



# Simulazione di successo

## Accelerare la progettazione e la produzione con i test virtuali sui compositi avanzati

»Ginger Gardiner«

Per introdurre sul mercato nuovi aerei in modo più veloce ed economico, le aziende costruttrici devono snellire il lungo e costoso processo di certificazione dei materiali compositi. Le prove virtuali a computer cominciano a sostituire alcuni collaudi fisici, ma i critici avvertono che la lentezza dei progressi minaccia l'efficienza dell'industria aerospaziale. I materiali compositi avanzati costituiscono gran parte delle ali, della fusoliera e della coda del Boeing 787 e dell'Airbus A350, oltre a una buona porzione delle strutture primarie in altri grandi aerei in fase di sviluppo. E basta dare un'occhiata alle idee di Boeing

ed Airbus per i futuri velivoli commerciali (fusoliera e ali in un unico corpo, strutture simili a ossa, superfici di volo che cambiano forme e interni che catturano energia) per capire quali sono le aspettative nei confronti dei compositi. Per realizzare questi prodotti, che non sono fattibili con i materiali attualmente disponibili, si stanno sviluppando compositi avanzati. I costi di fabbricazione e sviluppo rappresentano però ancora un ostacolo a queste nuove applicazioni. Uno dei motivi è che l'approccio tradizionale, vecchio di decenni, alla certificazione dei compositi richiede migliaia di costosi collaudi fisici.



Immagine gentilmente concessa da Dassault Systèmes  
Image courtesy of Dassault Systèmes



# Simulating success

## Speeding design and manufacture with virtual tests of advanced composites

»Ginger Gardiner«

*To bring new aircraft to the market faster and more affordably, manufacturers need to streamline the expensive and time-consuming process of certifying new composites materials. Computer-based virtual testing is beginning to take the place of some physical tests, but critics warn that slow progress threatens the aerospace industry's viability. Advanced composite materials make up most of the wing, fuselage and tail for*

*the Boeing 787 and Airbus A350, plus a high percentage of the primary structures in other major aircraft in development. One look at Boeing and Airbus ideas for future commercial aircraft — blended wing bodies, structures that mimic bones, shape-changing flight surfaces and energy-capturing interiors — and the expectations for composites are clear. Advanced composite materials are being developed*

*to enable such products, some of which are not feasible with today's materials. Manufacturing and especially development costs are barriers to such expanded applications, however. One reason: The decades-old building-block approach to certifying composites for use in aircraft requires thousands of costly physical tests. Replacing at least some of physical tests these with virtual simulations is emerging*

*across the composites manufacturing spectrum as a promising method of documenting the effectiveness of new composites materials, advanced design tools and manufacturing processes faster and more cost-effectively. Few predict that computer-based simulation will eliminate physical testing altogether. But many see a future where simulation and computer-aided analysis play a*

*significantly larger role in streamlining development cycles and reducing costs.*

### FLATTENING THE PYRAMID

*One example of virtual testing's promise comes from the first spacecraft fuel tank designed to disintegrate upon reentry. The carbon-fiber composites design is made by Cobham Life Support in Westminster,*



La sostituzione di alcuni di questi test con simulazioni virtuali si sta affermando come metodo valido per dimostrare l'efficacia dei nuovi materiali compositi e dei relativi strumenti di progettazione avanzati e processi produttivi, in modo più veloce ed economico.

Pochi credono che la simulazione a computer eliminerà completamente i collaudi fisici, ma molti vedono un futuro nel quale la simulazione e l'analisi a computer avranno un ruolo chiave nella semplificazione dei cicli di sviluppo e nella riduzione dei costi.

## APPIATTIRE LA PIRAMIDE

Un esempio delle potenzialità dei test virtuali è il primo serbatoio per astronavi progettato per disintegrarsi al rientro. La struttura in fibra di carbonio è stata realizzata da Cobham Life Support di Westminster, Maryland (USA) per il Goddard Global Precipitation Measurement Satellite della NASA. Grazie a un ampio ricorso alla progettazione e ai test a computer, il programma di sviluppo di Cobham ha rispettato tutti gli obiettivi della NASA in termini di costi, tempistiche

e specifiche tecniche sofisticatissime.

