



Pierluigi Ferri, Elmira

## Flax, titanium and bio-epoxy for the future bicycle

### Background: why flax-bio-resin

The company Revolution Frames (Kent, UK) has recently designed and realised a new type of racing bicycle which is to be considered not only an innovation but also a step toward the implementation of composites in the cycling industry. The founder, David Protheroe, with the support of Elmira (Sheffield, UK), decided to use the SuperCoral Flax Bio-Epoxy Prepreg in combination with titanium lugs for the realisation of the model frame. His design has allowed the use of flax in a structure as complex as the racing bicycle one – this has successfully passed the safety standard for racing bicycles: EN14781.

However, why changing from the usual standard materials selected in the industry such as steel or carbon fibre?

Mr. Protheroe is a believer of the environment derived materials: "My perception of the current manufacturing industry is that the new environment derived

materials will break through in the next future. Besides, the need to cut CO<sub>2</sub> emissions becomes more and more important if we are to protect and preserve our and the planet future." In fact, the idea behind is to leave space in the industrial manufacturing to the use of plant based

fibres, which compared with the synthetic counterparts are the result of less produced energy (and CO<sub>2</sub>) during the manufacturing process. If instead, the more traditional materials such as steel should be considered, then it is not only the higher energy consumption



Pierluigi Ferri, Elmira



## Lino, bio-epossidica e titanio per la bicicletta del futuro

### Perché resina bio?

L'azienda Revolution Frames (Kent, UK) ha progettato e realizzato un nuovo tipo di bicicletta da corsa, la quale è da considerarsi non solo un modello d'innovazione ma anche un passo verso l'integrazione dei compositi nel settore del ciclismo. Il fondatore, David Protheroe, con il supporto di Elmira (Sheffield, UK), ha deciso di utilizzare il SuperCoral PrePreg in lino in bio-epossidica, in combinazione con giunti in titanio per la realizzazione del modello di telaio. Il suo progetto

ha consentito l'uso del lino in una struttura complessa come quella della bicicletta da corsa – il modello ha passato lo standard sulla sicurezza delle biciclette da corsa: EN14781.

Ma tuttavia, perché sostituire i soliti materiali usati come standard nel settore ciclistico come l'acciaio o la fibra di carbonio? Mr. Protheroe crede nei materiali di derivazione ecologica: "La mia percezione del corrente settore manifatturiero è che i nuovi materiali provenienti dalla natura

rappresentano il futuro. Inoltre, la necessità di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> diventa sempre più importante se vogliamo proteggere e preservare il nostro e il futuro del pianeta." Infatti, l'idea è di lasciare spazio nella produzione industriale all'uso di fibre vegetali, che rispetto alle concorrenti sintetiche sono il risultato di meno energia prodotta (quindi CO<sub>2</sub>) durante il processo di fabbricazione. Se invece, materiali più tradizionali come l'acciaio venissero considerati, allora non solo il maggior

consumo energetico durante la fabbricazione di questo dovrebbe essere considerato, ma anche il fatto che il lino potrebbe offrire un peso inferiore con una densità sei volte più leggera.

Protheroe rinforza la sua idea affermando anche che "Il mio progetto si concentra sul dimostrare che esistono materiali ecocompatibili, non che possano competere con qualsiasi altro materiale, ma che possano dimostrare che sono materiali utilizzabili normalmente in molteplici applicazioni."

during this material manufacturing process that has to be of concern but also that the flax will offer a lower weight with a six times lighter density.

Protheroe advocates its point by stating that "My project is about showing that there are environmentally friendly materials breaking through, that are not about competing with any other material but can stand alone and be taken seriously for many applications."

