

FABIO BRESSAN

# PIÙ LEGGERA SI PUÒ?



Ernesto Colnago, presidente dell'omonima fabbrica di biciclette, e Fabio Bressan (a destra) con la bici da corsa modello "president LDV".

Ottimizzazione del peso del telaio ciclistico monoscocca in carbonio attraverso una procedura numerico sperimentale: partendo dal CAD, attraverso il FEM, per concludere con la correlazione dei modelli virtuali e la simulazione dei test di omologazione, si ottiene la riduzione del peso del 20% della struttura del triangolo principale di una bici da corsa

**N**egli ultimi anni l'evoluzione tecnologica nel settore ciclistico ha introdotto considerevolmente l'impiego dei materiali compositi per molti componenti strutturali. Probabilmente l'inserimento di questi materiali pregiati nel mercato ciclistico non è dovuto solamente alla ricerca di migliorie tecniche ma anche a motivi estetici. Purtroppo l'uso o meglio dire l'abuso della fibra di carbonio deve ricordarci che è sempre necessario garantire la sicurezza dello sportivo entro i limiti di utilizzo del mezzo ciclistico. Dopo questa premessa questo articolo potrebbe risultare alquanto provocatorio, perché si

vuole dimostrare che ridurre il peso non sempre significa inficiare caratteristiche come la sicurezza e la rigidità.

Il progetto presentato analizza il metodo con il quale, attraverso uno studio numerico sperimentale, si è ottenuta una riduzione del peso del 20% per la struttura del triangolo principale della bici da corsa modello President realizzata dalla Colnago e prodotta dall'ATR Group.

Lo stato di sollecitazione del telaio sottoposto a carichi differenti è stato determinato attraverso la creazione di un modello numerico agli elementi finiti, che ha permesso di definire in dettaglio le zone maggiormente sollecitate e le probabili cause di cedimento

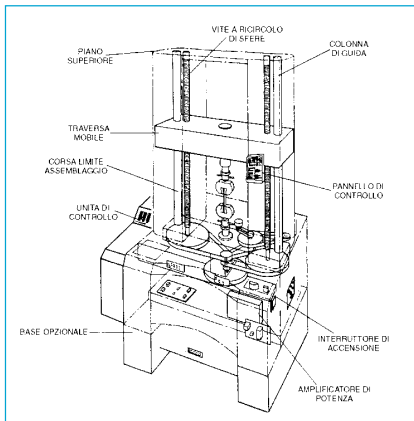
strutturale. Si sono svolte delle prove numerico sperimentali che correlarono i risultati ottenuti dai calcoli FEM (Finite Element Method). Questa metodologia ha permesso, attraverso la classica procedura del VPD (Virtual Product Development), di esplorare nuovi modelli virtuali che avessero queste caratteristiche: minor peso, mantenimento delle stesse performance (rigidità), maggiori coefficienti di sicurezza e fattibilità tecnologica. Sono stati analizzati i fenomeni classici della pedalata e in particolare gli effetti causati da carichi esplorativi sulla forcella anteriore, normalmente indotti da impatti anomali con l'asfalto.

Il risultato ottenuto ha permesso

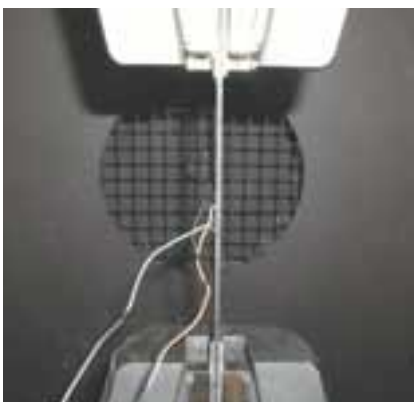
di definire un modello che risultasse più leggero e più sicuro; pertanto al fine di verificare la qualità del prodotto realizzato sono stati condotti due test sperimentali di impatto definiti secondo norma.

