



Italian National Agency for New Technologies,  
Energy and Sustainable Economic Development



# Compositi sostenibili

## Compositi in rCFs per il settore tessile e applicazioni semi-strutturali

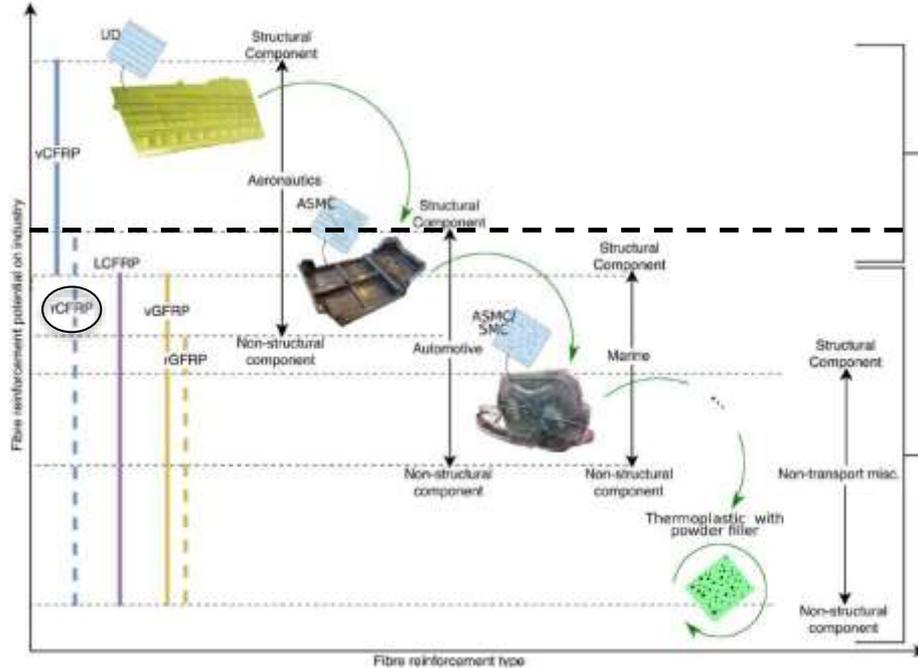
Ing. Antonio DONATELLI  
ENEA

Giovedì, 24 Novembre 2023

Laboratorio di Materiali funzionali e Tecnologie  
per Applicazioni sostenibili (MATAS)

Workshop: *Soluzioni di eco-design con materiali a base polimerica*  
MECSPE - Piazza dell'Innovazione. Bari

# Applicazione di compositi rinforzati con rCFs



There are many potential applications for recycled carbon fibres (rCFs) and they can be used as a structural reinforcement in composites with a wide range of mechanical properties and hence value.

Real part demonstrator and commercially available semi-products made of rCF.

Company/organisation	Country	Products	
Materials Innovation Technologies RCF (MIT-RCF) [86]	USA	Preforms and finished parts by the 3-DEP process (for example front lower wheelhouse support for the Corvette)	Real part demonstrator
Janicki Industries and Boeing [95]	USA	A tool for composite lay-up	
Technical Fibre Products (TFP) [129]	UK	Carbon veils (Optivel™ eco) and mats (Optimat® eco)	Commercially available
Sigmatex Ltd. [130]	UK	Commingleed thermoplastic fabric based on rCF and PET matrix	available

Source: J. Zhang et al. / Composites Part B: Engineering, 193 (2020) 108053

Source: G. Oliveux et al. / Progress in Materials Science, 72 (2015) 61-99

# PROGETTO «TexStyle–Nuovi tessuti intelligenti e sostenibili multi-settoriali per design creativo e stile made-in-Italy»

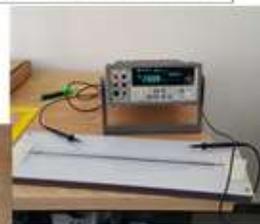
**Ente finanziatore:** MIUR.

**Partners:** CRF, ENEA, Let's W, Dreamlux, Technova, CRdC, Next, Irplast, Apollo, Cosmob, Samsara, UniCA, UniBO.

**Budget generale:** 9,7 M€

**Durata progetto:** 36 mesi

**Budget ENEA:** 910 k€ (13,5 anni/uomo)



TeXStyle

# Descrizione progetto TexStyle : Contesto generale

Materiali sostenibili



Integrazione elettronica



TEX-STYLE

Automotive



Tessuti tecnici



Moda

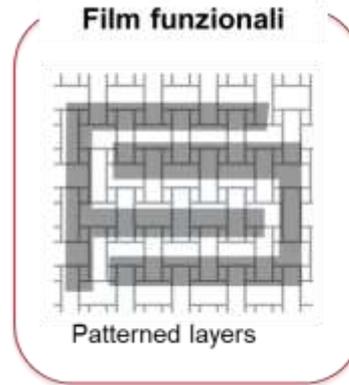
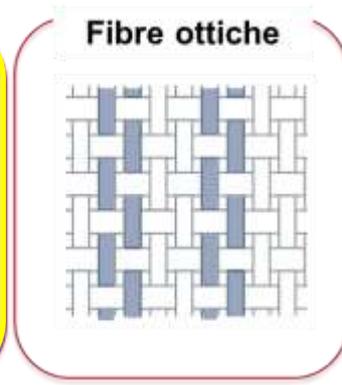
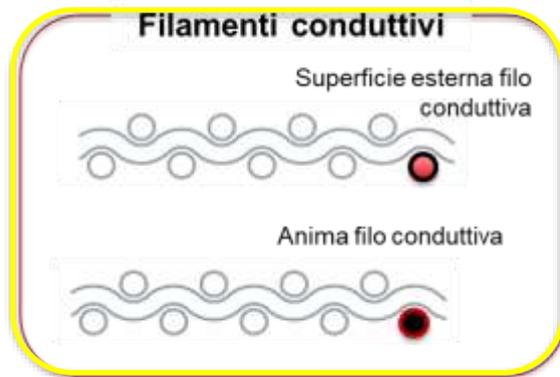


