Cilindro a fibre curve per applicazioni aerospaziali

Utilizzando la tecnologia Rapid Tow Shearing (RTS), iCOMAT ha realizzato un cilindro con fibre incurvate di grado aerospaziale ad alte prestazioni, superando le performance di cilindri tradizionali a fibra dritta nei test strutturali e soddisfacendo con successo il suo contratto con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA)

Property	*Units*	*Straight fibre (QI)*	*RTS*	*Δ*
Stiffness	kN/mm	97.0	105.6	**8%**
Buckling load	kN	164.5	204.1	**24%**

Tab. 1

LA SFIDA

I compositi sono uno dei fattori chiave che hanno permesso la riduzione dei vettori del futuro nonché la riduzione del costo delle missioni spaziali. I diversi stadi di un razzo, insieme ai serbatoi di carburante, rappresentano la gran parte della massa strutturale al decollo.

Un lanciatore è essenzialmente composto da sezioni cilindriche a pareti sottili, che sono soggette a carichi di compressione assiali molto alti durante il decollo. Poiché la massa strutturale è un fattore critico per i vettori, per poter massimizzare il carico utile lo spessore della parete è ridotto il più possibile, rendendo così l'instabilità a compressione (buckling) lo sforzo dominante per queste strutture.

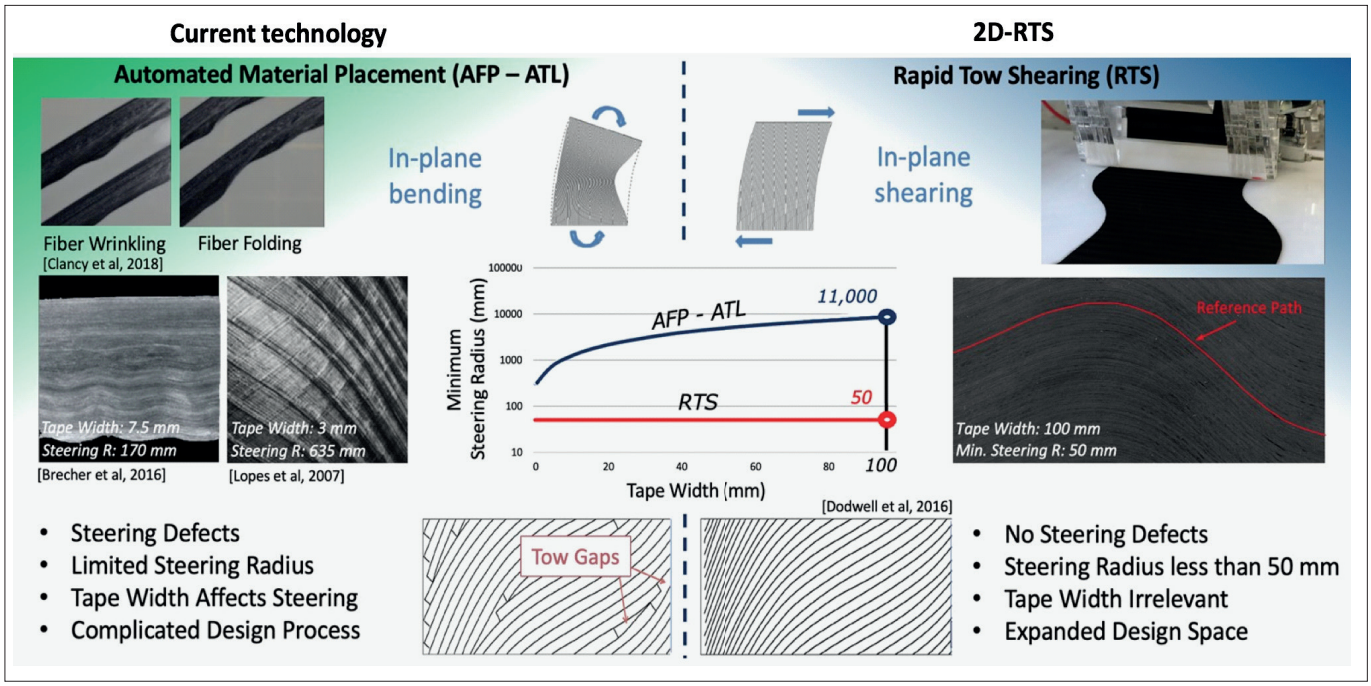
L'insorgenza del buckling in cilindri a pareti sottili soggetti a compressione assiale è estremamente sensibile alle imperfezioni di carico e geometria (per esempio, ovalizzazione). In particolare, le imperfezioni possono condurre a un'ampia dispersione dei carichi di punta e, nel caso peggiore, portare a un'instabilità al 20% del valore predetto dal modello. Ne risulta che la predizione del carico di punta per un cilindro perfetto ottenuta da un modello a elementi finiti è abbattuta da un fattore di sicurezza molto conservativo, che cerca di tenere conto dello scenario peggiore (come si coglie nelle linee guida progettuali NASA SP-8007).

