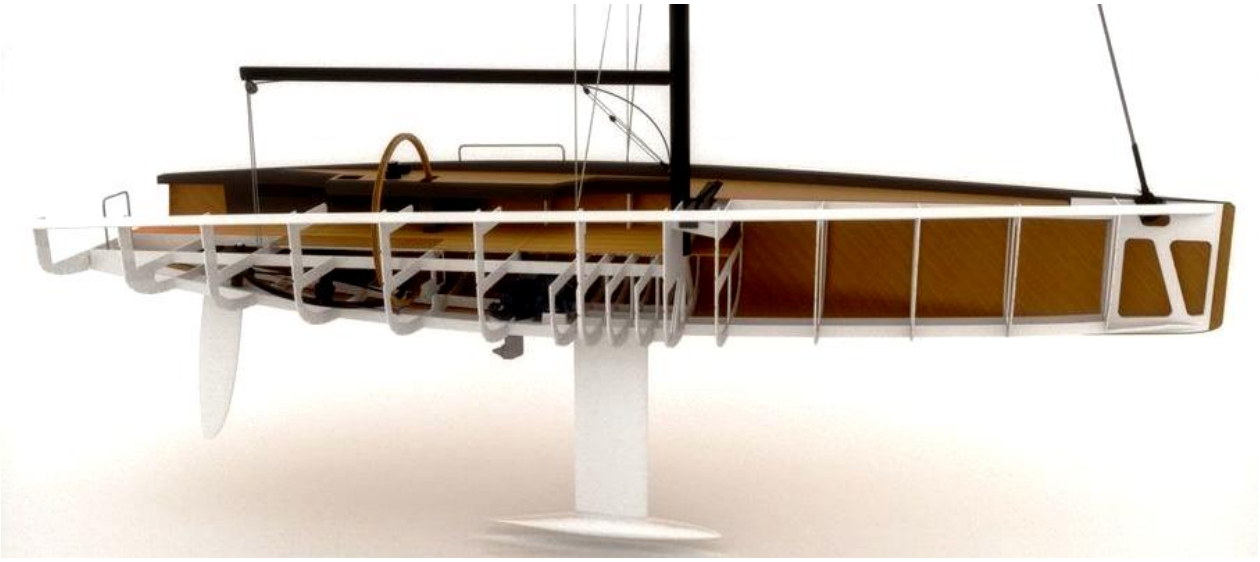
LA STRUTTURA DI UNA BARCA A VELA IN VTR. Cosa sapere e cosa controllare

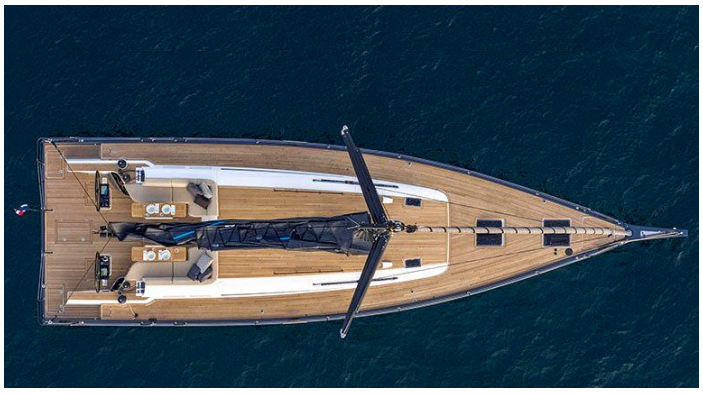


Cosa andiamo a valutare oggi quando compriamo una barca da diporto?

Nell' acquisto di una imbarcazione a vela ognuno rimane affascinato da aspetti diversi. Sicuramente per molti è importante l'estetica insieme al numero di cabine e di bagni "pro-capite", gli accessori e i comfort in dotazione. Winch elettrici, desalinizzatore, spie luminose possibilmente in quantità, tendalini, spryhood, bimini top e lazy bag.

Ma soprattutto molti ammirano incantati la **larghezza e l'abitabilità della poppa**.

La barche di oggi sono ormai diventati **triangoli** con baglio massimo totalmente arretrato a poppa e zavorre con bulbi sempre più in basso per creare un MOMENTO RADDRIZZANTE più elevato possibile.



Sono diventate barche **orziere,** meno equilibrate di una volta e quando sbandano, immergono volumi diversi lungo il proprio asse longitudinale, non mantengono la rotta molto bene e le forme "a triangolo isoscele" le portano facilmente all'orza. Per mantenere l' equilibrio idrostatico la prua si deve immergere e tuffarsi di più che la poppa spostando in avanti il proprio BARICENTRO DI CARENA, mentre quello di SPINTA DEL VENTO sulle vele resta più a poppa di quest'ultima e la barca tende a venire all' ORZA.

