

# Emilia 4 L'italiana che conquista l'America

di **Giangiaco Minak, Cristiano Fragassa, Tommaso Brugo e Nicola Zavatta**, Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Industriale

Emilia 4, il primo cruiser solare realizzato in Italia, si è aggiudicato il podio dell'American Solar Challenge 2018. Ecco gli aspetti più significativi emersi durante la progettazione e costruzione

**N**el mondo dei veicoli solari i cruiser sono solar car multipasseggero concepiti per gareggiare in competizioni caratterizzate da lunghissime distanze, anche oltre 3.000 km e altissima competitività. Per questo motivo, la loro progettazione e costruzione devono basarsi sul raggiungimento del miglior compromesso tra minimo consumo energetico e massime prestazioni. Allo stesso tempo, questi veicoli devono rispettare regole di gara piuttosto stringenti per quanto riguarda ingombri, funzionalità, ergonomia, sicurezza e tanto altro ancora, mentre forma, materiali e meccanica possono essere considerati "gradi di libertà" del pro-

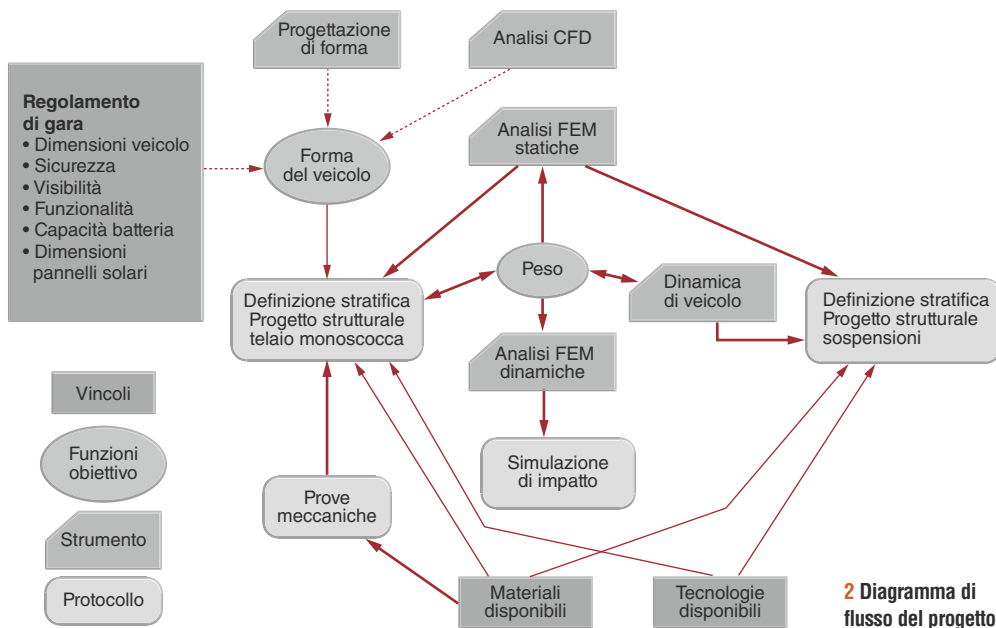
gettista. In questo articolo sono descritti alcuni degli aspetti più significativi emersi durante la progettazione e costruzione del primo cruiser solare mai realizzato in Italia, che recentemente si è aggiudicato il podio dell'American Solar Challenge, una delle più importanti gare solari nel panorama mondiale (figura 1). In particolare, lo studio si concentra sulla monoscocca del veicolo e sulle molle a balestra, strutture interamente sviluppate in composito rinforzato. Sono poi riportate utili considerazioni sull'ottimizzazione aerodinamica, sul pannello solare, sul sistema di batterie e di motori, soprattutto per l'impatto che questi elementi rivestono nella progettazione strutturale del veicolo.

## La scelta dei materiali

Un obiettivo cruciale nella progettazione strutturale di un veicolo solare è quello di ottenere la massima leggerezza in un trade-off con funzionalità, aerodinamica e regole di corsa. Questo obiettivo, da intendersi come espresso in termini di rapporto ottimale tra resistenza e peso, prende forma già all'avvio del percorso progettuale, con la scelta dei materiali costruttivi, una decisione che deve tenere conto anche di quale tecnologia si intende utilizzare per la realizzazione del veicolo. Nel caso specifico, si è puntato per la formatura in autoclave di compositi polimerici a fibra di carbonio (CFRP) utilizzati in forma



**1** Emilia 4, il solar cruise progettato e costruito all'Università di Bologna, si è aggiudicato il primo posto dell'American Solar Challenge 2018, competizione riservata a veicoli solari sviluppati dalle università di tutto il mondo



di tessuti preimpregnati (pre-preg). Questi tessuti, che possono essere molto eterogenei tra loro per tipologia e proprietà meccaniche, sono sovrapposti in modo manuale, in un processo indicato come hand lay-up, e poi polimerizzati attraverso cura in autoclave. Le caratteristiche finali del manufatto restano fortemente legate alla sequenza degli strati e alle peculiarità del processo. Di conseguenza, lo scopo fondamentale del percorso di pro-

gettazione è proprio rivolto allo sfruttamento ottimale delle caratteristiche anisotrope del materiale composito, attraverso la scelta sapiente della successione di strati e dei parametri di processo.

