

Formula 1 team optimizes car design-to-build practice

text: Karen Wood

drawings: Karl Reque

FEA-to-CAD translation tool opens doors to cross-department communication and frees time for R&D and test piece manufacture

Across between driving and flying, Formula 1 (F1) racing pushes the limits of mechanical and human possibilities. Car and driver reach speeds of up to 220 mph/354 kmh on the straightaway and experience G-forces that can top five in extreme corners.

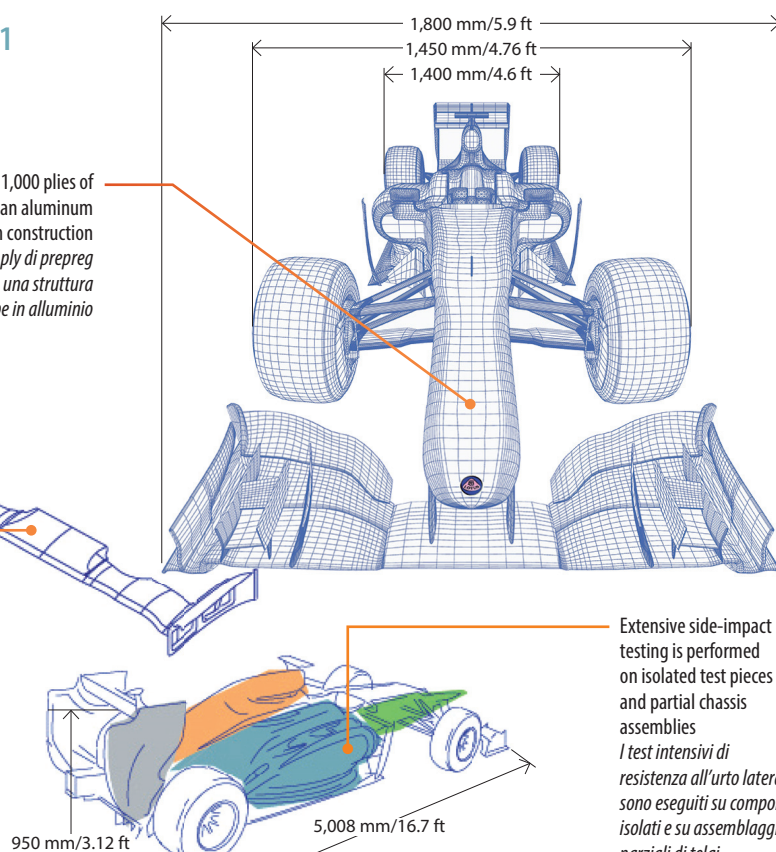
Manufactured primarily of carbon composites, the car, at 642 kg/1,415 lb, is less than one-third the weight of an average U.S. passenger car. Maximizing down force while minimizing drag is an elusive design goal. Each year F1 teams must perform this balancing act with increasing efficiency in a condensed,

LOTUS FORMULA 1 RACE CAR DESIGN

Chassis features 1,000 plies of carbon fiber/epoxy prepreg in an aluminum honeycombed sandwich construction
Telaio costituito da 1000 ply di prepreg in fibra di carbonio in una struttura sandwich a nido d'ape in alluminio

Substructure of complex forward wing (see images, p. 49)
Sottostruttura di un alettone anteriore a geometria complessa (vedi immagini, p. 49)

Extensive side-impact testing is performed on isolated test pieces and partial chassis assemblies
I test intensivi di resistenza all'urto laterale sono eseguiti su componenti isolati e su assemblaggi parziali di telai



DESIGN RESULTS / RISULTATI PROGETTUALI

- Fast and accurate information exchange between FEA and CAD provides time for additional design and testing phases and production chassis test articles.
- *Lo scambio veloce ed accurato di informazioni fra FEA e CAD offre l'opportunità di aggiungere fasi operative nella progettazione e analisi e produzione dei telai*
- Cross-departmental communication between design, analysis and manufacture enables part and process optimization.
- *La comunicazione trasversale fra le fasi di progettazione, analisi e produzione offre ampi margini di ottimizzazione.*
- Enhanced drape simulations and other methodologies mirror real-world lamination techniques to CAE analysts, who, in turn, can prescribe better layup practices.
- *La simulazione della laminazione e altre metodologie rispecchiano le tecniche più utilizzate dagli analisti CAE, che a loro volta migliorano le tecniche di laminazione.*

