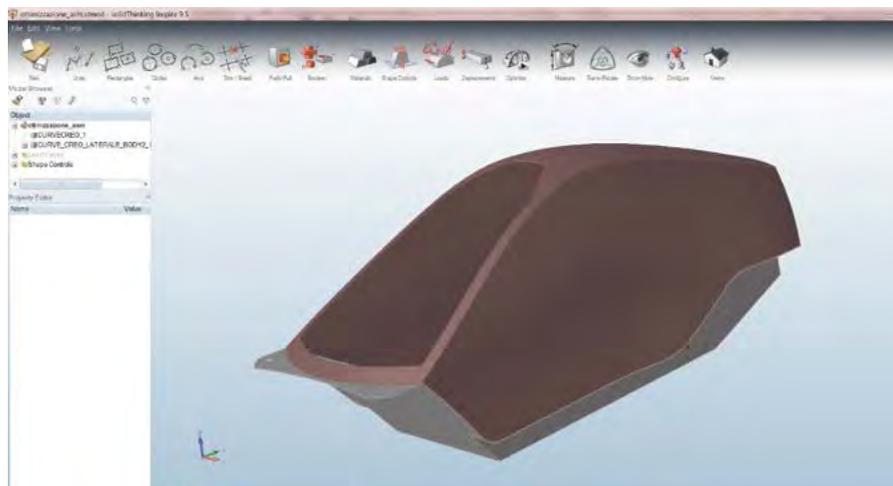
Le forze ottenute con i procedimenti illustrati compongono lo scenario di carico con il quale si andrà ad ottimizzare il telaio utilizzando il software solidThinking Inspire



## 5. Impostazione Ottimizzazione

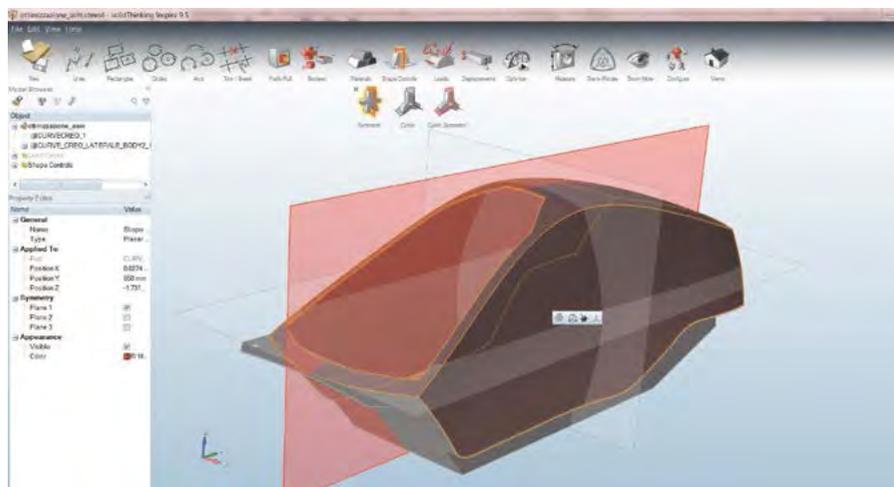
Dopo aver acquisito una serie di dati numerici che descrivono il comportamento fisico della vettura soggetta alle casistiche illustrate, è possibile passare alla fase di ottimizzazione topologica, e verificare così in quale modo l'involucro di materiale risulta influenzato dalle forze in gioco.

Importiamo per prima cosa il file STEP creato in precedenza all'interno di Inspire.



Nel menù relativo alla geometria, identifichiamo la parte superiore del modulo come design space, che verrà evidenziato in rosso.

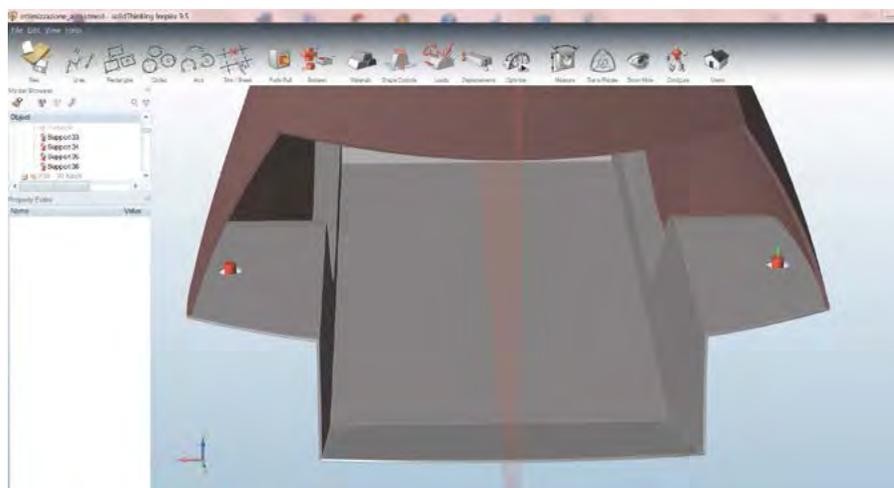
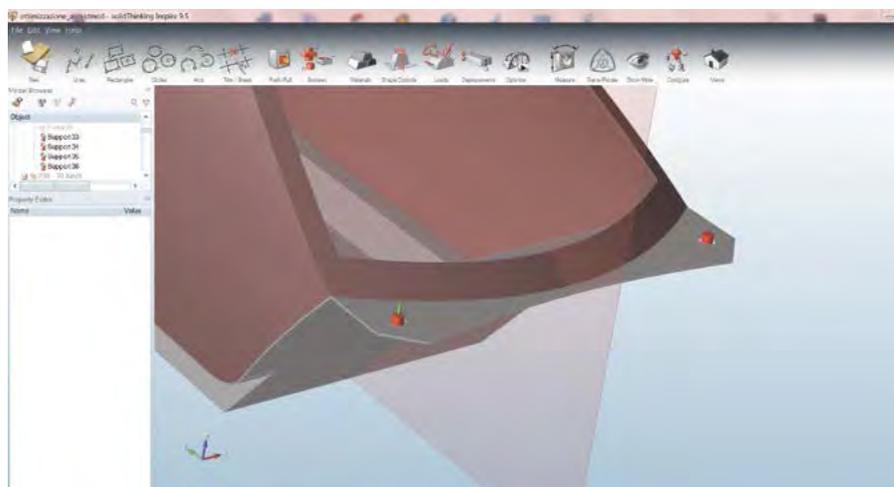
Nei menù superiori, impostiamo la simmetria del risultato nel verso longitudinale, in questo modo il programma uniformerà le forze applicate su entrambi i lati del modello, restituendo un'ottimizzazione simmetrica e più facilmente interpretabile. Impostiamo inoltre il materiale delle due componenti dal menù sottostante.

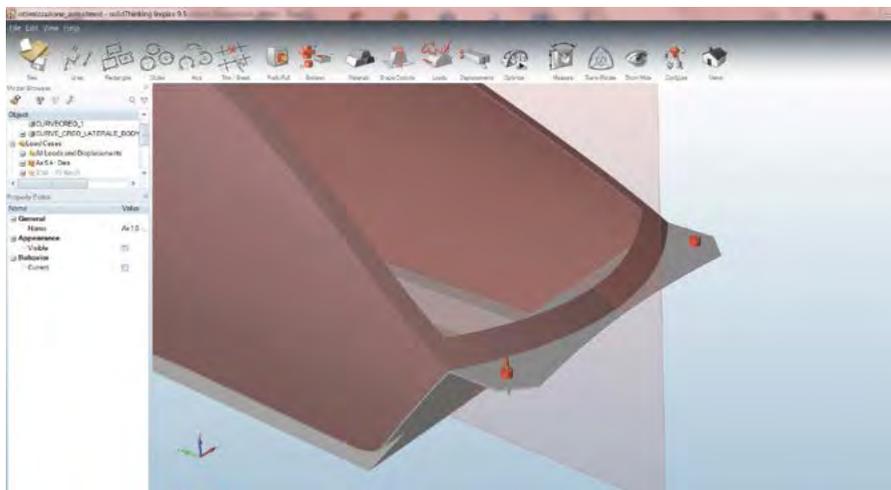


Passiamo dunque a vincolare la struttura, in modo da farla reagire alle forze applicate.

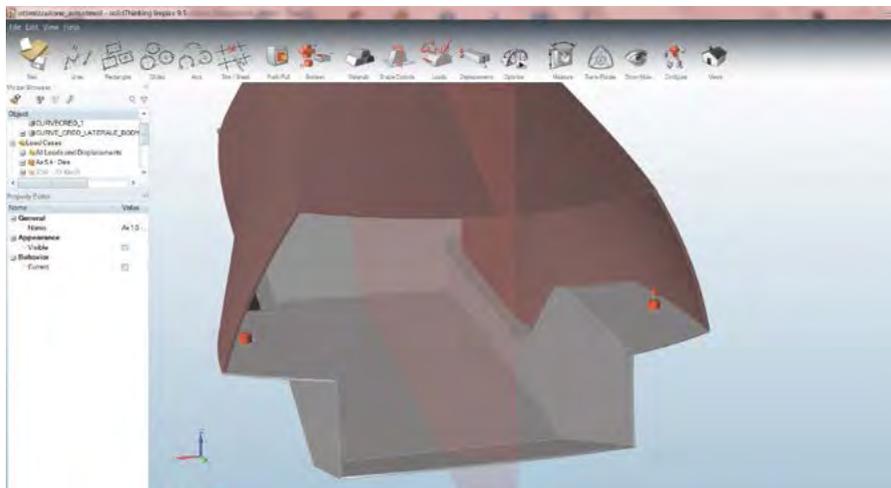
Utilizziamo i punti di fissaggio del modulo abitacolo al modulo powertrain, che corrispondono ai duomi delle sospensioni, i punti cioè maggiormente soggetti alle forze evidenziate.

Creiamo un vincolo per ogni duomo, e blocchiamo tutti i gradi di libertà ad eccezione dello spostamento verticale nei duomi ai quali viene applicata la forza, in modo da permettere alla struttura di flettere.





Creiamo i casi di carico applicando le forze ottenute dai calcoli precedenti sui duomi, con direzione Z positiva, dividendo i casi tra lato destro e lato sinistro del modulo, in modo da simulare curve in appoggio a destra e sinistra.

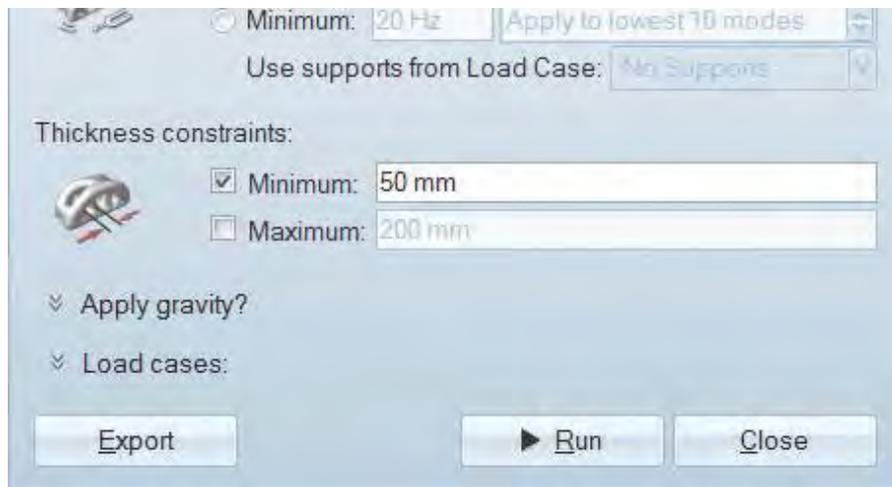


A questo punto l'ultimo passo prima di lanciare il processo è quello di impostare i parametri desiderati in fase di calcolo. Il primo valore è la percentuale di materiale desiderato al termine dell'ottimizzazione. Lasciamo il valore standard del 30% in quanto non abbiamo necessità particolari in questo senso, e valori minori potrebbero generare geometrie aperte a causa della mancanza di materiale.

Il secondo valore riguarda la minima ampiezza dei “punti” generati dall’ottimizzazione.

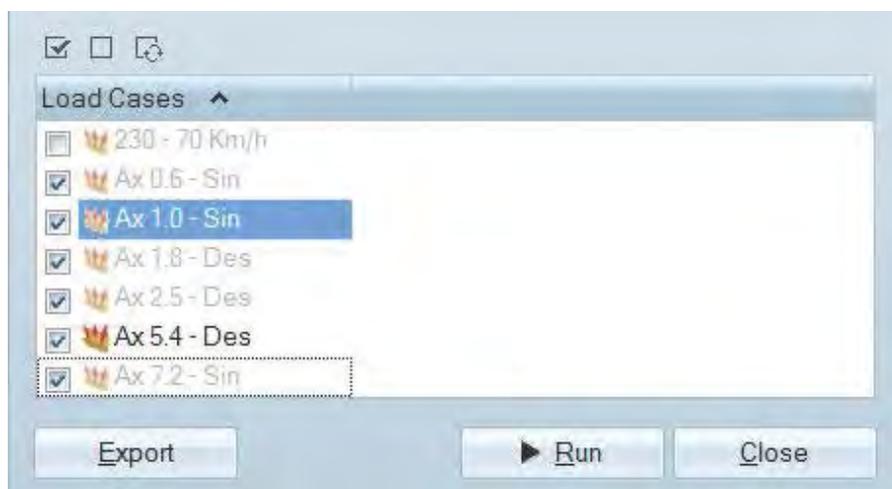
Valori molto piccoli in strutture così grandi portano il tempo di calcolo ad essere eccessivamente lungo, in quanto l’algoritmo viene forzato a creare una geometria molto minuziosa.