Questo approccio verso la capacità di modulare in modo adeguato le proprietà del materiale per ciascuna delle zone di interesse intervenendo sulla sua "stratifica" è spesso indicato come material design.

## Le logiche di progettazione

Purtroppo, però, la letteratura specialistica presenta pochissimi studi, e spesso obsoleti, che trattano della progettazione di auto solari mediante compositi. Dalla loro lettura emerge che, indipendentemente da quale aspetto del design del veicolo si punta a migliorare, un obiettivo comune è sempre lo stesso: il raggiungimento di una maggiore efficienza energetica. Inoltre, i cambiamenti produttivi nel design non sono sempre basati sulla necessità di utilizzare tecnologie all'avanguardia, ma più semplicemente su concetti di base relativi a come abbassare il centro di gravità dei veicoli per aumentare la loro stabilità (che è particolarmente importante per le competizioni in regioni desertiche a causa di raffiche di vento laterali), o sulla diminuzione del peso delle parti del veicolo, dove il 10% della riduzione complessiva del peso nei veicoli elettrici può portare fino al 13,7% in risparmio energetico. Strategie di gestione energetica approfondite sono anche comunemente utilizzate negli eventi di gara per garantire le migliori prestazioni possibili, dove si riescono a raggiungere velocità massime di 130 km/h e autonomie di oltre 800 km nelle vetture di classe cruiser.



## Veicoli solari: un banco di prova per nuove tecnologie

Un'auto solare è un veicolo a trazione elettrica, alimentato a energia solare e utilizzato per il trasporto terrestre. La prima auto solare fu presentata nel lontano 1955: si trattava di un minuscolo modello da 15 pollici, composto da 12 celle fotovoltaiche in selenio e un piccolo motore elettrico. Da quella prima dimostrazione sono stati fatti enormi passi in avanti verso una vera mobilità solare. In tal senso, è necessario segnalare da subito che il design di un veicolo solare è severamente condizionato dalla quantità di energia immessa nell'automobile, piuttosto limitata in condizioni normali. Diventa così comprensibile come, anche se alcuni dei prototipi realizzati in questi anni siano stati pensati per un uso pubblico, non siano ancora disponibili modelli commerciali di veicoli solari. Anzi, almeno a guardarli, questi veicoli sembrerebbero piuttosto lontani da un uso quotidiano, limitati

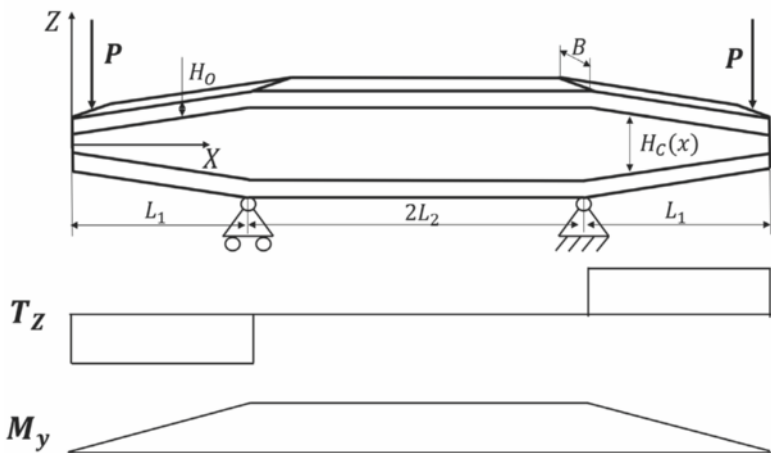
soprattutto in termini di costi, autonomia e funzionalità. In realtà, i veicoli solari rappresentano già da tempo un validissimo banco di prova per lo sviluppo di nuove metodologie e tecnologie, sia a livello di progettazione che di produzione, combinando soluzioni tecniche di interesse nei settori industriali più avanzati come l'aerospaziale, le energie alternative e l'automotive. Va anche notato che la maggior parte dei veicoli solari sono realizzati da Università e Centri di Ricerca di primissimo piano, interessati a competere in sfide estreme, cosa che li porta a sviluppare soluzioni ingegnose, adatte a risolvere i problemi tecnici più disparati. Gli organizzatori di queste competizioni, inoltre, hanno adottato da sempre una strategia di modifica dei regolamenti di gara, che porta ad avvicinare questi veicoli quanto più possibile ai mezzi di trasporto

tradizionali creando interessanti sinergie con il mondo industriale. Un esempio in tal senso è proprio quello della recente introduzione dei cruiser multipasseggero, una categoria nata in contrapposizione alle monoposto. Per questi nuovi veicoli, i requisiti diventano ancora più severi: non devono solo garantire la massima efficienza energetica con lo scopo di tentare di vincere la gara, ma anche rispettare esigenze di ingegneria più articolate e complesse, legate alla nuova operatività. La presenza di passeggeri rende, per esempio, più complesso garantire le condizioni di sicurezza e guidabilità. Ma persino il powertrain elettrico deve evolversi al di là di un "pacco batterie" più ampio: gli spazi interni devono essere sfruttati in modo differente, la meccanica va riposizionata, il recupero in frenata diventa ancora più essenziale, e