Arredamento



# Descrizione progetto: Obiettivi generali

**Obiettivo :** Sviluppo di filati, tessuti e rivestimenti sostenibili e multifunzionali mediate uso di materiali naturali, bio-derivati e riciclati con integrate funzioni elettro-ottiche



# Descrizione progetto TexStyle : Background



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Prof. Stefano Dotti  
Sig. Gualtiero Sepati



ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

N. 0001408168

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione della domanda sotto specificata:

num. domanda	anno	C.C.I.A.A.	data pres. domanda	classifica
000520	2011	ROMA	04/10/2011	D01G

TITOLARE/I AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA)  
ROMA  
SEPATI GUALTIERO  
PALAZZOLO SULL'OGGIO (BS)  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO  
BERGAMO

MANDATARIO FAPA ELIRABETTA

INDIRIZZO SOCIETA' ITALIANA BREVETTI S.P.A.  
PIAZZA DI PIETRA 39  
00146 ROMA

TITOLO METODO PER LA REALIZZAZIONE DI FILATI DI FIBRE DI CARBONIO DI RICICLO.

INVENTORE/I CORNACCIA GIACINTO  
CARETTO FLAVIO  
MATERA DOMENICO ANTONIO  
GALVAGNO SERIO  
PORTOFINO SABRINA  
DOTTI STEFANO  
SEPATI GUALTIERO

ANNOTAZIONI I TITOLARI PARTECIPANO AI DIRITTI SUL BREVETTO NELLE SEGUENTI MISURE: AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA) 55%, SEPATI GUALTIERO 25%, UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO 20%; AI SENSI DELL'ART.6 DEL D.LGS N. 30 DEL 10.02.98

Roma, 05/06/2014



Dipartimento di Ingegneria Industriale

Sezione di Ingegneria Industriale

Sezione di Ingegneria Industriale

Sezione di Ingegneria Industriale

Sezione di Ingegneria Industriale

IL DIRIGENTE

Dr.ssa Lorenza Onglietti



Patent WO2013144844 A1



# Attività ENEA nel Progetto



ENEA

Precedenti attività ENEA

TEX-STYLE

Esempio di componente in carboresina che ha raggiunto il fine vita e di scampoli di tessuto in fibre di carbonio vergini

Fibre di Carbonio di riciclo (rCF) ricavate dal trattamento della carboresina secondo il processo descritto nel brevetto ENEA [RM 2002 A 000217S]

Up-scaling linea di produzione di un Prodotto intermedio e successivo Filato ottenuto dalla tecnologia "Metodo per la realizzazione di filati da fibre di carbonio di riciclo" [WO 2013050942 A1N]



# Linea prototipale per la produzione di filati il fibra di carbonio da riciclo



# Processo di Cardatura e Stiratura



## 1. APERTURA E ALLENTAMENTO FIBRE

Le balle di fibra vengono aperte e allentate. Questo aiuta a separare e pulire le fibre prima che vengano alimentate alla Cardatrice.

## 2. CARDATURA

La Cardatrice allenta e separa ulteriormente le fibre facendole passare tra tamburi metallici rotanti. Questo allinea le fibre e dà origine a veli.

I veli sono raccolti in Coiler prima di essere inviati alla Stiratura.



# Processo di Cardatura e Stiratura

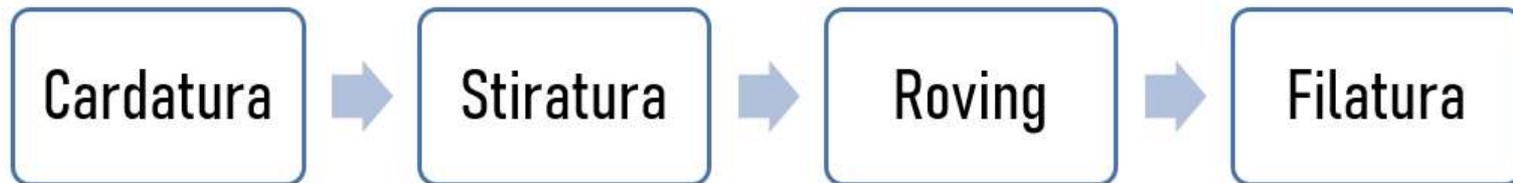


### 3. STIRATURA e ROVING

Allo Stiratoio vengono inviati due o più veli prodotti nel processo di cardatura, con l'obiettivo di allineare ulteriormente le fibre e aumentare l'omogeneità del materiale e il suo titolo. I nastri vengono trafilati e viene aggiunta una leggera torsione. A valle, il flyer fornisce il grado di torsione desiderato per realizzare lo stoppino



