

Developments and improvements in the usage of pitch carbon fiber through a new generation of innovative fabrics



P. Grati

*Paolo Grati, Luca Grati, Anna Lancerotto - GP Marketing Consulting

BACKGROUND: WHY ARE PITCH FIBERS SO UNIQUE?

Pitch has a high carbon content ratio, maintaining chemical stability of composite materials. It has a structure in which graphite plates are highly oriented in the vertical direction of the fiber. This results in materials that are lightweight, high in stiffness, with a high thermal conductivity, and ultra-low coefficient of thermal expansion. In order to take full advantage of the high modulus pitch-based carbon fibers, the main functional characteristics to be considered are their peculiar chemical properties, which include higher acid and alkali resistance, as well as higher elevated-temperature air resistance than PAN-based carbon fibers. It's also worth mentioning their excellent thermal behaviour in terms of high thermal conductivity

and low coefficient of thermal expansion, and their electromagnetic properties, such as high electrical conductivity (magnetic shielding effect) and large X-ray transmission, a key factor for

many medical equipment. The same applies to the electric resistivity, which results in a faster energy dissipation. In this respect, one of the most significant tests

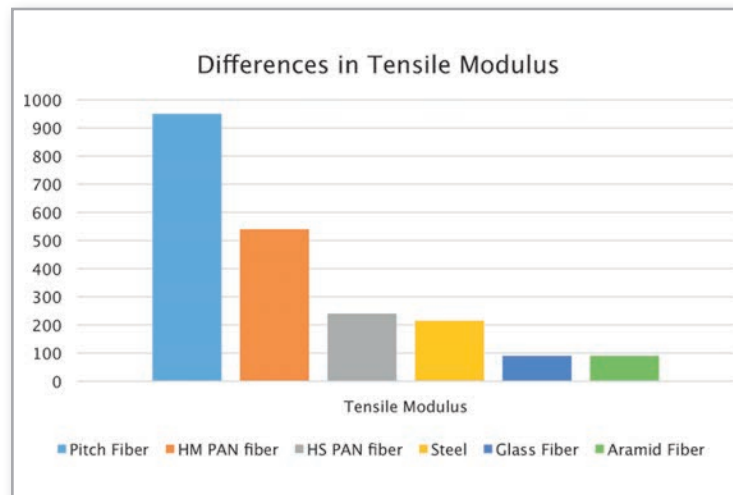


Chart 1 shows a comparison of modulus between pitch fiber with some traditional materials and other composite fibers used in the advanced industrial sector to a great extent. Nel grafico 1 è riportato un confronto in modulo tra le fibre da pitch, alcuni materiali tradizionali e altre fibre composite largamente utilizzate nei settori industriali avanzati.

Migliorare ed ampliare l'utilizzo delle fibre da pitch attraverso una nuova generazione di tessuti innovativi

*Paolo Grati, Luca Grati, Anna Lancerotto - GP Marketing Consulting

UNA PREMessa: PERCHÉ LE FIBRE DA PITCH SONO COSÌ PECULIARI?

Le fibre da pitch hanno un'altissima concentrazione di carbonio e presentano una struttura in cui le lamelle di grafite sono altamente orientate nella direzione longitudinale della

fibra, ottenendo così caratteristiche peculiari come elevata rigidità e conducibilità termica, coefficiente di dilatazione termica estremamente basso, conservando la leggerezza tipica dei manufatti in fibra di carbonio.