Il processo di Cobham ha dimezzato il numero di test distruttivi, con un risparmio di circa 500.000 dollari in un programma che ha richiesto 38 mesi. "Abbiamo proceduto di pari passo con collaudi e analisi per migliorare l'efficienza," spiega Robert Grande, direttore di Cobham. "Le proprietà dei materiali acquisite mediante i test sono state immesse nei modelli, dopodiché abbiamo usato le prove fisiche per validare i risultati provenienti dalle iterazioni del progetto. Poiché i risultati dei test collimavano con le previsioni

analitiche, dai sottocomponenti ai test di esplosione e cedimento sotto pressione del serbatoio, abbiamo completato tutto il processo di qualifica nel momento stesso in cui abbiamo ultimato il progetto."

Un altro esempio viene dall'Advanced Composite Structures Laboratory (ACSL) di Automobili Lamborghini presso la University of Washington a Seattle (USA), che si occupa di sviluppo di materiali compositi per l'industria aerospaziale e automobilistica. In collaborazione con Boeing e la US Federal Aviation Administration (FAA), il laborato-

rio è impegnato nel miglioramento della certificazione di materiali e strutture in composito, sfruttando spesso test virtuali consolidati sviluppati per le auto Lamborghini.

ACSL e Boeing hanno collaborato a metodi di analisi avanzati per prevedere il comportamento in caso di incidenti della monoscocca interamente costruita in materiale composito del modello Aventador di Lamborghini. Aventador ha superato la certificazione del crash test al primo tentativo, mentre i modelli precedenti avevano richiesto due o tre prove.

Immagine gentilmente concessa da Pininfarina  
Image courtesy of Pininfarina



Maryland (USA) for the US National Aeronautics and Space Administration (NASA) Goddard Global Precipitation Measurement Satellite. Thanks in part to extensive use of computer-aided design and testing, Cobham's development program met all of NASA's targets: cost, schedule and a host of demanding technical requirements.

Cobham's process reduced the number of destructive tests by 50%, saving roughly US\$500,000 over the

38-month program. "Our testing and analysis worked hand-in-hand to improve efficiency," explained Robert Grande, business manager for Cobham. "We fed real material properties from tests into the models and then used physical testing to validate the results as we iterated the design. Because our test results matched our analytical predictions, from subcomponents to pressure burst and fatigue testing on the full tank, we completed the full qualification by the

time we finished the design."

Another example comes from the Automobili Lamborghini Advanced Composite Structures Laboratory (ACSL) at the University of Washington in Seattle (USA), which blends aerospace and automotive composite development. Working with Boeing and the US Federal Aviation Administration (FAA), the ACSL improves certification of new composite materials and structures, often based

on proven virtual testing principles pioneered for Lamborghini automobiles.

ACSL and Boeing collaborated on advanced analysis methods for predicting the crash performance of the all-composite monocoque of Lamborghini's Aventador automobile. Aventador passed its crash-test certification on the first try; previous models required two or three tests. At \$1 million per crash, savings were substantial, even without factoring in time and cost

saved by not building additional test vehicles.

## A COMPLETE PARADIGM SHIFT

While such programs go beyond industry standards in employing virtual testing, Dr. R. Byron Pipes, John Bray Distinguished Professor in the College of Engineering at Purdue University (USA), believes they don't go far enough.

Current trends in virtual



Immagine gentilmente concessa da Dassault Systèmes Image courtesy of Dassault Systèmes

Poiché ogni crash test costa un milione di dollari, il risparmio è stato notevole, anche senza considerare i tempi e i costi necessari per costruire altri veicoli di prova.