Il NASA Langley research Centre ha dimostrato con vari studi che i compositi con fibra curva (*steered fibre*) hanno le potenzialità per compensare questa sensibilità alle imperfezioni. Tuttavia, fino a questo momento la realizzazione del pieno potenziale della tecnologia di fibre steering è stata ristretta ai processi produttivi allo stato dell'arte, come la deposizione automatizzata della fibra (AFP, Automated Fibre Placement), che hanno una capacità di incurvamento della fibra limitata:

- è necessario l'uso di nastri stretti (tipicamente 3.175 – 6.35 mm)
- raggio minimo di curvatura di circa 500 mm
- si presentano buchi e sovrapposizioni nelle strutture a fibre curvate.

Questa limitata capacità di curvatura delle fibre restringe le possibilità di progettazione e comporta difetti a livello del laminato, il che significa che i benefici teorici non vengono raggiunti nella pratica.

iCOMAT ha sviluppato il Rapid Tow Shearing (RTS) – il primo sistema al mondo di deposizione meccanica della fibra che può incurvare nastri larghi senza i difetti associati ai metodi attuali come AFP o ATL. La curvatura delle fibre espande drasticamente le possibilità di design per componenti in materiali compositi e può migliorare tutti gli aspetti della performance strutturale. A sua volta, ciò permette ai progettisti di ottimizzare i componenti e minimizzare l'uso di materiale, con benefici in termini di peso e costo che possono rivoluzionare l'uso dei compositi nello spazio. In questo contratto, iCOMAT si è posta l'obiettivo di dimostrare sperimentalmente che i cilindri a fibre incurvate prodotti usando il sistema RTS possono superare le prestazioni delle tradizionali fibre dritte e permettere il raggiungimento di prestazioni oltre l'attuale stato

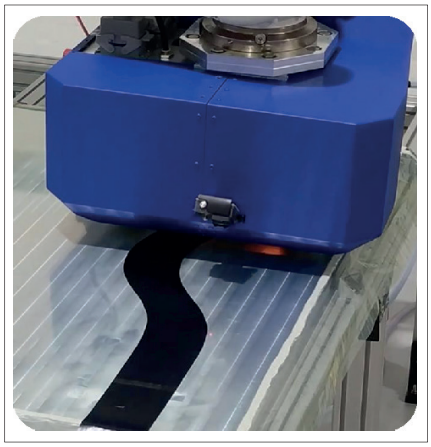


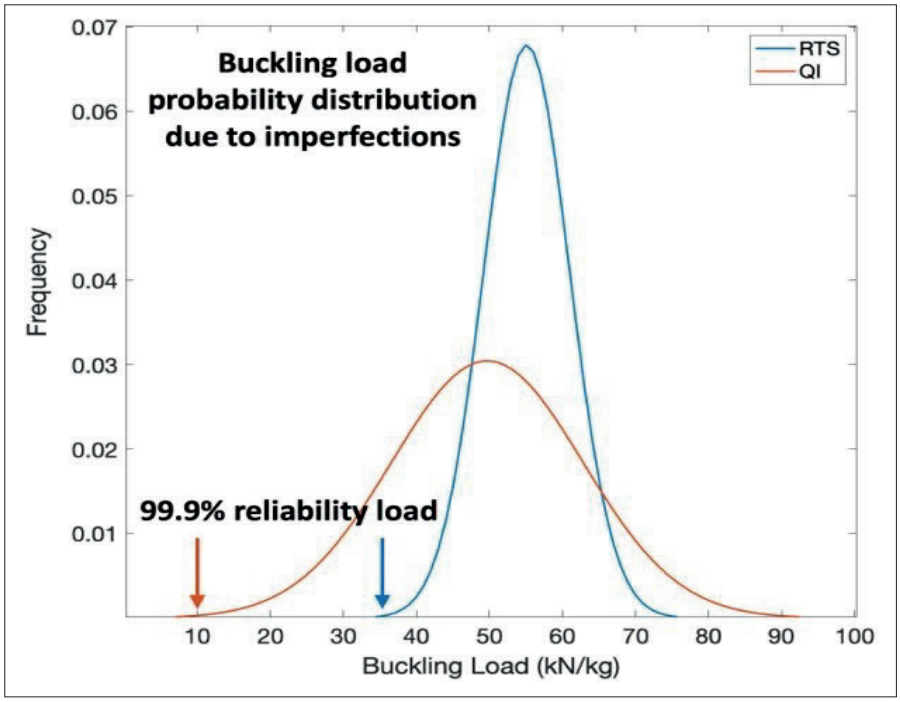
dell'arte, cosa che si traduce in risparmi economici radicali in termini di costi di lancio di razzi.