In questo caso impostiamo un valore di 50mm, facendo riferimento alla grandezza nominale dei montanti delle vetture in commercio: il software partirà da questo valore ed eventualmente lo aumenterà qualora fosse necessario.



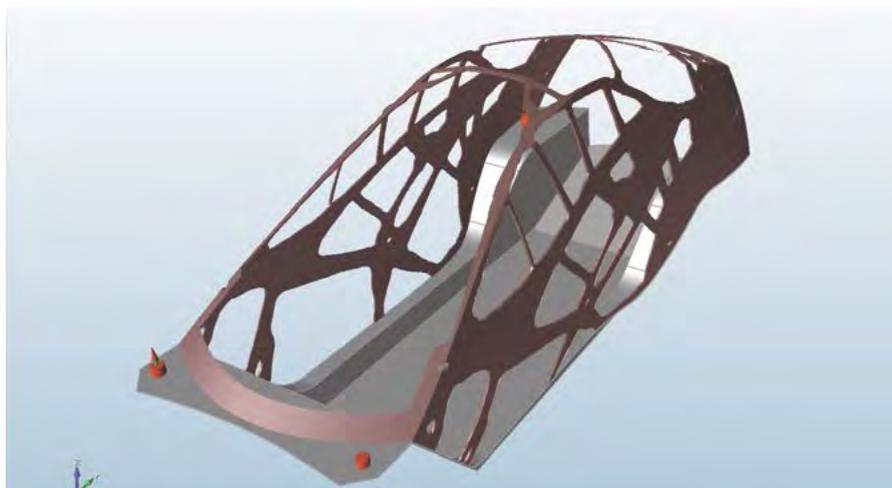
L’ultimo pannello serve ad attivare i casi di carico creati, in modo da computarli tutti insieme o singolarmente.

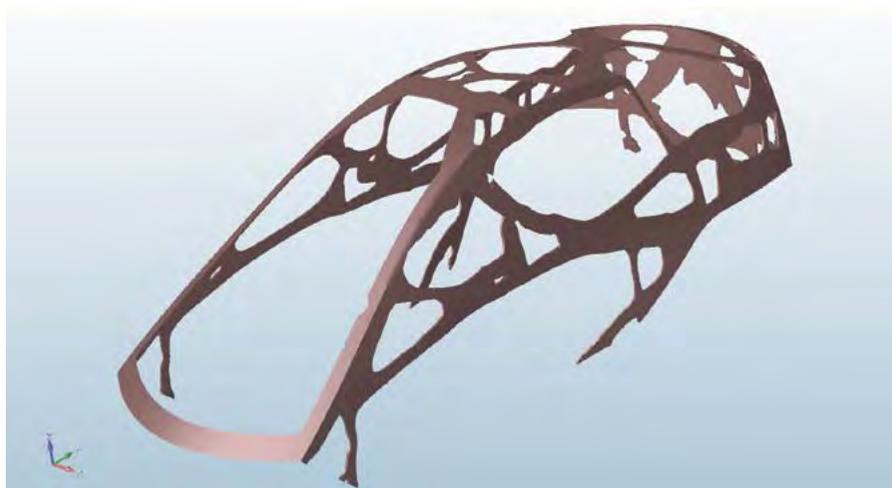
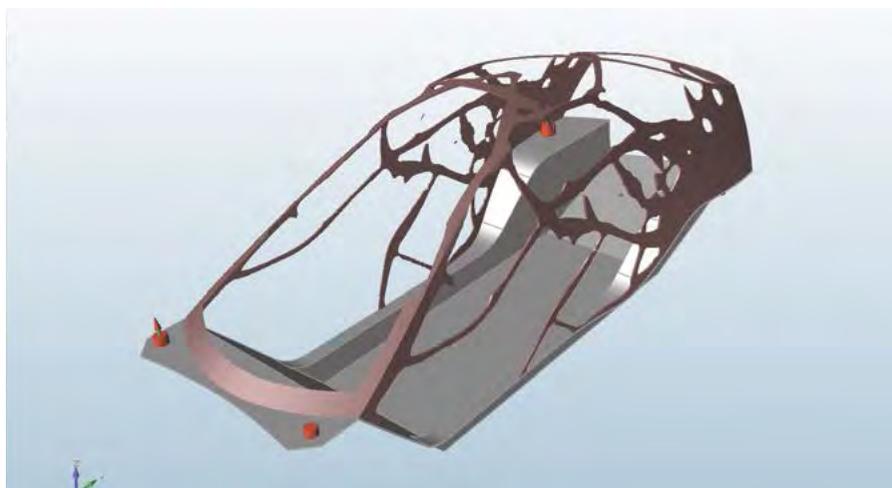
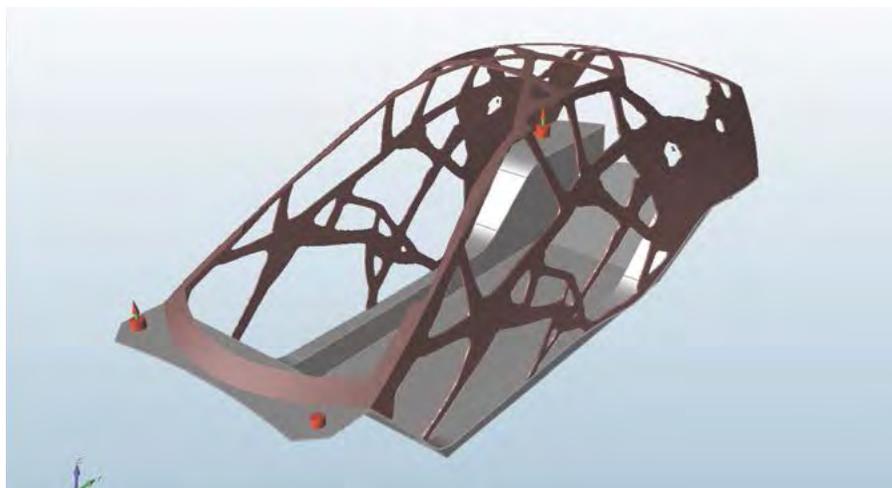
Conclusa l’impostazione, possiamo lanciare l’ottimizzazione, che richiederà qualche minuto, dopo il quale è possibile visualizzare il risultato.



Molto spesso questo processo richiede più tentativi, in quanto a volte un parametro o un caso di carico possono generare risultati non desiderati, come strutture non complete, o involucri di materiale pieno. Tuttavia nel nostro caso, il risultato è stato soddisfacente.

Sono state compiute più ottimizzazioni con differenti materiali, per verificare il comportamento della struttura e il variare della trama ottenuta.





Una volta soddisfatti con il risultato e con il materiale desiderati, si può esportare il modello ottimizzato in formato poligonale, ed importarlo nel CAD al fine di ridisegnare e ripulire la struttura.

#### 9.4 INTERPRETAZIONE RISULTATI

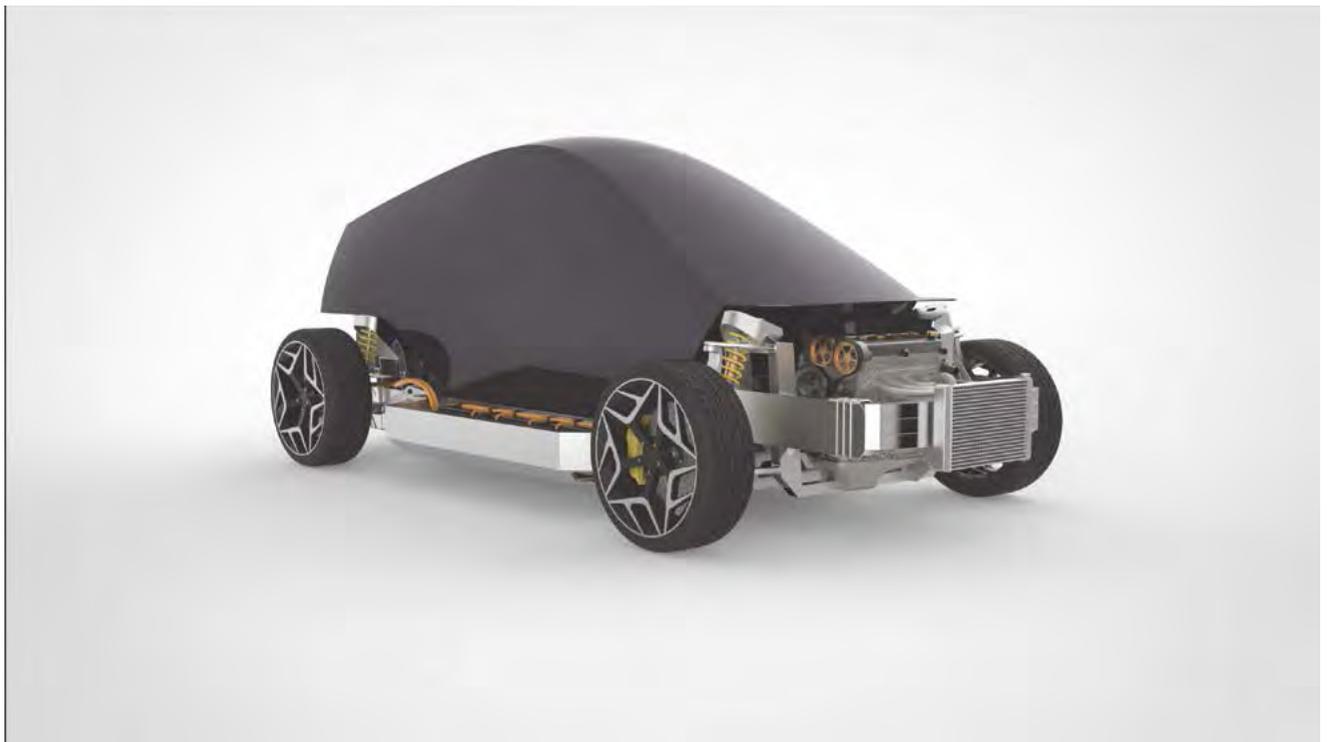
I bozzetti esplorativi realizzati in precedenza avevano tracciato una visione d'insieme di quella che sarebbe potuta essere l'evoluzione del progetto, l'ottimizzazione realizzata ha definito i limiti e le geometrie con le quali delimitare questa evoluzione.

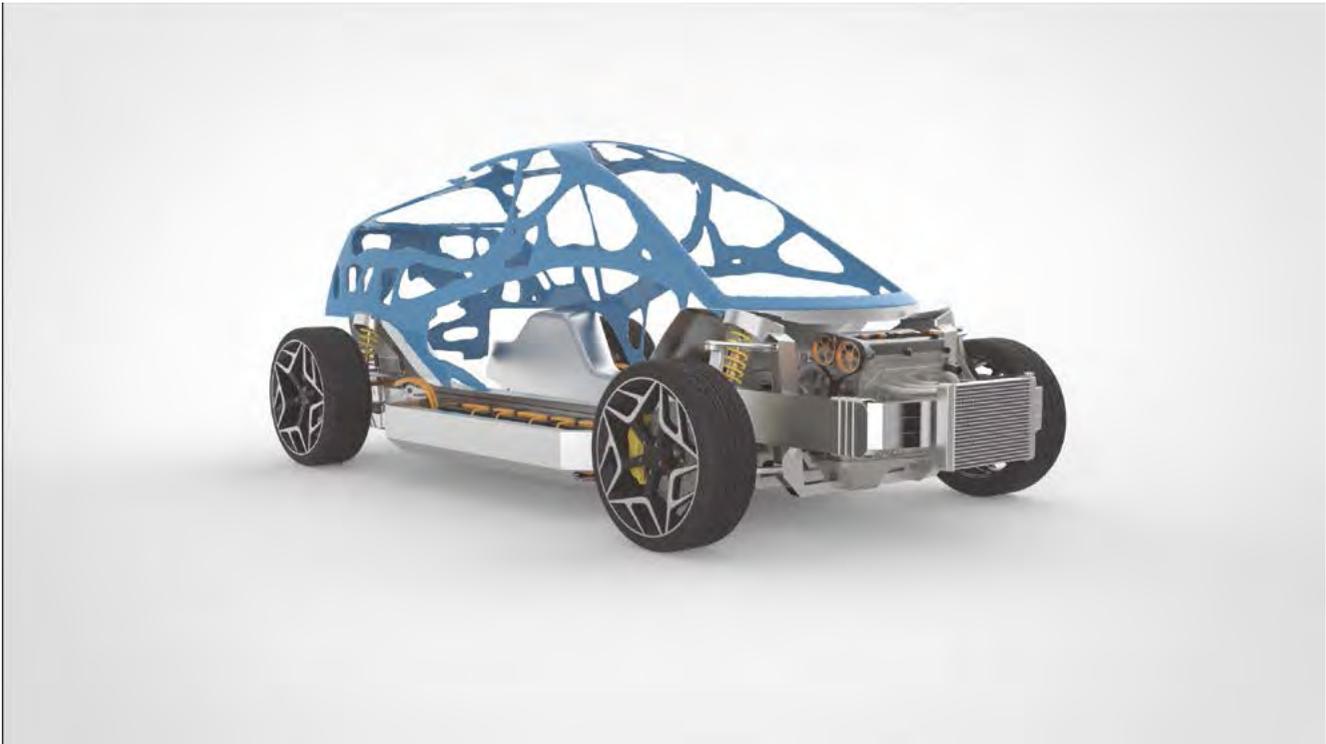
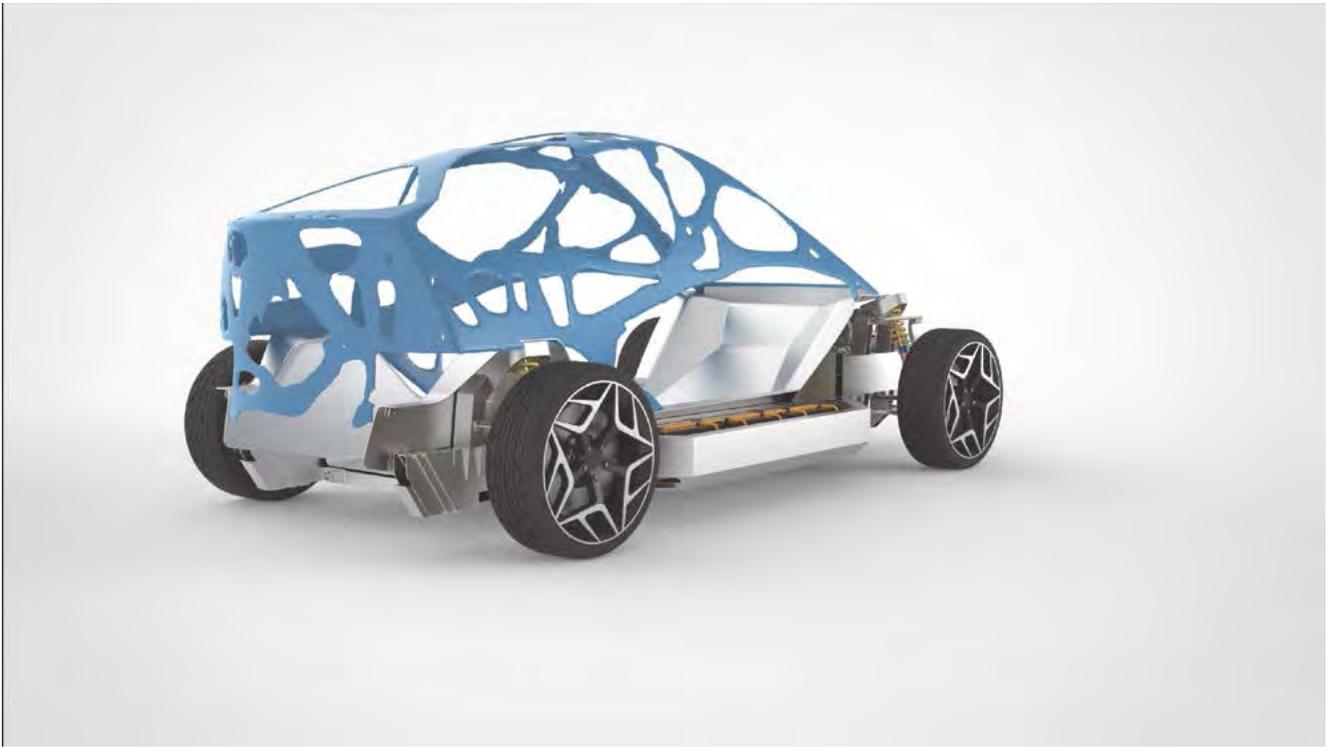
Sicuramente, il risultato finale di questa sintesi sarà influenzato dall'ottimizzazione, ma quest'ultima non deve eliminare completamente quanto realizzato fino ad ora: il campo d'applicazione del metodo di ottimizzazione topologica nel merito di questo progetto è quello di fornire un'indicazione formale, non quello di determinare il risultato definitivo.