Per poter sfruttare a pieno le fibre di carbonio ad alto modulo a base pitch, oltre alle proprietà più note, occorre tenere presente le sue particolari caratteristiche chimiche, tra cui una maggiore resistenza agli attacchi degli acidi e alcali e all'aria ad alta temperatura rispetto alle fibre di carbonio a base PAN, l'eccellente conducibilità termica e il coefficiente negativo di espansione termica, oltre alle proprietà elettromagnetiche, come l'alta conducibilità elettrica

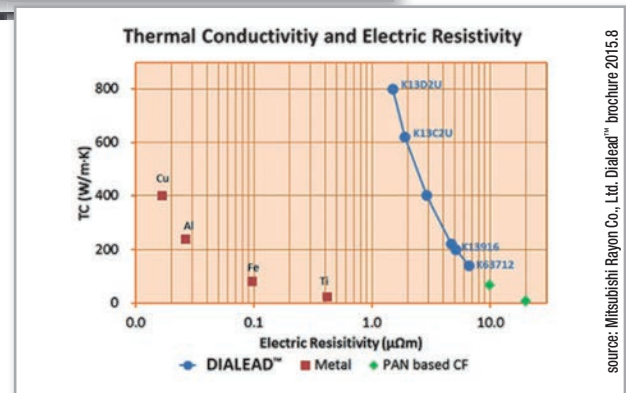


Chart 2 shows the high thermal conductivity values compared with more traditional materials considered highly conductive. For this reason, parts made with pitch fibers experience a faster and more uniform heat distribution. Il grafico 2 riporta gli elevati valori di conducibilità termica in confronto a materiali tradizionali considerati altamente conduttivi. Per questa ragione, nei manufatti prodotti con le fibre da pitch, la distribuzione del calore è più veloce ed uniforme.

(effetto barriera) e ampia trasmissione dei raggi x, un fattore di primaria importanza per molte apparecchiature mediche. Lo stesso vale per la bassa resistività elettrica,

performed is the lightning test, as shown in the following pictures (fig. 1), where a thin pitch fiber layer is added on top of a carbon plate and submitted to a simulation of a lightning strike. The reduced damage, compared with a PAN-based outer layer is evident, as the extremely low resistivity allows the electrical charge to disperse over the surface and quickly transfer the energy of the lightning strike away from the strike zone.

Another important aspect is the excellent capacity to damp vibrations, granting an improvement of fatigue performances and noise reduction in many components (aircraft panels, car roofs...) and allowing a higher precision grade and speed in mechanical equipment.

Chart no. 3 shows a comparison of the damping properties of various materials, compared to very high modulus pitch fibers.

As illustrated so far, it is clear that no other materials offer such extreme high thermal conductivity and modulus and that is the reason why pitch fibers are so appreciated in the advanced composite world. On the other hand, the higher the modulus of the carbon fiber, the smaller elongation and, consequently the more difficult its handling: high stiffness also means brittleness and difficulty in obtaining narrow bending radii.

Thus the excellent performances of the pitch carbon fibers may have not been fully realised in actual applications. As a measure to alleviate this problem, Mitsubishi Plastics

Inc. (now Mitsubishi Rayon Corp.) has added new "industrial grade" fibers to its offer of pitch fibers, including Dialead™ K13916 and Dialead™ K13312. This increases by far the

