

*CORSO ALLENATORI 2014*



# MODERNI MATERIALI USATI NELLA COSTRUZIONE DI CANOE E KAYAK: I COMPOSITI

Luciano Ciomei

# Introduzione

La canoa, quale imbarcazione da gara in acqua piatta, ha subito negli anni sensibili modifiche sia nelle dimensioni degli scafi, sia nell'utilizzo dei materiali ed al giorno d'oggi, il settore ha tagliato nuovi avanzati traguardi grazie all'adozione di materiali plastici compositi. Un primo grosso mutamento si ebbe alla fine della prima metà del secolo scorso, quando le canoe smontabili vennero soppiantate dalle canoe di legno nelle gare di acque ferme, poiché nessun altro materiale era così prontamente disponibile e facilmente lavorabile, da abili artigiani, con le attrezzature del tempo.

# Introduzione

- Si può quindi affermare che sia stato l'unico materiale usato nelle costruzioni delle canoe da competizione sino a quando a causa delle modeste caratteristiche di resistenza, delle difficoltà nella realizzazione ma soprattutto l'elevato costo della mano d'opera fu progressivamente sostituito dai compositi plastici.
- Il legname per la costruzione navale doveva resistere all'ambiente umido, ai parassiti, avrebbe dovuto essere ottenuto da pezzi a fibra dritta, privo di nodi e naturalmente possedere buone caratteristiche di resistenza e basso peso specifico, tutte qualità che incidevano sul costo finale e che hanno incentivato l'uso dei compositi.

# Materiali compositi

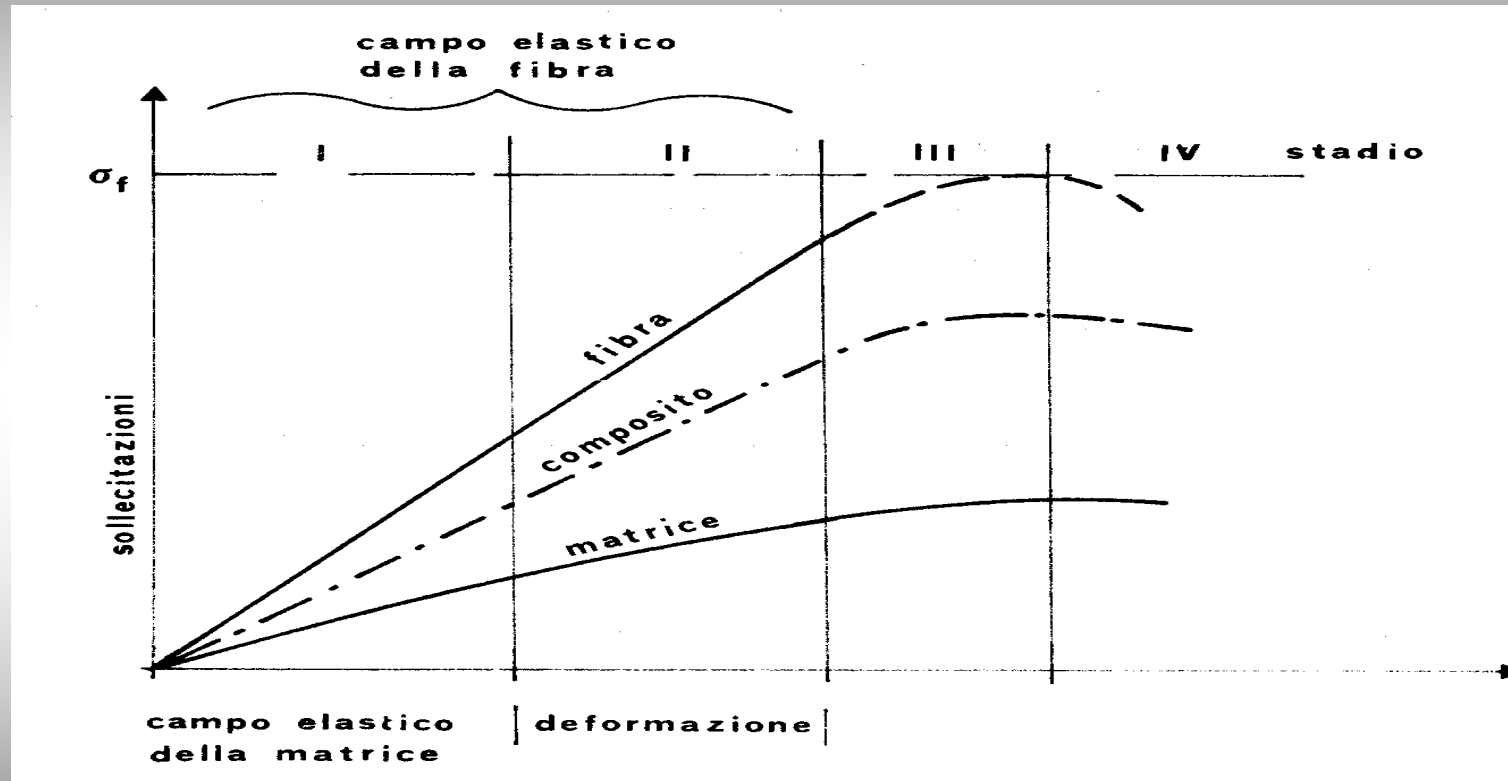
- **I materiali compositi**, noti fin dall'antichità, sono ottenuti accoppiando due o più materiali per ottenere proprietà complessive superiori o diverse (argilla-paglia, calcestruzzo-tondino di ferro, etc.).
- In generale essi si definiscono come "Sistemi eterogenei costituiti da due o più fasi macroscopiche diverse tra loro o nella forma o nella composizione chimica o in entrambe".
- Tra i materiali compositi della prima generazione che interessano maggiormente il settore navale vi sono i **plastici rinforzati con fibre di vetro**, disponibili sul mercato dal 1940, quando negli Stati Uniti è iniziata la produzione su scala industriale con la denominazione Glassfiber Reinforced Plastic (GRP).