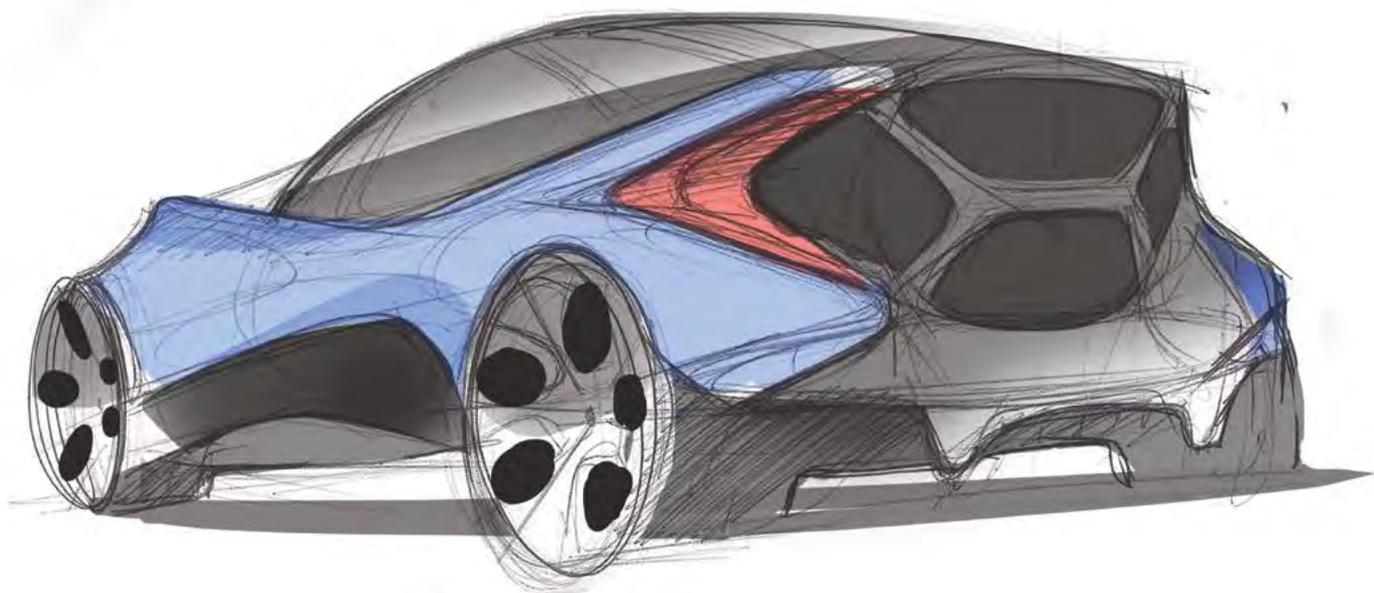
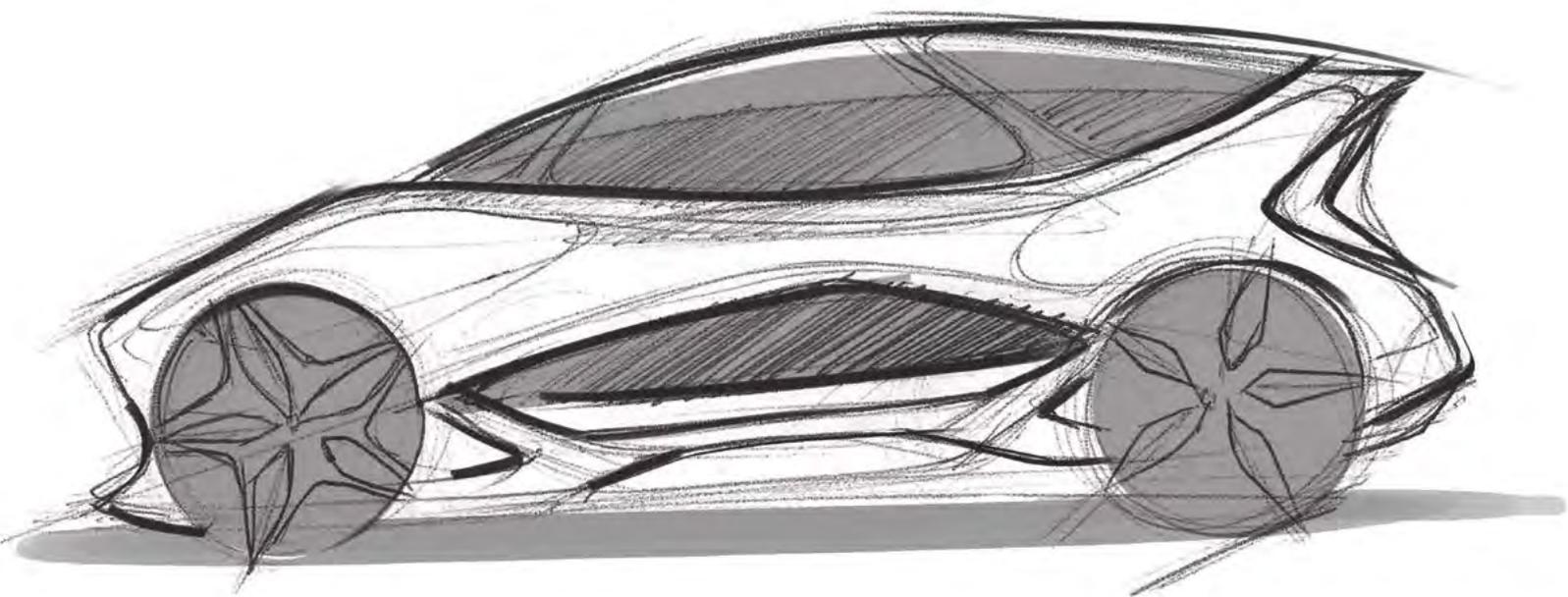
Il designer deve a questo punto operare delle scelte, sapendo che può riferirsi ad un esempio formale valido, che è frutto di una contestualizzazione forte del progetto. Nella fase di reinterpretazione dell'ottimizzazione non c'è stata dunque una copia totale del modello ottenuto, ma sono state individuate delle aree fondamentali da mantenere intatte, mentre delle altre sono state del tutto eliminate.

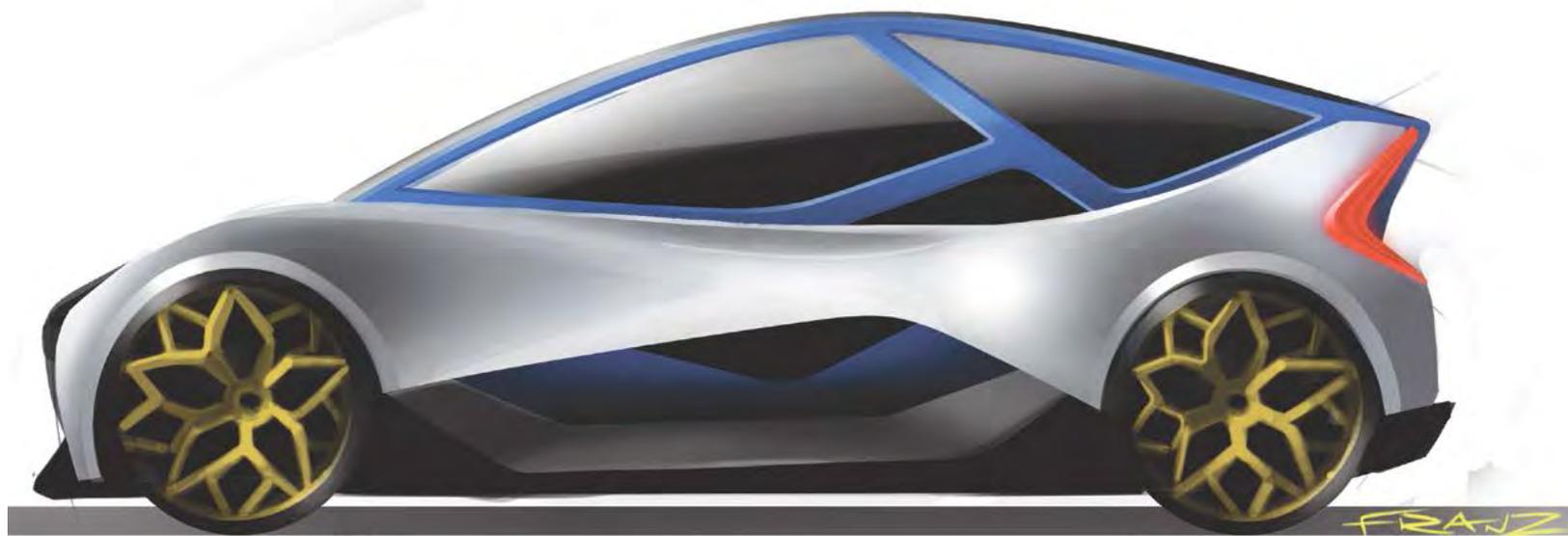
Questo perchè la struttura è stata ottimizzata a parte rispetto all'apporto strutturale del telaio inferiore, che è di gran lunga l'elemento più stressato: in quest'ottica, il risultato dell'ottimizzazione è una versione "estremizzata" di quello che effettivamente sarebbe necessario.

Considerando il lavoro congiunto dei due moduli, è possibile quindi fare una media e interpretare più liberamente i risultati ottenuti, semplificando le geometrie.













## Telaio Lamiera

Il telaio abitacolo è stato come anticipatamente detto, disegnato come un componente in più parti realizzate in lamiera stampata.

Il materiale scelto è l'alluminio per la sua maggiore leggerezza, e per la sua recente diffusione in veicoli sportivi anche di grande serie.

La vasca inferiore sulla quale vengono assemblate le restanti componenti viene prodotta con la tecnologia dell'industrial origami, una tecnica che prevede il taglio laser di lamiere piane, che vengono in seguito piegate e rivettate per ottenere la forma desiderata.

Le altre componenti vengono rivettate tra loro per ottenere una sorta di monoscocca.



## Superfici esterne

Il telaio in lamiera viene racchiuso da una serie di pannelli esterni, che caratterizzano esteticamente l'abitacolo, e fungono da protezione per il metallo sottostante.

Inoltre, servono a fornire un supporto per le vetrate e le strutture accessorie della carrozzeria.

Vengono realizzati in composito a base di fibra di bamboo, e assemblati per incollaggio e rivettatura.

Da queste superfici si sviluppano i sostegni per le superfici di carrozzeria.

Queste strutture sono suddivise in componenti singole realizzate in produzione additiva, con polimero organico PEEK.



## Carrozzeria

La carrozzeria del veicolo è costituita da uno strato di tessuto elastico sostenuto dai telaietti sottostanti.

Il tessuto avvolge da entrambe i lati le strutture in modo da evitare sollevamenti alle alte velocità.