Un team di Formula 1 ottimizza la progettazione

testi: Karen Wood, disegni: Karl Reque

Il dispositivo FEA-CAD apre le porte alla comunicazione trasversale agevolando le attività R&D e analisi per la produzione

Le gare di Formula 1 (F1) sono un incrocio fra la guida e il volo e spingono sempre più avanti i limiti delle possibilità meccaniche e umane. Le automobili e i piloti raggiungono i 354 kmh di velocità su rettilineo con forze G pari a 5 in condizioni estreme.

Costruita principalmente con compositi in fibra di carbonio,

l'automobile pesa 642 kg, meno di un terzo dell'auto media americana. Aumentare al massimo la portanza e ridurre quanto più possibile l'attrito sono obiettivi difficili da conseguire.

Ogni anno i team di Formula 1 si cimentano in questa impresa per raggiungere nuovi equilibri a vantaggio dell'efficienza in un ciclo di lavoro molto veloce e soggetto a costanti pressioni. La transizione

dall'approccio aerodinamico all'utilizzo dei materiali compositi che risponde ai requisiti del circuito richiede un gran numero di strumenti e di processi. È indispensabile una rete di comunicazione trasversale dei dati.

Per quanto riguarda il team Lotus F1 (Enstone, GB), la chiave di accesso è Fibersim, una soluzione software per compositi di Siemens PLM Software (Plano, Texas). Il

team utilizza Fibersim da più di 10 anni, ma la progettazione e la produzione sono stati accelerati in modo significativo da quando nel 2008 è stato aggiunto Fibersim CAE Exchange.

Transcodifica FEA/CAD

Fibersim è incorporato nell'ambiente Catia V5 CAD (Dassault Systèmes, Parigi, Francia) e supporta il ciclo progettuale e produttivo CAE per



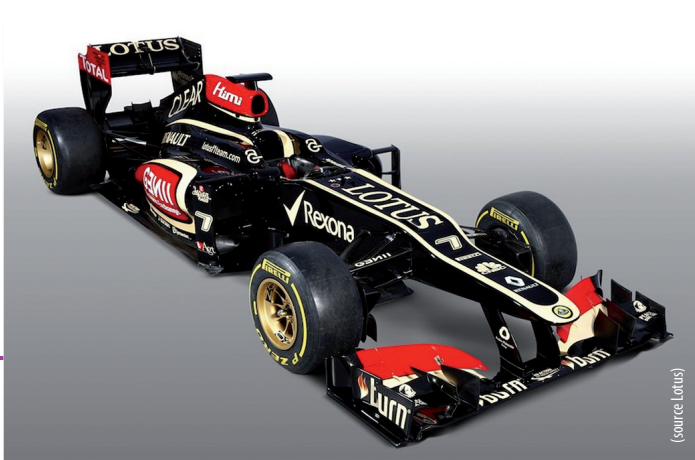
pressure-filled design cycle. Moving from an aerodynamic concept to a carbon composite fit for the racetrack requires a large set of engineering tools and processes. It demands fast, accurate crossdepartment communication of data.

For the Lotus F1 Team (Enstone, U.K.), the communication key is Fibersim, a composites software solution from Siemens PLM Software (Plano, Texas). The team has used Fibersim for more than 10 years, but design/build has accelerated significantly since Fibersim CAE Exchange

was added in 2008.