# Processo di Cardatura e Stiratura



Veli cardati  
(larghezza =50-60 cm)



Nastri di fibre fortemente allineate  
(larghezza  $\approx$ 5 cm)

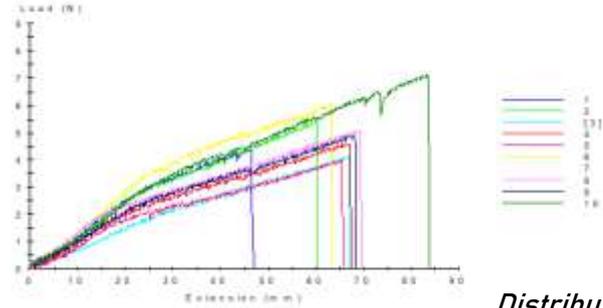
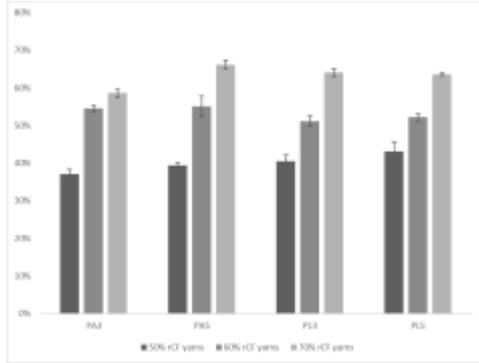


Stoppini  
(diametro  $\leq$ 1cm)



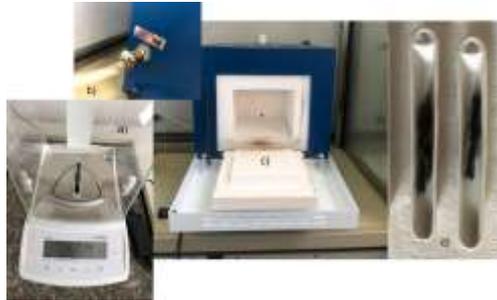
Filato  
(diametro  $\leq$ 1mm)

# Caratterizzazione filati

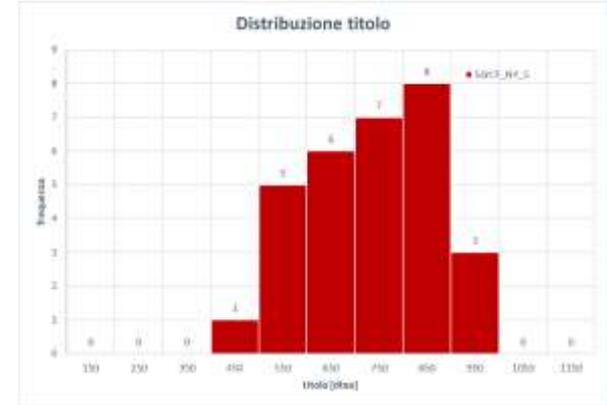
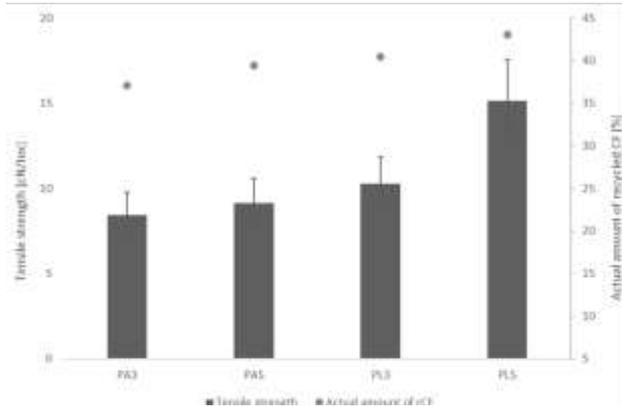