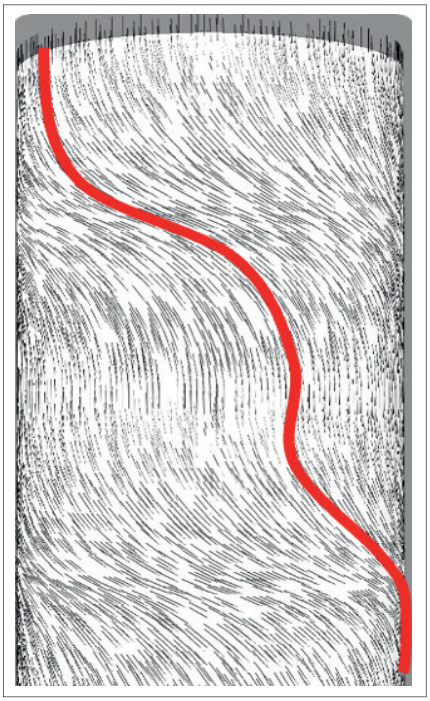
PROGETTAZIONE

Per questo progetto, lo scopo era costruire un modello rappresentativo in scala, basato su una struttura test esistente di lanciatore utilizzata nell'industria, con un diametro di 600 mm e una lunghezza di 1100 mm. Sono stati progettati due cilindri, uno convenzionale, di riferimento, a fibra dritta quasi isotropa (QI) e una versione ottimizzata con tecnologia RTS. L'analisi agli elementi finiti e l'ottimizzazione strutturale sono state eseguite all'Università di Bristol dal gruppo del Dr. Rainer Groh.

A parità di numero di strati utilizzati, il modello in RTS presenta una performance strutturale migliore (in termini di rigidezza e carico di punta) e, inoltre, è meno sensibile alle tipiche imperfezioni nei cilindri in composito – come ondulazione e ovalizzazione della parete. Per tener conto dell'effetto delle imperfezioni, come guida per l'ottimizzazione è stato usato un database di imperfezioni misurate in precedenza su cilindri in composito.







I risultati dell'ottimizzazione hanno mostrato che se si considera il caso carico con affidabilità al 99.9%, come si fa spesso per strutture sensibili alle imperfezioni, rispetto al cilindro QI si ottiene un miglioramento del 300% per questo caso limite.

REALIZZAZIONE

Sono stati depositati 8 layer di prepreg di grado aerospaziale IM7/8552 con la macchina RTS di iCOMAT. Il materiale è stato tagliato in nastri di larghezza 100 mm, che è un formato meno costoso rispetto a quello tradizionalmente usato in AFP ed è stato anche un elemento chiave nell'ottenere tassi di deposizione più alti (fino a 100 kg/h).
Il cilindro è stato realizzato avvolgendo gli strati a fibre curve su di un mandrino di alluminio, così da permettere un controllo accurato della posizione delle giunture. Il pezzo ha avuto un curing in autoclave, seguito da un'impregnatura delle estremità e una lavorazione di precisione. Dopo controlli dettagliati con verifica metrologica tramite CMM e ispezione ultrasonica, sia il cilindro QI che quello RTS sono stati equipaggiati con estensimetri e strumenti di Digital Image Correlation all'Università di Bristol.