FEA-to-CAD translation

Fibersim is embedded in the Team's CATIA V5 CAD environment (Dassault Systèmes, Paris, France) and supports its full CAE, design and manufacturing cycle for composite components. Fibersim CAE Exchange enables a two-way exchange between composite FEA models, used to verify stresses and loads, and the CAD master model, which captures car and component geometry and a plethora of other data, including aerodynamic



Design-to-build result

The 2013 Lotus Formula One E22 racer, designed using Siemens PLM Software's (Plano, Texas)

Fibersim suite, with Fibersim CAE Exchange, embedded in CATIA V5 (Dassault Systèmes, Paris, France)

Risultati progettuali

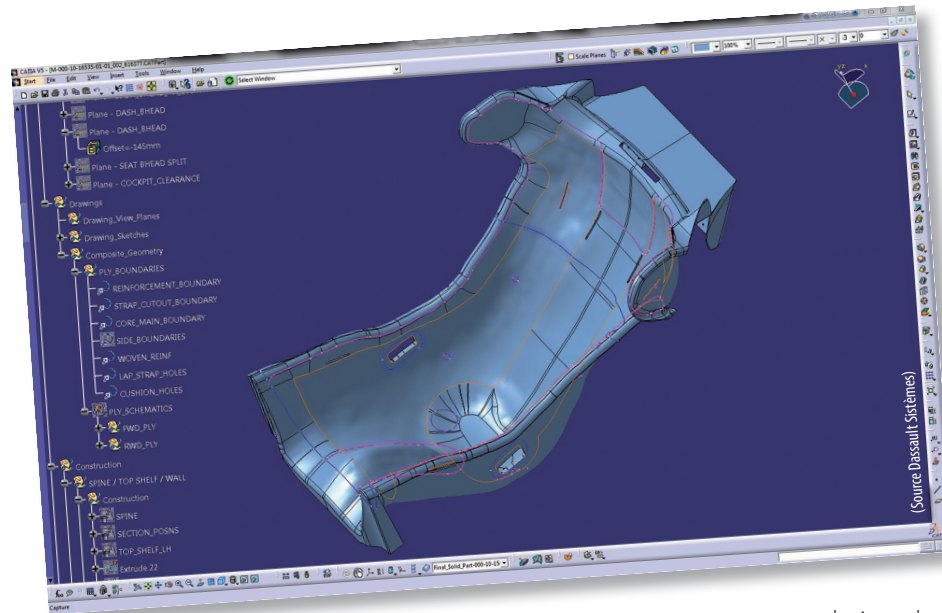
L'automobile Lotus Formula 1 2013 E2 è stata progettata usando il software Siemens PLM (Plano, Texas)

Fibersim suite e Fibersim CAE Exchange incorporati in Catia V5 (Dassault Systèmes, Paris, France)

componenti in composito. Fibersim CAE Exchange attiva lo scambio a due direzioni fra i modelli in composito FEA, impiegati per verificare le sollecitazioni e i carichi, e il modello master CAD che cattura la geometria dell'automobile e dei componenti insieme a molti altri dati, compresa l'analisi aerodinamica e gli algoritmi della galleria del vento.

“Lo scambio fra le applicazioni CAE e Fibersim/CAD avviene in modo diretto, così da permettere a Fibersim di utilizzare la definizione e i corollari CAE per un modello prototipo in composito CAD utilizzabile per la progettazione”, spiega Leigh Hudson, direttore Siemens PLM Software della divisione prodotti e strategie di mercato per Fibersim.

“Fibersim CAE Exchange ha rappresentato una vera e propria svolta per noi”, ha aggiunto Ian Goddard, ingegnere senior del



Sedile / Seat

analysis and wind tunnel algorithms. "The exchange between CAE applications and Fibersim/CAD is accomplished directly, allowing Fibersim to use the composite definition and boundaries from CAE to create a composite CAD master model that is usable for design," explains Leigh Hudson, Siemens PLM Software's director of product and market strategy for Fibersim. "Fibersim CAE Exchange was a major breakthrough for us," adds Ian Goddard, the team's senior engineer and graduate program manager.

"For the first time ever, we went from a tedious manual process to a true native conversion." Initially the software integration created a significant learning curve for the team's design group. Nonetheless, in that first year the group achieved a 20 to 30 percent time savings in composite part design. "Five years down the line, we're all very adept at understanding how the stress engineers work and knowing what the designers want

to receive," says Goddard.

Perfection isn't good enough

At Enstone, 60 to 70 designers work year round on the racecar's approximately 20,000 individual parts. Each year, the design work is split between tweaking the current year's model, during a 19-race season that begins in mid-March, and major design revisions for next season's car, condensed into a five-month period that begins

in September.

