

Maximizing composite material intelligence: characterization, testing, modeling, and innovating

Dr. Will Marsden - Granta Design

The importance of materials information

In performance-critical design there is no room for error. In the aerospace industry, for example, design allowable properties of materials are determined at a level that ensures the component will meet performance requirements experienced in service. This means any uncertainty or variability in material behavior translates into more conservative allowables, giving a wider margin of safety. But in aerospace and other industries such as automotive and energy, designs must also cater to requirements for efficiency, whether this be a reduction in fuel or energy use, lower component cost, or both.

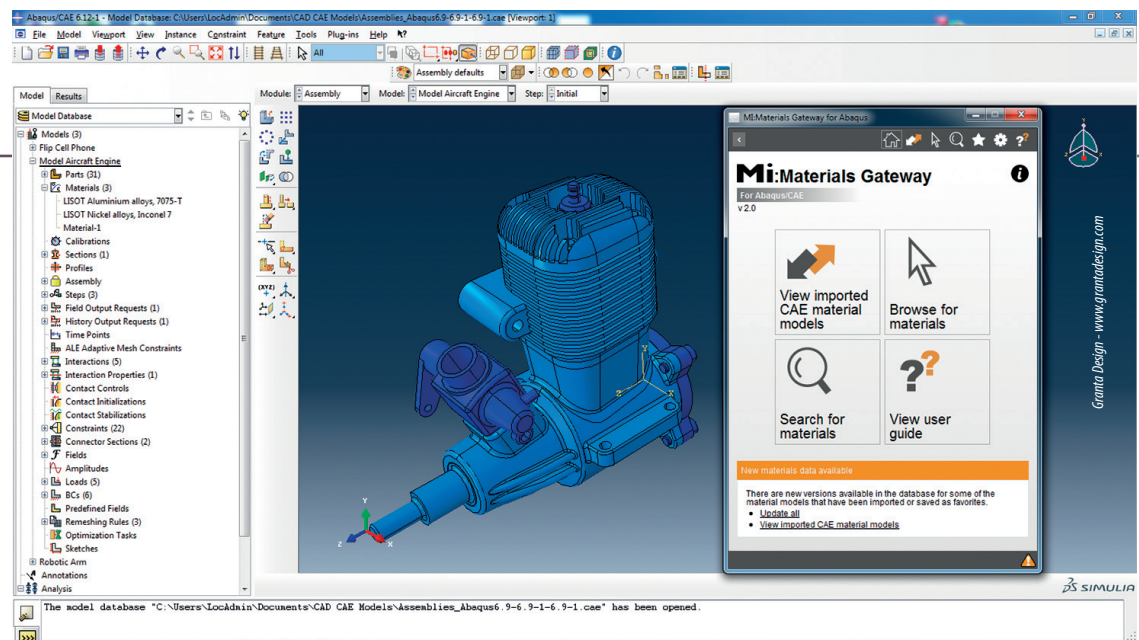
The extensive testing and qualification of materials undertaken by enterprises in these sectors is driven by a fundamental imperative: to understand the properties of materials and predict their behavior in application with as much confidence as possible. Through better characterization, allowables can be tightened, safely pushing materials closer to their limits. Designs then become more efficient, conferring competitive advantage. For this to be accomplished considerable challenges in data management have to be

met. Materials property data is complex and difficult to control. It evolves from the original raw test data, through aggregation and statistical analysis, to derivation of design allowables – and to be at all usable at the end of this process, its ‘evolutionary history’ must be traceable and the pedigree of every piece of information should be retained. Thousands of hours of testing must result in values that can be fed with confidence to simulation and design software. Data must also be retained in usable form for the longer term

because its cost and status as critical intellectual property for competitive advantage mean that its loss erodes business value.