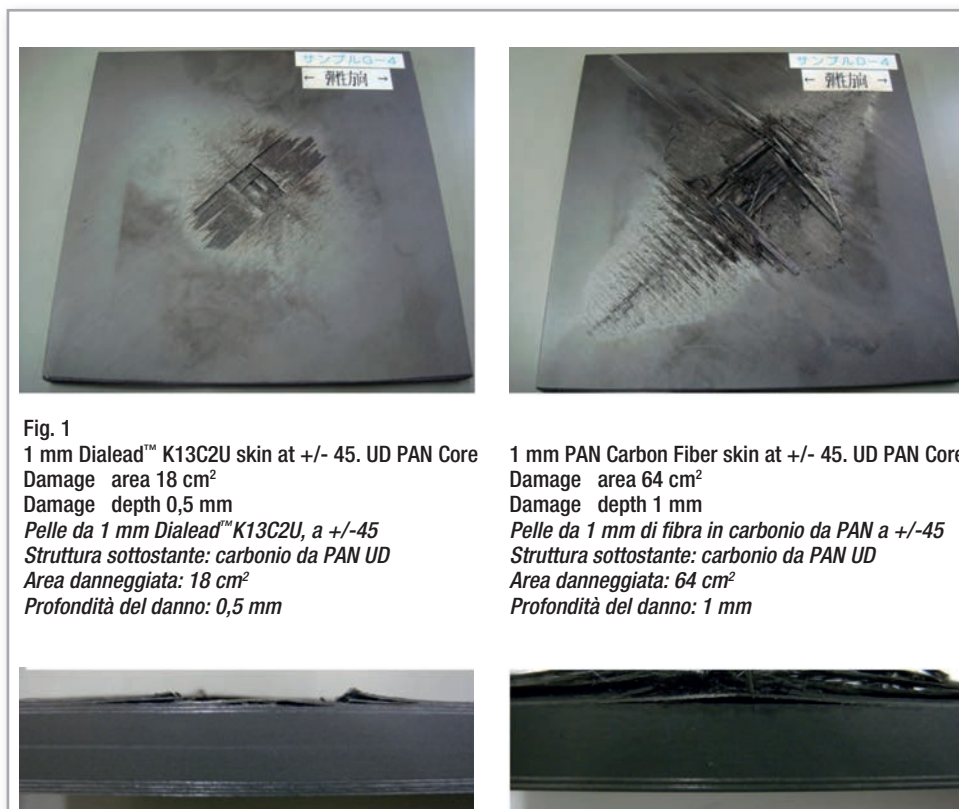


Fig. 1
1 mm Dialead™ K13C2U skin at +/- 45. UD PAN Core
Damage area 18 cm²
Damage depth 0,5 mm
*Pelle da 1 mm Dialead™ K13C2U, a +/-45
Struttura sottostante: carbonio da PAN UD
Area danneggiata: 18 cm²
Profondità del danno: 0,5 mm*

1 mm PAN Carbon Fiber skin at +/- 45. UD PAN Core
Damage area 64 cm²
Damage depth 1 mm
*Pelle da 1 mm di fibra in carbonio da PAN a +/-45
Struttura sottostante: carbonio da PAN UD
Area danneggiata: 64 cm²
Profondità del danno: 1 mm*

che ha l'effetto di dissipare molto più rapidamente l'energia. A questo proposito, uno dei test più significativi condotti è la prova di fulminazione, illustrata in fig. 1, in cui una pelle sottile in fibra di carbonio da pitch è applicata su una lastra in carbonio da PAN e sottoposta a fulminazione simulata. Il danno è molto più limitato rispetto a quello subito dalla lastra rivestita con una pelle in carbonio da PAN, poiché la resistività elettrica estremamente bassa della fibra da pitch permette una rapida dispersione della carica elettrica sulla superficie, allontanandola velocemente dal punto di impatto.

Merita una menzione speciale anche l'eccellente capacità di smorzare le vibrazioni delle fibre da pitch, garantendo così un migliore comportamento a fatica e una maggiore fonoassorbenza in molti componenti, quali pannelli di aerei, tettucci di auto sportive, mentre i componenti meccanici, come i bracci robotici portautensili beneficiano di un maggior grado di precisione e maggiore velocità operativa.

ICG** charging voltage	Flowing current	Electric current waveform (wave peak / wave tail)		Electric charge	Specific energy
(polarity) [kV]	[kA]	T1[μ s]	T2[μ s]	[C]	[kJ/ohm]
+82 (positive)	154 to 157	9 to 10	26	3.0	409 to 420

Tab 1 - Lightning test (Courtesy of Mitsubishi Rayon Co., Ltd.)
Test di fulminazione (Gentile concessione di Mitsubishi Rayon Co.,Ltd.)

Il grafico n. 3 evidenzia infatti le diverse capacità di smorzamento delle vibrazioni di vari materiali, in confronto alle fibre da pitch ad altissimo modulo.

Come illustrato fin qui, è chiaro che nessun altro materiale offre una conducibilità termica ed un modulo elastico tanto elevati, ed è questo il motivo per cui le fibre da pitch sono così apprezzate nel mondo dei compositi avanzati.