It's a daunting task. In all, 250,000 labor hours and 11,000 technical drawings (28 percent more than any previous car) went into the design of this year's car.

The team uses 30 types of carbon fiber materials and six different resins. Changes to the Fédération Internationale de l'Automobile's (FIA) F1 safety standards add to the challenge. "There are refinements to the rules, year on year, particularly in side-impact penetration panels and general increased

driver protection," says Goddard. "So, we need to optimize the weight of the rest of the structure to minimize the impact of these statutory impact panels." Fibersim CAE Exchange buys the team time to meet these challenges by adding

design phases and producing isolated test pieces and partial chassis assemblies. These are used to test novel solutions and do extensive side-impact testing research to determine how loads will be dissipated through the chassis.

"Prior to 2008, our only goal was to make the single racecar chassis as fast as possible," Goddard admits. "Now, we're looking at construction using different structures, materials and other design approaches that we could never commit to when making a whole racecar."

The initial design is based on the

team e manager.

"Per la prima volta, siamo riusciti a passare da un noioso processo manuale a una vera e propria conversione." Inizialmente, l'integrazione del software ha messo in difficoltà il team di progettisti nelle loro modalità operative, ma nonostante questo, il primo anno sono riusciti a risparmiare il 20-30% di tempo nel lavoro di progettazione del componente in composito.

"Dopo cinque anni di lavoro, siamo in grado di comprendere le reali esigenze degli ingegneri e a soddisfare le richieste dei progettisti", commenta Goddard.

La perfezione non è sufficiente

A Enstone, 60-70 progettisti lavorano tutto l'anno ai circa 20.000 singoli componenti delle automobili da corsa.

Ogni anno l'attività di progettazione

si divide fra le modifiche al modello dell'anno in corso, durante la stagione delle competizioni (19) che inizia a metà marzo, e le revisioni più importanti per il modello per la stagione successiva, nei 5 mesi che iniziano a settembre.

Un'impresa veramente ardua. La progettazione dell'ultima auto, ha totalizzato 250.000 ore di lavoro e 11.000 disegni tecnici (28% in più di qualsiasi modello precedente).

Il team utilizza 30 tipi diversi di materiali in fibra di carbonio e sei diverse resine. Le variazioni delle normative sulla sicurezza emanate dalla Fédération Internationale de l'Automobile's (FIA) hanno reso il lavoro ancora più impegnativo "Ogni anno ci sono variazioni delle normative, in particolare per quanto concerne la resistenza dei pannelli all'urto laterale e la protezione del pilota.

Quindi dobbiamo ottimizzare il peso del resto della struttura per ridurre quanto più possibile l'aumento del peso dato dai pannelli", afferma Goddard. Fibersim CAE Exchange investe sul lavoro compiuto dal team proprio per raggiungere questi obiettivi decisivi e introducendo nuove fasi operative producendo dei singoli componenti da test e assemblaggi parziali del telaio.

Questi vengono utilizzati per analizzare nuove soluzioni e per estendere la ricerca sui test ad ampio spettro della resistenza all'urto laterale, per determinare come saranno dispersi i carichi sul telaio.

"Prima del 2008, il nostro obiettivo primario era realizzare nel più breve tempo possibile un telaio per auto da competizione -continua Goddard- adesso invece consideriamo la costruzione utilizzando

strutture e materiali diversi oltre ad altri approcci progettuali che non abbiamo mai potuto approfondire quando dovevamo realizzare una intera auto da competizione".

Il progetto iniziale è basato sul telaio dell'anno precedente. Con 1000 ply in fibra di carbonio e nido d'ape in alluminio, si tratta della laminazione più complessa di questo veicolo.

"Se è vero che l'automobile realizzata l'anno scorso era perfetta, quest'anno dobbiamo domandarci come renderla ancora più resistente, leggera e veloce. L'obiettivo è quello di risparmiare al massimo il peso pur mantenendo costanti gli aspetti della sicurezza per il pilota." La parte principale del telaio è la monoscocca, cockpit/cella di sopravvivenza del pilota, essenzialmente costituita da una struttura sandwich a nido d'ape di

previous year's chassis. Comprising 1,000 plies of molded carbon fiber and aluminum honeycomb, it is the car's most complex laminate. "Even if we made the 'perfect' car last year, this year we still have to ask ourselves, 'How do we make it stiffer, lighter and faster?'" quips Goddard.