Additionally, only after an initial experience with building bamboo based bicycle he has realised that the use of the treated flax fibre was the most resistant natural materials to use. He says: "Bamboo", which in the bicycle industry is the alternative green material of choice by the independent manufacturers, "I do not think it is the right material for bicycle frames mass production. Although this is a fantastic material for its strength and sustainability, there exist a variable hard to control coming with it: bamboo is a living plant; it can be cut and dried but remain a porous structure which absorbs moisture and therefore would expand and contract according to the environment conditions, influencing in such a way the structural mechanical properties of the finished part. The way bamboo bicycle frame builders prevent this is to seal the bamboo inside and out with a lacquer. This feel is acceptable but still there have not been enough studies that guarantee the bamboo impermeability, and consequently its structural integrity, even after this treatment." The likely change in properties depending on the amount of absorbed moisture was

already mentioned in more than one publication which demonstrated how this factor in the bamboo cortex decreases the overall mechanical properties

The Flax-Bio-resin tubing is instead a composite where the strength and stiffness of this material is durable, environment resistant, and its impregnation quality is checked by rigid controls imposed by the manufacturer.

### Manufacturing process

Opening a window to the manufacturing process behind this realisation, we can see four steps: pre impregnation of the flax UD by Elmira's supplier; rolling and curing of the prepreg into hollow circular tubes through filament winding process; manufacturing of the titanium lugs by Mr. Protheroe's supplier; and assembly of the tubes and lugs together.

Prepregging is made with Bcomp's ampliTex® unidirectional flax fabric and the SuperCoral matrix - a CNSL and vegetable oil epoxy system by Composite Technical Services (Ohio, USA). Tubing is then roll wrapped around specific sized mandrels, which is then compressed using shrink tape and oven cured; the tubing is consequently ground smooth to chosen outside diameter and then lacquered.

The flax bio-epoxy prepreg tubes are assembled with the titanium lugs and the part is consolidated with a high-strength epoxy based adhesive. This final step takes from one to two days,



*Ulteriormente, solo dopo una prima esperienza con la costruzione della bicicletta in bamboo, ha realizzato che l'uso della fibra di lino trattata è il materiale naturale più resistente da utilizzare. In quanto sostiene: "Il bambù", che nel settore della bicicletta è il materiale alternativo ecologico di scelta da parte dei produttori indipendenti, "non credo che sia il giusto materiale per la bicicletta per quanto concerne produzioni di larga serie. Benché questo sia un materiale notevole per la sua forza e sostenibilità esiste una variabile difficile da controllare che viene con esso: il bambù è un organismo vivente; può essere tagliato e essiccato ma rimane una struttura porosa che assorbe umidità e che quindi può espandersi e contrarsi in base alle condizioni ambientali; in tal modo è in grado di influenzare le proprietà meccaniche strutturali del pezzo finito. Il metodo usato dai costruttori di bicicletta con telaio in bambù per evitare questo inconveniente è quello di laccare il bambù.*

*Questa soluzione può essere accettabile ma ancora non ci sono stati studi sufficienti che garantiscono l'impermeabilità del bambù anche dopo questo trattamento, e conseguentemente la sua integrità strutturale."*

*Probabili cambiamenti delle proprietà meccaniche a seconda della quantità di umidità assorbita erano già stati avanzati in più di una pubblicazione in cui veniva dimostrato come questo fattore possa influire sulla struttura delle cortecce del bambù.*

*Il tubo di lino e Bio-resina è invece un materiale composito la cui forza e rigidità è durevole e resistente all'ambiente; mentre, la relativa qualità di manifattura viene assicurata tramite controlli rigidi imposti dal costruttore.*

### Processo produttivo

*Aperto una finestra sul processo di produzione dietro a questa realizzazione, possiamo vedere quattro fasi: preimpregnazione del lino UD da parte del fornitore di Elmira; preparazione e indurimento del preimpregnato in tubi cavi circolari attraverso il processo di avvolgimento continuo; produzione dei giunti in titanio da parte del fornitore del Sig. Protheroe; e il montaggio dei tubi e giunti assieme.*

while receiving the necessary supplies can take up to three to four weeks. Therefore, the overall manufacturing process is relatively easy and with the right supply and chain organisation it can be shifted to an industrial operation aiming at the production of several bicycles per day.