### UN PARADIGMA COMPLETAMENTE NUOVO

Questi programmi vanno ben oltre gli standard di settore nell'utilizzo dei test virtuali, ma il Dott. R. Byron Pipes, John Bray Distinguished Professor del College of Engineering

presso la Purdue University (USA), ritiene che non sia abbastanza. L'evoluzione attuale dei test virtuali sui compositi è molto graduale, secondo Pipes, mentre servirebbe un cambio di marcia per imprimere una vera e propria svolta allo sviluppo dei compositi. "Stiamo ancora lottando con una produzione empirica e una certificazione (fisica) basata su collaudi", dice. "La certificazione di ogni materiale destinato a un nuovo telaio aeronautico costa 100 milioni di dollari. Una volta certificato il materiale, qualsiasi modifica è economicamente

insostenibile".

Pipes spiega che, oggi, lo sviluppo dei compositi è dominato dagli esperimenti e solo coadiuvato dall'analisi. "Esiste la potenza di calcolo per cambiare questo schema e sostituire migliaia di test (fisici) con una solida simulazione della produzione e delle prestazioni," afferma. "Solo allora potremo realmente innovare la composizione e la lavorazione dei materiali senza continue ricertificazioni onerose". Per estendere ulteriormente l'uso dei test virtuali, Pipes sostiene una maggiore diffusione degli strumenti di

analisi e simulazione avanzati, che consentirebbero di capire da dove nascono e come si diffondono le incertezze sulla progettazione e sulla fabbricazione dei materiali compositi. A questo scopo, Pipes immagina una sorta di "polo online per la fabbricazione dei compositi" che metta a disposizione strumenti di simulazione in modalità cloud attraverso una community. "L'idea nasce dal crowdsourcing e dall'esigenza di rafforzare la nostra attività di simulazione fornendo gli strumenti a coloro che attualmente non vi hanno accesso",

spiega Pipes. Molti strumenti di simulazione avanzati sono infatti fuori dalla portata finanziaria delle piccole aziende, che devono passare attraverso realtà più grandi o università. Ma questa situazione comincia a cambiare. "Alcune funzionalità per la simulazione dei compositi vengono rese disponibili in programmi che girano su piccoli computer o persino su dispositivi mobili", aggiunge Pipes, che invoca la creazione di un Composite Manufacturing Hub in cloud per spalmare i costi, favorire l'accesso e accele-



*testing of new composites is only an incremental improvement, Pipes believes, not the complete paradigm shift needed to unshackle composite development. "We are still struggling with empirical-based manufacturing and (physical) testing-based certification," he said. "It costs \$100 million per material to qualify composites to fly on a new airframe. Once certified, materials changes are economically impossible."*

*Pipes describes composite development today as dominated by experiments and only aided by analysis. "We have the computational power to change this paradigm and replace thousands of*

*(physical) tests with robust multi-scale simulation of manufacturing and performance," he said. "Only then will we enable innovations in materials composition and processing without repeated costly recertification."*

*To continue pushing the envelope of virtual testing, Pipes advocates making advanced analysis and simulation tools more widely available so they can be used broadly to understand the origins and propagation of uncertainty in composite design and manufacturing. To achieve this, Pipes envisions an online Composite Manufacturing Hub that would enable cloud-based delivery of simulation tools*

*through a community interface. "The idea originally came from crowdsourcing and the need to strengthen our simulation base by putting tools in the hands of those who can't get them now," Pipes explained.*

*Many advanced simulation tools are beyond the financial reach of small companies, which can only gain access through larger companies and universities. But that trend is beginning to change. "Parts of the composite simulation capability are being offered through programs that run on small computers and even mobile devices," Pipes said. He advocates development of a cloud-based Compos-*

*ite Manufacturing Hub to spread costs, increase access and accelerate simulation tool development. "If you don't simulate the manufacturing process you never capture all of the variability that will be in the composite," Pipes said.*

*nanoHUB.org provides a model of what Pipes' vision could achieve. Ten years old, it offers 260 simulation tools to more than 12,000 users and supports a collaborative community of 240,000 engaged in research utilities, classes and interactive groups. In the 12 months prior to July 2012, more than 570,000 simulations were run, 80 new simulation tools were developed,*

*and the time between tool publication and first use in a classroom averaged less than six months.*

### REDUCING UNCERTAINTY

*Today, manufacturers physically test every element before it's assembled and every part before it goes on an airplane, contributing to unsustainable development cycles and costs. "You will never totally escape the need for (physical) testing to validate models, but we must address the issue of certainty in simulation results, or rather, how to manage uncertainty," Pipes said. "Simulation*



rare lo sviluppo degli strumenti di simulazione.