Composite materials characterization

The requirement to accurately establish properties and predict behavior is perhaps even more compelling for composites than it is for traditional materials, for example, because any resolved tensile stress in the through-thickness direction will lead to delamination and prove fatal to performance. However,



Comprendere a fondo i materiali compositi: caratterizzazione, analisi, modellizzazione e innovazione

Dr. Will Marsden - Granta Design

Materials Gateway provides access to materials data within CAD, CAE and PLM
Materials Gateway permette l'accesso ai dati sui materiali all'interno di CAD, CAE e PLM

L'importanza delle informazioni sui materiali

Nei progetti con aspetti prestazionali critici non vi è spazio per errori. Per esempio, nell'ambito dell'industria aerospaziale, le proprietà progettuali possibili

sono determinate in modo da garantire che il componente soddisfi i requisiti prestazionali osservati sul campo. Ciò implica che ogni incertezza o variabilità nella risposta del materiale si traduca in scelte più conservatrici, per offrire

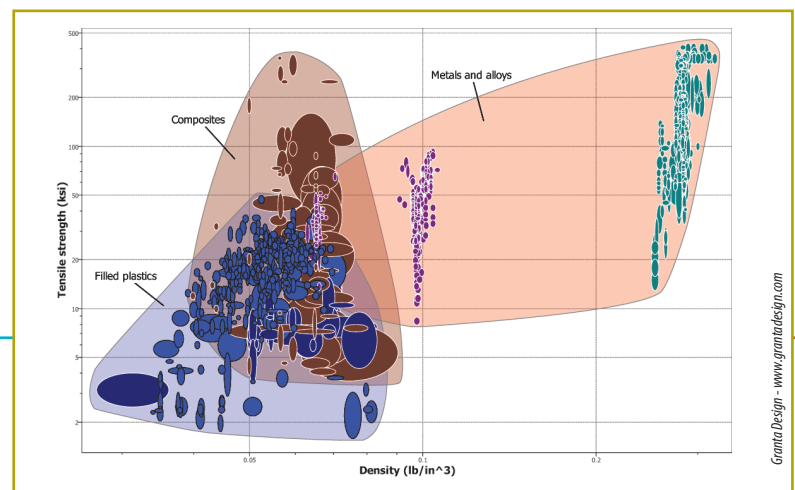
un margine più ampio di sicurezza. Ma sia in campo aerospaziale sia in altre industrie, quali l'automotive e dell'energia, i progetti devono anche occuparsi dei requisiti di efficienza, sia essa risultante da una riduzione dell'uso di energia o di

combustibile, sia dai costi inferiori del componente o da entrambi. I test estensivi e la qualificazione dei materiali condotti dalle aziende operanti in questi settori sono guidati da un imperativo fondamentale: comprendere le proprietà

the multi-component nature of composites poses unique data management challenges.

For a monolithic material, the starting point is a single entity with a set of measurable properties. For a composite, the 'raw material' may consist of multiple matrix and reinforcement materials that may themselves be formed from multiple components – for example: resin,

hardener and accelerant for a resin system. Other components may be intermediates such as prepregs, pre-forms, or woven fabric, or core systems for sandwich structures and adhesives. The relationships between the composite and each of these constituents, and any relationships between constituents (e.g. which reinforcements can be used with which intermediates), must all be



CES Selector provides tools to help visualize and compare the properties of composites and other materials
 Il Selettore CES fornisce gli strumenti per facilitare la visualizzazione e la comparazione delle proprietà dei compositi e di altri materiali



dei materiali e prevedere la loro risposta nelle applicazioni con quanta più attendibilità possibile. Attraverso una migliore caratterizzazione, le variabili possono essere ridotte, portando i materiali a un massimo rendimento e massimo grado di sicurezza. I progetti diventano quindi più efficienti in quanto dotati di un grande vantaggio sul piano della concorrenza.

Per raggiungere questo obiettivo, si devono affrontare numerose sfide nella gestione dei dati. I dati relativi alle proprietà dei materiali sono complessi e difficilmente controllabili. Tutto ciò ha origine dai dati di analisi iniziali, passando attraverso le fasi di aggregazione e di indagine statistica fino alla derivazione delle variabili di progetto, da utilizzare interamente al termine di questo processo; tutti i tasselli di questa evoluzione devono

essere rintracciabili archiviando l'origine di ogni informazione. Migliaia di ore dedicate all'analisi devono produrre quei valori da trasmettere con fiducia ai software di simulazione e di progetto.