Come la **forma** segue dunque la **funzione** (di abitabilità), la navigazione segue le correzioni per rimanere in equilibrio (l'autopilota ha questo compito) e i "bordi" che durano sempre meno non hanno il tempo di segnalare una costante resistenza idrostatica sul timone.

La struttura della barca si adatta e segue tutto questo insieme di forme, usi e materiali sempre piu performanti.

SCAFO E FASCIAME. Materiali e principi progettuali

Come in uno spot pubblicitario rimaniamo affascinati spesso da particolari fibre dai nomi esotici e "aramidici" molto convincenti come fossero gadget commerciali !…..**"Kevlar Powered", "Aramat engineered" o "Carbonium Equipped**" che solo pronunciarli ci si sente esperti in materia, rassicurati dalla "*pelle di acciaio*" del nostro scafo ma soprattutto si immagina che sia un monolitico in **aramat o kevlar®**. In realtà molto spesso sono gli ultimi 2 o 3 strati esterni ad essere pubblicizzati come "*giubbotti antiproiettili*", il resto spesso rimane poliestere, vinilestere e filamenti di vetro E ".

Scegliere una barca è un compito difficile ed è più rischioso che comprare una casa. In mare se accade qualcosa non possiamo scendere per strada o allontanarci per metterci in sicurezza. Bisogna conoscere almeno i principi che garantiscono a uno scafo di essere strutturalmente integro e mantenersi tale nell'uso.

Scegliere una barca **leggera, rigida, indeformabile e sottile,** oppure una barca piu **pesante, deformabile e spessa** ? E' una questione di stile, di moda o di ingenua inconsapevolezza ?

La tendenza attuale è di leggerezza e scarsa deformabilità, **scafi, vele e attrezzature rigide e che pesano il meno possibile!**

FRP (*Fiber Reinforced Polymers*) , **GFRP** (*glass fiber-reinforced plastic*), **GRP** (*glass reinforced polyester),* **VTR** *(vetroresina)* **, PRFV** (*plastica rinforzata con fibre di vetro*), **GFK** (*Glasfaserverstärkter Kunststoff*) sono tutti i nomi utilizzati per indicare un materiale **fibrorinforzato** o più semplicemente il nostro scafo monolitico in **VETRORESINA !**

Il **PRFV (*Poliestere Rinforzata con Fibra di Vetro*)**, la nota **vetroresina (VTR)** è un materiale composito fatto di **fibre** (di vetro, di carbonio, di kevlar ecc.)**,** principalmente *E-glass* (60% ~ 70% del volume totale) annegate in una **resina** (matrice polimerica) spesso poliestere orto o la più performante isoftalica (30% -40% del volume totale). In alcuni casi si usa la vinilestere e in altri la potente epossidica, utilizzata per lo più con fibre di carbonio e aramidiche.

Nota: *Indicativamente per impregnare 1 Kg di MAT in fibra di vetro occorrono circa 3 Kg di resina poliestere. Mentre con le epossidiche è sufficiente 1 kg. di miscela resina/indurente per impregnare 1 kg. di tessuto di vetro.*

La **matrice** che trasferisce le sollecitazioni alle **fibre** è di caratteristiche meccaniche certamente inferiori a queste ultime e in qualche modo "diluisce e indebolisce" le proprietà assolute del composito nel suo complesso, anche se, in ogni caso, rimangono proprietà molto alte.

IL **VETRO "E"** una volta "resinato" diventa quindi un composito **PRFV**.

Le caratteristiche di resistenza a trazione e di allungamento di una fibra pura di vetro-E non ancora lavorata riceve un degrado, anche del 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 vetro E, ad esempio, ha valori di resistenze a rottura a trazione elevatissimi di circa 20-24000 Kg/cmq rispetto al "composto" PRFV lavorato e addensato con poliestere che è notevolmente inferiore.

La grandezza fisica che meglio esprime e caratterizza i materiali usati nella costruzione di scafi in vtr è il **MODULO DI ELASTICITÀ** o di Young. E' il **rapporto** tra la **tensione** cui il materiale viene sottoposto e il suo conseguente **allungamento**, in sintesi "***quanto si deforma un materiale una volta sottoposto a forze meccaniche"***.