RISULTATI

I risultati mostrano che il design tramite RTS può sopportare un aumento del 24% del carico di punta e raggiungere un miglioramento dell'8% in rigidezza rispetto al cilindro con fibre dritte. Inoltre, i comportamenti rispetto a rigidezza e buckling erano stati predetti accuratamente entro un margine del 5% dal modello strutturale a elementi finiti.

"Attraverso quest'attività GSTP di riduzione del rischio finanziata dall'ESA, iCOMAT ha dimostrato che il rapid tow shearing può essere implementato e dar luogo a risultati credibili. Quando matura, questa tecnologia potrebbe rendere possibili strutture in composito per applicazioni spaziali leggere più robuste e performanti di quanto non sia disponibile oggi. In verità, lo spazio è solo uno dei possibili campi di applicazione – si potrebbe dire che le possibilità di iCOMAT sono infinite!"

Dr Shumit Das, ESA Technical Officer

"Abbiamo una missione, che è sbloccare le prestazioni dei compositi per il settore aerospaziale, rendendo possibili prodotti che sono più leggeri e performanti rispetto a quelli che abbiamo oggi.
Vorremmo ringraziare UKSA, ESA e il gruppo del Dr. Groh. Il loro supporto durante questo progetto è stato inestimabile nel realizzare il nostro contributo al settore spaziale."

Dr Evangelos Zymperloudis, CEO di iCOMAT

IMPATTO

La tecnologia RTS semplifica il processo di progettazione e, riducendo la necessità di affidarsi a complicati scenari statistici e restringendo la variabilità dei possibili esiti, porta infine a soluzioni più leggere e robuste. Oltre a questo, le soluzioni RTS possono fornire miglioramenti in doppia cifra per quanto riguarda rigidezza e carico di punta. Questi benefici sono amplificati in strutture complesse con intagli e inserti, dove l'incurvamento delle fibre intorno a questi dettagli ha mostrato che la tecnologia RTS può offrire risparmi in peso superiori al 30%.
Questo lavoro è un passo importante per iCOMAT nella prospettiva di posizionarsi come fornitore di soluzioni per il settore spaziale, in strutture che comprendono sia lanciatori che payload.

PROSSIMI PASSI

Questo progetto ha realizzato un'azione di riduzione del rischio di una tecnologia radicalmente differente, sia in termini di processo di produzione che di metodi di progettazione e simulazione, dimostrando significativi benefici strutturali e compatibilità con materiali e processi esistenti nel campo dei compositi.
iCOMAT è in trattativa con produttori OEM per un riscalamento verso l'alto della tecnologia e trasferirne i vantaggi ad altre applicazioni spaziali, come pannelli per satelliti, tubi e riflettori ottici dove il risparmio di massa e il guadagno di spazio sono preziosi. Con la sua tecnologia che supera lo stato dell'arte, un team in rapida crescita e strutture in espansione, iCOMAT è pronta a supportare i suoi clienti nello sviluppo della prossima generazione di strutture spaziali più leggere, più robuste e più economiche.

Aerospace grade fibre-steered cylinder

Using Rapid Tow Shearing (RTS), iCOMAT has manufactured a high-performance aerospace-grade fibre-steered cylinder, outperforming a conventional straight fibre cylinder in a structural test and successfully delivering its contract for the European Space Agency (ESA)

THE CHALLENGE

Composites are one of the key enablers to decrease the weight of future launch vehicles and reduce the cost of space missions. The different stages of a rocket, along with the propellant fuel tanks account for the bulk of take-off structural mass.

A launch vehicle is mostly comprised of thin-walled cylindrical sections which are subjected to very high axial compression loads during take-off. As structural mass is at a premium for launch vehicles, in order to maximise payload, the wall thickness is reduced as much as possible, making compression buckling the dominant load case for these structures.

The onset of buckling in axially compressed thin-walled cylinders is extremely sensitive to loading and geometric imperfections (e.g., ovalisation). In particular, imperfections can lead to a large spread of buckling loads, and in the worst case, lead to buckling at 20% of model predictions. As a result, the buckling load prediction of a perfect cylinder in an FE model is "knocked-down" by a very conservative safety factor that attempts to account for the worst-case scenario (as captured in the NASA SP-8007 design guideline).

The NASA Langley Research Centre has demonstrated through various studies that fibre-steered composites have the potential to ameliorate this sensitivity to imperfections. However, until now, realising the full potential of fibre-steered designs has been restricted by the state-of-the art manufacturing processes such as Automated Fibre Placement (AFP), which have limited fibre steering capability:

- require the use of narrow tapes (typically 3.175 – 6.35mm)
- minimum steering radius of ~500 mm
- gaps and overlaps in steered structures.