I dati devono essere inoltre conservati in forme utilizzabili a lungo termine perché i costi e lo status, come proprietà intellettuale critica ai fini di un vantaggio sul piano della competitività significano che la loro perdita diminuisce il valore del business.

Caratterizzazione dei materiali compositi

Il requisito per determinare in modo accurato le proprietà e prevedere la risposta del materiale è forse ancora più importante nel caso dei compositi che in quello dei materiali tradizionali, ad esempio perché qualsiasi sollecitazione a

stored and retrievable. Properties are usually highly anisotropic and this anisotropy adds extra dimensions to functional data. There are other additional variables that must be considered too, such as the effect of humidity on mechanical performance, expanding the range of tests that must be undertaken. Performance is further dependent on factors such as component geometry and the process history of each component. Since processing is not a series of discrete steps applied to virgin material, but an integral part of making the composite component, it follows that the process and material property data must be very well integrated. Many

permutations of material, geometry, and process are likely, all of which must be tested, creating a sizeable data burden.

Best-practice materials information management

Effective data management is a non-trivial task even for conventional materials. For composites, where process and pedigree information is highly relevant and must remain connected to the data, and where testing on multiple components at multiple stages must be captured and linked together sensibly, it becomes even more difficult – and correspondingly more valuable.

Recognizing the importance of getting data management

trazione applicata nella direzione dello spessore della laminazione produrrebbe delaminazione rivelandosi fatale ai fini della prestazione. Tuttavia, la natura multi-componente dei compositi pone delle sfide peculiari sulla gestione dei dati.

Nel caso di un materiale monolitico, il punto iniziale è una singola entità con una serie di proprietà misurabili. Per un composito la "materia prima" può consistere di una matrice multipla e di materiali di rinforzo che a loro volta possono essere costituiti da componenti multipli, ad esempio: resina, indurente e acceleratore per un sistema a base di resina. Altri componenti possono essere materiali intermedi quali i pre-preg, i preformati, i tessuti o anche

i sistemi ad anima per strutture sandwich e gli adesivi. La relazione fra il composito e ciascuno di questi componenti e qualsiasi relazione fra i componenti (es.: quali rinforzi possono essere utilizzati e con quali intermedi?), devono essere tutti archiviati e recuperabili. Le proprietà sono solitamente altamente anisotrope e questa anisotropia aggiunge dimensioni extra ai dati funzionali. Esistono altre variabili funzionali che devono essere prese in considerazione, ad esempio l'effetto esercitato dall'umidità sulla prestazione meccanica, ampliando la serie di test da intraprendere. La prestazione dipende inoltre da fattori quali la geometria del componente e la storia di processo di ogni componente. Dal momento



right, in 2002 leading enterprises in the aerospace, defense, and energy sectors created an industry collaboration to develop and apply software to manage mission-critical materials data. The members of the consortium include Boeing, GE Aviation and GE Energy, Airbus Helicopters, Honeywell, Rolls-Royce, NASA, Northrop Grumman, Lockheed

