

Politecnico di Milano / Facoltà del Design

Corso di laurea magistrale in *Design&Engineering*

Y-DfD Yacht Design for Disassembly

Progettazione modulare e nuove soluzioni di connessione
per il disassemblaggio dell'imbarcazione a fine vita

Relatore: prof. Andrea Ratti

Laureando: Maurizio Valle (707798)

a.a. 2012/2013

Indice

Parte I - Nautica e sostenibilità ambientale

Inquadramento del problema e obiettivi

Capitolo 1 - Nautica e sostenibilità ambientale

1.1 Introduzione al settore nautico	3
1.2 Il prodotto nautico	5
1.3 La sostenibilità nella nautica	7

Capitolo 2 - Ciclo di vita e impatto ambientale delle imbarcazioni

2.1 Introduzione alla metodologia LCA	13
2.2 Il ciclo di vita delle imbarcazioni	17
2.3 Produzione	18
2.4 Fase d'uso	36
2.5 Fine vita e dismissione	44

Capitolo 3 Il disassemblaggio

3.1 Disassemblaggio e Design for Disassembly (DFD)	60
3.2 Design for disassembly nell'automotive	67
3.3 Altri esempi di Design for disassembly	71
3.4 Disassemblare un'imbarcazione	74

Parte II – Progettazione modulare per il disassemblaggio

Capitolo 4 - Il disassemblaggio dell'imbarcazione in vtr

4.1 Architettura di assemblaggio di un'imbarcazione	81
4.2 Tipologie di giunzioni	84
4.3 Problematiche per il disassemblaggio	88
4.4 Scelta del livello di intervento	90

Capitolo 5 - La separazione dell'assieme interni

5.1 La diversità dei macroassiemi del prodotto	97
5.2 Vantaggi della separazione degli interni	104

Capitolo 6 - Ipotesi progettuale della cella interna	
6.1 La nuova configurazione	111
6.2 Analisi delle giunzioni nella nuova configurazione	114
6.3 Ridisegno delle giunzioni: il componente pultruso	117
6.4 Fasi di assemblaggio e disassemblaggio	136
6.5 Gestione dei componenti disassemblati	141
6.6 Conclusioni	145
 Appendice	
Progetti di trattamento di imbarcazioni a fine vita (ELB)	149
 Bibliografia	153

Inquadramento del problema e obiettivi

Il lavoro si inserisce nell'ambito di ricerca relativo alla sostenibilità ambientale nel settore della nautica da diporto. Anche la produzione industriale di imbarcazioni, infatti, ha raggiunto caratteristiche tali da costituire un notevole impatto ambientale, paragonabile ad altri settori più evoluti come quello automobilistico. In particolare, le ultime osservazioni mostrano l'aggravarsi del problema derivato dalla difficoltà di trattamento delle imbarcazioni nella fase di dismissione, che si traduce in un grave danno ambientale e conseguenti costi di gestione. Attualmente disponiamo di strumenti per valutare e affrontare le problematiche legate all'impatto di questi prodotti, secondo i criteri della progettazione sostenibile e tramite l'osservazione di strategie attuate in altri settori.

Volendo definire più concretamente la situazione, si stima attualmente un parco nautico di oltre 600mila unità, dei quali il 90% costruito in vetroresina (o FRP¹). L'utilizzo massiccio di questo materiale composito per la produzione nautica ha inizio negli anni '70. Le sue caratteristiche fisiche e meccaniche, unitamente ai bassi costi di produzione e alla versatilità formale del processo, lo hanno portato a diventare il materiale principale per la produzione di imbarcazioni, da piccoli natanti fino a yacht oltre 40m di lunghezza. Analizzando quindi il ciclo di vita del prodotto nelle sue fasi (produzione, uso e dismissione), uno degli aspetti più evidenti

.....
1 FRP acronimo di Fibre Reinforced Polymer, ovvero composito di resina polimerica rinforzata con fibre, nel caso della vetroresina con fibre di vetro (GFRP)

riguarda le problematiche legate al fine vita. La durata anche pluridecennale di questi oggetti, infatti, sta facendo emergere solo oggi il grande problema legato all'incapacità di gestire la loro dismissione, con un ritardo che ci trova impreparati e disorganizzati rispetto ad altri settori, sotto diversi punti di vista.

Il primo problema evidente riguarda l'impatto ambientale di oggetti di tali dimensioni, che comportano sforzi di trasporto e trasformazione molto alti. Per questo attualmente le imbarcazioni alla fine della loro vita utile vengono abbandonate nei porti o nei piazzali, o peggio affondate illegalmente. Questo è sicuramente favorito da una carenza di regolamentazioni a riguardo. Dal punto di vista legislativo, infatti, la nautica accusa un certo ritardo rispetto ad altri settori produttivi, soprattutto per quanto riguarda le direttive che regolamentano il fine vita. Attualmente si sta lavorando alla redazione della normativa UNI 810505 relativa proprio al problema della dismissione nella nautica, mentre a livello europeo si fa riferimento alla 2008/98/CE, che classifica le tipologie dei rifiuti indicandone una gerarchia di valore, e privilegiando il riciclo allo smaltimento. La stessa sancisce il trasferimento della responsabilità, e quindi i costi, del rifiuto dal proprietario al produttore. Ma accanto al quadro normativo è possibile, anzi necessario, ripensare più ampiamente il sistema prodotto, per cercare di trovare delle soluzioni che incentivino la produzione a cambiare rotta verso una maggiore sostenibilità.

La fase di progettazione, infatti, è un altro aspetto che rivela l'obsolescenza del settore nautico in questi termini. Così come agli albori della produzione di scafi in vetroresina, ancora oggi non esiste un approccio sistematico che consideri le fasi di dismissione del prodotto. Alla nautica sono sconosciuti gli strumenti di progettazione per il ciclo di vita, che ormai sono diffusi in molti altri settori produttivi, anche per il carattere semiartigianale che ne contraddistingue il processo di produzione, che solo recentemente sta cercando di industrializzarsi.

Numerose ricerche hanno cercato di dimensionare il problema e analizzare la situazione concreta di una barca da dismettere. L'obsolescenza delle imbarcazioni si aggira attorno al 4% l'anno. Giunte a fine vita, esse andrebbero rottamate, ma in realtà questo

non avviene quasi mai. Il processo non è organizzato, perchè il prodotto non è predisposto per l'operazione. La demolizione dovrebbe avvenire successivamente ad un disassemblaggio del prodotto, in cui vengono separati i materiali e recuperati i componenti riutilizzabili, ma anche questo risulta molto difficile. La caratteristica principale, infatti, che rende l'imbarcazione "inquinante" è legata alla sua complessità materica, unita alla difficoltà di disassemblaggio. Se per le automobili sono ormai presenti procedure e strutture organizzate per il loro smantellamento, riciclo e smaltimento, per le barche in vetroresina la questione è del tutto irrisolta, non essendosi mai posto fino ad ora il problema di pensare al loro smontaggio. Il prodotto è assemblato con l'intento di renderlo un assieme monolitico più durevole possibile nel tempo, ma non necessariamente smontabile, a meno che non lo richiedano delle specifiche necessità di manutenzione. Ci troviamo quindi di fronte al problema generato dalla necessità di smantellare un oggetto composto da vetroresina, legno, vetro, acciaio, rame e impianti elettrici, per poterne eventualmente recuperare un certo valore in termini di riutilizzo, riciclo o recupero di energia. Il disassemblaggio è quindi una parte cruciale del processo, e dal momento che il prodotto non è pensato per questa operazione, essa risulta attualmente molto svantaggiosa economicamente. Studi recenti hanno stabilito che per il disassemblaggio si spenderebbe oggi circa il 70% del costo di produzione². Questo evidenzia come sia necessario ripensare il prodotto anche dal punto di vista costruttivo, per rendere attuabili le imposizioni legislative e stimolare un cambiamento spontaneo.

A partire da queste analisi, la ricerca oggi agisce su più livelli. Dal punto di vista della produzione, si cerca di ottimizzare l'uso di materiali ecocompatibili e facilmente riutilizzabili. Per quanto riguarda il trattamento dei rifiuti in vetroresina, sono allo studio numerosi progetti per recuperare valore dal composito tramite diversi processi industriali, riutilizzando il materiale per crearne di nuovi od ottenendo energia dalla combustione; la vetroresina si realizza tramite un processo chimico irreversibile, oltre che inquinante, e la nobiltà di un composito contenente fibre è molto difficile da mantenere. In parallelo sono sempre più attive sperimentazioni

.....
2 Di Martino A., "End of Life Boats", da presentazione al seminario *MIDRO 2012*, Milano, 2012.

per la realizzazione di compositi innovativi, che fanno uso di fibre naturali e resine ecocompatibili. Ad un livello più concreto, accanto a questo tipo di sperimentazioni, il design può diventare strumento di innovazione progettuale per migliorare gli aspetti del prodotto legati al disassemblaggio, e rendere potenzialmente attuabili in un ciclo completo i risultati della ricerca svolta ad altri livelli.

La ricerca si pone quindi come obiettivo analizzare le motivazioni che rendono problematico dismettere le imbarcazioni, e in particolare le operazioni di disassemblaggio del prodotto. Approcciando il problema secondo i criteri di progettazione sostenibile e del design for disassembly, si cerca quindi di elaborare strategie di intervento che possano inserirsi nel panorama produttivo attuale, accanto ad altri ambiti di ricerca sui materiali, sulle procedure industriali e sul riciclo della vetroresina. Focalizzando l'attenzione sul problema della separazione dei materiali, si ipotizza una soluzione progettuale che, rivedendo la gerarchia dei componenti, permetta una gestione più intelligente delle parti da scomporre a fine vita, aprendo interessanti prospettive anche in termini di assemblaggio, flessibilità produttiva e commerciale.

Capitolo 1

Nautica e sostenibilità ambientale

1.1 Introduzione al settore nautico

La produzione nautica italiana rappresenta una delle maggiori a livello mondiale. La sua posizione di protagonista in termini economici e quantitativi ci permette di poterla prendere a esempio come punto di partenza nelle analisi di mercato del settore, per impostare un quadro del problema rappresentativo e aggiornato.

L'industria nautica da diporto è infatti uno dei settori più importanti del panorama industriale italiano, in grado di produrre annualmente oltre 24 mila unità da diporto, per un fatturato complessivo di circa 3.3 miliardi di euro¹. La crisi recente ha investito anche questo settore, facendo registrare in tre anni una caduta dei ricavi complessiva di oltre il 45%. In questo scenario, la produzione per il mercato estero costituisce ora il 67%, superando quella destinata al mercato italiano e comprovando il successo mondiale di questo comparto produttivo. Inoltre la produzione di superyacht è l'unico segmento in controtendenza rispetto ai precedenti, e vede infatti un bilancio in crescita, a testimonianza dell'eccellenza del *made in Italy* in un settore in cui il nostro paese resta leader, con il 41%

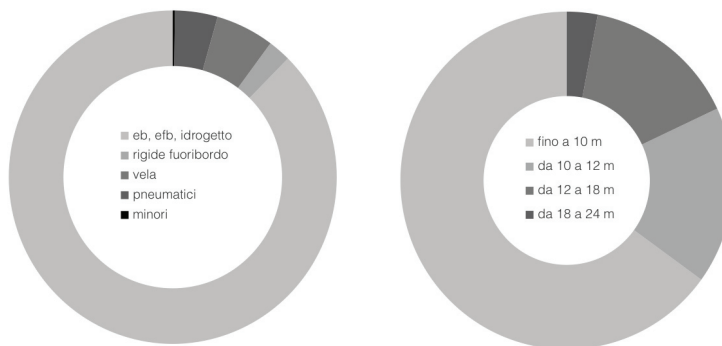
.....
¹ Il fatturato complessivo si riferisce all'anno 2010, ed è comprensivo dei diversi comparti del settore, ovvero cantieristica (circa 2 miliardi), refitting (0,17 miliardi) accessori (0,88 miliardi) e motori (0,3 miliardi). Fonte: Ucina, *Nautica in cifre 2011*

della produzione mondiale². La produzione nautica da diporto viene suddivisa nelle analisi di mercato in diverse tipologie, di cui la principale è rappresentata ampiamente dalle imbarcazioni a motore, che costituiscono quasi il 90% della quantità e del fatturato complessivo nella produzione italiana. Per quanto riguarda le ricerche di settore, è importante considerare che il conteggio delle unità presenti nel parco nautico è piuttosto complesso, complice il fatto che i natanti non hanno obbligo di registrazione. Per questo sottogruppo ci si basa su delle stime, ottenute incrociando gli ultimi dati ricavati dalla registrazione dei motori con le aspettative medie di durata di un'imbarcazione a motore. Dalle ultime analisi si ottiene quindi un parco nautico complessivo di 617mila unità, suddiviso per lunghezza come da schema.

**Produzione nautica italiana 2010
scomposta per tipologia
(a sinistra)**

**Parco nautico immatricolato
suddiviso per classi di lunghezza
(a destra)**

Fonte: UCINA - *Nautica in Cifre*
2011



Questi dati sono da prendere in considerazione nell'affrontare il discorso ambientale oggetto della ricerca. Si parte infatti dal problema del volume di imbarcazioni prodotte e quindi, un giorno, dismesse, per quantificare e analizzare qualitativamente la situazione attuale.

Volendo focalizzare l'attenzione su un segmento significativo, d'ora in avanti possiamo quindi considerare la tipologia rappresentata dall'imbarcazione a motore entro bordo in vetroresina, al limite dei dieci metri di lunghezza, comprensiva di strutture e accessori che la rendono interessante, in quanto esempio cruciale per diversi aspetti tecnici, rispetto all'analisi del problema ambientale che comporta.

² Circa un terzo dell'industria nautica, nel suo complessivo, ha sede in Lombardia, dove troviamo anche il maggior numero di addetti che vi lavorano. Seguono la Liguria (14%) e l'Emilia Romagna (10%).

1.2 Il prodotto nautico

Il materiale alla base della diffusione di questa tipologia di prodotto è sicuramente la vetroresina. Essa costituisce un composito di resina polimerica rinforzata con fibre di vetro, le cui prestazioni, unitamente alle caratteristiche produttive e al basso costo ne hanno decretato il successo incontrastato per la produzione di scafi e non solo.

L'introduzione di questo materiale nella costruzione di scafo e coperta ha decisamente rivoluzionato il sistema produttivo nautico. La lavorazione del legno, dalle antichissime tradizioni e specializzazioni, era un mestiere squisitamente manuale che richiedeva perizia ed esperienza proprie di un'arte, come spesso è infatti considerata. La qualità del manufatto, perchè di questo si trattava, scaturiva dalla buona esecuzione del gesto umano, al pari di quanto accade per un mobile. Intrinseco nel gesto umano ritroviamo il carattere di unicità del prodotto, che insieme al lungo tempo necessario per realizzare un pezzo determinava di fatto l'unicità e il valore del modello di imbarcazione prodotto, in antitesi con il concetto industriale di serie.

La fabbricazione in vetroresina introduce infatti nella nautica il concetto di serie, uno degli aspetti propri della produzione industriale per definizione. La vetroresina viene lavorata utilizzando degli stampi, gli strumenti emblematici dell'industria, che permette l'infinita replicabilità di un disegno. Permette inoltre una nuova libertà formale, molto più limitata nell'epoca del legno, come si può comprendere studiando le tecnologie di lavorazione del composito. La possibilità di riprodurre in serie un progetto si sposa con una delle caratteristiche principali della vtr, ossia il suo basso costo.

**produzione industriale di
imbarcazioni in vetroresina**

Tuttavia, accanto a queste caratteristiche della lavorazione della vtr, ritroviamo nel processo di fabbricazione delle imbarcazioni un'alta presenza di lavoro manuale, proprio nella fabbricazione delle componenti in composito³. L'allestimento dell'imbarcazione prosegue, dopo lo stampaggio, con linee di montaggio molto corte, non paragonabili al settore automotive, costituite da stazioni di lavoro in cui vengono adattati e montati arredamenti, tappezzerie,

.....
³ Tralasciando le varianti produttive legate allo stampaggio per infusione e RTM, la maggioranza della produzione di vtr fino ad oggi utilizza lavorazioni di laminazione manuale, dipendente da fattori umani.



accessori e motoristica in maniera molto artigianale. Abbiamo quindi una macro-organizzazione del processo produttivo di stampo industriale all'interno della quale ritroviamo piccole realtà lavorative artigianali.

Caratteristiche della produzione nautica

Queste caratteristiche rendono difficile classificare il settore nautico in una fascia produttiva precisa, così come rendono difficile cercare di evolverlo dal punto di vista gestionale. La ragione di questo sta nella grande varietà di operazioni coinvolte nella realizzazione di questo prodotto e nelle caratteristiche qualitative richieste dal cliente. Un prodotto composto da un insieme così eterogeneo di materiali necessita di poter disporre di strumenti e competenze differenti tra loro, coordinate negli stessi stabilimenti dalle stesse tempistiche e logiche organizzative. Si parte con lo stampaggio di vetroresina, in ambienti particolari e sottoposti a norme lavorative e ambientali molto severe, simile per caratteristiche a quello di un'industria chimica. Successivamente nella linea di montaggio si segue l'allestimento dell'imbarcazione e il suo assemblaggio. Vengono movimentati e assemblati motori, impianti idraulici ed elettrici, mobili, vetri, acciai e tappezzeria. Si alternano meccanici ed elettricisti, idraulici, falegnami e rifinitori. L'attività di assemblaggio è affiancata in parallelo con quella di chi realizza l'allestimento, a volte appaltato a falegnamerie esterne, e lo stesso avviene per le tappezzerie e gli acciai. Sono attività con tempistiche diverse, così come diversi sono i requisiti di precisione, di dimensione dei lotti di produzione, di costo relativo e di qualità

percepita, e molto altro ancora.

Se il cantiere comprende al suo interno la progettazione dei nuovi modelli, a questo mondo descritto si affianca, in maniera molto distaccata, quello della modellistica e della prototipazione, terra di incontro tra imprenditori, stilisti e falegnami modellisti dalle eccellenti capacità artigianali. Relativamente recentemente, rispetto ad altri settori, la fase di progettazione e sviluppo prodotto viene eseguita utilizzando strumenti CAD e metodi di prototipazione digitale. Questo ha comportato un notevole miglioramento nel controllo tecnico e stilistico dei nuovi progetti, con ricadute positive sulla produzione industriale e sulla qualità percepita. Tale evoluzione pone le basi per un approccio progettuale innovativo, in grado di incontrare nuovi requisiti, proprio grazie al migliore controllo sul prodotto e la sua fabbricazione.

Come spesso avviene in questo ambito di ricerca, possiamo paragonare il settore nautico a quello apparentemente più affine, ovvero quello automobilistico. Le caratteristiche del prodotto, in quanto veicolo, la sua complessità, così come le modalità di progettazione e produzione lo rendono molto simile a quello nautico, soprattutto dopo l'evoluzione progettuale a computer e l'aumentare della scala di produzione. Ad uno sguardo generale, possiamo notare come il settore automotive si riveli molto più evoluto sotto tutti questi punti di vista; questo grazie alla maggiore diffusione del prodotto che ha portato a una più rapida evoluzione negli ultimi decenni, assieme ad una maggiore attenzione a tutte le problematiche derivate, in primo luogo quelle legate alla sua sostenibilità ambientale. Per questo il settore auto viene osservato come un esempio, da quale poter imparare per trasferire conoscenza e soluzioni in quello nautico⁴.

Nautica e automotive

1.3 La sostenibilità nella nautica

Anche per il settore nautico la sostenibilità rappresenta un'occasione per innovare e differenziare i propri prodotti sul

.....
 4 Anche dal punto di vista gestionale della produzione, i cantieri più all'avanguardia stanno cercando di adottare quanto più possibile le strategie di organizzazione proprio del settore automotive, al fine di migliorare l'efficienza della produzione sotto tutti gli aspetti. Tuttavia esistono dei limiti forse insormontabili al momento, determinati dalla natura del materiale trattato, dal settore di mercato in cui si opera e dalle caratteristiche richieste al prodotto, che rendono molto difficile adeguare la produzione di imbarcazioni a logiche industriali più spinte.

mercato. Come sempre in questi casi, questo richiede però un cambiamento culturale e investimenti che favoriscano l'applicazione di nuove tecnologie di processo e di prodotto.

1.3.a Legislazioni e normative per la sostenibilità

Fino ad ora, si assiste per lo più alla sperimentazione di nuove tecnologie solo sui prodotti, con l'obiettivo di migliorare alcune performance ambientali. Lo vediamo soprattutto su progetti di fascia alta, dove il consumo e l'appeal del prodotto verde possono essere più importanti, anche se il fenomeno sta interessando di recente anche realtà più piccole e prodotti di taglio inferiore. È invece molto più raro trovare esempi di innovazione applicata a tutto il sistema dei processi e dei prodotti, per il raggiungimento di una sostenibilità ambientale in senso più ampio. Tuttavia possiamo constatare che il settore è in movimento da questo punto di vista, e troviamo degli spunti di innovazione nati da politiche orientate ad affrontare il problema della sostenibilità anche nella nautica⁵.

Quadro normativo

Il quadro normativo vede una sostanziale carenza di regolamentazioni volte alla sostenibilità del prodotto nautico. È in fase di redazione la UNI U810505 relativa alla "Dismissione delle unità da diporto, del naviglio minore e delle attrezzature relative a fine vita", con l'obiettivo di porre delle linee guida verso la gestione controllata delle imbarcazioni in fase di dismissione. L'interesse è maturato tanto dall'emergenza ambientale quanto dalla necessità di controllare meglio il parco nautico attuale, che presenta i noti problemi legati alla carenza di posti barca, nonché alla necessità di trattare il fine vita allo scopo di poter rilanciare il mercato della nautica.

Dal punto di vista della progettazione, il Green Passport rappresenta un tentativo di controllo del prodotto in termini costruttivi, allo scopo di conoscere la distribuzione e la posizione dei componenti e relativi materiali che costituiscono un'imbarcazione, tramite un elenco redatto dal cantiere produttore. Questo "documento d'identità" dei materiali della barca riporterà per ogni componente il relativo codice europeo dei rifiuti, nonché la classificazione della sua pericolosità. Tutto questo sempre al fine di monitorare sin dalla fabbricazione la composizione del prodotto, per poter operare con

.....
⁵ Il settore delle imbarcazioni si confronta per sua natura intrinseca con l'ambiente marino e l'acqua, simbolo di purezza incontaminata e libertà; non è quindi difficile capire l'importanza di questi aspetti ambientali proprio in virtù della vocazione dei prodotti stessi, che con il mare e la sua bellezza hanno a che fare per tutta la vita.

più efficacia al momento del fine vita.

Queste regolamentazioni si affiancano alla più generale direttiva europea 2008/98/CE, la quale stabilisce una gerarchia dei rifiuti in base al loro valore, privilegiando il riuso e il riciclo allo smaltimento; inoltre sottolinea la cosiddetta responsabilità estesa del produttore, secondo la quale quest'ultimo mantiene la responsabilità del rifiuto sino a fine vita, con rivalsa sul consumatore.

1.3.b Innovazione nel ciclo di vita⁶

Per quanto riguarda il prodotto da un punto di vista più concreto, possiamo trovare diversi spunti di innovazione verso la sostenibilità, lungo tutte le sue diverse fasi di vita.

Partendo dal processo di fabbricazione della vetroresina, sicuramente una delle soluzioni più importanti è rappresentata dai processi di infusione sotto-vuoto. Con questo procedimento si assiste ad un notevole abbattimento delle emissioni nocive proprie delle operazioni di laminazione manuale a stampo aperto. Inoltre è possibile controllare meglio le quantità ed il rapposto di materiali utilizzati, per una migliore efficienza energetica e prestazionale del composito. Questa tecnologia rappresenta il futuro, anche se per ora la transizione a questo nuovo processo è molto lenta, e la maggiorparte dei cantieri produce i componenti in vetroresina con procedimenti manuali.

Processi a stampo chiuso

Sono allo studio compositi evoluti in cui si cerca di sostituire la fibra di vetro, il componenti più impattante dal punto di vista produttivo, con fibre naturali come lino, canapa e juta. Questi compositi sono già ampiamente sperimentati ed è possibile trovare esempi di imbarcazioni realizzate in serie utilizzando unicamente resina eco-compatibile rinforzata con fibra di lino⁷.

Compositi eco-compatibili

Anche per quanto riguarda gli altri materiali legati alla produzione dei componenti in composito possiamo assistere ad una ricerca attiva nel campo delle resine, del gelcoat di rivestimento esterno dello scafo e dei solventi per la pulizia delle attrezzature industriali, anch'essi concorrenti all'impatto ambientale del processo di produzione della vetroresina. Stesso discorso relativamente ai rinforzi e agli allestimenti, che possono utilizzare compensato marino

.....
⁶ Per il concetto di "ciclo di vita" del prodotto si rimanda al capitolo 2, in cui viene approfondito e analizzato maggiormente.

⁷ È il caso della deriva El Niño, realizzata da Face Composite, giovane azienda italiana attiva nella ricerca di compositi a fibre naturali, come approfondito nel capitolo 2.

riciclabile e senza uso di collanti nocivi nel tempo.

Fase d'uso

Nella fase d'uso del prodotto è più facile introdurre innovazione volta alla sostenibilità, soprattutto nel caso in cui i vantaggi trovino un riscontro economico anche per l'utilizzatore del prodotto. È il caso di nuovi sistemi propulsivi ibridi che sono in grado di ridurre emissioni, consumi e rumorosità, grazie ai quali è possibile navigare in aree protette e ottenere speciali certificazioni ambientali⁸.

Fine vita

Accanto a questi aspetti, l'altro tra i più sentiti attualmente è quello legato al fine vita delle imbarcazioni. Si pone sempre attenzione soprattutto alle unità realizzate in vetroresina, che come accennato in precedenza rappresentano il problema ambientale più significativo. Sono in fase di redazione le prime direttive relative a questo aspetto, dal momento che attualmente non esistono regolamentazioni che prendono in considerazione il trattamento a fine vita delle imbarcazioni.

Tra i progetti più avanzati in questo ambito nel nostro paese troviamo *ELB (End of Life Boats)*⁹, promosso e sviluppato da UCINA¹⁰, allo scopo di creare infrastrutture e tecnologie per una gestione sostenibile del fine vita, ispirata ai principi del design for disassembly e design for recycling.

1.3.c Ricerca e spunti di innovazione

Riciclo e ricerca

In questo ambito la ricerca sta operando da tempo per sperimentare soluzioni in grado di recuperare valore dai compositi, compito non facile a causa della natura del materiale. L'assenza di tecnologie per il riutilizzo materico o energetico del composito introduce la sfida di questa ricerca, ovvero rendere economicamente vantaggioso il recupero di questi materiali, che attualmente non hanno valore di mercato, inserendoli nuovamente in altri cicli di lavoro.

.....
⁸ Parliamo ad esempio di quelle emesse dal RINA, che conferisce le certificazioni Green Star e Green Plus alle imbarcazioni in grado di rispettare le più severe classificazioni ambientali, assicurando l'eco-compatibilità di ogni parte della nave.

⁹ Il progetto ELB prevede lo sviluppo su scala nazionale di due tipi di piattaforme industriali: una per il disassemblaggio delle unità nautiche e degli stampi, dalle quali i vari componenti e materiali saranno avviati a riutilizzo e riciclo, l'altra per la trasformazione e valorizzazione dei materiali plastici termoindurenti, tramite l'innovativa tecnologia italiana basata sul WSMC (Waste Sheet Moulding Compound). Le due piattaforme permetteranno di riciclare FRP e polistirolo, proveniente anche da altre filiere, riutilizzandoli come materia prima-seconda sia nella nautica che in altri comparti produttivi.

¹⁰ UCINA-Confindustria Nautica è un'associazione che raccoglie circa 500 aziende operanti nel settore del diporto.

Il riciclo della vetroresina vede al momento diverse strade possibili da seguire, che verranno approfondite nei capitoli successivi, ma parallelamente a queste nuove tecnologie, a maggior ragione dovranno corrispondere strategie che incentivino il mercato delle materie prime seconde, senza le quali queste pratiche rischiano di rimanere vane. È necessario quindi ripensare al prodotto affinché risulti predisposto ad un trattamento che favorisca il recupero di valore in termini di materiali, componenti ed energia.

La direzione di innovazione più significativa secondo questo punto di vista riguarda la modularità del prodotto. A differenza di altri settori, come quello automotive, in cui l'assieme generale è composto da parti gestibili separatamente, con diversi vantaggi lungo tutto il ciclo di vita, nella nautica si tende a pensare al prodotto come unico assieme monolitico, con l'obiettivo di renderlo il più durevole possibile, senza porsi problemi di sorta rispetto alle operazioni da svolgere alla fine della sua vita. Adottare un approccio modulare nella progettazione e nella fabbricazione, consentirebbe di ottenere numerosi vantaggi a più livelli¹¹. Questo sistema apre anche alla nautica la possibilità di concepire un prodotto più aperto alle ristrutturazioni, aggiornamenti ed evoluzioni del mercato, con ritorni vantaggiosi anche dal punto di vista commerciale.

Modularità come innovazione costruttiva per la sostenibilità

Sempre dal punto di vista produttivo, considerare il prodotto in moduli consente di controllare meglio il progetto anche dal punto di vista gestionale. È un approccio in realtà molto spontaneo, dal momento che già i cantieri più evoluti suddividono il prodotto in sottoassiemi, secondo criteri che possono derivare dal tipo di fornitura esterna, dalla diversa tipologia produttiva e quindi spesso dal tipo di materiale utilizzato. Si tratta di riorganizzare questo approccio in maniera da incontrare anche i requisiti ambientali portati ora all'attenzione del mondo industriale.

Dal punto di vista della gestione a fine vita, una modularità intelligente e reversibile porterebbe evidenti vantaggi per quanto riguarda la separazione delle parti dell'imbarcazione. Dal momento che uno dei problemi maggiori riguarda lo smontaggio e l'isolamento dei materiali, un sistema in cui sia possibile maneggiare in maniera indipendente le diverse parti critiche risulterebbe di enorme aiuto al processo di smantellamento, recupero, riutilizzo, riciclo e

.....
¹¹ Ancora una volta sono da prendere in prestito i criteri utilizzati nel settore auto, in cui troviamo una avanzata logica modulare, che consente di ottimizzare la produzione grazie alla condivisione di piattaforme comuni a più modelli, così come componentistica e strutture industriali.

smaltimento del prodotto. Come si vedrà più avanti, questo punto rappresenta al momento l'anello debole del processo, e per questo diventa oggetto principale del lavoro di ricerca.

Dematerializzazione

Altra tendenza significativa da ricordare è quella legata alla dematerializzazione del prodotto, sempre nella direzione di un maggior risparmio energetico. La riduzione dei materiali utilizzati, e la loro semplificazione, è un processo che porta vantaggi sia in termini di costruzione, che di impatto ambientale legato all'uso di un prodotto più leggero e che necessita di meno energia durante tutto il ciclo di vita. A questo scopo vengono ripensati gli allestimenti e gli arredi, così come nuove tecnologie per la fabbricazione che ottimizzino le prestazioni meccaniche del manufatto, consentendo di utilizzare meno materiale.

Capitolo 2

Ciclo di vita e impatto ambientale delle imbarcazioni

2.1 Introduzione alla metodologia LCA

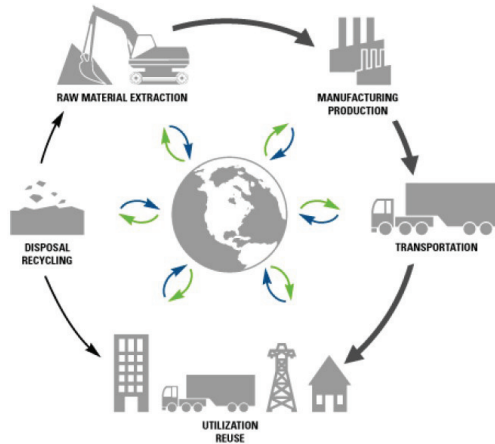
Il concetto di ciclo di vita introduce una visione del prodotto che considera le relazioni con l'ambiente lungo tutta la sua vita, a partire dalla genesi progettuale e produttiva fino al termine della sua esistenza, passando per la fabbricazione, la distribuzione e l'utilizzo. Questo permette di adottare un approccio progettuale più consapevole, che tiene conto in maniera preventiva dell'impatto ambientale di un prodotto, puntando ad una produzione sostenibile. A partire da questo concetto sono stati sviluppati degli strumenti molto complessi, come la metodologia chiamata Life Cycle Assessment¹ (LCA), in grado di analizzare in maniera sempre più precisa gli input e gli output energetici (estrazione ed emissione di sostanze nell'ambiente) del prodotto durante tutta la sua vita, secondo diversi criteri (esaurimento delle risorse, alterazione degli ecosistemi, riscaldamento del globo ed effetto serra, buco nell'ozono, eutrofizzazione, acidificazione, produzione di smog, tossine, rifiuti e molto altro).

Possiamo quindi raccontare tutta la vita di un prodotto, ad esempio un'imbarcazione, come un insieme di attività e processi,

.....
¹ LCA – *Life Cycle Assessment* (o valutazione del ciclo di vita) è il processo per identificare i carichi ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando energia e materiali utilizzati ed emissioni rilasciate nell'ambiente, per valutarne l'impatto, per identificare e valutare le opportunità di miglioramento. La valutazione comprende l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, passando dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, fabbricazione del prodotto, trasporto e distribuzione, utilizzo, riuso, stoccaggio, riciclaggio, fino alla dismissione.

ognuno dei quali assorbe una certa quantità di materia e di energia, opera una serie di trasformazioni e rilascia emissioni di varia natura. Schematizzando il ciclo di vita di un prodotto, questi processi sono raggruppati solitamente nelle seguenti 5 fasi: pre-produzione, produzione, distribuzione, uso e dismissione.

2.a Le fasi del ciclo di vita del prodotto



La pre-produzione è la fase in cui si producono i materiali e cioè i semilavorati utilizzabili per la produzione dei componenti. Parliamo quindi dell'acquisizione delle risorse, primarie o secondarie e riciclate, il loro trasporto fino al sito produttivo e la loro trasformazione. Le risorse primarie possono essere rinnovabili o non rinnovabili, mentre quelle secondarie derivano dagli scarti e dai rifiuti dei processi produttivi e delle attività di consumo.

La produzione comprende a grandi linee tre momenti fondamentali, rappresentati dalla trasformazione dei materiali, l'assemblaggio e la finitura. La maggiorparte dei manufatti richiede una gran varietà di materiali per essere prodotti; materiali diretti, che ritroveremo nel prodotto, e indiretti, incorporati negli impianti e nelle apparecchiature necessarie alla produzione. Attività imputabili a questa fase sono inoltre la ricerca, lo sviluppo, la progettazione, le verifiche nonché la gestione di queste attività.

La distribuzione comprende le fasi di imballaggio, trasporto e immagazzinamento. Il prodotto finito è imballato perchè arrivi integro e funzionante all'utilizzatore finale. Il trasporto avviene con vari mezzi a un luogo intermedio o direttamente a quello finale. Di

questa fase fanno parte, in linea di principio, non solo i consumi e l'energia per il trasporto, ma anche l'uso delle risorse per la produzione dei mezzi del trasporto medesimo, nonché le strutture per l'immagazzinamento. Vi sono poi dei casi in cui non è così netta la distinzione tra distribuzione e produzione.

L'uso o consumo, e il servizio, assorbe spesso risorse materiali ed energetiche per il suo funzionamento e produce residui e rifiuti. Durante l'uso i prodotti possono essere oggetto di attività di servizio quali la manutenzione delle prestazioni, la riparazione dei danni o dei pezzi usurati, oppure l'aggiornamento di parti obsolete. Il prodotto rimane in uso finché l'utilizzatore non decide di dimetterlo, per svariate ragioni.

La dismissione può prendere diverse strade. Possiamo recuperare la funzionalità del prodotto o di qualche sua componente, oppure valorizzare il contenuto materico o energetico del prodotto in quanto tale. Nel peggiore dei casi non verrà recuperato niente. Nel primo caso il prodotto, o alcune sue parti, possono essere riusate per la stessa o un'altra funzione. Il prodotto destinato al riuso deve essere raccolto e trasportato, o in altri casi rifabbricato e cioè sottostare a una serie di processi che gli permettano di essere riutilizzato come fosse nuovo. Nel secondo caso i materiali di un prodotto possono essere riciclati, messi a compostaggio o inceneriti. Il riciclaggio può essere ad anello chiuso, ovvero in un sistema in cui i materiali recuperati sono utilizzati in luogo dei materiali vergini nello stesso sistema prodotto dal quale derivano, o ad anello aperto, in cui i materiali vengono indirizzati a un sistema-prodotto diverso da quello di partenza. Infine ciò che non è usato viene destinato a discariche più o meno autorizzate, in seguito ad opportuno trattamento in presenza di sostanze tossiche o nocive, oppure disperso nell'ambiente. Da notare che tutte queste strade presuppongono comunque una fase di raccolta e trasporto del materiale, fino al luogo di dismissione cui è destinato.

Un controllo così consapevole di tutte le fasi della vita del prodotto permette di poter fare delle considerazioni ambientali molto accurate. Inoltre, è possibile ragionare e intervenire a diversi livelli, per migliorare l'efficienza e le prestazioni del prodotto in termini di sostenibilità.

La disciplina progettuale che considera i requisiti ambientali dei prodotti industriali, così come sopra definiti, si chiama *Life Cycle Design*, o progettazione del ciclo di vita dei prodotti, che

**Life Cycle Design
(LCD)**

implica una visione più estesa di quella tradizionalmente adottata. Si propone dunque un design che assuma un approccio sistemico, che permetta di individuare l'insieme delle conseguenze di una proposta di prodotto, anche per quelle fasi che tradizionalmente non erano considerate nel momento progettuale. È necessario inoltre che la prospettiva ambientale si integri in tutti gli aspetti del processo di sviluppo, non solo nel design, ma anche ad esempio nel management e nel marketing.

Al fine di integrare i requisiti ambientali nello sviluppo dei prodotti e dei servizi, la metodologia LCD si avvale delle seguenti strategie.

Strategie della metodologia LCD

- > Minimizzare le risorse ovvero ridurre l'uso di materiali ed energia*
- > Scegliere risorse e processi a basso impatto ambientale, selezionando i materiali, i processi e le fonti energetiche a maggior eco-compatibilità*
- > Ottimizzare la vita dei prodotti, progettando artefatti che durino nel tempo e siano usati intensamente*
- > Estendere la vita dei materiali, progettando in funzione della loro valorizzazione, una volta dismessi, tramite il riciclaggio, il compostaggio o il recupero energetico*
- > Facilitare il disassemblaggio, progettando in funzione della separazione di parti e/o materiali. Questa strategia ha un valore gerarchico maggiore sulle altre, dal momento che le favorisce e le rende meglio attuabili.*

La priorità tra le strategie è tuttavia da ripensare in funzione dei diversi casi, a seconda dei requisiti funzionali del prodotto in questione.

Sulla base di questo modello possiamo analizzare l'impatto ambientale del prodotto di nostro interesse, ovvero l'imbarcazione, avvalendoci delle ricerche svolte dalle associazioni operanti nel settore nautico.