# Costituenti principali del GRP

- I costituenti principali del GRP sono la **matrice**, con funzione essenzialmente legante, e le **fibre**, che esplicano la funzione di rinforzo e di sopportazione del carico.
- L'unione tra matrice e fibra deve essere tale da resistere alle sollecitazioni presenti nell'**interfaccia**, che costituisce la zona di transizione tra le due componenti.
- Un materiale composito è un materiale **anisotropo**, in quanto presenta proprietà meccaniche diverse a seconda della direzione delle sollecitazioni alle quali viene sottoposto; diviene isotropo, come nel caso del multistrato, se ogni lamina viene orientata diversamente.

# Prove di trazione

Sottoponendo il componente ad una prova di trazione si rileva che il carico viene trasferito dalla matrice alle fibre; si riporta a titolo di esempio la curva sforzo-allungamento caratteristica di un materiale composito fibroso.



- I - Deformazione elastica sia della fibra che della matrice.
- II - Ulteriore deformazione elastica della fibra previa deformazione plastica della matrice.
- III - Deformazione plastica di ambedue i costituenti.
- IV - Rottura del materiale.

# Le fibre di vetro

- L'esperienza comune insegna che il vetro monolitico è un materiale fragile. Se esso viene invece filato a diametri d'ordine inferiore al decimo di millimetro perde la sua caratteristica fragilità per divenire un materiale ad elevata resistenza meccanica e resilienza.
- La fragilità del vetro comune è dovuta al gran numero di difetti della cristallizzazione che agiscono come microfratture e zone di concentrazione degli sforzi.
- Al contrario la fibra di vetro non presenta tutti questi difetti, per cui raggiunge resistenze meccaniche prossime alla resistenza teorica del legame covalente.

# Caratteristiche delle fibre di vetro

- Il vetro è un materiale di natura inorganica impiegato per primo nella fabbricazione delle fibre artificiali; è un materiale a basso costo che presenta temperature di fusione relativamente basse alle quali, per trafilazione in apposite filiere, si ottengono delle fibre con buone proprietà meccaniche. Per la fabbricazione delle fibre esistono due tipi di vetro, vetro E e vetro S, la cui composizione chimica è qui riportata:
  - $\text{SiO}_2 = 52/60\%$  ;  $\text{CaO} = 16/25\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12/16\%$
  - Altri ossidi di B, Mg, F, Na e Zr = 8/20%
- Il vetro E è il tipo di vetro più impiegato per il suo basso costo, mentre il vetro S, per le sue superiori proprietà meccaniche (modulo di elasticità, carico di rottura, etc.), viene impiegato quando sono richiesti alti valori di resistenza specifica in costruzioni che devono resistere ad elevate sollecitazioni.