Si compone principalmente di Spandex con un rivestimento esterno in PVC resistente agli agenti corrosivi.



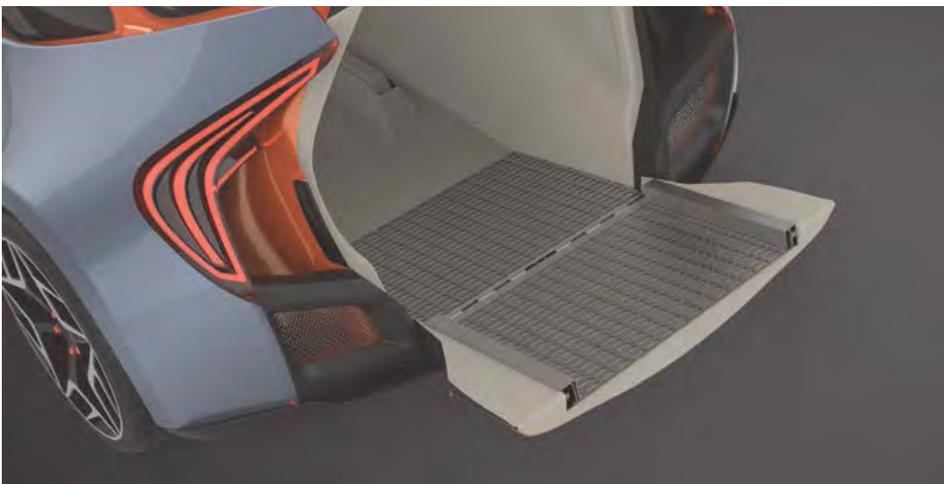
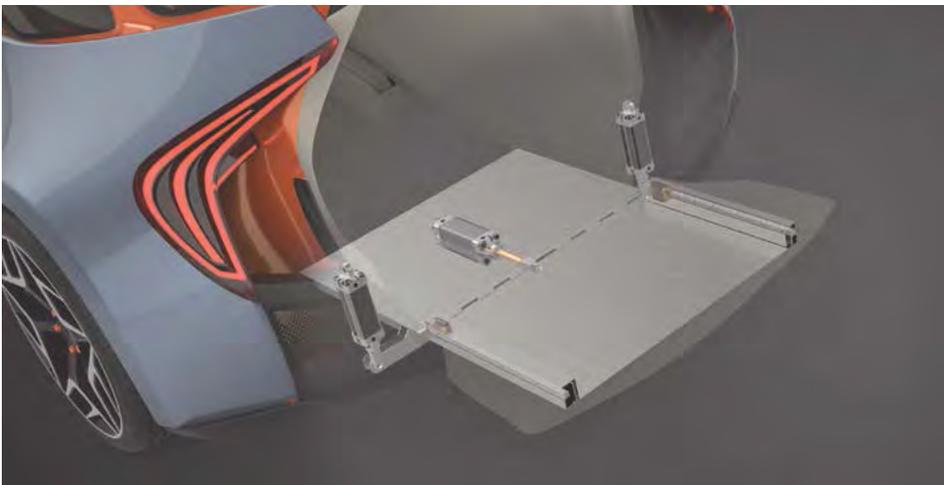
## Portellone e Rampa

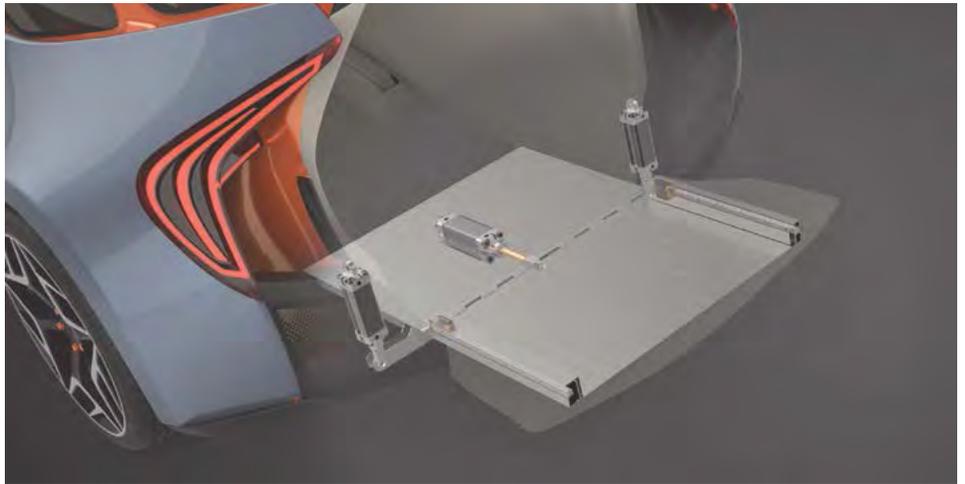
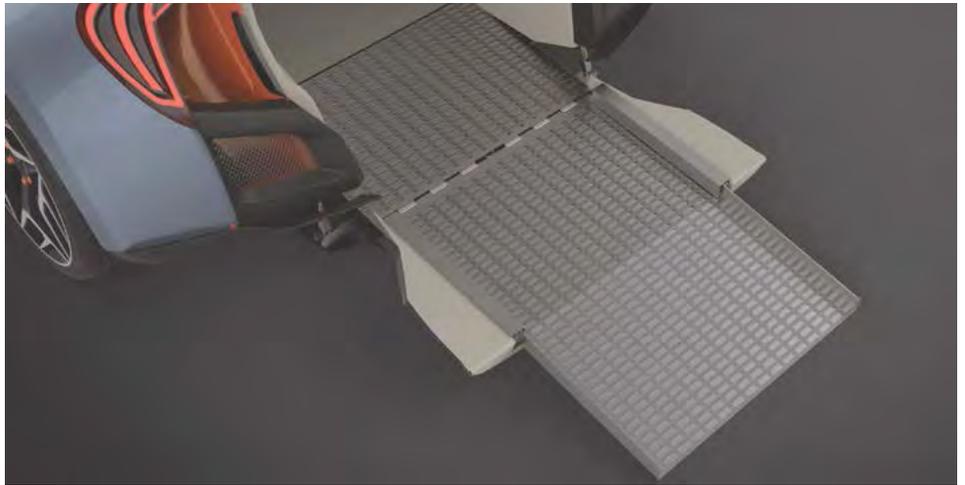
L'accesso a bordo vettura avviene attraverso un sistema che comprende un portellone superiore ed una rampa inferiore a più sezioni.

La rampa si compone di tre sezioni, attuate da motori elettrici lineari.

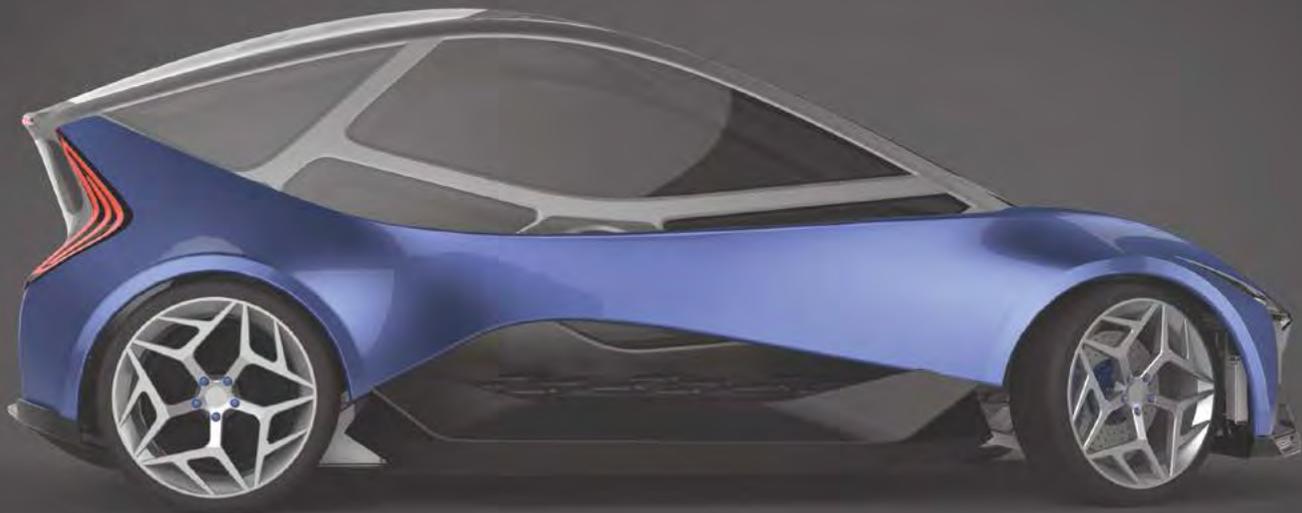
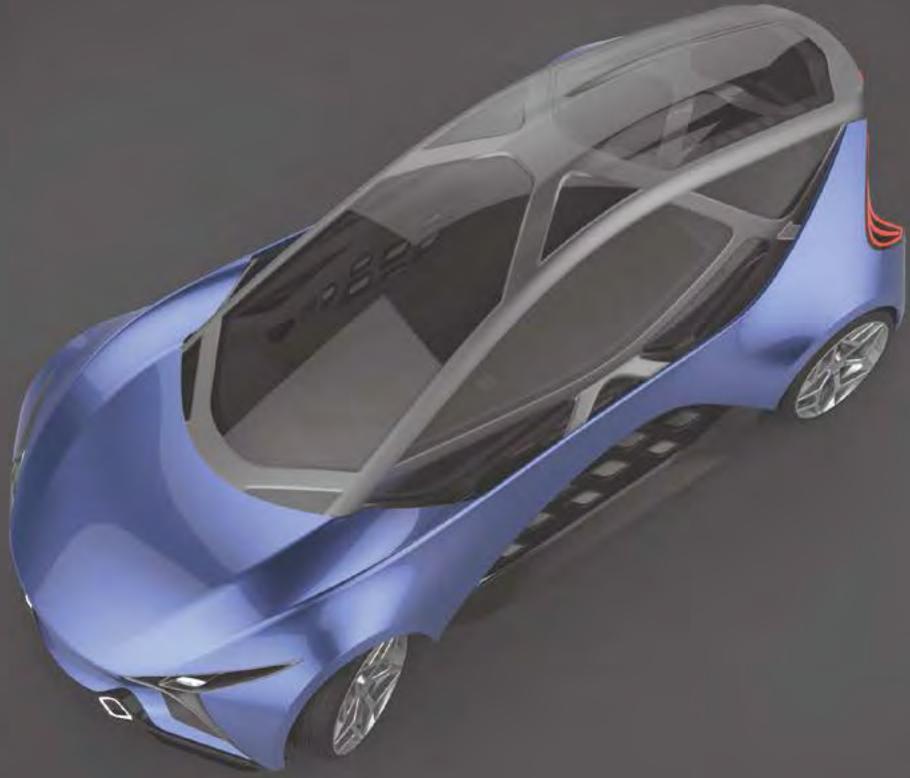
La prima sezione è incernierata direttamente alla monoscocca, la seconda sezione è incernierata alla prima, mentre la terza sezione viene estratta telescopicamente dalla seconda.

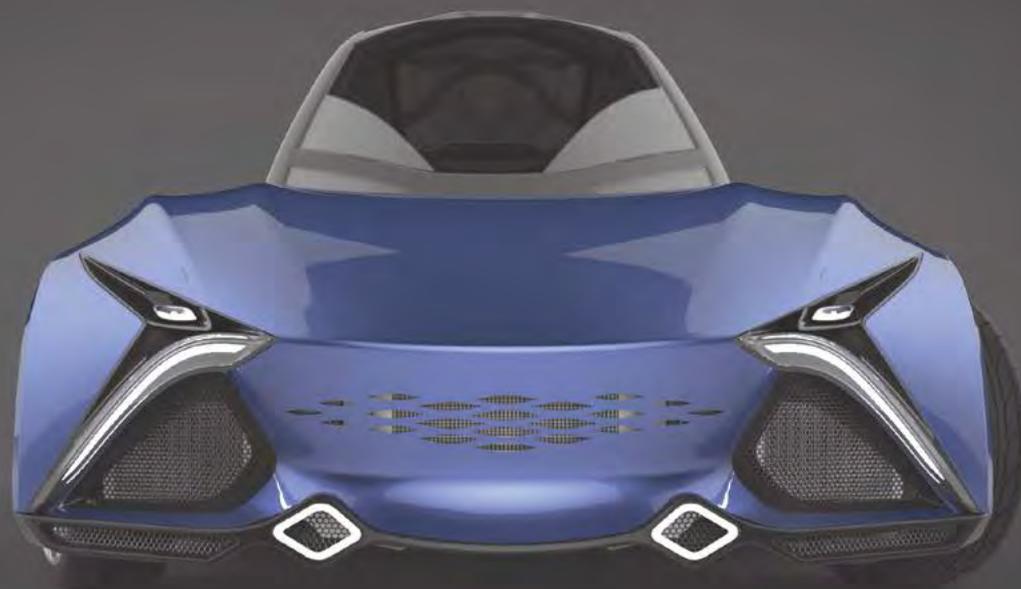
La rampa nella sua estensione completa raggiunge la pendenza massima dell'11%.













# 10

# Progettazione Carrozzina

## 1. Concept

Nel progettare un'automobile per disabili è necessario orientare il proprio progetto attorno ad una serie di standard, in modo da rendere il veicolo adatto o adattabile a varie tipologie o categorie di carrozzine. In questo senso si pongono molti interrogativi, che influenzano notevolmente le scelte formali del veicolo.

In primo luogo, la posizione di guida e conseguentemente i controlli e le interfacce relative al veicolo devono risultare conformi all'impostazione data dalla posizione ergonomica dell'utente seduto sull'ausilio.