2.2 Il ciclo di vita delle imbarcazioni

Anche per il prodotto imbarcazione possiamo schematizzare l'impatto ambientale con un approccio analogo. In quanto prodotto industriale, esso interagisce con l'ambiente in tutte le fasi della vita, e la sua diffusione ne rende sempre più interessante l'impatto ambientale. Come accennato in precedenza, l'imponenza della produzione di imbarcazioni in vetroresina degli ultimi decenni ha suscitato l'interesse di molte associazioni ed enti legati al suo mercato, che percepiscono l'importanza crescente di un controllo consapevole di questo prodotto anche dal punto di vista ambientale. Questo tipo di attenzione, come per altri settori in passato, è legata alla possibilità di veder nascere nel prossimo futuro una serie di normative che regolamentino la gestione del prodotto, sempre dal punto di vista della sostenibilità ambientale. Da qui la necessità di operare degli studi sullo stato dell'arte della progettazione nautica in termini ambientali, che necessitano di una notevole raccolta di dati e misurazioni, più o meno complesse. In effetti, proprio il fatto di studiare una realtà mai intesa in questi termini si traduce nella difficoltà di ottenere dati ed interpretazioni precise sul fenomeno².

Ma perchè questa difficoltà nello studio del fenomeno? Uno dei motivi principali risiede nella libertà gestionale del prodotto barca rispetto ad un'automobile, ad esempio, pur essendo l'imbarcazione un prodotto ingombrante sotto tanti punti di vista, incluso l'impatto ambientale. Questa libertà di gestione si riferisce soprattutto, ovviamente, alla possibilità di non registrare i natanti³, il che li rende beni irrintracciabili dal punto di vista economico, giuridico e per tutti i censimenti utili, ad esempio, allo studio ambientale di cui stiamo parlando. È importante notare, infatti, che una barca di lunghezza inferiore ai 10 metri può comunque costituire un mezzo di notevoli dimensioni e complessità, in termini di peso, eterogeneità materica e impatto ambientale.

Il ciclo di vita spiegato in precedenza rappresenta una schematizzazione molto efficace da applicare ai prodotti industriali

.....
² Numerosi articoli e studi incontrati nella ricerca premettono proprio la difficoltà di considerare con affidabilità questi dati, ottenuti spesso sulla base di stime.

³ Il natante è un'unità da diporto a remi, a vela o a motore di lunghezza dello scafo pari o inferiore a 10 metri misurati secondo le norme armonizzate EN/ISO/DIS 8666 e che quindi non necessita di iscrizione nei R.I.D. I natanti, come categoria di unità da diporto, esistono solo nella legislazione italiana.

fabbricati in serie importanti, che implicano un notevole utilizzo di energia in tutte le fasi della vita. Tuttavia, il ciclo di vita del prodotto imbarcazione presenta delle caratteristiche che lo differenziano dal settore della produzione industriale di grande scala.

La fase di approvvigionamento delle materie prime (fase I) è meno rilevante in termini ambientali, soprattutto se paragonata con altri settori produttivi legati all'uso della plastica; le analisi propongono un confronto interessante tra i vari materiali utilizzabili per la produzione di un'imbarcazione, alla luce delle implicazioni che avrà lungo tutto il ciclo di vita, ed espongono le principali frontiere di ricerca nel campo di nuovi materiali di origine naturale.

Per le sue caratteristiche di prodotto non propriamente industriale, anche la fase III relativa alla distribuzione passa in secondo piano nel quadro generale dell'impatto lungo il ciclo di vita, rispetto a prodotti di consumo distribuiti in larga scala in strutture dedicate e organizzate per la vendita⁴.

Per questo si è deciso, a livello discorsivo, di riassumere il ciclo in tre fasi fondamentali, ovvero produzione, uso e dismissione. Per ognuna di queste verrà presentata la ricerca attuale effettuata sul prodotto in termini ambientali, le iniziative di sostenibilità ed eventuali punti deboli da prendere in considerazione per la ricerca in futuro.

Lo schema **2.b** nella pagina seguente presenta un quadro generale dell'analisi, con i riferimenti ai capitoli che trattano i diversi aspetti.

**Sintesi del ciclo di vita in
produzione, uso e dismissione**

2.3 Produzione

La produzione di imbarcazioni in vtr ha visto una discreta evoluzione dei materiali impiegati e dei processi, dalla prima comparsa dei compositi nella nautica negli anni '70. La necessità di ottimizzare tempi e costi ha portato alla sperimentazione di tecnologie industrializzate di stampaggio, che permettono di ottenere scafo e coperta di maggiore qualità e minor peso, il che va a vantaggio anche della sostenibilità ambientale di questa fase del ciclo di vita. Inoltre la produzione è vincolata industrialmente a rispettare normative di emissioni e inquinamento al pari di ogni settore industriale, quindi



.....
4 Ha persino poco senso parlare di confezionamento e packaging, nella tipica accezione che coinvolge marketing, progettazione e utilizzo di materiali specifici, sicuramente degni di interesse nell'analisi ordinaria del ciclo di vita.

FASE DEL CICLO DI VITA	PROBLEMI	RICERCA
<p>PRODUZIONE</p> <p>Attualmente il 90% delle imbarcazioni è prodotto in composito di resina termoidurente rinforzato con fibra di vetro (vetroresina)</p> <p>La maggior parte della produzione nautica utilizza ancora il processo di laminazione manuale a stampo aperto, tecnica utilizzata dagli anni '60 con la comparsa dei materiali compositi, ma si stanno diffondendo processi meno impattanti e industrializzati</p> <p>Assemblaggio e incollaggio avviene con prodotti sempre più evoluti e specializzati per la nautica.</p> <p>Severe normative controllano la compatibilità dei processi industriali.</p>	<ul style="list-style-type: none"> > impatto dei processi e dei prodotti coinvolti nella produzione, che comunque sono oggetto di studio da tempo > l'artigianalità della produzione implica meno controllo sui processi, che sono lentamente in via di industrializzazione, ma solamente nelle strutture produttive più organizzate e all'avanguardia 	<ul style="list-style-type: none"> > Compositi a fibre naturali e bioresine ecosostenibili sono studiate per raggiungere delle reali alternative alla fibra di vetro, in termini di prestazioni e di flessibilità produttiva > L'industrializzazione dei processi di lavorazione della vetroresina vede l'introduzione e l'evoluzione dei processi a stampo chiuso, tramite i quali ridurre le emissioni e migliorare i risultati > anche per quanto riguarda i prodotti di lavorazione, come rinforzi per strutture sandwich e adesivi strutturali, sono allo studio componenti e materiali ecosostenibili
<p>USO</p> <p>L'uso di un'imbarcazione può durare diversi decenni, anche più delle reali necessità del cliente.</p> <p>Barche a motore comportano emissioni e inquinamento, come tutti i veicoli. A ciò si aggiunge l'interazione con la natura marina, rappresentato dalle emissioni acustiche e dal contatto con coste e fondali. Inoltre consideriamo l'inquinamento derivato dalla vita in mare, che comunque genera rifiuti di vario tipo.</p> <p>Gli scarichi e i rifiuti sono regolamentati e l'utilizzo di sistemi di gestione a bordo e in porto aiutano la salvaguardia dell'ambiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Emissioni e inquinamento non sono così imponenti da necessitare misure speciali; inoltre il mercato degli autoveicoli lavora da tempo alla riduzione delle emissioni. > A vantaggio della questione, resta il fatto che l'eco-compatibilità in fase di uso ha un buon appeal commerciale, che quindi autoalimenta l'evoluzione del settore in questa direzione > Disposizioni territoriali difendono le aree protette dai danni provocabili da un uso sconsiderato delle imbarcazioni. 	<ul style="list-style-type: none"> > Tecnologie di propulsione a energia pulita sono in fase di studio e prime applicazioni iniziano a diffondersi. > Sempre legato all'utilizzo troviamo innovazione costruttiva nell'ottimizzazione di pesi e nell'efficienza degli scafi, per ridurre i consumi e promuovere un utilizzo più rispettoso dell'ambiente.
<p>DISMISSIONE</p> <p>La durata media di vita di un'imbarcazione fa sì che ci troveremo a breve con un notevole volume di materiale in vetroresina - e non solo - da smaltire, senza che vi siano strutture e normative adeguate.</p> <p>Relativamente da poco si fa caso a questa fase del ciclo di vita, trascurata per mancanza di interesse e urgenza apparente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> > un'imbarcazione è ingombrante e di difficile gestione e movimentazione, oltre che costosa, quindi si tende a evitare il problema con l'affondamento o l'abbandono, con tutte le conseguenze ambientali che ne derivano > la carenza di controllo legislativo non permette di gestire il fine vita. inoltre le imbarcazioni sono difficili e costose da recuperare, identificare e movimentare > il prodotto non è concepito per essere smaltito, quindi i materiali non sono separabili, i componenti non sono smontabili > il materiale composito perde molto valore con le tecniche di riciclo e recupero di energia disponibili oggi 	<ul style="list-style-type: none"> > tramite censimenti sul parco nautico in dismissione si cerca di avere dati quantitativi sul problema e sui costi, affiancati da studi sui problemi di recupero e gestione dei prodotti > la ricerca chimica cerca strategie di valorizzazione del composito smesso tramite riciclo e recupero di materiale per nuovi utilizzi, cercando strade più nobili dell'incenerimento e dello smaltimento > sono allo studio progetti finanziari per gestire i costi dello smaltimento, la cui responsabilità viene sancita da nuove normative > si studia una nuova progettazione di imbarcazioni concepite per una facile dismissione, intesa come disassemblaggio, separazione dei materiali e riutilizzo delle parti

Schema 2.b

anche da questo punto di vista la questione ambientale è considerata da tempo.

Le problematiche legate alla tossicità dei materiali maneggiati in fase di stampaggio sono sempre più ridotte, grazie allo studio di tecnologie di produzione a stampi chiusi. Per il resto possiamo notare come il confronto con altri materiali di costruzione favorisca sotto molti punti di vista la vetroresina, considerati tutti gli aspetti ed esso correlati lungo tutto il ciclo di vita.

In generale questa fase è oggetto di molta attenzione da tempo; la ricerca punta a elaborare materiali più eco-compatibili, come le fibre naturali e le bioresine, così come vernici e collanti meno impattanti per l'ambiente.

2.3.a - Raffronto tra diversi materiali nella costruzione industriale delle imbarcazioni

Vediamo un breve confronto tra i materiali di costruzione di scafo, strutture e coperta, ovvero i componenti più critici e particolari in termini di tecnologie, energia e risorse.

I compositi rappresentano il materiale di costruzione della vasta maggioranza delle imbarcazioni in Europa. Legno, alluminio e acciaio sono gli altri materiali maggiormente utilizzati nell'industria nautica, ma rappresentano una piccola minoranza negli attuali volumi di produzione. Il grafico **2.c** mostra la distribuzione percentuale dei materiali di costruzione nel parco nautico in Italia (fonte UCINA)

Imbarcazioni in alluminio

Nonostante l'abbondanza in natura di Bauxite, minerale da cui viene estratto l'alluminio, tuttavia essa non è da considerare come una risorsa rinnovabile⁵. Tuttavia, una volta prodotto, l'alluminio è facilmente riciclabile, con un processo che necessita solo circa il 5% dell'energia a suo tempo usata per l'estrazione.

Uno scafo di alluminio giunto a fine vita può essere riciclato e riportato nella catena di produzione per quasi il 95%. Inoltre la sua leggerezza, la sua facilità di manutenzione e il suo notevole allungamento a rottura lo rendono un materiale sicuro per imbarcazioni utilizzate in condizioni estreme.

.....
⁵ L'alluminio non esiste come tale in natura, ed è necessario un processo produttivo con un alto dispendio di energia per estrarlo dalla bauxite. La produzione di 1t di alluminio necessita di 4/5 t di bauxite e grandi quantità d'acqua. Sono richiesti inoltre tra i 13000 e i 17000 kWh di energia per il processo elettrolitico, che tra l'altro comporta emissioni di CO2.

Imbarcazioni in acciaio

Nonostante la sua caratteristica di non rinnovabilità, il minerale da cui estrarre il ferro è abbondante sul pianeta. La sua conversione in acciaio è un processo ormai consolidato, inoltre l'acciaio è quasi totalmente riciclabile. La sua importanza deriva principalmente dalle sue proprietà meccaniche: la resistenza alla trazione, la durezza e l'elasticità. Di contro il principale svantaggio dell'acciaio è la poca resistenza alla corrosione e il suo relativamente alto peso specifico.

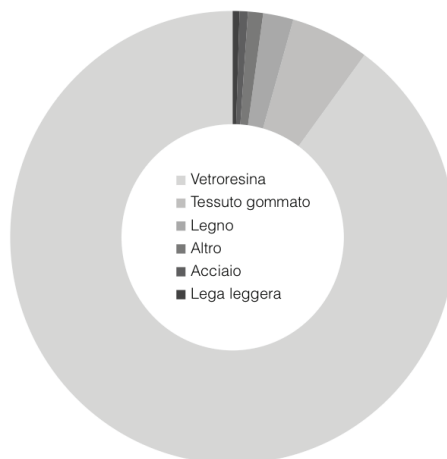
Uno scafo in acciaio peserà di più del suo corrispettivo in alluminio, e userà più energia per muoversi nell'acqua. I problemi legati alla corrosione possono essere risolti mediante trattamenti specifici, costituiti per lo più da vernici, che tuttavia aumentano l'impatto ambientale di un'imbarcazione di metallo durante il suo ciclo di vita⁶.

Imbarcazioni in legno

In termini generali il legno è una risorsa rinnovabile, e come sappiamo durante la vita gli alberi contribuiscono a utilizzare anidride carbonica producendo ossigeno. Tuttavia si deve far notare che il legno utilizzato nelle costruzioni navali è importato dall'Africa, dal Sud-Est Asiatico e dall'America, ed il relativo costo e impatto associato al trasporto da quei luoghi vanifica alcuni degli aspetti positivi iniziali del suo impatto ambientale, quali appunto il fatto di essere un fissatore del carbonio ed un produttore di ossigeno.

Legno cresciuto localmente sarebbe preferibile, anche se le costruzioni navali richiedono tipi di legno speciale che non si trovano sempre in Europa. Inoltre dobbiamo considerare che in quelle aree alcune foreste sono sfruttate in maniera non sostenibile. Per migliorare queste situazioni si dovrebbe ricorrere il più possibile a legni marchiati, ovvero controllati e etichettati con la provenienza. Le foreste utilizzate in maniera sostenibile usano le seguenti certificazioni: *FSC, Forest Stewardship Council* e anche *PEFC, Pan European Forest Certification*.

Vi sono due metodi di costruzione per le imbarcazioni in legno: il metodo classico fa uso di legno massello, ed il metodo moderno,



2.c
Parco nautico in Italia suddiviso per materiale di costruzione

⁶ Una soluzione potrebbe essere utilizzare acciaio inox, ma il suo prezzo e la sua deformazione durante le saldature lo rendono normalmente usato solo per raccordi.

largamente in uso oggi, fa uso di adesivi e resine epossidiche. Il legno di gran lunga piu' utilizzato oggi e' il compensato. La costruzione di barche in legno richiede personale qualificato e tecniche di incollaggio di alta qualita', con efficaci protezioni delle superfici realizzate con l'uso di sostanze sintetiche e vernici. Vi sono poi sul mercato delle sostanze naturali per la protezione delle superfici del legno, ma esse richiedono manutenzione piu' frequente. Gli scafi di legno in produzione in serie sono generalmente costruiti su uno stampo maschio utilizzando pannelli di compensato per carene a spigolo, oppure sottili striscie di legno incollate assieme per formare assieme un multistrato, nel caso di carene a superfici complesse. Uno scafo in legno puo' essere piu' leggero del suo corrispettivo in metallo o in composto monolitico, tuttavia il compensato e le imbarcazioni in legno pressato a freddo richiedono un grande uso di resine, colle e sostanze per chiudere i pori e isolare la superficie del legno dall'acqua, che rendono il loro riciclo virtualmente impossibile, rispetto alle tradizionali soluzioni a tavole di legno. Per questo motivo le imbarcazioni moderne di legno hanno, alla fine della loro vita, un costo ambientale relativamente alto.

Barche in composito

La barche costruite con materiali compositi, sandwich o monolitici, rappresentano la vasta maggioranza delle imbarcazioni da diporto prodotte oggi. I principali vantaggi sono il costo contenuto, la leggerezza, una breve, facile ed economica manutenzione, ed una relativa facilità di modifica. Tuttavia l'uso di composti richiede la disponibilità di petrolio, e la produzione di resine e di fibre di rinforzo richiede un alto uso di energia e conseguenti emissioni atmosferiche. Questi svantaggi sono in parte bilanciati da sforzi considerevoli da parte dei costruttori per ridurre le emissioni durante le ultime fasi della produzione. Tutto puo' aiutare a migliorare questo aspetto: nuove tecniche di processo, iniziative volontarie per affrontare il problema dello smaltimento finale, ricerca e sviluppo nei campi dei composti riciclabili e dei bio-composti.

Considerando i differenti materiali da costruzione utilizzati nella cantieristica, possiamo schematizzare queste differenze tra i materiali tradizionali e i materiali compositi, nella produzione e nella vita di un catamarano (Hartmut Stiller for Wuppertal Institute für Klima, Energie: *Material Intensity of Advanced Composite Materials* - febbraio 1999) > **Tabella 2.d**

E' interessante notare che il minor peso della struttura composita,

Parlando di eco-scafi, un'esperienza importante, sebbene circoscritta, è quella del Cantiere Alto Adriatico, nato nel 1990 dall'unione di due precedenti cantieri di vecchia data specializzati in scafi in legno, che ha deciso di puntare sull'uso strutturale del composito in legno, più leggero, economico e sostenibile della FRP. Lo scafo in legno ci riporta all'idea un po' romantica di vecchi artigiani, che come rari animali in via d'estinzione sono depositari di un'arte destinata a sparire anche per gli eccessivi costi di manutenzione. Il lavoro e la ricerca condotta dal 2006 dimostrano come, in realtà, il legno possa diventare un materiale tecnologico e che lo sviluppo di simili esperienze innovative sia la strada da seguire per salvare il grande patrimonio culturale connesso ai piccolissimi cantieri nautici dei cosiddetti 'mastri d'ascia'. Il legno è, di fatto, un composito naturale in cui fibre di cellulosa sono immerse in una matrice polimerica amorfa. Tutti i materiali in uso oggi negli scafi, dalla fibra di vetro, al kevlar e al carbonio si basano proprio su questo: l'utilizzo di fibre ad alta tenuta strutturale immerse in un legante che le supporta e le fissa. Il legno è fatto così per natura, con il vantaggio di essere a basso impatto ambientale. L'idea di base da cui è partito il Cantiere Alto Adriatico è far leva sulla tradizione artigianale friulana nella lavorazione del legno (applicata a livello industriale solo in edilizia e nella confezione di mobili) per creare una tecnologia costruttiva diversa in grado di sfruttare appieno le caratteristiche meccaniche del legno. L'AA 38' è il primo prodotto di questo cammino di ricerca: ogni elemento che compone lo scafo ha una forma diversa a seconda della posizione, è tagliato con una fresa a controllo numerico e non prevede ritocchi ai profili, generando tempi di realizzazione più brevi di uno scafo tradizionale in legno, oltre ad una leggerezza al pari degli scafi in fibra sintetica.



unitamente ad un motore più piccolo, risulta una riduzione del 52% di consumo di carburante.

input materiali (Ton/scafo)	versione in composito	versione in acciaio	versione in alluminio
materiali grezzi abiotici	22,6	39,4	68,6
acqua	641	337	2194
aria	9,9	14,1	22,2

Tabella 2.d - Confronto impatto di produzione di un catamarano

Imbarcazioni in resine termoplastiche

Da alcuni anni un gran numero di piccole imbarcazioni (tender, kayak, piccole barche a vela, etc.), ma anche serbatoi e raccordi sono costruiti con resine termoplastiche. Parti di componentistica sono stampate per iniezione di resina termoplastica (PE o altre) pura o rinforzata con fibre o granuli di vetro o carbonio. Parti più grandi sono costruite per stampaggio rotazionale o per estrusione a soffiaggio. Queste resine hanno un'alta resistenza all'impatto e sono riciclabili. Però le resine da sole, cioè non rinforzate, non sono molto resistenti alla flessione ed i pezzi prodotti risultano più pesanti dei corrispondenti modelli in materiali compositi. Questo limita le dimensioni dei pezzi prodotti.

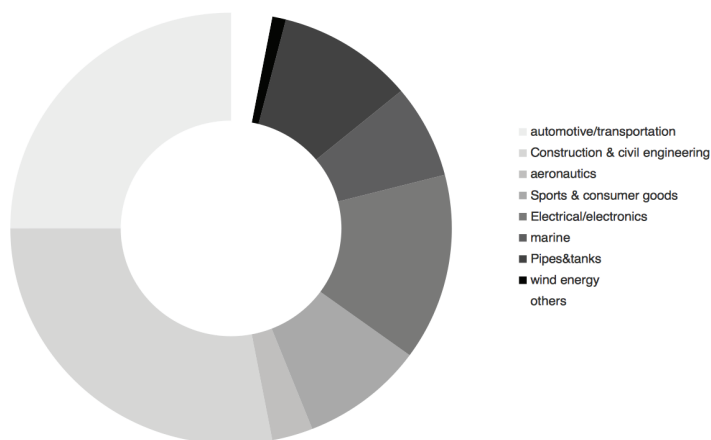
Recentemente l'industria nautica ha iniziato ad utilizzare materiali compositi formati da tessuti di vetro o carbonio e resine termoplastiche. Questi materiali compositi sono leggeri (la resina di

PE e' piu' leggera della poliestere) ed hanno un'incredibile resistenza all'impatto. La loro produzione e' oggi limitata a parti molto costose, dove la resistenza e' essenziale, ma molto probabilmente questo processo avra' un futuro. Infatti sono i limiti intrinseci delle resine termoindurenti (scarsa tenacità, temperatura di esercizio modesta e tendenza ad assorbire l'umidità degli ambienti) che hanno portato, in anni recenti, allo sviluppo di compositi a matrice termoplastica. Le resine termoplastiche sono mediamente più tenaci e, in alcuni casi, possiedono temperature di transizione più elevate. Sono inoltre termoformabili per un numero teoricamente infinito di volte e rendono, perciò, altrettanto teoricamente possibile il riciclo dei materiali. Infine la possibilità di ridurre la viscosità del materiale aumentando la temperatura, consente di semplificare le operazioni di manutenzione e riparazione dei manufatti. Il principale limite all'uso di queste matrici è la viscosità elevata, che rende problematica l'impregnazione delle fibre e richiede apparecchiature di lavorazione relativamente costose. I compositi a matrice termoplastica con fibre corte hanno trovato un considerevole sviluppo nel settore dello stampaggio ad iniezione.

Riassumendo, tutti i materiali per la costruzione hanno i loro vantaggi e svantaggi ambientali, come si può notare. Contrariamente alla convinzione comune, il legno non e' il materiale per la nautica a minor impatto ambientale, a causa del gran numero di trattamenti superficiali e di colle necessari per la sua costruzione e manutenzione. Acciaio e alluminio hanno alti costi connessi alla produzione del materiale e alla manutenzione durante la vita. Si deve anche considerare il costo del carburante necessario a muovere l'imbarcazione durante tutto il suo utilizzo, che dipende dal peso e al motore installato. Le costruzioni in composito presentano numerosi vantaggi, ma al momento non hanno ancora buone capacità di essere riciclate.

2.3.b – Utilizzo dei compositi nella nautica e impatto ambientale

La maggior parte degli scafi da diporto sono costruiti con materiali compositi, tuttavia il settore nautico rimane uno dei minori consumatori di questo materiale. I due utilizzatori principali sono il settore automotive e quello delle costruzioni e dell'ingegneria civile, mentre la nautica rappresenta solo il 7% del consumo totale di materiali compositi.



Il settore marino rappresenta solo il 7% del consumo mondiale dei materiali compositi e perciò, data la sua entità minoritaria, non ha grande influenza sui produttori di materiali grezzi nel migliorare i loro prodotti sotto l'aspetto ambientale. Una situazione simile si verifica per le vernici, le pitture e i rivestimenti

Le applicazioni nautiche dei compositi sono concentrate nell'industria nautica da diporto⁷, nella costruzione di imbarcazioni a motore e a vela. La nautica commerciale difficilmente utilizza compositi, mentre possono essere utilizzati nelle navi militari, dove e' richiesto un materiale con una rilevanza magnetica ridotta.

Le barche per competizioni rappresentano una nicchia che consuma tra l'1 e il 2% del totale volume di mercato. Queste applicazioni specialistiche tendono tuttavia a essere leader nel mercato per applicazione di nuove tecnologie⁸. I progettisti cercano di eliminare ogni peso superfluo, utilizzando metodi di costruzione avanzati e materiali speciali. Queste barche devono sopportare e superare alcune delle più estreme condizioni incontrate da imbarcazioni non commerciali e costituiscono un terreno di prova eccellente per le nuove tecnologie, che poi potranno trovare applicazioni nautiche più diffuse.

Nel mondo sono censiti circa 6000 cantieri nautici, ma la maggior parte sono piccole società (l'industria nautica in Europa è composta per il 98% da società medio o piccole), e l'utilizzo dei materiali compositi per le costruzioni nautiche tende ad essere concentrato in una manciata di grandi società. Infatti il 55% del mercato globale

⁷ In termini geografici il Nord America è il mercato principale per i materiali compositi marini. Esso ha rappresentato nel 2005 il 56% di tutte le vendite di compositi per uso nautico, con due società dominanti nelle costruzioni navali (la Brunswick e la Genmar negli USA). Asia e Pacifico rappresentano il 28%, mentre l'Europa è terza con il 16%.

⁸ Buoni esempi di questo si trovano nelle imbarcazioni a vela da competizione di alte prestazioni, come gli OPEN 60 ed i multiscafi (catamarani e trimarani) costruiti in sandwich di fibre di carbonio, per gare in condizioni estreme come la Volvo Ocean Race e la Route du Rhum.

dei compositi marini è costituito da solo 15 società, delle quali solo le maggiori 5 sono responsabili di quasi il 30% dell'attività⁹.

Questa concentrazione delle attività può aiutare a semplificare l'implementazione di migliorati standard ambientali e sociali nella produzione di imbarcazioni in composito; le azioni di poche società possono modificare significativamente l'impatto ambientale della industria nautica nelle aree interessate. Inoltre queste grandi società hanno solitamente più risorse umane e materiali a disposizione, per l'integrazione nei loro processi produttivi di metodologie di sviluppo sostenibile. Parliamo ad esempio dei processi di stampaggio a stampo chiuso, RTM o ad infusione, che limitano le emissioni di sostanze organiche volatili (VOC), come viene approfondito in seguito.

2.3.c - Lavorazione dei compositi e regolamentazioni

Normative

Le due sfide ambientali maggiori da affrontare, nell'utilizzo dei compositi nell'industria nautica, sono le emissioni in atmosfera durante la produzione e la capacità di riciclare i compositi dal prodotto a fine vita. A riguardo vi sono tre tipi principali di regolamentazioni per il settore dei compositi, nei maggiori paesi industrializzati:

> limitazione delle emissioni di composti organici volatili (VOC¹⁰), in particolare stirene, nel Nord America, Europa e Giappone.

> direttive sul riciclaggio, che si applicano ai trattamenti a fine vita del prodotto, in Europa e Giappone.

> regolamentazioni generali che limitano le emissioni di anidride carbonica (CO₂) in Europa e Giappone.

Inoltre vengono sostenute politiche ambientali che limitano l'emissione di biossido di carbonio, che pur non essendo tossico di per sé, ha comunque un ruolo negativo nell'effetto serra e nel riscaldamento globale, con conseguenze dannose per lo strato di ozono.

.....
 9 Ovvero Brunswick e Genmar in USA e Gruppo Beneteau, Azimut-Benetti e Ferretti in Europa (studio JEC Group).

10 VOC: un composto organico volatile (VOC) può essere definito come qualsiasi sostanza volatile contenente almeno un atomo di carbonio. I VOC sono composti dagli idrocarburi e dai loro derivati, che vengono definiti "volatili" quando rilasciano gas a temperatura ambiente. Il Butano, il Propano, l'Alcool, e i solventi usati nelle vernici e negli inchiostri sono considerati VOC. Il Metano è considerato un VOC quando esiste naturalmente nell'aria dell'ambiente e per questa ragione è trattato separatamente dall'altro "VOC non Metano" (NMVOC). Il contenuto VOC di pitture e vernici comporta significative emissioni VOC nell'aria, che contribuiscono alla formazione, locale e remota, di ossidanti fotochimici nello strato di confine della troposfera.

Oggi in nessuna nazione il settore nautico è sottoposto a regimi di riciclo obbligatorio dei materiali compositi, così come non vi sono regolamentazioni obbligatorie che limitano l'emissione di CO₂ durante il processo produttivo dell'industria nautica. Ciò è dovuto al minimo impatto ambientale relativo che questa industria produce, e pertanto non giustifica contromisure specifiche per il settore. Tuttavia l'industria nautica, per propria iniziativa, promuove uno sviluppo sostenibile e iniziative mirate alla protezione ambientale, ed ha avviato diversi progetti su base volontaria per migliorare l'impatto del ciclo di vita dei suoi prodotti.

Le emissioni in atmosfera dal processo produttivo nautico sono di due tipi: CO₂, abbastanza limitate, e VOC (composti volatili organici). Le emissioni di CO₂ non sono il risultato di specifici processi nelle costruzioni nautiche, ma piuttosto il risultato di attività industriali in generale, come la produzione ed il trasporto di materiali e prodotti grezzi. Tuttavia è stato studiato come l'utilizzo dei materiali compositi nell'industria nautica abbia un bilancio ambientale positivo in termini di emissioni di CO₂¹¹. Per quanto riguarda invece i VOC, il loro maggior rilascio nei processi produttivi di compositi è costituito dallo stirene, un agente polimerizzante usato per trattare la resina. Lo stirene è considerato essere solo debolmente tossico per l'uomo. Viene usato da più di 40 anni nell'industria nautica, senza risultare eccessivamente problematico, anche se in Europa è classificato come agente irritante¹².

Emissioni dei processi produttivi

Il settore marino da diporto è generalmente considerato essere una sorgente minore di emissioni di VOC, compreso nel 12%-13% delle emissioni totali generate dall'industria¹³. Queste emissioni si possono drasticamente ridurre con metodi poco costosi di distribuzione e riciclo dell'acetone e con buone abitudini nella gestione. La sostituzione dell'acetone con prodotti a base di acqua

.....

11 Come già menzionato prima, le imbarcazioni in composito sono generalmente più leggere delle loro controparti in acciaio, e ciò significa che è necessario meno combustibile fossile per il loro trasporto via terra e per la loro propulsione in acqua. Inoltre la produzione dei materiali compositi grezzi genera molta meno CO₂ che non la estrazione e la trasformazione dell'acciaio e dell'alluminio. Per quanto riguarda il legno, se esso viene gestito in maniera sostenibile può essere un fissatore di carbonio, altrimenti, se le foreste non sono gestite in maniera sostenibile, l'utilizzo del legno può aggravare le emissioni di CO₂.

12 A dispetto di alcuni studi condotti negli anni '70 che classificavano lo stirene come sostanza cancerogena, oggi diversi enti (IARC e EPA) concordano nel non trovare correlazioni tra lo stirene e il rischio di cancro.

13 Molte delle emissioni VOC del settore nautico sono dovute ai solventi contenuti nelle vernici, pitture e gelcoat utilizzati nel processo produttivo. Solventi si trovano nel processo di laminazione, con acetone usato principalmente per pulire gli stampi.

Direttive sulle emissioni industriali

è in fase progressiva e viene usata sempre più spesso¹⁴.

Con l'obiettivo di limitare l'inquinamento dalle attività industriali, L'Unione Europea, il Nord America e il Giappone hanno imposto limiti legali alle emissioni di VOC nell'atmosfera, e hanno anche regolamentato i limiti delle emissioni generate da grandi impianti industriali¹⁵.

Le grandi società di cantieristica in Europa possono essere soggette nelle loro installazioni principali alla direttiva comunitaria 2008/1/EC, concernente la prevenzione ed il controllo integrati dell'inquinamento (direttiva spesso riferita come IPPC). Questa direttiva stabilisce un set di regole comuni relative ai permessi di apertura e al controllo di installazioni industriali¹⁶.

La direttiva EU 1999/13/EC, come corretta dalla direttiva 2004/42/EC, impone limiti specifici per le emissioni di composti volatili organici (VOC) correlati all'uso di solventi organici nel corso di attività industriale¹⁷.

Il settore nautico è composto da poche grandi industrie e da un gran numero di piccoli cantieri. Per molte di queste società i loro livelli di VOC emessi sono ben al di sotto dei limiti imposti dalla direttiva VOV 199/13/EC¹⁸. Tuttavia oggi vi è una chiara tendenza, tra i piccoli e medi cantieri, ad investire in moderne tecnologie a basse o zero emissioni, contribuendo alla immagine positiva del

.....
14 Ad esempio è da parecchi anni che in Francia molti costruttori nautici stanno utilizzando, nei loro processi a stampo aperto, resine poliesteri con base emissioni/basso contenuto di stirene; un passo importante ed efficace nel processo di riduzione delle emissioni.

15 La direttiva EU 2001/81/EC sul tetto alle emissioni nazionali, specifica delle soglie di emissione per alcuni inquinanti atmosferici (inclusi i VOC) e serve come base per regolamentare l'inquinamento atmosferico. Queste soglie sono implementate dagli Stati Membri attraverso leggi e piani nazionali che si applicano a tutte le attività umane.

16 In sostanza la direttiva IPPC pone regole per minimizzare nell'area della Unione europea le emissioni di gas serra e sostanze acidificanti, rilasci di acque di scarico e residui di varia origine industriale. Grandi installazioni industriali possono essere soggette a particolari permessi di scarico per effetto della direttiva EU 2006/12/EC concernente i rifiuti.

17 Questa direttiva si applica a cantieri nautici che generano più di 5 tonnellate di VOC all'anno in attività di laminazione di legno e polimeri, oppure che generano più di 15 tonnellate di VOC all'anno per verniciatura di superfici di legno, o più di 100 tonnellate di VOC all'anno nella preparazione di vernici, pitture e adesivi. La direttiva definisce un solvente organico come un qualsiasi VOC utilizzato senza che sia soggetto a un cambiamento chimico. La parte di stirene usato in resine poliesteri insature non è considerato un VOC poiché è utilizzato nella reazione di polimerizzazione e rimane nel materiale. Alcuni Paesi, come Francia e Germania, considerano come VOC la parte di stirene emessa nell'atmosfera (cioè non coinvolta nella reazione chimica) e perciò essa è soggetta ai limiti della direttiva EU 1999/13/EC.

18 Le installazioni che cadono sotto questa direttiva devono contenere entro i limiti imposti le emissioni di gas di rifiuto, quelle dei gas dispersi e il totale delle emissioni. La direttiva EU pone dei limiti massimi ai valori e permette agli Stati Membri di imporre alle industrie nel paese o a livello locale valori più bassi. Considerando la composizione del settore nautico, dove un ristretto numero di industrie domina il mercato, queste regole sembrano essere applicate in maniera efficace nelle loro installazioni industriali.

settore che è percepito come un'industria pulita. La combinazione di disponibilità di tecnologie senza emissioni e l'utilizzo di prodotti a basse emissioni permette all'industria nautica di adeguarsi completamente alla legislazione EU corrente sulla limitazione dell'inquinamento atmosferico. In ogni caso, il settore nautico rimane dipendente dai produttori di materie prime per le qualità ambientali dei materiali compositi, delle resine, fibre, vernici, pitture che sono disponibili sul mercato per le applicazioni cantieristiche.

2.3.d – Processi a basse emissioni

Prima di prendere in considerazione i metodi di costruzione a stampo chiuso, si deve ricordare che la tecnica dei materiali compositi inizia nel 1960 con lo stampaggio manuale a contatto in stampi aperti. Questo metodo costituisce la tecnica tradizionale delle costruzioni nautiche, ed è ancora oggi utilizzata nella grande maggioranza dei componenti prodotti nel mondo. In ogni caso molte aziende hanno investito o stanno ora investendo in tecnologie senza emissioni. Oltre alla riduzione delle emissioni, queste nuove tecnologie hanno anche come risultato una migliore qualità dei materiali laminati e anche un'importante riduzione di peso dello scafo, grazie al migliore controllo del rapporto vetro/resina, spesso associato anche ad una struttura "sandwich". Questa riduzione di peso avrà come effetto anche una riduzione del carburante e dell'impatto ambientale dell'imbarcazione durante la sua vita, oltre che alla fine della stessa¹⁹. In paesi particolarmente regolamentati, come l'Europa, il settore marino da diporto sta beneficiando dalla concentrazione dell'attività e dalla successiva industrializzazione. Un risultato pratico di questa tendenza è il crescente utilizzo di processi a emissioni ridotte nella costruzione di scafi e altre strutture principali in composito prodotte in serie.

La laminazione manuale è ancora il processo più diffuso

I principali processi a emissioni ridotte sviluppati e in uso nel settore nautico sono i seguenti:

Processo a infusione di resina, con iniezione sottovuoto

L'infusione sottovuoto dei materiali compositi è un processo produttivo sempre più usato per ridurre le emissioni di vapori di stirene, per migliorare le qualità del prodotto e per ridurre i costi di

.....
 19 Nel 2000 solo un 5% delle coperte delle imbarcazioni erano costruite con processi a stampo chiuso; 5 anni più tardi la proporzione era drasticamente salita, stima oltre il 20%. Mentre questa evoluzione tecnologica è significativa in Europa e in USA, altre nazioni, dove la pressione economica o legislativa è meno forte, utilizzano ancora prevalentemente metodi di costruzione a stampo aperto.

manodopera. In questo processo, il rinforzo viene racchiuso in un contenitore di plastica a tenuta ermetica in cui viene poi ottenuto il vuoto pneumatico, che a sua volta provoca l'ingresso della resina catalizzata che si va a depositare sul rinforzo. Si devono utilizzare resine a bassa viscosità e la resina polimerizzata ha teoricamente una resistenza alla trazione più bassa delle resine convenzionali deposte a mano, ma ciò è largamente compensato dal rapporto di reticolazione più alto, dovuto al processo in un colpo solo. Tecniche di canalizzazione più sofisticate e resine a indurimento ritardato rendono possibile lo stampaggio di forme complesse e di grosse dimensioni. Le emissioni di stirene sono quasi nulle, per via della natura a stampo chiuso del processo e per il fatto che una gran parte dello stirene rimane chimicamente legato all'interno del prodotto finito. Dato il rapporto di fibra più alto, il materiale risultante ha una qualità più elevata, con uno spessore minore rispetto a quello ottenuto per stampaggio manuale a contatto. Il processo di infusione produce laminati leggeri e ad alte prestazioni con emissioni altamente contenute. Il lato negativo è rappresentato dalla gran quantità di materiale consumato nello stampaggio, che risulta di rifiuto a fine processo. Il processo risulta più costoso di quello manuale, inoltre alla fine può essere ancora necessario laminare manualmente alcuni strati aggiuntivi.

Processo RTM (Resin Transfer Moulding)²⁰

Nel processo RTM la resina è iniettata in uno stampo chiuso contenente il rinforzo in fibra di vetro asciutta. Il processo restituisce una superficie liscia di qualità su entrambi i lati del prodotto stampato, e permette un alto ritmo di produzione. I due stampi devono essere altamente strutturati e sono costosi, ma il processo risulta economico per produrre alcune quantità di piccole parti, tipicamente portelli e coperchi.