Test trazione su filati

Distribuzione titolo del filato



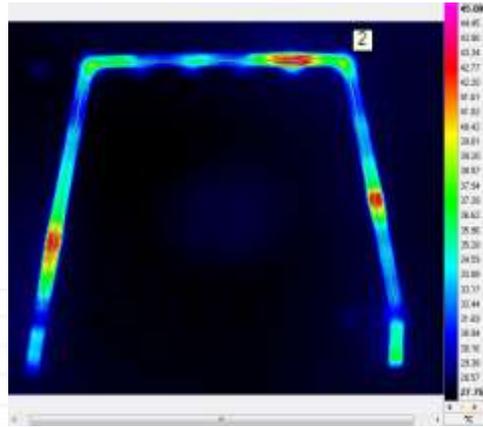
Pirolisi e post ossidazione di filati



# Caratterizzazione filati

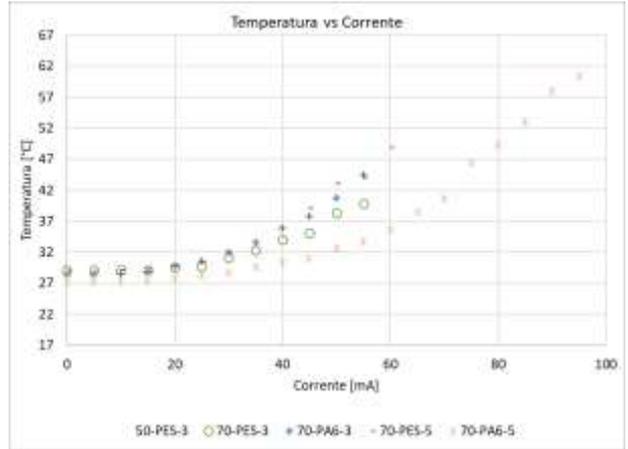
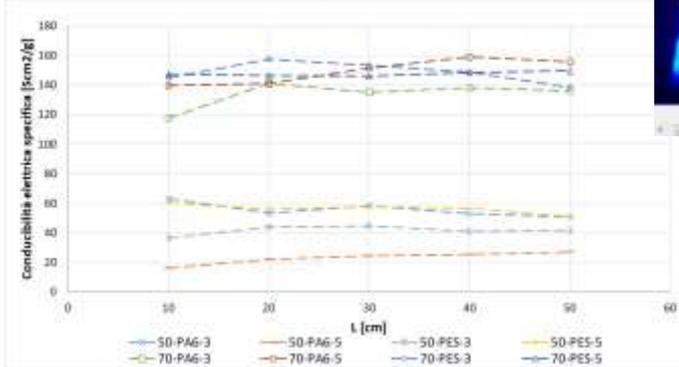


*Mappa di temperatura del filato percorso da corrente elettrica*



*Riscaldamento filato per effetto Joule*

*Conducibilità elettrica specifica vs %rCFs*



# PROGETTO «EcoCarbonio-Circular Economy for the Carbon Fiber Industry»

**Ente finanziatore:** Regione Lombardia.

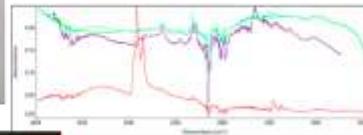
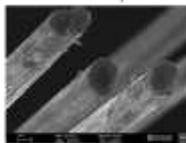
**Partners:** Olcese, ENEA, Mako Shark, Argal, Limonta, Persico, Fibertech.