Lastly, but as much of importance, the overall safety of each bicycle would be made controlled through the EN 14781 safety standard – according to which, the bicycle is subjected to impact and cyclic compressive stresses.

### The design

What has majorly influenced Mr. Protheroe's design when comparing the application of the industry standard carbon unidirectional T700?

Flax has a density of 1.35 g/cm<sup>3</sup> and carbon of 1.75g/cm<sup>3</sup>, but more flax is needed for the same application due to the difference in the stiffness

modulus. Also, because of the inclusion of the titanium, the flax-titanium frames are about 1.8kg competing easily with aluminium on weight, but not with the carbon-made ones of about 1kg. Most carbon frames use a thickness wall of around 1-1.5mm, while the flax tubing is almost twice as thick (2.75 mm). However, such dimension has been only an experimenting one so far, based on the data sheets of each fibre, rather than

the actual pre-impregnated material." However, from now on Mr. Protheroe will be able to use also the mechanical properties found for the bio-epoxy pre-impregnated flax UD, which under a three points bending flexion (using a three-layers laminate) has resisted to 278MPa; when, the general flexural strength coming with a carbon UD T700 prepreg is of about 1700MPa.

Therefore, the bicycle, despite very successful so far, is still a work under process and its design can be made even cheaper and efficient through a wiser use of the amount of material.

Mr. Protheroe states that "My idea is not to hover over computational simulations, but more to go about the right feeling and safety that can be



*La preimpregnazione è fatta con ampliTex®, tessuto in lino unidirezionale di Bcomp e la matrice SuperCoral – un sistema in epossidica a base di CNSL e oli vegetali formulato e fornito da Composites Technical Services (Ohio, USA).*

*I tubi vengono avvolti intorno a mandrini di dimensioni dedicate, per poi venire compressi con del nastro shrink e curati in forno; infine questi vengono levigati fino a ottenere il diametro esterno di scelta e poi laccati.*

*I tubi di preimpregnato in lino e bio-epossidica sono poi assemblati con i giunti in titanio e la parte viene consolidata con l'uso di un adesivo di base epossidica ad alta resistenza.*

*Questo ultimo processo richiede da uno a due giorni, mentre le forniture necessarie possono*

*richiedere fino a tre o quattro settimane. Pertanto, il processo di fabbricazione complessivo è relativamente semplice e con una catena di rifornimenti ben organizzata può essere trasformato in un'operazione industriale orientata alla produzione di diverse biciclette al giorno. Infine, benché altrettanto importante,*

*la sicurezza complessiva di ogni bicicletta verrebbe controllata attraverso lo standard di sicurezza EN 14781, secondo il quale la bicicletta è sottoposta a urti e stress in compressione in fase ciclica.*

### La progettazione

*Cosa ha influenzato maggiormente il disegno del Sig. Protheroe se messo in diretto confronto con l'uso dello standard di riferimento*

*usato nel settore della bicicletta: il T700 unidirezionale in carbonio?*

*Il lino ha una densità 1,35 g/cm<sup>3</sup> e il carbonio di 1.75g/cm<sup>3</sup>, ma su una stessa applicazione è necessario più lino a causa della differenza del modulo di rigidità. Inoltre, a causa dell'inclusione del titanio, i telai in lino e titanio sono circa 1,8 kg, di facile comparazione con l'alluminio in termini di peso, ma non con quelli realizzati in carbonio di circa 1 kg.*

*La maggior parte dei telai in*

achieved through trials and errors; i.e. build something and if it does not work rebuild it and test to a point where you are happy."

For instance, Mr. Protheroe is planning to take a different approach to design the down tube of the frame, which is the point under the highest level of twisting due to its proximity to the crank/paddles. In this direction, he will study the best ratio between tube diameter and tube-wall thickness – necessary to impact on the overall strength-to-weight ratio. He says "Increasing diameter of tubing will always make a tube "stiffer" than increasing wall thickness; so, coming to a happy medium of size and wall thickness is something I am still

experimenting with."