Una carrozzina è un prodotto molto complesso, che deve tenere conto di fattori molto legati alla salute dell'utente, alle sue esigenze di vita e al suo grado di disabilità, quindi l'ergonomia di una carrozzina è appositamente studiata per lo scopo cui è preposta, ovvero la massima mobilità possibile per l'utente.

Questo comporta l'adattamento di un singolo ausilio a molte tipologie di situazioni differenti, sia nei confronti dell'ambiente esterno, sia nei confronti di ambienti interni, il che porta inevitabilmente ad un compromesso ergonomico notevole.

La guida, al contrario, è un'azione a sè stante, fatta di un insieme di azioni e dinamiche molto difficoltose da analizzare in maniera completa persino per l'utenza normodotata.

Il voler portare un ausilio "standard" come una carrozzina a confrontarsi con il "mondo" rappresentato dall'abitacolo di un'automobile è una sfida pressochè impossibile, mantenendo un livello ergonomico generale accettabile.

Un ulteriore apporto a questa difficoltà è

rappresentato dalla tipologia specifica del veicolo preso in esame.

E' noto come un'automobile sportiva rappresenti una categoria molto particolare di utenti, i quali in cambio del valore aggiunto derivante dall'esperienza di guida, dell'aura che circonda un particolare marchio sportivo, sono disposti a sacrificare altri dettagli e caratteristiche, legati al comfort, all'accessibilità, alla dotazione.

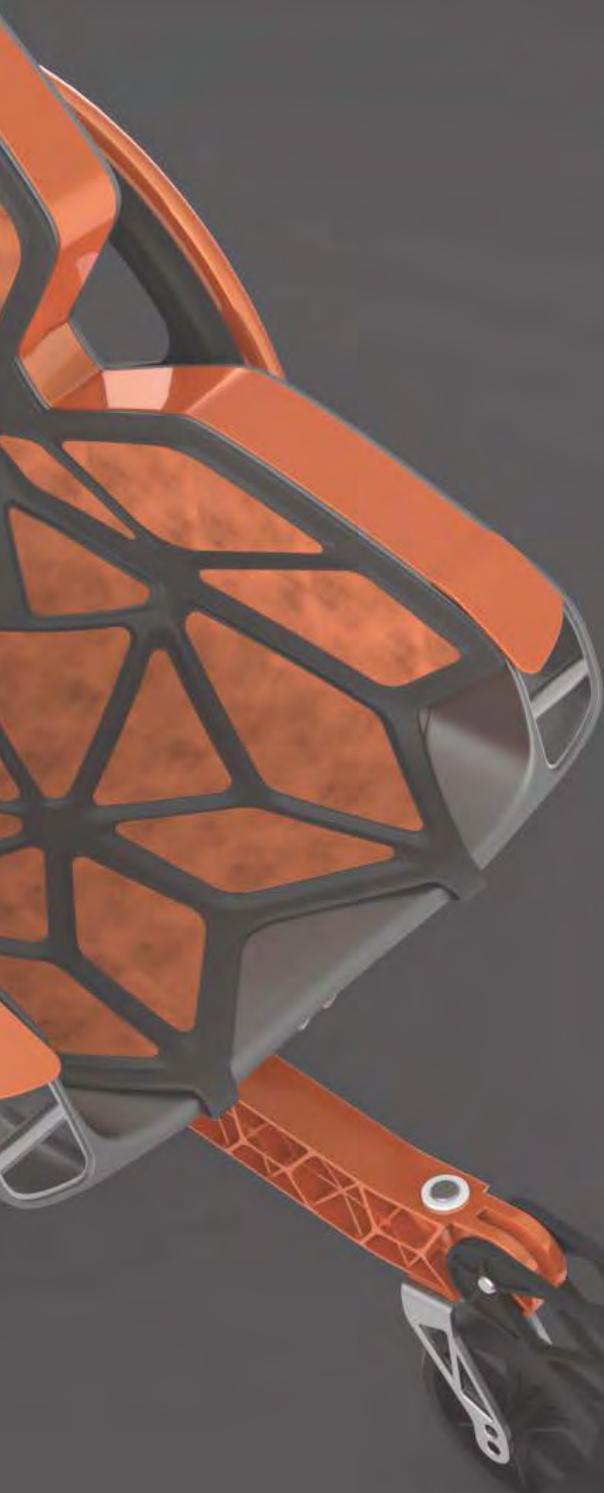
In aggiunta, l'insieme di stilemi caratterizzanti le auto sportive, e che storicamente vengono associati ad un'automobile sportiva, contribuiscono ad accentuare le carenze ergonomiche di un veicolo di questo tipo, oltre che a porre il designer nei confronti di un dilemma formale: come si può creare un veicolo dalla caratterizzazione sportiva, senza il richiamo a determinate regole formali non scritte, quali un tetto arcuato e spiovente, una ridotta altezza da terra, un'inclinazione molto pronunciata del parabrezza.

A questo punto è possibile trovare due strade percorribili, in una situazione in cui si debba far convivere due mondi apparentemente inconciliabili.

La prima, è un compromesso nei confronti della sportività del veicolo, ovvero rinunciare a parte dell'esperienza totale che deriva da un'automobile di questo tipo.

La seconda, è una completa revisione del concetto di carrozzina come "standard", dalla quale scaturisce una ricerca di metodi alternativi di operatività dell'ausilio votati a mantenere le caratteristiche fondamentali della sportività, e ad accogliere le esigenze ergonomiche dell'utente sia nelle complicate fasi della guida, sia nella vita di tutti i giorni.

E' innegabile come in questa sede, la



seconda strada progettuale sia quella più idonea agli scopi del progetto, in quanto coerente con gli obiettivi innovativi e sperimentali posti al principio.

Inoltre, la sportività del veicolo è un punto centrale del progetto, che si caratterizza proprio come la prima automobile sportiva esclusivamente pensata per un'utenza disabile.

## 2. Layout

Nel reinventare il concetto di carrozzina, è stata condotta un'approfondita ricerca nei confronti delle esigenze dell'utente disabile paraplegico, e di come queste esigenze vengono tradotte in progetti reali.

Nell'analizzare le varie tipologie di carrozzina è stato notato come di norma queste siano strutture fisse, che in alcuni casi vengono assemblate "sartorialmente" attorno all'individuo e che non è possibile modificare in nessun modo per adattarsi a situazioni operative inusuali, come l'abitacolo di una vettura sportiva.

Questo principalmente per ragioni dimensionali, ed in modo particolare, per l'altezza eccessiva che non permetterebbe all'utente di essere sistemato all'interno dell'abitacolo.

Dunque, la caratteristica principale che questo nuovo layout di carrozzina deve possedere, è quella di poter assumere due differenti modalità operative, ovvero una prima, che sia in linea con le normative e le direttive dimensionali tipiche di una sedia a rotelle standard, e una seconda, che sia compatibile il più possibile con l'abitacolo della vettura, e l'ergonomia di una corretta posizione di guida.

Sostanzialmente, il layout della carrozzina deve poter variare l'altezza e l'inclinazione della sua seduta in maniera autonoma da parte dell'utente disabile: quest'autonomia deve essere il punto centrale del progetto, così come la condizione attiva totale da parte dell'utente.



Sono state dunque individuate una serie di dimensioni e valori obiettivo che caratterizzano ognuna delle due modalità, affinché siano compatibili con le necessità del progetto e dell'utente.

La definizione e la scelta di questo layout dimensionale fa riferimento alle ricerche condotte in precedenza, che si basano su valori derivanti da normative e da ricerche specifiche condotte sperimentalmente.

### 3. Esplorazione formale

Partendo dalle ricerche effettuate sul mercato di riferimento e dal layout dimensionale illustrato, è cominciata la fase di identificazione degli aspetti formali e realizzativi del progetto.

In particolare, nell'analizzare le varie tipologie di carrozzina, una tipologia particolare è risultata essere compatibile con le premesse effettuate in precedenza.

Si tratta di un modello prodotto dall'azienda inglese Trekinetic, che si basa sull'inversione della grandezza delle ruote tipica

di una sedia a rotelle standard e su un concetto già presentato in questa ricerca, quello di monoscocca.

La Trekinetic ha trasportato il concetto di monoscocca tipico delle auto da Formula 1 nel mondo degli ausili per disabili, utilizzando anche gli stessi materiali, i compositi, per progettare una struttura che eliminasse l'intreccio classico di profili metallici, ma riunisse tutte le funzionalità e le connessioni meccaniche necessarie al funzionamento della carrozzina in un unico elemento portante, che fungesse anche da sedile per l'utente.

In questo modo le dimensioni risultano ridotte al minimo, e la manovrabilità del mezzo viene amplificata all'ennesima potenza, grazie all'azione diretta dell'utente sulle ruote di maggiori dimensioni.

Tuttavia, se il concetto è oggettivamente innovativo, gli utenti hanno riscontrato la perdita di un'azione di fondamentale importanza per superare gli ostacoli che l'ambiente spesso oppone loro: la capacità di sollevamento delle ruote anteriori.

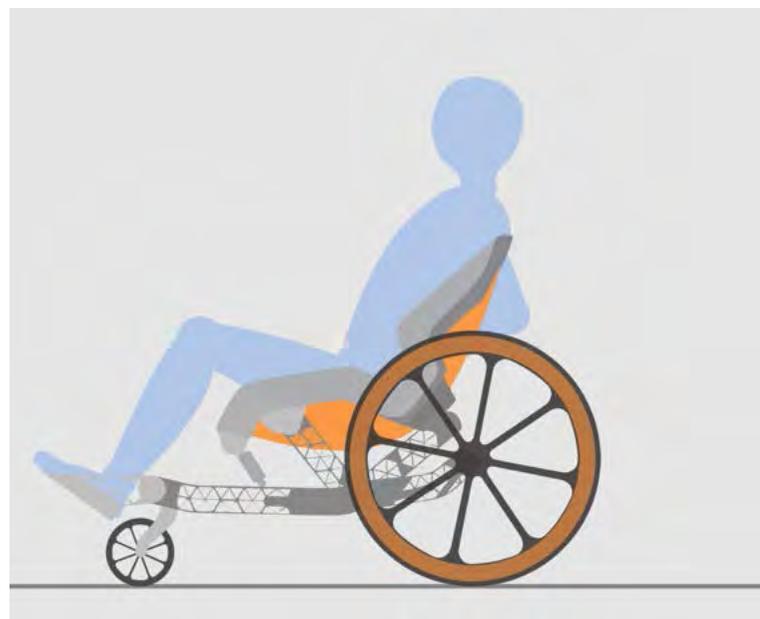
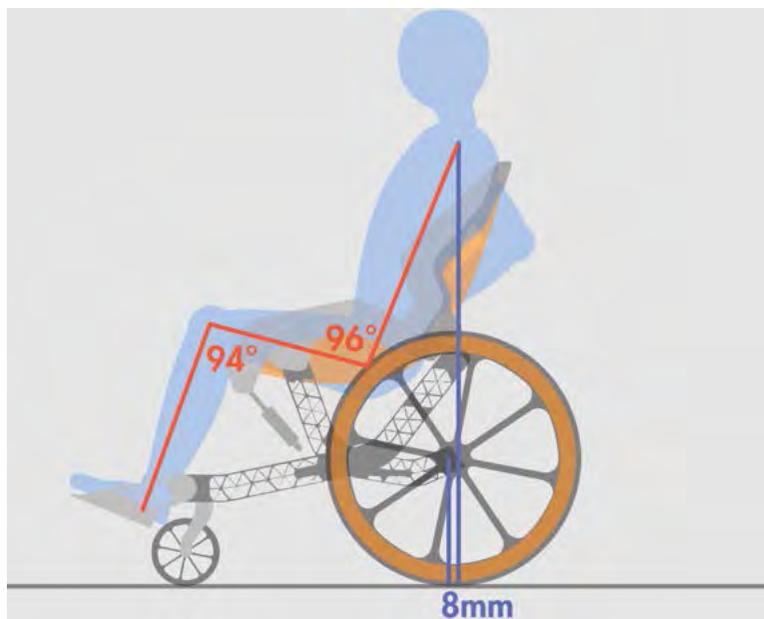
Per questo motivo, la disposizione delle ruote è stata scartata, in quanto limita in modo importante l'autonomia dell'utente, alla base del ragionamento progettuale. Il concetto di monoscocca però, è risultato particolarmente interessante, poiché permette di ottenere forme complesse, adatte a funzionalità differenti, oltre a integrare all'interno di un unico componente tutte quelle caratteristiche funzionali che richiedono connessioni meccaniche, ad esempio, quelle dei sistemi di ammortizzazione.

Di conseguenza, è stato formulato un concept formale iniziale, che riuscisse a garantire le due modalità richieste, utilizzando la monoscocca come base del progetto.

Prendendo spunto dai leveraggi di ammortizzazione presenti nelle biciclette da mountain bike da competizione, è stata formulata un'ipotesi di struttura regolabile in altezza ed inclinazione.

I leveraggi dei forcelloni in questo ambito devono resistere a sollecitazioni importanti, e la loro conformazione è testata per es-





sero il massimo della funzionalità possibile per lo scopo.

Seguendo questa linea, è stata ipotizzata una struttura che si basa su tre elementi portanti che sorreggono la monoscocca, supportati da due elementi di ammortizzazione responsabili dell'abbassamento dell'intera carrozzina.

In questo sistema, i due elementi laterali supportano il movimento delle ruote posteriori, mentre l'elemento centrale si occupa di movimentare le ruote anteriori in maniera solidale con il poggiatesta.

Per quanto riguarda la monoscocca, che si occupa di accogliere l'utente, la costruzione composita in carbonio è stata abbandonata, in quanto la tecnologia di produzione di elementi in fibra di carbonio è tutt'ora ancora gestita in modo maggiormente manuale, di conseguenza realizzare un componente che integri tutte le connessioni con le strutture di supporto al

suo interno richiederebbe un costo molto alto, sebbene risulterebbe leggero e molto prestazionale.