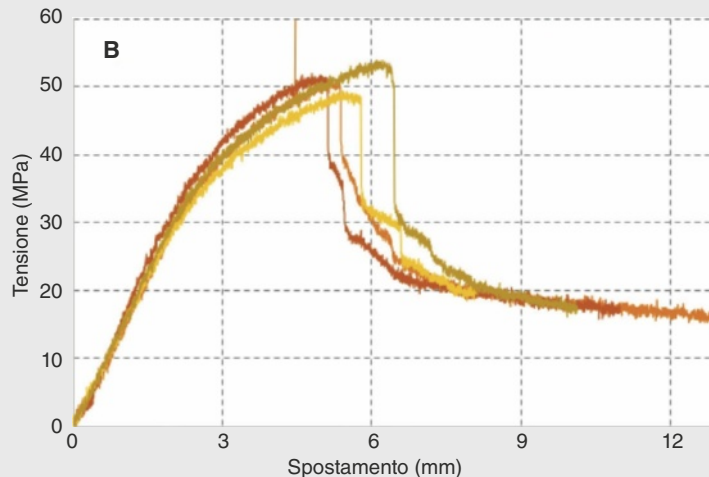
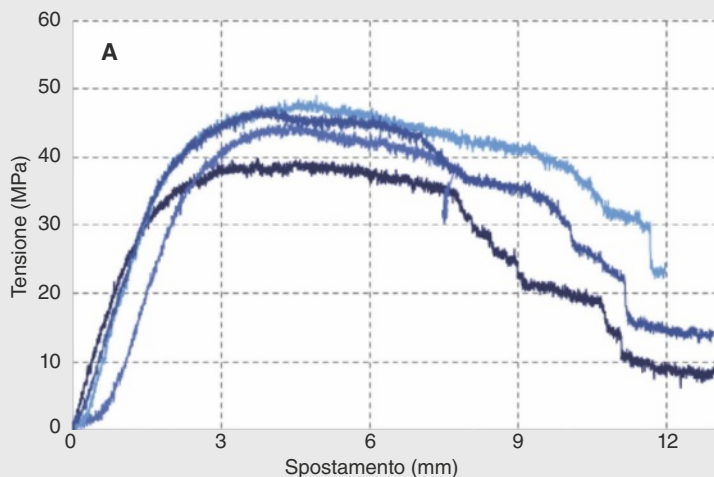
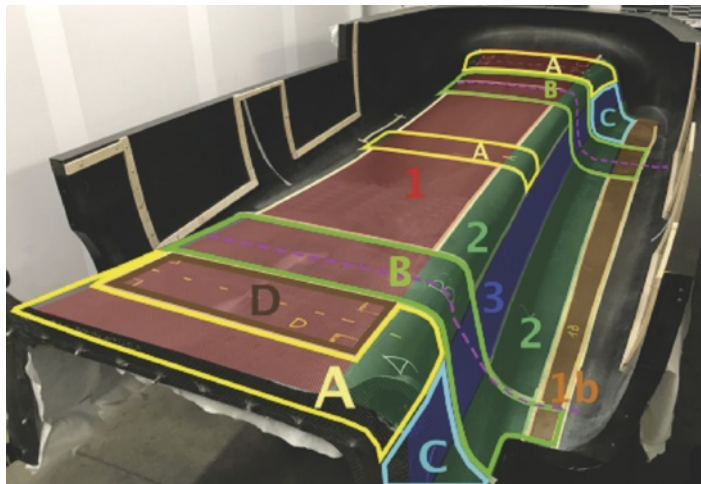
così via. In altri termini, una nuova filosofia di progettazione deve essere messa in campo per i cruiser, che parte proprio da una visione ben diversa dell'uso del veicolo: non più una solar car con cui correre nel deserto, ma un mezzo di trasporto funzionale e sostenibile. E questo differente approccio non può far a meno di emergere già dall'inizio dell'attività di progettazione, dal momento in cui si inizia a pensare a strutture e materiali. In tal senso, per esempio, i materiali devono essere selezionati sulla base del miglior rapporto tra resistenza e peso che, come diretta conseguenza, può essere tradotto come la necessità di utilizzare i compositi rinforzati. Ma tanti sono gli stratagemmi che devono essere implementati per un valido material design. Ed è proprio questo l'argomento trattato in questo articolo.



3 Schema di calcolo della molla a balestra



5 Diversi settori di laminazione per la scocca



4 Curva caratteristica per flessione su tre punti (A) e resistenza al taglio inter-laminare (B)

Lo studio dell'aerodinamica del veicolo è importante per assicurare una bassa resistenza all'avanzamento e scorrevolezza durante la guida, dove gli aspetti principali da controllare sono la riduzione del coefficiente di drag per consentire alla vettura di muoversi spendendo meno energia e la portanza, che deve essere mantenuta leggermente negativa per garantire che la macchina rimanga attaccata, modo sicuro e stabile, al suolo anche a velocità elevate.