**Budget generale:** 5,7 M€

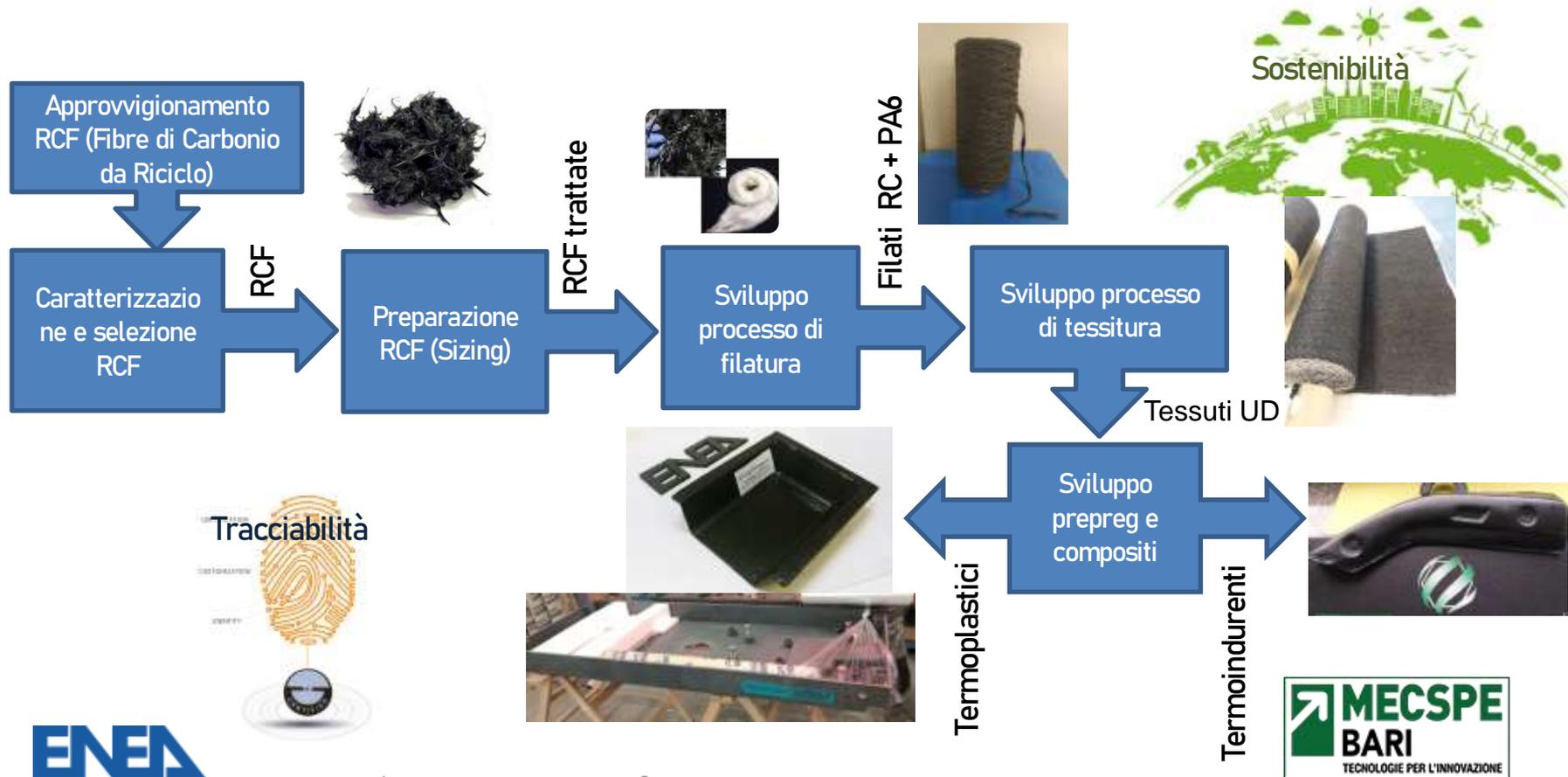
**Durata progetto:** 30 mesi

**Budget ENEA:** 763 k€ (10 anni/uomo)

*EcoCarbonio*



# Descrizione progetto EcoCarbonio: Concept



# Caratterizzazione tessuti

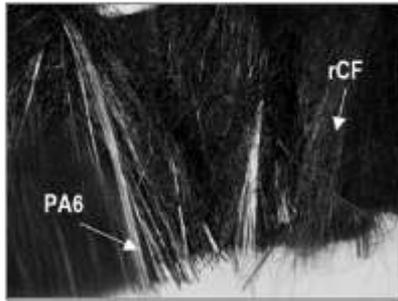
Dettaglio tessuto



Filato ibrido  
in PA6/fibra  
di carbonio

Fibra di  
vetro

Dettaglio singolo filato ibrido

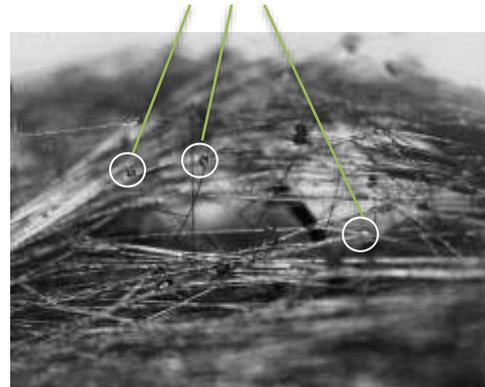


PA6

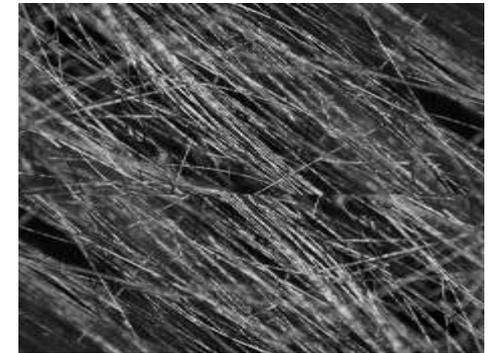
rCF

Tessuto	%rCF		%rCF nei filati
	Mean	Std. Dev.	
30 rCFPA6	29%	5%	32%
50 rCFPA6	49%	2%	52%

Presenza di beards di materiale termoplastico a valle della pirolisi



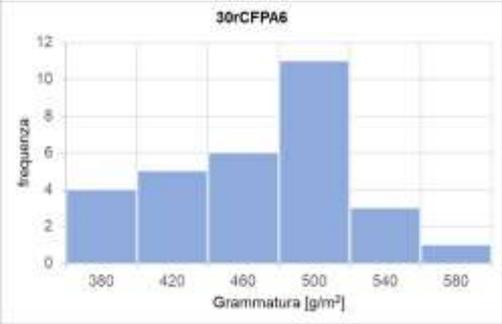
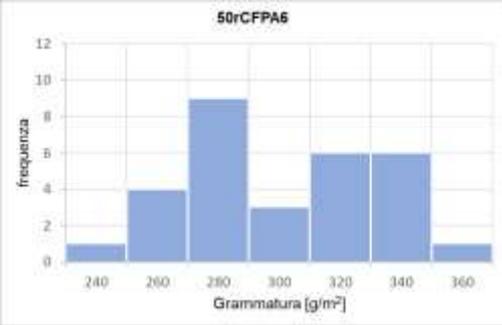
Fibre di carbonio osservate a valle della post-ossidazione



## PIROLISI

Campioni di tessuto sono stati sottoposti a processo di pirolisi e successiva post-ossidazione per la determinazione del contenuto in fibra di carbonio.

# Caratterizzazione tessuti

	Grammatura <sup>1</sup> [g/m <sup>2</sup> ]	Distribuzione Area superficiale <sup>2</sup>	Analisi visiva
30rCFPA6	510,4 ± 6,9	 <p>30rCFPA6</p>	
50rCFPA6	285,2 ± 2,5	 <p>50rCFPA6</p>	

<sup>1</sup> **Grammatura**  
Media sue n=3 campioni di dimensione 50x50 cm

<sup>2</sup> **Distribuzione Area Superficiale**  
Distribuzione su n=30 campioni di dimensione 6x6 cm



# Produzione Organo Sheets

# TERMOFORMATURA: metodologia e attrezzature

## METODOLOGIA

Una pila di tessuti è riscaldato in una pressa sopra la  $T_{\text{fusione}}$  della PA6, quindi compresso per un intervallo prestabilito e successivamente raffreddato fino ad ottenere un laminato rigido (*organo sheet*).