## MONOSCOCCA O A TUBI SALDATI

Per comprendere più a fondo il progetto President è bene fare una distinzione tra i telai mono-



1. Macchina di misura Instron.



2. Montaggio di un provino sulla Instron.

scocca e quelli a tubi incollati. Alla domanda "che differenza di performance si può percepire tra le due tipologie?" rispondiamo che quasi sicuramente un tempo l'una scelta poteva essere migliore dell'altra, ma oggi, con il livello tecnologico raggiunto, non si possono distinguere categoricamente le performance di un monoscocca da uno a tubi incollati. Le nuove soluzioni sugli incollaggi promettono e dimostrano, infatti,

che è possibile ottenere comunque soluzioni ottime. Quello che possiamo dire senza entrare nel dettaglio tecnologico è che le soluzioni sono profondamente differenti e spesso impongono al progettista alcuni limiti sul posizionamento del materiale.

Il President è un telaio considerato monoscocca in carbonio, con l'aggiunta del carro posteriore B-Stay Hp; nasce dall'evoluzione di due importanti progetti: dalla monoscocca realizzata in collaborazione con la Ferrari Engineering e dalla C40 (probabilmente la bicicletta più vittoriosa degli ultimi anni) da cui ha ereditato il carro posteriore. ATR GROUP con il dipartimento ATR Engineering e ATR R&D ha soddisfatto la richiesta fatta da Colnago di rendere questo telaio più leggero rispetto al precedente.

L'obiettivo di peso è stato quello di ridurre di 200 g l'attuale progetto agendo unicamente sul tipo di laminazione e potendo solamente cambiare i materiali, l'orientamento delle fibre e ridurre gli strati aggiungendone, invece, dove necessario.

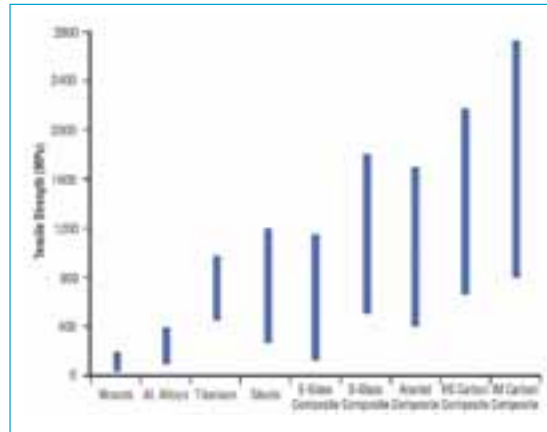
## I MATERIALI COMPOSITI

Quando si realizzano strutture con i materiali compositi si incontrano diversi ostacoli, prima di tutto i limiti tecnologici di processo. In secondo luogo la definizione delle proprietà meccaniche del materiale e la valutazione di aspetti strutturali per geometrie complesse. L'ATR Group dispone di un laboratorio attrezzato per la caratterizzazione del materiale impiegato nel processo. Grazie a strumenti come la Instron modello 5582 (figure 1 e 2) è possibile effettuare prove statiche di trazione, secondo le normative di riferimento (tra le quali l'Astm 3039 e

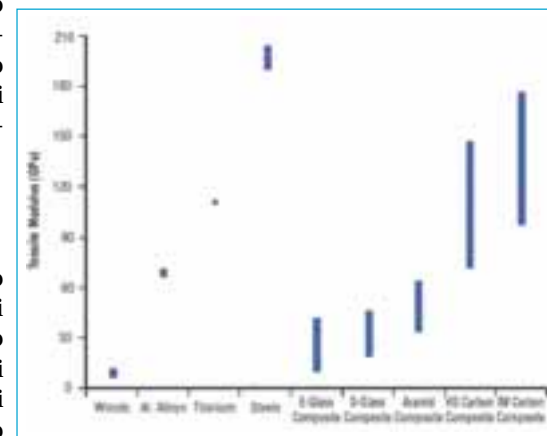
l'Astm 3518). È stato così possibile identificare le caratteristiche meccaniche sufficienti per la compilazione dei codici di calcolo (figure 3 e 4).