### Il sistema di sospensione e il telaio

Un altro parametro importante da progettare è il sistema di sospensione, che viene ge-

neralmente applicato su veicoli tradizionali con il solo scopo di fornire comfort, stabilità e sicurezza, ma nelle auto solari deve essere anche leggero. Questo importante aspetto è stato esplorato dal 1999 in studi riguardanti le molle a balestra in fibra di vetro e più recentemente con la fibra di carbonio, materiali che utilizzati per costituire i bracci trasversali hanno dimostrato di fornire non solo una riduzione di peso, ma anche un maggiore fattore di sicurezza. Sebbene le sospensioni a doppio braccio oscillante siano indubbiamente più spesso utilizzate nelle auto solari, lo studio attuale considera una molla a lamina trasversale costruita con fibra di carbonio, poiché è

un sistema di sospensione con proprietà anti rollio, più semplice e leggero con una ridotta massa non ammortizzata.

Per quanto riguarda la fabbricazione del telaio, la costruzione di una struttura monoscocca realizzata in fibra di carbonio si è dimostrata in grado di garantire un significativo vantaggio prestazionale, essendo un vincolo progettuale indispensabile dei più importanti team di auto solari esistenti. L'uso della fibra di carbonio è vitale per la progettazione di un veicolo ad alte prestazioni, consentendo di costruire ciascuno dei suoi componenti strutturali (o parti diverse della stessa struttura, come nel telaio) con quantità ottimale di fibre

stratificate in orientamenti prefissati. Per questo, nel presente lavoro le proprietà dei materiali sono state valutate attraverso test sperimentali standardizzati come la flessione a tre punti e lo sforzo di taglio inter-laminare (ILSS). La costruzione è generalmente realizzata con sacchi a vuoto e cura in autoclave su stampi in fibra di carbonio, per garantire stabilità dimensionale durante il ciclo di polimerizzazione. Questi a loro volta sono stati laminati su modelli di schiuma o alluminio ad alta densità, fresati su grandi macchine CNC. La maggior parte delle parti è costituita da strutture a sandwich, per ottenere una massima resistenza alla flessione con un peso estremamente basso. Inoltre, la fibra di carbonio ha spesso dimostrato di essere vantaggiosa anche per contrastare fenomeni di risonanza. Nel nostro caso, la progettazione strutturale del veicolo e delle sue parti essenziali ha seguito il flusso di attività rappresentato nella figura 2.

### La progettazione del lay-up

Il primo step nella progettazione della scocca è stato determinare la distribuzione del carico nello scenario peggiore ipotizzabile, moltiplicando le distribuzioni di massa dei passeggeri e delle batterie per l'accelerazione verticale di regolamento al fine di ottenere il carico principale di progetto. Nel fare questo si è anche tenuto in conto della posizione dei sedili e della possibilità di modificare la posizione della batteria (che pesa 85 kg). In particolare, il veicolo è stato considerato una trave appoggiata sulle sospensioni e si sono trovati i diagrammi del momento flettente e del taglio. Si è poi calcolato lo spessore del nucleo del sandwich in base alla resistenza al taglio, dove  $w$  è la larghezza oltre la quale la forza di taglio  $T$  è applicata e  $t_c$  lo spessore del core:

$$r = \frac{T}{wt_c} .$$

La massima resistenza al taglio del materiale che costituisce il nucleo del sandwich, un riempitivo di utilizzo aerospaziale conosciuto comunemente come nomex, è stata fornita dalla scheda tecnica. Le resistenze a trazione e compressione degli strati CFRP utilizzati (nello specifico compositi codificati come T800W, T1000 UD, M46J UD) erano riportate nella scheda tecnica, mentre la resistenza alla flessione dei compositi sandwich e la resistenza al taglio inter-laminare (ILSS) per le possibili combinazioni di materiali sono state determinate sperimentalmente. Si sono poi prese in considerazione le diverse sezioni del veicolo, la cui forma è progettata in un compromesso tra requisiti aerodinamici e esigenze funzionali. Da questa indagine è emerso come siano tre le sezioni critiche del telaio: quella con il momento flettente più alto e le due estremità, dove l'area è drasticamente ridotta a causa della presenza dei sistemi di sospensione delle ruote. Inoltre, è proprio su queste due sezioni ridotte che il taglio viene trasferito dalla molla a balestra al telaio.