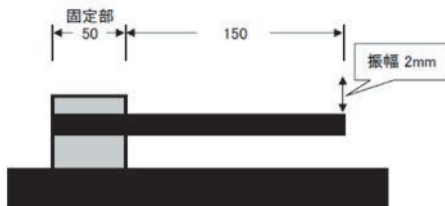
D'altra parte, maggiore è il modulo della fibra

di carbonio, minore è il suo allungamento e di conseguenza la fibra risulta più delicata, dato che l'alta rigidità ha come contraltare una conseguente fragilità e una maggiore difficoltà ad ottenere ridotti raggi di curvatura.

Per questo motivo le eccellenti caratteristiche della fibra da pitch non sono state finora sfruttate a pieno a livello industriale. Per ovviare a questo problema Mitsubishi Plastics Inc. (ora Mitsubishi Rayon Co. Ltd.) ha introdotto nuove fibre "indu-

Chart 3
Grafico 3

material		SUS304	Mg alloy	A5052
waveform				
Natural frequency (Hz)	Actual	32	33	36
	Calc. (*)	33	32	37
Damping ratio		0.0010	0.0042	0.0043
half-time of amplitude (sec)		2.54	1.01	0.90
quarter-time of amplitude (sec)		5.70	2.66	2.20
material		CFRP(HYEJ25-36)	CFRP(HYEJ17M65PD)	CFRP(HYEJ40M80PD)
waveform				
Natural frequency (Hz)	Actual	62	107	109
	Calc. (*)	65	108	116
Damping ratio		0.0038	0.0032	0.0035
half-time of amplitude (sec)		0.73	0.44	0.38
quarter-time of amplitude (sec)		1.99	1.26	0.94



Dimension of specimen: 200 mm (L) x 15 mm (W) x 1 mm
Misure del provino: 200 mm (L) x 15 mm (W) x 1 mm

*Natural Frequency (F) is calculated by the following formula:
 $F = 0,178 \times \pi / L^2 (EI / \rho A)^{1/2}$
 E = Young modulus (E1)
 I = Moment of inertia of area
 ρ = Density of laminate

*La frequenza naturale (F) è calcolata con la seguente formula:
 $F = 0,178 \times \pi / L^2 (EI / \rho A)^{1/2}$
 E = modulo di Young (E1)
 I = momento di inerzia dell'area
 ρ = densità del laminato

Chart 3 Courtesy of Mitsubishi Rayon Co. Ltd. / Grafico 3 Gentile concessione di Mitsubishi Rayon Co. Ltd.

striali" nella sua gamma di fibre da pitch, tra cui la Dialead™ K13916 e la Dialead™ K13312, ampliandone esponenzialmente gli orizzonti applicativi, attraverso una maggiore resistenza a trazione rispetto allo standard delle fibre da pitch ed un minor diametro del singolo filamento, che di fatto eliminano molti degli aspetti critici sopra elencati.

DALLA FIBRA AL TESSUTO: LA RISPOSTA ALLA NECESSITÀ DI UTILIZZARE IN MODO SEMPLICE LA FIBRA DA PITCH

Tradizionalmente le fibre da pitch sono state utilizzate sotto forma di preimpregnati unidirezionali o sofisticati tessuti leggeri prodotti con fibre a basso titolo (es. 240-270 tex). Con l'obiettivo di portare le fibre da pitch alla portata di tutti, la società Sumitomo Corporation Europe, da molti anni distributore ufficiale delle fibre Dialead™ in Europa, ha lanciato una nuova linea di tessuti bilanciati e unidirezionali, grazie alla collaborazione congiunta di G. Angeloni Srl,

società leader nella produzione e vendita di tessuti in fibra di carbonio e della GP Marketing Consulting, società di consulenza che opera in tutto il mondo per lo sviluppo di tecnologie e prodotti di nuova generazione.

