

Sacha Giannini

# OSMOSI

---

Come orientarsi tra dubbi e soluzioni,  
consigli pratici per affrontarla

 **il Frangente**  
EDIZIONI

# OSMOSI

Come orientarsi tra  
dubbi e soluzioni,  
consigli pratici per  
affrontarla

# CONTENUTO

INTRODUZIONE	6
<b>01</b> LA VETRORESINA	8
<b>02</b> LA COMPARSA DELL'OSMOSI	16
<b>03</b> I COMPOSITI: CARATTERISTICHE E INTERAZIONI	22
<b>04</b> L'ORIGINE DEL PROCESSO OSMOTICO	38
<b>05</b> DANNI DA OSMOSI E TRATTAMENTI	62
<b>06</b> COMPRAVENDITA DELL'USATO E PERIZIE	82
<b>07</b> FAQ	92
RIFLESSIONI CONCLUSIVE	100

I COMPOSITI:  
CARATTERISTICHE  
E INTERAZIONI

03



## I MATERIALI DELLO SCAFO

Scegliere una barca è un compito difficile e più rischioso di comprare una casa. Bisogna conoscere almeno i principi che garantiscono a uno scafo di essere strutturalmente integro e mantenersi tale nell'uso e riconoscere i sintomi di degradazione dei materiali compositi con i quali è realizzato.

Prima di entrare nel vivo della questione, analizzando cause, materiali ed effetti, è dunque necessario fare un breve ripasso e rispolverare le caratteristiche dei materiali di cui ci occuperemo. Senza pretesa di completezza, analizzeremo velocemente resine,

fibre, stratificazioni, grandezze fisiche, sollecitazioni e alcuni principi progettuali di base, utili per capire la permeabilità, l'idrodinamica, la resistenza strutturale, l'invecchiamento e la degradazione come conseguenze del tempo, dell'ambiente e dell'utilizzo.

La vetroresina è un materiale composito, formato da una matrice (resina) e da un rinforzo (una carica di fibre, Mat, tessuti/stuoie di vetro, carbonio, ARAMAT o Kevlar). La matrice è una resina termoindurente che avvolge il rinforzo, proteggendolo dall'usura e dalla corrosione. Nella nautica vengono usate principalmente le poliesteri insature (ortoftaliche o isoftaliche), le vinilestere, le epossidiche e le fenoliche.

Le resine sono essenzialmente composti polimerici ottenuti dalla combinazione di acidi (ortoftalici o isoftalici), glicole e stirene.



Stratificazione della vetroresina.



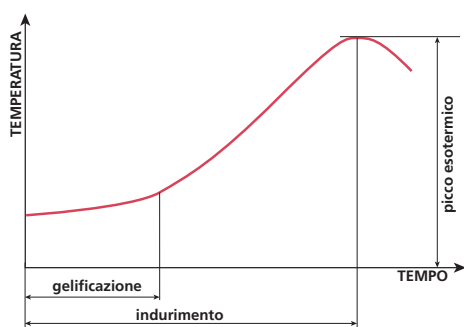
Stratificazione ancora fresca con resina poliesteri e Mat.

Gli acidi monomeri, uniti a eccipienti come i glicoli (spesso neopentilici) si trasformano in polimeri che vengono poi diluiti in solventi come lo stirene (conosciuto anche come stirolo, un noto monomero idrocarburo aromatico), per sintetizzarsi come resina poliesteri. Il composto catalizza (cioè solidifica) con l'aggiunta di indurenti (perossidi o ammi-

ne) e durante l'applicazione l'evaporazione dello stirene è spesso molto percettibile e riconoscibile all'olfatto perché rilascia un odore fortemente dolciastro.

Acceleranti, ritardanti, paraffine e plastificanti sono altri componenti aggiuntivi – alcuni necessari, altri meno – per la lavorazione delle resine durante la stratificazione con fibre di vetro. I loro dosaggi ed equilibri diventano responsabili di molti “difetti” della vetroresina rilevati nel tempo su numerose barche prodotte in serie 30-40 anni fa.

