

Progettare per vincere



1. Il PR43100 Team al termine della competizione
Formula SAE 2008 svoltasi sul circuito di Fiorano (Modena).

Da tre anni presso la facoltà di ingegneria dell'Università di Parma, in un contesto ingegneristico dove più che di motori, telai automobilistici e materiali compositi, si parla di acciai inossidabili, macchine automatiche per l'industria alimentare ed evaporatori, è nato e lavora con passione e dinamismo un team di Formula SAE. A ispirazione dei 7 studenti che hanno dato vita al progetto, tanta passione e le influenze di due importanti poli tecnologici, uno su materiali compositi e l'altro sull'automotive, localizzati nelle pressis dell'autodromo di Varano Melegari, dove peraltro si è disputata a settembre la competizione nazionale.

Insieme per correre

Il Team PR43100 (figura 1) è nato nel 2007

grazie al coinvolgimento dell'ing. G. Toderi e dell'ing. A. Gambarotta, rispettivamente ricercatore e professore ordinario del dipartimento di ingegneria industriale dell'università di Parma. «All'inizio eravamo solamente sette studenti», spiega Marcello Alfieri, primo team Leader e oggi ingegnere in Dallara Automobil, coordinati dai professori e aiutati sia tecnicamente che nella pratica dall'ing. Lucchetti, dottorando di ricerca del dipartimento. È stata una bella sfida, in un solo semestre siamo riusciti a partecipare alla nostra prima competizione, a Fiorano nel settembre 2007, iscritti in "Class 3", categoria nella quale è valutato esclusivamente il progetto della vettura.

E aggiunge: «L'esordio è stato dei migliori, la PR01, questo il nome della nostra prima vet-

L'esperienza in Formula SAE del PR43100 team

dell'Università di Parma.

Le nuove vetture adottano soluzioni innovative come

il telaio monoscocca

in materiale composito

e l'assemblaggio realizzato

con adesivi strutturali

epossidici. I vantaggi

della collaborazione

con SmartCAE

La Formula SAE

La Formula SAE (<http://students.sae.org/>) è una competizione automobilistica nata nel 1978 organizzata dalla Society of Automotive Engineers (SAE), rivolta a studenti universitari. Obiettivo della gara è la realizzazione di una vettura tipo Formula, pensata, progettata e il più possibile realizzata direttamente da studenti. Le competizioni sono organizzate annualmente, direttamente dalla SAE o dalle affiliate nazionali (in I-



talia se ne occupa la ATA - Associazione Tecnica dell'Automobile - www.ata.it), sia sul territorio europeo (Italia, Germania e Inghilterra) che internazionale (Usa, Australia, Brasile). La competizione si sviluppa nell'arco di un fine settimana e si basa su una serie di prove sia tecniche che prestazionali, allo scopo di valutare sia il progetto della monoposto che le sue prestazioni, in diverse condizioni. In dettaglio sono elementi di valutazione sia il piano di business e l'analisi dei costi (17,5%), sia il dettaglio tecnico del progetto della vettura (15%), che gli esiti di test di performance (accelerazione 7,5%, skid-pad 5%) e di una prova di autocross (15%) e una di endurance (30%). In ultimo anche i consumi hanno un peso nella valutazione finale (10%).



2. La monoposto PR02, prima vettura costruita

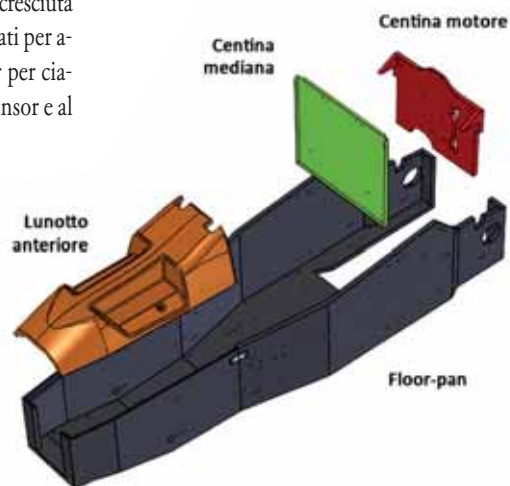
dal PR43100 Team e prima monoposto Formula SAE italiana con telaio in composito.