Nella progettazione della stratifica si è ipotizzato un lay-up che tenes-

## Una vasta gamma di Robot Un unico controllo



3-Assi



6-Assi



5-Assi

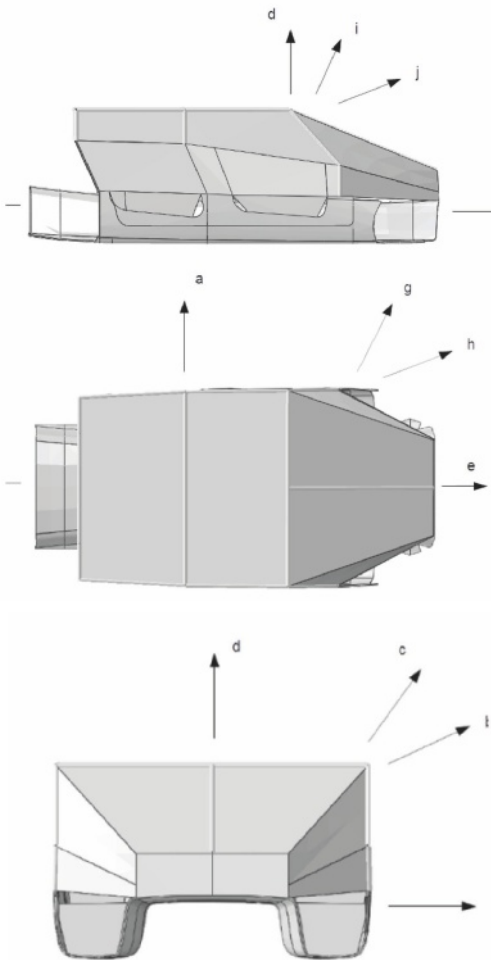
Sepro offre la più ampia scelta sul mercato di robot da **3, 5 e 6 assi** per presse ad iniezione da 20 a 5000 tonnellate, oltre a proporre un'avanzata connettività e nuovi sviluppi del sistema di controllo per migliorare l'efficienza dello stampaggio.

With Sepro, the Future is Open 4.0

SEPRO GROUP

Sverital®

Distributore per l'Italia • Sverital S.p.A. • [www.sverital.it](http://www.sverital.it)  
+39 02 251561 • [sverital@sverital.it](mailto:sverital@sverital.it)



6 Direzioni dei carichi statici equivalenti all'impatto

se in conto dei seguenti fattori:

- solo quattro direzioni prevalenti per le fibre di rinforzo (longitudinale a 0°, trasversale a 90° e le due diagonali a ±45°) con almeno il 10% delle fibre in ciascuna direzione;
- il sistema di carichi che agisce sulla sezione;
- il numero di strati deve essere intero;
- lo spessore deve essere ridotto al minimo.

Le sollecitazioni di trazione e compressione massime sono state calcolate secondo la teoria sandwich e confrontate con quelle consentite (dove  $w$  è la larghezza oltre la quale il momento  $M$  è applicato,  $t_c$  e  $t_p$  sono lo spessore del core e degli strati):

$$\sigma = \frac{M}{wt_c t_p}$$

Sulla base di questo lay-up è stato sviluppato un modello a elementi finiti shell, utilizzando il software Abaqus e sono stati applicati i carichi equivalenti prescritti dal regolamento. Come criterio di danno è stato utilizzato quello di Hashin.

### La progettazione della molla a balestra

Le molle a balestra sono state dimensionate secondo lo schema riportato nella figura 3, nella quale si osservano due zone distinte, una a sezione interna, a spessore variabile e

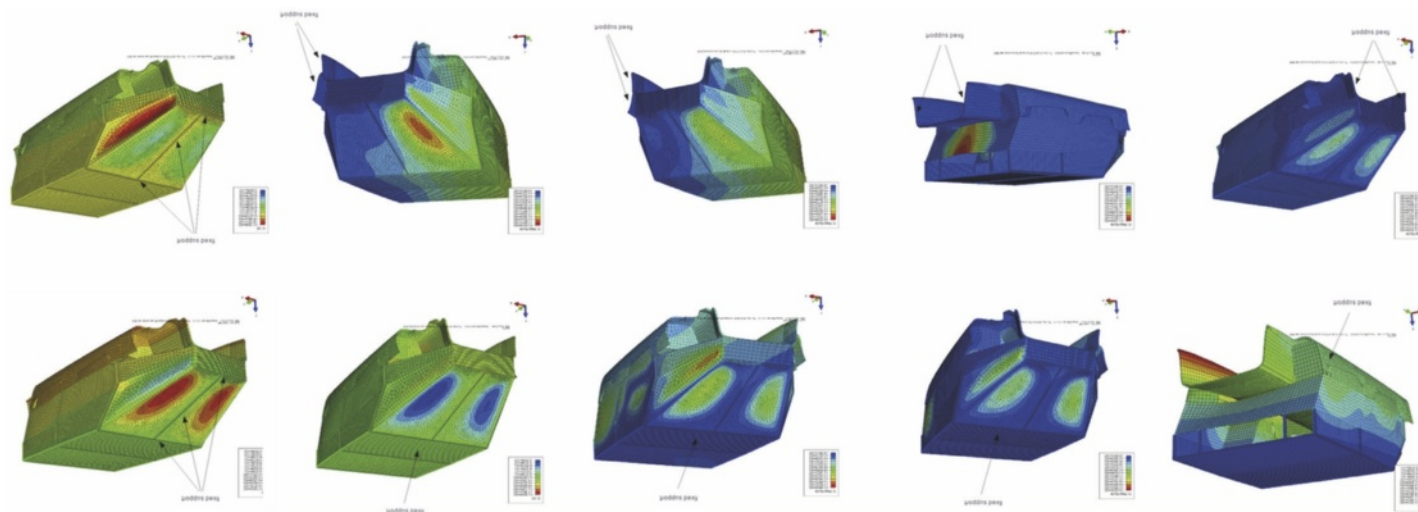
quasi-isotropa, e una più esterna, a spessore costante, pensata per essere realizzata con lamine di materiale unidirezionale. La richiesta del progetto era di avere una escursione massima,  $\delta_{max}$  di 100 mm quando sottoposta a una forza di 6 g. Per determinare la geometria ottimale è stato svolto un processo di ottimizzazione in cui il requisito fondamentale è sullo spostamento:

$$\delta_{max} - \epsilon \leq \delta(P_{max}) \leq \delta_{max} + \epsilon$$

Per determinarlo si è utilizzato il metodo di Castigliano con specifiche indicazioni su come le rigidità flessionali possano essere espresse. Allo stesso tempo questioni di tipo tecnologico hanno suggerito di imporre un andamento lineare nello spessore della parte interna che, a seguito di questo, può essere determinato analiticamente. La verifica di resistenza della molla ha tenuto in conto sia della flessione, sia del taglio, condizioni che hanno portato a definire la massa della balestra quale funzione obiettivo da minimizzare. La versione ottimizzata della molla è stata infine verificata con Ansys Composite Pre/Post (ACP) v18.1.

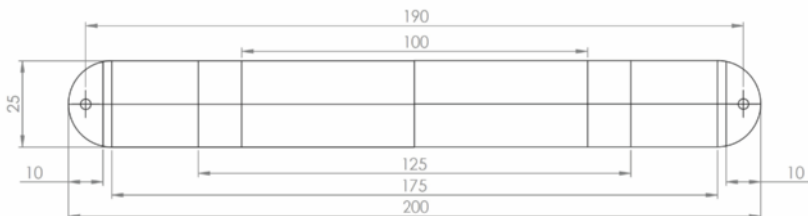
### Il lay-up del telaio principale

Il risultato finale dell'attività di progettazione è la sequenza di laminazione, chiamata an-



7 Verifica degli spostamenti





### 8 Geometria ottimizzata della molla a balestra

che ply-book. Tuttavia, mentre le distribuzioni di carico e gli schemi di momento flettente e di taglio possono essere determinati da semplici considerazioni sulla meccanica dei solidi, un punto chiave è la valutazione delle proprietà effettive del materiale. Infatti, anche se molte delle quantità richieste dal progettista strutturale possono essere trovate nella scheda tecnica del materiale, la fase di fabbricazione e l'interazione con altri materiali possono modificare la risposta meccanica del componente. In questa sezione vengono mostrati il set-up sperimentale per i test di flessione a tre punti e il test di resistenza al taglio inter-laminare (ILSS). Da questi test, è possibile valutare la resistenza alla flessione delle lamine sandwich e trovare un limite inferiore per la resistenza al taglio del core in nomex; curve rappresentative tensione-spostamento sono mostrate nella figura 4 per due differenti orientamenti di un laminato di tessuto. Inoltre, l'ILSS è fondamentale per determinare la resistenza alla delaminazione nei bordi del telaio, dove il sandwich diventa un laminato. Nella figura 5 sono mostrate le sequenze di laminazione, definite settore per settore sopra lo stampo dello chassis. Una volta determinata la struttura del telaio, viene aggiunta una roll-cage in titanio secondo il regolamento e vengono eseguiti test numerici specifici per verificare la resistenza del veicolo nel suo complesso e soprattutto l'assenza di intrusioni di parti non strutturali verso gli occupanti. Nella figura 6 sono mostrate le direzioni dei carichi statici di impatto equivalente e nella figura 7 è possibile valutare le corrispondenti mappe di spostamento. In questa fase, solo una geometria schema viene utilizzata per il calcolo, mentre quella completa viene utilizzata per la verifica finale del crash test che è oggetto di un altro lavoro.

### La molla a balestra

Il risultato, in questo caso, è l'ottimizzazione di una molla balestra in materiale composito. Il suo design deve soddisfare diversi requisiti specifici: sollecitazioni al di sotto delle ammissibili per il materiale al carico massimo, rigidità nominale e peso minimo. Per soddisfare tutti questi requisiti è presentato un modello analitico di ottimizzazione. Grazie al modello è stato possibile ottenere rapidamente la geometria ottimale e il lay-up di primo tentativo. L'accuratezza del modello è sta-

Richiedete un campione gratuito dei nostri compound di pulizia per viti e cilindri.