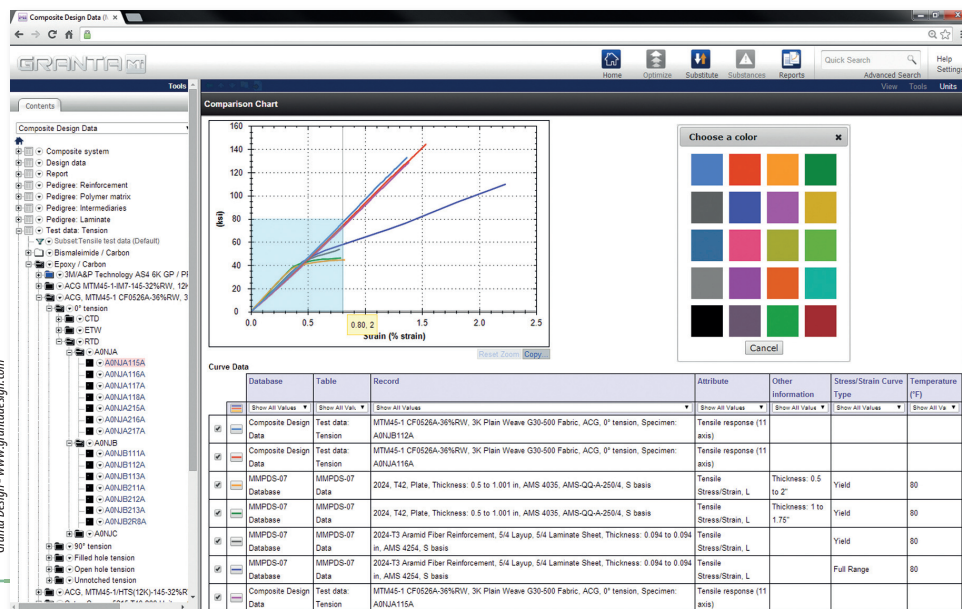
Martin, and Granta Design – the experts in materials information technology. The MDMC has guided the formulation of best practice for storing, managing, and using composites data, which is embodied in the GRANTA MI software system developed by Granta Design. It supports the building block approach to minimize the number of tests

needed and meets other top priorities of these organizations, including: ensuring traceability, capturing the network of interrelationships, handling anisotropy, maintaining additional variables and capturing processing information.

The software includes a robust database structure ('schema') as well as other software tools

for capturing data from coupon tests and managing resulting design values. These have been validated through practical application by MDMC members. One such member, Joe Sharp of Boeing, has commented that "Integrated databases and tabular data structures are two features that are very important to us [and] that have enabled our composites test data implementation".

Airbus Helicopters manages both its composites test data and in-house allowables within this software, Nicolas Capelle, who heads the materials database project at Airbus Helicopters, has stated the ease of use and configurability of the software are major advantages: "We can easily create a data structure and implement our legacy data and current data for materials under qualification, and we have a unique template format for sharing data between design offices or business units".



Using a web browser to interact with the composite information held within a GRANTA MI datasheet
L'utilizzo del browser di rete per interagire con l'informazione sui compositi dei fogli di calcolo GRANTA MI

che il trattamento non consiste in una serie di passi progressivi applicati al materiale originale, ma è parte integrante del processo produttivo del componente in composito, ne consegue che i dati di processo e delle proprietà del materiale devono essere perfettamente integrate. Sono provabili molti mutamenti del materiale, della geometria e del processo e tutti devono essere testati, il che crea una notevole quantità di dati.

Gestione delle informazioni relative al miglior utilizzo dei materiali

La gestione efficace dei dati non è un compito semplice anche parlando di materiali convenzionali. Per quanto concerne i compositi, dove l'informazione del processo e dell'origine è determinante e deve

rimanere strettamente correlata ai dati e dove i test dei componenti multipli a fasi multiple devono essere recepiti e collegati fra loro, questa pratica diventa ancora più difficile e, di conseguenza, ancora più rilevante.

Per aver riconosciuto l'importanza della corretta gestione dei dati, nel 2002 aziende leader in campo aerospaziale, della difesa e dei settori industriali relativi alla produzione di energia, hanno intrapreso una collaborazione per sviluppare e applicare un software per la gestione dei dati di materiali critici. I membri di questo consorzio comprendono Boeing, GE Aviation e GE Energy, Airbus Helicopters, Honeywell, Rolls-Royce, NASA, Northrop Grumman, Lockheed Martin e Granta Design, esperti di tecnologie dell'informazione sui materiali.