Processo RTM Eco, con resina aspirata a vuoto e iniettata a bassa pressione

Il processo RTM Eco, sviluppato inizialmente in Francia per la nautica, è ora molto utilizzato per costruire parti di coperta sempre più grandi²¹. E' vantaggioso per quanto concerne il peso dei prodotti stampati, ed estremamente conveniente dal punto di vista economico. Utilizza due stampi leggeri in aggiunta al vuoto e bassa

.....
20 Letteralmente "stampaggio a trasferimento di resina"

21 Più di 50m2, quindi per barche oltre i 15 m di lunghezza

pressione. Permette di stampare la coperta e il suo controstampo in un'unica operazione utilizzando stampi leggeri. I vantaggi del processo RTM Eco sono il costo competitivo, la superficie liscia su entrambi i lati della parte, niente materiali di consumo, nessuna emissione. Gli svantaggi consistono nel richiedere due stampi, anche se leggeri, nel maggior peso della stampata rispetto al processo di infusione, e nel fatto che ad oggi è utilizzato solo per la coperta, dal momento che le parti devono essere separabili dallo stampo.

Il processo manuale rimane ancora in gran parte necessario. Anche nei casi in cui viene utilizzato lo stampo chiuso per produrre le parti principali, lo stampaggio per contatto viene ancora largamente usato per assemblare parti o parti divisorie. Nel tradizionale stampaggio manuale per contatto, fibre di rinforzo ed altri materiali strutturali sono posizionati nello stampo, per essere impregnati con resine catalizzate e accelerate. La resina è applicata manualmente usando rulli o pistole a spruzzo. Lo stampaggio a spruzzo è anch'esso considerato un processo manuale. La resina, il catalizzatore, l'acceleratore, e la fibra di vetro sono iniettati assieme nello stampo attraverso ugelli speciali, ed il composto che ne risulta ha una disposizione di fibre di vetro casuale. I vantaggi del processo di stampaggio manuale per contatto sono il suo basso costo e la semplicità di attrezzaggio e di competenza. Contrariamente alla laminazione a stampo chiuso, questo processo emette nell'aria solventi e stirene, anche se queste emissioni sono state largamente ridotte mediante l'utilizzo di nuove resine a basse emissioni. Il materiale composito così ottenuto è relativamente ricco di resina e pesante, con moderate proprietà meccaniche. Inoltre, come ulteriore considerazione, si nota come il lavoro con sostanze viscide e appiccicose risulti sgradevole agli operatori, e in qualche maniera degradante.

Incollaggio a vuoto.

Negli ultimi dieci anni l'incollaggio di parti sandwich è diventato più comune, specialmente nella costruzione di imbarcazioni multiscafo. La padronanza del processo di incollaggio a vuoto ha aiutato numerosi cantieri a passare dall'incollaggio di schiume in stampi aperti alla produzione a stampi chiusi.

2.3.e – Materiali grezzi e impatto ambientale

Nella nautica le resine usate nei compositi polimerici rinforzati con

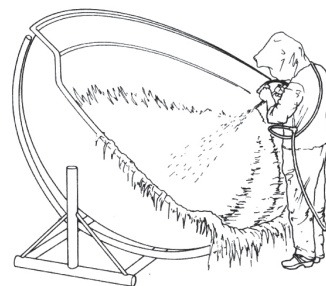


Illustrazione di una applicazione manuale "taglio e spruzzo" di vetroresina

fibre sono principalmente termoindurenti (poliestere, epossidica, vinilestere, etc.), e sono di recente utilizzo resine termoplastiche (poliammide, polipropilene, PET, PBT, etc.) per alcuni componenti. Recentemente la composizione delle resine si è evoluta in due direzioni: resine a basse emissioni e resine a basso contenuto di stirene sono oggi disponibili sul mercato.

Bioresine

Cominciano ad apparire bio-resine, ma il loro uso è ancora ridotto nel settore nautico. Oltre ai loro vantaggi di tipo ambientale, le bio-resine ridurrebbero la dipendenza dal petrolio²². Molti produttori di resine hanno avviato programmi di ricerca e sviluppo per ottenere resine bio al 100%, una tendenza evidente oggi anche nello sviluppo di bio-adesivi. I benefici ambientali di bio-resine e di bio-adesivi consistono nella eliminazione di sostanze tossiche in generale, l'attenzione alla salute umana e dell'ambiente, la riduzione di materiali pericolosi/tossici e di rifiuti, la riduzione di emissioni inquinanti, e le loro capacità di riciclo.

Fibre di rinforzo

Riguardo le fibre, il vetro rappresenta l'89% del volume mondiale di fibre usate nei materiali compositi, mentre solo il 10% sono fibre naturali; il carbonio rappresenta solo lo 0,6% della produzione mondiale di fibre per compositi. Le fibre di vetro sono usate come agente rinforzante per molti prodotti a base polimerica, dando origine al prodotto comunemente noto come vetroresina. A parità di robustezza, la fibra di vetro è 30% più leggera dell'acciaio; le sue proprietà, tra le altre, includono resistenza chimica, resistenza agli urti e isolamento elettrico. I produttori di fibra di vetro hanno migliorato significativamente i loro processi produttivi per ridurre le emissioni e il consumo di energia, e al tempo stesso migliorare la durata e la resistenza alla corrosione dei materiali. Ad esempio la fibre di vetro senza contenuto di boro hanno un impatto ambientale considerevolmente ridotto rispetto alle fibre tradizionali.

Anche le fibre naturali cominciano a entrare nel mercato dei compositi, ma il loro uso in elementi strutturali è limitato a causa delle loro proprietà fisiche svantaggiose. Al momento vengono usate a scopo di riempimento, ma vi sono in corso numerosi studi che vorrebbero portare ad un loro maggior utilizzo industriale nel medio termine.

.....
²² Ad esempio il glicol-propilene, che è derivato dalla bio-glicerina, ed è un sottoprodotto della produzione del carburante bio-diesel, può essere utilizzato come materiale grezzo standard nelle resine poliestere. Oli vegetali derivati dai fagioli di soia, dagli alberi di ricino, o dai semi di lino possono anch'essi costituire materiale di base per le poliestere.

Relativamente all'impatto ambientale delle vernici e di altri rivestimenti, la direttiva Europea 2004/42/EC mira a ridurre l'inquinamento atmosferico, limitando il contenuto globale dei composti organici volatili in certe vernici, pitture e prodotti per la finitura delle superfici²³. Miglioramenti nell'impatto dei prodotti e dei processi coinvolti nella costruzione sono elementi chiave quando si considera il fine vita, e potrebbero giocare un ruolo chiave nella capacità di riciclo di imbarcazioni da diporto.

2.3.f - Evoluzione della produzione

Una tendenza che sta prendendo piede nel settore nautico è quella legata alla realizzazione di navi sempre più leggere, in grado di assicurare pari prestazioni e una riduzione del consumo energetico. Questo processo è noto come dematerializzazione, ossia la riduzione dei materiali utilizzati e, in senso più ampio, del superfluo. Questo comporta non solo la diminuzione degli arredi e l'utilizzo di materiali sempre più innovativi e leggeri, ma anche l'ottimizzazione dell'impiantistica. Mentre la velocità ha perso gradualmente importanza tra i criteri che guidano le scelte di acquisto di prodotti nautici, la riduzione degli sprechi e dei costi e una maggiore attenzione ambientale sono fattori che, al contrario, hanno accresciuto la loro influenza.

Dematerializzazione

Un'altra novità in grado di rivoluzionare la progettazione delle imbarcazioni è la modularità. Progettisti e designer sono sempre più impegnati nella realizzazione di una gamma di prodotti innovativi basati sul concetto della trasformabilità, grazie a cui su uno stesso scafo è possibile costruire diversi modelli di barca. La modularità fa in modo che questi cambiamenti si possano effettuare in qualsiasi momento: è così possibile cambiare la propria barca senza sostituirla, per soddisfare il desiderio di rinnovarla o di adeguarla alle diverse esigenze e limitazioni ambientali. Questo innovativo processo permette di ottimizzare le risorse e gli investimenti nello stesso modo in cui, nel settore dell'auto, uno stesso telaio viene impiegato per diverse vetture. Lo sviluppo dell'approccio modulare porta a dei mutamenti anche nell'organizzazione dei processi, oltre che nella concezione dei prodotti. In questo caso, l'obiettivo diventa progettare e realizzare barche la cui manutenzione può essere eseguita attraverso interventi parcellizzati, piuttosto che ricorrere

Modularità

.....
 23 La direttiva si applica in modo specifico ai prodotti per gli edifici ed i veicoli, ma influenza l'intero settore. E' entrata in vigore il 1° gennaio 2007, con limitazioni più restrittive a partire dal 1° gennaio 2010.

ad interventi di maggiore portata. Inoltre la modularità è applicata alle fasi di manutenzione a 360 gradi, al punto che oggi si parla di refitting modulare, grazie a cui l'imbarcazione viene riadattata per accogliere nuove componenti concepite secondo il principio della modularità. Questa opportunità favorisce la compravendita dell'usato perché rende possibile, anche a distanza di anni, modificare ogni versione di barca in un'altra.

Questo approccio innovativo va a vantaggio dei cicli di smaltimento e non solo. Standardizzando i processi di costruzione e manutenzione, il settore nautico si avvia a compiere una trasformazione di rilievo, caratterizzata da una diminuzione del grado di artigianalità dei processi produttivi, a vantaggio di una maggiore industrializzazione degli stessi. Produrre secondo un approccio modulare rende possibile il monitoraggio e la conoscenza minuziosa delle componenti impiegate, del loro peso, della quantità e tipologia di materia utilizzata. Avere a disposizione questo tipo di informazioni è fondamentale anche per procedere nello smaltimento delle imbarcazioni.

Per quanto riguarda i materiali grezzi, uno dei campi più interessanti e promettenti della ricerca sui compositi è rappresentato dalle fibre naturali (FN). Utilizzando infatti FN come rinforzo del composito, è possibile ottenere un materiale con impatto ambientale fortemente ridotto, pur mantenendo in gran parte i vantaggi della fibra di vetro. Queste fibre presentano infatti buone proprietà meccaniche specifiche, e rispetto al vetro richiedono, per la loro produzione, quantitativi di energia decisamente inferiori. Anche in termini di costi legati allo smaltimento, che probabilmente in futuro saranno da mettere nel computo dei costi di produzione, prodotti green di questo tipo sono più vantaggiosi. Come vedremo in seguito, il riciclaggio dei compositi vetro-poliestere è molto oneroso; soterrarli è proibito ed incenerirli è problematico, costoso e inquinante. Tramite l'utilizzo di bio-compositi vi sono concrete possibilità di riciclo dei componenti primari, sia negli scarti di

Compositi rinforzati con fibre naturali

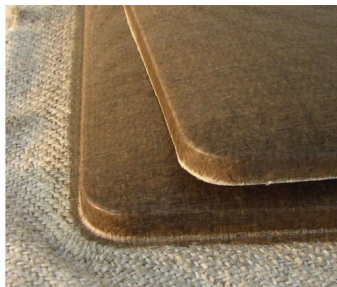


Tabella 2.e
Caratteristiche delle fibre naturali

FN	densità (g/cm ³)	resistenza a trazione (MPa)	modulo di Young E (GPa)	deformazione a rottura (%)	resistenza specifica (MPa*cm ³ /g)	mod. di Young specifico (GPa*cm ³ /g)	produzione mondiale (kton)	prezzo (\$/kg) grezza (mat / fabric)
LINO	1.4 – 1.5	345 - 1500	50 - 110	1.2 – 3.3	238 - 1000	34 - 76	751 (2004)	0.5 – 1.5 (2 / 4)
CANAPA	1.4 – 1.5	310 - 1834	35 - 70	1.6 - 3	214 - 1264	24 - 50	83 (2004)	0.6 – 1.8 (2 / 4)
IUTA	1.3 – 1.46	350 - 900	10 - 30	1.2 – 1.8	286 - 650	7 - 22	2465	0.35 (1.5 / 0.9-2)
Vetro-E	2.55	2400	73	2.5	941	29	1195	2 ~ 3

produzione che nel riciclo a fine vita.

La tabella **2.e** mostra alcune delle principali caratteristiche meccaniche di alcune fibre naturali di maggiore impiego, paragonate alle fibre di vetro²⁴. Rispetto a queste, le FN hanno densità minore e buona capacità di assorbimento delle vibrazioni. Presentano inoltre i vantaggi legati alla bassa quantità di energia di produzione e il minor impatto ambientale rispetto alle fibre sintetiche.

Face è una società italiana di importanza significativa nel campo della ricerca dei compositi sostenibili. Offre consulenza su tecnologie sottovuoto e per la progettazione e realizzazione di manufatti custom e in serie in bio-composito. Si utilizzano fibre di natura vegetale come lino e cotone compatibili con qualsiasi tipo di resina, create appositamente per offrire una reale alternativa alla fibra di vetro. A questo si abbina l'uso di *Biresin CR*, una resina epossidica più sostenibile, priva di stirolo, fenoli e ammine di natura aromatica, sostanze notoriamente riconosciute aggressive e nocive per la salute. Inoltre è studiata appositamente per i processi di infusione sottovuoto, che coerentemente comporta minori emissioni in fase di produzione.

Face Composite

Caratteristiche meccaniche di alcune fibre naturali di maggior impiego, rispetto alla fibra di vetro



Per quanto riguarda le anime delle strutture sandwich, *Face* utilizza *CoreCork*, un agglomerato di sughero sviluppato per essere utilizzato come anima con i materiali compositi, adattabile a superfici complesse e a doppia curvatura, sostenibile per

CoreCork by Amorim

²⁴ Il considerevole intervallo tra i valori riportati denota la forte dipendenza da fattori biologici, climatici, tecnica di estrazione, ecc.

l'ambiente sin dalle sue prime fasi produttive. Presenta inoltre un'alta capacità di isolamento acustico e delle vibrazioni, ed eccellenti doti di resistenza alla fiamma. Vanta numerosi applicazioni non solo in campo nautico, ma anche nel settore aeronautico, nella fabbricazione di pale eoliche, kayak e tavole da surf.

2.4 Fase d'uso

Dal punto di vista ambientale, la fase di uso è rappresentata da numerosi aspetti, che qui cerchiamo di elencare brevemente.

Le problematiche legate alle emissioni dei motori rientrano negli studi attuali trasversali al mercato degli autoveicoli, dove la propulsione ad energia pulita è sperimentata da tempo; a questo si affianca uno studio di trasmissioni più efficienti e un miglioramento continuo della silenziosità ed efficienza delle motorizzazioni, anche grazie ai benefici economici che questi comportano. Le normative sui rifiuti sono estese anche alla nautica, con l'introduzione da tempo di regole sulla raccolta differenziata e sullo scarico in mare.

La salvaguardia degli ecosistemi viene garantita dalla protezione delle aree a rischio, in cui può essere vietato l'ancoraggio o anche la navigazione stessa. La diffusione di certificazioni riconosciute sulla eco-compatibilità di speciali propulsioni incentiva la tendenza verso un uso della barca compatibile con l'ambiente.

Da considerare che questa fase è quella più appariscente dal punto di vista commerciale in termini ambientali, percepita anche dagli utenti come quella più influente nella salvaguardia dell'ambiente, vero o no che sia. Tuttavia questo aiuta a responsabilizzare i produttori e la ricerca in questi aspetti, che possono restituire più facilmente dei benefici commerciali.



Tipologia dei possibili impatti ambientali

Quali tipi di fenomeni dobbiamo prendere in considerazione quando studiamo l'impatto che le nautica da diporto e altre attività acquatiche possono generare? Per stabilire quale impatto queste attività possano avere, è prima necessario considerare una serie di fenomeni correlati alle attività nautiche.

- > Rilascio di idrocarburi e altri oli residui dai motori delle imbarcazioni da diporto
- > Disturbi acustici dai motori
- > Acque nere o di fogna da raccogliere a bordo o al porto

- > *Acque grigie dalle operazioni di lavaggio a bordo*
- > *Vernici antivegetative rilasciate dagli scafi*
- > *Rifiuti di ogni tipo generati a bordo e da scaricare al porto*
- > *Danni fisici all'ambiente generati da cattivi ancoraggi o da generazione di onde*
- > *Impoverimento degli stock ittici per la pesca ricreativa e non.*
- > *Introduzione di specie non indigene a seguito di lunghi viaggi*

L'industria può efficacemente limitare alcuni di essi tramite miglioramenti tecnologici. Altri sono legati alle abitudini personali degli utenti e dovranno essere oggetto di campagne informative al pubblico. Gli utenti coinvolti nelle attività nautiche hanno un ruolo personale chiave nel minimizzare l'impatto delle loro attività, ma le industrie hanno l'obbligo di mettere a loro disposizione prodotti e tecnologie eco-compatibili e pertanto di promuovere ricerca e sviluppo di tali prodotti. L'industria avrebbe anche il dovere di creare consapevolezza, di informare e di contribuire all'educazione degli utenti sulle pratiche sostenibili.

Emissioni di oli e idrocarburi

E' interessante paragonare i rilasci di oli e idrocarburi della nautica da diporto con quelli delle altre sorgenti di inquinamento marittimo, per quantificare le vere proporzioni di questo tipo di emissioni. Infatti le analisi ci dicono che i motori marini sono responsabili solo per una piccola parte di tutto l'inquinamento da idrocarburi²⁵.

Dopo aver considerato tutte le fonti di inquinamento marino, uno studio recente di UNEP GESAMP per la Organizzazione Internazionale Marittima (IMO) ha preso in considerazione le sorgenti provenienti da attività nel mare. La causa maggiore è dovuta a rilasci naturali (49%). Il fenomeno è osservato in aree di alta attività sismica come il Golfo del Messico, il Mare Mediterraneo e la costa dell'Alaska. Il trasporto marittimo, includendo il trasporto di idrocarburi, le attività portuali, le operazioni off-shore è responsabile per il 47% dell'inquinamento da idrocarburi. Imbarcazioni sotto i 24 metri, sono responsabili per il 4% dell'inquinamento da sorgenti

.....
 25 Prese tutte assieme, tutte le attività marittime, incluso il trasporto degli idrocarburi, le fuoriuscite accidentali, le piattaforme off-shore, contano al 26% di tutto l'inquinamento marino da idrocarburi. E' anche interessante notare che fino al 11% dei rilasci di olii nel mare sono di origine sismica. In conclusione, come altri tipi di inquinamento marino, l'inquinamento da olio/petrolio ha origine soprattutto da fonti a terra.

sul mare. Inoltre in questa categoria è difficile distinguere le imbarcazioni da diporto dai piccoli pescherecci o da imbarcazioni ad uso commerciale, con le dovute considerazioni sulle percentuali di questa componente.

Vi sono diverse possibili fonti di inquinamento marino da idrocarburi associate alle attività nautiche che è utile considerare per stabilire se siano rilevanti nella nautica da diporto. Occorre prendere in considerazione queste fonti e minimizzarle, sia migliorando i progetti delle barche e dei motori, sia migliorando l'educazione dei proprietari e utilizzatori delle stesse.

> Uso dei motori marini (lungi e non necessari funzionamenti al minimo, oppure funzionamento a pieno regime)

> Versamento in acqua di combustibile: può avvenire senza alcuna necessità e intenzione durante il rifornimento di carburante. Questo si può evitare migliorando la sensibilità e il comportamento delle persone e anche installando sulle barche sistemi che impediscano la fuoriuscita del carburante dalle prese di ventilazione dei serbatoi. Anche da parte delle stazioni di servizio dovrebbe essere fatta pressione per la installazione di questi componenti sulle barche

> Errato utilizzo o poca manutenzione (ignorare le manutenzioni consigliate): anche qui si dovrebbe migliorare la conoscenza e l'educazione dei proprietari delle imbarcazioni. Un motore ben tenuto e manutenzionato consuma meno e inquina meno. Per questa ragione alcuni Enti sono preposti alla revisione (ad esempio ogni 3 anni) della barca e del motore, per poter mantenere la licenza di navigazione della barca

> Scarichi legalizzati di olio in mare: le leggi internazionali permettono scarichi di idrocarburi in mare in piccole concentrazioni. Ad esempio sono permessi scarichi per imbarcazioni fino a 400 tonnellate, quando la concentrazione è sotto le 100 parti per milione, a patto che la nave stia navigando oltre le 12 miglia dalla costa. Si stima che 188.000 tonnellate di idrocarburi siano così legalmente scaricate da navi mercantili ogni anno, e questo rappresenta un volume 3,5 volte maggiore di tutto l'inquinamento generato dalle "barche piccole "

> Olii del motore: sul mercato vi sono oggi un certo numero di olii sintetici per il motore biodegradabili. Inoltre la Commissione Europea, nella decisione 2005/360/EC raccomanda di etichettare i prodotti in prospettiva ambientalistica, secondo criteri ecologici e regole associate, al fine di valutare e controllare gli olii lubrificanti. Queste misure dovranno esser poi trasposte in leggi nazionali negli stati membri nel 2009.

> Scarichi in mare di acque oleose, principalmente provenienti da due fonti:

a. acque di sentina: è un mix chimicamente complesso di solventi, agenti detergenti (sapori) e sali metallici quali grasso e lubrificanti. Alcuni di questo sono anche agenti inquinanti persistenti e bio-accumulativi. (POPs). Altri sono idrocarburi aromatici (BTEX 55) e anche olio, rame, ferro, mercurio, zinco, nickel, sali di metalli, detergenti, che sono tossici acquatici.

b. acque del circuito di raffreddamento del motore: contiene i tipici costituenti dello scarico di un diesel, e cioè vari sottoprodotti della combustione, composti organici volatili e semivolatili (VOC). Inoltre idrocarburi aromatici policiclici (PAHs), toluene, e anche metalli. Anche se questa lista sembra terribile, l'impatto vero e proprio è molto basso in quanto i volumi in gioco sono piccoli.. solo in aree ad alto traffico nautico questi valori potrebbero diventare un problema.

> Lavaggio delle cisterne (navi)

Nonostante la spiccevole natura di composti chimico contenuti in queste acque di scarico, il contenuto oleoso può essere tenuto sotto controllo. Comportamenti virtuosi dei proprietari devono essere incoraggiati sia nelle operazioni di tenuta e manutenzione dei motori e delle barche, sia per quanto riguarda filtri e assorbenti per le pompe e le acque di sentina, da scaricare poi nelle apposite strutture in porto. Questo può minimizzare o neutralizzare questi scarichi di acque oleose. In futuro si auspicano metodi di separazione degli olii dalle acque di sentina e dalle acque di raffreddamento motore, ma per il momento il miglior mezzo è un utilizzo responsabile dell'imbarcazione.

Inquinamento acustico

È stato mostrato come la nautica da diporto non sia causa di livelli di rumorosità dannosi per le zone residenziali e turistiche. Tuttavia, può essere invece questo il caso quando consideriamo parchi naturali o aree delicate dal punto di vista ambientale. Le regolamentazioni hanno abbassato il livello di rumore del 70%, e in futuro si ridurrà quello di fonte meccanica dei motori grazie a miglioramenti nella tecnologia. Il rumore generato dallo scafo è più difficile da controllare, ma se future legislazioni lo menzioneranno sarà da prendere in considerazione. Spesso è la tipologia di utilizzo della barca che influisce sull'inquinamento acustico. È fondamentale la comunicazione agli utenti, tramite cartelli e immagini sulle carte e nei luoghi stessi, circa il comportamento da tenere in zone protette e sensibili, in cui la fauna può essere danneggiata da certi tipi di rumori. Queste regolamentazioni includono limiti di velocità, accessi limitati alle barche a motore, regole di ancoraggio, disposizioni

Azimut MAGELLANO 50

Il gruppo Azimut-Benetti Spa, leader a livello mondiale nella costruzione di yacht, ha presentato nel 2010 un nuovo modello di imbarcazione con motore ibrido e dotata (prima della sua specie) dell'importante certificazione *Rino Green Plus*. Con una lunghezza di 50 piedi, ed è la prima barca a poter disporre del nuovo sistema *Easy Hybrid*, progetto esclusivo realizzato dal dipartimento R&D di Azimut-Benetti per navigare nel silenzio più assoluto e con la massima semplicità. Il Magellano 50 può navigare spinto sia da due motori diesel common rail *Cummins* da 425 cv con gestione elettronica dei consumi sia da motori elettrici alimentati da batterie. In quest'ultima modalità può raggiungere gli 8 nodi per brevi navigazioni giornaliere da 6 a 12 miglia, nel massimo silenzio e con estrema precisione di manovra. Non appena viene richiesta una velocità superiore entrano in azione i motori tradizionali. Il passaggio da una propulsione all'altra può avvenire in modalità automatica e il pilota deve soltanto decidere a quale velocità condurre l'imbarcazione senza azioni aggiuntive. Inoltre l'intera struttura dello scafo e' stata progettata per ridurre al minimo la resistenza all'acqua, grazie al sistema di carena denominato "dual mode" che offre stabilità e assetto in ogni situazione di mare. Pellicole anti raggi UV diminuiscono lo scambio termico lungo le superfici dei cristalli, i consumi ed i livelli dei serbatoi sono costantemente tracciati elettronicamente, con storico di carichi e scarichi. L'illuminazione e' a LED. Tutti gli interni sono realizzati in materiali riciclabili o con fibre e tessuti naturali, gli arredi e le strutture in teak provengono da foreste controllate. Le nuove tecniche di lavorazione del legno consentono di utilizzare il 90% della pianta. Per questo motivo ha ottenuto anche la certificazione FSC (*Forest Stewardship Council*), che garantisce che il legno impiegato a bordo proviene da foreste gestite secondo criteri di eco-sostenibilità, (tagli programmati, ripiantumazione delle piante utilizzate). Secondo i progetti del Cantiere Azimut, progressivamente tutte le imbarcazioni prodotte dallo stabilimento di Avigliana (To), il primo tra i grandi cantieri nautici ad aver ottenuto la certificazione ambientale ISO 14001, verranno realizzate con le medesime tecnologie del Magellano 50, rispondendo alle crescenti richieste del mercato sia italiano che internazionale in materia di riduzione di emissioni e consumi.



specifiche sullo sbarco di persone, nutrimento degli animali, divieto di scarico di acque nere e inquinanti, e altro.

Acque di scarico da imbarcazioni da diporto

Generalmente, lo scarico di acque nere da imbarcazioni da diporto non rappresenta un impatto ambientale significativo²⁶.

.....
²⁶ Uno studio del ministero della salute francese ha mostrato che qualcosa come l'80% dell'inquinamento da acque nere nel mare avviene dalla costa, di cui una parte importante è causata dalla disposizioni inadeguate di gestione a terra.

L'inquinamento da imbarcazioni da diporto a danno delle acque è minore del 2% e classificabile come margine accidentale, assieme all'attività da campeggio e da camper. Sono invece da tenere in considerazione delle regolamentazioni quando è necessario proteggere aree sensibili, o in caso di grande affollamento di imbarcazioni e basso ricambio di acqua. Lo sviluppo di metodi di gestione e mantenimento a bordo delle acque nere, come l'uso di maceratori, sono da preferire e diffondere, ovunque sia possibile.

L'inquinamento chimico che può essere attribuito ad emissioni di acque grigie dalle imbarcazioni è causato per lo più dagli agenti tensioattivi presenti nei prodotti detergenti e di pulizia²⁷. A bordo e in porto le soluzioni non sono difficili da trovare; i naviganti dovrebbero utilizzare prodotti di pulizia e accessori da toilette biodegradabili in breve tempo nell'ambiente, e fare attenzione a quanto riportato sulle etichette dei prodotti. Chi lavora nel settore ha un importante ruolo di informazione ed esempio nel portare gli utenti verso comportamenti ambientalmente compatibili.

Pitture antivegetative

Ad oggi vi sono delle direttive europee che proibiscono l'uso di componenti tossici (TBT) nelle pitture di imbarcazioni sotto i 24m, e vi sono proposte per estendere queste regolamentazioni a tutte le imbarcazioni. Il TBT è stato sostituito con altre sostanze meno dannose, ma tracce della sua presenza sono ancora presenti nei sedimenti delle zone portuali²⁸. Nuovi aggiornamenti alle direttive attuali mirano a controllare sempre più le sostanze autorizzate ai costruttori così come ai produttori di pitture. Questo sta significativamente modificando la composizione delle pitture antivegetative usate nella nautica²⁹. Per quanto riguarda la manutenzione, è importante notare che i rifiuti di pittura dovrebbero essere raccolti e smessi in maniera adeguata, un accorgimento che spesso viene dimenticato dai possessori di imbarcazioni, quando si dedicano per conto proprio all'applicazione dell'antivegetativa. C'è solo da raccomandarsi che le operazioni di manutenzione della pittura siano gestite da professionisti, attrezzati adeguatamente.

.....
²⁷ Tuttavia, anche in questo caso il 90% dell'inquinamento marino di questo tipo è generato da terra.

²⁸ Gli elementi rilevanti nelle pitture antivegetative sono per lo più gli erbicidi e l'ossido di rame, i quali vengono rilasciati dallo scafo durante il degradamento della resina.

²⁹ Dal punto di vista dei produttori, un settore di primario interesse riguarda lo sviluppo di resine totalmente biodegradabili, che possano permettere all'imbarcazione di mantenere invariate le prestazioni di velocità e manovrabilità per almeno un anno.

Produzione di spazzatura e altri rifiuti

L'inquinamento del mare da spazzatura è un serio problema, specialmente per quanto riguarda i rifiuti di plastica. Non si conoscono con chiarezza le fonti di questo inquinamento, ma le quantità di rifiuti coinvolte mostrano, ancora una volta, come siano generate maggiormente dalle coste e dalle imbarcazioni commerciali, comprese le navi da crociera. Come sappiamo, il danno provocato dai rifiuti plastici viene dalla loro degradazione molto lenta in piccole parti, in grado di avvelenare l'ambiente e recare danno fisico alla fauna, per ingestione o intrappolamento.

La maggior parte dei rifiuti prodotti a bordo di un'imbarcazione da diporto è simile a quella prodotta nell'ambiente domestico di ogni casa. Oltre a questo, nell'uso di un'imbarcazione si creano altri rifiuti derivati dalle batterie, dall'elettronica e dagli oli del motore. Così come avviene per i rifiuti domestici, tutti questi andrebbero rilasciati a terra, eventualmente separati adeguatamente. Inoltre i marina e le strutture portuali hanno l'obbligo di fornire appropriati servizi per la gestione di spazzatura differenziata.

Questi obblighi legali sono anche imposti ai naviganti e ai porti dall'Annex V della Convenzione IMO MARPOL 73/78. Si menziona infatti come in tutte le "aree speciali" come ad esempio il Mar Mediterraneo, sia proibito scaricare in mare ogni tipo di materiale plastico e altro tipo di spazzatura. Rifiuti di cibo e organici possono essere scaricati a più di 12 miglia dalla costa. In tutte le altre zone è proibito scaricare in mare qualsiasi oggetto di plastica, cibo e rifiuto organico, metallo, carta e vetro entro le 12 miglia dalla costa, e qualsiasi rifiuto galleggiante entro le 25 miglia di distanza dalla costa.

Queste regolamentazioni rappresentano le imposizioni internazionali applicabili ai trasporti commerciali, le leggi nazionali possono essere ancora più limitative. Queste sono le regole minime che ogni navigante dovrebbe conoscere e osservare, anche se potrebbe applicare, ancor di più, il principio delle 3R: ridurre, riutilizzare e riciclare. Naviganti e marina devono collaborare per differenziare i rifiuti a bordo e provvedere a gestirli in maniera adeguata a terra.

Sistemi di sicurezza scaduti

Pur non essendoci direttive UE che impongano alle imbarcazioni da diporto di farlo, la maggiorparte di queste barche che si avventurano a poò più che qualche chilometro dalla costa sono equipaggiate con sistemi pirotecnici di diversi tipi. Molte di queste sono per segnalazioni di pericolo mentre altre (come i razzi luminosi) possono essere usati per allertare altri naviganti. Gli strumenti di emergenza marini includono razzi luminosi a paracadute, segnali luminosi da tenere in mano, fumogeni, strumenti per lanciare cime di salvataggio e segnalazioni di uomo a mare. Tutti contengono materiali gassosi ad alta infiammabilità e gli strumenti di lancio contengono sostanze potenzialmente esplosive. A causa della natura instabile delle sostanze chimiche e degli ambienti particolari in cui sono stivati e usati, gli strumenti pirotecnici hanno una vita a riposo relativamente breve, tipicamente di 36/48 mesi. dopo questa data non possono più essere utilizzati e devono essere smaltiti in maniera adeguata. In molti paesi è considerato un reato accendere un segnale di pericolo per non segnalare veramente un pericolo. alcuni paesi ne permettono l'accensione a scopo di addestramento, dopo adeguata notificazione alle autorità competenti, ma anche questo genera grandi volumi di pirotecnici da distruggere ogni anno in europa. i trasporti commerciali raccolgono e distruggono questi strumenti tramite servizi dedicati, ma questo è più difficile per gli utenti privati.

Direttive per la raccolta, il trasporto e la distruzione di strumenti pirotecnici scaduti (chiamati anche TEP, time-expired pyrotechnics) variano molto tra i vari stati europei, da alcuni senza nessuna legislazione (UK, per esempio) ad altri con l'organizzazione di servizi con punti di raccolta dedicati (Olanda e Spagna). Il quadro è complicato anche dal fatto che questi strumenti sono classificati come esplosivi, e il loro trasporto è regolamentato dalle direttive UE sul trasporto in strada di merce pericolosa. Alcuni paesi come l'Irlanda permettono il trasporto di piccole quantità di pirotecnici verso i luoghi di dismissione. Tutti gli altri stati prevedono l'uso di veicoli e contenitori specializzati per il trasporto, dal momento che questa merce non può essere spedita via posta o corriere. Ad oggi non vi è un sistema di regolamentazione condiviso ed esteso per la dismissione di questi strumenti pirotecnici.

2.5 Fine vita e dismissione

Su questa fase del ciclo di vita delle imbarcazioni non disponiamo di dati sufficienti per stilare un quadro di analisi preciso. A differenza della produzione e dell'uso, la dismissione è una fase a livello teorico, cui non corrisponde un'adeguata organizzazione di servizi e di legislazione. Quello che possiamo constatare è proprio l'assenza di regolamentazione, parallelamente alla difficoltà di inquadramento del problema, per diversi motivi. C'è apparentemente poca appetibilità commerciale nel miglioramento di questa fase, che per ora comporta solo dei costi e nessun beneficio immediato per utenti e produttori, se non quello fondamentale che riguarda l'ambiente. Questo aspetto è molto importante per capire come lavorare in questo campo.

L'attenzione forzata e crescente degli ultimi anni al problema incombente della dismissione ha portato a numerosi studi, volti ad ottenere il maggior numero di dati possibili per capire come operare in futuro. Disponiamo quindi di stime sui volumi del parco nautico in dismissione, e di progetti che mostrano i punti deboli del prodotto a fine vita, gli ostacoli logistici, tecnologici, economici e legislativi che impediscono di smaltire un'imbarcazione in maniera organizzata, come invece avviene per un'auto, già da molto tempo.



2.5.a Situazione attuale

Da quando nel 1950 la vetroresina (VTR) si rese disponibile per applicazioni commerciali, il mercato e la produzione di imbarcazioni da diporto in questo materiale sono cresciuti in maniera impressionante.

Sebbene un certo numero di barche siano costruite con materiali tradizionali come metallo e legno, la VTR ha dominato

indubbiamente la produzione degli ultimi decenni³⁰. A seconda delle dimensioni, del tipo e dell'uso, questi prodotti possono resistere 50 anni o più; tuttavia le imbarcazioni da diporto, analogamente ad altri prodotti industriali, non durano per sempre. Durante la loro vita possono cambiare diverse volte proprietario, il quale non è raro che voglia disfarsi di imbarcazioni più piccole semplicemente perché cambiano interessi, abitudini o situazione familiare. In ogni caso, anche se mantenuti a dovere, i materiali in questione tendono a deteriorarsi con l'uso e con l'esposizione all'ambiente marino, per cui anche la barca costruita nel migliore dei modi dovrà prima o poi concludere la sua vita.

Se per le auto, gli elettrodomestici o le batterie, la questione della rottamazione è stata affrontata da tempo, nel patinato mondo della nautica la problematica non ha mai riscosso molto successo. Le cause sono da ricercare nelle diversità di questo settore rispetto a quello dell'auto, soprattutto in termini di volumi di produzione e rapidità di ricambio del prodotto. Il problema del fine vita viene percepito da poco nella nautica in maniera importante, in quanto la vita media di un'imbarcazione, di diversi decenni, ha rimandato fino a questi giorni la necessità di fronteggiare la questione.

Attenzione solo recente al problema della dismissione

Questo si esprime, innanzitutto, nell'assenza di regolamentazioni da parte delle istituzioni, che in altri settori hanno costretto il mercato ad evolvere la produzione in maniera più consapevole e coscienziosa verso l'ambiente. La nautica presenta in generale molte meno restrizioni ed obblighi, nella gestione di un mezzo, rispetto a quanto non avvenga per un'auto. Senza scendere nel dettaglio, questo si traduce nella difficoltà di tenere sotto controllo il parco nautico, dal punto di vista economico, legale e soprattutto per quanto riguarda gli aspetti ambientali. Questi ultimi richiedono spesso delle imposizioni legali per essere monitorati e controllati, dal momento che solitamente la gestione meno faticosa e di tendenza entropica da parte degli utenti va nella direzione opposta rispetto ai comportamenti necessari alla salvaguardia dell'ambiente.

Carenza legislativa su questa fase del ciclo di vita

.....
 30 Sebbene le statistiche siano tutt'altro che complete, si stima che solamente nella Comunità Europea vi siano 6 milioni di imbarcazioni, e 32 milioni di persone che partecipano ogni anno in qualche modo all'attività nautica da diporto. Precedentemente alla crisi del 2008, il mercato conosceva una continua espansione ad un tasso superiore al 5%. Negli USA le imbarcazioni stimate sono 16,4 milioni e in Australia 750.000. Per quanto riguarda l'Italia, si stima che tra barche immatricolate e unità minori siano attualmente circa 27.000, cioè il 4,36% del parco nautico nazionale, a sua volta stimato in poco meno di 620.000 unità, compresi pedalò, pattini e natanti a remi o a vela senza motore. Un altro dato importante per valutare il fenomeno è il peso medio di vetroresina ricavabile per tutte le unità in circolazione. Questo è stato ipotizzato, per i circa 450mila scafi fino a 18 metri, in 616.828 tonnellate in totale. Si tratterebbe mediamente di 1,37 t per unità.

**Aspetti economici della
dismissione di imbarcazioni**

Relativo a questi ultimi aspetti è anche il discorso economico legato alla dismissione delle barche, che verrà approfondito. Ci troviamo in una situazione poco controllata e di disordine, in cui le misure necessarie per recuperare le redini del problema implicano dei costi non indifferenti, che qualcuno deve decidere di sostenere. Sono presenti degli studi sui costi delle possibili iniziative da intraprendere, nonché dei progetti specifici per la creazione di sistemi finanziari che rendano concretizzabili le proposte tecniche.