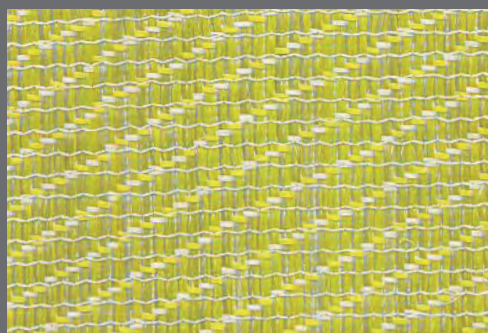
In effetti temperatura e accelerante sono solo elementi di ausilio alla polimerizzazione, si può polimerizzare anche a bassa temperatura e senza accelerante, ma mai senza perossido. La velocità di polimerizzazione, tuttavia, è direttamente proporzionale al numero di radicali formati e un aumento della concentrazione di perossido, di accelerante e di temperatura favorirà la formazione di radicali e quindi la reazione di polimerizzazione.



Curva di polimerizzazione. Durante il processo di reticolazione la resina passa dallo stato fluido attraverso uno stato gelificato prima della trasformazione definitiva allo stato vetroso; contestualmente la sua temperatura comincia a salire, dapprima lentamente e poi sempre più repentinamente, sino a raggiungere il valore massimo corrispondente al cosiddetto picco esotermico.

Per quanto riguarda le fibre, spesso si rischia di essere fuorviati da nomi particolari, come “Kevlar powered”, “ARAMAT engineered” o “carbonium equipped”, per cui nella scelta finiamo per affidarci più alle regole del marketing che a reali conoscenze costruttive.

Molto spesso viene pubblicizzato in realtà l'ultimo strato esterno dello scafo, che però è solo un rinforzo alla parte interna, la quale di fatto è per lo più composta da resina poliestere isoftalica (nella peggiore delle ipotesi ortoftalica) e da meravigliosi, robusti e tradizionali filamenti intrecciati di E-Glass.



Lato stuoia in Kevlar e lato Mat di un rinforzo tipo ARAMAT.

Attualmente i due principali tipi di fibra di vetro sono l'E-Glass e la S-Glass. I nomi derivano dalle destinazioni d'uso originali: elettrico e strutturale.

**L'E-Glass** (“E” sta, appunto, per *electric*), in origine venne utilizzato a scopi militari durante la Seconda guerra mondiale, ad esempio per le antenne radio sulle corazzate. È stato poi ampiamente impiegato in compositi a matrice polimerica e comunemente chiamato “fibra di vetro”.

**L'S-Glass** (“S” sta per *strength*, resistenza) è invece un materiale più rigido, usato in applicazioni strutturalmente più impegnative. Ha maggiore resistenza e una rigidità moderatamente superiore rispetto allo standard in fibra dell'E-Glass, ma proprio per questo è più difficile da trattare.



Vetroresina laminata a mano a base poliestere e E-Glass.

## ELASTICITÀ DEI MATERIALI E SOLLECITAZIONI

Tutto ciò che galleggia può anche tentare di navigare, ma per farlo in mare aperto ci vogliono materiali, forme e funzioni adatte per resistere a sollecitazioni e degradazioni continue.

La vetroresina, detta anche PRVF (Plastica Rinforzata con Fibra di Vetro), è costituita per il 60-70% del volume totale da fibre, principalmente di E-Glass, e per il 30-40% da resina (la matrice polimerica), principalmente poliestere isoftalica. In alcuni casi si usa la resina vinilestere, in altri la potente resina epossidica, utilizzata per lo più con fibre di carbonio e aramidiche.

La matrice che trasferisce le sollecitazioni alle fibre possiede caratteristiche meccaniche certamente inferiori a queste ultime e in qualche modo diluisce e indebolisce le proprietà assolute del composito nel suo complesso, che rimangono comunque adatte all'utilizzo previsto.

Le caratteristiche di resistenza a trazione e di allungamento di una fibra di E-Glass pura, non ancora lavorata, ricevono un degrado fino al 50% dovuto a inevitabili danneggiamenti microstrutturali che si introducono per sfregamento sulla superficie delle fibre sia durante il processo di tessitura, sia durante la stessa laminazione. Una fibra vergine di E-Glass, ad esempio, ha valori di resistenza a rottura a trazione elevatissimi (circa 20.000-24.000 kg/cm<sup>2</sup>) rispetto al composito PRVF lavorato e addensato con poliestere, che presenta valori notevolmente inferiori.