tura, si è piazzata direttamente al secondo posto. Forti del risultato, e con un pizzico di ambizione, abbiamo definito le caratteristiche della monoposto 2008: la PR02 (figura 2) oltre a essere la prima monoposto costruita dal PR43100, sarebbe stata la prima monoposto in Italia, e una delle poche in Europa, con telaio in materiale composito. Le difficoltà sono state numerose, prima fra tutte il tetto di budget imposto dal regolamento, e poi la pianificazione e il rispetto del Gant del progetto. Ciononostante siamo riusciti a partecipare alla Formula ATA 2008, con una macchina sicuramente non ottimizzata, ma affascinante, che ha riscosso grande interesse da parte sia dei giudici che dei team concorrenti». L'ultimo anno è stato un anno importante per la squadra di Parma, e la stagione 2009 deve essere dimostrazione della raggiunta maturità tecnica e organizzativa. «La squadra - spiega Cesare Stocchi, ingegnere da poche settimane e responsabile calcoli strutturali del team - è cresciuta ancora, oggi siamo circa in 20, organizzati per aree e coordinati da uno studente senior per ciascuna di esse. Grazie agli aiuti degli sponsor e al supporto tecnico dei professori e dei collaboratori del dipartimento, stiamo continuando a lavorare sulla strada dell'innovazione. La recente sponsorizzazione tecnica da parte di SmartCAE, distributore per l'Italia dei prodotti CAE di NEi Software e di Compass IS, ci ha dato l'importante possibilità di lavorare tutti su una unica piattaforma CAE di sviluppo e di validazione della vettura: NEi Fusion e NEi

Nastran per quanto riguarda la modellazione geometrica ed il calcolo strutturale FEM; Tdyn per l'analisi fluidodinamica CFD. Tali strumenti sono oggi parte integrante della nostra attività di ricerca e sviluppo. Attraverso questi strumenti abbiamo potuto mettere a punto la vettura 2009, chiamata PR03, più affidabile della precedente, e con importanti innovazioni tecnologiche. Tutto questo lo abbiamo fatto in minor tempo: quest'anno, al contrario dello scorso anno, riusciremo ad avere la macchina pronta con un certo anticipo sulle competizioni e potremo quindi provarla e farne aggiustamenti».

3. Gli elementi strutturali che formano il telaio

composito della monoposto PR02: floor-pan, centine e lunotto.



SmartCAE

SmartCAE fornisce "soluzioni" CAE, intese come combinazione di prodotti software allo stato dell'arte, formazione e servizi di consulenza. Oggi SmartCAE mette a disposizione dei propri clienti oltre 40 anni-uomo di esperienza nel settore della simulazione, ed un portafoglio di software in grado di risolvere una grandissima parte dei problemi dell'ingegneria meccanica. SmartCAE è il rivenditore Italiano di pacchetti per la Computer Aided Engineering (CAE) quali NEi Fusion, NEi Nastran e Tdyn, nonché fornitore di servizi di consulenza per aziende italiane utilizzatrici di compositi quali i Team di Formula 1 e Coppa America. Per maggiori informazioni: www.smartcae.com

Ingegnerizzazione e produzione del telaio in composito

La scelta di un telaio monoscocca in composito, invece del classico traliccio tubolare, è stata dettata dalla volontà di innovazione e di avanguardia tecnica. «Sapevamo bene che poche squadre avevano sviluppato un telaio in composito, sia per la complessità tecnica di progettazione e di validazione della monoscocca, che per i costi e i relativi vincoli di spesa imposti da regolamento», spiega Massimo Bercella, studente al terzo anno di ingegneria e attuale team leader.

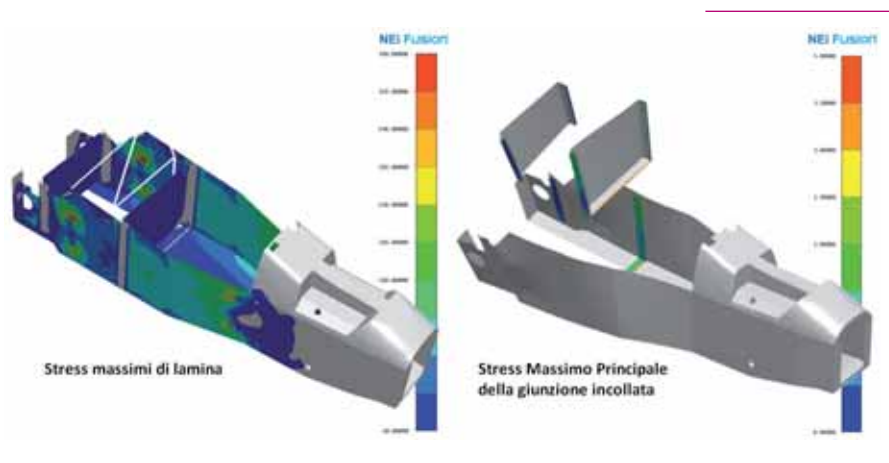
La vettura PR02 sostituisce il tipico telaio monoscocca composito con un telaio assemblato, formato da quattro elementi: (figura 3) un floorpan portante completo di fiancate laterali, un lunotto anteriore che integra l'attacco delle sospensioni e due centine piane. Tre di questi elementi sono ottenuti con stampo in lamiera. La semplificazione e il partizionamento geometrico della monoscocca e l'idea di adottare soluzioni di stampo meno convenzionali, hanno permesso di contenere il budget entro il tetto di 18.000 dollari imposto dal regolamento 2008, consentendo un risparmio stimato di circa 5/10.000 eu-