Vedremo infine una panoramica delle possibili strade che si presentano al prodotto giunto a fine vita. Alcune di queste sono già state sperimentate e costituiscono alternative concrete, altre sono oggetto di ricerca, in diversi paesi del mondo. Ovunque infatti la questione sta diventando di interesse sempre più rilevante e condiviso, ed è utile organizzare lo stato dell'arte degli studi attuali e delle possibili alternative, per identificare e lavorare sui punti deboli del problema. Bisogna infatti considerare che i progetti futuri per affrontare la questione necessitano della coordinazione e della consapevolezza di attori diversi, in ambito tecnico, economico, legale ed ambientale.

Il settore nautico si trova oggi a dover affrontare gli stessi problemi di quello automobilistico o aeronautico, anche se in scala minore. In questi casi delle soluzioni sono state trovate³¹, mentre nel diporto non esiste nulla, né da parte del legislatore né da parte degli addetti al settore. Gli unici limiti di natura ambientale fissati dal legislatore riguardano le emissioni di gas di scarico e acustiche. Soprattutto, fino a poco fa, non vi era nessuna regolamentazione che assegnasse delle responsabilità sullo smaltimento delle imbarcazioni. Questo è causato anche dal fatto che per molto tempo il numero delle unità da diporto fuori uso non è mai stato tale da far sì che il loro trattamento a fine vita fosse ritenuto rilevante dal punto di vista ambientale e interessante dal punto di vista industriale, per quanto riguarda le possibilità di recupero e valorizzazione dei materiali.

L'attenzione che troviamo oggi alla questione è generata dal problema causato dal loro smaltimento, che ha spinto l'Ucina a

.....
³¹ Nell'automotive, ad esempio, esiste un centro di ricerche europeo, l'Ecrac, nato da un'iniziativa di aziende del settore, che si occupa dello smaltimento dei compositi. Un altro esempio è quello di Fiat, che dal 1992 ha organizzato un sistema per il riciclaggio a cascata: il F.A.RE (Fiat Auto Recycling) per il recupero e il riutilizzo di materiale. Soluzioni che sono state trovate anche per via di precise normative: dal 1° gennaio 2006 una direttiva impone il reimpiego e il recupero di almeno l'80% del peso del veicolo, per arrivare all'85% nel 2015

intraprendere diverse iniziative per conoscere i dati della situazione e sensibilizzare i costruttori nautici. Sull'argomento esiste infatti la direttiva europea 2008/98/Ce per la gestione dei rifiuti speciali, in vigore dal 12/12/2010. Questa tra l'altro stabilisce che la responsabilità dello smaltimento della barca non è del proprietario bensì del cantiere che l'ha prodotta inizialmente, e sul quale devono gravare i costi relativi; questi, di conseguenza, si ripercuoterebbero sui relativi prezzi d'acquisto.

Altro aspetto da citare è quello delle certificazioni. Le imbarcazioni dotate delle soluzioni più innovative sono quelle riuscite ad ottenere i certificati di prodotto *Green Star* e *Green Plus*. Si tratta delle più severe classificazioni ambientali, emesse nello specifico dal RINA, in grado di assicurare che ogni parte della nave, dallo smaltimento dei rifiuti ai filtri dei motori, sia eco-compatibile³².

In termini di smaltimento, vi sono naturalmente enormi differenze tra diverse tipologie di imbarcazioni, sia per quanto concerne dimensioni e peso, sia per l'eterogeneità dei materiali e le tipologie di assemblaggio coinvolti nella costruzione. Le tecniche di smaltimento non presentano ostacoli irrisolvibili, ma possono richiedere molto tempo. Il processo totale di smantellamento dev'essere ben progettato per minimizzare i possibili impatti ambientali negativi derivati da diverse fasi della gestione, come anche il trasporto, processi che consumano energia, inquinamento (da gas, polveri, rumore) e altro. Per ogni operazione andrebbero valutate le migliori tecniche disponibili in termini ambientali.

Sarebbe opportuno, inoltre, che l'industria nautica stabilisca degli stretti rapporti di collaborazione con le maggiori società di gestione rifiuti che hanno già stabilito sistemi e procedure per raccogliere e trattare oggetti a fine vita simili alle imbarcazioni. La nautica potrebbe anche trarre beneficio dal coinvolgimento in alcuni dei più importanti processi, per esempio nel caso di riutilizzo dei materiali.

Affrontare questo problema per il futuro significa ripensare la costruzione delle imbarcazioni pensando già allo smantellamento. Questo sarà il passo successivo che coinvolgerà l'industria nautica nei prossimi anni, che potrebbe trovarsi costretta a rispettare nuove normative di produzione riguardante questo aspetto.

Situazione e problemi attuali

.....
³² In generale, si registra un crescente interesse per i certificati emessi in base alle norme ISO 9000 e/o 14001, riguardanti non solo l'innovazione di prodotto ma anche quella di processo, come i sistemi di controllo della qualità e di gestione ambientale per le aziende.

Il problema della raccolta e identificazione delle imbarcazioni

È stato evidenziato, come già si sospettava, che uno dei problemi a monte risiede nella raccolta e identificazione delle imbarcazioni abbandonate. Il fatto poi che non sia necessario registrare il possesso di barche rende molto facile disfarsi di queste senza essere rintracciati, e molto difficile e costoso il recupero. Appare evidente come sia da ripensare tutto il sistema legislativo ed economico, per portare il proprietario, o il costruttore, a voler gestire per primo diversamente il prodotto a fine vita.

Successivamente a questa fase, si presenta il problema di trattare l'imbarcazione per smaltirla o prepararla ad altri processi di riciclo o recupero di energia. Lo smantellamento del parco nautico attuale vede principalmente l'adattamento delle tecnologie utilizzate per il settore auto alla nautica, trattandosi sempre di distruzione e separazione dei materiali, per corpi di dimensioni paragonabili. Sulla gestione di questi materiali recuperati, la ricerca in ambito chimico sta evolvendo dei processi per cercare di recuperare il maggior valore possibile dagli scarti di vetroresina, attualmente poco considerata nei processi di riciclo. Parallelo al mercato dei prodotti nautici è quello degli stampi utilizzati nei cantieri, anch'essi di vetroresina e senza regolamentazioni dedicate.

Ci si aspetta che un notevole volume di barche raggiunga nei prossimi anni la fine della vita utile. Anche qualora queste barche "morte" non siano inquinanti, nel senso che non rilasciano sostanze nocive nell'aria e nell'acqua, c'è il rischio che esse occupino costosi spazi nei marina e nei cantieri, oppure siano illegalmente abbandonate o gettate in discariche, senza considerare l'aspetto derelitto che conferiscono all'ambiente. Di fronte a tali rischi reali il settore della nautica da diporto ha recentemente promosso alcuni studi e progetti pilota in Europa.

Abbiamo una buona conoscenza delle possibilità di gestione delle imbarcazioni, in maniera compatibile con l'ambiente, una volta che queste sono state portate nei luoghi attrezzati per lo smaltimento. Tuttavia, dal momento che le barche possono trovarsi lontane da questi luoghi, la raccolta ed il trasporto possono giocare un ruolo chiave. Sono aspetti da valutare anch'essi dal punto di vista ambientale. Secondo alcuni studi, si potrebbe considerare di procedere prima ad una raccolta in depositi locali o regionali, dove operare uno smantellamento iniziale ed una compattazione di scafi, ponti e sovrastrutture, prima di essere sminuzzati e trasportati alla struttura per il recupero finale dei materiali e dell'energia.

Il problema della raccolta non è da poco. Vi sono ostacoli sia logistici che economici. L'esperienza evidenzia alcune situazioni tipiche da affrontare, così riassumibili:

a) Proprietari di ELB non identificabili - occasionalmente le imbarcazioni sono abbandonate, dopo che i numeri identificativi sono stati tolti o cancellati³³ e lo scafo pertanto reso perfettamente anonimo. Quindi sono generalmente affondate in mare o abbandonate sulle spiagge o nei porticcioli. Alcune imbarcazioni hanno cambiato proprietario diverse volte nella loro vita, e anche se una vecchia immatricolazione o altro numero può essere riscontrato, può risultare impossibile risalire alle persone ultime responsabili.

b) Proprietari ai quali si può risalire, ma che si rifiutano o che non sono in grado di pagare le spese - i proprietari, una volta identificati, possono rifiutarsi di pagare le spese di trasporto e di smantellamento dell'imbarcazione. Pertanto può essere lungo il processo per portare la barca ad una officina di rottamazione per il trattamento. Far rispettare la regola "chi inquina paga" può rivelarsi costoso.

c) I proprietari responsabili - questi proprietari di barche a fine vita le portano alle strutture di smantellamento o al rottamatore, pagando i costi del trasporto e del trattamento. Tuttavia questo costo può essere considerevole e per questo alcuni proprietari potrebbero esitare.

Poiché le imbarcazioni possono essere abbandonate in luoghi remoti, difficili da raggiungere con camion e navi da carico, si presenta anche il problema logistico di recupero fisico del rottame, che per le dimensioni e la posizione necessiterebbe di mezzi adeguati, come chiatte adeguatamente attrezzate.

2.5.b – Ricerca e possibili trattamenti a fine vita

La gerarchia del rifiuto schematizza le diverse possibilità di trattamento dei rifiuti, ordinate in base al valore energetico, economico ed ambientale di ogni processo. In ordine decrescente di desiderabilità possiamo elencarli come segue:

.....
³³ Come un'auto, oltre la targa, porta un numero di telaio che la identifica per tutta la sua vita, allo stesso modo nelle imbarcazioni vengono applicate, in fase di costruzione, delle targhette di identificazione, talvolta anche in posizione nascosta per renderne difficile la rimozione

I livelli della “gerarchia del rifiuto”

- 1. Minimizzazione dei rifiuti, ovvero limitare sin dall'inizio la quantità di materiale di rifiuto, inteso sia come materiale di lavorazione che come materiale costituente il prodotto stesso*
- 2. Riutilizzo di prodotto, componente o materiale*
- 3. Riciclo/recupero di materia*
- 4. Recupero di energia*
- 5. Smaltimento in discarica (a cielo aperto e poi coperto)*

Tutte queste strade sono percorribili per il trattamento di una barca a fine vita, e molte sono state oggetto di ulteriori ricerche.

1. Minimizzazione dei rifiuti

Ancora in fase di progettazione di nuovi prodotti deve essere presa in considerazione la minimizzazione dei rifiuti, come nelle fasi di sviluppo e costruzione. A fine vita non si può fare molto per minimizzare il materiale di rifiuto se non se ne è tenuto conto preventivamente, in fase di concezione del prodotto. Nel processo di lavorazione si applica principalmente ad un processo migliorato e ben controllato nel quale i flussi sono sotto stretto controllo. Questo richiede l'applicazione di moderne tecnologie di produzione, di maestranze ben addestrate (elementi che genereranno anche più sicurezza sul lavoro), prodotti più leggeri e minor consumo di materiale grezzo per la produzione. Inoltre una moderna tecnologia come lo stampaggio RTM permette di avere una qualità costante nella produzione in serie e di ridurre gli scarti. Nel prodotto stesso una miglior progettazione e un'analisi strutturale permettono di eliminare il materiale in eccesso.

2. Riutilizzo di prodotto, componente, materiale

Estendere la vita di un prodotto o dei suoi componenti è uno dei metodi migliori per operare in modo ecocompatibile. È necessario predisporre dei sistemi di recupero, riparazione e riarmodernamento del prodotto, se possibile in fase di progettazione, altrimenti tali operazioni potrebbero comportare alti costi e dispendio di energie, nonché costituire fonte di inquinamento. Il riutilizzo è molto interessante per prodotti di questo tipo, in quanto costituiti da un insieme eterogeneo di materiali e componenti, che inevitabilmente hanno durata e utilizzo molto vario. L'obsolescenza delle parti da cui è costituita una barca può essere quindi molto diversa, a seconda dell'utilizzo, del materiale e dall'importanza commerciale legata a fattori estetici e stilistici. Risulta interessante studiare metodi di

progettazione che tenda maggiormente alla modularità, più adatta a rinnovamenti a metà vita e ad operazioni di refitting.

3. Riciclo/recupero di materia

Il panorama normativo attuale tende chiaramente a privilegiare il recupero del materiale piuttosto che il suo smaltimento. Riuscire a riciclare i compositi come avviene per altri materiali³⁴ non è praticabile per la vtr: le resine che si usano insieme alle fibre di vetro non possono essere fuse o rilavorate, e anche se si potesse fonderle avrebbero una viscosità tale che non sarebbe facile separarle dalle fibre. Il riutilizzo economico del materiale, per quanto riguarda i compositi, risulta piuttosto problematico, rispetto ad altri materiali utilizzati nella nautica.³⁵ Tuttavia, ad oggi possiamo trovare alcuni promettenti studi di applicazioni per il recupero di materia.

Il recupero della vtr richiede la sua preventiva macinazione o comunque una riduzione in piccoli pezzi. Nel primo caso, oltre che mandarla in discarica, è possibile usarla come additivo nella fabbricazione di plastiche rinforzate.³⁶ Quindi il materiale rientra nel ciclo dei compositi trovando però un impiego di valore molto più modesto rispetto a quello originario, in quanto le fibre lunghe, più pregiate, sono state appunto macinate. Questo processo può teoricamente essere ripetuto all'infinito ma con sempre maggiore perdita di valore. Consideriamo che in questi casi il vantaggio economico non è il parametro di valutazione primario, in quanto la maggior parte delle forme di riciclo dei materiali compositi ha piuttosto un valore in termini sociali e ambientali.

L'altra alternativa è la riduzione in piccoli pezzi; rispetto alla macinazione le fibre mantengono una lunghezza maggiore, fino ad una decina di centimetri, ed in teoria potrebbero essere riutilizzate per produrre altri tipi di compositi, anche se resta il problema della separazione della fibra dalla resina (recupero per via chimica o fisica)

.....
34 Secondo la normativa europea, infatti, si ricicla quando si riutilizza il 100% del materiale per ottenere un altro manufatto.

35 Riassumendo, il riciclo dei metalli è un processo conosciuto da tempo, e l'alluminio rappresenta uno dei metalli più riciclabili, come già menzionato in precedenza. Gran parte delle plastiche termoplastiche sono riciclabili, anche se si verifica una certa degenerazione del materiale. Il legno può dare difficoltà a causa delle sostanze chimiche usate per il suo trattamento e la sua protezione

36 L'agenzia inglese BRE (Building Research Establishment) ha studiato la possibilità di usare prodotti riciclati per produrre lastre di plastica dove il materiale viene usato come alternativa a granulato di legno; un ulteriore lavoro ne ha sperimentato l'uso come isolante acustico, oppure ancora come rinforzo nell'asfalto.

La ricerca sul recupero chimico e fisico del materiale

Recupero per via chimica significa pirolisi, glicolisi o acqua sub-critica. Sono sistemi in fase di studio, che consentirebbero di recuperare i singoli componenti, quindi sarebbe un recupero completo di materia (non proprio un riciclo, ma giusto un gradino sotto dal punto di vista della normativa europea). Con la pirolisi (combustione controllata), tenendo la vtr intorno ai 400°C per alcune decine di minuti si ha la degradazione termica della resina, che in seguito può essere sbriciolata per azione meccanica. Segue un'operazione di vagliatura per separare la polvere, che va in discarica, dalle fibre che possono essere utilizzate come fibre da recupero. La perdita di qualità è dovuta all'azione della temperatura, che degrada le fibre. Pur essendo la temperatura di pirolisi molto lontana dalla temperatura di fusione del vetro, vengono comunque persi certi tipi di appretto che non possono più essere ripristinati facilmente. L'azienda giapponese Matsushita Electric Works (MEW) ha sviluppato con successo una nuova tecnologia per riciclare integralmente la vtr a base di resine poliestere. Il processo si basa sull'utilizzo di acqua sub-critica (acqua che si trova in condizioni di temperatura e pressione molto elevate, ma comunque inferiori al punto critico di 374°C e 221 bar) per idrolizzare la resina e recuperare, oltre alla fibra di vetro e alle cariche minerali, anche i prodotti di reazione sotto forma di un nuovo polimero funzionale (copolimero stirene-fumarato) che può essere utilizzato come additivo low-profile per il controllo del ritiro nelle resine per vtr. In parole povere si utilizza una grande pentola a pressione in cui aumentando pressione e temperatura mantengo comunque l'acqua liquida. Teoricamente un impianto da acqua sub-critica potrebbe non richiedere il disassemblaggio dell'imbarcazione, introdotta e mantenuta in questa "pentola a pressione" per il tempo necessario per estrarre dal reattore la fibra, il tessuto, il mat, le varie cariche, e trovando disciolti nell'acqua gli ingredienti usati per fare la resina, da riutilizzare per fare altra resina. Una strada interessante, per la quale si cerca di trovare la possibilità di effettuare ulteriore ricerca.

Recupero per combustione consiste nel bruciare i rifiuti dei compositi nei forni dei cementifici, dove il rinforzo di vetro e gli additivi minerali possono tutti essere incorporati successivamente nel cemento. Studiando l'effetto di questi materiali sulle proprietà del cemento risultante, si stabilisce che può essere usato fino al 10% di rifiuto composito con nessun effetto negativo sul cemento. In una combinazione di recupero di energia (temperatura del forno tra i 1350 °C e i 1500°C) e di immissione di additivi dalle ceneri (principalmente SiO₂, CaCO₃, Al₂O₃ che sono gli ingredienti principali del prodotto finito), questo metodo di riciclo può avere successo solo se vi è disponibilità di una certa quantità di VTR sminzata, e questo presuppone che vi sia un sistema di infrastrutture predisposte alla raccolta, trasporto e distribuzione del materiale, nelle quantità e nelle specifiche richieste.

4. Recupero di energia

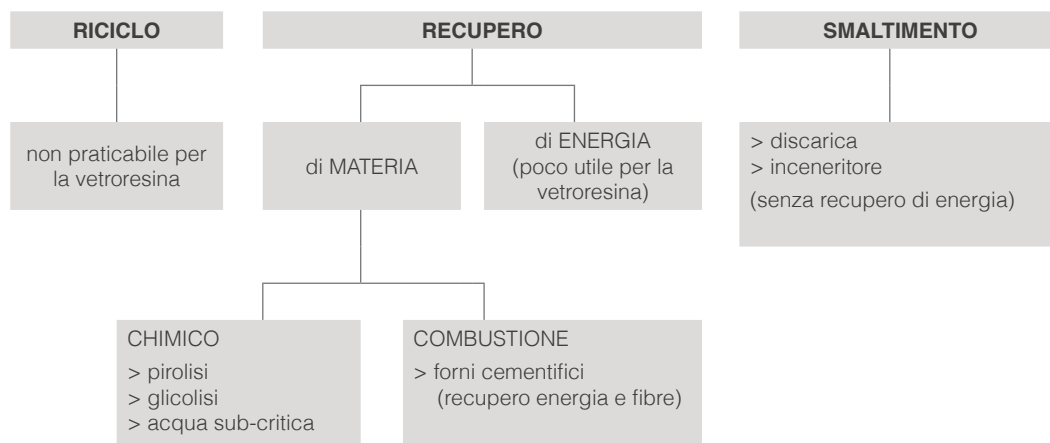
I compositi termoindurenti possono essere bruciati per rilasciare energia, recuperata tramite scambiatori di calore. Diversi tentativi hanno dimostrato che una soluzione pratica consiste nel mischiare fino al 10% di rifiuto composito con rifiuti solidi urbani. Se deve essere incenerita una percentuale maggiore, allora l'alto valore calorifico del materiale, in aggiunta alla natura dei gas rilasciati, fa sì che l'inceneritore debba essere dedicato esclusivamente ai compositi, con gli svantaggi che questo comporta. In senso stretto, inoltre, la combustione di compositi non è particolarmente vantaggiosa, dal momento che la maggior parte del peso è costituita da fibra di vetro e cariche che non bruciano.

5. Smaltimento in discarica

Lo smaltimento significa discarica a cielo aperto o inceneritore, inteso come un camino di casa in versione industriale, ossia bruciare qualcosa senza recuperare energia. Considerato l'impatto ambientale che comporta, è l'ultima spiaggia per i rifiuti. Come

già accennato, probabilmente lo smaltimento in discarica verrà ristretto sempre più nei prossimi anni, e l'industria nautica dovrebbe astenersi dal considerarlo come una possibile alternativa.

Riassumendo, possiamo notare come il trattamento dei compositi derivati dalle imbarcazioni sia oggetto di numerose ricerche, volte ad adattare diversi processi di riciclaggio e smaltimento a questo tipo di materiale. Tuttavia i volumi generati al giorno d'oggi nell'industria nautica sono troppo bassi per assicurare gli investimenti che sarebbero necessari; questo si traduce nel fatto che ad oggi il rifiuto di composito è spostato nelle discariche. Col crescere del numero di barche che raggiungono il fine vita utile, e con il migliorare della tecnologia di riciclo, ci si aspetta di trovare delle soluzioni più accettabili, sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista ambientale.



Lo schema mostra le diverse possibilità di gestione del materiale composito a fine vita, e le attuali direzioni di ricerca

2.5.c - Aspetti economici

Predisporre dei sistemi di finanziamento per lo smantellamento e per la logistica sarà una grande sfida. Quando i proprietari di imbarcazioni abbandonate non possono essere rintracciati, queste possono essere classificate come "rifiuto storico". Un rifiuto storico è una conseguenza del non aver stabilito nessun sistema per essere preparati a quello che succede quando un'imbarcazione

raggiunge il suo fine vita. Una domanda importante è chi paga per la pulizia dei litorali, delle aree interne e anche del fondo del mare, dove le barche sono state abbandonate. Questo problema si presume che sia di responsabilità delle autorità, in quanto esse non hanno, in tempo utile, incoraggiato l'industria nautica e gli operatori economici a stabilire un sistema funzionante per fronteggiare alla situazione.

Responsabilità Estesa del produttore (EPR)

Le barche che ora sono in attività diventeranno, dopo un certo tempo, un problema per i loro proprietari, finché il principio di EPR (Responsabilità Estesa del Produttore) non entrerà in qualche progetto di legge. Le conseguenze di ciò possono essere molto rilevanti e i costi di trattamento possono lievitare.

EPR comporta che il produttore primario o il costruttore è considerato responsabile del prodotto fino alla fine-vita. Questo collocamento della responsabilità indirizza pertanto quello che la Comunità Europea riconosce essere l'anello più debole nella catena delle responsabilità, ovvero lo smaltimento finale dei prodotti dopo la vendita e dopo il loro utilizzo da parte dei consumatori. Tipicamente EPR può voler dire sia ritiro dei prodotti sia una progettazione che tenga conto del futuro disassemblaggio. Con riferimento alla EPR, l'industria nautica deve recepire la direzione generale della regolamentazione ambientale e la pressione dei consumatori che si focalizza sempre più sull'impatto del prodotto durante l'intero ciclo di vita.

Tuttavia il principio EPR assume che "gli operatori economici " responsabili vivano più a lungo delle barche che loro stessi vendono o manutenzionano. Ma questo non è sempre vero, e succede che costruttori di imbarcazioni e importatori delle stesse terminino la loro vita prima di quella dei prodotti dei quali dovrebbero farsi carico alla fine.

Recycling Insurance

Diventa ovvio come idealmente i produttori dovrebbero essere sollevati dalle responsabilità verso i loro prodotti ben prima che questi terminino la loro vita. È stato quindi chiesto ad una grande compagnia di assicurazioni di studiare un progetto per assumersi la responsabilità dell'imbarcazione prima del suo smantellamento (vedi approfondimento nella pagina seguente).

Il principio è che un premio assicurativo viene versato in un fondo quando la barca diviene operativa. La compagnia assicurativa gestisce il fondo e assicura che vi è sempre disponibile una somma

La **“Recycling Insurance”** (Assicurazione Riciclo) è uno strumento assicurativo messo a punto dalla compagnia assicurativa svedese **Länsförsäkringar**, unico nel suo genere, che aiuta a ridurre l'impatto ambientale nel lungo termine fornendo i seguenti vantaggi:

- > per il consumatore, che non deve pagare i costi del fine vita in quanto essi sono già coperti dalla assicurazione riciclo;
- > per l'ambiente, in quanto il produttore è attivamente incoraggiato a sviluppare prodotti a basso impatto ambientale, per effetto del sistema che chiede premi di assicurazione più bassi per i prodotti facili da riciclare; quanto più semplici da riciclare sono i prodotti, tanto minore sarà il premio assicurativo corrispondente.
- > per il produttore, che assieme all'assicuratore progetta soluzioni che sono anche favorevoli alla compagnia ed ai suoi prodotti.

Come funziona l'Assicurazione? In generale il produttore o importatore paga alla compagnia di assicurazione Länsförsäkringar Miljö un premio una tantum quando il prodotto viene venduto (o in un altro momento più opportuno, ad esempio al momento dell'immatricolazione). Il prodotto coperto dall'Assicurazione è registrato e marcato in modo da essere distinguibile da altri prodotti che non lo sono. Il prodotto è venduto e rimane coperto dall'assicurazione fino al momento dello smantellamento (riciclo, dismissione). L'ultimo proprietario lo consegnerà per la dismissione. La società di riciclo sarà garantita che il costo è coperto anche se il produttore non dovesse più esistere. Quando viene portato al riciclo, il prodotto viene innanzitutto identificato, e la società Länsförsäkringar Miljö versa il costo di riciclo.* Il Produttore non va incontro a nessun rischio e non gli si richiede di sopportare alcun costo aggiuntivo, anche se poi in futuro, o a conti fatti, il costo dovesse risultare più alto di quanto inizialmente stimato.

Attualmente il sistema si basa sul fatto che i proprietari portino essi stessi le imbarcazioni da dismettere al centro di smantellamento. Questo può essere un punto debole del sistema, in quanto non vi sono i fondi per trasportare allo smantellamento una barca abbandonata e di cui non si conosca il proprietario. Tuttavia è stata proposta una soluzione: se il premio include una somma addizionale per il trasporto e specificata nel documento identificativo, qualora il proprietario porti lui stesso la barca allo smantellamento, tale importo, relativo al trasporto, gli verrà restituito dietro presentazione del documento di immatricolazione o della targa. Se invece il proprietario non si trova, il trasporto rimane già stato pagato inizialmente con l'assicurazione.

per coprire il costo di smantellamento della ELB. Si presume anche che la compagnia di assicurazione richieda che la barca sia ufficialmente registrata. Questo sistema dell'assicurazione per il riciclo prevederà anche soluzioni per le barche che dovessero cambiare nazionalità.

2.5.d – Studi e progetti sullo smaltimento

Si assiste da poco alla comparsa delle prime regolamentazioni sullo smaltimento delle imbarcazioni, tuttavia l'industria nautica ha già avviato da tempo diversi studi sul problema della dismissione.

UCINA ha promosso il progetto ELB (*End of Life Boat*), finalizzato ad affrontare in chiave *green* l'intero ciclo di vita dei prodotti, implementando la dismissione sostenibile delle imbarcazioni in disuso e prevedendo, per le unità nautiche di prossima progettazione, la possibilità di individuare processi realizzativi in grado di favorire il riciclo attraverso l'adozione di criteri di *design*

for recycling, analogamente a quanto già praticato in altri settori, come quello automobilistico.

Il progetto ELB si pone l'obiettivo di trovare soluzioni innovative per il riciclo dei compositi, grazie a due brevetti realizzati da ricercatori italiani e sperimentati all'interno dell'ICTP (Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri) del CNR di Pozzuoli: il "Polyferm" ed il "Cold Plast", basati entrambi sul criterio del WSMC - *Waste Sheet Moulding Compound*, tecnologia utilizzata per i vantaggi ottenuti sia nei tempi di produzione, sia nella qualità e complessità ottenuta nella realizzazione degli stampi³⁷.

Ma i costi del disassemblaggio sono, ad oggi, elevati. Questo induce molti addetti del settore a considerare il riciclo della vetroresina economicamente insostenibile. I progetti relativi alla suddetta Assicurazione Riciclo possono aiutare a risolvere questo aspetto.

**Studi sul trattamento di ELB
(vedi Appendice)**

L'*International Council of Marine Industry Association* (ICOMIA) rappresenta le maggiori associazioni nazionali che rappresentano l'industria marittima in diversi paesi del mondo, Italia compresa (UCINA). Nel 2007 ha pubblicato un'importante ricerca ("*Decommissioning of End-of-Life Boats: A Status Report*") sullo stato dell'arte della ricerca nella dismissione delle imbarcazioni a fine vita, in cui troviamo spiegati alcuni dei più importanti progetti legati al trattamento di ELB, condotti in diversi paesi europei. Questi studi, condotti in Francia, Finlandia e Giappone, più uno precedente in Norvegia, hanno tutti verificato la possibilità di rottamare le imbarcazioni alla fine della loro vita. Il metallo e alcuni altri materiali possono essere recuperati e riutilizzati mediante tecniche convenzionali, mentre i materiali compositi possono essere ridotti in frammenti. Sfortunatamente questo composito residuo è frequentemente contaminato con vernici, petrolio o altri tipi di materiali inglobati come balsa, rendendo ogni tipo di riutilizzo

.....
37 Più nello specifico, il progetto consiste nello sviluppo di due piattaforme industriali: una per il disassemblaggio delle unità nautiche, l'altra per la trasformazione e valorizzazione dei materiali in FRP da esso risultanti. Per quanto riguarda quest'ultima piattaforma, il brevetto "Cold Plast" consente di trattare anche altri materiali provenienti da diversi tipi di industrie. In particolare si potranno sviluppare rapporti sinergici con i comparti dei produttori di imballaggi in polistirolo e/o di altri manufatti in FRP. "Cold Plast" prevede la miscelazione di vari tipi di polveri o sabbie, attraverso il frizionamento a base d'acqua e a freddo, con la sola aggiunta di una piccola percentuale di cellulosa naturale come legante. Tale processo consentirà la produzione di altri materiali, in forma di pellets e fogli, da usare per la realizzazione di nuovi manufatti. Un processo di tipo fisico, quindi, che non provocherà alcun impatto ambientale. Un esempio di ciclo virtuoso volto a ridurre l'eccessivo sfruttamento delle materie prime, a favorire il riciclo delle materie prime-seconde e le sinergie tra la filiera della nautica ad altri comparti produttivi.

alquanto difficile. Riciclo e rottamazione di materiali compositi è oggetto di studio, come esposto in precedenza.

Tutti gli attuali studi, incluso il programma nazionale giapponese, sono d'accordo sui processi di base. Le barche devono essere localizzate, identificate e trasportate ad un sito dedicato allo smaltimento. Elementi principali quali il motore, le parti interne ed i metalli devono essere rimosse per il successivo riciclaggio con i metodi stabiliti e lo scafo in FRP è successivamente ridotto in piccoli pezzi. Un primo studio in Francia raccomandava che le barche fossero smantellate inizialmente a mano e poi fatte a pezzettini. Il programma giapponese invece usava una combinazione di smantellamento a mano e poi frammentazione e cernita. In Finlandia la barca è inizialmente fatta a pezzi e poi i vari materiali suddivisi. Il diagramma qui di seguito illustra il procedimento finlandese.

Lo schema nazionale giapponese è orientato interamente verso un riutilizzo dei pezzettini di VTR nell'industria cementifera; lo studio finlandese termina con la frantumazione di VTR a pezzetti, con nessuna indicazione circa la destinazione da seguire per lo smaltimento con valore aggiunto; lo studio francese esplora due strade principali per lo smaltimento: incenerimento assieme a rifiuti domestici e uso nella produzione di cemento.

In appendice al testo vengono riportati in maniera riassuntiva i quattro progetti citati (2007): il progetto **NORBOAT** (Norvegia), **JBIA** (Giappone), **FIN** (Francia) e **FINNBOAT** (Finlandia).

Una questione da affrontare, parallelamente alla ricerca sul riciclo, è costituita dal fatto che per la maggior parte delle componenti e dei materiali utilizzati nella costruzione nautica non risultano utenze o settori merceologici che richiedano i materiali impiegati. Pertanto, mancando la domanda, ad essere messa in discussione è la sostenibilità industriale del riuso.

Come approfondire la ricerca?

Per questo l'applicazione della modularità e l'avanzamento nel processo di industrializzazione che essa comporta possono svolgere un ruolo determinante in questa fase, incidendo a monte sulle scelte dei materiali e delle componenti da utilizzare nella costruzione delle imbarcazioni da diporto, tenendo conto delle domande di mercato già esistenti.

Come già evidenziato in alcuni passaggi, di particolare criticità, in termini di costo e tempo, risulta la fase di smantellamento delle imbarcazioni, che permette poi di procedere con i processi

studiati per il trattamento dei materiali. Studiando come agire in fase di progettazione e costruzione del prodotto, potrebbe dare la possibilità di operare a livello più alto nella suddetta gerarchia dei rifiuti. È stato spiegato come gran parte della perdita di valore del materiale composito avvenga con la frantumazione delle componenti, a causa delle caratteristiche strutturali e chimiche dei compositi. Riuscire a riutilizzare il materiale senza superare la soglia della frantumazione rappresenterebbe un importante passo avanti nel trattamento dei compositi da ELB, soprattutto dal punto di vista ambientale.

Capitolo 3

Il disassemblaggio

Come analizzato in precedenza, esistono diverse strade nella gestione di imbarcazioni da dismettere, e nei rifiuti da esse derivanti. Queste strade differiscono per difficoltà di attuazione, costo, e nobiltà del risultato, e l'obiettivo sarebbe "risalire" nella scala della gerarchia dei rifiuti, per riuscire a gestire in maniera più efficiente e nobile la materia da dismettere. Sul recupero di materia e di energia sono in atto diversi studi, alcuni già in fase di sperimentazione, altri ancora a livello teorico, che potrebbero consentire di separare i materiali costituenti la vtr per il loro riutilizzo. Passare al livello superiore della scala, ovvero il riciclo, comporta degli accorgimenti già in fase di progettazione, che consentono di poter gestire in maniera separata componenti e materiali omogenei, nel caso possano avere un futuro più longevo del prodotto barca completo, giunto alla fine della vita. In altre parole, per migliorare l'accesso all'energia del prodotto da riciclare, è necessario ripensare alla progettazione di esso pensando già alla sua dismissione.

In questi termini si vuole spostare l'attenzione a questo livello di intervento, che potrebbe affiancarsi, oltre che facilitare a sua volta, gli altri studi già intrapresi a livello chimico-fisico per la gestione dell'energia da recuperare dalle imbarcazioni a fine vita. Un approccio più largo al problema, ma che porrebbe le basi per un prodotto veramente compatibile, come del resto avviene per altri settori affini, primo fra tutti quello dell'auto.

Come descritto nelle strategie alla base della metodologia

Perchè studiare questa fase del ciclo di vita?

LCD, facilitare il disassemblaggio del prodotto è funzionale al raggiungimento degli obiettivi delle altre strategie, come l'ottimizzazione della vita dei prodotti e dei materiali di cui sono costituiti. Questo punto rappresenta quindi un nodo cruciale nell'innovazione del sistema prodotto, e studiare le discipline legate a queste problematiche può aiutarci a trovare il giusto approccio.

3.1 Disassemblaggio e Design for disassembly (DfD)

DfD, DfE e discipline affini

Il Design for Disassembly (DfD) può essere considerato una parte del concetto più esteso di Design for Environment¹ (DfE), come descritto in precedenza assieme ai concetti di Life Cycle Design. Nell'ottica di concepire prodotti compatibili con l'ambiente, è opportuno considerare anche gli aspetti reattivi al loro smontaggio, al fine di poter trattare con più facilità le parti o i materiali di cui sono costituiti. Il DfD deriva più o meno direttamente dal Design for Assembly (DfA), il cui scopo è definire dei processi di assemblaggio più efficienti, economici e favorevoli per l'ambiente e la salute dei lavoratori². Analogamente, il DfD analizza questi aspetti con l'obiettivo di rendere efficiente, economico e compatibile con gli scenari connessi il processo di disassemblaggio, a seconda della complessità e delle caratteristiche di ogni prodotto, da uno spremiagrumi a un'automobile.

L'interesse per questa disciplina è generato da una parte da motivazioni di carattere economico-industriale, dall'altra da regolamentazioni legislative che per questioni di carattere ambientale si stanno sviluppando sempre più, in riferimento a diversi settori produttivi³. Inoltre l'attenzione crescente alla disponibilità di materie prime e all'inquinamento derivato dalla loro estrazione ha contribuito a riflettere maggiormente sulla possibilità di recuperare componenti e materiali dai prodotti a fine vita.

.....
 1 DFE – Design for Environment: un sistema di strategie progettuali atte a controllare un prodotto, un processo o un servizio, migliorandone la compatibilità ambientale. Nel DFE confluiscono quindi diverse modalità di approccio al problema

2 Questi studi riguardano tanto gli aspetti puramente tecnici di progettazione dei giunti e delle forme dei componenti, quanto l'organizzazione della linea di montaggio, degli spazi di lavorazione e delle fasi dei processi coinvolti.

3 Il DfD ha iniziato infatti ad essere preso in considerazione dai progettisti anche grazie alla comparsa di direttive specifiche, quali ad esempio la ELV per le automobili, la WEEE per l'elettronica e la RoHS per i materiali pericolosi.

La progettazione attenta al DfD contribuisce a creare un prodotto in grado di ottenere eventuali certificazioni di compatibilità ambientale, che possono costituire argomento di vendita importante nel mercato di oggi. La riduzione del numero di materiali diversi, elemento importante nel Design for Assembly, diviene fondamentale nel Design For Disassembly, non solo per l'aspetto di recupero della materia prima, ma anche per la riduzione del tempo di separazione di un materiale dall'altro. Sono state inoltre indicate le condizioni migliori per abbinare materiali diversi, ossia le migliori compatibilità fra le plastiche e fra i metalli, cercando di fare sfruttare le proprietà fisiche (es. magnetismo, densità...) per aiutare la separazione.

Risvolti produttivi dell'approccio del DfD

La progettazione può avvenire a diversi livelli, di "studio del layout" che ha lo scopo di ridurre la complessità del sistema, di "studio del pezzo", per ridurre la complessità dei componenti, e di "studio delle giunzioni" per ridurre la complessità dei materiali sia nel montaggio che nello smontaggio.

Il DfD riveste importanza particolare per il fatto che è funzionale a più strategie di riduzione dell'impatto ambientale, ma anche perchè, in quest'area, il progettista può giocare un ruolo considerevole. Affinchè sia definito con efficacia è importante aver presente sia le tipologie del disassemblaggio, sia le ragioni e le priorità ambientali ed economiche per le quali è utile agevolarlo.

Ogni processo di disassemblaggio ha come risorse in entrata un certo mix di prodotti dismessi. Gli impianti di disassemblaggio possono operare su un prodotto singolo (si tratta generalmente di prodotti che ritornano alla ditta che li ha fabbricati) o su più prodotti, nel caso di ditte di riciclaggio che recuperano prodotti dismessi provenienti da diversi produttori⁴.