La grandezza fisica da considerare per valutare i materiali usati nella costruzione di scafi in vetroresina è il modulo di elasticità, o di Young. Indica il rapporto tra la tensione a cui il materiale viene sottoposto e il suo conseguente allungamento, in sintesi quanto si deforma un materiale esposto a forze meccaniche.

Viene definita "deformabilità", invece, la capacità elastica di resilienza entro un limite specifico, oltre il quale lo sforzo porta a conseguenze plastiche.

Il modulo di elasticità fornisce quindi un valore che è il risultato del rapporto tra sforzo e deformazione, ovvero un indice di elasticità o rigidità, e soprattutto dà la misura di quanto è affidabile il materiale per l'impiego previsto.

Il modulo elastico E, il peso specifico (in kg/m<sup>3</sup>) e il carico di rottura a trazione (in kg/cm<sup>2</sup>) sono i parametri di base da cui si sviluppa un progetto equilibrato tra materiali, resistenze, pesi e rigidità. Uno scafo in PRVF ha un carico di rottura di circa 1000-1300 kg/cm<sup>2</sup>, un peso specifico di circa 1500 kg/m<sup>3</sup> e un modulo elasticità di circa 70.000 N/mm<sup>2</sup>.



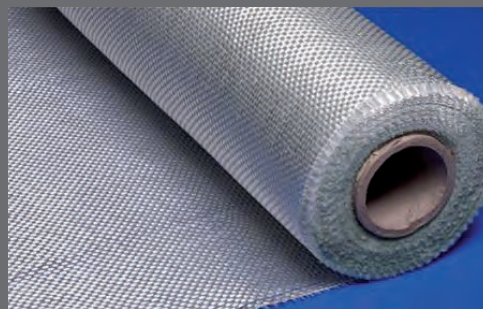
Uno scafo in Kevlar tipo 49 (fibra aramidica impregnata con resine vinilestere o epossidiche) con alto modulo di elasticità, ha un carico di rottura intorno ai 30.000 kg/cm<sup>2</sup>, un peso specifico di circa 1400 kg/m<sup>3</sup> e un modulo di elasticità di circa 125.000 N/mm<sup>2</sup>.

Materiale	E
Vetro E	72.000
Carbonio HS	248.000
Kevlar	124.000

Modulo elastico di alcuni materiali utilizzati nella costruzione degli scafi.



Mat.



Stuoia di vetro E.

Il peso, come si vede, è simile, ma a parità di peso la resistenza a trazione del Kevlar è 30 volte superiore, con un modulo di elasticità elevatissimo rispetto alla vetroresina: lo scafo sarà quindi particolarmente rigido e indeformabile.

Il Kevlar ha però il grande limite della resistenza a compressione, che raggiunge appena il 20% dei valori a trazione. Ottima resistenza all'impatto e scarso allungamento. Molto debole quando il carico non è nella direzione delle fibre, ma tenacissimo e insuperabile per i carichi di trazione.

L'elasticità dei materiali è un aspetto non trascurabile e di importanza notevole nella scelta dello scafo, soprattutto in relazione all'uso che ne viene fatto. Influisce anche sulle sue possibili conseguenze degenerative e sul rischio di delaminazioni, scollamenti e osmosi.

Nello scafo in vetroresina il modulo elastico ha valori molto bassi rispetto ad altri compositi più performanti, e lo stesso si può dire per le resistenze a rottura. Questi materiali hanno però la pregevole caratteristica che più si tirano più si allungano, raggiungendo deformazioni visibili prima di rompersi, "avvisando" quindi del rischio di rottura e di una imminente deformazione plastica irreversibile molto prima che essa avvenga, ma aprendo anche strade invisibili a infiltrazioni e assorbimenti.

**Più è alto il modulo di elasticità, meno il materiale si deforma,  
più è alto il carico di rottura, meno spessore è necessario usare.**

Tutta la barca è, quindi, un insieme di tessuti e fibre disposti principalmente nel senso delle trazioni e tenuti insieme da resine.