## VELOX ESPERTI IN PURGING COMPOUND

### ASACLEAN™

- Per iniezione ed estrusione
- Diversi gradi disponibili, da 160°C a 420°C



### CLEAN PLUS

- Per iniezione ed estrusione
- Diversi gradi disponibili, da 140°C a 240°C

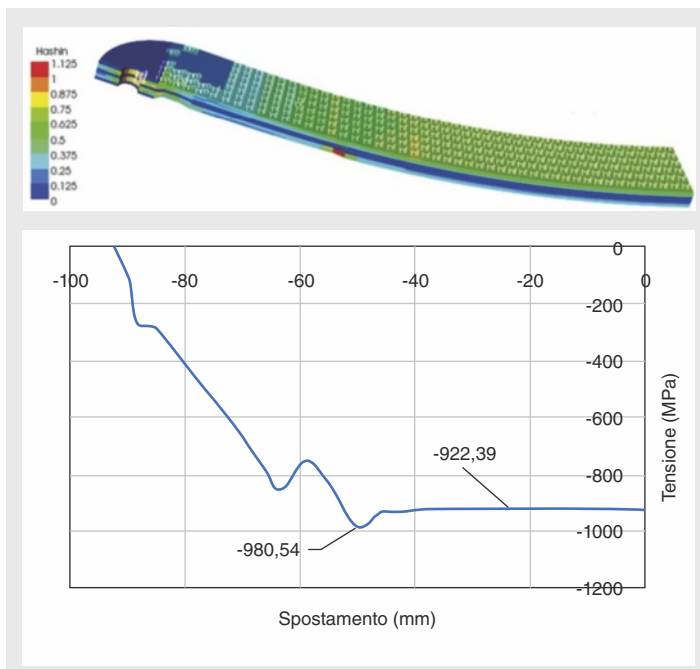


- ✓ CAMBI COLORE E MATERIALE PIÙ RAPIDI
- ✓ ELIMINAZIONE DEI RESIDUI CARBONIOSI
- ✓ RIDUZIONE DEGLI SCARTI DI LAVORAZIONE
- ✓ ADATTO ALLA PULIZIA DEI CANALI CALDI
- ✓ IDEALE PER IL FERMO IMPIANTO

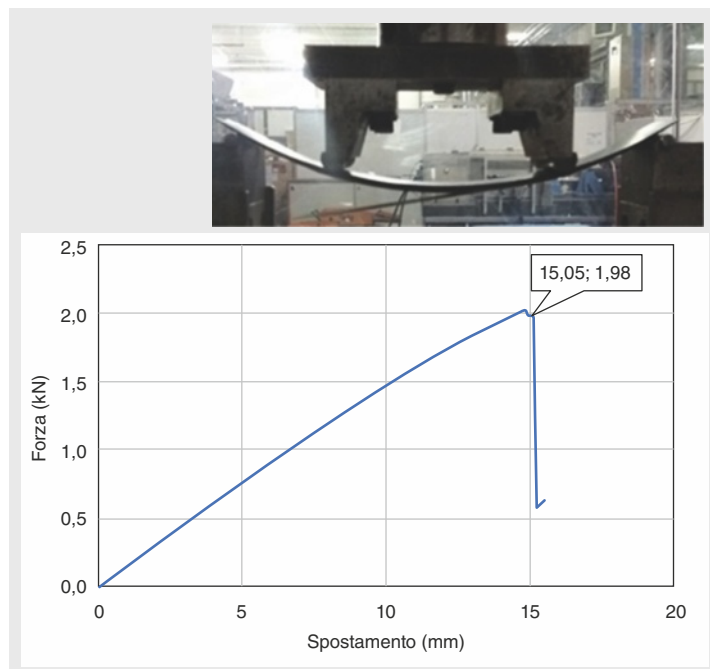
**25 YEARS**  
IN MOTION FOR YOUR SUCCESS

**VELOX ITALIA S.R.L. A SOCIO UNICO**  
Tel: +39 0332 238744 · info.it@velox.com  
**VELOX.COM**

9 Risultati del modello FEM della molla a balestra



10 Risultati della prova sperimentale su un simulacro di molla a balestra



ta verificata con il metodo degli elementi finiti e un test sperimentale su una molla a balestra in scala 1/5. La molla in scala è sostenuta al centro (span di 100 mm) e caricata alle estremità in corrispondenza dei fori (campata di 190 mm) con 1.000 N per ciascun lato. La geometria ottimizzata e il ply-book della molla a balestra sono riportati nella figura 8. Il trattamento in autoclave è stato effettuato mantenendo il componente per un tempo di 2 ore a una pressione di 2 bar e 135 °C. Secondo il modello analitico, la molla a balestra dovrebbe avere uno spostamento massimo di 12,2 mm e sviluppare una tensione massima di flessione di 970 MPa, costante tra i due supporti centrali. I risultati dell'analisi FEM sono riportati nella figura 9. La sollecitazione nella direzione principale sulla superficie esterna della molla viene riportata nel grafico. È quasi costante tra gli appoggi e uguale a 922 MPa, quindi diminuisce linearmente verso il punto di applicazione del carico. Nonostante sia molto al di sotto della tensione massima di compressione del materiale (pari a 1.450 MPa), il criterio di rottura di Hashin nel caso 3D, riportato nella figura, mostra una zona

con indice di guasto superiore a 1, che è causata da rottura della fibra (evidenziato in rosso) ed è associata a un brusco cambiamento di geometria per gli strati esterni, causato dall'interruzione degli strati della parte centrale. Lo spostamento calcolato da FEM al punto di applicazione del carico è 12,8 mm. Per una maggiore certezza dei risultati, la molla è stata sottoposta a prova sperimentale. I risultati, descritti nella figura 10, mostrano un carico massimo prima della rottura di 1.980 N (ossia 990 N per ciascun lato), con uno spostamento massimo di 15,1 mm. Pertanto, in termini di spostamenti massimi, sia il modello analitico che quello numerico sottostimano, rispettivamente, del 19% e 15% il valore misurato sperimentalmente, mentre la corrispondenza è perfetta per quanto riguarda modalità di rottura e posizione del danno.