MDMC ha gestito la creazione di un sistema di archiviazione, gestione e utilizzo dei dati sui compositi, incorporati nel sistema software GRANTA MI, messo a punto da Granta Design. Esso utilizza la tecnica "building block" per ridurre al massimo il numero di test richiesti e soddisfare alte priorità di queste organizzazioni fra cui: garantire la tracciabilità, recepire la rete di interrelazioni, gestire l'anisotropia, mantenere variabili aggiuntive e acquisire l'elaborazione delle informazioni. Il software ingloba una struttura database molto efficiente ('schema') insieme ad altri strumenti informatici per l'acquisizione di dati dai test campione e per la gestione dei dati di sviluppo risultanti. Questi sono stati convalidati attraverso l'applicazione

pratica da parte dei membri MDMC. Uno di loro, Joe Sharp di Boeing ha commentato che: "I database integrati e le strutture tabulari dei dati sono due caratteristiche fondamentali che hanno consentito l'implementazione dei dati dei test sui compositi". Airbus Helicopters gestisce sia i dati dei test sui compositi che tutte le variabili in-house del software e Nicolas Capelle, a capo del progetto database dei materiali di Airbus Helicopters ha commentato che l'utilizzo facilitato e le possibilità di configurazione del software rappresentano i principali vantaggi: "Possiamo creare facilmente un corpus dati e implementare i dati precedenti e attuali per i materiali in fase di accertamento della qualifica oltre alla disponibilità di un formato template per

Testing assemblies and structures

Of course, it is often not sufficient to rely on coupon data alone to map out the performance limits of composite materials. For one thing, composites components seldom consist just of a laminate and are usually assembled and modified in ways that fundamentally alter the properties and performance of the composite structure. For example, they may be strengthened in the third dimension through the incorporation of various stiffeners to increase the second moment of area. Manufacturers are thus testing more complex articles to better understand three-dimensional behavior.

Testing of these structures is more difficult than coupon testing due to their more complex geometry and processing histories. Many more variables must be considered: multiple conditioning steps may be undertaken both before and after assembly.

The structure may also be tested, again both before and after use, and a sample cut from an assembly may then itself undergo further conditioning before testing. Building on the widely used 'building block' approach, current development work is seeing the GRANTA MI system enhanced to store results from the much more involved test sequences on sub-assemblies and assemblies in a traceable and interconnected way, as it does for coupon data.

The reduction of coupon data to design values is relatively straightforward. To fully characterize assemblies, data reduction must be done in parallel with finite element analysis (FEA) to model the structure. Airbus's Nicolas Capelle has commented that the software allows them to "directly export data into finite element analysis". One of the key strengths of the system is that it can integrate on the programmatic level with computer-aided

la condivisione dei dati stessi fra le unità operative e gli uffici dei progettisti."

Test di strutture e assemblaggi

Naturalmente, spesso non è sufficiente affidarsi soltanto ai dati del campione per definire i limiti prestazionali dei materiali compositi. Da un lato, i componenti in composito raramente sono costituiti soltanto da un laminato, vengono generalmente assemblati e modificati così da alterare le proprietà e le prestazioni della struttura in composito. Per esempio possono essere rinforzati nella terza dimensione incorporando vari rinforzi per incrementare il secondo momento di una forza dell'area interessata. I produttori sono quindi alle prese con l'analisi di parti più complesse per

comprendere meglio la risposta tridimensionale.

I test di queste strutture risultano più difficili rispetto a quelli eseguiti su campione a causa della loro geometria più complessa e dei presupposti tecnici di processo. È indispensabile considerare più variabili: le fasi multiple del condizionamento possono essere attuate sia prima che dopo l'assemblaggio. Anche la struttura può essere testata sia prima sia dopo l'utilizzo e un campione prelevato può essere sottoposto a una ulteriore fase di condizionamento prima dell'esecuzione del test.

Operando con la tecnica molto utilizzata dei "building blocks", le attività di sviluppo attuali mirano a potenziare il sistema GRANTA MI per l'archiviazione dei risultati di test in sequenza concernenti

design and engineering (CAD and CAE) packages, and supplies input data for these tools in the correct format, without requiring manual processing.

Supporting the modeling of composite materials

CAD and CAE tools such as FEA are becoming increasingly important in the aerospace, defense, and automotive industries to reduce reliance on prototyping. Simulation and analysis software is being used to predict how designs will behave in the real world before a single part hits the assembly line. But without qualified material models, the validity of these simulations could be at risk.