"The goal is always to take out as much weight as possible while maintaining the safety factors for the driver."

A principal chassis part is the monocoque driver's cockpit/survival cell, which is primarily a sandwich of aluminum honeycomb between high-density woven laminate panels. To protect the cell, tubular carbon side-impact structures are mounted perpendicular to the chassis side to absorb side-impact loads. Around these and covering the chassis side are anti-intrusion panels made of two plies of carbon fiber and 16 plies of Zylon PBO — poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole) — supplied by Toyobo (Osaka, Japan).

PBO reportedly has twice the strength and modulus of aramid fiber, resulting in a laminate thickness of only 6.2 mm/0.24 inch. The survival cell is subjected to six different static load tests and absorbing structures endure three static side-load tests, with constant transverse horizontal loads up to 30.0 kN. Under the load, there must be no structural failure of the inner or outer cell surfaces, and total deflection must not exceed 15 mm/0.59 inch. "How the loads are transmitted through the side-impact tubes and dissipated into the side of the chassis are key to designing the optimum strong, lightweight composite chassis structure," Goddard points out. "Hence, the benefit from having test programs to explore different... laminate definitions."

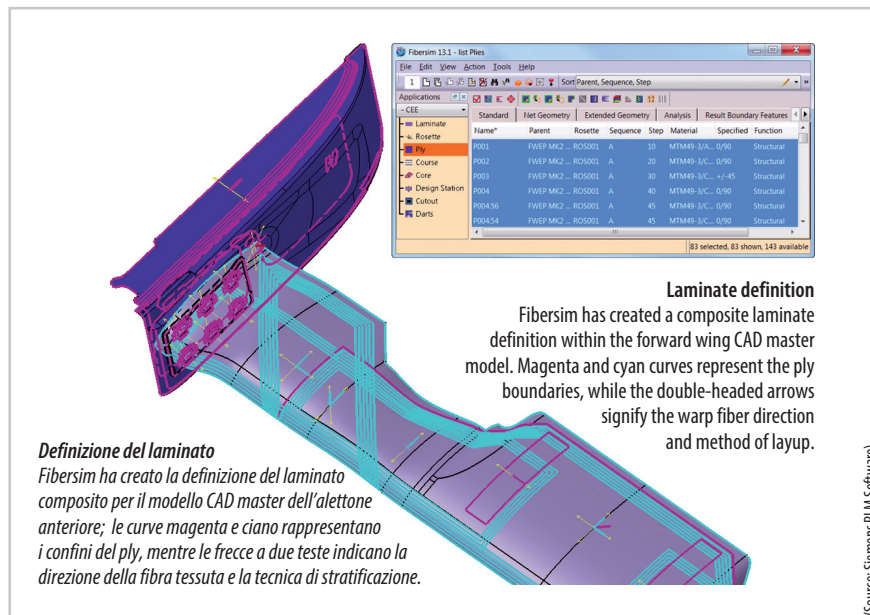
alluminio, a sandwich fra i pannelli laminati in fibra tessuta ad alta densità.

Per proteggere la cella, delle strutture tubolari di carbonio anti-urto sono montate perpendicolarmente al lato del telaio così da assorbire i carichi dell'urto laterale. Intorno a queste, coprendo il telaio lateralmente, sono montati i pannelli anti-intrusione realizzati con due ply di fibra di carbonio e 16 ply di Zylon PBO (poli p-fenilene-2,6-benzo-bisossazolo) prodotto da Toyobo (Osaka, Giappone).

Il PBO presenta notoriamente resistenza e modulo raddoppiati rispetto a quelli della fibra aramidica, con uno spessore finale del laminato di soli 6,2 mm.

La cella di salvataggio viene sottoposta a sei diversi test di carico statico e le strutture che lo assorbono hanno superato tre test di carico statico laterale e dei carichi costanti orizzontali trasversali pari a 30,0 kN. Sotto questo carico, non si deve verificare nessun cedimento strutturale delle superfici interne o esterne della cella, e la flessione totale non deve superare i 15 mm.