The use of the SuperCoral Flax prepreg inherently has also led to a final structure capable of damping a wide range of vibrations caused along the ride. The molecular structure of both the fibre and the bio-epoxy accounts for absorbing the energy waves to which the frame is subjected to.

In the fibre, the flexible movement of the main polymer chain that makes up its structure, the cellulose, works on absorbing such energies. In the bio-epoxy, solidly linked molecular chains offer a tougher structure capable of efficiently dissipating the impacting energy waves over the entire structure by means of its chemical bonds uniformly. Such contribution is meant to

*carbonio utilizzano una parete dello spessore di circa 1-1.5 mm, mentre il tubo di lino è quasi il doppio dello spessore (2,75 mm). Tuttavia, tale dimensione è stata*

*solo sperimentale ad oggi, e solo sulla base delle schede tecniche di ciascuna fibra, piuttosto che dello stesso materiale preimpregnato." Tuttavia, d'ora in poi, il Sig. Protheroe potrà utilizzare anche le proprietà meccaniche che sono state recentemente trovate per il preimpregnato in lino UD con resina bio-epossidica, che sotto una flessione su tre punti (in tre strati di laminato) ha resistito a 278MPa; quando invece la resistenza alla flessione con un prepreg in carbonio UD T700 è di circa 1700MPa.*

*Pertanto, benché la bicicletta abbia avuto un certo successo finora*

*è ancora un lavoro sotto processo e il suo disegno può essere reso ancora più economico ed efficiente grazie a un uso più controllato della quantità di materiale.*

*Sig. Protheroe sostiene che "La mia idea non è quella di bloccarsi su simulazioni computazionali, ma più cogliere la sensazione e il livello di sicurezza giusto attraverso tentativi ed errori; quindi: costruire qualcosa e se non funziona ricostruirlo e testarlo fino a un punto soddisfacente."*

*Ad esempio, il Sig. Protheroe sta progettando di adottare un approccio diverso per la progettazione del tubo obliquo del telaio, che è il punto sotto il massimo livello di torsione a causa della sua vicinanza con il meccanismo a pedali. In questo senso, si esaminerà il miglior rapporto tra il diametro*



create a frame that shields the rider from the energies caused along the ride and bringing a more comfortable sensation. When instead we analyse the use of the lugs, these are to enable the frame to be stiff enough and to eliminate any stress rises. Therefore, the overall bicycle structure becomes missing part: both a comfortable and safe vehicle. Surely, this is a clever step helping toward the integration of an innovative material such as the flax bio-epoxy prepreg. Surely, this is a clever step both a comfortable and safe vehicle helping toward the integration of an innovative material such as the flax bio-epoxy prepreg.

## Conclusions

In conclusion, Protheroe mentions that "If the frames can pass industry standards then pushing forward and experimenting more is the way to go. There is still some additional research and testing to be done with flax bicycle frames but at the moment things look positive for the materials in use and going forward I can only see more companies looking to use the same for a more eco alternative to carbon and glass." Overall the project has demonstrated that the use eco-friendly materials can be well adopted even for complex structures such as racing bicycles (subjected to dynamic stresses continuously) and this is thanks to an ongoing improvement coming with the inherent structural design.

In the next period, Protheroe will be interested in advancing in the complexity of its structure by working on a new 50% flax /50% carbon prototype. Not only, but he will also want to work on the integration of flax composites lugs, substituting the use of titanium. Therefore, the idea will be that of supporting the main stresses on the bike by using flax. Surely, we are just looking forward to its forthcoming results.

## References

1. Darshil U. Shah, Peter J. Schubel, Mike J. Clifford. (2013). Can flax replace E-glass in structural composites? A small wind turbine blade case study. Composites. - (B).
2. Ahmad, Mansur. (2000). Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials. Available: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08212000-10440027/>. Last accessed 23rd Nov 2014.
3. Chew, L.T., S. Rahim, and K. Jamaludin. 1992. Bambusa vulgaris for urea and cement-bonded particleboard manufacture. Journal Tropical Forest Science 4(3): 249-256.
4. Richard Grzanka. (2013). The greening of carbon fibre manufacture. Available: <http://www.reinforcedplastics.com/view/35788/the-greening-of-carbon-fibre-manufacture/>. Last accessed 23rd Nov 2014.
5. Ignacio Hidalgo Laszlo Szabo Ignacio Calleja Juan Carlos Císcar Peter Russ Antonio Soria. (2013). Institutur for prospective technological studies. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions from the world iron and steel industry.