L'intento è quello di realizzare lo stesso componente monolitico, ma utilizzando una tecnologia produttiva più vicina ad un'idea di produzione seriale classica, che possa comunque garantire le stesse funzionalità e la stessa libertà formale di un componente in fibra di carbonio.

In aggiunta, a questo concetto va unito un secondo, che è quello alla base dei sedili sportivi.

Questi hanno il compito di contenere adeguatamente il pilota durante la guida, e di offrire un livello di comfort adatto allo scopo, il che solitamente significa un livello di comodità molto basso.

Questo non può essere applicato ad un prodotto destinato a utenti che sono costretti in una posizione statica per tutto il giorno, di conseguenza la conformazione

della seduta deve essere la meno invasiva possibile, e deve essere in grado di adattarsi all'anatomia di chi la utilizza.

In sostanza, il concetto è quello di una seduta elastica, deformabile ma che offra comunque un ottimo supporto laterale nelle fasi più concitate della guida, e questa riflessione influenza anche il disegno della struttura monolitica della seduta, che dovrà essere una sorta di "nastro" che sostiene il tessuto.

Nel supporto interno imbottito, è stata inoltre immaginata una serie di rinforzi in materiale plastico che danno solidità alla parte interna e proteggono ulteriormente l'occupante, realizzati seguendo la costruzione delle protezioni motociclistiche.

L'ultima caratteristica curata, è quella dell'integrazione di un sistema di fissaggio della sedia a rotelle all'interno della vettura, per evitare l'adattamento di sistemi aftermarket difficili da inserire nel contesto del

progetto del veicolo, che avrebbero influenzato la libertà formale e funzionale.

#### 4. Sedile

La struttura principale della carrozzina è composta da un unico elemento progettato secondo la struttura di uno scatolato aperto, con numerose nervature di rinforzo trasversali.

All'interno della struttura del componente, in fase di produzione, vengono inserite diverse piastre di fissaggio, secondo la tecnica del co-stampaggio.

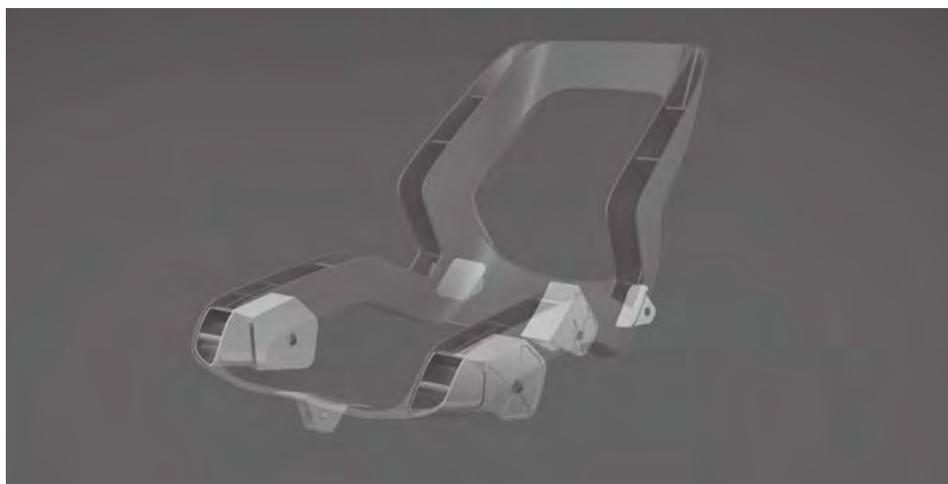
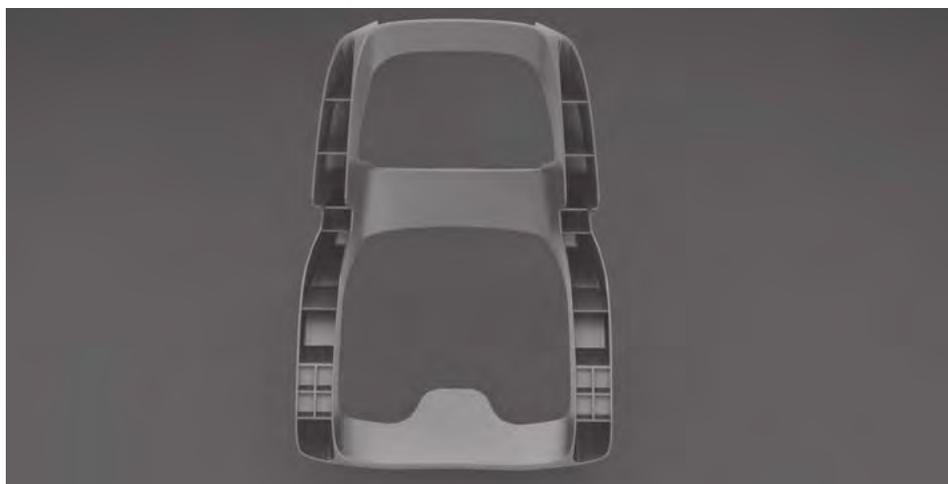
Frontalmente, al centro è stata inserita la piastra relativa all'ammortizzatore anteriore sul quale si fissa il braccetto centrale, lateralmente sono stati posizionati quattro elementi realizzati in fusione.

Due di questi alloggiavano i due bracci laterali, dedicati alle ruote posteriori, e ne consentono il fissaggio e la movimentazione.

In posizione frontale a questi ultimi, sono presenti altri due elementi realizzati in fusione, che si occupano di fornire i perni dai quali fissare la carrozzina alla vettura.

Nella parte posteriore della monoscocca, lateralmente sono state inserite le piastre di sostegno degli attuatori elettrici posteriori, mentre centralmente è alloggiata la piastra principale che si occupa di sostenere e permettere il movimento del braccio di sostegno centrale.

Il materiale utilizzato per la monoscocca è un materiale polimerico composito a fibra corta di poliammide, che ne rinforza la struttura ma non risulta orientata direzionalmente, il che ne permette l'uso nello stampaggio ad iniezione.



## 6. Bracci

I bracci di sostegno della carrozzina sono stati disegnati eseguendo un rapido processo di ottimizzazione topologica, utilizzando le forze statiche in gioco all'interno della sedia a rotelle.

Il design space del braccetto laterale è stato importato all'interno di Inspire.

Nell'impostazione del processo di ottimizzazione, oltre ad impostare il materiale e la simmetria, viene impostata la direzione di stampaggio, in quanto anche questi elementi verranno realizzati secondo questa tecnica produttiva.

Vengono inoltre impostate le proprietà meccaniche del polimero usato

Nell'impostare i vincoli, vengono utilizzati i fori di fissaggio alla monoscocca, impostando i gradi di libertà di conseguenza con la movimentazione, inserendo una rotazione nella parte superiore del braccetto e uno spostamento verticale dalla parte dell'attacco al mozzo ruota: in questo punto viene applicata una forza di 500 N, che flette il componente.

Nel menù di impostazione dell'ottimizzazione vengono lasciati i valori di default, e si procede all'esecuzione dell'ottimizzazione.

### Risultati ottimizzazione

Nel caso di un componente piuttosto piccolo come il braccetto analizzato, l'ottimizzazione richiede meno tempo, ed il risultato è meno complesso da analizzare per effettuare il disegno definitivo.

La geometria ottimizzata del componente presenta un disegno composto principalmente da sezioni incrociate in maniera più o meno regolare.

Questo ha portato ad un'interpretazione del risultato che cercasse di individuare un



pattern di incroci secondo geometrie regolari, che seguissero in maniera non esattamente identica l'input dell'ottimizzazione, ma rappresentassero un'evoluzione della geometria ottimizzata.

La stessa identica geometria è stata applicata sia ai bracci laterali che all'elemento centrale, questo perchè sebbene si trovino in posizioni differenti, i due componenti sono molto simili a livello dimensionale, in aggiunta l'elemento centrale, sul quale non è stata effettuata nessuna ottimizzazione, risulta essere molto meno sforzato nell'insieme, da qui la decisione di utilizzare lo stesso pattern geometrico per descriverlo.

## 7. Sistema sospensivo

Il sistema di leveraggio analizzato comprende tre elementi che ne rendono possibile la movimentazione e il passaggio dalla modalità di guida a quella standard.

I primi due elementi sono due attuatori elettrici lineari compatti, alimentati da due batterie agli ioni di litio alloggiato all'interno della struttura monoscocca, in una sede ricavata dalle nervature strutturali del componente.

La loro forza motrice è di 900 N ciascuno, il che permette di sostenere e movimentare individui di peso superiore a 140 Kg, ben al

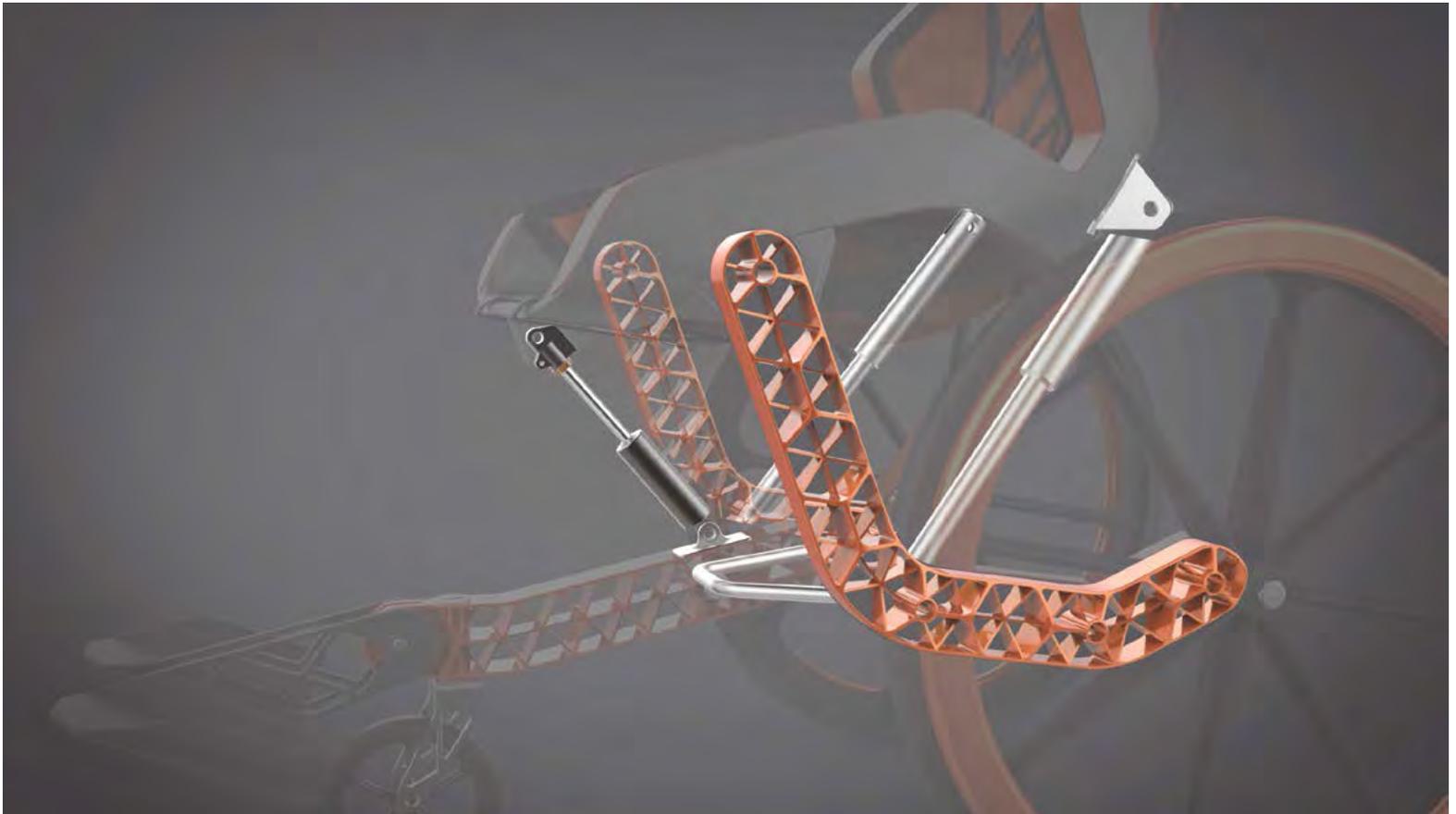
di sopra della categoria di utenti alla quale questo progetto si rivolge.

Il consumo elettrico di questi due elementi è di 1.8 Ampere.

I due attuatori vengono ancorati alle piastre laterali posteriori della monoscocca, e ad un giunto uniball fissato sul braccetto laterale.

Il terzo elemento, ancorato frontalmente, è un ammortizzatore pneumatico passivo, caricato a gas.

Questo elemento si occupa di ammortizzare la struttura nella parte frontale, soggetta ad urti e ostacoli, e viene abbassato solidamente con gli attuatori.