"La modalità con cui i carichi si distribuiscono nei tubi laterali anti-urto e come vengono ammortizzati nel lato del telaio sono essenziali ai fini della progettazione della struttura di un telaio in composito molto robusto e leggero. Si comprendono quindi i vantaggi derivanti da un programma di analisi che possa esplorare diverse definizioni di laminato", ha concluso Goddard.

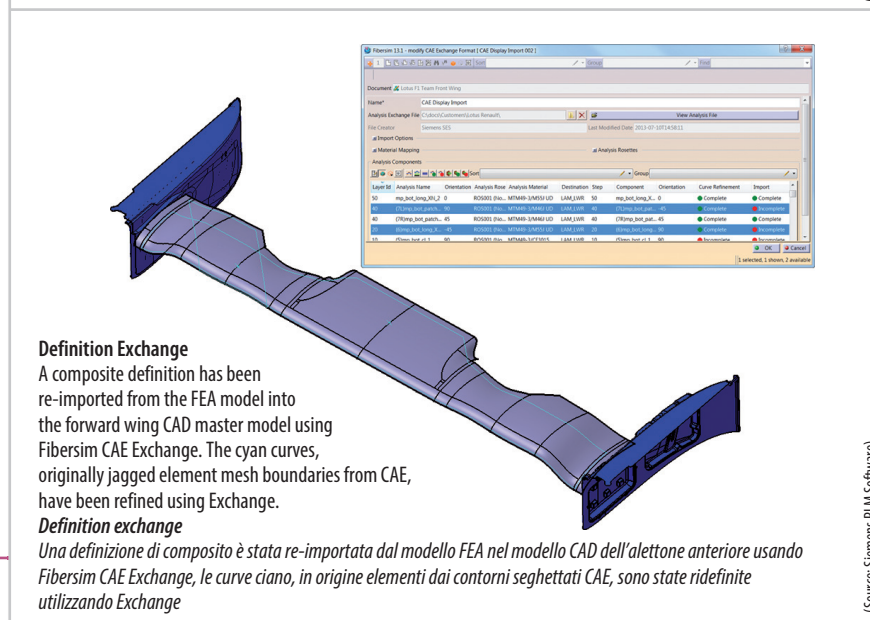


Definizione del laminato

Fibersim ha creato la definizione del laminato composito per il modello CAD master dell'alettone anteriore; le curve magenta e ciano rappresentano i confini del ply, mentre le frecce a due teste indicano la direzione della fibra tessuta e la tecnica di stratificazione.

Laminate definition
Fibersim has created a composite laminate definition within the forward wing CAD master model. Magenta and cyan curves represent the ply boundaries, while the double-headed arrows signify the warp fiber direction and method of layup.

(Source: Siemens PLM Software)