Capturing materials property data effectively and traceably is half the battle won. But the consumption of this data by the simulation community usually requires further data processing, testing or validation to meet the specific needs of their software tools and element formulations.

Different packages require different and highly specific formats. These are complex, with fixed formats, and can contain a large amount of numerical or tabular data. Different models will require, for example, a different number of data points to represent the same graph. Simple models may not be too difficult to modify and update 'by hand', but the input decks for more complex models (such as those used when working with composite materials) are much more

challenging. They are time consuming to create manually, and errors are not always obvious.

If traceability about both the material and the model is to be maintained, there needs to be a seamless flow of information from the raw test data (or reference data/design handbooks), through analysis, into the right format with appropriate model-specific information. Indeed, the flow of information within a modeling cycle also needs to be accounted for. For example, some

coefficients are not measured by experiment but calculated from preceding FEA runs: the system needs to manage the information related to these iterations.

The MDMC has determined that the best way to 'bridge the gap' between material and process groups and FEA engineers is to use this materials information management system as the central hub; storing the all the materials information in one place, allowing both validation and traceability of all material-related decisions.

This means all the data and meta-data needed by FEA teams is stored in an accessible format, from which input decks can be built, and alongside which

Investigating the interaction between matrix cracks in adjacent lamina.
(Glass epoxy (0/+45/-45/90)s sample. Matrix cracks are shown in the +45 and -45 layers)
Esaminare l'interazione fra le crepe della matrice nella lamina adiacente.
(Campioni vetro epossidico 0/+45/-45/90.
Le crepe della matrice sono visibili negli strati +45 e -45)

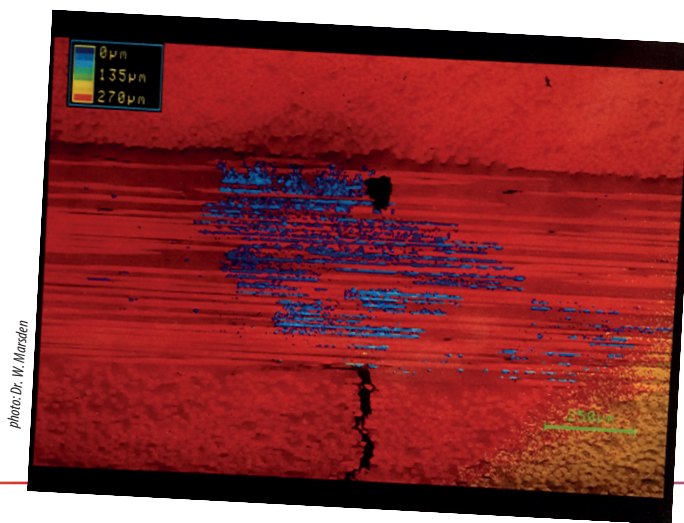


photo: Dr. W. Marsden

sottoassemblaggi e assemblaggi, in modo tracciabile e interconnesso, come avviene per i dati dei campioni.

La riduzione dei dati campione ai valori progettuali è relativamente lineare. Per caratterizzare interamente gli assemblaggi, la riduzione dei dati deve essere effettuata in parallelo con l'analisi degli elementi finiti (FEA) ai fini della modellizzazione della struttura. Nicolas Capelle di Airbus ha commentato che il software permette di "esportare direttamente i dati nell'analisi degli elementi finiti". Uno dei punti di forza chiave del sistema è che esso può integrarsi a livello programmatico nel progetto assistito dallo strumento informatico e nei sistemi CAD e CAE, fornendo dati di immissione per gli strumenti nel formato corretto

senza richiedere il trattamento manuale.

Supporto alla modellizzazione dei materiali compositi

Gli strumenti CAD e CAE, come FEA hanno acquistato sempre più importanza nell'ambito delle industrie aerospaziali, della difesa e automobilistica per ridurre la dipendenza dalla prototipazione. Il software di simulazione e analisi viene utilizzato per prevedere i risultati del progetto sul campo prima che una singola parte entri a far parte della linea di assemblaggio. Eppure, senza modelli di materiale qualificati, la validità di queste simulazioni potrebbe risultare a rischio.