“Se non viene simulato il processo produttivo, non si potrà mai comprendere tutta la variabilità insita nei compositi”, dice Pipes.

nanoHUB.org è un esempio di ciò che immagina Pipes. Da dieci anni offre 260 strumenti di simulazione a oltre 12.000 utenti e supporta una comunità collaborativa di 240.000 addetti impegnati in attività di ricerca, classi e gruppi interattivi.

Nei dodici mesi fino al luglio 2012 sono state effettuate oltre 570.000 simulazioni, sono stati sviluppati 80 nuovi strumenti di simulazione e il tempo medio trascorso fra la pubblicazione di uno strumento e il suo primo utilizzo in una lezione è stato inferiore a sei mesi.

## RIDURRE L'INCERTEZZA

Oggi le aziende costruttrici collaudano ogni elemento prima che venga assemblato e ogni singolo pezzo prima che finisca sull'aeroplano, con tempi e costi di sviluppo insostenibili. “Non si potranno mai eliminare completamente i test (fisici) per la convalida dei modelli, ma dobbiamo affrontare il problema della certezza dei risultati delle simulazioni, o meglio, imparare a gestire l'incertezza,” spiega Pipes. “Gli strumenti di simulazione possono infatti aiutare a capire gli aspetti incerti di un progetto e le loro ricadute”. Per dimostrare le potenzialità di questo approccio, Pipes cita l'esempio della US National Nuclear Security

Administration (NNSA). A causa della moratoria sui test nucleari, la NNSA, che fa parte del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, non può più effettuare prove su larga scala. “Circa 15-20 anni fa, abbiamo definito una tabella di marcia per arrivare alla certificazione sulla base di simulazioni,” racconta il Dott. Mark Anderson, consulente tecnico per la NNSA del Los Alamos National Laboratory, un ente di ricerca sostenuto dal governo statunitense.

Le tappe principali di questo percorso comprendono l'adozione di funzionalità predittive validate basate su simulazioni multi-scala a computer e sulla quantificazione dell'incertezza insita negli strumenti di simulazione della NNSA.

*tools can guide understanding of uncertainty in design and also how it propagates”. To demonstrate the potential of the approach, Pipes cites the US National Nuclear Security Administration (NNSA).*

*Due to the US moratorium on nuclear device testing, NNSA, a division of the US Department of Energy, cannot conduct full-scale physical performance testing. “About 15 to 20 years ago, we defined a road map of what was needed to achieve simulation-based certification,” said Dr. Mark Anderson, technical advisor to the NNSA from Los Alamos National Laboratory, a US government-supported research agency. Key elements of this road map include transition*

*to a validated predictive capability based on multi-scale, physics-based computer simulation and quantification of uncertainty in NNSA's simulation tools.*

*Initially, NNSA could simulate the performance of nuclear devices based on re-calibrated pre-moratorium test data, but confidence in these projections decreased as they became more removed from physical tests. NNSA therefore sought to replace its predictive models with validated physics-based models. The agency began by replacing large-scale device tests with large numbers of small-scale experiments designed to validate the physical phenomena predicted by the science-based computer*



All'inizio la NNSA simulava le prestazioni degli impianti nucleari basandosi sui dati ricalibrati dei test precedenti alla moratoria, ma la fiducia in queste proiezioni è progressivamente diminuita con il crescente allontanamento dai test fisici. Pertanto, la NNSA ha cercato di sostituire i modelli previsionali con modelli validati sulla base di dati fisici concreti.