Il vantaggio dei tessuti basati su fibre ad alto titolo, rispetto agli unidirezionali o ai tessuti prodotti con fibre a basso titolo, è la possibilità di utilizzare pelli di maggior spessore nella stratifica e ottenere prepreg ottimizzati per una produzione più veloce ed economica di componenti come lastre industriali, rulli, stampi, ecc. Tab. 2 riporta alcuni dei prodotti recentemente sviluppati:

Questa nuova gamma di prodotti basati sulle nuove fibre Dialead™ K13916 e K13312 permette una vasta scelta e possibilità di personalizzazione in termini di grammatura, costruzioni e armature: dal tessuto bilanciato da 630 g/m², passando per una serie di tessuti unidirezionali da circa 300 e 600 g/m² stabilizzati con carbonio, vetro o filato termoplastico, e soprattutto i

range of possible application fields, through a higher tensile strength for a pitch fiber and a smaller filament diameter, which eliminates many of the critical effects mentioned above.

FROM FIBER TO FABRIC: A RESPONSE TO THE REQUEST OF HAVING PITCH FIBER EASIER TO USE

Traditionally, pitch fibers were used under the form of prepregged unidirectional tapes or very sophisticated light fabrics based on small tow fibers (i.e. 240-270 tex). With the goal of bringing pitch fibers within everyone's reach, Sumitomo Corporation Europe, an official distributor of Dialead™ fibers in Europe for many years now, has launched a new line of fabrics and UD's thanks to the joint cooperation of G. Angeloni, a leading Italian company in the production of carbon fabric and GP Marketing Consulting, a consultancy company active worldwide in the development of new generations of advanced composite products.

The advantage of fabrics based on larger tows, compared with unidirectional tapes or small-tow fabrics, is the opportunity to apply thicker lamination layers in the stratification and use more easily handled prepregs for a faster and more cost-effective production of components like industrial plates, rollers, tools, etc.

tessuti creati con la tecnologia dello spreading delle fibre, che ha permesso di ottenere unidirezionali da 75 g/m² e tessuti bilanciati da 150 g/m², mantenendo un'altissima qualità di realizzazione.

La tecnologia dello spreading è uno dei fiori all'occhiello della G. Angeloni Srl, poiché ha permesso di migliorare la qualità e la resa della fibra attraverso un allineamento dei filamenti molto preciso e un'adesione ottimale degli strati.

Ne beneficiano alcune proprietà meccaniche, come la resistenza a trazione (imputabile al fatto che un maggior numero di singole microfibre, dopo lo spreading, risultano "rilassate" e meglio allineate) e la resistenza a fatica. La maggiore apertura delle fibre rappresenta inoltre un vantaggio in termini resistenza al taglio interlaminare.

Questa tecnologia consiste nell'apertura del singolo filamento (tow), sfruttando la facilità con cui il roving si apre se trascinato su una

Product Name	Weave Construction	Area Weight g/m ²	Warp	Weft	Weight Distribution		Fiber Strength MPa	Fiber Modulus GPa
					Warp	Weft		
CC-636 P	Plain	632	K13916 Fiber	K13916 Fiber	50%	50%	3200	760
CG-616 TFX	UD	610	K13916 Fiber	Thermofixing Yarn	96%	4%	3200	760
CG-616 U	UD	605	K13916 Fiber	Glass Yarn	98%	2%	3200	760
CC-616 U	UD	604	K13916 Fiber	FT300 - 1K Pan Fiber	98%	2%	3200	760
CG-336 TFX	UD	338	K13916 Fiber	Thermofixing Yarn	93%	7%	3200	760
UHM 16/75 SLN2	Flat UD	78	K13916 Fiber		100%		3200	760
UHM 16/150 DLN2	Flat UD	154	K13916 Fiber		100%		3200	760
UHM DYF 15-150 P	Flat Plain	160	K13916 16/75 SLN2 Fiber	K13916 16/75 SLN2 Fiber	50%	50%	3200	760
HM 12/100 SLN2	Flat UD	100	K13312 Fiber		100%		3200	420
HM DYF 25-200 P	Flat Plain	200	K13312 12/100 SLN2 Fiber	K13312 12/100 SLN2 Fiber	50%	50%	3200	420