Processi di disassemblaggio

Un centro di disassemblaggio, se confrontato con gli impianti altamente automatizzati per l'assemblaggio, appare obsoleto e molto meno evoluto. Infatti le operazioni di disassemblaggio, nella quasi totalità dei casi, sono condotte manualmente. I sistemi di assemblaggio automatizzato esistono attualmente solo per quelle situazioni in cui non sia richiesta alcuna flessibilità del sistema stesso. Flessibilità per quanto riguarda i flussi di lavoro e adattabilità

.....
 4 Più nello specifico, il processo può svilupparsi a cella o in linea, a seconda della struttura industriale utilizzata e della tipologia di oggetto da trattare. Inoltre, per prodotti complessi può essere importante poter intervenire contemporaneamente su più parti, cioè in parallelo. Possiamo avere un parallelismo spaziale o temporale, in base alla configurazione del prodotto, alla quantità e alla modularità che presenta.

rispetto alle operazioni da svolgere sono quindi requisiti richiesti, in grado ancora maggiore rispetto alle fasi di assemblaggio, per l'eventuale automatizzazione di un sistema di disassemblaggio, a causa della grande variabilità dello stato dei prodotti ad trattare.

3.1.a I costi del disassemblaggio

Il Design for Disassembly, come si è detto, può essere funzionale sia all'estensione della vita dei prodotti, sia all'estensione della vita dei materiali o alla loro inertizzazione. Facilitare il disassemblaggio può portare, infatti, a una riduzione dei costi per la manutenzione, la riparazione, l'aggiornamento, la rifabbricazione, il riuso, nonché il riciclo, il compostaggio l'incenerimento. Per la particolare importanza che riveste il riciclaggio nelle opzioni di fine vita dei materiali, vengono di seguito definiti con più precisione i vantaggi delle strategie che facilitano la separazione dei materiali.

Se l'obiettivo del disassemblaggio è il riciclaggio, l'equazione economica che ne definisce i margini di interesse è sensibile alle variazioni dei prezzi dei materiali vergini e dei costi di scarica. Questa variabilità si inserisce in un quadro abbastanza chiaro di evoluzione dei costi e delle tendenze politiche e legislative: il riciclaggio sarà sempre più un'operazione inevitabile. Il particolare si verificherà un'internalizzazione dei costi della dismissione col risultato che il produttore prima, e il consumatore poi, pagheranno direttamente sul prodotto anche il costo della sua dismissione.

Costi di disassemblaggio vs valorizzazione del recupero

L'efficienza economica va dunque cercata, da una parte nella minimizzazione dei tempi (costi), e dall'altra nella valorizzazione dei materiali recuperati. Questi due propositi possono essere contraddittori. Infatti impiegando più tempo ed energia nella separazione, si ottiene un materiale più puro e quindi, generalmente, a maggior valore; contemporaneamente, però, si deve far fronte a un più alto costo dovuto al maggior tempo impiegato nelle operazioni di separazione. Una questione importante diventa, quindi, quella di ottimizzare i tempi e i costi del disassemblaggio per migliorare nel contempo la qualità dei materiali. In generale i materiali, quanto più puri sono, tanto più conservano le caratteristiche prestazionali, che in definitiva ne sanciscono il valore di mercato. Il design for disassembly può fornire interessanti opportunità proprio in questa ottica.

Un prodotto può essere disassemblato fino alla separazione di tutti i suoi componenti oppure solo in parte. Il livello a cui si

giunge nella separazione dei componenti viene definito profondità di disassemblaggio. Questa è una variabile utile all'analisi della relazione fra le varie voci di costo del riciclaggio. Più si procede nel disassemblaggio, più i tempi e quindi i costi aumentano; contemporaneamente, però, si rendono disponibili più materiali, ognuno dei quali ha un valore in relazione al tipo, al peso e alla purezza. È così possibile definire, in funzione della profondità del disassemblaggio, una curva dei costi totali e quindi identificare i punti di ottimo economico. Si può stabilire, cioè, fino a quando è conveniente procedere nel disassemblaggio.

Aspetto essenziale del DFD è il calcolo della “profondità” di smontaggio, ossia il numero complessivo di fasi sequenziali di smontaggio. E' stato determinato infatti che il costo dello smontaggio ha un andamento pressoché lineare con la profondità, mentre il ricavo ha un rapido incremento iniziale per poi assestarsi e non crescere più al crescere della profondità. Si tratta pertanto di ottimizzare la zona dove si ha un maggiore ricavo a fronte di costi ragionevoli.

Profondità del disassemblaggio

Per questo, nel DFD si raccomanda di posizionare oggetti di “valore” in aree facilmente accessibili: ad esempio, nelle auto, una pompa dell'acqua o un motorino di avviamento che sono spesso rigenerati, è opportuno siano facilmente accessibili, a differenza di organi quali la pompa del carburante che di solito ha un ciclo di vita molto lungo. In tal modo, con poche operazioni si ottiene una riduzione dei costi di intervento.

Va aggiunto che esistono già software di calcolo per il DFA e il DFD, che vengono utilizzati per ottimizzare le “profondità” di cui si è parlato, con riferimento ai 3 strati della progettazione, in particolare per i prodotti più complessi. Tali algoritmi trovano sia applicazioni specialistiche, sia integrazione con alcuni CAD fra i più evoluti, a supporto del progettista. Tali algoritmi possono generare anche le istruzioni di smontaggio per l'operatore, così da ottimizzare il tempo di intervento.

Accanto al disassemblaggio non va trascurata l'ipotesi di procedere alla selezione dei diversi materiali attraverso la macinazione del prodotto seguita da operazioni di separazione dei materiali frantumati. Esempi di separazione automatizzata sono quella magnetica, quella per induzione e quella per flottazione, utilizzate per esempio per la separazione dei diversi metalli della carcassa di un'automobile. Ovviamente questo non vale nel caso

Disassemblaggio contro frantumazione

in cui si voglia estendere la vita del prodotto, ma solo ai fini del riciclaggio.

Più in generale, esistono diverse strade per separare i materiali da riciclare; queste sono definite da combinazioni a vari livelli tra due opzioni, ovvero il solo disassemblaggio o la frantumazione del prodotto intero e la successiva separazione. Nel caso del solo disassemblaggio la purezza del materiale finale è sicuramente maggiore o al limite uguale a quella ottenibile attraverso la frantumazione e la separazione; le qualità fisiche e strutturali, e di conseguenza il valore economico del material ottenuto dal disassemblaggio, sono migliori o al limite uguali a quelli ottenibili dalla frantumazione e separazione. Il costo delle operazioni di frantumazione fa oggi propendere verso la frantumazione, soprattutto per i prodotti complessi.

Come si è detto, sono possibili situazioni ibride, a diversi gradi di disassemblaggio e successiva separazione. In alcuni casi, poi, la frantumazione può essere utile svilupparla nel luogo di raccolta. Per esempio, il processo di macinazione dei materiali polimerici di alcuni prodotti può ridurre notevolmente il volume del materiale da riciclare, facilitandone il trasporto al sito di riprocessazione. Lo stesso vale, per esempio, per le bottiglie di vetro: è utile che si frantumino quando cadono nella campana per la raccolta o nel camion per il trasporto.

Le tecniche e le tecnologie del disassemblaggio e della frantumazione con separazione sono ambedue in promettente evoluzione. L'impressione è, dunque, che entrambe le strade saranno e dovranno essere percorse e che l'efficienza sarà trovata, di volta in volta, per la singola tipologia di prodotto.

3.1.b Le linee guida del Design for Disassembly⁵

Riprendendo le strategie di intervento della metodologia LCD possiamo riprendere in considerazione in maniera più approfondita quella che mira a facilitare il disassemblaggio, tramite diverse linee guida che di seguito esporremo.

Minimizzare e agevolare le operazioni per il disassemblaggio e la separazione

Per minimizzare e agevolare i movimenti e le operazioni del

5

Vezzoli C., Manzini E., *Design per la sostenibilità ambientale*, Zanichelli, Bologna, 2007.

disassemblaggio le indicazioni che dobbiamo seguire sono in relazione all'architettura generale, alla forma dei componenti e delle parti, nonché alla forma e all'accessibilità delle giunzioni. Quando studiamo l'architettura e la struttura delle connessioni è importante aver presente la possibilità di sostituire con facilità un componente senza doverne disassemblare altri; oppure procedere al disassemblaggio in parallelo. La modularizzazione, per esempio, può essere una strategia molto efficace, soprattutto per l'estensione della vita dei prodotti e in particolar modo per la loro aggiornabilità, riparazione e per il riuso dei componenti. Nel caso di un prodotto complesso, è molto importante suddividerlo in sottoassiemi che possano essere facilmente separati e manipolati come singole parti, soprattutto se caratterizzate da diverso valore economico o diversa velocità di usura o rottura. Per questo è anche molto utile minimizzare o ripensare in maniera intelligente le connessioni di dipendenza gerarchica tra i componenti, così come le direzioni di estrazione ricercando la massima linearità.

Per quanto riguarda le giunzioni è generalmente utile minimizzarne il numero e il tipo, poiché si riduce il tempo di disassemblaggio. Naturalmente ciò deve essere compatibile con le esigenze strutturali del prodotto o della parte interessata. È preferibile altresì evitare sistemi di fissaggio che richiedano, per l'apertura, l'intervento contemporaneo in più punti di giunzione, e progettare una buona accessibilità e ispezionabilità dei punti di separazione.

Infine è importante fornire informazioni sulle procedure di disassemblaggio, soprattutto nel caso del riciclaggio ad anello aperto. In questo caso, infatti, le operazioni di disassemblaggio sono svolte da chi non è il costruttore del prodotto e quindi non ne conosce esattamente la configurazione.

Usare sistemi a giunzione reversibile

È utile, nella prospettiva del disassemblaggio, classificare le giunzioni a seconda che siano reversibili o permanenti. Le giunzioni reversibili, contrariamente alle permanenti, possono essere rimosse e reintrodotti senza che le parti e la giunzione medesima vengano compromesse o rivate. È facile capire che, in generale, le giunzioni rimovibili sono le più comode per il disassemblaggio. Questo principio vale, soprattutto, se il disassemblaggio è finalizzato all'estensione della vita dei prodotti, cioè dove la rottura di qualche parte compromette il riuso. In relazione all'estensione della vita dei

materiali la questione è, invece, più aperta. Nel caso del riciclaggio, infatti, interessa soprattutto ottenere materiali contaminati il meno possibile, mentre interessa poco l'integrità dei componenti. Se l'obiettivo è dunque il riciclaggio, anche i sistemi permanenti di giunzione possono risultare efficaci, qualora i materiali siano comunque facilmente separabili.

Usare sistemi a giunzione permanente facilmente apribili

Come si è detto, in generale sono migliori i sistemi reversibili; nel caso in cui sia più conveniente usare quelli permanenti, è bene considerare quanto segue a seconda del sistema usato. I rivetti lasciano tracce di contaminazione, qualora siano usati per la giunzione di parti incompatibili. La ribaditura a caldo è preferibile alla rivettatura poiché è meno intrusiva, agendo su una parte integrata a uno dei due componenti da unire, caso tipico per i materiali polimerici. Poco materiale è necessario per provvedere alla forza di fissaggio. L'uso della forza bruta può risultare un metodo sufficientemente veloce per la separazione. I sistemi a pressione possono determinare seri problemi durante le operazioni di disassemblaggio, per il quale è necessaria la forza bruta. La saldatura necessita di forza per la separazione, ma se, come spesso capita, i materiali uniti sono compatibili e l'obiettivo è quello del riciclo, potrebbero non esserci ragioni per la separazione. Lo stesso per la saldatura con solventi per materiali polimerici, di solito amorfi, che risulta migliore rispetto all'incollaggio con adesivi, in quanto non porta materiali aggiuntivi. L'incollaggio, infatti, determina contaminazioni e scarti soprattutto quando è usato sui materiali polimerici, in cui la forza bruta è l'unico metodo per la separazione.

Prevedere specifiche tecnologie ed elementi per il disassemblaggio distruttivo

Le tecniche di disassemblaggio distruttivo non sono in generale adottabili per l'estensione della vita dei prodotti. Possono invece risultare metodi assai efficienti nel caso in cui si voglia permettere una veloce separazione di alcuni materiali o, nel caso già citato, di inserti compatibili col materiale. Ovviamente questi punti di frattura predeterminata non devono causare, durante l'uso, rotture o cedimenti improvvisi.

Usare materiali che possano essere facilmente separati una volta frantumati

Questo discorso vale sia in termini tecnologici che economici. Vanno dunque conosciute le tecnologie di separazione dei materiali frantumati. In quest'ottica, quando sono necessari diversi materiali, possiamo per esempio accoppiare un metallo e una plastica, un metallo ferromagnetico e uno non ferromagnetico, due plastiche con sensibili differenze di densità.

Usare inserti che possano essere facilmente separati una volta frantumati i materiali

Lo stesso discorso fatto per i materiali vale per i vari tipi di inserti. È cioè opportuno che quelli incompatibili siano facilmente separabili con tecnologie efficienti dai materiali da riciclare. Ad esempio gli inserti ferromagnetici (ferro, acciaio e nichel) sono più facilmente separabili poiché i sistemi di separazione magnetici sono più convenienti di quelli a induzione, utilizzati ad esempio per l'alluminio.

3.2 Design for Disassembly nell'automotive

Nel settore degli autoveicoli la Comunità Europea ha intrapreso da tempo alcuni studi e sono state emanate alcune direttive per la salvaguardia ambientale. I veicoli giunti a fine ciclo di vita, o *ELV - End of Life Vehicle* sono soggetti alla direttiva 2000/53 CE, che impone, soprattutto, di progettare automobili in maniera da poterne recuperare e riutilizzare i componenti e i materiali⁶.

Ogni anno in Europa abbiamo 12 milioni di ELV (1,5 milioni in Italia), un volume importante che determina anche la dimensione del mercato legato alla dismissione e trattamento di materiali. Il settore auto ricicla ogni anno circa due milioni di tonnellate di materiale, fornendo un importante supporto all'industria siderurgica nazionale e garantendo occupazione a diverse migliaia di addetti. L'intero mercato del recupero del ferro è fortemente influenzato dalla rottamazione dei veicoli, che ne rappresenta una parte molto importante. L'automobile, in effetti, è uno dei prodotti complessi maggiormente riciclati.



.....
 6 In particolare, per il 2006 veniva imposto di raggiungere la possibilità di recuperare l'85% del peso totale, riciclandone almeno l'80%. Per il 2015 sarà necessario recuperare il 95% del peso (di cui al massimo il 10% di recupero energetico), il che rappresenta il prossimo obiettivo del settore auto nel campo del Design for Environment. Oltre a queste direttive, già da diversi anni è bandito l'utilizzo di metalli pesanti (Cd, Cr6, Hg, Pb) nella realizzazione di autoveicoli, ed è richiesto che vengano diffuse informazioni adeguate per il loro smontaggio.

Il trattamento di ELV inizia con una prima fase di bonifica del veicolo. Questa è un'operazione manuale, che impiega del personale per l'apertura dei serbatoi e il raccoglimento dei liquidi separati. Successivamente la rimozione di alcune parti dell'auto è anch'essa un'operazione abbastanza manuale, necessaria per ottenere la carcassa in acciaio, senza plastiche, gomme, elettronica, catalizzatore, cristallo, batterie, radiatore, serbatoio, ecc. Solo a questo punto la parte restante dell'auto (circa il 45%) passa ad un compattatore e ad un frantumatore, da cui viene separato il materiale metallico ed il cosiddetto *fluff*.

Car fluff

Derivato per la maggior parte dalla frantumazione degli autoveicoli fuori uso (*car-fluff*), rappresenta il materiale di scarto non metallico (plastica, gomma, imbottiture, tessuti, materiale isolante, cavi elettrici e altre componenti secondarie) che non può essere riciclato né recuperato, anche per questioni di convenienza economica. Rappresenta circa il 25% del peso totale di un'automobile, ed attualmente finisce perlopiù nelle discariche, quando non viene addirittura sotterrato illegalmente con gravi danni per i terreni inquinati. Tuttavia vi sono oggi dei metodi, in discariche controllate, per recuperare energia dal *fluff*. Viene trasportato in una discarica, costituita da una grande vasca scavata nel terreno, appositamente isolata nel fondo e nelle pareti, per non costituire inquinamento per l'ambiente circostante. Una volta riempita, questa vasca viene chiusa e isolata, per consentire la formazione di biogas al suo interno. Tramite dei pozzi in grado di pescare dalle profondità della vasca viene recuperato questo biogas, che viene convertito in energia elettrica, rivenduta alle centrali⁷. Dal momento che la direttiva impone nel prossimo futuro il riciclo del 95% del peso dell'auto, ancora di più di oggi sarà necessario recuperare parte di quello che oggi finisce nel *fluff*, ridandone valore commerciale.

Cercando di classificare le operazioni coinvolte, possiamo quindi riassumere grossolanamente il trattamento in due fasi: la prima di disassemblaggio, più o meno caratterizzata dall'uso di strumenti industriali specifici, e la seconda di frantumazione. Queste due sono le modalità principali di trattamento di un prodotto da dismettere, caratterizzate da diversi costi e risultati, a seconda della tipologia del prodotto stesso. Vi sono strumenti di analisi, sempre in evoluzione, che consentono di valutare la convenienza

.....
 7 Un grosso impianto Lombardo è situato in provincia di Brescia, in grado di smaltire 250.000 delle 300.000 tonnellate di fluff mediamente prodotto in un anno nella regione Lombardia.

dei due processi, per poter organizzare una filiera di trattamento con la maggiore efficienza economica.

Il disassemblaggio è un processo più costoso e che presuppone la presenza e la perizia di personale dedicato. Necessita inoltre, per una buona riuscita, di una predisposizione del prodotto stesso allo smontaggio, pensato per questo sin dalla progettazione iniziale, secondo diversi criteri, come spiegato in precedenza. Per questo è stato studiato che la profondità di disassemblaggio, un parametro importante nella valutazione di questo processo, può, oltre un certo limite variabile da prodotto a prodotto, rendere inefficiente il trattamento da punto di vista economico, essendo i costi di smontaggio maggiori dei benefici ricavati dal recupero del materiale. Spesso, quindi, si organizza un processo che consideri una prima fase di disassemblaggio, fino al livello ritenuto conveniente, che si conclude con la frantumazione di quanto rimasto, dal quale recuperare il maggior valore possibile con la separazione ed altri trattamenti particolari.

Processo ibrido tra disassemblaggio e frantumazione

Il caso dell'auto ci mostra un esempio di questo equilibrio tra le due fasi del trattamento; la progettazione iniziale di veicoli ne tiene conto sin dall'inizio, predisponendo il prodotto alle operazioni di dismissione, sperimentate e condivise da tempo. Dal momento, infatti, che le direttive europee impongono che le spese di veicoli fuori uso debbano essere sostenute dai produttori, è di primo interesse di questi operare a livello progettuale per migliorare i processi di recupero e riciclaggio dell'auto⁸.

Di seguito qualche esempio di pratiche attuate da alcune case automobilistiche per migliorare la sostenibilità del prodotto.

Fiat ha avviato nel 1992 il progetto F.A.RE⁹. Tramite il cosiddetto "riciclaggio a cascata" dei materiali, questi vengono riutilizzati per produrre ciclicamente nuovi prodotti, di valore sempre minore, coerentemente con la perdita di nobiltà del materiale. Quindi da componenti a vista con valore estetico, come un paraurti, il polimero viene riciclato per la fabbricazione di convogliatori d'aria, e successivamente per sottotappeti interni. Ovviamente si giunge

Il progetto F.A.RE di Fiat

.....
⁸ Da segnalare come negli ultimi anni il mercato del riciclo di materiali derivati da auto fuori uso sia in fase di peggioramento. Le composizioni dei nuovi veicoli con sempre meno metalli, ovvero la parte più riciclabile del prodotto (circa il 60%), unitamente alla caduta del prezzo dell'acciaio e alla difficoltà di recupero di materiali polimerici, ha fatto sì che l'efficienza economica delle operazioni di recupero dei materiali sia venuta sempre meno, incentivando gli scambi con paesi dell'est più favorevoli a questo mercato, anche perché meno restrittivi nelle regolamentazioni ambientali.

⁹ *Acronimo di Fiat Auto Recycling*

ad un limite di riconversione del materiale, che alla fine della sua vita utile come tale viene utilizzato come combustibile. Il sistema si appoggia su una collaborazione tra la casa automobilistica, le industrie del riciclo e i demolitori. Inoltre la progettazione tiene conto del flusso dei materiali, e cerca di ottimizzarne l'uso in maniera omogenea e funzionale ai ricicli.

Gruppo BMW

Il gruppo BMW ha sviluppato dei software che permettano analisi di disassemblaggio virtuale nelle fasi di sviluppo del veicolo, permettendo di determinare il prima possibile la compatibilità al riciclo del progetto. Inoltre, ogni veicolo viene completamente disassemblato per ottenere informazioni precise sul peso di ogni componente, i materiali, il tempo richiesto per lo smontaggio, gli strumenti utilizzati, e altri dati che riportano informazioni sull'estensione e costo di queste operazioni.

Daimler Chrysler

Il programma CARE (*Concepts for Advanced Recycling and Environmental*) di DaimlerChrysler punta a ridurre la percentuale destinata alle discariche, riportandolo nella produzione di nuove auto. Si ricerca la durata dei materiali secondo gli standard qualitativi richiesti dalla compagnia, e le tipologie riutilizzabili nel processo produttivo. In seguito alla ricerca del progetto CARE, il gruppo ha progettato veicoli in grado di comprendere materiali riciclati come bottiglie di plastica, cristalli, schiume, tappetini e pneumatici usati. Come risultato di questi sforzi, la casa automobilistica è stata premiata con l'Environmental Excellence in Transportation Award nel 2001 dalla SAE (Society of Automotive Engineers).

Ford

Nel suo programma di riciclo, la Ford riutilizza più di 1800 tonnellate di materiale. Ad esempio, le bottiglie di plastica di bibite sono riciclate in maglie di rinforzo, le scocche di computer e telefoni diventano griglie, le coperture di batterie esaurite sono utilizzati per prafanghi, i gruppi di filtraggio dell'aria e le ventole del motore utilizzano tappetini riciclati, e gomme usate diventano nuove gomme, o sono riciclate in pedali dei freni e materiale per il fondo. Ford usa inoltre dei materiali recuperati dai paraurti in plastica di vecchi modelli per stampare nuove scocche o per rinforzi paraurti. Inoltre ha adottato molte operazioni di riciclo di veicoli che permetteranno di disassemblare in parti auto e camion, e riciclare parti recuperate da stabilimenti Ford.

General Motors

General Motors è stato il primo produttore automobilistico a diffondere le informazioni sul riciclo dei propri veicoli, mettendo a disposizione sul suo sito i manuali per il disassemblaggio. Tali

manuali forniscono agli smantellatori di automobili le informazioni su quali parti del veicolo possono essere riciclate.

In Toyota la riciclabilità dei materiali plastici è stata migliorata con l'uso di un materiale brevettato, chiamato TSOP (*Toyota Super Olefin Polymer*) per sostituire gli attuali materiali interni ed esterni. Toyota ricicla inoltre i blocchi motore, che consente di evitare a 200 tonnellate di materiale di finire in discarica, ogni anno.

Toyota

3.3 Altri esempi di Design for Disassembly

L'unione Europea ha emanato nel 2005 la direttiva sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE, conosciuta all'estero anche come WEEE, *Waste of electric and electronic equipment*), con l'obiettivo di controllare la gestione di questo tipo di rifiuti, e promuovere il riutilizzo e il riciclaggio della risorse naturali impiegate. Si è reso necessario regolamentare il trattamento di rifiuti derivati da oggetti elettronici, alla luce della grande diffusione che hanno conosciuto negli ultimi decenni, a fronte della loro complessità materica e costruttiva. Inoltre questo tipo di oggetti possono contenere sostanze pericolose per l'ambiente, che vanno controllate e gestite separatamente.

La direttiva WEEE



Dal 2005 i produttori di quasi tutte le categorie di apparecchiature elettriche sono responsabili dello smaltimento dei propri prodotti, una volta divenuti obsoleti. La responsabilità dei produttori comprende l'obbligo di etichettatura, diffusione di informazioni agli utenti finali, predisposizione di canali appositi e strutture per il trattamento dei WEEE. La presenza del simbolo obbligatorio indica l'impossibilità di smaltire questo tipo di prodotti come rifiuti domestici, i quali devono essere recuperati e gestiti secondo apposite procedure.



La direttiva RoHS è stata adottata nel 2003 dall'Unione Europea, sostituendo le direttive simili che alcuni stati avevano introdotto negli anni precedenti. La normativa impone delle restrizioni sull'uso di determinate sostanze pericolose nella costruzione di apparecchiature elettriche ed elettroniche; si applica ai prodotti costruiti o importati nell'Unione europea. È collegata strettamente con la direttiva sulla rottamazione di apparecchiature elettriche ed elettroniche WEEE che regola l'accumulazione, riciclaggio e recupero per le apparecchiature elettriche e fa parte di un'iniziativa di legge per risolvere il problema dell'enorme quantitativo di rifiuti

La direttiva RoHS

generati dalle apparecchiature elettroniche obsolete.

È diventata obbligatoria dal 1° luglio 2006; non è una legge ma una direttiva. Ogni stato membro europeo deve “recepire” la direttiva, cioè adottare proprie politiche di applicazione, usando la direttiva come guida. Di conseguenza, ci potrebbero essere versioni differenti della legge quanti sono gli stati della CE¹⁰.

DfD nell'elettronica

Le suddette direttive sulla gestione dei rifiuti generati dai prodotti di elettronica hanno incentivato l'evoluzione della progettazione di questi oggetti, soprattutto verso i concetti di Design for Disassembly di cui si è parlato in apertura di questo capitolo. Se inizialmente non esistevano motivazioni così forti da spingere a modificare le abitudini progettuali verso componenti più facilmente separabili, l'introduzione di queste normative ha reso necessario ripensare materiali, architettura e giunzioni dei prodotti, sin dalle prime fasi di concepimento di questi. Allo stesso modo i concetti propri del Dfd hanno dimostrato i loro vantaggi anche in termini economici, se adeguatamente interpretati ed applicati. La produzione sulla grande serie può infatti beneficiare della standardizzazione dei giunti e degli strumenti necessari al loro uso, e le attività di riparazione e manutenzione risultano meno costose.



Il laptop *Bloom*

Un'esempio di logiche Dfd applicate all'elettronica è rappresentato da Bloom, il progetto di un laptop completamente disassemblabile in un paio di minuti, senza l'utilizzo di nessuno strumento. Disegnato da alcuni studenti della *Stanford University*, all'interno di una sperimentazione in collaborazione con Autodesk e diverse aziende del settore informatico, il laptop permette di separare con facilità i componenti contenenti materiali preziosi, come il platino, per il loro riciclo. Il resto dei componenti risulta anch'esso di facile rottamazione per un pronto riciclo.

Il laptop è un esempio interessante, dal momento che costituisce un oggetto complesso che contiene in sé le caratteristiche di un computer, un cellulare, una televisione LCD, una radio, ecc. Dalle immagini diffuse sul progetto, possiamo notare un uso intelligente degli incastri dei diversi componenti, che si assicurano il bloccaggio

.....
¹⁰ Per agevolare il libero commercio tra i paesi vi è la tendenza ad unificare le normative in tutto il mondo. Anche la Cina ha sviluppato una legislazione (citata spesso come “Cina RoHS”) che ha limitazioni simili. Tuttavia, la legislazione cinese è molto vaga circa l'applicazione e la responsabilità per il rispetto della normativa. Il Giappone non ha una normativa equivalente alla RoHS ma vi è una sollecitazione verso i costruttori giapponesi ad indirizzarsi verso processi di lavorazioni esenti da piombo. La California ha adottato una legislazione simile che è entrata in vigore il 1° gennaio 2007, che utilizza la direttiva RoHS dell'Unione europea come linea guida.

reciproco una volta assemblati, e sfruttano la possibilità, una volta iniziato il processo di smontaggio, di muoversi secondo nuovi gradi di libertà che ne consentono la rimozione. Poter aprire delle giunzioni senza utensili presuppone l'assenza di viti e snap troppo complessi, ed è necessario controllare con attenzione i requisiti di resistenza dei giunti coinvolti nell'oggetto, per garantire contemporaneamente, a fianco di uno smontaggio immediato, un'integrità affidabile durante tutta la vita del prodotto. I requisiti prestazionali delle giunzioni sono un argomento molto importante nello studio di un oggetto disassemblabile.

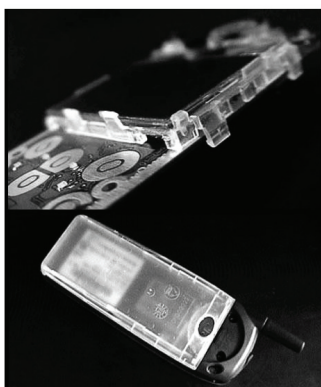
Nel settore nella telefonia e degli apparecchi video possiamo trovare alcune soluzioni per lo smontaggio dei componenti, molto innovative, che sono già state implementate da tempo. Si tratta di una tecnologia che fa uso di componenti costituiti da materiali a memoria di forma. Anche chiamati *smart materials*, possono essere costituiti da leghe metalliche (*SMA, Shape Memory Alloys*) o polimeri (*SMP, Shape Memory Polymers*). Progettati per avere una certa forma iniziale, nel momento in cui raggiungono una precisa temperatura di attivazione sono in grado di modificare la propria configurazione strutturale e assumere una forma nuova, in maniera reversibile secondo un ciclo ripetibile.

Smart Materials e Active Disassembly

Sulla base delle proprietà dei materiali a memoria di forma, da qualche anno è stata sviluppata una ricerca basata sulla tecnologia chiamata *Active Disassembly (ADSM, Active Disassembly using Smart Materials)*. Presenta interessanti scenari di applicazione in molti settori della produzione industriale, ed è in forte sviluppo con numerosi brevetti all'attivo. Utilizzando le suddette proprietà, la ricerca punta a progettare giunti molto avanzati, in grado di applicare forze particolari nei punti spesso irraggiungibili dei componenti da smontare. L'attivazione può essere di tipo termico, elettrico o magnetico, e deve essere pensata compatibilmente con le caratteristiche materiche e prestazionali del prodotto da disassemblare.

Ad oggi, questo tipo di giunzioni trovano applicazione soprattutto nel settore dell'elettronica di consumo, in cui troviamo una complessità materica tale da necessitarne la separazione al momento del trattamento a fine vita. Interessante il caso applicato alla televisione LCD, in cui è necessario separare il pannello a cristalli liquidi dalle scocche. Qui un adesivo progettato appositamente è in grado di provocare il distacco del pannello grazie alla sua

Tecnologia Active Disassembly applicata al disassemblaggio di un cellulare Nokia



Applicazione nautica

variazione di volume, in maniera estremamente semplice e pulita.

Altra applicazione importante è quella svolta in collaborazione con Nokia, con cui è stato progettato un cellulare in grado di auto-disassemblarsi in pochi secondi. Grazie agli snap realizzati in SMA è in grado di aprirsi molto rapidamente tramite il riscaldamento controllato dell'oggetto. L'idea nasce dalla volontà di poter smontare un cellulare tramite meccanismi che non necessitino di contatto. Utilizzando una fonte di calore concentrata, come il riscaldamento con un laser, si attiva la lega a memoria di forma, e le scocche del cellulare sono aperte. Vengono separati batteria, schermo, circuiti stampati e meccanismi meccanici, così da poter essere trattati e riciclati secondo il loro specifico processo. Le temperature di attivazione di questi giunti vanno progettate adeguatamente, per evitare l'attivazione accidentale nell'utilizzo ordinario, nonché la degradazione di materiali adiacenti al momento del trattamento.

Possiamo trovare altri esempi di componenti che fanno uso di materiali a memoria di forma, soprattutto nel campo aerospaziale. Qui si necessita spesso di giunzioni che non necessitino di contatto per l'attivazione, e al contempo riescano a svolgere la funzione compromettendo il meno possibile l'integrità dei componenti coinvolti. Potrebbe essere un buon spunto di ricerca anche in campo nautico, in cui il problema dell'accessibilità alle giunzioni, che al contempo devono garantire speciali requisiti, è alla base di molte difficoltà nel disassemblaggio del prodotto.

3.4 Disassemblare un'imbarcazione

La fase di dismissione delle imbarcazioni, come ribadito più volte, è quella più incerta e meno organizzata del ciclo di vita del prodotto, e proprio per questo risulta di particolare interesse nella ricerca sulla sostenibilità nel settore. In questo scenario di arretratezza legislativa, organizzativa e progettuale, la fase di disassemblaggio rappresenta forse il cuore del problema legato al fine vita delle imbarcazioni. Come già detto, infatti, il prodotto non è pensato per lo smantellamento, e questa operazione non viene presa in considerazione in termini di progetto, infrastrutture e costi. Per queste motivazioni non disponiamo di esempi collaudati circa la fase di smontaggio e rottamazione di una barca, come invece avviene per le automobili. Il mistero che avvolge la morte del prodotto barca richiede, per essere chiarito e studiato, di faticose ricerche

presso i registri, i marina e altri luoghi di abbandono, nonché presso rari centri di demolizione e smaltimento, alla scoperta dello stato attuale di questa fase del ciclo di vita.

UCINA svolge da tempo una ricerca legata al progetto ELB citato in precedenza, da cui possiamo ricavare alcune informazioni. Il parco nautico italiano da diporto è stimato costituire un totale di oltre 616mila tonnellate di composito¹¹; inoltre, sempre da dati UCINA, si considera un'obsolescenza annuale del prodotto attorno al 4%, per un volume annuo di FRP da trattare di circa 23.000t.

Ma oltre a queste stime di inquadramento del problema, restano solo vaghe considerazioni su quello che comporta ad oggi smantellare un'imbarcazione. Quello che si sa per certo è che risulta un'operazione da svolgere manualmente e molto difficoltosa, a causa della complessità materica e della mancanza di predisposizioni al trattamento. Si stimano sommariamente i costi del processo, che risultano circa il 70% di quelli sostenuti per la costruzione, a dimostrazione della grande inefficienza dell'operazione.

Come è già stato accennato, le motivazioni che rendono difficoltoso il disassemblaggio riguardano la complessità del prodotto e la sua mancata predisposizione alla separazione dei componenti. Il prodotto è costruito con l'obiettivo di renderlo un unico pezzo monolitico, resistente alle sollecitazioni ambientali e meccaniche, nella maniera più economica possibile. In assenza di scrupoli sulle future operazioni di smontaggio, ciò comporta l'utilizzo di giunzioni irreversibili e/o di difficile accesso. Vengono praticati incollaggi strutturali indistruttibili tra le scocche in vetroresina, alle quali sono anche inglobate anime di rinforzo in altri materiali. Infine per il fissaggio degli allestimenti e degli accessori sono utilizzati giunti filettati e viti rigorosamente sigillati e spesso irraggiungibili a barca chiusa, il che rende molto difficile lo smontaggio anche solo di una bitta in acciaio.

Accanto a tali problematiche di natura costruttiva¹², è necessario predisporre sistemi di informazione e organizzazione del processo di smontaggio, come avviene per altri prodotti. Su questo tema sono

Ricerche UCINA sul parco nautico in dismissione

Ostacoli al disassemblaggio

.....
 11 Stime elaborate sulla base della composizione media di FRP per fascia di lunghezza, comprensive della parte di imbarcazioni in altro materiale (legno e pneumatiche)

12 Un'analisi delle difficoltà legate al disassemblaggio verrà approfondita nel capitolo successivo, introducendo il discorso sulle caratteristiche costruttive del prodotto barca in termini più tecnici.

già state proposte delle soluzioni¹³, che partono dall'osservazione del settore automotive, e ne trasferiscono la conoscenza al più arretrato mondo della nautica, al fine di poter organizzare e condividere le procedure di smontaggio di un prodotto così complesso.

La complessità del prodotto non è poi molto più alta di quella di un'automobile, ma l'assenza di imposizioni sul riciclo non porta a farsi domande circa questa fase del ciclo di vita delle imbarcazioni. Progettare per il disassemblaggio comporta infatti alcuni accorgimenti che implicano una progettazione di qualità e l'utilizzo di giunzioni particolari, e tutto questo rappresenta un costo che al momento i cantieri non sono spinti a sostenere. Il lavoro di progettazione va quindi di pari passo con quello legislativo, a cui si affianca la ricerca per recuperare valore da quanto in futuro potrebbe essere ricavato dal disassemblaggio di un'imbarcazione. Manca infatti, ad oggi, un mercato che giustifichi gli sforzi per il recupero di vetroresina dalle imbarcazioni, e questo rappresenta un ostacolo economico all'evoluzione del prodotto. Tuttavia, come già approfondito in precedenza, la ricerca nel campo dei materiali sta rivelando alcune strade interessanti nella direzione del riciclo della vetroresina.

.....
13 Villa, V (2012) "Database per la dismissione di imbarcazioni da diporto", tesi PhD Politecnico di Milano

Capitolo 4

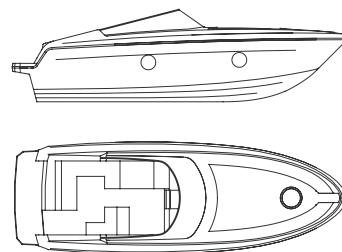
Il disassemblaggio dell'imbarcazione in vetroresina

La ricerca sul disassemblaggio parte dall'analisi delle problematiche del prodotto esistente, per studiare delle soluzioni attuabili nella situazione costruttiva odierna. Si rende quindi necessaria una breve presentazione delle caratteristiche del prodotto nella produzione industriale più recente, al fine di avere un quadro tecnico sufficientemente chiaro per elaborare delle proposte progettuali.

4.1 Architettura di assemblaggio di un'imbarcazione in vetroresina

Prendiamo come riferimento, come già presentato nei capitoli precedenti, un'imbarcazione di poco inferiore ai 10m, con motorizzazione entro-fuoribordo, una cabina separata, un bagno, una dinette con cucina ed equipaggiamento esterno da open cruiser. Questo segmento risulta interessante proprio per la contraddizione in termini di libertà di gestione legislativa e impatto ambientale. Parliamo infatti di un natante, che quindi non necessita di essere registrata, ma che rappresenta in ogni caso un prodotto complesso dal punto di vista costruttivo e materico. La presenza di un allestimento interno completo di servizi presuppone un ragguardevole impianto elettrico e idraulico, e la motorizzazione installata permette navigazioni in mare aperto e una discreta autonomia. Un'imbarcazione che, con un costo intorno ai 200 mila euro, rappresenta un segmento molto importante nella nautica a

Il caso studio

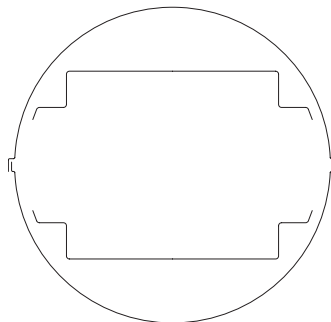


motore da diporto, cavallo di battaglia di molti cantieri italiani.

Analizziamo quindi il prodotto dal punto di vista costruttivo, facendo chiarezza nella configurazione delle parti e nella loro gerarchia.

Un'imbarcazione di questo tipo può essere schematizzata come una scatola, costituita da due gusci uniti insieme.