Per il telaio in questione sono state impiegate fibre T700 e unidirezionale M40j, mentre per gli inserti metallici Titanio (canotto sella) ed Ergal (tubo sterzo).

Progettare con la fibra di carbonio è differente dal farlo con i mate-



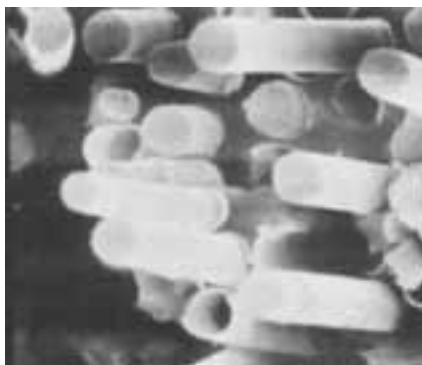
3. Valori di resistenza per differenti materiali strutturali.



4. Valori di rigidezza per differenti materiali.

riali omogenei come le leghe leggere di alluminio, perché bisogna pensare alla struttura considerando che la fibra possiede direzioni principali lungo le quali le caratteristiche meccaniche sono migliori (figura 5).

Il composito è un materiale ottimizzato che possiede qualità ec-



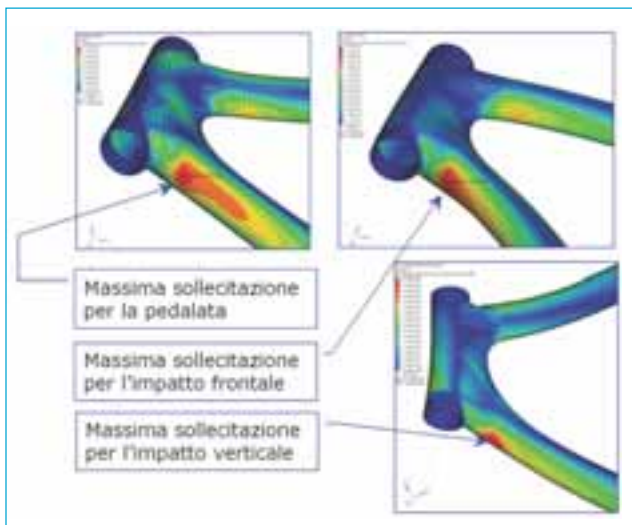
5. Immagine al microscopio digitale della fibra di carbonio.

rio uno studio degli aspetti teorico-matematici relativo ai vantaggi e ai problemi dell'uso di strutture composite. Il parametro di valutazione dello stato tensionale si basa sulle teorie dei *failure criteria* sviluppate appositamente per i materiali compositi. Questo criterio presenta un approccio Ply by Ply secondo il quale ogni lamina appartenente al laminato è completamente distinta dalle altre ed è supposta omogenea ed ortotropa. La criticità tensionale è descritta dal valore numerico del cri-

mente il peso senza mettere in discussione né la resistenza della struttura né i vari aspetti legati alla sicurezza del mezzo. Dai primi risultati sono emerse le zone più sollecitate della struttura, in particolare la zona alta del tubo orizzontale in prossimità del tubo sterzo. Spesso accade che se il tubo dello sterzo è troppo spesso o spigoloso, non flette col resto del telaio, ma penetra nel tubo inferiore. Succede anche con tubi inferiori rinforzati, perché il materiale di rinforzo causa esso stesso un incremento della tensione.

Nel nostro caso le cause che provocavano elevati stress in determinati punti erano propriamente legate alla scelta di laminazione e spessore adottata.

L'analisi numerica ha permesso di notare questa inefficienza focalizzando la zona a rischio (figura 6).