## Variabili di processo

### Preparazione

- n. Strati
- Orientamento strati

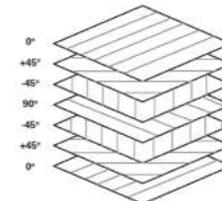
### Processo

- Temperatura
- Pressione
- Durata

Pressa da laboratorio Collin mod. P 300P/M



Preparazione pila di tessuti

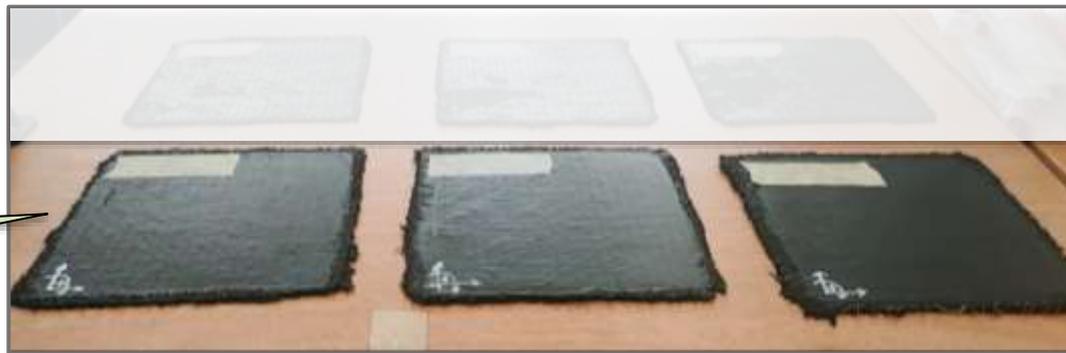


Starting at the top surface (0/+45/-45/90/-45/+45/0)

# TERMOFORMATURA: Risultati per tessuto 30rCFPA6

30rCFPA6

*Processo ottimizzato a  
 $T=220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p=3\text{ bar}$ ,  $t=10'$*



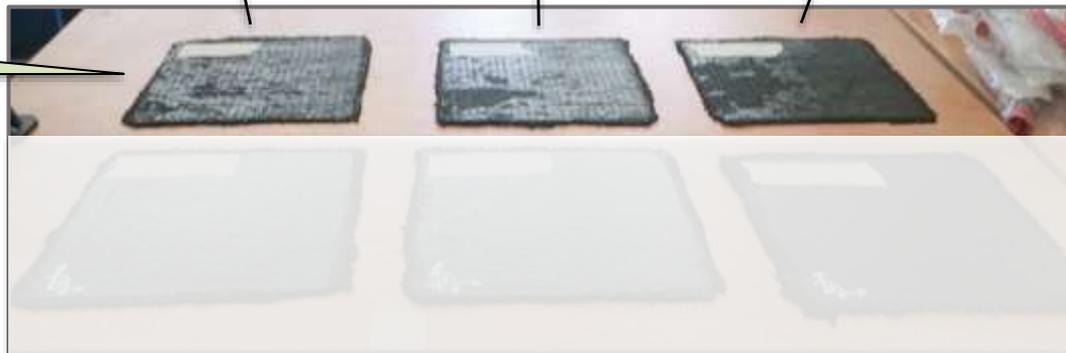
# TERMOFORMATURA: Risultati per tessuto 50rCFPA6

Zone non termoformate (evidenziate in rosso). Possibili cause:

- Minor contenuto di fibra polimerica
- Minore omogeneità del tessuto

50rCFPA6

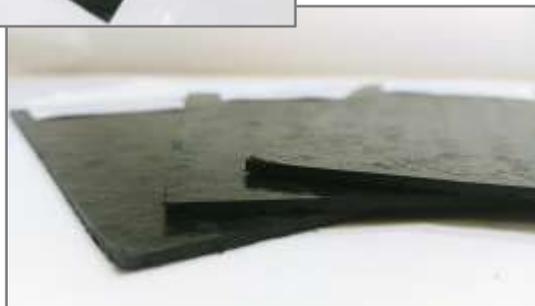
*Termoformatura non ottimale*



# TERMOFORMATURA: realizzazione prototipi



La termoformatura consente la realizzazione di organo sheets con soddisfacente grado di replicabilità



Consente altresì la realizzazione di oggetti di diversa geometria attraverso l'impiego di idonei stampi e controstampi.  
**BUONA DRAPPABILITÀ**

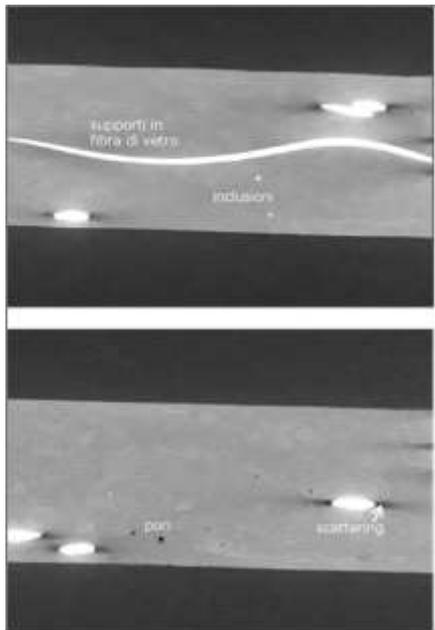


A scanning electron microscope (SEM) image showing a dense network of interconnected, cylindrical, porous structures. These structures are arranged in a somewhat regular pattern, with some appearing as vertical columns and others as horizontal or diagonal links. The surfaces of these structures are highly textured and porous, with many small openings and irregularities. The overall appearance is that of a complex, three-dimensional network of fibers or tubes, characteristic of organosheets.