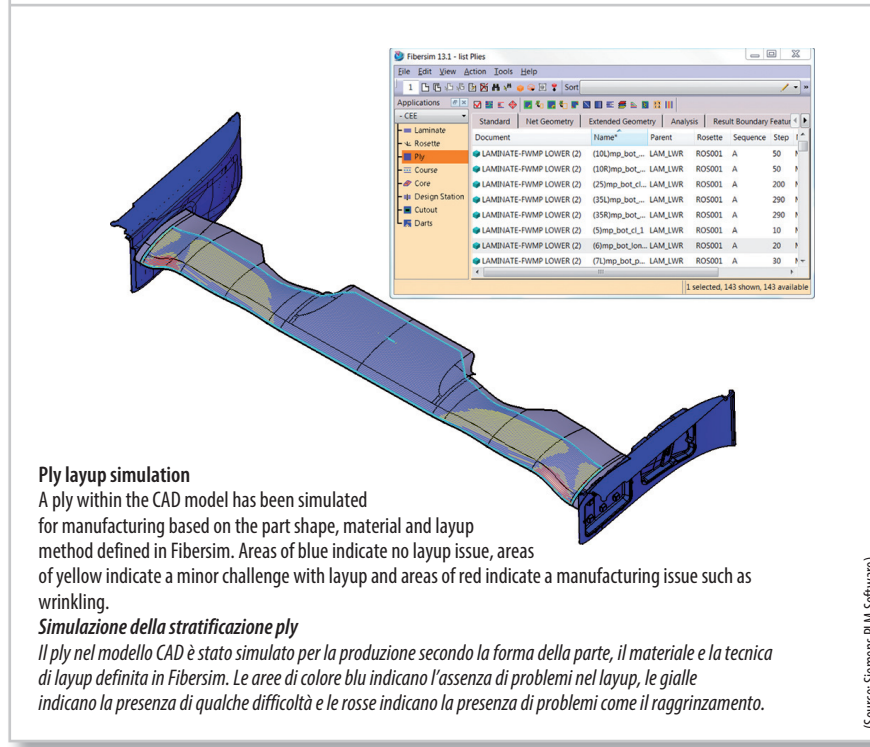
Definition Exchange

A composite definition has been re-imported from the FEA model into the forward wing CAD master model using Fibersim CAE Exchange. The cyan curves, originally jagged element mesh boundaries from CAE, have been refined using Exchange.

Definition exchange

Una definizione di composito è stata re-importata dal modello FEA nel modello CAD dell'alettone anteriore usando Fibersim CAE Exchange, le curve ciano, in origine elementi dai contorni seghettati CAE, sono state ridefinite utilizzando Exchange

(Source: Siemens PLM Software)



Ply layup simulation

A ply within the CAD model has been simulated for manufacturing based on the part shape, material and layup method defined in Fibersim. Areas of blue indicate no layup issue, areas of yellow indicate a minor challenge with layup and areas of red indicate a manufacturing issue such as wrinkling.

Simulazione della stratificazione ply

Il ply nel modello CAD è stato simulato per la produzione secondo la forma della parte, il materiale e la tecnica di layup definita in Fibersim. Le aree di colore blu indicano l'assenza di problemi nel layup, le gialle indicano la presenza di qualche difficoltà e le rosse indicano la presenza di problemi come il raggrinzimento.

(Source: Siemens PLM Software)



A common language

Fibersim CAE Exchange not only connects design, analysis and manufacturing data but also connects the people who use it. "It creates a common language in the master model — a geometric and nongeometric definition of everything associated at the feature level," says Ed Bernardon, Siemens's VP of strategic auto motive initiatives. For a simple part, 2,000 to 4,000 pieces of information — fiber orientation and type, the layup start point, and much, much more — is included in the model. "Yet, there is only one definition," he explains. Each department can look at it and filter and format the data to fit its needs. "As soon as we started to share fiber orientation, drape simulation and other details, we suddenly began having very open discussions," Goddard recalls. "One of the things we discovered was that the

laminators were sometimes doing things a little too differently compared to what was assumed in both the design and stress worlds." "Now we see the stress analysts in the cleanroom talking about layup," he adds, noting that for areas of the laminate that worry them, the analysts can, for example, specify restrictions on the use of splicing. Conversely, they can identify less load-intensive regions where fewer rules and restrictions need apply. "All of this information can be captured within the Fibersim design." "Drape simulations in Fibersim have been greatly enhanced," Goddard adds. "Methodologies let us simulate how a laminator is going to rub down the material with his hands, pushing it this way and then pulling it that way. That can then get round-tripped through the CAE department, giving them a realistic view of what the fibers,

Un linguaggio comune

Fibersim CAE Exchange non soltanto connette il progetto, le analisi e i dati di produzione, ma anche le persone che li utilizzano. "Crea effettivamente un linguaggio comune del modello master — una definizione geometrica e non geometrica di qualsiasi cosa che sia associata alle sue caratteristiche tecniche", ha affermato Ed Bernardon, VP Siemens per le attività strategiche in campo automotive. Per un componente semplice, nel modello sono inclusi da 2000 a 4000 dati informativi - orientamento e tipo di fibra, configurazione iniziale e moltissime altre informazioni. "Nonostante questo, esiste però soltanto una definizione e ogni dipartimento la analizza per poi setacciare e formattare i dati in base alle esigenze specifiche". "Non appena abbiamo iniziato a considerare l'orientamento della fibra, la simulazione della drap-