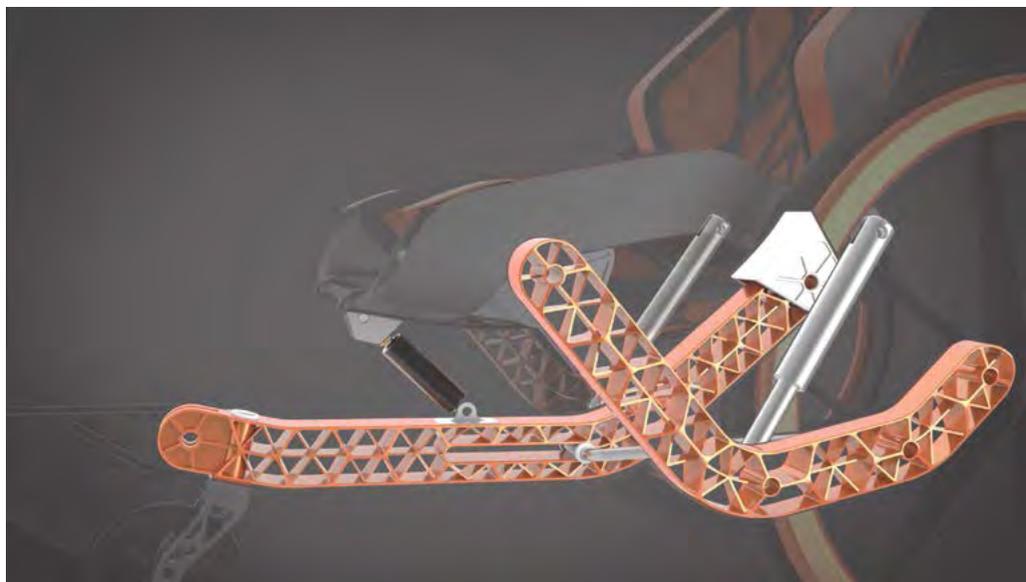


Questo è possibile grazie ad un collegamento tra i bracci laterali e il braccio centrale, composto da un profilo tondo curvato, che scorre in un'asola creata nel braccio centrale grazie ad una boccola in Teflon.

Nell'abbassamento degli attuatori, l'utente sblocca l'ammortizzatore frontale, che non oppone resistenza all'abbassamento: solidalmente, il profilo centrale scorre fino alla posizione finale di abbassamento, mentre il peso dell'utente aiuta l'ammortizzatore nella compressione.

Nel sollevamento, l'ammortizzatore è ancora sbloccato, così il braccio centrale può essere riportato nella posizione sollevata dagli attuatori, tramite lo scorrimento del profilo metallico all'interno dell'asola.

Per finalizzare il sollevamento, l'ammortizzatore viene bloccato.



## 8. Sistema di fissaggio

Il sistema di fissaggio della carrozzina all'automobile avviene in posizione abbassata.

In questa modalità, l'utente ha ancora la manovrabilità necessaria per spingere la carrozzina frontalmente, verso il punto di aggancio.

La sequenza parte nella fase di salita a bordo del veicolo.

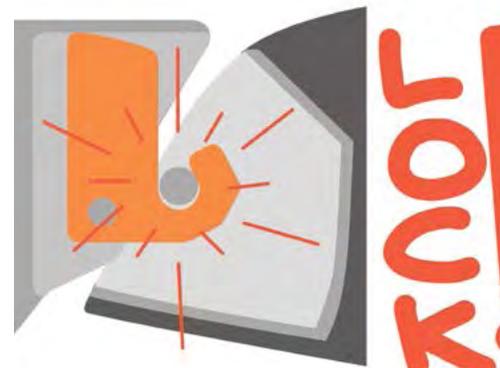
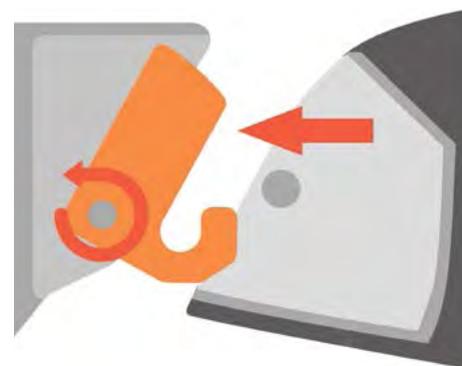
L'utente sale sulla rampa posteriore della vettura in posizione sollevata.

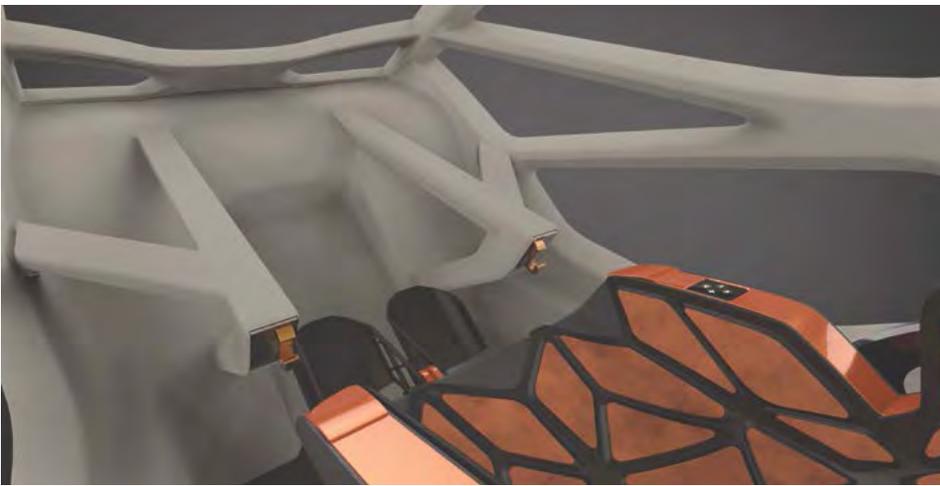
Arrivato sul pianale interno, attua il meccanismo di abbassamento, che lo porta alla posizione di guida, e allo stesso tempo alla posizione di fissaggio.

A questo punto, l'utente può completare il processo, agganciando la carrozzina.

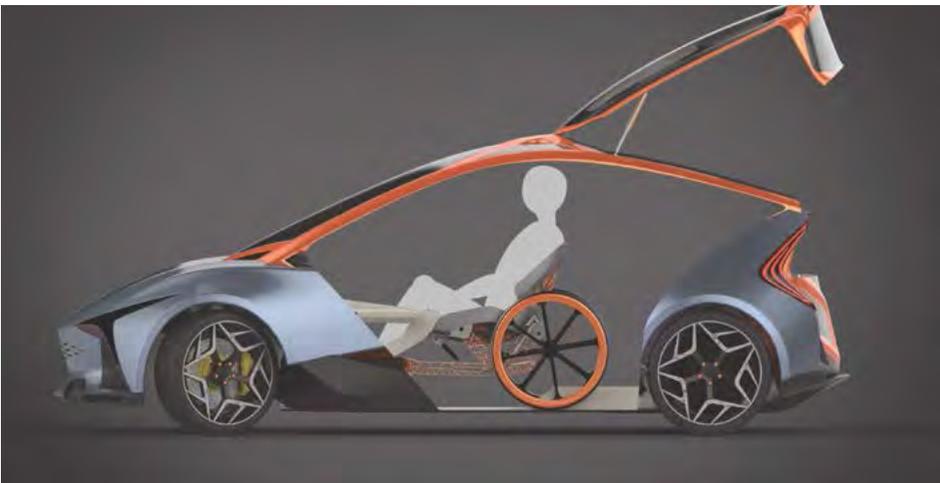
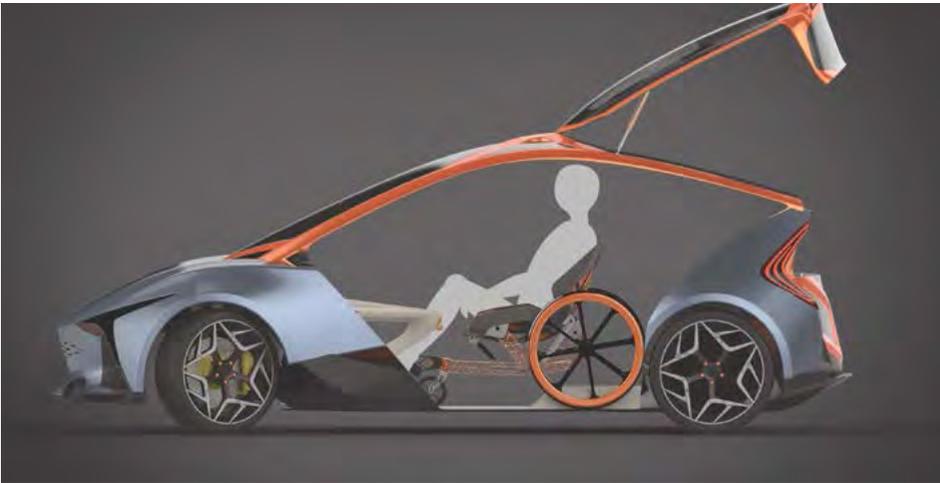
Il sistema si basa su un perno cilindrico orizzontale presente sulla carrozzina, che viene accolto all'interno di un meccanismo di bloccaggio frontale.

Il meccanismo si basa su un blocchetto rotante, che blocca il perno con un gancio a spinta frontale, fino a chiudersi





definitamente con un meccanismo. Il rilascio del meccanismo avviene elettricamente, tramite la pressione di un tasto che attua lo sbloccaggio del gancio, in modo da lasciare l'utente libero di arretrare leggermente, attuare il sollevamento della sedia a rotelle, ed uscire dal veicolo. Per il passeggero, il procedimento è il medesimo, ma il sistema di aggancio viene estratto dal pavimento dell'abitacolo.





## 9. Imbottitura seduta

L'ultimo componente della sedia a rotelle è il sistema di imbottitura e sostegno dell'utente.

Questa parte della seduta è un elemento composto da tre parti principali, rispettivamente di altrettanti materiali differenti, fondamentali per la funzionalità dell'insieme.

L'imbottitura è composta da uno strato esterno elastico, realizzato in Elastollan, un materiale estremamente resistente allo strappo che offre una giusta cedevolezza quando posto in tensione.

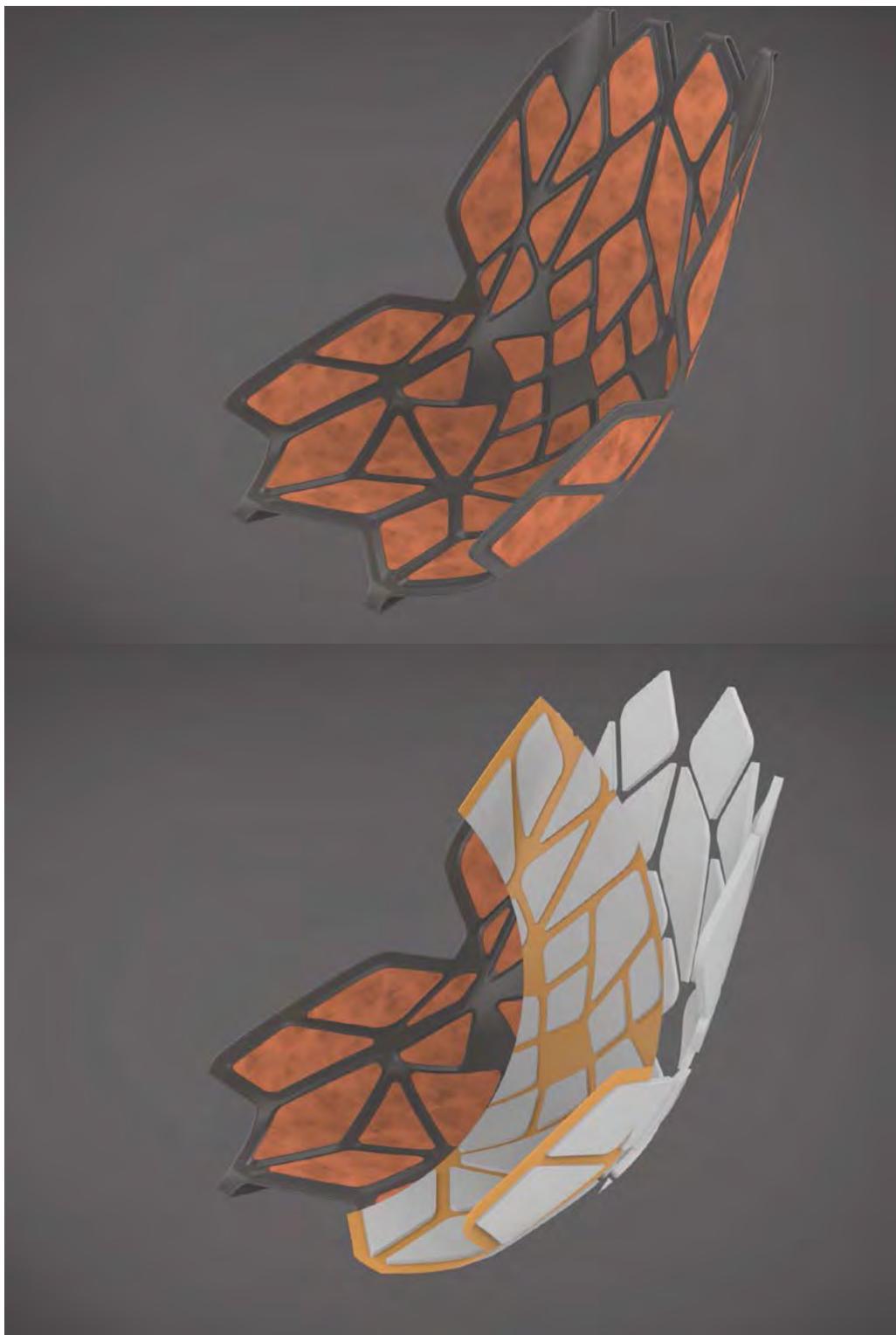
All'interno di questo primo strato, è contenuta un'anima in polipropilene che, contribuisce a dare struttura al rivestimento esterno, e inoltre è sagomata internamente per alloggiare le restanti parti dell'imbottitura.

Questa ultima componente è divisa in varie sezioni, poste in posizioni strategiche per sostenere il corpo dell'utente e aumentare il comfort.