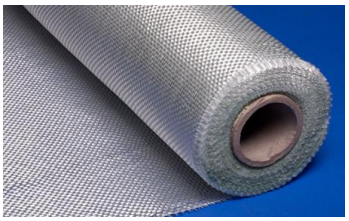
Il **modulo elastico** "**E"** insieme al **peso specifico** (kg/mc) e il **carico di rottura a trazione** (kg/cmq) sono i parametri di base da cui si sviluppa un progetto **equilibrato** tra resistenze, pesi e rigidezza.

Uno scafo in **PRFV** (*poliestere con fibra di vetro*) ha un carico di rottura di circa 1-1300 kg/cmq, un peso specifico di circa 1500 kg/mc e un modulo elasticità di circa 70000 N/mmq.

Uno scafo in **Kevlar** *tipo 49* (*fibra aramidica con resine vinilestere o epossidiche*) ha un carico di rottura intorno ai 30000 kg/cmq, un peso specifico di circa 1400 kg/mc e un modulo elasticità di circa 125000 N/mmq.

	E
VETRO E	72000
CARBONIO HS	248000
KEVLAR	124000

Mat



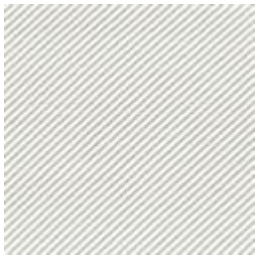
Stuoia

Il peso di entrambi è quasi simile e a favore del kevlar ma a parità di peso la resistenza a trazione del kevlar è 30 volte superiore con un modulo di elasticità elevatissimo rispetto alla vetroresina e quindi particolarmente **rigido e indeformabile**. Il **Kevlar** ha 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 è tenacissimo ed insuperabile per i carichi di trazione.

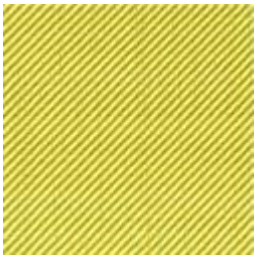
L'elasticità dei materiali è un aspetto non trascurabile e di importanza notevole nella scelta dello scafo e soprattutto dell'uso che se ne fa.

Fibra di carbonio

Fibra di vetro



Fibra di Kevlar ®



Nello scafo in **VETRORESINA** (come nelle vele in dacron) il **modulo elastico** ha valori molto bassi rispetto ad altri compositi più performanti, così come lo sono le resistenze a rottura. Questi materiali "ruspanti" hanno però la pregevole caratteristica che ***più si tirano, più si allungano*** raggiungendo **deformazioni visibili prima di rompersi**, "avvisando" quindi elasticamente del rischio di rottura e di una imminente deformazione plastica irreversibile molto prima che essa avvenga.

PIÙ È ALTO IL MODULO DI ELASTICITÀ E MENO IL MATERIALE SI DEFORMA, PIÙ È ALTO IL CARICO DI ROTTURA E MENO SPESSORE SI PUÒ USARE.

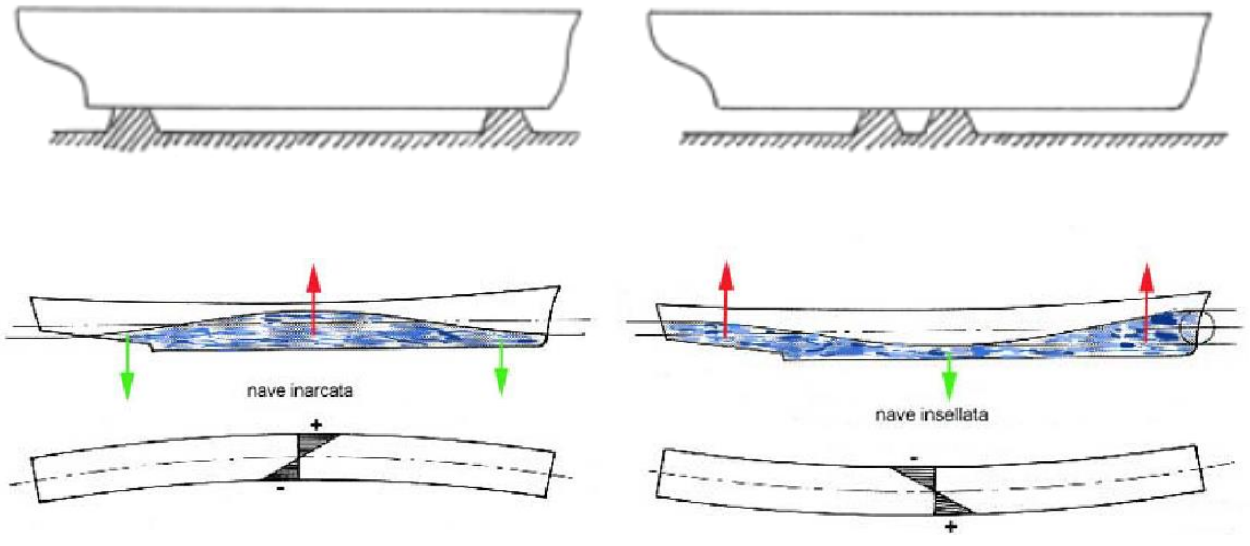
Tutta la barca è quindi un insieme di **tessuti e fibre** disposti principalmente nel senso delle **TRAZIONI** e tenuti insieme da resine.