6. Localizzazione delle zone maggiormente sollecitate per tre casi di carico imposti.

cezionali (resistenza, rigidità e leggerezza) e che può ottenere gli stessi risultati e le stesse caratteristiche di un'analogia struttura realizzata in lega leggera ma con un impiego ridotto di materiale.

Il progettista, per ottenere la massima prestazione, deve scegliere il numero di strati e il loro orientamento considerando la geometria dell'oggetto e la tecnologia di produzione di cui dispone.

Il metodo di calcolo attraverso modelli numerici agli elementi finiti (nel caso in esame sono stati utilizzati i software MSC. Nastran come solutore lineare, HyperMesh (Altair) per la modellazione FEM e HyperView (Altair) per l'analisi dei risultati) è una tecnica che permette di ottenere risultati molto soddisfacenti ma, per realizzare un'analisi strutturale, non è sufficiente conoscere i programmi e le loro potenzialità, è anche necessa-

rio compreso in un intervallo da 0 ad 1 oltre il quale si considera il collasso strutturale.

Apparentemente questo approfondimento matematico sembra non aver nulla a che fare con le strutture reali con le quali siamo costretti a confrontarci ma, in realtà, vorrei ribadire come sia fondamentale acquisire una certa competenza per comprendere e distinguere i limiti di resistenza di strutture in composito. Purtroppo il semplice fatto che la fibra di carbonio possieda caratteristiche resistenziali elevate non basta per definirne il reale limite strutturale: ancora oggi nel settore del composito viene concepito un "coefficiente di ignoranza" ed il calcolo strutturale ha il compito di ridurlo al minimo.

L'obiettivo principale della progettazione strutturale del telaio è stato quello di diminuire drastica-

## LA VERIFICA NUMERICO SPERIMENTALE

Per l'attività è stato realizzato un banco di prova che ha permesso una correlazione numerico sperimentale con il primo modello numerico realizzato. La foto in seguito ritrae il banco attrezzato con gli strumenti di rilevazione (figura 7). Esso riproduce un comportamento statico simile a quello proposto da uno dei due test di fatica della normativa europea, i risultati sperimentali degli spostamenti rilevati nei punti A, B (riferiti al grafico di correlazione) hanno convalidato le analisi numeriche. La prova consiste nel caricare la zona dei forcellini anteriori sollecitandoli con una forza orizzontale di entità variabile in una scala da 0 a 80 kgf. In questo modo si è verificata la rigidità del telaio e si è anche accertata la resistenza per l'intervallo di carico imposto.

Alla fine dell'attività, i risultati sono stati confrontati con il nuovo modello alleggerito dimostrando che la nuova soluzione proposta oltre ad essere più leggera del 20% è circa del 20% più rigida rispetto alla condizione di compressio-

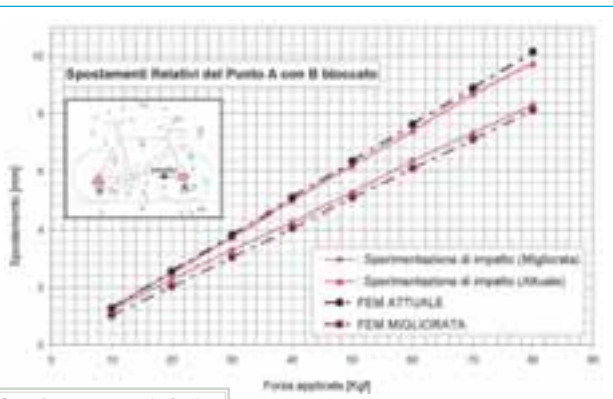
7. Banco di prova per l'analisi sperimentale. Si può osservare la strumentazione adottata per la rilevazione degli spostamenti e delle deformazioni con l'obiettivo di permettere una correlazione con il modello numerico.