Tab 2

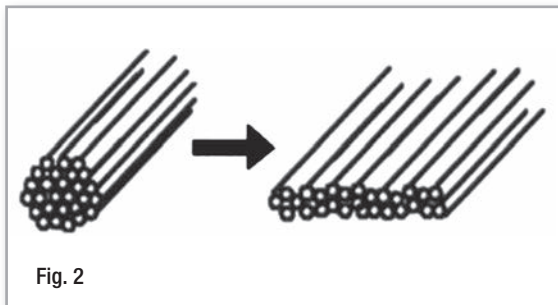


Fig. 2

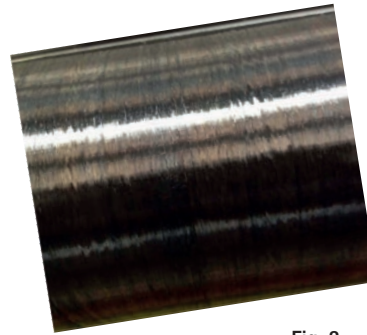


Fig. 3
"Spread" UD UHM 16/75 SLN2



Fig. 4
Tapes cut before weaving
Nastri tagliati prima della
tessitura

Tab. 2 lists some of the products newly developed: This new range of products, based on the new Dialead™ K13916 and K13312 pitch fibers, allow a wide choice in terms of weight, constructions and weave patterns: from a balanced 630gsm fabric, to 300gsm and 600gsm unidirectional fabrics with carbon, glass or thermoplastic stabilizing yarns and – last but not least – the bespoke fabrics manufactured by spreading the fibers in order to obtain high-quality 75gsm dry UD tapes and 150gsm balanced fabrics.

This patented spreading technology is the pride of the company G. Angeloni, since it enhances the mechanical properties of the fiber through a very

precise alignment of the filaments and an optimal bonding of the fiber layers. In this respect, it worth mentioning an increase in tensile strength (due to more fibers being better aligned after the spreading process) and a better fatigue resistance. The extreme flatness is also beneficial to interlaminar shear strength, as it offers a larger contact surface to be bonded, thus improving the resistance to delamination.

The single tow is spread and flattened when pulled through a series of cylinders placed at precise angles. The result is a four-time larger and consequently thinner tow size, as illustrated in fig. 2, showing the effects of spreading on a tow.

CONCLUSIONS

This new line of fabrics enables the users to take full advantage of some of the peculiar properties of Dialead™ pitch fibers, such as higher stiffness due to the very high modulus values (up to 760 Gpa for K13916 fiber), higher thermal conductivity (up to 200 W/m•K for K13916 fiber), high damping properties, excellent dimensional stability thanks to the coefficient of thermal expansion, which is negative in pitch fibers, lower electrical resistivity.

These properties provide solutions to many issues encountered while designing industrial components like tubes and cylinders as a measure to reduce deflection issues, composites moulds to obtain fast heating and cooling rates, lower thickness and