Questa tendenza a utilizzare alte resistenze a rottura vale principalmente per la TRAZIONE, meno per la COMPRESSIONE. Il passaggio di un'onda o qualsiasi altro stress in navigazione provoca, in tutte le parti della barca, in rapida successione, ENTRAMBE le sollecitazioni!

Una **trazione** su una faccia porta sempre una **compressione** sulla faccia opposta, fino a diventare sollecitazioni nulle lungo l' asse mediano, **asse neutro.**

Questo fenomeno, ben noto a tutti, prende il nome di **FLESSIONE.** La condizione essenziale per definirsi tale sta nella omogeneità della sezione che deve essere "piena" (come una trave di ferro, di legno o di calcestruzzo).

Le nostre barche all'interno sono però vuote, sono simili più a dei tubi o profili scatolari cavi rastremati simmetricamente alle estremità, oggi solo verso prua. Quando cavalchiamo ad esempio un onda o ci troviamo sospesi sorretti (pur per pochi secondi) verse le estremità come una trave *cantilever*, lo scafo sulla cresta si inarca e nel cavo si insella e subisce diverse forze contemporaneamente.



Una **trazione** del fasciame inferiore e una **compressione** della coperta, una forza statica di zavorra per gravità verso il basso, altre sollecitazioni dinamiche laterali sulla deriva dalla spinta idrostatica e trasversale di portanza che si oppone allo scarroccio, insieme a uno "stiramento" e flessione longitudinale del tiro di paterazzo e strallo che comprimendo l'albero sul fasciame (carico concentrato) intorno all'attacco della chiglia, tira e insella le estremità di poppa e prua.

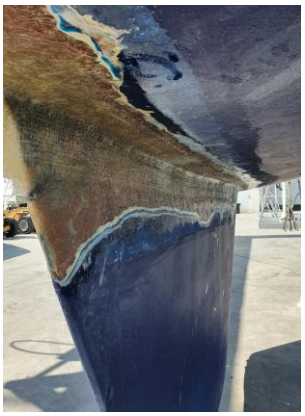
Insomma, agiscono forze complesse e **non omogenee**, condizionando calcoli strutturali non riconducibili a una sola trazione fondo scafo e compressione della coperta. I collassi eventuali (vedi

zona di attacco scafo-deriva) avvengono per **punzonamento / taglio**, forza responsabile piu della flessione, di eventuali cedimenti e “crolli”.

Il sistema **scafo/pinna** di deriva è molto simile a quello terrestre tra **plinto/pilastro**, dove le verifiche maggiori sono appunto per **taglio.**

Scheletro irrigidimento

Prigionieri deriva


Spessore laminazione

L’insieme di tutte le forze, che insistono e convergono concentrate sulla superficie superiore della pinna di deriva devono diffondersi nello scafo attraverso **3 zone**: lo **spessore del guscio**, la **discontinuità dei prigionieri** di collegamento e lo **scheletro di irrigidimento** del guscio interno.

Gli **spessori e il peso** di uno scafo, se da un lato limitano le prestazioni in termini di velocità, dall’ altro ne aumentano, se mantenuti senza traumi, la durata nel tempo. La rigidità di un laminato dipende dal cubo del suo spessore (S^).

Una volta la vetroresina era data a rullo, con tempi e temperature più o meno a occhio e senza studiare il processo in modo ingegneristico, si otteneva il risultato **SOVRADIMENSIONANDO TUTTO**. Non si sapeva molto e quindi **SI ABBONDAVA,** specialmente con le basse prestazioni della più economica e usata **poliestere ortoftalica**.

Spessore generoso vetroresina passa scafo e stratificazione manuale

Tutto una volta era legato e c'era anche lo specchio di poppa che “chiudeva” e reggeva molte torsioni e carichi notevoli, ma ospitava sicuramente meno persone in pozzetto!

Spesso consideriamo le barche di una volta fatte meglio o è un falso mito?

Per timore nel passato si catalizzava a occhio, si usava **tanto mat o tanta resina** in proporzioni anche sbagliate, e non si avevano le idee molto chiare su tante cose!