### Il modello a elementi finiti

Dall'analisi dei risultati emerge che le singole lamine non sono simmetriche, a differenza dell'intero sandwich che lo è. Ciò è dovuto alla necessità di raggiungere contemporaneamente il minor numero di strati, il minimo

peso e le particolari proprietà meccaniche desiderate. Entrando nello specifico, è possibile affermare che, da un lato, le sezioni contrassegnate come 1/1b, 2, 3 nella figura 5 sono responsabili delle proprietà meccaniche generali, essendo l'orientamento del rinforzo unidirezionale ad alta resistenza la differenza principale tra di loro. Dall'altro lato, le sezioni contrassegnate come A, B, C e D vengono modificate per tenere conto dei carichi concentrati dovuti alla presenza delle molle a balestra, dei sistemi di sospensione e dei sedili dei passeggeri. Il modello a elementi finiti utilizzato per l'analisi della monoscocca in composito si basa su una discretizzazione a elementi shell. Questi elementi a guscio sono una opzione particolarmente adatta per la modellazione di strutture composite, poiché tendono a catturare la rigidità alla flessione di corpi con pareti sottili con maglie sostanzialmente più semplici rispetto agli elementi solidi. D'altro canto, quando si modellano strutture a sandwich spesse e regioni con forti gradienti di sollecitazione, come nel nostro caso, si dovrebbe prendere in considerazione il ricorso a gusci continui oppure

a elementi solidi. Una discussione comparativa sugli elementi shell e continuum shell è disponibile in letteratura specialistica, confermando la validità della scelta effettuata.

### Requisiti soddisfatti

Il risultato fondamentale di questa analisi statica è stato quello di verificare che la rigidità e la resistenza della struttura soddisfino i requisiti prescritti. Nello specifico, i requisiti di rigidità sono soddisfatti garantendo che la deformazione del veicolo in ogni caso di carico rientri nei limiti del regolamento, ossia che nessuna parte del veicolo penetri nello spazio degli occupanti. La valutazione della resistenza della struttura si basa sulla valutazione del danno di Hashin dei laminati compositi, vale a dire che i parametri di Hashin previsti nella sua teoria devono essere rigorosamente inferiori a 1. Poiché diverse modalità di danneggiamento contribuiscono al fallimento globale del laminato composito, l'uso di criteri di danno cumulativo, come proprio quello di Hashin, è raccomandato. Le sollecitazioni locali che non possono essere apprezzate dal modello analitico, sono valutate con il metodo degli elementi finiti e i singoli strati del laminato composito sono modellati con elementi brick. Questa soluzione è più pesante dal punto di vista computazionale rispetto all'utilizzo di shell, ma consente, in combinazione con i criteri di errore di Hashin, di prevedere la delaminazione causata da carichi fuori piano, un aspetto critico del design della molla a balestra. In letteratura sono state proposte varie soluzioni per l'ottimizzazione del design di molle balestra in composito, ma la maggior parte di esse risultano o collegate a una singola ruota (ossia senza funzione antirollio) oppure utilizzano la tecnologia dello stampaggio a infusione (a doppia rastremazione). Entrambi i casi erano da escludersi.

L'aspetto innovativo della molla a balestra realizzata vuole essere, infatti, proprio l'integrazione funzionale di due componenti in uno (la molla e la barra antirollio) con il vantaggio principale di una riduzione della massa. Inoltre, grazie al modello analitico sviluppato è stato possibile ridurre ulteriormente la massa e ottenere rapidamente la geometria ottimale per il carico massimo impostato e lo spostamento richiesto. Riguardo allo stampaggio, è da considerare che, come per la monoscocca, anche nel caso della molla a balestra la sua progettazione è stata vincolata a priori al processo di laminazione scelto. Questo processo, con tessuti pre-preg, lay-up manuale e cura in autoclave, non consente una soluzione tecnica a doppia rastremazione, ma, in cambio, garantisce elevata resistenza e affidabilità del materiale. ■

### Ringraziamenti

Questo lavoro è la sintesi di un articolo presentato al 47° Convegno Nazionale AIAS di settembre 2018. Gli autori desiderano ringraziare tutti i membri dell'Associazione sportiva Onda Solare per il loro supporto essenziale e Marko Lukovic, designer estetico del cruiser. Questa attività di ricerca è stata realizzata con il sostegno finanziario dell'Unione Europea e della Regione Emilia-Romagna all'interno del POR-FESR 2014-2020, Asse 1, Ricerca e innovazione.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

## MES ICON - Manufacturing execution system



Interfaccia operatore semplice ed intuitiva



Collegamenti alle macchine secondo i principi di industria 4.0



Riduzione degli errori di processo. Migliori performance produttive



Soluzioni software per ogni esigenza del cliente



Pianificazione ottimizzata degli ordini a breve-medio termine

ACCEDI A MES ICON DA QUALSIASI DISPOSITIVO

**MES ICON 4.0**  
Il software che dialoga con tutte le macchine