## ABOUT THE AUTHOR

**Pierluigi Ferri**, Graduated in Engineering with specialisation in bio-mechanics and tissue engineering at the University of Sheffield (UK). Researcher for The Times on the new edition of "The Times Top 100". Business Development at Elmira Limited (Sheffield, UK).

**Pierluigi Ferri**, Laureato in Ingegneria con specializzazione in bio-meccanica e ingegneria dei tessuti all'Università di Sheffield (UK). Ricercatore per la nuova edizione del Times Top 100. Attualmente si occupa dello sviluppo commerciale di Elmira Limited (Sheffield, UK).

*del tubo e lo spessore della parete del tubo - necessario per influire sul rapporto finale forza-peso.*

*Il Sig. Protheroe sostiene "aumentare il diametro del tubo porterà sempre a un sistema più 'rigido' che aumentare lo spessore della parete da sola; al momento, sto ancora sperimentando come arrivare a una via di mezzo tra le dimensioni e lo spessore della parete."*

*L'uso del SuperCoral prepreg in lino intrinsecamente ha portato anche ad una struttura finale capace di smorzare una vasta gamma di vibrazioni causate durante la corsa. Infatti, la struttura molecolare sia della fibra che della bio-epossidica porta ad assorbire le onde di energia alle quali la bicicletta è soggetta.*

*Nella fibra, il movimento flessibile della principale catena polimerica componente la complessiva struttura, la cellulosa, agisce nell'assorbire tali energie. Nella bio resina epossidica, le catene molecolari sono saldamente collegate offrendo una struttura più compatta in grado di dissipare efficacemente le onde di energia impattanti attraverso i propri legami chimici sull'intera struttura in modo uniforme.*

*Tale contributo è mirato a creare un telaio che protegga il corridore dalle energie causate lungo la corsa, e che porti a una sensazione più confortevole allo stesso tempo. Quando invece si analizza l'uso dei giunti, questi consentono al telaio di essere sufficientemente rigido e di eliminare accumuli di stress."*

*Pertanto, la struttura complessiva della bicicletta viene trasformata sia*

*in un veicolo comodo che sicuro.*

*Sicuramente, questo è un passo intelligente per aiutare l'integrazione di un materiale innovativo, quale il prepreg in lino e bio-epossidica.*

## Conclusioni

*In conclusione, Protheroe afferma che "se questo tipo di telaio può passare gli standards del settore, quindi spingere in avanti e sperimentare ancora di più è la strada da percorrere.*

*C'è ancora ricerca e ci sono ulteriori test da fare con telai in lino e titanio ma in questo momento le cose sembrano buone e andando avanti posso solo vedere più aziende che provino a utilizzare lo stesso per un'alternativa più eco al carbonio e vetro".*

*Nel complesso il progetto ha dimostrato che l'uso di materiali derivati da fonti rinnovabili può essere ben adottato anche per strutture complesse come le biciclette da corsa (sottoposte continuamente a sollecitazioni dinamiche), grazie ad un miglioramento continuo attraverso il relativo disegno strutturale.*

*Nel futuro, Protheroe sarà interessato ad avanzare nella complessità della sua struttura lavorando su un nuovo prototipo con 50% lino / 50% di carbonio. Non solo, ma anche vorrà lavorare sull'integrazione dei giunti in composito di lino anziché titanio - quindi l'idea sarà di usare il lino per sostenere gli stress principali sulla bicicletta. Sicuramente, non vediamo l'ora di vedere i suoi prossimi risultati.*