Alcuni realizzavano grandi barche, bellissimi disegni e ottime costruzioni, ma erano poche e le barche in questione erano fuori della portata della massa, per loro, invece, esisteva una produzione di serie, di barche avvolte non migliori rispetto a quelle di serie attuali. Oggi ci sono resine migliori, tabelle di laminazione più precise, tecniche di infusione e operatori più esperti.

Le FIBRE COMPOSITE e le tecnologie SOTTOVUOTO e di INFUSIONE permettono di realizzare gusci veramente **resistenti e leggeri** (paragonati alla tradizionale vetroresina) e in caso di urto, la forza di inerzia derivante è comunque molto inferiore.

Il **KEVLAR** e il **CARBONIO,** sono materiali strepitosi (se utilizzati con criterio) con un modulo di elasticità elevatissimo fino ad arrivare a rottura improvvisa e senza apprezzabili preavvisi. Il difetto (se così vogliamo chiamarlo) è quindi nella loro **RIGIDITÀ**, nella mancanza di **DEFORMAZIONE**.

Hanno una resistenza enorme ma, nel momento in cui cedono, si disintegrano.

Alcuni grossi cantieri costruiscono oggi barche da crociera secondo la richiesta di maggiore leggerezza (togliendo quindi peso) adottando però come materiale sempre il PRFV.

TOGLIERE SPESSORE AD UN MATERIALE CHE PESA MOLTO MA CHE RESISTE POCO È UN ERRORE.

Gli **spessori** diminuiscono sempre di più grazie alla tecnologia che è cambiata e l'utenza vuole scafi sempre piu leggeri e performanti, per arrivare primi! Alcuni scafi "moderni" dopo poco tempo risultano delaminati o hanno controstampi scollati o cricche da stress, flettono e si torcono senza nemmeno aver fatto traversate impegnative. Dai 45-50mm sul fondo scafo vicino alla pinna dove un tempo una martellata ti rimbalzava nei denti e si conservava il disco stratificato rimasto nella punta a tazza del trapano per una nuova presa a mare come memoria di un passato di "spessore", oggi abbiamo anche 18-25 mm, ma però in carbonio o kevlar !

E' meglio avere uno scafo **sottile e rigidissimo** (*compositi con fibre aramidiche, carbonio o kevlar*) o **spesso e elastico** (*vetroresina*) ?. I materiali piu elastici e quindi più "spessi" trovano risorse e riserve nei loro carichi di rottura perché conservano sempre una scorta di deformazione apprezzabile. Materiali più rigidi con spessori molto bassi una volta raggiunto il loro carico di rottura si rompono.

Un laminato non deve flettersi molto perché la resina (in particolare **poliestere orto**) ha scarse caratteristiche meccaniche e si allunga molto prima che le fibre iniziano a sopportare i carichi.

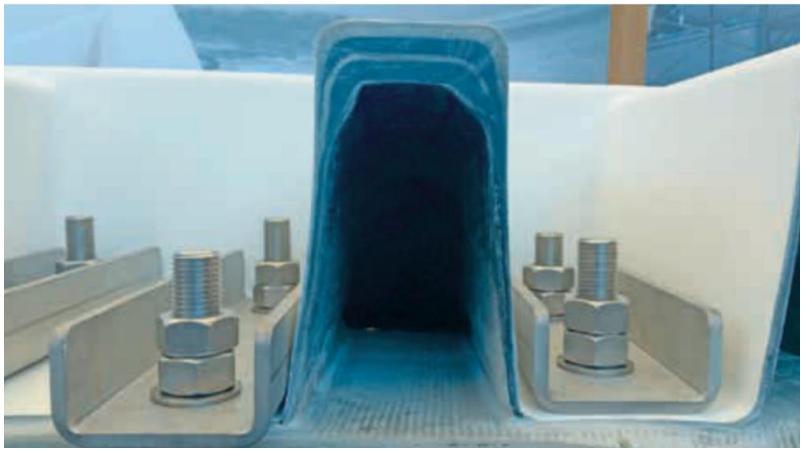
Resina	**Resistenza all'allungamento** (N/mm2)	**Allungamento alla rottura** (%)	**Modulo di allungamento** (KN/mm2)	**Densità** (g/cm3)
Polimerica Orto	50	1,6	4,6	1,20
Polimerica Iso	74	5,0	3,5	1,14
Vinilestere	78	4,9	3,5	1,12
Epossidica	76	5,7	3,2	1.09