This limited fibre steering capability restricts the design space and results in defects at the laminate level, meaning that the theoretical benefits are not realised in practice.

iCOMAT has developed Rapid Tow Shearing (RTS) - the world's first automated deposition machine that can steer wide tapes without the defects associated with current methods such as AFP or ATL. Fibre-steering expands drastically the design space for composite material components and can improve all aspects of structural performance. This, in turn, allows designers to optimise components and minimise material usage with weight and cost benefits that can revolutionise the use of composites in space. In this contract, iCOMAT set out to experimentally prove that fibre-steered cylinders produced using RTS can outperform the straight-fibre baseline and unlock beyond-state-of-the-art performance which can translate into drastic economic savings, in terms of the launch cost of vehicles.

DESIGN

For this project, the aim was to manufacture a representative scale geometry, based on an existing development launcher structure used in industry with a diameter of 600 mm and a length of 1100 mm. Two cylinders were designed, a traditional Quasi-Isotropic straight fibre baseline and an optimised RTS version. The Finite Element Analysis and structural optimisation was carried out at the University of Bristol by Dr. Rainer Groh's team.

Using the same number of plies, the RTS design has higher structural performance (stiffness and buckling load) as well as being less sensitive to the typical imperfections seen in composite cylinders – such as wall waviness or ovalisation. To account for the effect of imperfections, a databank of previously measured imperfections on composite cylinders was used to inform the optimisation model.

The optimisation results showed that

if a 99.9% reliability load is considered, as is often done for imperfection-sensitive structures, a 300% increase in this worst-case design load is achieved compared to the QI cylinder.

MANUFACTURING

8 layers of IM7/8552 Aerospace grade prepreg were deposited with iCOMAT's RTS machine. The material was slit to 100mm wide tapes, which is a lower-cost format compared to traditional AFP and is also a key enabler for higher deposition rates (up to 100 kg/ hour).
The cylinder was manufactured by roll-wrapping the steered plies over aluminium mandrel, allowing accurate control of joint position through the stack. The component was autoclave cured, followed by end- potting and precision machining. After detailed CMM metrology and ultrasonic inspection, both QI and RTS cylinders were fully instrumented with strain gauges and Digital Image Correlation at the University of Bristol.

RESULTS

The results show that the RTS design can achieve a 24% increase in buckling load and an 8% improvement in stiffness compared to the straight fibre cylinder. Furthermore, both stiffness and buckling behaviours were accurately predicted to within 5% by the structural Finite Element Model.

"Through this ESA funded GSTP de-risk activity, iCOMAT has demonstrated that rapid tow shearing can be implemented to achieve credible results. When matured, this could enable more robust and higher performing composite structures for lightweight space applications, than what is available today. In fact, Space is only one of the possible fields of application – one could say the sky is the limit for ICOMAT!"
Dr Shumit Das, ESA Technical Officer

"We are on a mission to unlock the performance of composites for the space sector, enabling products which are lighter and perform better compared to what is possible today. We would like to thank UKSA, ESA and the team of Dr Groh. Their support through this project has been invaluable in establishing our offering for the space sector."
Dr Evangelos Zymperloudis, iCOMAT CEO

IMPACT

RTS simplifies the design process and reducing the reliance on complex statistical scenarios and narrowing the spread of possible outcomes, ultimately leading to lighter, robust designs. In addition to this, the RTS designs can provide double-digit improvements in buckling load and stiffness.
These benefits are amplified in complex structures with cut-outs and inserts, where steering fibres around these features has shown that RTS can provide 30% + weight savings.
This work is an important step for iCOMAT in positioning itself as a solution provider for the space sector, for both launcher and payload structures.

NEXT STEPS

This project has de-risked a radically different technology, both in terms of manufacturing process and design/simulation methods, demonstrating significant structural benefits and compatibility with existing materials and composites processing. iCOMAT is in discussion with OEMs to scale-up and transfer the benefits to other space applications, including satellite panels, central tubes and optical reflectors where mass savings and expanded design space are invaluable. With its beyond state-of-the-art technology, rapidly growing team and expanded facilities, iCOMAT is ready to support its customers in developing the next generation of lighter, stronger and cost-effective space structures.