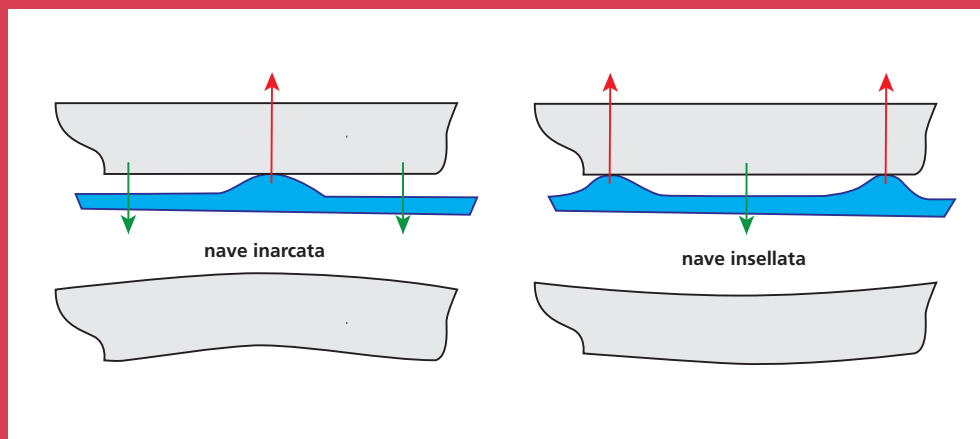
Questa tendenza a utilizzare materiali con alte resistenze a rottura vale principalmente per la trazione, meno per la compressione. Ma il passaggio di un'onda o qualsiasi altro elemento di disturbo durante la navigazione provoca in tutte le parti della barca, in rapida successione, entrambe le sollecitazioni.

Una trazione su una faccia comporta sempre una compressione sulla faccia opposta, fino a raggiungere sollecitazioni nulle lungo l'asse mediano, o asse neutro. Questo fenomeno, assai noto, prende il nome di "flessione". Ma la condizione essenziale sta nell'omogeneità della sezione dell'oggetto sottoposto a flessione, sezione che dev'essere piena (come una trave di ferro, di legno o di calcestruzzo).

Le nostre barche, invece, all'interno sono vuote, sono più simili a cilindri o, più elegantemente, a profili scatolari rastremati alle estremità (oggi principalmente verso prua, quasi triangolari!).

Quando cavalchiamo un'onda e ci troviamo sospesi, sorretti anche solo per pochi secondi alle estremità (un po' come una trave Cantilever), lo scafo si inarca sulla cresta e si insella nel cavo, subendo forze diverse contemporaneamente, con conseguenti deformazioni e possibili microfessurazioni sull'instabile gelcoat di scafo e coperta.

Questo può aprire vie a infiltrazioni, a lenti processi di idrolisi, nonché a eventuali fenomeni di delaminazione della coperta e di osmosi a scafo.



Schema statico delle forze che insistono sullo scafo quando passa sull'onda (cresta e cavo).

Oltre a una trazione del fasciame inferiore e a una compressione della coperta (o viceversa) una serie di altri fattori entra in gioco: una forza statica di zavorra per gravità verso il basso; sollecitazioni dinamiche laterali sulla deriva dovute alla spinta idrostatica e trasversali di portanza che si oppongono allo scarroccio; uno stiramento e una flessione longitudinale dal tiro di paterazzo e strallo che, comprimendo l'albero sul fasciame (carico concentrato) intorno all'attacco della chiglia, tirano e insellano le estremità di poppa e prua. In sintesi, entrano in azione forze complesse e non omogenee che condizionano calcoli strutturali non riassumibili nella sola trazione del fondo scafo e compressione della coperta.

La pelle esterna, quindi, si stira e si contrae, per cui si formano microfessure e porosità che rendono il gelcoat e il fasciame più permeabili alle infiltrazioni e contaminano la stratificazione, aprendo la strada anche a probabili processi di osmosi. Spessore e peso di uno scafo elevati, se da un lato ne limitano le prestazioni in termini di velocità, dall'altro possono contribuire ad aumentare (se esso non subisce traumi) la sua durata nel tempo.

È opinione comune che le barche di una volta fossero fatte meglio: "È talmente spessa che l'osmosi non sa nemmeno cosa sia". Vero o falso?