Fibre	**Resistenza all'allungamento** (N/mm2)	**Allungamento alla rottura** (%)	**Modulo di allungamento** (KN/mm2)	**Densità** (g/cm3)
E - glass	3400	4,8	73	2,55
S - glass	4600	5,4	88	5,50
Kevlar	2800	2,7	100	1,67
Carbonio	3400	1,5	230	1,75

STRUTTURE INTERNE E RINFORZI

Nelle barche moderne con chiglia "appesa e imbullonata" la zona del fasciame tutta attorno al profilo superiore della pinna di deriva è il punto più delicato di tutto lo scafo. L'accoppiamento **scafo-deriva** è una zona fondamentale, come l'attacco delle **lande**, la **base dell'albero** insieme a tutto quel misterioso groviglio di **orditure strutturali** di irrigidimento all'interno delle nostre sentine. La

normativa di riferimento sul dimensionamento del fondo scafo e della pinna è la CE – Iso 12215-9 del 2018.



Giunzione deriva scafo con controstampo e piastre inox

Controstampo sollevato con passaggi integrati

- **Scheletro, ragno strutturale e controstampi**

La soluzione più usata nelle barche con deriva “imbullonata” è quella di posizionare sul fondo strutture collegate tra loro **madieri, correnti longitudinali, ordinate e serrette** per diffondere gli sforzi concentrati provenienti dalla deriva, dall’albero e dalle lande e per irrigidire il “tamponamento” in vetroresina.

Abbiamo a che fare con travi metalliche, nervature scatolari in composito con anime in espanso e pvc o come nel recente passato in legno resinato. Il tutto posato in opera e laminato manualmente sulla pelle interna, oppure troviamo strutture **controstampate prefabbricate** e poi incollate con resine “caricate” e (non sempre) “fazzolettate” allo scafo. Tutto questo è presente in ogni scafo sotto il paiolato in quella zona il più delle volte poco considerata, spesso solo per ripulire la vaschetta della ghiotta centrale o per rifornirsi di qualche bottiglia di vino lasciata al fresco in sentina.

I **controstampi integrali** includono anche il fondo della sentina non più però raggiungibile e ispezionabile. I **controstampi semintegrali**, invece, sono bucati nella parte bassa tra un madiere e l’altro permettendo l’ispezionabilità e una stratificazione di collegamento a scafo maggiore.

Questo ragno strutturale, ormai diventato sempre più collaudato e di serie nella produzione, è quindi un’ossatura che ingloba **madieri e longheroni**, la **base d’albero**, il **supporto del motore** e avvolte la struttura di aggancio delle **lande** e la base del **mobilio**. Viene di norma laminato manualmente

sopra un unico stampo femmina, evitando così interruzioni di tessuti, con rinforzi in tutti i madieri e longitudinali. Viene poi incollato e laminato a scafo creando una struttura scatolata monolitica. I passaggi dei tubi e dei cablaggi elettrici predisposti e rinforzati in anticipo durante lo stampaggio del ragno evitano forature postume che indebolirebbero la struttura. I madieri (trasversali) e le costole (ordinate) del fianco, su cui spesso insistono le lande sartie sono rinforzati e avvolte in collegamento strutturale “da falchetta a falchetta” passando per la chiglia.

Controstampo integrale

Collegamento costole attacco lande e madieri

Rinforzo lande in carbonio

- **Pinna di deriva e bulbi**

Uno scafo in **prfv** ha dunque una capacità elastica a deformarsi reversibilmente ma la **lama di deriva** ad esso collegata (ghisa o piombo) è rigida e l’accoppiamento non è tra i piu intimi e rassicuranti. Una volta si raccordavano e bloccavano le pinne allo scafo, sia in senso trasversale che longitudinale, erano le cosiddette “chiglie stellate”. Oggi non si “accompagna” il guscio alla lama, esce dritto, profondo e sottile. Il fasciame inferiore dello scafo nella sua elasticità flette, si insella, si torce e reagisce dinamicamente alle spinte e carichi ma la superficie superiore della deriva rimane rigida senza adattarsi al sistema elastico a cui è stato integrato. Un po è come collegare un pannello di cartongesso a battuta su una trave di castagno di un soffitto. Entrambi si comportano diversamente e i movimenti crepano e distaccano la giunzione, inizialmente perfetta e continua, ma non per questo crolla ! Molte crepe e fessure sono spesso estetiche.

Pinna di deriva con vaschetta ghiotta integrata nel recesso lama

Chiglie lunghe strutturali, con pinna trapezoidale imbullonata, lame con siluri e bulbi, in ghisa sferoidale ferritica o austenitica con perni avvitati e filettati, in piombo “indurito” con antimonio e prigionieri annegati o con “collari” di controchiglia in vtr integrati a scafo devono essere ben noti per riconoscere come interpretare i segni che nascondono un potenziale problema in quello che è il punto più delicato della barca per la sicurezza e la stabilità.