# Principali proprietà delle fibre di vetro

- Elevata resistenza specifica
- Buona elasticità, con allungamenti massimi, a rottura, dell'ordine del 5%
- Buone proprietà di riscaldamento: non sono combustibili, hanno un basso coefficiente di dilatazione ed un elevato isolamento termico, conservano una buona resistenza meccanica anche alle temperature elevate (il 50% a 350°C, il 25% a 500°C),
- Buona stabilità chimica e basso assorbimento di umidità
- Buona resistenza agli attacchi degli agenti chimici
- Elevata resistenza elettrica
- Costo inferiore a quello di tutte le altre fibre.

# Tabella riassuntiva caratteristiche fibre principali

Caratteristiche fisiche e meccaniche delle fibre principali	Fibra di vetro S	Fibra di vetro E	Fibra carbonio E elevato	Fibra carbonio R elevato	Kevlar 49	Fibra di Boro su W	Wisker ferro	Wisker allumina	Wisker Sic	Wisker Nichel
Modulo di elasticità E GPa	85	70	390	230	130	400	206	400	850	207
Densità g cm-3	2.54	2.5	1.86	1.72	1.44	2.5	7.87	3.8	3.17	8.9
Allungamento percentuale a rottura	5.4	4.8	0.5	1.1	1.8	1	-	-	-	-
Carico di rottura max R GPa	4.5	3.5	2.4	2.8	3.8	3.3	13	19	11	4
Coefficiente di Poisson	0.25	0.2	0.4	0.33	0.3	0.2	-	-	-	-
Temperatura d'impiego massima °C	970	850	315	315	200	316	500	1000	1200	500

Le fibre di vetro si trovano in commercio sotto forma di semilavorati che presentano svariate caratteristiche ed assumono le denominazioni riportate nella seguente tabella:

DENOMINAZIONE	COMPOSIZIONE
Rowing	Fascio di fili di vetro continui, riuniti assieme con o senza torsione.
Mat	Feltro più o meno spesso di filamenti continui o non, disposti casualmente nelle varie direzioni, come i feltri di lana o cotone.
Chops	Fibre corte di vetro, generalmente ottenute tagliando il rowing, e normalmente depositate a spruzzo insieme alla resina.
Stuoia	tela di vetro tessuta con rowing ad alto titolo con trama uguale all'ordito.
Tessuti	Tessuti di vario genere, ottenuti con rowing a basso titolo (e quindi molto più leggeri delle stuoie), con trama e ordito di peso generalmente diverso.
Nastri	Fasci di rowing di larghezza limitata (alcuni centimetri) tenuti insieme da una trama molto leggera, e quindi con resistenza prevalente secondo la lunghezza.

# Matrici organiche

- Gli alti polimeri sintetici sono i materiali più idonei per tenere insieme le fibre dei materiali compositi fibrosi; questi costituenti a funzione legante vengono distinti in **termoindurenti** e **termoplastici**, in relazione al loro diverso comportamento nel processo di produzione.
- Le matrici termoindurenti sono materie plastiche sintetiche che per effetto del calore o in presenza di catalizzatori o radiazioni assumono una struttura rigida, tridimensionale, praticamente infusibile e insolubile nei solventi organici.
- Il termine "termoindurente" è improprio perché il processo può avvenire anche a temperatura ambiente.
- Le matrici termoplastiche sono materie plastiche sintetiche a struttura lineare o ramificata, capaci di rammollirsi o fondere per azione del calore e di sciogliersi nei solventi organici; al raffreddamento o per evaporazione del solvente il materiale indurisce e riprende le caratteristiche di partenza.

# Le resine

Come polimeri termoindurenti vengono impiegate le resine:

- **Poliestere:** sono le più diffusamente impiegate per il loro basso costo e per la facilità di lavorazione; sono poco resistenti alla temperatura (max. 150° C), posseggono scarse proprietà meccaniche ma elevato isolamento elettrico;
- **Epossidiche:** sono superiori alle resine poliestere per la maggior resistenza al calore (fino a 215° C), all'umidità, all'attacco degli agenti chimici, e per la ridotta contrazione durante la fabbricazione del composito;
- **Poliamminiche:** vengono impiegate nei compositi che devono lavorare a temperature comprese tra i 300° e i 360 °C; pur presentando buone caratteristiche meccaniche e buon isolamento elettrico questo tipo di resina è soggetto a invecchiamento.

## Altre resine

- **Fenoliche:** vengono impiegate soprattutto quando vi sono problemi di infiammabilità;
- **Siliconiche:** entrano nei compositi che devono resistere alle alte temperature (superiori ai 300°C) e dove non vengano richieste proprietà meccaniche troppo elevate.

Nei materiali compositi rinforzati con fibre di vetro vengono estesamente impiegate materie termoplastiche sia per il basso costo che per la facilità di lavorazione mediante stampaggio a iniezione.