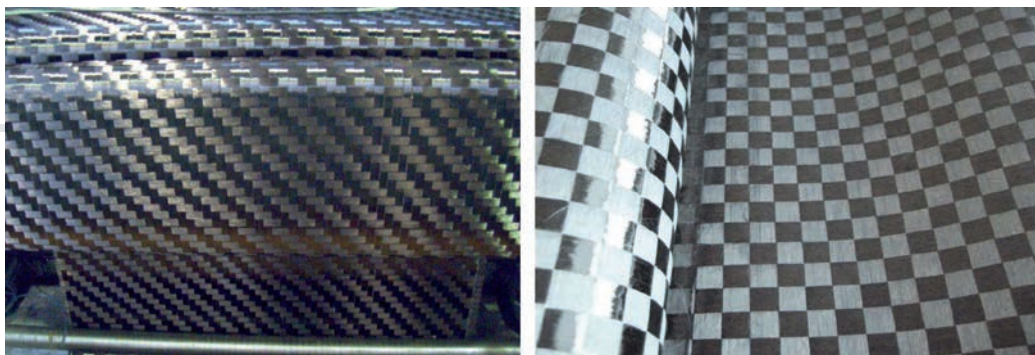


Fig. 5 - A 150 gsm spreaded fabric based on ultra-high Modulus K13916 Dialead™ Pitch fiberg
Tessuto a piattina da 150g/m² prodotto con fibra da pitch ad altissimo modulo Dialead™ K13916

serie di cilindri posti a certe angolature. Questo metodo permette un aumento della larghezza del tow pari a circa quattro volte la dimensione originale e una conseguente diminuzione del suo spessore, come illustrato nella figura 2.

CONCLUSIONI

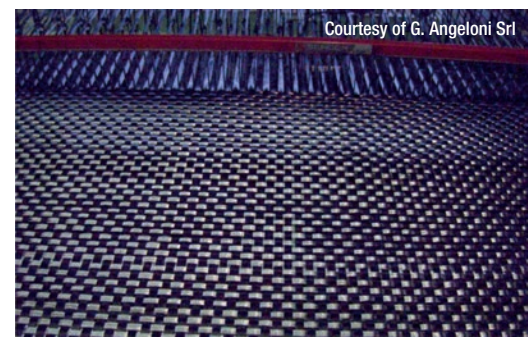
Questa nuova gamma di tessuti permette agli utilizzatori di sfruttare a pieno le caratteristiche uniche delle fibre da pitch Dialead™, l'alta rigidità dovuta agli elevati valori di modulo (fino a 760 Gpa per la fibra K13916), alta conducibilità termica (fino a 200 W/m•K sempre per la fibra

K13916), alte prestazioni in termine di smorzamento delle vibrazioni, eccellente stabilità dimensionale grazie al coefficiente di espansione termica, negativo per le fibre da pitch e bassa resistività elettrica.

Queste caratteristiche offrono una soluzione ai diversi problemi che si incontrano nella progettazione di componenti industriali: migliorare i valori di deflessione in tubi e cilindri, ottenere rampe di riscaldamento e raffreddamento più veloci negli stampi in compositi, oltre che minori spessori o alta stabilità dimensionale (utile anche per com-

ponenti a pressione), ridurre le vibrazioni e permettere quindi alte velocità di esercizio in componenti robotici e utensili di macchine a CNC.

Un'alternativa ai prodotti finora citati è rappresentata dai nastri unidirezionali e dai tessuti bilanciati creati dallo sprea-



Courtesy of G. Angeloni Srl

Fig. 6 - The new balanced UHM product CC636P fabric based on Dialead™ K13916 Pitch fiber
Il nuovo tessuto bilanciato UHM CC636P prodotto con fibra Dialead™ K13916 (foto: gentile concessione di G. Angeloni Srl)

high dimensional stability (beneficial also for pressure components), robotic component or CNC machines to increase vibration damping and operate at high speeds.

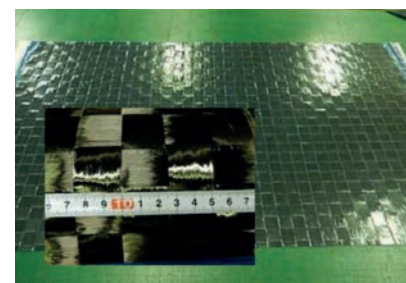
An alternative to the above mentioned products is represented by UD tapes and balanced fabrics based on the spread Dialead[®] K13312 fiber, with a tensile modulus of 420 GPa and a tensile strength of 3200 MPa, which are ideal for applications requiring a high workability. So much so that the 200gsm balanced fabric is already under industrial test for automotive applications to reduce the weight of some large parts while maintaining or even increasing the stiffness of the composite structure, and in consumer goods, where there is a constant pursue of lightweight components supporting high performances.