Fessure e distacchi tra chiglia e scafo, specialmente all'estremità anteriore, possono essere fisiologiche come anche un serio segnale di cedimento della giunzione. Controllare con lo scafo sollevato sulle fasce lo spazio del distacco e, scuotendola, provare ad osservare una eventuale oscillazione della deriva. Pulirla e valutarne la profondità e la natura. Una volta poggiato lo scafo sull'invaso controllarla nuovamente e vedere se rimane aperta o aderisce allo scafo. Macchie di bagnato che non si asciugano ed eventuali **colature marroni di ruggine** lungo il bordo d'attacco potrebbero indicare e confermare un sospetto di infiltrazione avvolte innocua e apparente nelle derive in ghisa perchè fanno ruggine, come al contrario un credibile campanello di allarme in quelle di piombo con perni in inox, perché non fanno ruggine, ma l'inox dei perni si.

Collare controchiglia con zavorra in piombo incapsulato da vtr

Se si trova acqua salata in sentina (escludendo perdite da prese a mare, trasduttori, tenute meccaniche asse o s-drive, losca timone o circuito raffreddamento motore) è bene accertarsi della causa. **Bulloni, dadi, rondelle o piastre** ossidate vanno spazzolate e pulite per valutare che si tratti solo di ruggine superficiale e che non si sfogli e sgretoli a scaglie tra le mani con una colorazione nero scura. Rondelle sotto i dadi di fissaggio affossate sul fasciame con crepe concentriche sul gelcoat di barche datate indicano una **plasticità** del fondo non più reversibile e non un tipico ritiro elastico volumetrico della resina dopo la catalizzazione.

Ruggine e infiltrazioni dadi e perni chiglia

Perni con vite

Prigioniero con filettatura alta

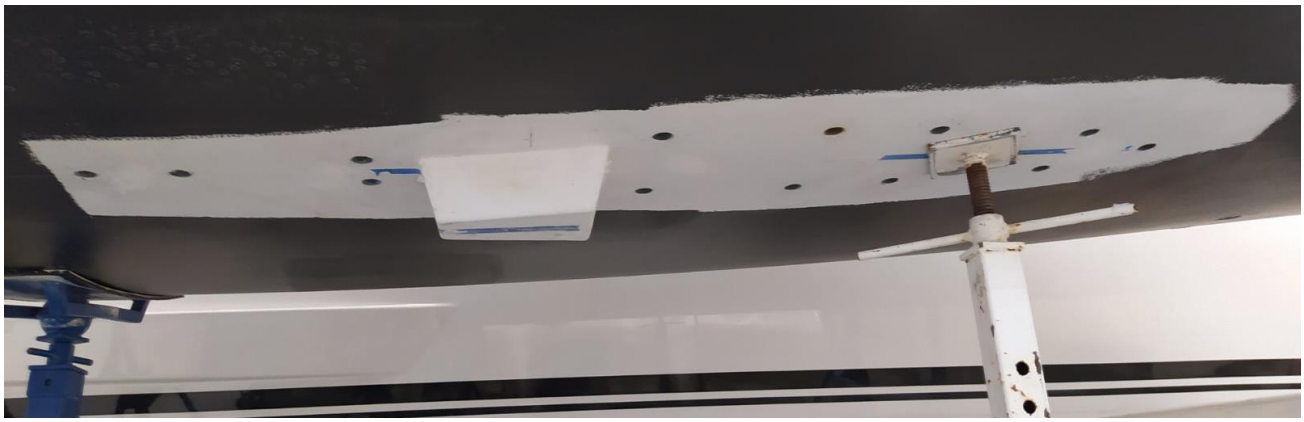
La **ghisa** ha minore resilienza (capacità di assorbire un urto senza rompersi) e maggiore fragilità e generalmente viene incollata allo scafo con **sigillanti morbidi**. Spesso risulta porosa con presenza di piccoli vuoti e non esente da colature ben visibili. Il **piombo** è più morbido e duttile, in grado di assorbire bene gli urti ammortizzandoli e l'incollaggio a scafo viene fatto con **resina rigide** di tipo epossidiche caricata con microsfere (come la nota *araldite*)

Incappellaggi in vetroresina o in gelcoat (originale di cantiere) sulle teste dei perni e dadi, se da un lato sono una garanzia di tenuta negli anni, dall'altro le possibili crepe del rivestimento permettono all'acqua e all'umidità in sentina di infiltrarsi sotto il gelcoat bagnando i perni e nascondendo il reale stato di conservazione. Verificare rondelle, piastre e dadi che siano dello stesso materiale dei perni di sostegno per evitare eventuali corrosioni da contatto. **I nemici dei metalli sono sempre l'ossigeno, l'umidità e la salsedine**. La ruggine spesso è superficiale e protettiva ma nel caso contrario si mangia lentamente tutto !