L'agenzia ha cominciato sostituendo i test su larga scala con un numero maggiore di esperimenti su scala ridotti, concepiti per validare i fenomeni fisici anticipati dai modelli informatici sviluppati su basi scientifiche. Questi modelli sono stati quindi proiettati dal livello atomico "nano" al livello macroscopico del dispositivo completo, e infine validati nuovamente nell'accuratezza della loro capacità previsionale. I filmati della NNSA raccontano come sono stati raggiunti questi risultati grazie a batterie di supercomputer e collaborazioni con aziende e istituti accademici. Come dice

un portavoce nei video: "Si comincia a parlare del computer come della terza gamba della scienza, accanto alla teoria e alla sperimentazione". La NNSA ha cominciato anche a quantificare il grado di incertezza degli strumenti di simulazione, e quindi a ridurlo. Quando l'incertezza delle simulazioni su base scientifica è diventata inferiore a quella delle proiezioni basate su prove empiriche, la modellazione ha rimpiazzato i test fisici.

**BILANCIARE REALE E VIRTUALE**

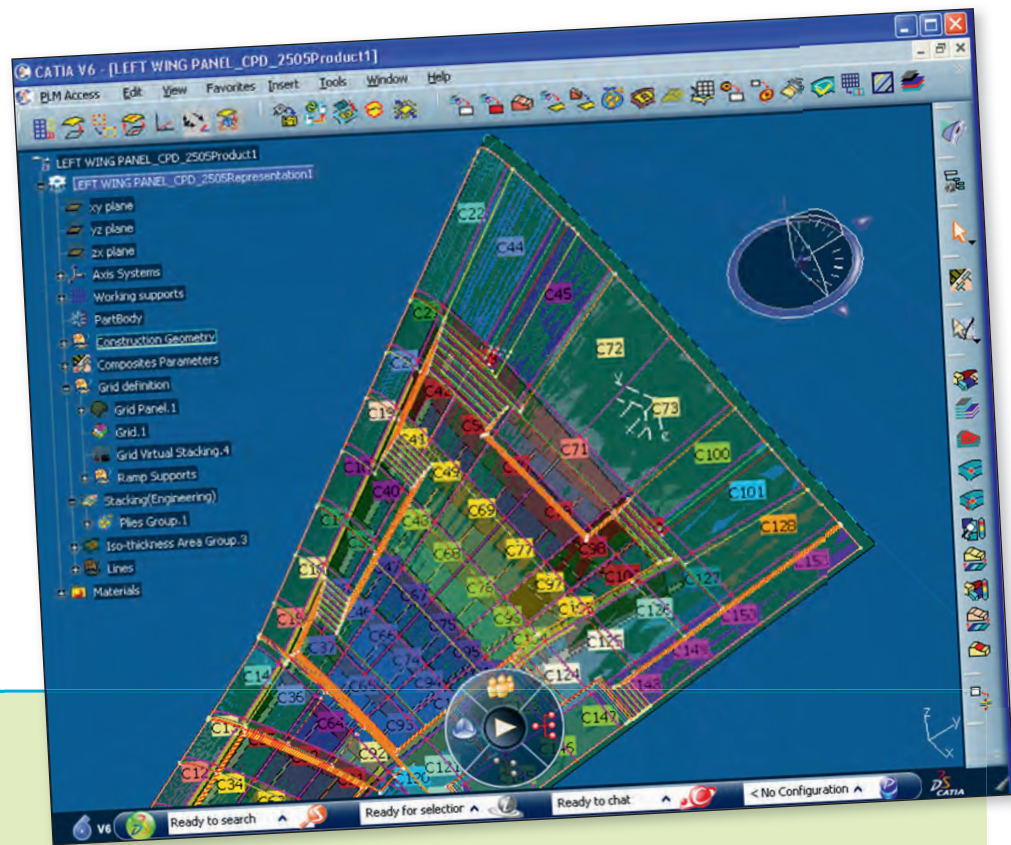
Anderson è convinto che la modellazione dei compositi possa fare progressi applicando l'approccio della NNSA. "Per la maggior parte dei settori industriali, l'ideale sarebbe un giusto equilibrio fra l'approccio tradizionale basato sui test e il nuovo metodo di simulazione e quantificazione dell'incertezza", afferma.