**Schema concettuale della
"doppia scatola" che
rappresenta la costruzione di
un'imbarcazione in vtr**



**Configurazione della
struttura in vetroresina**

Il guscio inferiore costituisce lo scafo, a contatto con l'acqua ed equipaggiato con i motori, mentre quello superiore rappresenta la coperta, allestita con tutti gli accessori necessari alle operazioni di navigazione e di vita all'aperto. Tale configurazione deriva solo in partenza dalla costruzione classica di imbarcazioni in legno, essendosi poi adeguata al processo produttivo della vetroresina. Questo materiale viene infatti lavorato su stampi aperti ad estrazione, dai quali si ottiene una pelle di spessore pressochè costante. Questa pelle presenta un lato estetico, asciugato a contatto con la superficie dello stampo, di cui ne ha assunto le caratteristiche di finitura e qualità, e un lato grezzo, irregolare e di brutto aspetto nella finitura, e che mostra nella sua trasparenza la fibra di vetro inglobata nel polimero. Questa caratteristica risulta fondamentale nella produzione di manufatti in vetroresina, che devono sempre essere concepiti come costituiti da gusci assemblati, con il lato rifinito a vista e quello grezzo nascosto¹.

Nella scatola scafo+coperta, il lato estetico di gelcoat è quello esterno, ovvero il lato dello scafo che sarà a contatto con l'acqua e quello esterno della coperta. Ne consegue che l'interno della nostra

.....
1 Alcune lavorazioni come lo stampaggio RTM permettono di ottenere componenti finiti da entrambi i lati, per la produzione, ad esempio, di portelli e coperchi.

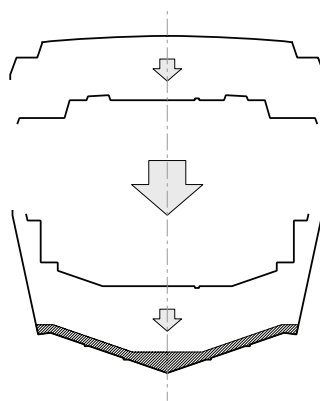
scatola, dove allestiremo gli ambienti interni, avrà finitura grezza. Per migliorare questa superficie possiamo rivestirla con tappezzeria oppure creare una stampata inversa a quella da rivestire, con il lato estetico verso l'interno della scatola. Queste stampate sono dette *controstampi*, e costituiscono un sistema più industrializzato per avere una superficie estetica anche all'interno della barca, senza necessità di eseguire molte ore di tappezzeria².

Il *controstampo* dello scafo, spesso chiamato anche "pagliolo"³, verrà sagomato per facilitare il fissaggio delle paratie e del mobilio, ed eventualmente per sostituire alcune parti in legno. È questo un componente spesso cruciale nella buona riuscita degli interni, che per questo segmento di imbarcazioni risultano di fondamentale importanza, spesso a discapito delle qualità marine del prodotto⁴. Rispetto allo scafo, dalle geometrie relativamente semplici dal punto di vista dello stampaggio, il *pagliolo* risulta spesso molto più critico, per la complessità degli spigoli, lo studio degli sforni e il dettaglio dei particolari, che possono essere destinati a costituire parti a vista dello spazio interno, con requisiti estetici specifici.

Il *controstampo* della coperta, in gergo chiamato anche "cielino", costituirà come detto una sorta di soffitto; analogamente al *pagliolo* presenterà alcuni dettagli funzionali al fissaggio delle paratie e del mobilio interno, ma non con la stessa complessità.

Dal punto di vista costruttivo, i *controstampi* vengono assemblati alla relativa stampata – il *pagliolo* allo scafo e il *cielino* alla coperta – costituendo i due principali sottoassiemi in vetroresina del prodotto. La complessa intercapedine tra stampo e relativo *controstampo* è funzionale al passaggio di tutta la cavettistica e all'alloggiamento dei componenti costituenti gli impianti idraulico, elettrico e propulsivo⁵.

Queste sono le parti principali di cui è costituita un'imbarcazione in vetroresina di queste dimensioni, e proprio sulla gestione del



2 Possiamo paragonare questi componenti al soffitto e al pavimento di una stanza, anche per la funzione di appoggio e sostegno che svolgono per tutto l'allestimento interno.

3 Nel gergo cantieristico troviamo molti termini di derivazione navale antica, a volte utilizzati anche in maniera impropria; essi sono stati convertiti dal loro significato originario, che faceva riferimento ad una struttura costruttiva in legno, alla produzione in vetroresina, per certi aspetti molto diversa.

4 Come per il settore automobilistico, la vivibilità interna e le prestazioni tecniche del mezzo hanno priorità opposte; un cruiser efb è paragonabile a una monovolume, un open fb a una spider, con le dovute sfumature intermedie.

5 Parte di questi impianti vengono precablati nei due sottoassiemi, entro i limiti possibili e secondo le organizzazioni del lavoro del cantiere.

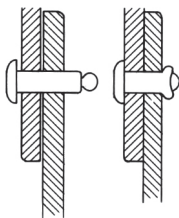
loro assemblaggio si giocano la maggiorparte delle problematiche relative alla costruzione del prodotto, e al suo disassemblaggio.

Contemporaneamente alle fasi sopra descritte, si dispone la maggior parte degli impianti di bordo. Molti componenti di essi rimarranno nelle intercapedini tra le stampate, a cui si è accennato prima, risultando molto difficili da rimuovere nel disassemblaggio. Tali impianti verranno poi completati a barca chiusa, coerentemente alle operazioni di allestimento interno⁶. Nel momento di chiusura della barca, ovvero di assemblaggio della coperta, comprensiva di controstampata superiore, allo scafo, contenente già il pagliolo, le stampate presentano già una parte degli allestimenti e degli accessori montati, oltre agli impianti detti sopra. La coperta necessita di essere completata con il montaggio della battagliola e di eventuali hard-top, roll-bar e portelli apribili. Lo scafo alloggia già al suo interno la parte inferiore del mobilio, che non necessitava della presenza del cielino per essere montato. Il resto dell'allestimento, costituito da pensili e componenti di tamponamento e finitura, viene completato a barca chiusa, così come l'applicazione delle ultime tappezzerie.

Segue la fase di finitura, in cui vengono sigillati e rifiniti i dettagli interni ed esterni, e quella di collaudo, dopo la quale la barca viene pulita e imballata per il trasporto.

4.2 Tipologie di giunzioni

L'assemblaggio dell'imbarcazione prevede diverse tipologie di giunzioni. A seconda dei materiali coinvolti e dei requisiti richiesti al giunto vengono utilizzati prodotti e metodi diversi. Accanto ai fissaggi con fascettatura di laminazione e a giunti meccanici si affiancano vari tipi di adesivi sempre più evoluti e diversificati. Dal punto di vista costruttivo e prestazionale, l'utilizzo di adesivi comporta numerosi vantaggi. I giunti metallici costituiti da viti e rivetti possono innescare tensioni nelle zone dei fori di fissaggio, con conseguente rischio di fratture del laminato, oltre a rappresentare di per sé un indebolimento della struttura del composito. L'incollaggio, al contrario, crea un punto di rinforzo senza intaccare la struttura dello stratificato, e a seconda dei prodotti utilizzati è in



**Rivettatura tra laminati
in composito**

⁶ Il cablaggio del sistema di guida, ad esempio, assieme a tutta la cavettistica che deve raggiungere la console esterna, deve essere convogliato attraverso le intercapedini previste per il loro passaggio, dallo scafo alla coperta, attraverso pagliolo e cielino.

grado di assorbire variazioni di volume derivate da diverse dilatazioni termiche delle superfici giuntate, fattore molto importante in questo tipo di prodotti. Inoltre l'utilizzo di adesivi consente di ridurre il peso dei rinforzi e delle strutture, per un ulteriore miglioramento delle prestazioni dell'imbarcazione. Dal punto di vista del disassemblaggio questo tipo di giunzione non rappresenta la soluzione più adatta, anche se può essere progettata in modo intelligente per agevolarne la distruzione, come verrà approfondito più avanti.

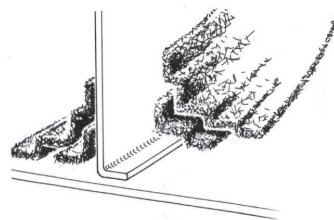
Di seguito vengono quindi illustrate le principali tipologie di giunzioni dell'imbarcazione, a seconda della composizione e delle prestazioni garantite.

Fascettatura per laminazione

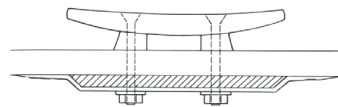
Per fascettatura si intende la stesura di una pezza di fibra di vetro imbevuta di resina, come nella laminazione di un componente in composito. Questa viene posizionata a unire i lembi dei componenti in vetroresina da saldare, e formerà con essi un assieme monolitico, la cui resistenza dipende dalla buona esecuzione dell'operazione e dalla composizione del composito depositato manualmente. Dal punto di vista strutturale, con questo metodo si realizza una giunzione rigida, poco resistente agli urti e con scarsa resistenza a fatica, in cui gli sforzi vengono concentrati sul giunto. Tra i due materiali da incollare non si realizza infatti un'adesione primaria, e le prestazioni dipendono dalla qualità della resina. Le operazioni manuali e la necessità di rastremare il giunto fanno sì che questo metodo di assemblaggio registri lunghi tempi di lavorazione, anche se resta un fissaggio utilizzato per la maggioranza delle giunzioni tra componenti in composito.

Fissaggio meccanico

L'uso di bulloni o rivetti viene generalmente riservato a giunti a flangia, sottoposti a sollecitazioni di taglio ortogonale: realizza un assemblaggio non permanente di impiego molto ampio, da cui escludere però il fissaggio di laminati con fibre di rinforzo in carbonio. Viene utilizzato in abbinamento a incollaggi e siliconature, come nel caso delle flange scafo-coperta, e prevede la preparazione dei fori passanti e l'applicazione di un sigillante, per rendere il foro impermeabile ogni qualvolta intacchi la vetroresina esterna. Tutti gli accessori di coperta sono fissati anch'essi con bulloni passanti, che fanno presa su rinforzi di legno o alluminio, ingobbiati



Fascettatura in vetroresina dei lembi di due componenti da saldare



Particolare di fissaggio di una bitta, tramite giunti filettati passanti, attraverso un rinforzo in alluminio inserito nella stratifica della coperta

precedentemente nel composito in fase di laminazione.

Tramite viti vengono fissati anche tutti gli allestimenti interni, ovvero i mobili alle controstampate cui si appoggiano. Questo tipo di fissaggio risulta abbastanza reversibile, non essendo necessari particolari incollaggi per il loro assemblamento.

Adesivi

In linea generale, gli adesivi a base epossidica, acrilici ed alcuni poliuretani mono e bicomponenti hanno valori medio-alti di resistenza al taglio e tassi di allungamento molto contenuti, determinando quelle caratteristiche adatte a realizzare un incollaggio strutturale.

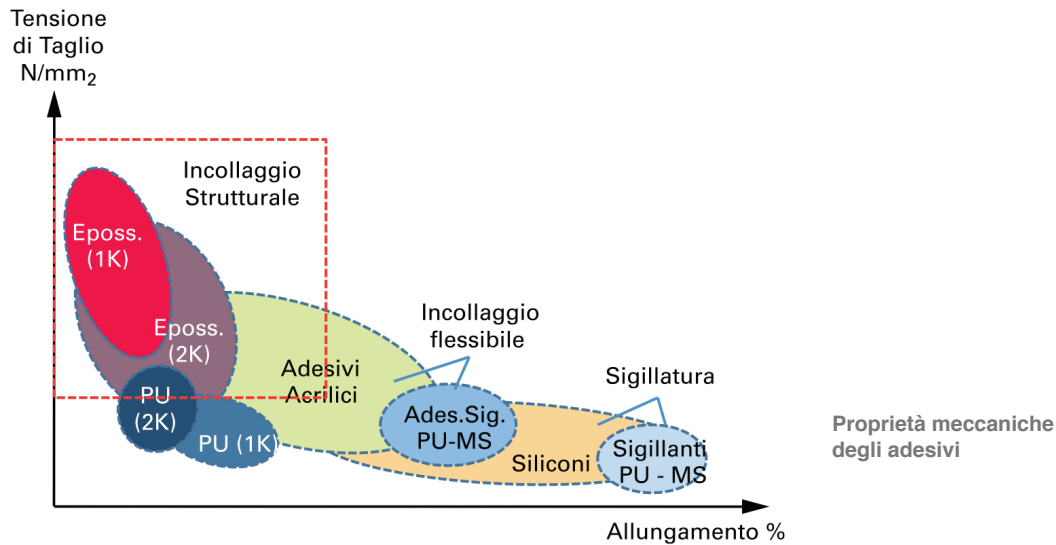
Gli adesivi-sigillanti a base poliuretanica, ibrida ed alcuni a base acrilica hanno invece valori medi, posizionandoli come la soluzione adeguata per incollaggi di giunti in cui è richiesta una certa flessibilità.

I sigillanti a base poliuretanica, ibrida, siliconica si caratterizzano infine per un'elevata percentuale di allungamento ed una bassa resistenza al taglio, posizionandoli chiaramente come prodotti utili ad applicazioni di sigillatura.

Adesivi strutturali

I corpi principali stampati in vetroresina, ovvero scafo, coperta, pagliolo e cielino, vengono incollati tra loro utilizzando adesivi strutturali bi-componente. Sono collanti costituiti da un adesivo e un attivatore, che una volta miscelati insieme creano una pasta, applicabile come un silicone. Vi sono diverse tipologie di questo tipo di collante, che comportano differenti caratteristiche di applicazione e di prestazione⁷. La consistenza di questi adesivi garantisce un buon riempimento degli interstizi, e una volta indurito non risulta reversibile in nessuna maniera. Costituisce infatti parte integrante solida tra i componenti da unire, che non potranno più essere separati se non tramite la distruzione del giunto. Viene utilizzata principalmente tra componenti in vetroresina, che necessitano di giunzione strutturale irreversibile, come la linea del bottaccio e le flange di accoppiamento delle controstampate.

.....
 7 Un parametro di scelta riguarda, per esempio, il tempo impiegato dai due reagenti, una volta mescolati insieme, per indurirsi e raggiungere i valori di tenuta garantiti. Infatti può essere utile poter disporre di un certo tempo di lavorazione dall'inizio dell'applicazione, data la dimensione e l'estensione dei corpi da incollare, come uno scafo e una coperta.



Per il fissaggio dei rinforzi strutturali nel laminato in composito, generalmente costituito da pannelli di PVC o balsa, vengono utilizzati ugualmente simili collanti bi-componente. Presentano adeguate caratteristiche di lavorabilità, come la possibilità di essere steso a mano come uno stucco, o anche spruzzato per coprire più comodamente grandi superfici, ad esempio scafi di grandi yacht. Sotto pressione o sottovuoto fluisce facilmente saturando ogni fessura e cavità dell'espanso garantendo in tal modo elevate proprietà meccaniche, termiche e chimiche al laminato sandwich.

Adesivi poliuretanici

Oltre alle giunzioni principali tra scafo e coperta, numerose giunzioni fanno uso di collanti nell'assemblaggio degli altri componenti dell'imbarcazione. Accessori, allestimenti esterni e interni richiedono adesivi adatti all'accoppiamento di metalli, vetro e legno, e alla realizzazione di giunti strutturali che saranno sottoposti ad elevate sollecitazioni dinamiche. Ogni vite, interna ed esterna, viene sigillata; il rivestimento in teak della coperta e altre pavimentazioni interne vengono incollate con adesivi di questa tipologia⁸. Tali adesivi garantiscono una tenuta impermeabile, in grado di sopportare dilatazioni tra diversi supporti.

⁸ Per gli accessori esterni, soprattutto l'alluminio, gli acciai e i vetri, si fa uso di varianti specificamente preparati a resistere ai raggi UV e all'uso all'aperto.

4.3 Problematiche per il disassemblaggio



L'analisi delle giunzioni del capitolo precedente ci permette di inquadrare meglio il problema relativo allo smontaggio di un'imbarcazione. Si fa riferimento ad un'operazione che non è stata presa in considerazione nella fase di costruzione dei prodotti ad oggi sul mercato, e che, come già ricordato più volte, non viene quasi mai attuata nella situazione odierna del fine vita di questo prodotto. Per questo la ricerca può al massimo ipotizzare le problematiche da un punto di vista teorico, o tutt'al più avvalersi di qualche test condotto su qualche vecchia barca da UCINA e altri studi condotti sull'argomento.

Cercando di schematizzare a grandi linee la composizione del prodotto, possiamo già fare delle considerazioni sulla gerarchia dei componenti e le loro dipendenze. Ipotizzando di procedere allo smantellamento di un cruiser come da caso studio considerato, procediamo analizzando le diverse fasi dell'operazione, evidenziando le problematiche incontrate.

Dal principio ci cerca di rimuovere il più possibile degli accessori montati sulla struttura in composito, dalla coperta agli interni, passando per i componenti dell'impianto elettrico e idraulico, accessibili a barca chiusa.

Rimozione accessori

Per quanto riguarda gli accessori di coperta, la difficoltà risiede nell'accesso ai giunti filettati con cui sono fissati, che spesso risultano interni alla scocca, in posizioni difficilmente raggiungibili a barca assemblata. Si rende necessario lo smontaggio di mobilio interno e qualche volta, se previsto in fase di progettazione, tali giunti sono ispezionabili, ma sempre in condizioni molto scomode. Qualche componente in acciaio è smontabile dall'esterno, come nel caso dei tientibene, ma il problema maggiore risiede successivamente, per qualsiasi accessorio, negli adesivi e sigillanti utilizzati per il loro incollaggio⁹. Lo stesso discorso vale nel caso sia presente un rivestimento in teak nel pozzetto e in altre zone di calpestio, come trincarino e plancetta di poppa. Il pannello di legno, che sia unico o a doghe, è incollato con adesivi polimerici in maniera del tutto irreversibile, senza possibilità di facile rimozione.

.....
 9 Questi devono sempre essere utilizzati per garantire un assemblaggio completo, assieme al giunto filettato, e per garantire l'impermeabilità dei fori praticati nel composito.

La maggiorparte dei componenti fissati allo scafo risiedono nella sala macchine. Per il resto l'opera viva è intaccata solamente dai fori dei lesi di scarico dei vari servizi, dai sistemi di rilevamento della velocità, ecoscandaglio e dall'eventuale elica di prua. Gli ostacoli principali all'isolamento della vetroresina dagli altri materiali, nella parte inferiore della barca, sono rappresentati dai rinforzi strutturali, spesso realizzati in poliuretano laminato con la chiglia, e dai rinforzi in legno necessari al sostegno del pagliolo e al fissaggio di tutta la componentistica dell'impianto idraulico, elettrico e aria condizionata.

Buona parte poi dei cablaggi elettrici responsabili dei servizi e del sistema di guida passa tra la coperta e il controstampo superiore interno; lo stesso vale per altri cablaggi, compresi quelli idraulici, che alloggiano nelle cavità tra pagliolo e scafo. Queste intercapedini, dallo spessore molto variabile e articolato, presentano dei punti di ispezione solo per qualche componente.

Intercapedini e ispezioni

L'imbarcazione è progettata infatti per avere dei punti di accesso ad ogni componente che necessita di manutenzione durante la vita del prodotto. Le due controstampate interne presentano delle aperture in corrispondenza di giunti filettati e rinforzi, responsabili del fissaggio di componenti esterni come bitte, elica di prua ecc. Queste ispezioni sono collocate compatibilmente con la possibilità di poterle nascondere nella configurazione di arredo interna, cosa non facile per barche di queste dimensioni, che presentano delle controstampate dalla geometria di per sé già abbastanza complessa. Sono previste infatti anche le aperture che consentono lo sbancamento dei serbatoi acqua e carburante, che spesso occupano gran parte del pagliolo calpestabile sottocoperta.

Se però troviamo dei punti di accesso funzionali alla manutenzione, è molto difficile comunque raggiungere molti altri componenti che non si presume debbano essere controllati o tantomeno smantellati dopo la produzione della barca. Anche smontando tutto il mobilio, rimuovendo gli impianti accessibili ed eventualmente cercando di aprire giunzioni incollate, non riusciremmo a isolare una carcassa di sola vetroresina.

Per un'operazione di disassemblaggio completa necessitiamo quindi di dover separare le controstampate dai relativi corpi principali, scafo e coperta. Questo è attualmente uno degli ostacoli principali nello smantellamento del prodotto, per diverse ragioni.

Giunzioni irreversibili

Le giunzioni sono costituite da fascettature in composito e mastici strutturali, che non risultano rimaneggiabili per una separazione se non tramite la distruzione degli stessi. La loro geometria e la loro distribuzione, inoltre, li rende di difficile riconoscimento e di scomodo accesso, ed eventuali operazioni distruttive non sarebbero facilmente controllabili e programmabili.

Gerarchia dei componenti non predisposta al disassemblaggio

Alla natura delle giunzioni, si unisce il fatto che sono distribuite in maniera confusa dal punto di vista gerarchico, con la presenza di molti fissaggi contemporanei di più componenti. Questo significa che non basta agire su pochi punti per separare un componente, perchè si presenta una rete di fissaggi interdipendente che rende ancora più difficile l'isolamento delle parti tra loro. Se questo fosse limitato a componenti dello stesso materiale, al fine della separazione per riciclaggio non avremmo problemi, ma la situazione è più complessa.

Se ipotizzassimo di aprire il giunto del bottaccio per scoperchiare l'imbarcazione, anche dopo aver scollegato tutti i cablaggi tra parte superiore e inferiore della barca, non riusciremmo ad alzare la coperta, per via di tutti gli incollaggi nell'allestimento interno che sono in comune a pagliolo e cielino. Le paratie interne, strutturali e non, rappresentano un collegamento tra scafo e coperta funzionale alla rigidità di tutto l'assieme, e non permettono la separazione dei due gruppi. Inoltre è possibile che vi siano dei punti di incollaggio tra le due controstampate, di difficile individuazione sia dall'esterno che dall'interno, ad esempio in corrispondenza della zona del tambuccio o di pareti poco rivestite come nel bagno.

4.4 Scelta del livello di intervento

Analizzate le problematiche principali alla base della difficoltà nel disassemblare un'imbarcazione, le strade da approfondire per proporre una soluzione possono seguire più direzioni. Il prodotto è costituito da diversi materiali, giuntati tra loro con una certa architettura. *Materiale, giunzione e architettura*, quindi, sono i possibili campi di intervento della ricerca progettuale; a seconda degli obiettivi preposti e dei mezzi a disposizione si valuta la direzione più interessante da studiare.

Si intende ricercare delle soluzioni che siano attuabili nel panorama produttivo industriale attuale. Questo significa che

l'intervento non deve presupporre l'introduzione di nuove tecnologie troppo distanti dal sistema produttivo odierno, o che necessitino di un lungo periodo di sperimentazione. Proporre nuovi materiali per la produzione dei componenti dell'imbarcazione di difficile separazione comporta un lavoro di riprogettazione completo in funzione delle nuove tecnologie produttive, oltre a comportare delle difficoltà in termini di giustificazione della novità dal punto di vista commerciale e del marketing.

Ricerca di soluzioni implementabili nella produzione attuale

Oltre alla questione legata all'attuabilità a breve termine, il lavoro di ricerca vuole restare nel campo di intervento in cui il design può esprimere maggiormente le sue potenzialità di strumento di innovazione per la sostenibilità. Lavorare sulle giunzioni e la loro tecnologia, quindi, significa ripensarne il significato e la disposizione per renderle accessibili e/o apribili, nonché adottare strategie suggerite dall'approccio LCA per ottenere un prodotto più sostenibile. Ciò implica il dover ripensare anche alla struttura di assemblaggio dell'imbarcazione, che determina la tipologia e la posizione delle suddette giunzioni¹⁰.

4.4.a Riconsiderare i materiali

La scoperta della vetroresina come materiale da costruzione delle imbarcazioni ha mostrato i suoi vantaggi nella produzione industriale in maniera assoluta, rispetto a legno e metalli. Come già approfondito in precedenza, il composito presenta un mix di proprietà che gli hanno permesso di costituire oggi il 90% del volume del parco nautico. Il basso costo della materia prima si unisce alla facile lavorazione, che non necessita di strutture e macchinari particolarmente avanzati o di professionalità specializzate. Una volta polimerizzato, il composito ha un ottimo rapporto tra peso e prestazioni meccaniche, ideale nel settore dei trasporti e ancor di più nella nautica da diporto. Inoltre la lavorazione a stampo aperto per laminazione manuale permette una grande libertà formale, vincolata solo dalla natura laminare del prodotto. Esistono oggi diverse varianti alla laminazione a mano, ed è possibile realizzare corpi chiusi e finiture di alto livello, oltre a stratifiche sempre più controllate grazie anche allo stampaggio sotto-vuoto¹¹.

.....
¹⁰ Questo risulta facilitato anche dalla lunga esperienza lavorativa in cantiere, che ha permesso di comprendere a fondo l'architettura di un'imbarcazione e le sue caratteristiche costruttive.

¹¹ vedi Parte I, cap. 2 sui processi produttivi dei compositi

Tabella comparativa di alcune proprietà dei principali materiali da costruzione

materiale di costruzione	densità (g/cm ³)	limite elastico (MPa)	modulo elastico (GPa)	espansione termica (K ⁻¹)	conducibilità termica (W/mK)
vetroresina	1.75 - 1.95	200 - 500	21 - 35	8.6-11 x 10 ⁻⁶	0.4 - 0.5
legno	0.7	80	12	14 x 10 ⁻⁶	0.1
alluminio	2.7	250	70	23 x 10 ⁻⁶	170
acciaio	7.8	400	210	12 x 10 ⁻⁶	40

Questo per ricordare come sia molto difficile pensare di sostituire questo materiale con un altro. La produzione di scocche in polimero termoplastico è limitata a piccoli prodotti come canoe o derive, e comunque non regge il confronto con le caratteristiche della vetroresina. Sono in fase sperimentale nuove generazioni di compositi, che facendo uso di fibre naturali rispettano maggiormente l'ambiente ed offrono prestazioni paragonabili alla fibra di vetro; alcuni di essi sono già entrati nella produzione di serie di qualche natante.

4.4.b Intervenire sulle giunzioni

Il largo uso di giunzioni adesive sempre più evolute e diversificate è dovuto ai vantaggi economici e prestazionali di questi prodotti. I requisiti di impermeabilità e di assorbimento degli urti sono garantiti da questo tipo di fissaggio, che risolve molti punti deboli dei tradizionali fissaggi meccanici. In qualche situazione i due sistemi sono utilizzati contemporaneamente, come nel caso della rivettatura e sigillatura del bottaccio, in cui viene anche operata una fascettatura in composito dall'interno. Quest'ultimo tipo di giunzione, largamente usata nell'assemblaggio del prodotto, rappresenta di fatto una saldatura omogenea al materiale delle parti da unire, con alcuni limiti prestazionali.

Rendere reversibili le giunzioni attuali

Lavorare sulle giunzioni può significare seguire principalmente due direzioni. La prima vuol dire rendere reversibili gli assemblaggi che ad oggi sono effettuati con adesivi e altre giunzioni permanenti. Questo può essere ricercato nella messa a punto di incollaggi reversibili, progettati per poter essere aperti con precisi stimoli chimici o termici. La ricerca lavora a prodotti eco-compatibili ma la sfida è mantenere i requisiti richiesti a questi adesivi, che operano in condizioni ambientali particolari. La seconda direzione di innovazione delle giunzioni riguarda la sostituzione di tali

giunti permanenti con giunti meccanici apribili. Se gli adesivi di oggi presentano innumerevoli vantaggi rispetto a giunti filettati e rivettatura, i nuovi sistemi meccanici in grado di garantire le stesse prestazioni dovranno basarsi su tecnologie molto avanzate, e quindi costose. L'imposizione legislativa potrebbe obbligare a sostenere i loro costi, ma le prestazioni devono comunque raggiungere gli standard attuali. Il trasferimento tecnologico da altri settori, ad esempio quello aerospaziale, potrebbe introdurre dell'innovazione nei sistemi di giunzione reversibile, con i dovuti costi e tempi di sperimentazione e collaudo.

Sostituire le giunzioni attuali con fissaggi meccanici

Ad oggi uno dei fronti di ricerca più interessanti in questo campo riguarda l'utilizzo di *smart materials*, già citate in precedenza. Utilizzando componenti che fanno uso di leghe e polimeri a memoria di forma è possibile realizzare sistemi di fissaggio in grado di modificare la propria geometria dietro preciso stimolo termico o di altro tipo¹². Questo apre numerose possibilità di progettazione di "giunti intelligenti", che abbinati a prodotti tradizionali potrebbero aprire una nuova generazione di assemblaggi industriali.

Giunzioni avanzate che fanno uso di *smart materials*

Ma accanto a studi sulla natura delle giunzioni, più propriamente oggetto di ricerche del campo dell'ingegneria dei materiali e della chimica industriale, il design può dare il suo contributo ripensando al loro utilizzo nella costruzione del prodotto in cui sono applicati. Gli adesivi e le fascettature, infatti, possono non comportare problematiche ambientali qualora non sia necessario, ai fini del trattamento a fine vita, separare i componenti che essi uniscono.

Allo stesso modo, come già introdotto in altre tipologie di prodotti, la separazione per distruzione, se opportunamente prevista e progettata, consente spesso il miglior compromesso economico in vista degli obiettivi che il disassemblaggio si propone. Ancora, la difficoltà di apertura di una giunzione è spesso causata dalla difficoltà di raggiungimento della stessa; questo è risolvibile, in un primo intervento, tramite la riprogettazione della disposizione di questi punti di fissaggio, con un'operazione di rivisitazione formale e costruttiva dell'insieme.

La predisposizione alla separazione per distruzione

L'appoggio del design al problema del disassemblaggio parte quindi dalle problematiche delle giunzioni e della loro irreversibilità, per poi ripensarne il significato sulla base dell'architettura del

.....
¹² Come citato in precedenza, la tecnologia chiamata Active Disassembly studia la messa a punto di componenti di giunzione intelligenti che fanno uso di *smart materials*, già utilizzati nell'elettronica e nel settore aerospaziale

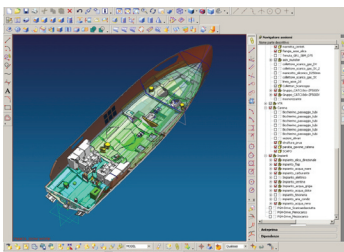
prodotto. Proprio tramite la riprogettazione dell'incontro tra queste due componenti si cerca una soluzione che migliori le operazioni di trattamento a fine vita dell'imbarcazione, in particolar modo per la separazione dei macrogruppi materici principali, in vista dell'applicazione di nuove tecnologie di riutilizzo e riciclaggio, che la ricerca del settore sta sviluppando attualmente. Da questa infatti, come dagli studi sulle giunzioni reversibili e nuovi adesivi, verrà introdotta la maggiore componente tecnologica dell'innovazione del prodotto nella fase del disassemblaggio e del trattamento a fine vita.

4.4.c Modificare l'architettura

La costruzione di un'imbarcazione presenta caratteristiche formali e di assemblaggio che derivano da arti antichissime, evolute nel tempo nei diversi materiali e per i diversi utilizzi cui il prodotto era destinato¹³. Una componente sempre molto particolare nella costruzione di questo prodotto sono i punti di giunzione tra le parti principali. Una volta costituiti da incastri in legno e colle bituminose, oggi da flange di composito con adesivi strutturali, rivetti e sigillanti, rappresentano dettagli costruttivi tipici dell'imbarcazione.

Nella produzione industriale di oggi disponiamo di mezzi avanzati per la progettazione, inutilizzati anche solo vent'anni fa, rappresentati dai software di modellazione CAD. Essi permettono di dimensionare i componenti con alta precisione, e progettare il loro assemblaggio con molto controllo. Questo permette al progettista di sperimentare a livello virtuale numerose soluzioni costruttive, ed introdurre miglioramenti grazie ad una visione più approfondita e consapevole del prodotto. Il suo intervento nella ricerca in oggetto può quindi fare affidamento su queste tecnologie per rimettere in discussione la struttura costruttiva odierna dell'imbarcazione, cercando di ripensare la configurazione dei giunti critici di cui sopra.

Infine, migliorare l'architettura dell'imbarcazione in vista del disassemblaggio può suggerire in seguito la sperimentazione di nuove giunzioni, alla luce di nuovi requisiti generati da nuove geometrie.



La progettazione CAD permette di gestire il progetto con notevole controllo dimensionale

.....
¹³ Come l'architettura degli edifici, ha creato nei secoli una cultura tecnica frutto dell'esperienza e dei fallimenti, custodita da maestri di quest'arte e con un vocabolario tutto particolare. Ad oggi, anche parlando di produzione industriale di imbarcazioni da diporto in vetroresina, molte soluzioni costruttive sono a grandi linee le stesse di secoli fa, adattate a nuovi materiali e migliorate con nuove tecnologie.

4.4.d Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo è quindi riprendere in mano la configurazione dei macroassiemi del prodotto e le loro giunzioni, per migliorarne la costruzione e l'assemblaggio in vista delle successive operazioni di disassemblaggio, partendo dalle problematiche analizzate sul prodotto attuale.

É importante ricordare infine lo scopo che guida la ricerca verso un migliore disassemblaggio. Come descritto in precedenza, il recupero di componenti, il riciclo di materiali e l'aggiornabilità delle parti sono dei punti di arrivo che passano per la possibilità di separare il prodotto nelle componenti omogenee di cui è composto. L'omogeneità di cui si parla non è solo di tipo materico, ma anche funzionale ed estetico, in vista degli obiettivi che ci si pone di raggiungere con il disassemblaggio.

Capitolo 5

La separazione dell'assieme interni

La complessità costruttiva di un'imbarcazione necessita di operazioni importanti di disassemblaggio per il suo trattamento di fine vita, come ampiamente analizzato fino a qui. Il prodotto presenta una notevole eterogeneità, sotto diversi aspetti, che non permette di poterne ricavare valore dopo l'uso perchè questa sua caratteristica ostacola qualsiasi operazione di recupero e riciclo.

5.1 La diversità dei macroassiemi del prodotto

Il disassemblaggio che si cerca di raggiungere, quindi, consiste nella separazione di gruppi omogenei che possano essere trattati con le dovute procedure. Si tratta di ottenere un livello di ordinamento separato delle parti che sia funzionale all'innesco di un ciclo economico, in grado di stimolare spontaneamente l'evoluzione della progettazione verso la sostenibilità del prodotto a fine vita.

Obiettivi del disassemblaggio

Si procede quindi con l'analisi di questa eterogeneità, caratteristica del prodotto, per identificare le modalità di intervento che siano più funzionali al raggiungimento degli obiettivi stabiliti.

5.1.a Eterogeneità materica

La costruzione di un'imbarcazione coinvolge materiali e processi produttivi differenti, come descritto nei capitoli precedenti.

Vetroresina

Il composito costituisce il guscio principale della struttura, e rappresenta almeno un terzo del peso totale dell'imbarcazione. Una proporzione variabile in base al numero di componenti realizzate in questo materiale, a seconda delle scelte progettuali che possono prevedere cotrostampate complete o parziali, così come ricavare parte delle forme funzionali all'arredo da queste scocche o da allestimenti successivi in legno¹. Per le considerazioni fatte in precedenza, è obiettivo della ricerca sul disassemblaggio cercare di isolare e recuperare il maggior peso possibile di questo materiale, senza che sia contaminato da altri componenti diversi e difficilmente separabili.



Rinforzi (PU, legno, alluminio)

Non bisogna dimenticare che quasi sempre le scocche in composito inglobano tra i loro strati di fibra dei rinforzi. Si tratta di pannelli dello spessore variabile di un paio di centimetri, costituiti spesso da poliuretano espanso. Lo scopo di questi rinforzi è creare una struttura cosiddetta sandwich, che presenta quindi caratteristiche meccaniche superiori alla sola pelle in vtr, grazie alla maggiore sezione². Analogamente è necessario rinforzare l'opera viva dello scafo, nelle superfici tra la chiglia e il ginocchio, con delle strutture di rinforzo che ne aumentino la sezione, in senso trasversale e longitudinale. La soluzione più economica e meno industrializzata per realizzare tali rinforzi consiste nell'inglobare nella stratifica di vetroresina degli estrusi in poliuretano, di sezione rettangolare. Il loro rivestimento consente di ottenere una maggiore sezione resistente.



Tuttavia, questo tipo di inserti, come quelli sulle murate, rappresentano una contaminazione del laminato dal punto di vista materico, che sarà difficilmente separabile da questi componenti in poliuretano.

Oltre ai rinforzi strutturali, abbiamo quelli funzionali ai fissaggi degli accessori, costituiti da pannelli di compensato marino o da piatti di alluminio. Questi vengono sempre inglobati nella stratifica, in corrispondenza delle zone dove sia necessario operare dei

**anima in poliuretano espanso
per rinforzo strutturale**

.....
1 Il cruiser che presenta hard-top fisso aumenta questa stima, che dipende anche dalla ricchezza di allestimenti e rifiniture, che ne aumentano il peso complessivo con altri materiali diversi.

2 Viene prevista tale struttura nelle zone sollecitate a stress a flessione, come le murate dello scafo, il calpestio del pozzetto e dei trincarini, il ponte di coperta nella zona del prendisole, ecc.

fissaggi tramite viti o bulloni passanti, che non farebbero presa sufficiente sul composito, o ne provocherebbero sollecitazioni molto concentrate e dannose nel tempo. Tali inserti sono disseminati in numerose zone di tutte le stampate in vetroresina. Nello scafo consentono il fissaggio dell'impiantistica di sala macchine e non solo, nel pagliolo sono necessari al fissaggio di gran parte del mobilio, come nel cielino, e in coperta ogni bitta e ogni candelieri necessita di un piatto in alluminio per il serraggio dei perni filettati. È quindi facilmente comprensibile la difficoltà nel separare la vtr dagli altri materiali, quando ingloba al suo interno tutti questi inserti.

Legno

Secondariamente alla fibra di vetro, un cruiser allestito è costituito in gran parte da componenti in legno. Più precisamente, ad oggi si utilizza per lo più il compensato multistrato, ad eccezione dei rivestimenti esterni in teak massello o impiallacciato. Il compensato utilizzato nella nautica è prodotto utilizzando collanti resistenti all'umidità e legno okumè, più rigido del pioppo, ed è chiamato anche compensato marino. La sua applicazione principale riguarda le paratie, siano esse stagne, a prua e poppa, sia strutturali interne, impiallacciate o eventualmente rivestite con tappezzeria. Per la realizzazione del mobilio può essere utilizzato multistrato tradizionale, rifinito in base alle necessità. In legno impiallacciato sono realizzati anche i rivestimenti del pagliolo interno, e i coperchi dei gavoni e delle ispezioni verso scafo e coperta. All'esterno dell'imbarcazione, troviamo compensato impiallacciato teak per il rivestimento del calpestio, e ulteriori pannelli e profili per coperchi e dettagli estetici.

Acciaio, alluminio

In acciaio inossidabile, o in alluminio, sono realizzati gli accessori di coperta come candelieri, tientibene, bitte e passacavi, musoni dell'ancora e altro ancora. Questi sono fissati alla vetroresina tramite giunti filettati, che sono stretti su rinforzi metallici inglobati nella stratifica del composito, oltre che incollati e sigillati. Oltre a questi, è da ricordare tutta la ferramenta costituita da cerniere, alzapaglioli, flange di fissaggio per accessori vari, serrature ecc. Inoltre tutti gli impianti che prevedono uno sbocco all'esterno comprendono degli ombrinali metallici, o nel caso dei serbatoi dei tappi filettati per imbarco acqua e carburante, anch'essi stretti e incollati al composito.