peggiatura e altri dettagli, si è dato avvio alla discussione tecnica", precisa Goddard e "abbiamo scoperto che gli addetti alla laminazione a volte operavano in modo troppo diverso rispetto a quanto previsto dai progettisti in tutto il mondo. Ora vediamo gli analisti delle sollecitazioni nella camera bianca che parlano di stratificazioni", aggiunge, notando che per zone del laminato che li preoccupano, gli analisti possono per esempio, specificare delle restrizioni sull'uso del montaggio. Per contro, riescono a individuare aree soggette a un carico inferiore, in cui si può applicare un numero inferiore di regole e di limitazioni. Tutte queste informazioni possono essere catturate grazie a Fibersim. Le simulazioni della laminazione in Fibersim è stata migliorata moltissimo" prosegue Goddard "le metodologie permettono di simulare come il laminatore poserà

orientations, load paths, etc., are truly doing." Perhaps the biggest benefit falls to the shop floor laminators. "Traditionally, they're at the end of the process and don't have direct input into the composite design," says Goddard. "Now the laminator can open the 3-D model and feed their input back up the chain."

Looking ahead

F1 design teams are bracing for big changes. "We haven't explored many of the emerging technologies that aerospace and automotive are branching into, such as woven fiber, knitted fabrics, and braiding," Goddard says. Lotus F1 Team CEO Patrick Louis adds: "The 2014 season will see a raft of rule changes and a revolution in the way Formula 1 cars are designed and built." Fibersim CAE Exchange is expected to enable the team to adopt new materials and adapt to FIA requirements that will include a switch from the

aspirated V-8 engine to a hybrid, turbocharged V-6. Further, Fibersim's utility is extending beyond F1: "We're making a much closer link between F1 and the work we're doing in high-volume automotive and aerospace, because there are so many commonalities," explains Bernardon. "While Ian wants to explore new materials and manufacturing technologies like those used in automotive and aerospace, the OEMs want to go as fast as F1 in terms of development."

This article has been published on High-Performance Composites, 09/2013. We wish to thank Jeff Sloan, Editor High-Performance Composites for the permission to publish.

Questo articolo è stato pubblicato su High Performance Composites 9/13. Si ringrazia Jeff Sloan, Editor di High Performance Composites per aver gentilmente autorizzato la pubblicazione.

manualmente il materiale, premendo da un lato e tirando dall'altro. Tutta la procedura può essere controllata nel dipartimento CAE fornendo una visione realistica del comportamento delle fibre, orientamento, dei tracciati di carico ecc. Da sempre, questi appartengono all'ultimo anello della catena e non hanno impatto diretto sulla progettazione.

Da ora in poi, il laminatore può aprire il modello 3D e intervenire nella catena di processo."

Prospettive future

I team di progettisti F1 stanno attuando grandi cambiamenti e, a questo proposito, Goddard ha aggiunto che finora non sono state ancora esplorate molte delle tecnologie emergenti che interessano i settori aerospaziale e automobilistico, ad esempio quelle delle fibre tessute, lavorate e intrecciate.

Patrick Louis CEO del team Lotus

F1 ha commentato: "La stagione 2014 vedrà un grande cambiamento delle regole in gioco e una vera e propria rivoluzione nella progettazione e costruzione delle automobili di F1". Fibersim CAE Exchange permetterà al team di adottare nuovi materiali e di soddisfare i requisiti FIA, incluso il passaggio dal motore V-8 a scoppio ad uno ibrido turbo V-6. Inoltre, le funzionalità di Fibersim andranno oltre la F1. "Stiamo creando un legame molto stretto fra F1 e il lavoro che stiamo portando avanti nella produzione industriale in campo automobilistico e aerospaziale, proprio per le caratteristiche che accomunano questi due settori" – spiega Bernardon- "Mentre Ian vuole scoprire nuovi materiali e nuove tecnologie produttive come quelle utilizzate nei settori automobilistico e aerospaziale, il settore OEM aspira a raggiungere le velocità di F1 in termini di sviluppo.