The laminate properties of Dialead[™] K13312 UD / Spread tow fabric are illustrated in the table no. 3. Sumitomo Corporation Europe's goal is to take the Dialead[™] fiber to new and broader fields of application, which constantly pursue utmost performances. The very high potentialities of these new fabrics makes thinking big really possible and the high degree of

ding della fibra Dialead[®] K13312, con modulo da 420 GPa a fronte di una resistenza a trazione di ben 3200 MPa, ideali per applicazioni in cui è richiesta una lavorabilità elevata. Il tessuto da 200 g/m² è già in fase di collaudo industriale in applicazioni automobilistiche, per ridurre il

Carbon Fiber	Resin	Style	FAW (gsm)	RC (%)	Flexural	
					Strength	Modulus
					MPa	GPa
K13312	Epoxy for PCM	UD	125	32	880	170
K13312	Epoxy for PCM	Spread Tow Fabric	230	47	510	80

- Spread tow fabric: Plain Fabric made by G. Angeloni
- PCM Resin: Quick cure type Epoxy made by Mitsubishi Rayon
- PCM: Prepreg Compression Molding
- These properties are normalized by 60% fiber volume



Tab 3 - Courtesy of Mitsubishi Rayon Co., Ltd. / Gentile concessione di Mitsubishi Rayon Co., Ltd.

personalisation in terms of weight and construction will offer the end user the opportunity to develop and manufacture innovative products for demanding applications, where the combination of lightweight and high performances is a must, like racing, sports and luxury cars, high thermal conductivity components, large rollers for printing industry, transfer beams and structural components.

peso di parti di grandi dimensioni, mantenendo invariata o addirittura incrementando la rigidità della struttura composita, oltre che nel settore dei beni di consumo, sempre alla ricerca di componenti leggeri, ma dalle alte prestazioni.

Le caratteristiche dei laminati su base Dialead® K13312 UD / tessuti "flat" sono illustrati nella tabella n. 3.

L'obiettivo di Sumitomo Corporation Europe è quello di portare la fibra Dialead™ ad un nuovo e più ampio livello di utilizzo, introducendo la sua applicazione in nuovi ambiti caratterizzati dalla ricerca di performance assolute. Le altissime potenzialità dei nuovi prodotti permettono di pensare in grande e la possibilità di personalizzazione dei prodotti permetterà anche all'utente finale di realizzare prodotti innovativi per applicazioni dove la combinazione di leggerezza e alte prestazioni è un must, come auto da corsa e sportive, grandi rulli per l'industria cartaria, bracci robotici e componenti strutturali o ad alta conducibilità termica.



about the author

PAOLO GRATI has more than 30 years technical sales experience, most of which spent in the composite industry as "Composite Division Manager". After a long and successful career, working for leading companies in a multinational context, he founded the GP Marketing Consulting and now offers to share his expertise and skills working with proactive attitude in the marketing and development of composite materials, with a particular focus on carbon reinforcements. Luca Grati and Anna Lancerotto complete the innovative team. In 2014 as been awarded with the Q_{ing} Engineer Register of Milan area - certification for "consultancy on development of new products in composite materials".

PAOLO GRATI ha più di 30 anni di esperienza tecnica nelle vendite, molti dei quali spesi nell'industria dei compositi come "Manager della divisione compositi". Dopo una lunga carriera piena di successi lavorando per aziende leader in un contesto multinazionale, ha fondato la GP Marketing Consulting con cui condivide l'esperienza e le sue abilità in maniera proattiva nello sviluppo dei materiali compositi, con un particolare focus sui rinforzi di carbonio. Luca Grati e Anna Lancerotto completano il team di innovazione.

Nel 2014 è stato insignito del certificato Q_{ing} come Ingegnere Registrato nell'area di Milano per la "consulenza sullo sviluppo di nuovi prodotti nei materiali compositi".