Da ricordare inoltre l'uso di profilati estetici, utilizzati in corrispondenza delle linee di accoppiamento a vista tra le stampe, che ne rifiniscono l'aspetto e nascondono il bordo tagliato e incollato delle flange. Gli oblò e gli osteriggi presentano dei telai con questa funzione, e ugualmente viene rifinito il taglio del tambuccio. Infine il bottaccio, quando non rifinito in legno o materiale plastico, viene rivestito all'esterno da una profilato a C di acciaio inox, formato a segmenti lungo la curva di accoppiamento tra scafo e coperta.

Per imbarcazioni open senza tetto rigido, il parabrezza viene intelaiato in un profilo di acciaio, o alluminio, che ne garantisce il fissaggio e la rigidità durante le sollecitazioni. È un dettaglio estetico spesso molto determinante, e rappresenta il punto di fissaggio contemporaneo di vetroresina, metallo e vetro, saldamente incollati e sigillati tra loro in maniera difficilmente reversibile.

Oltre ad altri eventuali accessori fissati a scafo e coperta, ricordiamo infine tutta la viteria utilizzata nel fissaggio di ogni componente, anche interno, dell'imbarcazione. Per ogni foro che possa generare infiltrazioni viene previsto del sigillante, che aggiunge al giunto filettato anche l'incollaggio. Questo rende le viti ancora più salde e di difficile estrazione dal composito. I cablaggi elettrici rappresentano un'altra importante componente metallica in termini di peso, sebbene siano inseriti successivamente all'assemblaggio, tramite canaline che ne facilitano anche l'eventuale estrazione.

Vetro



Saldamente incollato ad un profilo in acciaio o alla vetroresina, il parabrezza è presente sia in una piccola barca open, sia nel cruiser dotato di hard-top e pozzetto chiuso. Nel primo caso è fissato ad un telaio metallico, che una volta rimosso porta con sé anche il vetro. Nel caso di un'imbarcazione chiusa, il cristallo è direttamente incollato ad una flangia in vetroresina. Tale flangia, inoltre, è spesso in comune a tetto rigido e coperta, così che il parabrezza di fatto costituisce ulteriori punti di unione tra le due strutture in composito. Sempre tramite incollaggio vengono installate eventuali finestrate fissate sulle murate dello scafo, o talvolta in alcune zone della coperta. Gli oblò sono parte di un componente rimovibile (ad eccezione del telaio metallico incollato allo scafo), quindi risultano smontabili.

Tappezzeria

Pensando sempre all'isolamento della vetroresina, dobbiamo considerare talvolta anche la presenza di tappezzeria incollata.

Per la rifinitura dell'arredo interno, può venire rivestita una parte del paglio o dello scafo, verso l'interno dell'imbarcazione, con tappezzeria estetica, tramite incollaggio. Questa operazione consente di conferire un buon aspetto estetico alla superficie, senza la necessità di predisporre pannelli specifici, soprattutto in presenza di superfici dalla geometria complessa e anche non sviluppabile, entro certi limiti.

5.1.b Eterogeneità funzionale

Ma oltre alle diversità di composizione materica, l'imbarcazione è un prodotto complesso anche per quanto riguarda la funzionalità delle parti da cui è costituito. Possiamo infatti considerare un cruiser come una piccola casa, alloggiata in una struttura da mezzo di trasporto marittimo. Al crescere delle dimensioni del prodotto questa caratteristica di coesistenza funzionale è sempre più visibile, pensando ai grandi yacht che dispongono di spazi e forme più adatti ad accogliere al loro interno un piccolo albergo.

La lunghezza che prendiamo in esame rappresenta un caso intermedio tra l'imbarcazione a pura vocazione marina e l'appartamento galleggiante. Qui troviamo le sfide più difficili in termini di progettazione degli spazi e gestione degli ingombri, oltre alle difficoltà per riuscire a garantire un comfort casalingo mantenendo al contempo prestazioni da mezzo marino.

La barca, come tale, esprime la sua funzionalità nella navigazione, attraverso lo scafo, la propulsione e gli accessori per governarlo. L'opera viva presenta una geometria adatta alla navigazione, in questo caso di tipo planante, che garantisce prestazioni, controllo e sicurezza. Questa forma non è pensata per ottimizzare l'introduzione di allestimenti interni, soprattutto per l'incoerenza tra la geometria a superficie complessa dello scafo e la costruzione per piani del mobilio. La squadratura dei volumi interni di una barca di tale lunghezza richiede una progettazione molto precisa per riuscire a sfruttare tutto lo spazio possibile, con i dovuti compromessi in termini di vivibilità interna.

Anche la propulsione rappresenta fonte di rumore e vibrazione, che male si accompagna al comfort richiesto all'interno. Tuttavia una motorizzazione più potente è sinonimo di sicurezza e rapidità di spostamento, requisiti richiesti ad un cruiser abilitato alla navigazione in mare aperto. Anche altri servizi, come il generatore di energia elettrica, comportano lo stesso problema, dovuto alla



Le contraddizioni funzionali



^ Le componenti funzionali ed estetiche del prodotto eterogeneo

necessità di contenere in uno spazio ristretto tutti i sistemi necessari all'autonomia del mezzo.

Inoltre l'ambiente di navigazione implica sollecitazioni meccaniche non indifferenti per la struttura, che anche se progettata per resistervi a lungo, non può evitare di trasmetterle a tutta la costruzione solidamente assemblata in sé stessa, interni compresi. Questi, al contrario, puntano a restituire la comodità di una casa, completa di spazio vivibile e servizi per la vita quotidiana, come cucina, bagno, climatizzazione e sistemi per lo svago.

Un prodotto interessante

Tali contraddizioni ritrovate nel prodotto imbarcazione, nella declinazione analizzata in questo lavoro, risultano molto interessanti per un'analisi più concettuale del suo utilizzo e delle sue prestazioni. Da questo derivano i diversi requisiti delle parti che lo compongono, e l'incontro di numerosi ambienti produttivi differenti, sintetizzati in una

forma comune. Le diverse sfaccettature che presenta sono legate anche a considerazioni più concretamente industriali, riportandoci al discorso relativo alle caratteristiche di una produzione ibrida tra pratiche artigianali e logiche industriali.

5.1.c Eterogeneità requisiti estetici

Osserviamo quindi il prodotto anche da un punto di vista estetico. L'imbarcazione da diporto presenta infatti caratteristiche formali che, al pari di un'automobile, le conferiscono un certo appeal, con cui cercare il gradimento del consumatore e differenziarlo nel panorama dell'offerta commerciale della concorrenza. Non è facile pragonare l'importanza di questa componente nel valore del prodotto con quella di un'auto, dal momento che le prestazioni offerte da un'imbarcazione da diporto di piccola fascia sono molto condizionate dagli allestimenti, dal corredo di accessori installati, a fronte di un certo prezzo. L'estetica quindi passa un po' in secondo piano rispetto alla funzionalità legata alla navigazione e alle comodità della vita a bordo.

Resta comunque da considerare come vi sia una forte differenziazione nei requisiti estetici tra scafo, coperta e interni. Giudichiamo dall'esterno l'attualità di stile di una barca dalle linee della sua coperta e dalla forma di alcuni suoi dettagli, così come ne intuiamo il pregio dalle finiture di acciai, legni, cuscinerie e illuminazione esterna.

Gli interni rappresentano una parte più privata del mezzo, anche se rappresentano pur sempre il parallelo della casa dell'armatore, nel periodo di vacanza. Per taglie medio-piccole di fascia intermedia, la possibilità di personalizzazione degli allestimenti interni è molto limitata. Oltre alle tappezzerie rimovibili, generalmente le essenze del mobilio, delle paratie ed eventualmente del rivestimento del pagliolo sono scelte di cantiere senza possibilità di cambiamento, per garantire una standardizzazione ed un prezzo concorrenziale. Per questa componente valgono le stesse considerazioni del design d'interni domestico, in termini di mode e tendenze che mutano nel tempo, che portano a riconoscere l'obsolescenza dell'arredo di vecchie case dei nostri nonni rispetto al gusto odierno. Allo stesso modo possiamo facilmente renderci conto di come il gusto nella scelta dei legni e dei colori sia evoluto nei decenni, così come la gestione degli spazi e le soluzioni costruttive.

Se coperta e interni rappresentano quindi una forte componente

stilistica nell'immagine del prodotto, lo scafo rappresenta invece una parte meno soggetta a tali implicazioni estetiche. La sua geometria è generata da requisiti strettamente funzionali, e solo le murate possono portare qualche dettaglio formale, legato al posizionamento di oblò o altre porzioni vetrate. Il disegno di uno scafo non è soggetto a tendenze estetiche come una coperta, e di conseguenza la sua forma non risente dello stesso invecchiamento stilistico. La sua progettazione, inoltre, è frutto di esperienza e sperimentazioni che portano spesso a mantenere lo stesso scafo nell'evoluzione dei modelli di uguale lunghezza, forti del successo prestazionale dimostrato in passato, e che non risente ovviamente del passare del tempo.

5.2 Vantaggi della separazione degli interni

L'imbarcazione può quindi essere considerata come un assieme di componenti eterogenei non solo dal punto di vista materico, ma anche funzionale ed estetico. Gli obiettivi ricercati tramite il disassemblaggio consistono nell'ottenere la separazione di componenti omogenee, e in base all'analisi svolta fin qui possiamo cercare quest'omogeneità sotto diversi aspetti.

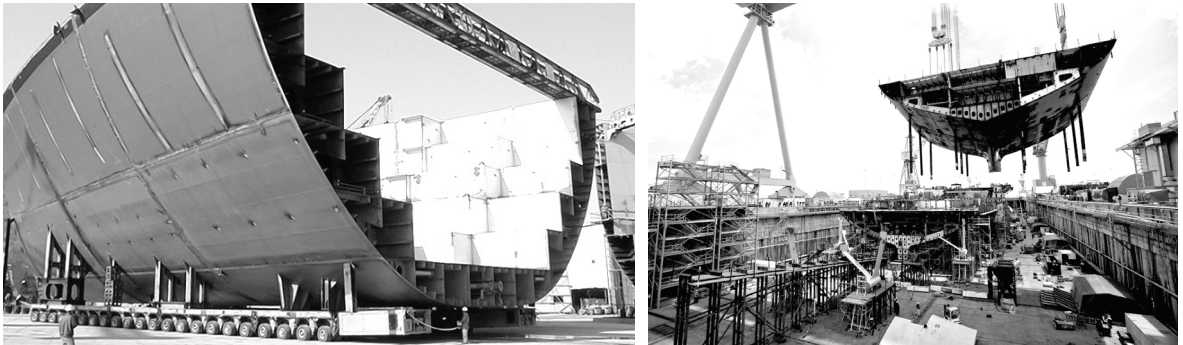


La modularità

Proprio la diversità tra le macrocomponenti evidenziata nel capitolo precedente suggerisce la possibilità di ricercare la successiva separazione tra le componenti stesse, che rappresentano sotto-prodotti con requisiti, prestazioni e obsolescenza diversa. Ad oggi la costruzione del prodotto non consente il loro successivo isolamento, a causa principalmente della gerarchia con cui vengono assemblati e dell'irreversibilità delle giunzioni utilizzate.

Si introduce quindi il concetto di modularità, secondo cui un assieme è gestito in componenti indipendenti, che tramite un sistema di assemblaggio ordinato si uniscono a costituire il prodotto finito. In una tale configurazione, i vantaggi derivano dalla possibilità di progettare, produrre, separare e riparare un modulo senza intaccare la struttura principale, che funziona come una scatola in grado di contenere e rendere funzionanti le diverse parti.

Nella nautica questo concetto è già oggetto di studio, anche per la produzione da diporto. Il sistema deriva dai metodi di costruzione delle grandi navi in acciaio, le quali vengono proprio assemblate in moduli, progettati e prodotti separatamente. Vi sono degli studi



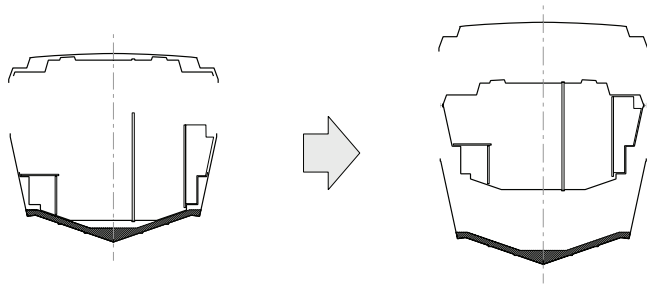
applicati al settore del refitting, che propongono una predisposizione modulare volta a facilitare le operazioni di sostituzione e aggiornamento delle parti, tramite sistemi di fissaggio condivisi tra i moduli, in grado di separare quelli voluti senza danneggiare la struttura. Il concetto dell'aggiornabilità è molto interessante, come verrà esposto in seguito, anche in termini produttivi e commerciali.

La sfida consiste nel riuscire ad applicare il metodo a imbarcazioni da diporto di taglia inferiore, compatibilmente con la produzione cantieristica attuale e le modalità di progettazione utilizzate oggi.

La costruzione può essere semplificata nei grossi componenti in vetroresina, assemblati tra loro e successivamente allestiti negli arredi e negli accessori. Consideriamo quindi le componenti rappresentate dallo scafo, con relativi allestimenti, gli interni, compresi nelle controstampate che ne definiscono il volume, e la coperta, con relativi accessori. L'obiettivo più interessante in questo scenario è rappresentato dalla separazione tramite disassemblaggio di queste tre parti, caratterizzate come spiegato da differenti caratteristiche. In particolare, riflettere sulla possibilità di gestire separatamente il blocco relativo agli interni apre interessanti prospettive di tipo produttivo, economico e commerciale.

Separare gli interni significa rimuovere dal prodotto la componente materica differente più voluminosa rispetto alla vetroresina, nonché rendere accessibili tutti i componenti che trovano posto nelle intercapedini. Il punto più critico attualmente nelle operazioni di disassemblaggio riguarda proprio l'accesso alle intercapedini sotto alle controstampate, perchè la difficoltà risiede soprattutto nella separazione del pagliolo dallo scafo. Poter gestire in un blocco unico le controstampate permetterebbe l'isolamento della coperta e dello scafo, meglio se senza necessità di distruggerli. Mantenere

Separazione e integrità



l'integrità consente infatti di ottenere un risultato dal valore più alto, dal momento che, quando possibile, il riuso è preferibile al riciclo. Interessanti risvolti possono generarsi anche per le operazioni di assemblaggio. DFA e DFD infatti possono condividere strategie e vantaggi, ottenuti migliorando la progettazione dei sistemi di giunzione e delle giunzioni stesse.

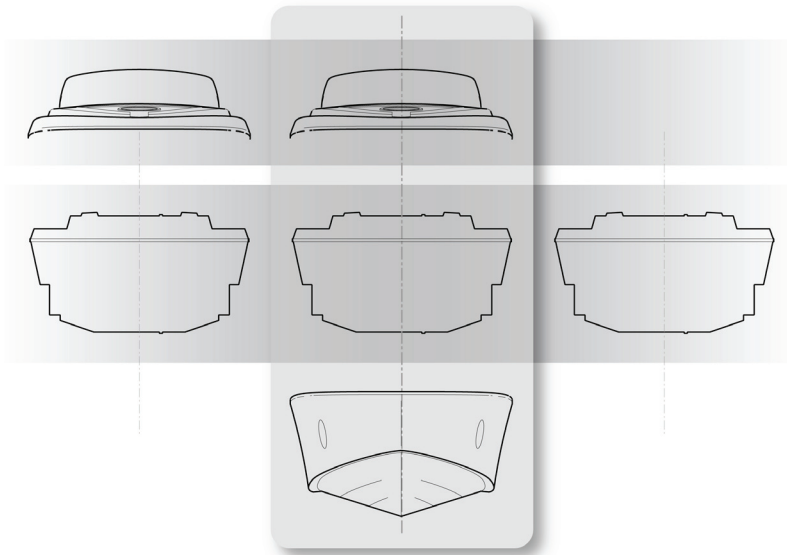
Risvolti positivi nella produzione

Pensare al blocco interni come indipendente dal resto della struttura introduce anche nuove possibilità dal punto di vista costruttivo dell'imbarcazione.

Lavorare su una cella separata dal guscio esterno di scafo e coperta può facilitare non poco il lavoro di allestimento del modulo, che risulta più facilmente accessibile dal entrambi i lati della pelle di composito. Numerosi fissaggi potrebbero essere operati dall'esterno di questa cella, così come le operazioni di cablaggio e passaggio dei cavi elettrici e idraulici. Ad oggi la progettazione CAD permette il controllo virtuale degli ingombri dei diversi componenti che verranno installati, quindi la cella può essere lavorata senza incorrere in problemi di assemblaggio con scafo e coperta, avendo già previsto le intercapedini che si verranno a creare a barca chiusa. Altre implicazioni di tipo produttivo riguardano la possibilità di svolgere in parallelo l'allestimento di scafo e interni,



mentre ad oggi il montaggio avviene successivamente alla posa degli accessori nello scafo. Risulterebbe più flessibile la preparazione di più allestimenti interni in tempi diversi rispetto a quelli di allestimento dello scafo, con una migliore gestione delle diverse linee di montaggio.



Schema concettuale della possibilità di composizione e ricambio dei macro-componenti dell'imbarcazione

La possibilità di spostare e rendere indipendente l'allestimento degli interni consentirebbe anche di condividere alcuni componenti con i terzisti responsabili della progettazione degli interni, lavorando su un modulo reale gestibile separatamente dal resto. Spesso, infatti, risulta difficile coordinare la progettazione del mobilio con i primi prototipi in fase di costruzione, così come seguire l'adattamento delle prime forniture con rilievi e modifiche da realizzare in cantiere, a barca aperta in fase di montaggio. La cella indipendente, già esemplificativa del volume esatto che ospiterà il mobilio interno, potrà fungere da dima di lavoro per la falegnameria esterna, agevolando la progettazione e limitando gli errori e le modifiche.

Uno degli aspetti più interessanti dell'approccio modulare all'architettura del prodotto è rappresentato dalle possibilità di aggiornamento e riparazione delle parti di cui è costituito. Come analizzato in precedenza, la diversità tra i macroassiemi che costituiscono l'imbarcazione, di tipo materico, funzionale ed

Aggiornamento e riparazione

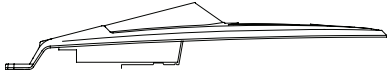
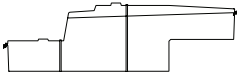
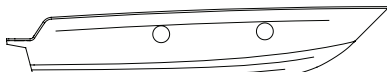
estetico, comporta che esse raggiungano l'obsolescenza in periodi diversi.

Emerge quindi l'utilità di poter separare in maniera indipendente una componente che necessiti, ad esempio, di riparazione o sostituzione, o più in generale che si voglia rinnovare con una nuova versione, aggiornata nelle caratteristiche e nelle prestazioni.

Ragionando sempre nelle tre parti di cui sopra, si pensi alla possibilità di rinnovare la veste estetica dell'imbarcazione rinnovando le linee esterne tramite la sostituzione della coperta, modificando la vivibilità del pozzetto ad esempio, o sostituendo forme vecchie di un decennio con il disegno della nuova gamma in produzione. Inoltre la coperta è soggetta a sollecitazioni atmosferiche che ne degradano qualità e finiture, e la sua sostituzione restituisce la possibilità di avere accessori, teak e vetroresina come a barca nuova.

\\Gli interni possono rappresentare un fattore di obsolescenza tanto estetico quanto funzionale. Come l'evoluzione delle tendenze stilistiche e la voglia di cambiamento portano al desiderio di rinnovare l'arredamento di casa, allo stesso modo il mobilio dell'imbarcazione può suscitare la stessa voglia di rinnovamento, molto prima che essa sia giunta a fine vita. Può capitare, inoltre, che a cambiare siano i requisiti di uso del mezzo. Al variare del numero di persone che si intende imbarcare, e alla tipologia di navigazione e vacanza per il quale è destinata l'imbarcazione, può essere utile rinnovare la vivibilità interna nelle compartimentazioni e

**Schema delle diverse
caratteristiche formali e
funzionali dei componenti
dell'imbarcazione**

macro-componente	requisiti estetici	requisiti funzionali	obsolescenza estetica	obsolescenza funzionale
	•••	••	•••	•••
	••	••	••	••
	•	•••	•	•

nei servizi, senza per questo acquistarne una nuova.

Accanto a queste ipotesi di flessibilità della costruzione del prodotto, si considera la maggiore durata di vita del più durevole dei componenti, ovvero lo scafo. Se dal punto di vista delle proprietà fisiche e meccaniche necessita di manutenzione e controllo regolare, viceversa non risente di invecchiamento dal punto di vista prestazionale, dal momento che la sua forma, quasi unicamente votata alla funzione di navigare, non è soggetta a rinnovamenti stilistici come nel caso dei componenti appena descritti. In termini progettuali, uno scafo ben riuscito è un prezioso punto di arrivo nella ricerca di un cantiere, che spesso lo ripropone nei nuovi modelli, rinnovato nei particolari influenzati dalla linea del bottaccio e dalle aperture verso l'interno.

Un cantiere che potesse proporre un prodotto rinnovabile negli anni, nel suo stile e nella funzionalità degli allestimenti, per una barca di questa fascia, attirerebbe l'interesse dell'armatore che vedrebbe la possibilità di non incorrere nei problemi legati alla gestione dell'usato, quando si trovasse a voler rinnovare il suo acquisto. La flessibilità di aggiornamento corrisponderebbe ad una maggiore offerta produttiva, dal momento che il sistema è predisposto all'intercambiabilità dei moduli, progettati per essere compatibili. La gestione dell'usato e del fine vita, inoltre, sarebbe meglio accettata da parte del cantiere, che può attrezzarsi per scomporre agevolmente il prodotto in parti, recuperando valore da esse, eventualmente reintroducendole nel ciclo produttivo e nell'offerta modulare.

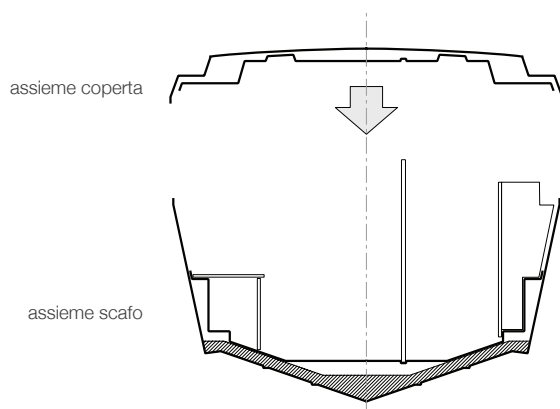
Capitolo 6

Ipotesi progettuale della cella modulare

6.1 La nuova configurazione

Secondo quanto analizzato in precedenza, si procede con l'analisi tecnica della proposta di separazione del sottoassieme degli interni dell'imbarcazione¹.

Come vediamo schematizzato, l'imbarcazione presenta una scatola interna, costituita dai controstampi illustrati nei capitoli precedenti, all'interno della quale trova posto l'allestimento del mobilio e dei servizi necessari alla vita sottocoperta.



Sezione della costruzione attuale dell'imbarcazione in vetroresina

.....
1 Prendiamo in considerazione ancora il caso studio presentato in precedenza, relativo ad un motoscafo da crociera di lunghezza inferiore ai 10m, con un discreto allestimento interno e dotato di comfort necessari per piccole crociere in mare aperto.

La divisione longitudinale in 3 macrozone

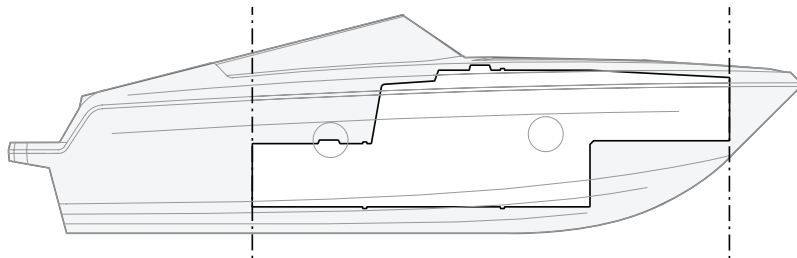
Il progetto intende studiare la possibilità di rendere estraibile tale parte del prodotto, tramite adeguate operazioni di disassemblaggio, riprogettando la configurazione dei componenti coinvolti nella sua costruzione, le giunzioni utilizzate e la loro disposizione.

Rendere smontabile un componente dell'assieme significa pensare ad un assemblaggio che renda possibile accedervi, secondo procedure studiate, e operare sui suoi punti di fissaggio. È quindi necessario predisporre una gerarchia di assemblaggio mirata agli scopi cui è destinato il disassemblaggio, così come garantire la gestione agevole delle giunzioni responsabili del suo fissaggio, per consentirne la rimozione nella maniera più rapida ed efficace. In seguito, partendo dalla situazione costruttiva attuale, è altrettanto necessario analizzare i requisiti strutturali cui deve rispondere il nuovo componente, per garantire le stesse prestazioni con un nuovo disegno intelligente.

L'eterogeneità analizzata nei capitoli precedenti suggerisce una suddivisione del prodotto in macroaree, sia dal punto di vista materico che da quello delle funzioni svolte dai diversi componenti. Analizzando la barca in sezione longitudinale, vediamo come i volumi interni del guscio principale siano divisibili in tre zone, rispettivamente con funzione di salamacchine, allestimento interno e gavone di prua. Le due paratie stagne strutturali, che rappresentano le paratie di primaria costruzione e sostegno della scatola, delimitano queste aree con precisione e circoscrivono la zona che ospiterà la cella degli interni.

La sezione da separare interessa quindi questo segmento intermedio dell'imbarcazione, che presenta già in partenza delle delimitazioni molto precise.

Sezione longitudinale
schematica dei volumi interni



Questo comparto del prodotto si presta ad ospitare quello che, a tutti gli effetti, diventa un modulo, in grado di inserirsi nell'assieme predisposto al suo alloggio. E' progettato per essere rimosso ed eventualmente sostituito con un altro simile, compatibile con la struttura che lo ospita.

Se per accedere a questo modulo è ovviamente necessario aprire il guscio esterno rimuovendo la coperta, anch'essa può essere gestita secondo questa segmentazione trasversale dell'imbarcazione, suggerita dalle tre macroaree funzionali del prodotto. Potrebbe essere utile, infatti, considerare di poter rimuovere solamente la porzione di coperta intermedia, relativa al vano che ospita la cella interna. Questo comporta alcuni vantaggi anche nella gestione dei fissaggi coinvolti nel suo assemblaggio, dal momento che viene semplificato un perimetro di giunzione rappresentato dalle sezioni più lineari di bottaccio e dalle due paratie strutturali. Sarà necessario prevedere un assemblaggio reversibile con le altre parti di coperta, quella relativa alla sala macchine e quella che chiude il gavone di prua.

Tale configurazione generale presuppone un sistema di fissaggio particolare, che garantisca le prestazioni richieste dall'assieme e al contempo la possibilità di apertura e separazione dei moduli. Le giunzioni saranno quindi progettate per essere adeguatamente gestite, eventualmente tramite documentazione apposita* che indichi le procedure da seguire per il corretto trattamento del prodotto in fase di disassemblaggio.

La struttura della cella si appoggerà sui fissaggi predisposti nella parte interna del guscio scafo+coperta principale, un po' come avviene per una tenda da campeggio, che all'interno dell'involucro resistente all'acqua ospita la stanza da notte, la sorregge con la sua struttura e lascia un'intercapedine di isolamento, dove trovano posto i fissaggi².

Diversamente dalla tenda, invece, la cella degli interni dell'imbarcazione contribuirà alla struttura dell'assieme finito. Essa infatti porta con sé le paratie interne, molto influenti sull'integrità strutturale della costruzione, così come le geometrie delle controstampate conferiscono ulteriore sezione resistente al guscio



dettaglio della camera interna di una tenda da campeggio

.....
 2 Allo stesso modo, infatti, identificare una cella interna separata può introdurre spunti interessanti nella ricerca di un maggiore isolamento degli interni, in termini acustici, termici e agli agenti atmosferici. Per questo sarebbe opportuno sperimentare giunzioni avanzate, in grado di conferire al contempo solidità e assorbimento delle sollecitazioni.

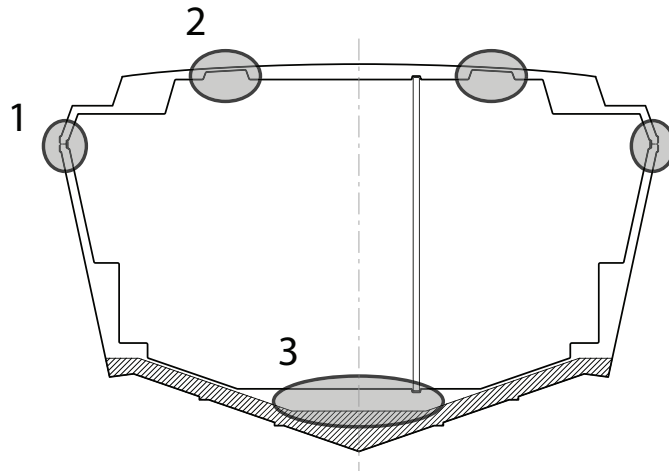
di scafo e coperta. Vi sono dei punti di appoggio di un componente sull'altro che rivestono particolare importanza nell'integrità della struttura finita, e saranno da considerare nello studio delle nuove giunzioni.

Di seguito vengono quindi analizzati i punti di fissaggio coinvolti nella nuova configurazione, ed in base ai requisiti prestazionali e di disassemblaggio vengono valutate alcune possibilità di riprogettazione. Per i particolari più interessanti verrà poi studiata una soluzione specifica, funzionale alla separazione dei componenti nei punti più critici del prodotto.

6.2 Analisi delle giunzioni nella nuova configurazione

La nuova configurazione viene analizzata a livello più specifico secondo i punti di fissaggio coinvolti nelle fasi di disassemblaggio, che vediamo schematizzati.

sezione trasversale con
schema dei punti di giunzione
principali tra cella,
scafo e
coperta



La sezione trasversale offre la panoramica della maggior parte delle giunzioni tra la cella degli interni ed il guscio esterno, costituito da scafo e coperta. Schematizzando la situazione, abbiamo quattro situazioni di fissaggio.

Giunzione scafo-coperta (1)

Lungo la linea di chiusura del guscio esterno abbiamo la giunzione più critica e interessante del prodotto. Inoltre, nella nuova configurazione vediamo coinvolto in questo punto anche il fissaggio della cella, che viene raggruppato alla giunzione per semplicità di disassemblaggio e razionalità strutturale. Questo punto raccoglie quindi la chiusura di tutte e quattro le stampate principali dell'imbarcazione. Esso dovrà garantire l'impermeabilità dall'ambiente esterno, la resistenza richiesta nella vita del prodotto, e non ultima la possibilità di separazione dei componenti, oggetto del lavoro di riprogettazione. Strutturalmente questa giunzione non si farà carico di tutto il peso della cella interna, che si appoggia in primo luogo sullo scafo e viene vincolata al momento della chiusura con la coperta. Va però ricordata l'importanza di prevedere le operazioni di costruzione e fissaggio del giunto, oltre ovviamente a quelle di disassemblaggio, in maniera che risultino verosimilmente implementabili nella situazione produttiva odierna.

Fissaggi del pagliolo sullo scafo (2)

La cella scarica il suo peso in diverse zone di contatto con lo scafo, in particolare sulle strutture di rinforzo in vetroresina. Il pagliolo è in grado di incastrarsi su queste strutture, sfruttando gli appoggi disponibili tra le due stampate, compatibilmente con le necessità formali dell'ambiente interno. A seconda delle caratteristiche dimensionali dell'imbarcazione, il pagliolo può presentare delle zone di calpestio centrali che risultano rialzate rispetto alla chiglia, e che necessitano di elementi di collegamento e sostegno con le strutture dello scafo. In questi punti possiamo trovare dei fissaggi, in cui vengono posizionati dei setti di sostegno in legno, o dei telai metallici più articolati. È un dettaglio costruttivo importante nell'architettura del prodotto, perchè garantisce continuità strutturale in corrispondenza delle paratie interne, scaricando il peso sulle strutture dello scafo. Questa connessione può essere migliorata per facilitare la separazione del pagliolo dallo scafo, tramite giunzioni rimovibili o sezionabili.

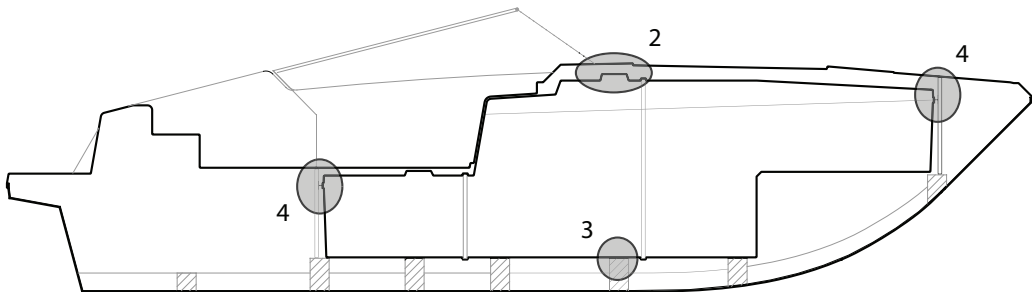
Fissaggi del cielino con la coperta (3)

In maniera simile al fissaggio del pagliolo sullo scafo, anche il cielino presenta zone di contatto con la coperta. Questi vengono utilizzati come punti di fissaggio, spesso in corrispondenza di nervature ottenute sulle superfici piane del controstampo, con lo

scopo di irrigidire la stampata. Tali zone possono essere sfruttate per realizzare una giunzione controllata e reversibile, che garantisca solidità al sistema, una volta chiuso.

La giunzione della cella con le paratie strutturali (4)

La cella può essere vincolata ulteriormente tramite il fissaggio con le paratie strutturali, di prua e di poppa. Tali paratie, che di fatto delimitano la “culla” che alloggia il modulo degli interni, sono posizionate tenendo conto di un margine di errore che assorba eventuali variazioni di produzione e posizionamento dei componenti; la giunzione con la cella dovrà adattarsi a questo movimento longitudinale, permettendone il fissaggio attraverso le paratie, anche dall'esterno del vano modulare. Inoltre queste paratie possono essere sezionate all'altezza della giunzione scafo-coperta, per agevolare la sigillatura con le stampate; la cella potrebbe sfruttare questi punti di sezione per definire il suo assemblaggio. A queste zone descritte dobbiamo aggiungere i punti di incontro delle



sezione longitudinale con le giunzioni principali

stampate con la cella interna in corrispondenza di aperture passanti. È il caso degli oblò laterali, che vengono fissati tra pagliolo e scafo su flange appositamente rinforzate, per permettere il posizionamento di un telaio estetico e l'inserimento di giunti filettati. Allo stesso modo, l'osteriggio di prua rappresenta un'apertura tra cielino e coperta, così come quella del tambuccio in pozzetto.

Lo studio prosegue analizzando nello specifico i requisiti funzionali di alcune giunzioni particolarmente interessanti, al fine di progettarne il miglioramento in termini di reversibilità per il disassemblaggio e la separazione delle parti.

PUNTO DI GIUNZIONE	INTERVENTO	COMPONENTI COINVOLTI		
		scafo	cella interna	coperta (sezione intermedia)
scafo-coperta (1)	modifica della gerarchia di assemblaggio - ridisegno delle flange e introduzione di un componente di connessione	X	X	X
cella-scafo (2)	ottimizzazione geometria per nervature e introduzione di un componente di connessione		X	X
cella-coperta (3)	ottimizzazione geometria per nervature e introduzione di un componente di connessione	X	X	
paratie strutturali	modifica della gerarchia di assemblaggio - ridisegno delle flange e introduzione di un componente di connessione	X	X	
osteriggio di prua e tambuccio	ottimizzazione flange e accoppiamento per taglio di separazione		X	X
oblò laterali	ottimizzazione flange e accoppiamento per taglio di separazione	X	X	

Tabella 2.3.1 - Riassunto dei punti di giunzione e relative ipotesi di intervento per il disassemblaggio

6.3 Ridisegno delle giunzioni: il componente pultruso

I punti di fissaggio evidenziati nella nuova configurazione devono essere ripensati per soddisfare i requisiti analizzati fin qui. La cella interna deve potere essere assemblata in maniera reversibile all'interno del guscio apribile costituito da scafo e coperta. Al contempo, le giunzioni devono garantire le prestazioni di resistenza che sono richieste al prodotto, tramite fissaggi di tipo chimico e meccanico disponibili oggi nella produzione nautica.

6.3 a – Alternative di riprogettazione delle giunzioni

Rendere un giunto resistente e durevole nel tempo è relativamente facile. Ad oggi esiste una grandissima varietà di incollaggi, in grado di soddisfare qualsiasi necessità in ogni situazione. La loro applicazione è rapida e di facile esecuzione, i vantaggi molteplici. Tuttavia l'incollaggio è un tipo di fissaggio estremamente difficile da rimuovere, e i componenti assemblati in questo modo non risultano più divisibili, se non tramite la distruzione del giunto, o il danneggiamento delle parti coinvolte. Diversamente, un giunto meccanico consente più facilmente l'apertura della giunzione, anche se comporta diversi svantaggi prestazionali rispetto

agli adesivi. Inoltre presuppone una maggiore complessità di esecuzione, e diversi vincoli tecnici legati all'accesso al giunto nelle fasi di assemblaggio.

Rendere reversibile un giunto adesivo può significare quindi seguire diverse strade. Queste differiscono per diversi criteri, e possiamo ordinarle in base alla capacità di introduzione nella produzione attuale, o viceversa alla complessità tecnologica che richiedono per le messa a punto.

a. Riprogettare la connessione adesiva tradizionale, per permettere operazioni di smontaggio distruttive che mantengano l'integrità dei componenti coinvolti, prevedendo appositi percorsi di taglio

b. Introdurre elementi di connessione sacrificabili in fase di smontaggio, che permettano di mantenere l'uso di fissaggi adesivi e consentano di operare una separazione più pulita per i componenti da recuperare

c. Sostituire il giunto con soli elementi di fissaggio meccanico, reversibili e agibili in fase di disassemblaggio, che permettano di riutilizzare le zone di accoppiamento più volte senza operazioni accessorie di ripristino e sostituzione dei componenti

d. Inserire un giunto ad alto contenuto tecnologico che fa uso di smart materials, in grado di separare i componenti in maniera automatica, tramite opportuna stimolazione termica, elettrica o magnetica.



Garantire le stesse prestazioni di un giunto adesivo utilizzando unicamente fissaggi meccanici è molto difficile. Viti e rivetti non distribuiscono gli sforzi come uno strato di adesivo, che inoltre garantisce una resistenza alle deformazioni funzionale alla sua durata; essi comportano inoltre un indebolimento maggiore della

struttura delle parti da unire, e rendono difficile impermeabilizzare la giunzione, che per alcuni accoppiamenti rappresenta un requisito fondamentale. Da considerare inoltre l'aumento di costo e di peso che comporterebbe la sostituzione di uno strato di adesivo con una serie di elementi di fissaggio, probabilmente metallici.