# Caratterizzazione Organo Sheets

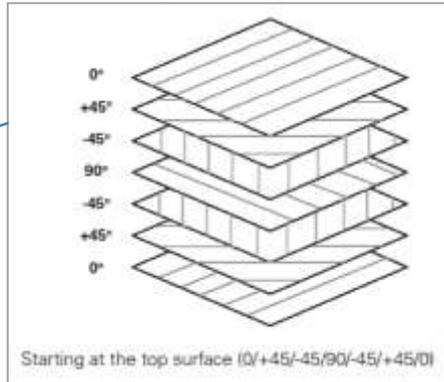
# TERMOFORMATURA: Caratterizzazione organo sheet

Analisi micro-tomografica

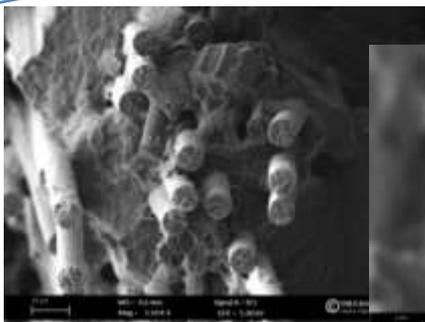
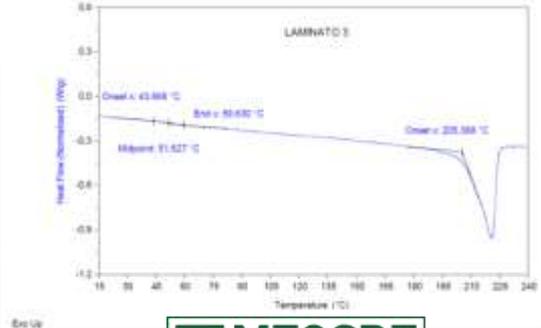


Proprietà fisiche	Valore	Unità
Densità	1,28	g/cm <sup>3</sup>
Contenuto fibra di carbonio	30	% <sub>m/m</sub>
Numero di strati	7	-
Orientamento strati	0°/+45°/-45°/90°/-45°/+45°/0°	-
Spessore	2,5	mm
Grammatura	3195	g/m <sup>2</sup>
T <sub>g</sub>	51,6	°C
T <sub>m onset</sub>	206,3	°C
T <sub>m peak</sub>	221,8	°C
Grado di vuoto	0,007%	-

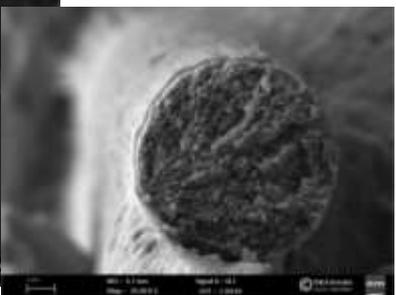
Orientamento layers



Analisi DSC



Analisi SEM



Ingrandimento: 2,5k x

Ingrandimento: 20k x

# TERMOFORMATURA: Caratterizzazione organo sheet



*Analizzatore DMA Q800 TA Instruments*



*MTS Alliance RT/50 testing and flexural machine*



*CEAST 9050 impact pendulum*



Proprietà meccaniche	Standard	Valore
Tensile strength (0°)	ISO 527:4:2021	174 MPa
Elastic Modulus (0°)	ISO 527:4:2021	13,6 GPa
Flexural strength (0°)	ISO 14125:1998	292 MPa
Flexural Modulus (0°)	ISO 14125:1998	13,9 GPa
Charpy impact energy (0°)	ISO 179:1:2010	59,7 kJ/m <sup>2</sup>
Storage Module @ 35°C	ISO 6721-11:2019	12,9 GPa
Storage Module @ 65°C	ISO 6721-11:2019	10,2 GPa
Storage Module @ 95°C	ISO 6721-11:2019	8,5 GPa
Tan $\delta$ peak	ISO 6721-11:2019	64 °C