Le caratteristiche meccaniche di questi altri polimeri sono piuttosto scarse e pertanto non vengono impiegati in applicazioni strutturali di una certa importanza.

# GRP

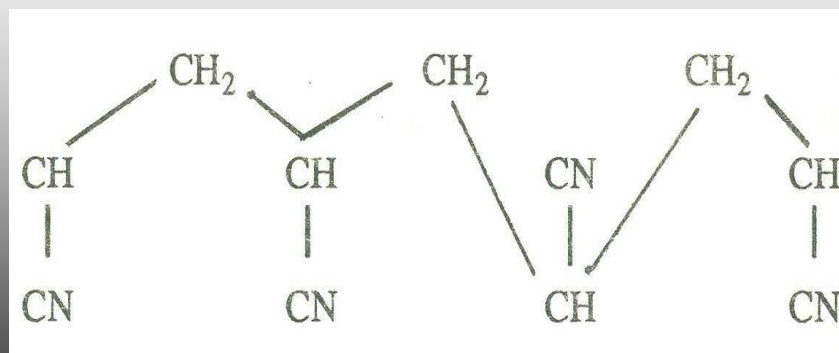
Opportunamente usato, il GRP presenta interessanti proprietà rispetto ai materiali tradizionali da costruzione:

- Non si decompone o corrode;
- Richiede bassissima manutenzione ed ha conseguentemente una lunga vita operativa e costi relativamente bassi;
- Presenta eccellenti proprietà di isolamento termico/acustico;
- Possiede una eccezionale resistenza all'impatto ed eccellenti caratteristiche balistiche;
- Con l'adozione di determinate concezioni strutturali si hanno imbarcazioni estremamente semplici da costruire e riparare, **difficilmente danneggiabili anche sotto severi carichi dinamici da shock**, mentre il peso della struttura resta comparabile con quello di una equivalente canoa costruita in legno;
- Eccellenti proprietà di **resistenza a fatica**.



# Le fibre di carbonio

- Le fibre di carbonio sono costituite da almeno il 95% di struttura grafitica. La fibra di carbonio è generalmente prodotta a partire da un polimero detto PoliAcridoNitrile (PAN, ma anche da Rayon o bitume) che è prima filato e poi, in stadi successivi controllati, portato a carbonizzazione a una temperatura di circa 1800°C.
- Il risultato di tale processo è **una fibra molto leggera** (densità 1,78 g/cm<sup>3</sup>), **molto resistente** (Tenacità 4800Mpa, modulo elastico 240 Gpa) e **flessibile**, quindi lavorabile con una certa facilità.
- Il principale costituente è il carbonio allo stato allotropico cristallino granitico con atomi geometricamente distribuiti nello spazio.

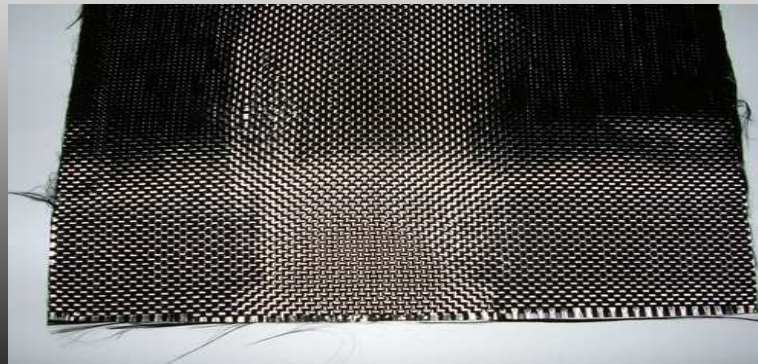




# Fibre di carbonio

I procedimenti industriali per ottenere il prodotto finito, consistono essenzialmente in:

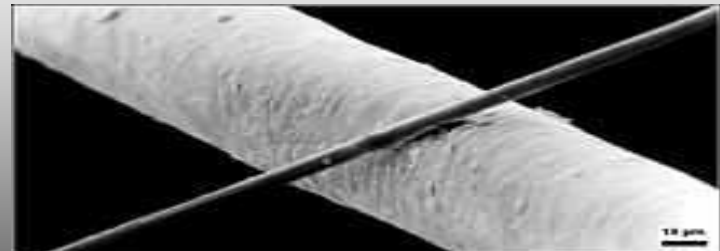
- passaggio della materia prima attraverso una filiera dotata di fori di piccolo diametro
- stabilizzazione, asciugatura, stiratura dei fili così ottenuti in modo da decuplicarne la lunghezza
- riscaldamento a 300°
- carbonizzazione
- grafitizzazione
- Il prodotto industriale disponibile sul mercato è molto diffuso, sia come trama che forme.