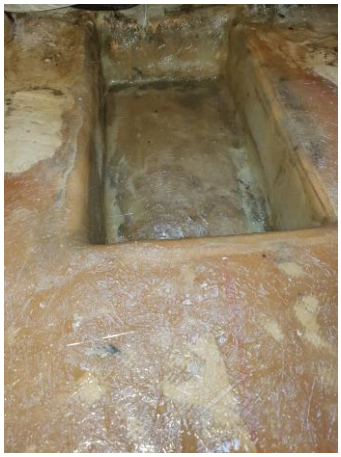
Verificare che il fasciame non presenti flessioni o avvallamenti anomali a poppavia (segno di un urto) ne crepe o dossi. All'interno i paglioli devono essere ben allineati e complanari tra loro e le porte chiudersi bene. Se così non fosse, specialmente con ossatura controstampata allora qualcosa forse è accaduto !

Le **piastre dei prigionieri** si possono presentare ossidate in corrispondenza del perno. Può non essere infiltrazione ma la causa è nella foratura della piastra fatta in modo inappropriato, troppo velocemente e senza emulsione oleosa di raffreddamento, il risultato è il surriscaldamento dell'area circostante rendendo ossidabile l'area termicamente alterata.

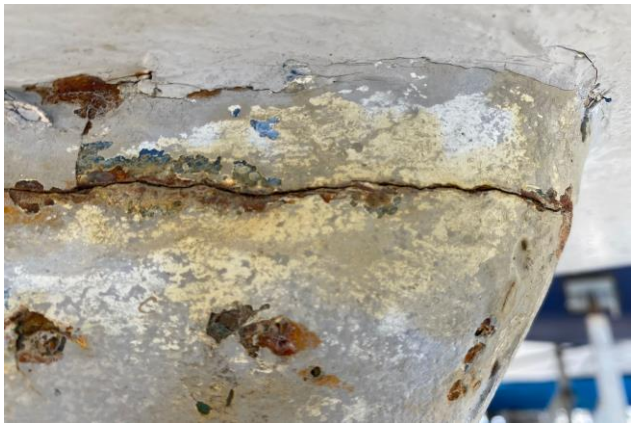
Alcune chiglie vengono sagomate e integrate nel recesso dedicato alla **ghiotta** di raccolta dentro lo scafo e incapsulato al suo interno. A mio avviso è un punto debole e spesso causa di possibili infiltrazioni da piccole cricche sulla superficie della vaschetta inglobata nella deriva in seguito a urti o incagli.

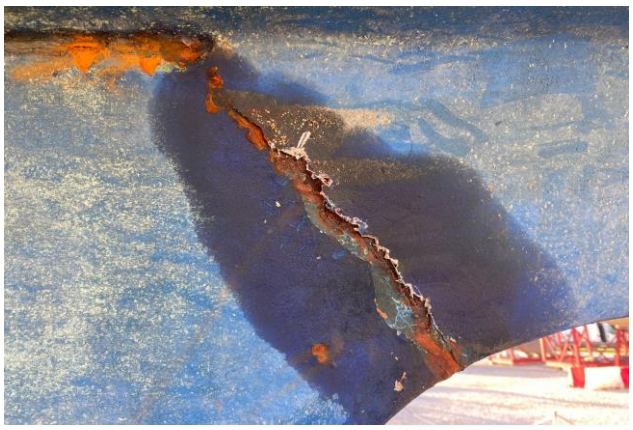


Vaschetta ghiotta integrata nel fasciame e inserita nel reesso della deriva (punto delicato)



In conclusione un trafilaggio di acqua, anche rugginosa, dai bordi dell'attacco **pinna-scafo**, la presenza di fratture e distacchi lungo i perimetri dell'**incollaggio del controstampo**, eventuali crepe sui **madieri e longitudinali** e i **perni-prigionieri** fortemente ossidati sono chiari sintomi premonitori di stress o cedimenti strutturali.





QUALI CONTROLLI FARE ALLORA? **….di regola alzare i paglioli piu spesso !**

Sacha Giannini
Dicembre 2021

….continua *2 parte*:

…<u>COPERTA e GIUNZIONE, PARATIE STRUTTURALI E RIG (albero e sartiame)</u>