Egli osserva che, nonostante la massiccia iniezione di teoria nei modelli industriali dei compositi, molti di questi utilizzano ancora una semplice descrizione matematica che coincide con i dati dei test empirici. La quantificazione dell'incertezza riguarda sia l'incertezza parametrica sia quella del modello-forma. "Servono investimenti a monte, di tempo e di denaro".

"Sviluppando capacità di simulazione, però, si possono ridurre i costi dei test da 500 a 100 mila dollari, ad esempio". La casa automobilistica General Motors ha utilizzato la quantificazione dell'incertezza nelle simulazioni di crash test e la NASA sta integrando lo stesso principio negli strumenti di simulazione per prove che non possono essere effettuate

nella realtà, come le reazioni indotte dall'ambiente spaziale o i collaudi di strutture intere che avrebbero costi fuori budget. Si ottiene così un "progetto solido", che assicura cioè prestazioni elevate senza alcun sovradimensionamento per compensare l'incertezza.

Il grado di incertezza viene "incorporato" direttamente nel modello, ottenendo pro-



**AERONAUTICS**

models. These models were then linked from the nano-scale, atomic level up to the macroscopic, full device level, then validated again for accurate predictive capability. NNSA videos recount its achievement via parallel supercomputing in collaboration with industry and academic institutions. As one spokesperson on the videos states: "Now you started to hear computing being discussed as the third leg of science, in addition to theory and experiment."

In addition to achieving the multi-scale science required, NNSA began to quantify the uncertainty in its simulation tools and then to reduce it.

Once the uncertainty associated with the science-based simulations was smaller than that of the empirical test-based projections, modeling could replace physical tests.

**BALANCING PHYSICAL AND VIRTUAL**

Anderson believes composites modeling can be advanced by adapting the NNSA approach. "For most industries, what would be the most appropriate is a balance between the historical testing-based approach and this simulation/uncertainty quantification (UQ)-based

approach," Anderson said. He notes that although significant theory has gone into composite industry models, many still use a simple mathematical description that fits empirical test data. Uncertainty Quantification (UQ) involves managing both parametric uncertainty and model-form uncertainty. "There is an investment to be made up front, both in time and money," Anderson said. "But by building simulation capability, it is possible to reduce testing costs from \$500,000 to \$100,000, for example."

He notes that US-based automotive maker General Motors has used UQ in crash-test simulations and that NASA is incorporating it into the space agency's simulation tools to aid with tests it cannot perform physically, such as reactions in a space environment or full-structure tests that are beyond the scope of its current budget.

The result is the potential for "robust design" – high performance without the overdesign needed to compensate for uncertainty. Robust design factors un-

certainty directly into the model, producing designs that are less sensitive to uncertainty, with less bet-hedging overdesign.

**PROGRESS AT WHAT PACE?**

Larry Ilcewicz, the FAA's national composites resource, believes the direct operating cost benefits of composites to airframes and aircraft manufacturers will be lost unless new composite technology becomes as accessible to the engineering



getti che sono meno esposti agli imprevisti e meno sovradimensionati.

### PROGRESSO A QUALE VELOCITÀ?

Larry Ilcewicz, esperto di compositi della FAA, teme che i benefici dei materiali compositi in termini di costi operativi diretti per i costruttori di telai aeronautici e aeroplani andranno dispersi se la nuova tecnologia non sarà accessibile agli ingegneri come quella per i metalli, e altrettanto competitiva in termini di sviluppo, produzione e certificazione per il volo.

La richiesta di “un nuovo set di strumenti per le strut-

ture in composito in grado di accelerare la progettazione e lo sviluppo di aerei” accomuna ormai tutto il mondo, dalla dichiarazione di “Certificazione tramite analisi” della NASA nel 2009 come sfida per gli aerei del futuro, ai progetti europei di simulazione, fra i quali il programma MAAXIMUS (More Affordable Aircraft through eXtended, Integrated and Mature nUmericaI Sizing) della Commissione Europea, che punta a sfruttare la modellazione predittiva multi-scala per ridurre i tempi di sviluppo del 20%, i costi di sviluppo del 10% e i tempi di assemblaggio della fusoliera del 50%.