In passato la vetroresina veniva applicata a rullo, con tempi e temperature approssimativi, e il risultato era sovradimensionato. Non si sapeva molto e quindi si abbondava, specialmente con le basse prestazioni della più economica resina poliestere ortoftalica. Spesso si catalizzava a occhio, si usavano quantità di Mat o di resina in proporzioni sbagliate e non si avevano le idee molto chiare su diversi aspetti del processo. Si realizzavano grandi barche, bellissimi disegni e ottime costruzioni, ma erano poche, così come erano poche quelle alla portata di tutti.

Oggi esistono sicuramente resine migliori, tabelle di laminazione più precise, tecniche di infusione e operatori più esperti, che limitano le condizioni di degradazione, contenendo sin dall'inizio le condizioni predisponenti per innescare fenomeni e rischi di osmosi. Le tecnologie sottovuoto e di infusione, in particolare, consentono di realizzare gusci ve-



Spessori di vetroresina realizzata con stratificazione manuale in barche di fine anni '70.

ramente resistenti e leggeri (paragonati alla tradizionale vetroresina), ma in caso di urto la forza di inerzia derivante è comunque inferiore. Il Kevlar e il carbonio, poi, sono materiali eccezionali (se utilizzati con criterio), con un modulo di elasticità notevole, fino ad arrivare però a una rottura improvvisa senza apprezzabili preavvisi. Il difetto, se così vogliamo chiamarlo, sta quindi nella rigidità, nella mancanza di capacità di deformazione. Questi materiali hanno una resistenza enorme, ma nel momento in cui cedono si disintegrano.

La tendenza attuale, in ogni caso, va in direzione di leggerezza e scarsa deformabilità. Scafi, vele e attrezzature rigide devono pesare il meno possibile ed essere performanti.

Sicuramente lo spessore e l'elasticità possono contribuire a determinare le sorti di uno scafo, ma meno di quanto solitamente si pensa. Più sostanza, nell'immaginario comune, ha sempre rappresentato maggiore robustezza ed efficacia, anche contro l'osmosi. Quest'idea però è fuorviante perché lo spessore non incide sulla probabilità che il processo si attivi, quanto invece nel limitare la profondità dei crateri e nel preservare l'integrità del fasciame.

Alcuni cantieri costruiscono barche da crociera con l'obiettivo di renderle leggere, tuttavia il materiale che usano è sempre la vetroresina. Diminuire lo spessore di un materiale che pesa molto ma che resiste poco è un rischio effettivo. Alcuni scafi "moderni" risultano delaminati nel giro di poco tempo, con controstampi scollati o cricche da stress, flettono e si torcono senza aver fatto nessuna navigazione impegnativa.

Sul fondo dello scafo, vicino alla pinna, i 45-50 millimetri di spessore di un tempo garantivano sicurezza e quindi, a memoria dello spessore originale, si conservava il "disco stratificato", rimasto nella punta a tazza del trapano per una nuova presa a mare. Oggi si arriva anche a spessori di appena 18-25 millimetri, ma di meraviglioso carbonio, Kevlar o ARAMAT!

È dunque meglio avere uno scafo sottile e rigidissimo in composito con fibre aramidiche, carbonio o Kevlar, oppure uno scafo elastico e di elevato spessore in vetroresina?

I materiali più elastici e quindi più "spessi" trovano risorse nei loro carichi di rottura, perché conservano sempre una riserva di deformazione apprezzabile. Materiali più rigidi con spessori molto bassi, invece, una volta raggiunto il loro carico di rottura si rompono senza segni premonitori. La soluzione vincente, soprattutto nel diporto, è un giusto equilibrio, un uso sapiente di fibra di vetro sia nei fasciami monolitici che nei sandwich, combinata con laminazioni in carbonio di tutte le nervature di irrigidimento e piattabande (facce parallele al fasciame): costole, serrette, longitudinali del fondo, eccetera. Ciò permette di ridurre le dimensioni dello scheletro portante conservando rigidità, riducendo i pesi e aumentando i volumi utili interni delle imbarcazioni, soprattutto di serie da diporto.

Un laminato convenzionale, invece, pur nella sua elasticità, non deve flettersi molto perché la resina, in particolare la poliestere ortoftalica, spesso usata in passato, possiede scarse caratteristiche meccaniche e si allunga parecchio prima che le fibre inizino a sopportare i carichi richiesti.