4. L'incollaggio del telaio è fatto attraverso adesivo strutturale epossidico. Le giunzioni sono state messe a punto in collaborazione con Henkel.

5. Modello ad elementi finiti del telaio della monoposto PR02

per il calcolo della resistenza strutturale e la validazione della giunzione incollata della centina al telaio.



ro rispetto alle soluzioni tradizionali con stampo fresato in resina o alluminio.

L'assemblaggio delle parti è realizzato con adesivi strutturali epossidici (figura 4), che garantiscono la solidità e la resistenza della scocca telaio assemblata. «Quella dell'incollaggio è una tecnologia sempre più attuale, che sta rapidamente prendendo piede nel mondo dell'ingegneria, e su cui il team PR43100 punta per l'innovazione della propria vettura, grazie al supporto tecnico-scientifico del prof. A. Pirondi, di SPRInT e la collaborazione di Henkel Italia». Sono ormai numerose le soluzioni incollate messe a punto per la nuova vettura PR03; oltre al telaio sono incollati anche i push-rod, il semiassetto composito-ergal ed il gruppo sterzo. Tutte le giunzioni sono validate attraverso analisi Fem (figura 5). «Grazie alle potenzialità di modellazio-

ne e analisi del software NEi Fusion - spiega Cesare Stocchi -, è possibile definire velocemente la geometria di una giunzione, andando a descrivere sia gli aderenti che l'adesivo. Gli strumenti di definizione delle coppie di contatto di NEi Fusion e le formulazioni del contatto del solutore NEi Nastran permettono poi di gestire con semplicità l'interazione fra i componenti consentendo di raggiungere risultati affidabili in poco tempo».

Validazione strutturale del telaio della monoposto

Il gruppo calcolo strutturale del PR43100 team ha lavorato molto negli ultimi due anni alla validazione strutturale del telaio in composito. Il regolamento impone ai Team che presentano un

telaio in composito di presentare un documento tecnico chiamato Structural Equivalence Form (Sef). Per le analisi delle strutture in materiale composito laminato sono stati utilizzati elementi di tipo shell lineari e quadratici. Le proprietà laminate del materiale sono state definite direttamente all'interno del pre-processore Fem, grazie al modulo di laminazione, che a partire dal lay-up del materiale applica la Teoria Classica della Laminazione (Clt) e calcola le matrici di rigidezza del laminato. «La maggiore difficoltà è stata quella di capire e applicare la meccanica dei materiali compositi al nostro problema, e comprendere come schematizzarne al Fem la loro architettura. Nel corso di studi di Ingegneria Meccanica, i materiali compositi vengono trattati in

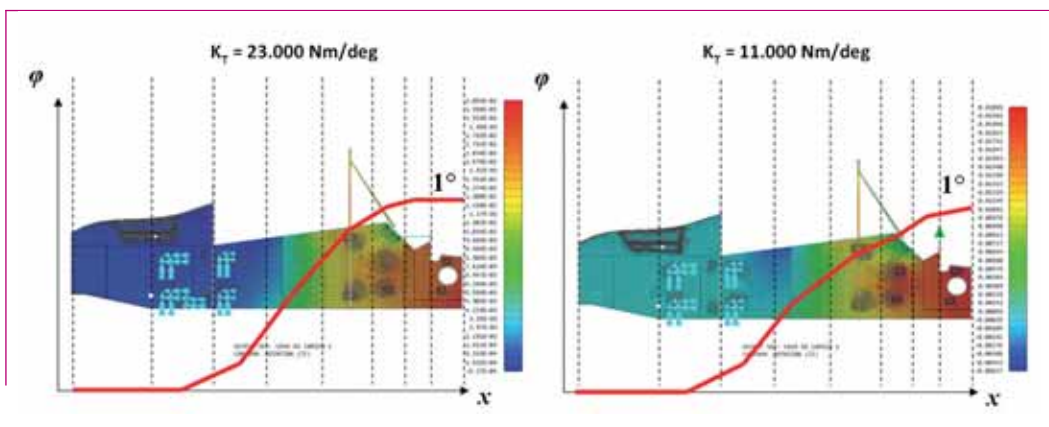
renti caratteristiche di fibra di carbonio e matrice devono essere analizzate distintamente, così come anche l'architettura del materiale, unidirezionale, tessuto o multistrato, deve essere presa in considerazione nella scelta del corretto criterio di resistenza. «Attraverso modelli Fem abbiamo potuto verificare anche la resistenza del telaio applicando diversi criteri di resistenza, e delle zone ove sono presenti gli inserti filettati di collegamento».