# Fibre di carbonio

- Un metodo comune per ottenere i filamenti di carbonio consiste nell'ossidazione e pirolisi termica del poliacrilonitrile (PAN), un polimero base di acrilonitrile utilizzato anche per la produzione di materie plastiche. Il PAN viene riscaldato approssimativamente alla temperatura di 300 °C in presenza di aria, con il risultato di ottenere l'ossidazione e la rottura di molti legami idrogeno instauratisi tra le lunghe catene polimeriche. Il prodotto dell'ossidazione viene quindi posto in una fornace e riscaldato a circa 2000 °C in atmosfera di gas inerte, come quella di argon, ottenendosi in tal modo un cambiamento radicale della struttura molecolare con formazione di grafite. Effettuando il processo di riscaldamento nelle corrette condizioni richieste, si ha la condensazione delle catene polimeriche con produzione di ristretti fogli di grafene che infine si fondono generando un singolo filamento.

***Filamento di carbonio del diametro di 6  $\mu\text{m}$  a confronto con un capello umano.***



# Fibre di carbonio

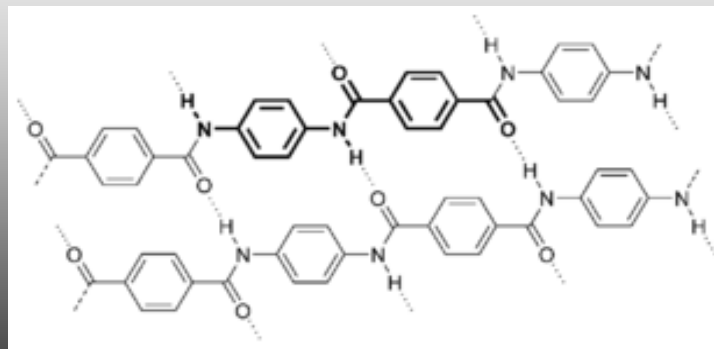
- Il risultato finale consiste solitamente nell'ottenimento di un materiale con contenuto in carbonio variabile tra il 93-95%. Fibre di qualità inferiore possono essere prodotte utilizzando pece o rayon quali precursori in sostituzione del PAN.
- Le proprietà meccaniche della fibra di carbonio possono essere ulteriormente migliorate sfruttando opportuni trattamenti termici.
- Riscaldando nell'intervallo di 1500-2000 °C (carbonizzazione) si ottiene un materiale con il più alto carico di rottura (5650 MPa), mentre la fibra di carbonio riscaldata a 2500-3000 °C (grafitizzazione) mostra un modulo di elasticità superiore (531 GPa).

# Caratteristiche della fibra di carbonio

- Elevata resistenza a trazione
- Elevato modulo elastico (trazione e compressione)
- Massima leggerezza
- Basso allungamento a rottura
- Elevatissima flessibilità
- Facilità di impregnazione
- Elevata fragilità
- Costo elevato
- Bassa resistenza agli urti/impatti
- Conducibilità elettrica

# Fibre aramidiche - Kevlar

- Kevlar è la denominazione commerciale di una fibra sintetica aramidica, inventata dalla Du Pont nel 1965 e brevettata nel 1972, caratterizzata da un'alta resistenza meccanica. La caratteristica principale di queste fibre è il rapporto resistenza peso (uno dei più elevati sia rispetto alle altre fibre sintetiche sia agli acciai), 5 volte più resistente dell'acciaio. Per le sue caratteristiche di elevata resistenza alle sollecitazioni, l'alto modulo di elasticità a trazione e la resistenza alle sollecitazioni dinamiche (urto) e di fatica viene prevalentemente utilizzata come fibra di rinforzo in aggiunta alla fibra di carbonio.



# Bibliografia

- Calegari F. (2004) Enciclopedia dello Sport.
- Ciomei L., Provenzano (2006) Elementi di Architettura Navale, Tip. La Darsena.
- Giampaglia G. Tecnologia dei materiali compositi aereonautici. Ist.Bibliografico Napoleone.
- A.V. (2008) Appunti di Sicurezza, Teoria e Manovra della Nave, Tip. La Darsena.

Luciano Ciomei, nato a Pescia (PT) il 28.02.1954 e residente a Viareggio. Professione: Insegnante.

Articolo rivisto e corretto dal Comitato di redazione di Canoa Kayak on-line.