- Applicazione di comparatori
- Applicazione di estensimetri (strain)
- Applicazione del carico



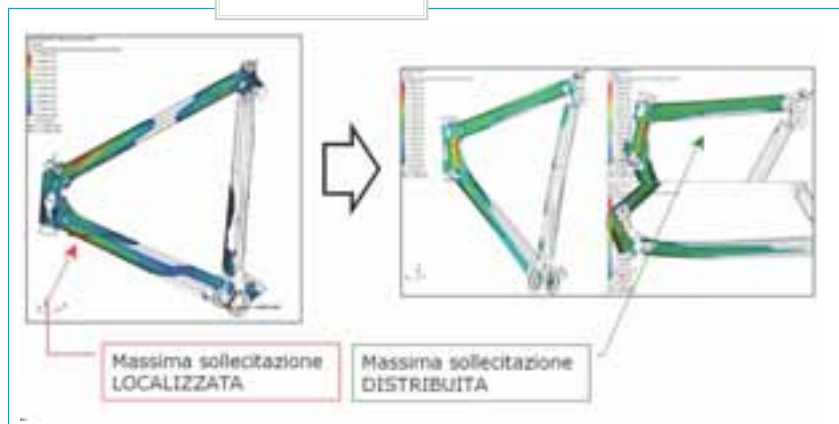
### SOLUZIONI ADOTTATE

Le soluzioni adottate sono legate principalmente ad una scelta opportuna di orientazione delle fibre



8. Confronto tra i dati sperimentali e quelli numerici ottenuti dai modelli FEM: si può constatare con chiarezza la correlazione tra il virtuale e la realtà.

9. Miglioramenti ottenuti sotto l'aspetto della resistenza dopo diversi interventi di ottimizzazione.



ne/trazione degli assi ruota anteriore e posteriore rispetto al piano di marcia. Il grafico di figura 8 descrive e confronta i valori riscontrati nella sperimentazione e nel modello numerico: si evidenzia un'unica discrepanza tra il modello FEM "migliorato" ed i dati sperimentali; infatti nel tratto iniziale per i primi 10 kgf, è presente un residuo di deformazione di circa 0,2 mm, probabilmente indotto da assestamenti di carattere vincolare.

di carbonio. Il modello numerico, dopo essere stato convalidato sperimentalmente, ha permesso di esplorare diverse configurazioni in lay-up. Ogni proposta è stata opportunamente discussa con il tecnologo per identificare quali potessero essere i limiti pratici di realizzazione del modello. I modelli matematici sviluppati hanno il

compito di essere predittivi sia per quanto riguarda la deformazione della struttura dovuta ai carichi imposti sia per quanto concerne la resistenza strutturale. In questo modo si raggiungono in tempi brevi soluzioni avanzate lasciando alla sperimentazione il compito di verificare le prestazioni solo su pochi e ben selezionati prototipi. Il segreto della soluzione progettuale è racchiuso nella particolare scelta di laminazione, opportunamente differenziata sui tubi del telaio. Interpretando il comportamento della deformata e valutando i valori di resistenza è stato possibile distribuire in modo più omogeneo, su tutta la struttura, l'energia di deformazione (figura 9). Ora l'intero telaio reagisce alle sollecitazioni esterne riducendo lo stress di un fattore teorico compreso tra il 25% e il 45%.

### CONCLUSIONI

Le scelte progettuali si sono rivelate soddisfacenti e hanno dimostrato l'efficacia della procedura di sviluppo del prodotto. L'impiego della progettazione virtuale assistita al PC ha permesso di ridurre i modelli sperimentali met-

tendo a confronto solamente tre soluzioni differenti. Il tempo impiegato per il raggiungimento degli obiettivi si è ridotto a soli due mesi di lavoro nel quale sono inclusi i tempi di analisi e quelli di sperimentazione.

F. Bressan (fabio.bressan@email.it).  
[readerservice.it](http://readerservice.it) n. 57