Oltre alle analisi per lo Structural Equivalence Form è stata fatta anche una analisi di assieme della vettura, finalizzata alla definizione della rigidezza torsionale del telaio composito, parametro fondamentale per giudicare la bontà delle proprietà dinamiche di un autotelaio. Dal con-

quella di applicare carichi e vincoli in corrispondenza dei mozzi ruota, andando a bloccare un asse ruote ed applicando una coppia di forze in corrispondenza dell'altro. Carichi e vincoli sono poi trasmessi al telaio, in corrispondenza di punti di attacco dei gruppi sospensione, attraverso elementi rigidi di tipo RBE3. Con questa schematizzazione è stata stimata una rigidezza torsionale pari a 11.000 Nm/grado, valore di poco superiore ai valori medi di altri telai in composito delle competizioni Formula SAE.

Organizzazione e Metodi

«Lo sviluppo della vettura – conclude Cesare Stocchi – è organizzato in modo molto efficace



6. Confronto tra le rigidezze torsionali ottenute al variare delle condizioni di vincolo del telaio.

maniera marginale, solo da un punto di vista teorico, e mai nella pratica né costruttiva né di analisi agli elementi finiti. È stato dunque necessario un approfondimento sui materiali compositi, rivolto sia agli aspetti tecnologici che meccanici, di modellazione agli elementi finiti e di verifica di resistenza».

«Poter verificare rapidamente attraverso l'analisi Fem gli effetti apportati dalla sostituzione di un materiale, da diverse altezze di nido d'ape e da differenti orientazioni delle fibre sono elementi fondamentali nello sviluppo della scocca in composito. Il software che SmartCAE ci ha messo a disposizione consente di variare i suddetti parametri e verificarne velocemente gli effetti strutturali, permettendoci di valutare quale fosse la migliore combinazione materiale-laminazione-forma per il nostro telaio». Anche gli aspetti della resistenza di un materiale composito laminato hanno criteri e metodi di studio differenti rispetto ai materiali omogenei. Le diffe-

fronto tra i vari regolamenti Fia e la letteratura tecnica, non è riconosciuto un metodo univoco per la definizione della rigidezza torsionale di un telaio automobilistico.

Diverse soluzioni di carico e di vincolo sono state confrontate fra di loro, applicando vincoli e coppie di carico direttamente al telaio, oppure attraverso elementi beam rigidi o con opportuna rigidezza, ottenendo risultati molto diversi (figura 6).

«È stato molto interessante poter sperimentare gli effetti di differenti condizioni di carico e vincolo sul risultato finale di una simulazione, e ancora di trovare delle spiegazioni alle differenze – commenta Cesare Stocchi. Su una medesima griglia di calcolo, sfruttando quindi lo stesso modello geometrico e la stessa mesh, possono essere definiti differenti casi di carico, confrontandone i risultati».

La strada ritenuta più corretta per la determinazione della rigidezza torsionale del telaio è

sfruttando la caratteristica peculiare di NEi Fusion: l'integrazione in un unico ambiente di un potente modellatore geometrico parametrico basato su kernel Parasolid e di un software Fem completo e affidabile. Grazie alla semplicità di NEi Fusion, alla completa integrazione tra ambiente di modellazione parametrica e ambiente di modellazione Fem, è stato possibile mettere tutti in condizione di disegnare i componenti e subito dopo analizzarli dal punto di vista strutturale, nonché ottimizzarli verificando l'effetto di modifiche ai parametri geometrici. Tutto questo senza dover perdere tempo nello scambio dei dati CAD e nell'apprendimento di più strumenti, dovendo ricorrere a software dedicati all'analisi Fem, esterni al modellatore e più complessi».

L'ingegner F. Palloni è business development manager di SmartCAE di Prato.

readerservice.it n. 53