Questi approcci avanzati evidenziano un grande diva-

rio fra i risparmi ottenuti con i test virtuali e le potenzialità sul campo.

Per commercializzare a prezzi abbordabili tecnologie per i materiali compositi veramente efficaci (laminati asimmetrici monoasse, ad esempio, che riducono i pesi del 40% rispetto all'alluminio, oppure strutture con topologie ottimizzate che utilizzano fibre discontinue per dimezzare i costi rispetto ai materiali preimpregnati), i produttori di compositi devono risolvere le differenze nella filosofia di progettazione e chiarire il contesto competitivo, per accelerare l'evoluzione verso la simulazione su basi scientifiche, i test virtuali e la certificazione basata sull'analisi.

*community as metals and as cost-competitive to develop, manufacture and certify for flight.*

*The chorus calling for a “new composite structural toolset for expediting aircraft design and development” spans the globe, from NASA’s 2009 declaration of “Certification by Analysis” as a future challenge for tomorrow’s aircraft to European-based simulation efforts, including the European Commission’s MAAXIMUS (More Affordable Aircraft through eXtended, Integrated and Mature nUmericaI Sizing) program, which aims to leverage multi-scale predictive and damage modeling to reduce de-*

*velopment time by 20%, cut development costs by 10%, and enable a 50% improvement in fuselage assembly rates.*

*These advanced approaches highlight the significant distance between the savings being realized via virtual testing and the field’s potential.*

*To affordably commercialize truly enabling composite technologies — single-axis, asymmetric laminates, for example, which boast 40% weight savings versus aluminum, or topology-optimized structures using discontinuous fibers that cut cost 50% versus prepreg — composite manufacturing must resolve differences in design*



CITAZIONI INTERESSANTI

Gli strumenti di simulazione possono aiutare a capire gli aspetti incerti di un progetto e le loro ricadute.

**Dott. R. Byron Pipes**,  
John Bray Distinguished  
Professor of Engineering,  
Purdue University

Sviluppando capacità di simulazione, si possono ridurre i costi dei test da 500 a 100 mila dollari, ad esempio.

**Dott. Mark Anderson**,  
consulente tecnico,  
Los Alamos  
National Laboratory

STATISTICHE INTERESSANTI

50%

Grazie alle simulazioni virtuali, Cobham Life Support ha dimezzato i test distruttivi su un serbatoio per la NASA, risparmiando 500.000 dollari.

1 milione di dollari

Un singolo crash test di una Lamborghini Aventador costa un milione di dollari.

CURRICULUM VITAE

**Ginger Gardiner** vanta 20 anni di esperienza nel settore dei compositi. Scrive per diverse riviste specializzate ed è co-autrice del libro "Essentials of Advanced Composite Fabrication & Repair".

*Ginger Gardiner is a 20-year veteran of the composites industry. She writes for several composites-focused magazines and is a co-author of the textbook "Essentials of Advanced Composite Fabrication & Repair."*



*philosophy, geography and competitive aspirations to accelerate its evolution toward science-based simulation, virtual testing and analysis-based certification.*

*from \$500,000 to \$100,000, for example.*

**Dr. Mark Anderson**,  
Technical Advisor,  
Los Alamos National  
Laboratory

QUOTES TO HIGHLIGHT

*Simulation tools can guide understanding of uncertainty in design and also how it propagates.*

**Dr. R. Byron Pipes**,  
John Bray Distinguished  
Professor of Engineering,  
Purdue University

*By building simulation capability, it is possible to reduce testing costs*

STATISTICS TO HIGHLIGHT

50%

*Using virtual simulations, Cobham Life Support reduced destructive tests on a NASA fuel tank by 50%, saving US\$500,000.*

\$1 Million

*It costs US\$1 million to crash-test a single Lamborghini Aventador.*

Source: Dassault Systèmes Compass Magazine – Spring 2013  
Copyright© 2013 Dassault Systèmes