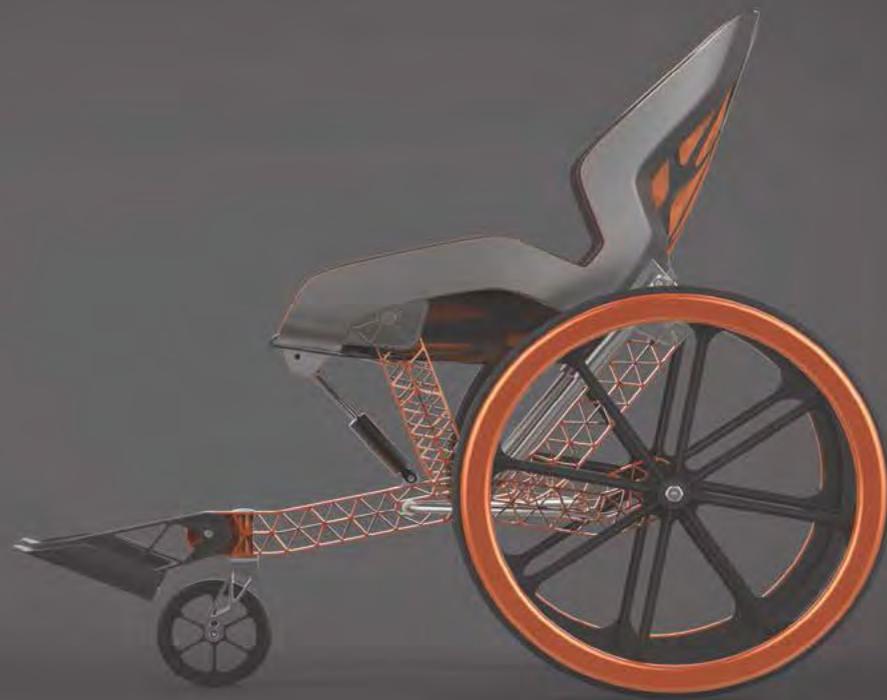
Queste imbottiture sono composte da Elastoflex, un materiale poliuretano semi-rigido, che asseconda il peso dell'utente e ne assume la conformazione anatomica.

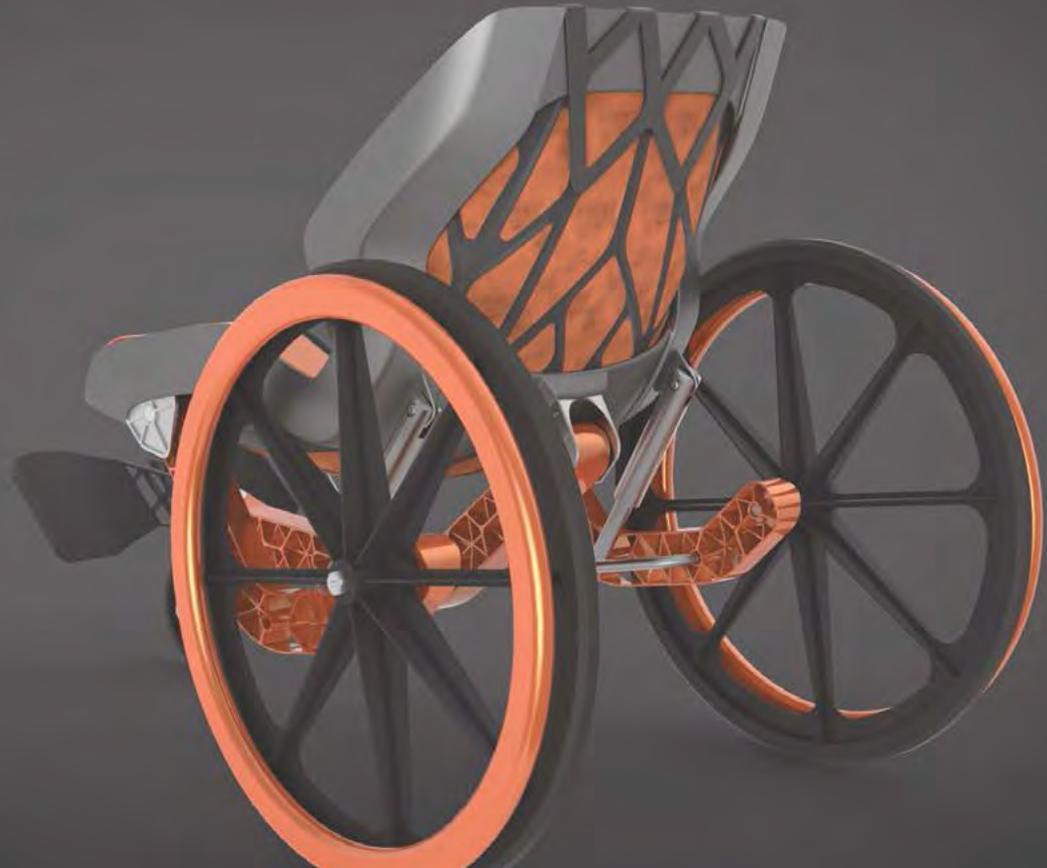
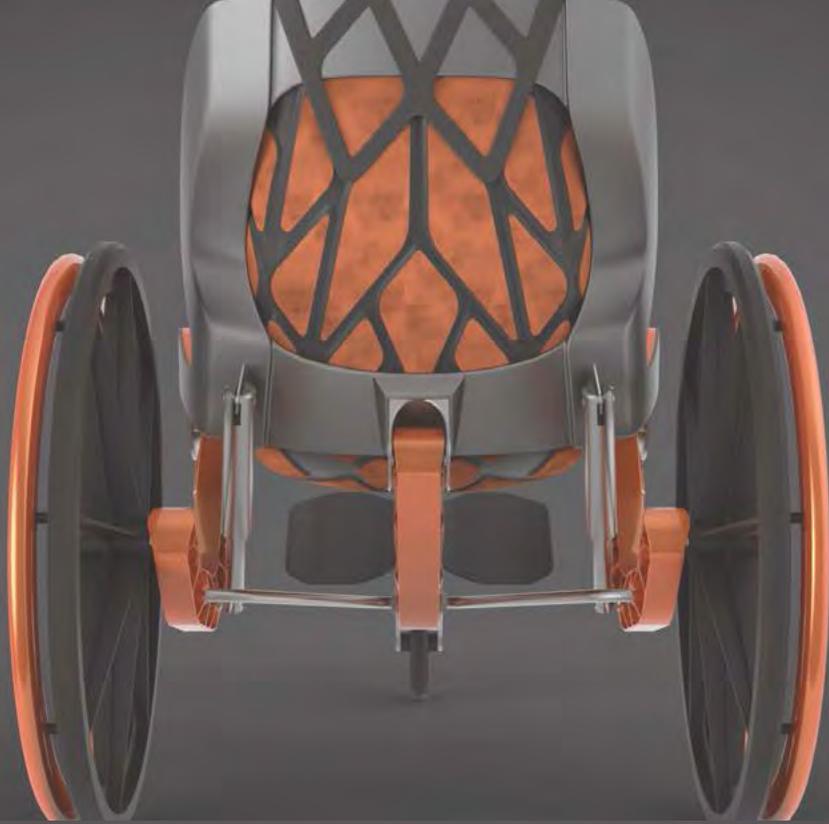
Queste tre componenti vengono prodotte separatamente e in seguito saldate insieme termicamente, per formare l'imbottitura della seduta.

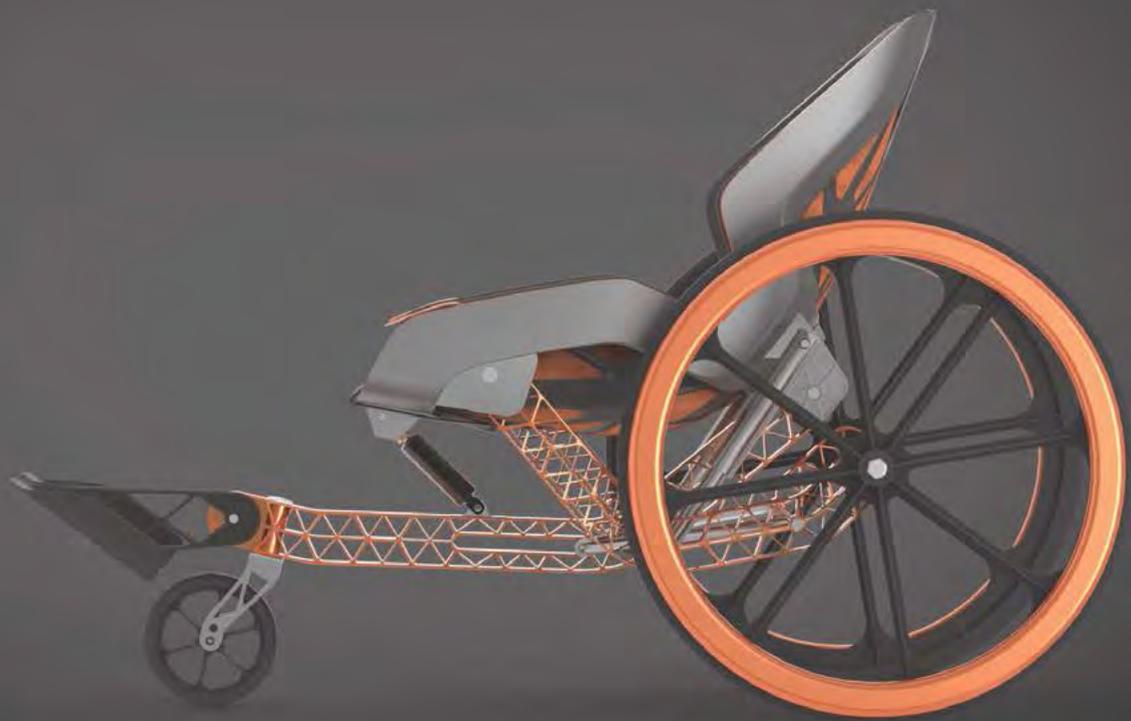
Un ulteriore rivestimento, antiscivolo, che dona una connotazione estetica all'imbottitura, è composto da una serie di patch in alcantara, cucite sullo strato più esterno. Per tenere in posizione l'imbottitura viene utilizzato del velcro ad alte prestazioni, ancorato alla parte superiore ed inferiore della monoscocca.

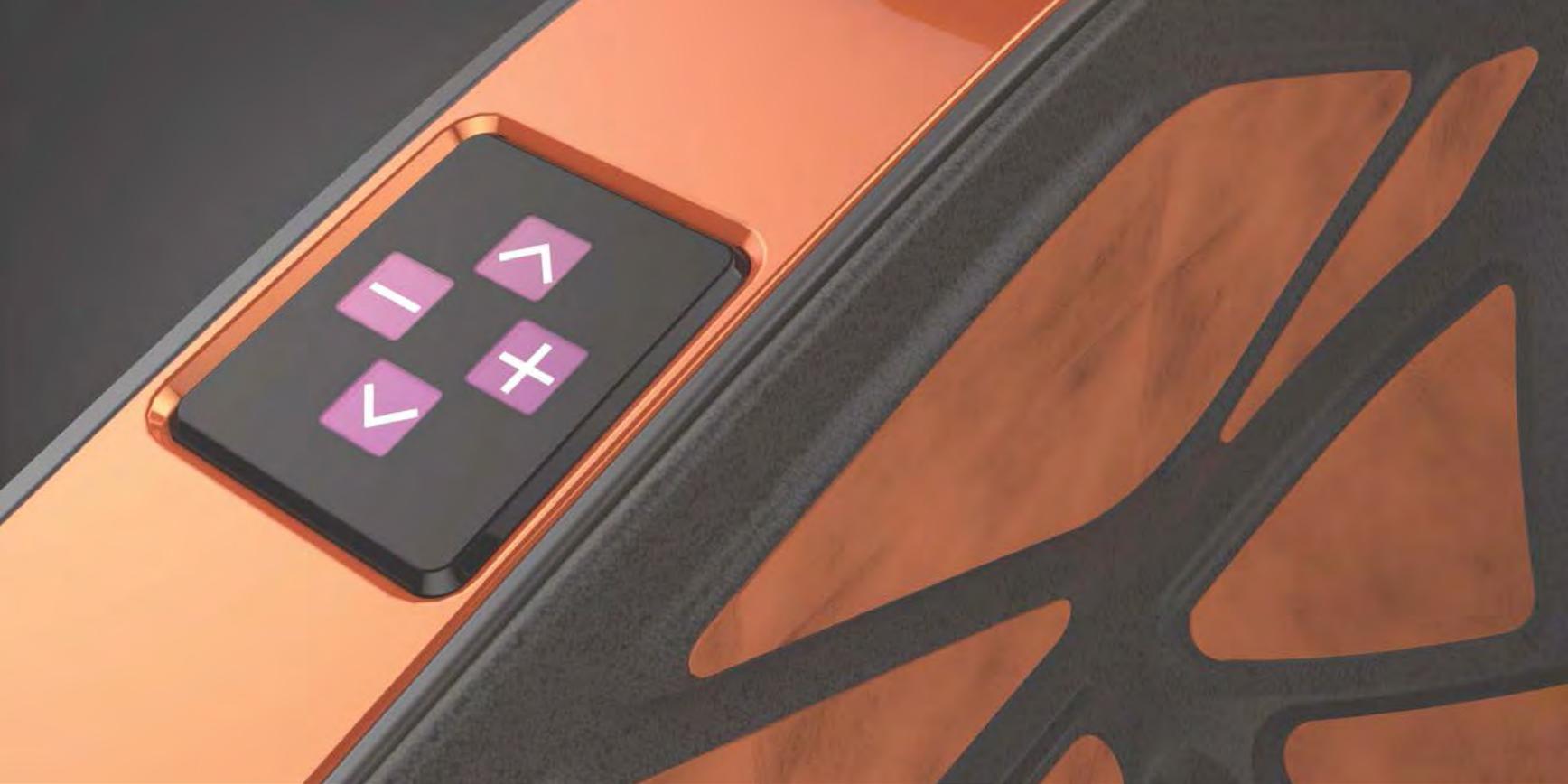




















Altair project equizite

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y

V

Y