# Confronto con laminati commerciali



NYLON 6

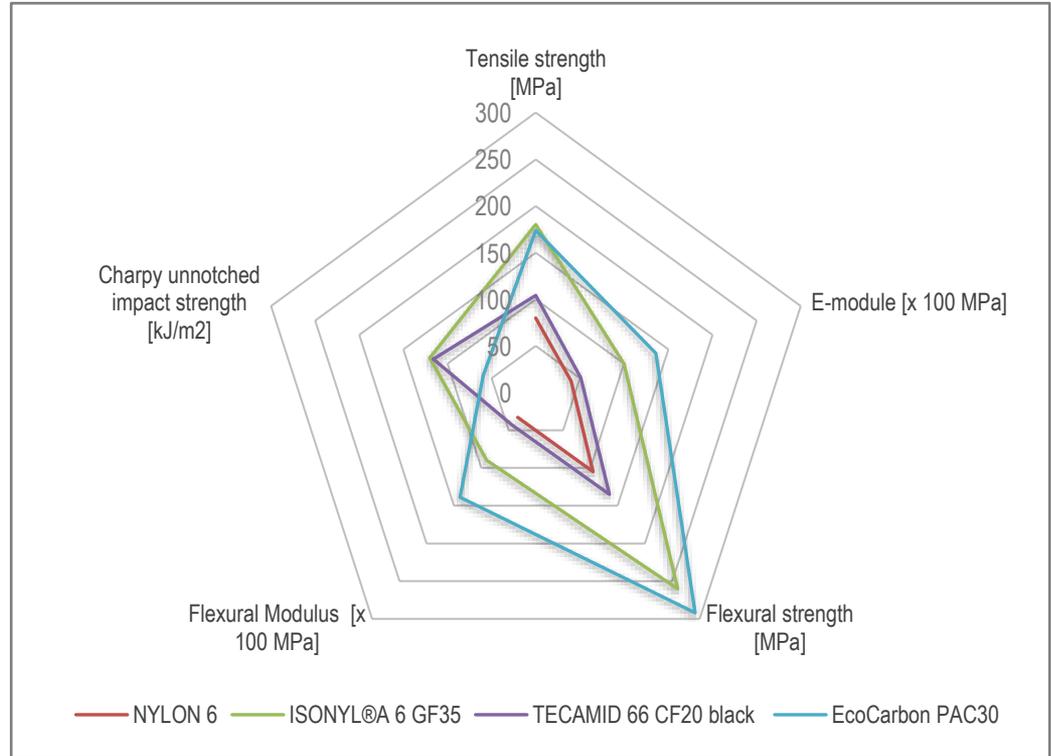
Nylon 6 Cast by (Barkston Plastic Engineering Ltd)

ISONYL®A 6 GF35

PA6 35% glass fiber reinforced (SIRMAX)

TECAMID 66 CF20

PA 66 caricato al 20% con fibre di carbonio (ENSINGER)



# Processo di Riciclo

# Riciclo materiale composito

## PROCESSO DI RICICLO

Il materiale composito a fine vita è ridotto in pezzatura mediante macinazione e riconsolidato mediante stampaggio a compressione.



Produzione materiale composito

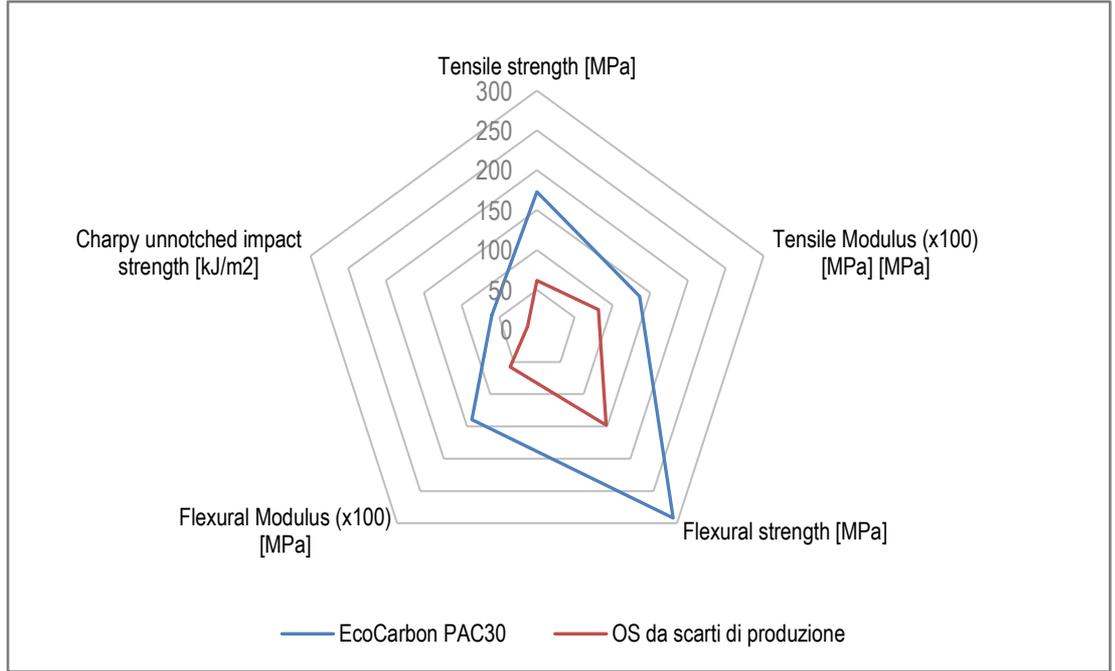
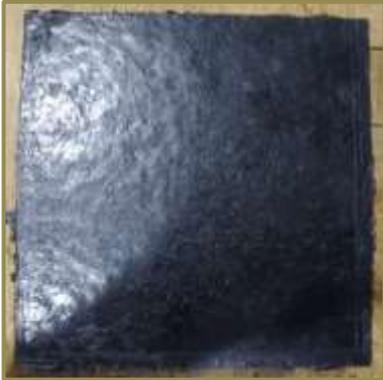
Riciclo composito a fine vita

# Caratterizzazione meccanica compositi da riciclo

EcoCarbon PAC30



OS da scarti di lavorazione



Ing. Antonio Donatelli  
antonio.donatelli@enea.it

Grazie per l'attenzione