Acquisire efficacemente e in modo tracciabile i dati sulle proprietà dei materiali è solo una parte del

lavoro complessivo da compiere. L'utilizzo di questi dati da parte del sistema di simulazione richiede spesso l'ulteriore trattamento dei dati, l'ulteriore analisi o la convalida così da soddisfare i requisiti specifici del software e delle formulazioni dell'elemento.

I diversi sistemi richiedono formati molto ben definiti e diversi fra loro. Questi sono complessi, con formati prestabiliti e possono incorporare una grande quantità di dati numerici o tabulari. I diversi modelli richiedono, ad esempio, un numero differente di punti dei dati per rappresentare lo stesso grafico.

Potrebbe rivelarsi troppo difficile modificare e aggiornare "manualmente" modelli semplici, ma le piattaforme di immissione di modelli più complessi (come quelli utilizzati quando

si lavora con i compositi) sono molto più problematiche. Esse richiedono molto tempo per le operazioni manuali e gli errori non sono sempre del tutto visibili. Se la tracciabilità del materiale e del modello deve essere in ogni caso preservata, è altresì indispensabile mantenere il flusso continuo di informazioni dai dati del test iniziale (oppure i dati campione/manuale del progetto), mediante analisi, nel formato corretto e con le informazioni adeguate al modello specifico. In realtà, deve essere rappresentato anche il flusso di informazioni all'interno del ciclo di modellizzazione; ad esempio, alcuni coefficienti non sono misurati nell'esperimento, ma calcolati dai cicli FEA precedenti: il sistema richiede di gestire l'informazione relativa a queste iterazioni.

pedigree information and version control can be maintained. This additional step in the workflow soon shows real benefits, including improved confidence that simulation results come from approved data, as well as an increase in reuse of data and more statistics for validation. Using such a system offers FEA engineers complete traceability and version control, as well as making data easy to search and apply. Information currently stored in input decks can be added alongside the raw test and other types of data. Engineers and analysts have confidence that they are using up-to-date, approved information, while the system maintains a full record of the entire corporate materials expertise.

Facilitating innovation

Composite materials are opening up many new avenues of innovation, but this potential is constrained if the behavior and performance limits of these materials and the structures created from them are not well determined. The characteristics of composites make this a challenging task, but current industry experience shows it is considerably aided by best-practice materials information management.

MDMC ha stabilito che il modo migliore per colmare la lacuna fra le serie di materiali e di processo e gli ingegneri FEA è utilizzare questo sistema di gestione delle informazioni sui materiali come nucleo centrale; archiviando tutto il corpus di informazioni sui materiali in un luogo, consentendo così sia la convalida che la tracciabilità di tutte le decisioni correlate al materiale stesso. Ciò significa che i dati e meta-dati richiesti dai team FEA vengono immagazzinati mantenendo il controllo della versione. Questo passo successivo nel flusso dei dati dimostra ben presto dei vantaggi concreti, fra cui la maggiore sicurezza che i risultati della simulazione provengono da dati approvati, il potenziamento del riutilizzo dei dati e il numero superiore di statistiche per la convalida. L'utilizzo di questo sistema offre agli ingegneri FEA la totale tracciabilità e il controllo della versione oltre alla

semplificazione della ricerca e dell'applicazione dei dati. L'informazione attualmente archiviata nelle piattaforme di immissione può essere aggiunta insieme al test iniziale e ad altre tipologie di dati. Gli ingegneri e gli analisti confidano in un utilizzo di dati aggiornati e accreditati, mentre il sistema mantiene la registrazione completa di tutta la competenza nel campo dei materiali dell'azienda.

Facilitare l'innovazione

I materiali compositi stanno ampliando gli orizzonti dell'innovazione, ma le potenzialità risultano carenti se i limiti della risposta e del comportamento di questi materiali e le strutture da esse create non sono ben determinati. Le caratteristiche dei compositi complicano questo lavoro, ma l'attuale esperienza in ambito industriale dimostra che essa è ben assistita dalla buona pratica della gestione delle informazioni sui materiali.