Per questo, in un caso come questo, in cui non è facile sostituire la tecnologia utilizzata nella produzione attuale, la prima soluzione da esplorare riguarda la predisposizione alla distruzione del giunto in maniera controllata, tramite la progettazione intelligente dell'accoppiamento e delle fasi di assemblaggio. In questo modo non viene modificata la natura del fissaggio, che resta quello attualmente accettato e sperimentato nel settore; esso viene ridisegnato per incontrare i nuovi requisiti pur risultando implementabile direttamente nella produzione. Vedremo in seguito altre ipotesi più raffinate, che risalgono la scala della nobiltà, visualizzata nello schema precedente.

Per quanto riguarda le giunzioni che fanno uso di *smart materials*, possiamo ritenere che possano rappresentare la soluzione più interessante e innovativa nel prossimo futuro. Esse infatti si prestano in maniera molto promettente all'applicazione in questo settore, che richiede nelle sue giunzioni un mix di requisiti particolari. Nello studio verso un prodotto sostenibile, caratterizzato da un approccio legato alle strategie proprie del *Design for Disassembly*, le giunzioni che fanno uso di *smart materials* potrebbero trovare un campo di sperimentazione molto interessante.

Giunzioni che fanno uso di *smart materials*

Questa ricerca, che si pone come obiettivo lo studio di soluzioni direttamente introducibili nella produzione attuale, non prende in considerazione queste tecnologie, che necessitano di tempi e mezzi di sperimentazione non contemplati nel lavoro in oggetto.

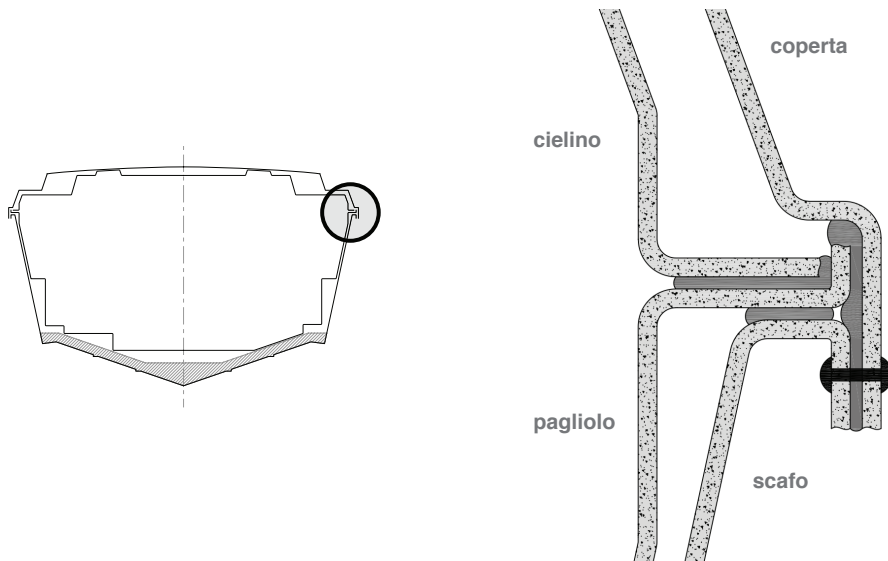
6.3 b – Giunzioni adesive predisposte per la distruzione

Attualmente l'incollaggio permette di raggiungere alte prestazioni di fissaggio, per diversi aspetti. Una prima ipotesi di miglioramento può prevedere il ridisegno di tali giunzioni per incontrare le necessità di disassemblaggio analizzate sin qui.

Tramite un maggiore controllo ed un posizionamento intelligente delle zone di accoppiamento, è possibile infatti consentire la separazione dei componenti grazie ad operazioni di taglio localizzate, previste in fase di progetto delle stampate.

Soluzione per incollaggio delle flange raggruppate

La giunzione scafo coperta può essere ridisegnata per raggruppare nella stessa zona le flange di pagliolo e cielino, ovvero della cella degli interni. Ad oggi, infatti, la gerarchia dei punti di giunzione tra le stampate non è progettata per il disassemblaggio. Si propone quindi la razionalizzazione di tale giunzione al fine di poter accedere agli incollaggi in maniera efficace e meno distruttiva possibile. La flange delle quattro stampate sono raggruppate come da schema nella stessa posizione, consentendo di operare il loro sezionamento tramite una serie di tagli di facile esecuzione.



Senza sconvolgere eccessivamente la geometria delle parti, le stampate in vetroresina presentano un profilo funzionale all'assemblaggio della cella sullo scafo, e successivamente alla chiusura con la coperta. Un fissaggio di questo tipo, del tutto attuabile nel processo produttivo attuale, garantisce tutti i vantaggi dell'assemblaggio in uso tramite adesivi, senza richiedere particolare sperimentazione di nuove tecnologie e operazioni industriali.

Il disassemblaggio è operato molto semplicemente in due fasi di taglio, come da disegno, che consentono la separazione prima della coperta, ed in seguito della cella interna. La configurazione delle flange illustrata in figura consente di mantenere complessivamente un aspetto accettabile del punto di fissaggio, che non presenta

complicazioni formali sconvolgenti, sia dal punto di vista produttivo degli stampi che da quello estetico, a barca chiusa.

Probabilmente, tale soluzione risulta la più immediatamente introducibile nella produzione. Essa necessita di essere analizzata più nello specifico, tramite sperimentazione pratica, soprattutto per quanto riguarda la soluzione delle problematiche di fissaggio rappresentate dalle altre giunzioni della cella con lo scafo e la coperta. Gli appoggi del pagliolo sulle strutture e del cielino con la coperta, infatti, sono di più difficile raggiungimento a barca chiusa, rispetto alla giunzione scafo coperta. Esse possono essere risolte sommariamente tramite la migliore progettazione di tali zone di contatto tra le stampate, in maniera da controllarne la localizzazione e i punti di accesso per le operazioni di disassemblaggio. Cielino e pagliolo presentano sempre delle ispezioni, necessarie per l'accesso alle intercapedini tra le stampate, in cui alloggiavano gran parte degli impianti e dei loro strumenti di gestione. Tramite tali aperture può essere progettata la separazione dei punti di accoppiamento localizzati in queste intercapedini, con operazioni distruttive controllate del tutto simili a quelli previsti per la giunzione scafo-coperta.

Tali soluzioni risultano interessanti per la loro immediata attuabilità, che deriva anche dalla sicurezza prestazionale che garantiscono, non discostandosi di molto dalle tecnologie utilizzate al momento nella cantieristica da diporto in vetroresina.

Tuttavia la loro semplicità presenta degli aspetti negativi dal punto di vista progettuale. È vero che si cerca la possibilità di separare le stampate per poter disporre in maniera isolata della cella e dello scafo, ma questo al fine di trovare degli sbocchi innovativi nel discorso più ampio del problema legato alla dismissione delle imbarcazioni.

Per restare fedeli alla direzione di ricerca progettuale, è bene ricordare che anche qualora si riuscisse a separare i macroassiemi che costituiscono il prodotto, ciò non sarebbe di molto migliorativo rispetto alle attuali possibilità di distruzione della carcassa di un'imbarcazione, se non portasse ad ottenere dei pezzi con un certo valore dal punto di vista produttivo industriale. Nello specifico, è sicuramente più interessante indagare delle strategie per innescare un ciclo di riutilizzo dei componenti disassemblati, rispetto al loro semplice isolamento al fine di dismetterli. Ciò potrebbe sicuramente costituire un primo passo verso la vera sostenibilità del prodotto,

**Soluzione facilmente
introducibile nella produzione**

**Aspetti negativi della soluzione
per incollaggio**

ma ci si propone qui di andare un po' oltre, cercando di tendere a quei livelli di recupero del valore dal prodotto che possano essere davvero una leva economica potenzialmente interessate, anche dal punto di vista industriale.

Difficoltà di riutilizzo dei componenti disassemblati

Tornando alle soluzioni appena illustrate, vediamo come le operazioni di separazione distruttiva non consentano di recuperare facilmente dei componenti integri. Possiamo ipotizzare, senza aver condotto sperimentazioni specifiche, che il risultato della separazione della parti, così come descritta, richieda una serie di lavorazioni non trascurabili per poter considerare i componenti in un nuovo ciclo produttivo, acquistando in questo modo il valore cercato. I danni creati dagli interventi di taglio dei punti di fissaggio sono da eliminare, tramite il ripristino della laminazione in composito nelle zone interessate. Riposizionando la stampata nello stampo che l'ha generata, o in porzioni di questo, più facilmente gestibili, è possibile ricostruire la geometria dei dettagli asportati ed ottenere un componente integro, reinseribile in un prodotto. Se questo non avvenisse, in sintesi le possibilità di separazione si tradurrebbero solamente verso una migliore gestione dei rifiuti derivati dal prodotto, il che trova senso solo in un panorama legislativo e normativo molto specifico.

Ricerca della modularità

A ciò si aggiunge l'intenzione di raggiungere una configurazione del prodotto più modulare, come spiegato in precedenza. Questo implica i concetti di compatibilità, sostituzione e riutilizzo, che presuppongono la gestione di componenti, o parti di essi, in grado di sostenere diversi cicli di vita, mantenendo le caratteristiche formali e prestazionali richieste.

6.3 c – Progettazione di un elemento di connessione

Introduzione di un nuovo elemento di connessione

Lavorando solamente con il disegno delle flange realizzabili da stampaggio ad estrazione, le possibilità rimangono abbastanza limitate. Infatti non è consentito proporre sezioni con geometrie che comprendono particolari sottosquadra, quindi non possono essere ipotizzati incastri e forme scatolate di maggiore complessità.

L'integrità delle parti può essere mantenuta se la separazione non le interessa direttamente, e agisce su terze parti dedicate al loro accoppiamento. Altri settori di progettazione, come ad esempio quello edilizio, suggeriscono la possibilità di aprire nuove strade tramite l'utilizzo di un componente aggiuntivo, preposto alla

funzione di connessione tra le parti da accoppiare. La presenza di un elemento dedicato a questa funzione permette di rivedere i vincoli di fissaggio e disassemblaggio delle parti in maniera più interessante.

Delocalizzazione dell'intervento distruttivo

Interponendo nella giunzione un terzo corpo, questo si presterà a subire le operazioni di separazione, sacrificandosi nel disassemblaggio per lasciare intatte, o facilmente ripristinabili, le zone dei due corpi da accoppiare. Si pensi ad un nastro adesivo che chiude una scatola in cartone, che risulta facilmente divisibile con una lama, lasciando integri, e soprattutto riutilizzabili, i lembi della scatola.

Semplificazione e coerenza con i componenti esistenti

Dedicando la funzione di giunzione ad un componente specifico, è possibile mantenere la semplicità formale dei corpi da unire, localizzando i dettagli più complessi sul nuovo elemento. In questo modo, nello specifico, la produzione attuale in vetroresina non necessita di intraprendere sperimentazioni particolari per nuove geometrie, ma può prestarsi ad un nuovo accoppiamento così com'è.

Specificità del componente di assemblaggio

Considerando un elemento a sé stante, responsabile della connessione delle parti esistenti, è possibile ipotizzare che esso venga realizzato con il processo produttivo più adatto al risultato ricercato, per riuscire ad ottenere i particolari funzionali che lo caratterizzano. In questo modo non si è limitati dalle possibilità realizzative dello stampaggio in vetroresina, come illustrato nella



Il nastro adesivo unisce indirettamente i lembi di una scatola, permettendo la loro apertura senza danno



Lo schema concettuale illustra la configurazione di una giunzione diretta (a sinistra) e di una indiretta tra i componenti, che fanno uso di un elemento di connessione condiviso

proposta precedente, ed è più facile mettere a punto un sistema di giunzione che raggiunga i requisiti preposti di assemblaggio e disassemblaggio.

Analizzando questi aspetti vantaggiosi dell'uso di un componente aggiuntivo, si prosegue con lo studio dei requisiti che lo caratterizzeranno, in base alle funzioni che ci si propone di svolgere nelle operazioni di produzione dell'imbarcazione e soprattutto in quelle di disassemblaggio. Come già chiarito precedentemente, oltre alla facilità di separazione delle parti, l'obiettivo immediatamente successivo è rappresentato dalla possibilità di innescare un ricambio modulare di alcune parti significative, recuperandone la funzionalità e garantendone l'integrità.

L'uso di giunzioni adesive

Per garantire le prestazioni di accoppiamento attuali, si richiede al nuovo sistema di giunzione di consentire l'uso di fissaggi adesivi, per i numerosi vantaggi che presentano. Esso permette infatti di delocalizzare il punto di separazione da tali zone di incollaggio, che non rappresenteranno un ostacolo alle operazioni di disassemblaggio. Il componente presenterà quindi delle parti che sostituiranno l'accoppiamento diretto tra flange della configurazione attuale, come invece avviene tra scafo e coperta, nelle imbarcazioni di oggi. Cosa importante, costringerà i lembi di scafo e coperta a non entrare in contatto tra loro, evitando di doverli dividere, danneggiandoli. La separazione dovrà avvenire in una zona del componente predisposta al taglio, in maniera da svincolare le parti interessate con poche operazioni di semplice esecuzione. Concettualmente, si definisce quindi che l'elemento di connessione sarà l'oggetto stesso della separazione, la quale interesserà indirettamente i componenti ad esso solidali, indipendentemente l'uno dall'altro.

Coerenza materica

Prima di procedere con l'approfondimento tecnico della configurazione, è necessario chiarire un punto importante. Finora tutto questo ragionamento non comporta problematiche realizzative particolarmente complesse, ma presuppone un concetto preciso, ovvero l'omogeneità materica del sistema e delle parti dopo la separazione³. Il vantaggio della separazione per il riciclo viene meno, qualora, ad esempio, mi ritrovi a fine disassemblaggio con del metallo saldato alla flangia delle stampe. Da qui deriva l'intenzione di ricercare una soluzione materica che garantisca coerenza tra le parti in gioco, o che risulti di facile gestione a componenti separati.

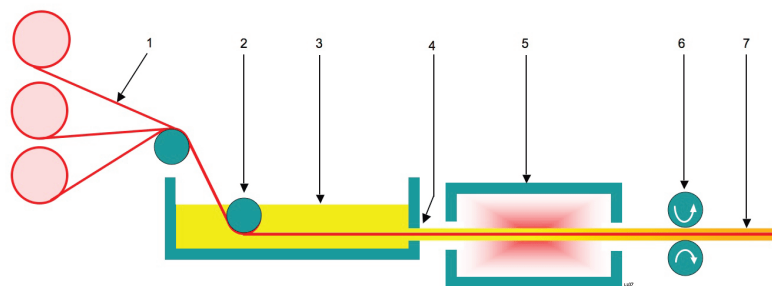
.....
³ Volendo schematizzare, se A è legato a B tramite il componente X in modo irreversibile, e si propone di spezzare la connessione tra le parti tramite la rottura di X, ne consegue che si otterrà come risultato due parti separate, ognuna con saldata una parte del componente di connessione ($A+X/2$ e $B+X/2$).

6.3 d – La pultrusione

Questo requisito materico, insieme a quelli formali necessari per ottenere la giunzione ricercata, portano alla selezione di una tecnologia di produzione adatta allo scopo, ovvero la pultrusione⁴.

Tramite questo processo è possibile realizzare dei profilati a sezione costante in materiale polimerico rinforzato, con un risultato del tutto simile all'estrusione di un profilato di alluminio. Il processo prevede sommariamente l'orientamento delle fibre e la loro impregnazione con la resina, successivamente tirate attraverso uno stampo riscaldato, della sezione desiderata, il cui il materiale polimerizza e assume le caratteristiche note del materiale composito. Dal punto di vista formale, la geometria e le dimensioni ottenibili sono infinite, così come la lunghezza finale del pultruso, che viene sezionato a piacere al termine della solidificazione, mano a mano che esce dal forno. Le fibre di rinforzo risultano allineate nella direzione di estrusione, e per aumentare la resistenza sugli altri assi possono essere aggiunti ulteriori strati di rinforzo in direzione trasversale, o a disposizione causale (mat).

Il processo produttivo



Schema del processo:

- 1 - fibre in entrata
- 2 - rullo
- 3 - impregnazione delle fibre
- 4 - uscita dalla vasca di impregnazione
- 5 - cura
- 6 - tiraggio
- 7 - materiale composito

Utilizzando quindi un profilato in composito come elemento di connessione, si mantiene la possibilità di saldare con giunzioni adesive le flange delle stampe, ottenendo un assieme matericamente ancora omogeneo. In definitiva, si giunge ad una configurazione di assemblaggio che sfrutta una diversa tecnologia di produzione per ottenere dettagli geometrici di accoppiamento più complessi, ma sempre nello stesso materiale.

⁴ Dall'inglese *pull+extrusion* ovvero "estrusione per trazione", dal funzionamento del processo di produzione (vedi illustrazione)



Per una conoscenza approfondita del processo produttivo è stata consultata *Top Glass*, un'azienda italiana di rilievo internazionale nel settore della lavorazione dei compositi, per pultrusione e non solo⁵. L'esposizione del progetto in azienda ha riscontrato grande disponibilità ed interesse al tema trattato, e sono state fornite preziose informazioni produttive ed economiche sulla fattibilità dei componenti studiati, come viene esposto man mano che si procede con la definizione.

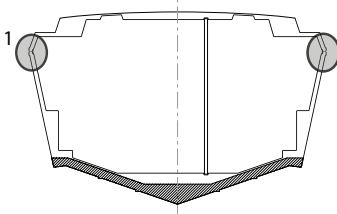
6.3 e Requisiti del nuovo elemento di giunzione

Definito il materiale e i vincoli produttivi del componente, si procede con l'analisi dei requisiti funzionali.

Il progetto intende inserire il nuovo tipo di giunzione nella configurazione produttiva odierna; successivamente la ricerca potrà eventualmente proseguire ottimizzando l'architettura generale dell'assemblaggio, tramite sperimentazioni strutturali e considerazioni normative più approfondite.

La giunzione 1 riguarda la chiusura della coperta sullo scafo. Come da nuova configurazione della cella interna, quest'ultima partecipa a questo punto di fissaggio, realizzando il gruppo di assemblaggio principale della sezione.

La giunzione tra
scafo e coperta

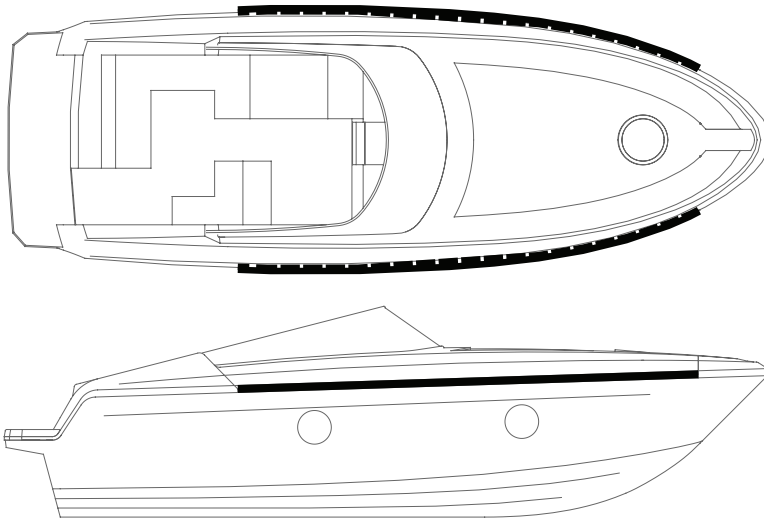


Come nella proposta precedente, anche in questo caso il primo fondamentale requisito è rappresentato dalla possibilità di fissare in un'unica zona tutte e quattro le flange, in maniera ordinata e funzionale alle operazioni di assemblaggio e disassemblaggio. Si ricerca quindi la migliore disposizione dei lembi in vetroresina interessati, così da poter svolgere le diverse fasi di produzione senza ostacoli e nella maniera più efficiente..

Il vincolo realizzativo tanto semplice quanto fondamentale per fattibilità del componente aggiuntivo riguarda la posizione che esso deve assumere nell'assemblaggio. Il tratto della giunzione scafo-coperta interessato non presenta uno sviluppo lineare nello spazio. La linea del bottaccio intermedia dell'imbarcazione, delimitata dalle due paratie di prua e di poppa, può essere rettificata nel prospetto, ma dalla vista in pianta vediamo come segua necessariamente un percorso curvo, determinato dalla geometria dello scafo nel punto

⁵ Top Glass, con sede a Osnago (LC), è un'importante realtà industriale che offre servizi di progettazione e realizzazione di componenti in composito, dalla progettazione degli stampi alle lavorazioni di rifinitura dei componenti. Le applicazioni dei suoi prodotti spaziano dall'edilizia all'arredo urbano, passando per le infrastrutture industriali e altre applicazioni di architettura più specifica.

di incontro con la coperta. Tale percorso non è riconducibile ad un arco di circonferenza, perchè il suo raggio di curvatura aumenta spostandosi verso poppa, come è riconoscibile più chiaramente nel disegno. Questo implica che il componente in oggetto dovrà essere in grado di seguire tale percorso curvato, flettendosi a sufficienza per poter combaciare con la geometria delle flange.



Lo schema mostra lo sviluppo curvato in pianta del segmento di giunzione tra scafo e coperta

La direzione di curvatura, come spiegato, è richiesta per lo più in un'unica direzione. Per questo la sezione del componente dovrà favorire tale adattamento, presentando uno sviluppo preferibilmente verticale. Da un punto di vista meccanico, infatti, si ricerca una geometria che presenti una minore resistenza alla flessione in tale direzione, tramite il dimensionamento e il disegno di una sezione che presenti un momento d'inerzia adeguato.

Lo sviluppo verticale

Da alcune valutazioni pratiche, la flessione del profilato può presentare qualche problema. Nello specifico, la laminazione di uno spessore vicino a quello considerato (circa 3mm) rende un profilo scatolato molto rigido, sufficiente a rendere difficoltosa la sua flessione. Si pensi inoltre alle operazioni di posa e fissaggio di un tale componente, che comporterebbe diversi problemi di gestione nelle fasi di assemblaggio.

Sezionamento del profilo per agevolare la curvatura

Come suggerito dal confronto con *Top Glass*, il profilo può

venire intagliato nella sezione che interessa maggiormente la flessione, ovvero nel suo sviluppo orizzontale, ad un passo costante, per ridurre la resistenza sul piano di curvatura e favorirne la modellazione e l'adattamento alla curva dello scafo⁶. Questa possibilità di lavorazione rende possibile mantenere flange orizzontali, e seguire più facilmente i vincoli formali richiesti

Disposizione delle flange

Il posizionamento della cella deve necessariamente avvenire dall'alto. Le paratie strutturali, già assemblate nello scafo vuoto, e la geometria stessa di quest'ultimo non consentono di inserire la cella in altre direzioni, ad esempio da poppa. Per questo, il particolare di fissaggio che interessa la flangia della cella non deve ostacolare questa operazione; essa deve potersi appoggiare dall'alto sul componente, o in alternativa può venire assemblato alla cella prima che questa sia posizionata nello scafo, con più flessibilità.

In base a quanto analizzato prima circa lo sviluppo preferibilmente verticale del pultruso, le flange interessate nella giunzione possono favorire questa configurazione, disponendosi anch'esse verticalmente, con il minore ingombro orizzontale possibile. Lo stesso discorso vale per le flange di scafo e coperta.

La separazione delle parti

Oltre a questo, la disposizione generale dei fissaggi deve consentire la separazione della giunzione come da requisiti di progetto.

Pur mantenendo un fissaggio di tipo adesivo, infatti, si richiede che le flange non siano vincolate tra loro direttamente, ma solo tramite il nuovo elemento interposto. Deve restare disponibile una zona predisposta per il taglio del pultruso, tramite il quale poter separare i componenti voluti, l'uno dall'altro, con ordine e controllo. Si ricerca infatti un disegno che consenta una separazione pulita e programmabile, di facile esecuzione e che non danneggi le strutture in maniera svantaggiosa. Un taglio brutale della giunzione scafo coperta è realizzabile anche nelle imbarcazioni attuali, ma oltre a non consentire da solo la rimozione dei componenti, comporta una perdita di valore tale delle stampate intaccate da non poterne consentire il reinserimento nel ciclo produttivo.

Si ricerca quindi una connessione indiretta di tutte le flange coinvolte, predisposta per delle operazioni di separazione intelligenti. L'intervento più semplice da eseguire sul prodotto risulta

.....
6 Tali lavorazioni possono essere automatizzate a valle del processo di pultrusione, o addirittura previste come operazioni successive.

essere un taglio dall'esterno dell'imbarcazione, che consenta di aprire le connessioni responsabili dell'assemblaggio scafo-coperta. Tuttavia, la rottura di questa connessione deve consentire di mantenere l'integrità del resto dell'elemento pultruso, responsabile della chiusura della cella. Essa infatti deve poter essere estratta dallo scafo come un componente unico, e successivamente può essere aperta per altri scopi.

Può essere ricercata la possibilità di aprire senza danno anche la connessione tra pagliolo e cielino, nell'ottica di riutilizzare i controstampi costituenti la cella. Tuttavia alcune riflessioni in merito suggeriscono di mantenere una connessione adesiva tradizionale. L'apertura dell'imbarcazione ha infatti lo scopo di accedere all'interno del guscio di vetroresina per poter maneggiare proprio la parte relativa agli interni, per sostituirla come modulo o per recuperare il componente scafo. In questi termini non è richiesta la possibilità di disporre di una delle controstampate integre, che non hanno valore per il riutilizzo singolo⁷. A ciò si aggiunge la necessità di garantire l'impermeabilità della cella dall'esterno. Attualmente questo è garantito dalla possibilità di accedere alla giunzione scafo-coperta anche dall'interno, non essendoci una cella chiusa che lo impedisce. Da qui vengono fascettate le flange con vetroresina, ed in seguito verranno sigillati tutti i fori praticati dalle viti per il fissaggio del bottaccio. Nella nuova configurazione, la cella chiusa impedisce queste operazioni dall'interno, tuttavia disponiamo di un punto di chiusura aggiuntivo, quello tra le controstampate appunto, che consideriamo quindi sigillate come attualmente viene fatto per le flange esterne di scafo e coperta.

Cella interna sigillata

Il componente pultruso deve quindi garantire adeguate zone di fissaggio adesivo con le parti coinvolte. Potrebbe essere interessante sperimentare nuove soluzioni per migliorare questi particolari di assemblaggio nelle imbarcazioni, caratterizzati da requisiti specifici. Tuttavia per il progetto del componente pultruso si mantiene l'insieme di soluzioni impiegate attualmente in produzione. La messa a punto di nuovi fissaggi presupporrebbe la sperimentazione e la verifica delle prestazioni, che non sono oggetto di studio di questo lavoro.

Tipologie di fissaggio

Le flange interessate sono quindi assemblate al pultruso tramite incollaggio, in una zona di contatto che attualmente è dimensionata

.....
⁷ Ulteriori riflessioni su questo punto vengono affrontati più avanti, nel paragrafo sul riutilizzo dei componenti disassemblati.

variabilmente in una flangia di 40/50 mm di larghezza. La tenuta è garantita inoltre da fissaggio meccanico tramite rivettatura, che comporta una completa aderenza dei lembi incollati e sigillati, ed un'ulteriore sicurezza meccanica di chiusura. Non sempre, infatti, è possibile operare un serraggio a pressione, per assicurarsi l'aderenza delle superfici da incollare, come avviene solitamente per dei componenti in legno. La geometria degli assemblaggi non consente di abbracciare la giunzione, ed in questi termini la rivettatura risulta molto utile. Il disegno del pultruso potrebbe anche proporre una nuova configurazione che permetta il serraggio a pressione dell'incollaggio, ipotizzando di poter evitare la presenza di rivetti. Da un punto di vista concettuale, infatti, sarebbe preferibile evitare inserti di materiale differente dai componenti da giuntare, per favorire una maggiore omogeneità materica dei componenti non smontabili, in previsione di operazioni di riciclo del materiale⁸.

Versatilità di un solo profilato

Oltre a tutti questi requisiti geometrici e funzionali, è interessante considerare la possibilità di ottenere un componente maggiormente versatile, in modo tale da poterlo utilizzare in altre situazioni di assemblaggio in cui è coinvolta la cella interna. Per il suo scopo di connessione indiretta tra le parti, il suo inserimento in altre zone di contatto tra la cella e le stampate esterne può risolvere le altre problematiche di separazione e disassemblaggio.

Una valutazione condivisa in *Top Glass*, infatti, ha rivelato come la complessità e la varietà di produzione del componente debba necessariamente fare i conti con alcune considerazioni sui volumi di produzione e sulle dinamiche commerciali generate dall'introduzione del nuovo componente.

Considerazioni economico-produttive

Il costo di produzione risiede per lo più nella messa a punto della matrice di pultrusione, in relazione alla complessità formale della sezione da produrre. Tali investimenti, però, sono difficili da valutare fuori da una situazione reale, che può presentare diverse possibilità. Se un cantiere con buoni volumi di produzione decidesse di adottare la costruzione che fa uso dell'elemento di connessione pultruso, verosimilmente potrebbe decidere di sostenere la progettazione e la messa a punto degli stampi necessari per la sua produzione, qualora sussistano i vantaggi industriali per cui

.....
8 Si consideri, tuttavia, che i rivetti sono facilmente asportabili per trapanatura, con utensili appositi che consentono anche di non danneggiare il foro praticato per l'inserimento del rivetto, che può quindi essere ripristinabile con nuovi inserti, in un secondo assemblaggio. Non costituiscono quindi un ostacolo irrisolvibile alla separazione dei materiali, anche in vista di un reinserimento delle parti nel ciclo produttivo.

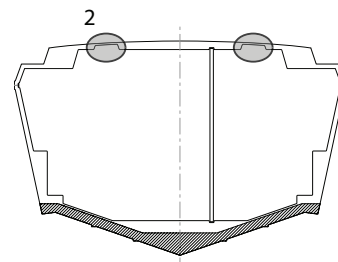
è pensato. Un altro scenario può essere rappresentato da una fornitura di profili standard da parte di un produttore esterno, che possa in questo modo garantire una produzione sufficiente anche alla standardizzazione di diversi profili, per tutti gli utilizzi cui si presta nella costruzione dell'imbarcazione.

Proseguendo con un'altro punto di fissaggio tra quelli evidenziati, la giunzione 2 riguarda le zone di contatto tra la coperta e il cielino, ovvero il guscio superiore della cella interna. Vengono progettati alcuni punti di appoggio della coperta, che in corrispondenza o vicinanza di paratie può avvicinarsi già di per sé alle pareti più alte del cielino. Un'altra situazione di contatto si ritrova in vaste zone piane di controstampo, come avviene tipicamente sopra la dinette o la cabina di poppa, che si trova posizionata sotto al calpestio del pozzetto. Tali piani vengono irrigiditi con strutture aggiuntive, o tramite nervature ricavate direttamente nella stampata del cielino. Si ottiene così il duplice vantaggio di sostenere maggiormente una parte che tenderebbe a flettersi facilmente⁹ e di avvicinare le due pareti delle stampate, creando un punto di fissaggio favorevole.

Il pultruso interviene anche in questa situazione per facilitare il fissaggio e la successiva separazione delle pareti in vetroresina. In questo caso si tratta di unire due superfici parallele nella loro intercapedine, in maniera differente da una giunzione tra flange, come avviene per lo scafo e la coperta. Non c'è spazio per accedere all'intercapedine dall'esterno, a parte il caso in cui si possano sfruttare delle ispezioni tecniche nelle vicinanze. Il componente di connessione sarà quindi solidale a una delle parti, e al momento dell'assemblaggio consentirà il fissaggio dell'altra, grazie ad un accostamento controllato dei componenti¹⁰.

Una prima soluzione prevede ad esempio la laminazione del componente di connessione alla coperta, anche durante la fase di stampaggio della stessa, nelle zone rettificata o anche leggermente curvate, che sposteranno le zone del cielino predisposte al fissaggio. Questo presenta le nervature di cui sopra, strategicamente ricavate in zone di necessità strutturale, che al contempo possano adattarsi ai requisiti estetici dell'allestimento interno. Questo significa

I punti di fissaggio superiori tra la cella e la coperta



.....
 9 Le stampate di pagliolo ma soprattutto di cielino sono più leggere rispetto a scafo e coperta, sia in termini di spessore che di prestazioni meccaniche della fibra di rinforzo utilizzata nella laminazione

10 La progettazione CAD e la simulazione virtuale delle fasi di assemblaggio, come già detto, permette di avere un buon controllo dimensionale della situazione, che può essere progettata con la precisione necessaria a garantire il corretto incastro dei componenti.

posizionare tali dettagli in maniera da poterle nascondere da un rivestimento o da una pannellatura, come spesso avviene in queste zone a vista del cielino. Inoltre, le superfici piane a centro barca che stiamo considerando si prestano tipicamente all'installazione di punti luce interni, che possono usufruire dei dettagli formali introdotti da questo fissaggio.

Per questo uso, il pultruso dovrà quindi presentare queste caratteristiche:

- > facilità di posizionamento e laminazione alla coperta, grazie ad una faccia praticamente piana per un'appoggio stabile e versatile, e tramite un disegno che favorisca l'applicazione di fibra impregnata ai lembi del componente

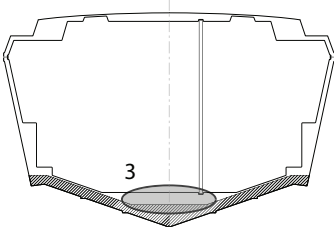
- > predisposizione a sposare una nervatura del cielino, che svolgerà anche un'ulteriore elemento di centratura tra le due stampate in fase di assemblaggio

- > predisposizione eventuale a svolgere la funzione di canalizzazione, utile a distribuire la cavettistica necessaria all'installazione dei punti luce, di un sistema audio video diffuso in barca, e di altre utenze*

- > predisposizione alla separazione in fase di disassemblaggio, ottenibile con un taglio trasversale, nel caso sia possibile accedere attraverso ispezioni realizzate in zone limitrofe, o con un taglio controllato dall'interno della cella, o ancora tramite la rimozione di giunzioni meccaniche utilizzate per il fissaggio, ovvero viti autofilettanti o rivetti. Questo dipenderà dalle modalità più pratiche di accoppiamento del componente, tramite adesivo su entrambi i lati o giunzioni miste di adesivi + giunti meccanici

Altro punto di fissaggio della cella al guscio esterno è rappresentato dalle zone di contatto con lo scafo. Più precisamente, il pagliolo, ovvero la parte inferiore del guscio interno, necessita di numerosi punti di appoggio, importanti per la struttura generale dell'assieme. Esso infatti deve sostenere tutto il peso dell'allestimento interno, e scaricarlo con solidità alle strutture di rinforzo della chiglia. Inoltre è necessario prevedere che i punti di fissaggio delle paratie interne nel pagliolo poggino sempre sulle strutture di rinforzo dello scafo, garantendo così una solida continuità strutturale verticale. Il disegno e la disposizione delle strutture in chiglia le rende già adatte a fungere anche da punti di appoggio per il pagliolo e le

punti di giunzione
tra cella e scafo



paratie interne¹¹.

Oltre a queste zone di “incastro” della cella sulle strutture sottostanti, è necessario sostenere i piani di calpestio a centro barca, che per la geometria dello scafo e dei volumi interni restano sospesi dalla chiglia, per una distanza variabile a seconda dell'imbarcazione e della zona considerata¹². Attualmente queste parti vengono sostenute installando dei setti in legno o delle strutture metalliche. I setti, simili a piccole paratie strutturali, sono sagomati con la forma vagamente triangolare compresa tra le strutture, adagiate trasversalmente sullo scafo, e il piano del pagliolo da sostenere. Vengono fissati in diversi modi, spesso tramite fascettatura in composito applicata manualmente a pagliolo posizionato.

Il profilo pultruso consente di realizzare anche in questo punto un assemblaggio indiretto tra il sostegno e le stampate in vetroresina. Una geometria con le caratteristiche della giunzione tra coperta e cielino ipotizzate precedentemente può assolvere alle stesse funzioni di centraggio e fissaggio tra le parti. Così come avviene sulla coperta, il profilo può essere fascettato al pagliolo ed un altro alle strutture di rinforzo dello scafo, accogliendo tra loro lo spessore del setto di sostegno, adeguatamente fissato tramite fissaggi meccanici, dove possibile, o con adesivi sezionabili agevolmente.

Questa situazione, a differenza di quella relativa al contatto coperta-cielino, consente un migliore accesso al profilo di giunzione, dal momento che il pagliolo presenta numerose ispezioni per accedere alla chiglia, dove alloggiano numerosi impianti. In questo caso, quindi, la rimozione del giunto è facilmente eseguibile tramite la rimozione dei giunti filettati o tramite un taglio trasversale, in una zona predisposta che consenta di rompere la connessione senza danneggiare il pagliolo e, soprattutto, il ragno strutturale a rinforzo dello scafo.

Tuttavia non è solo la reversibilità a risultare cruciale, ma anche le caratteristiche prestazionali e di flessibilità costruttiva delle suddette giunzioni, a renderle così particolari e specifiche. Le tolleranze di accoppiamento dei componenti in questione,

.....
 11 L'adozione del cosiddetto ragno strutturale dà la possibilità di sagomare ancora meglio questi punti di incastro, predisponendo una sorta di “controscafo” che svolge allo stesso tempo le funzioni di rinforzo dell'opera viva, di appoggio per il pagliolo e di riferimento per il suo posizionamento, in fase di assemblaggio...

12 Questo vincolo di fissaggio va progettato in relazione alle caratteristiche e alle dimensioni della barca. Per un natante può essere sufficiente fornire un punto di appoggio intermedio a centro barca, mentre per lunghezze superiori sarà necessario prevedere una struttura più articolata

infatti, per quanto controllate con precisione in fase di progetto, non hanno la precisione propria dell'industria automobilistica, per citare il solito esempio di riferimento. Nel concreto, è necessario ottenere una giunzione che si adatti alla casistica di assemblaggio derivata da un procedimento manuale, che non permette centraggi precisi e accoppiamenti sempre perfetti. La cella separata, inoltre, potrebbe sfruttare appieno la sua nuova configurazione qualora sia in grado di mantenere il suo isolamento strutturale dal resto dell'assieme. Se la cella potesse sfruttare un fissaggio flessibile, in grado di ammortizzare le sollecitazioni proprie della navigazione, garantirebbe una resistenza ed un comfort del tutto nuovi, molto apprezzabili per l'utilizzo tipico in ambiente nautico¹³.

6.3 f Proposte di disegno della sezione del pultruso

Soddisfare tutti i requisiti analizzati sin qui tramite un componente pultruso significa mettere a punto il disegno della sezione considerando tutti i casi di utilizzo e tutte le configurazioni che può assumere nei diversi punti di giunzione considerati.

La giunzione scafo-coperta vede l'incontro di tutte e quattro le stampate in un'unica zona di assemblaggio, e rispetto alle altre rappresenta quella più complessa dal punto di vista funzionale e prestazionale. Considerare di risolvere tutte le problematiche con un solo componente potrebbe risultare più semplice e razionale, a costo di realizzare un profilato dalla forma piuttosto articolata e complessa.

Senza addentrarci subito in verifiche tecniche circa la fattibilità di una sezione in particolare, possiamo comunque valutare se esista o meno la necessità di semplificare tutti i requisiti in un unico componente. Per le caratteristiche produttive della tecnologia utilizzata, infatti, la serialità implicita nel processo non ci costringe ad ottimizzare la produzione ad una sola geometria. Può risultare invece più vantaggioso specificare la funzionalità di due profilati, ad esempio, per coprire con meno spreco e ridondanze le diverse esigenze prestazionali delle diverse giunzioni.

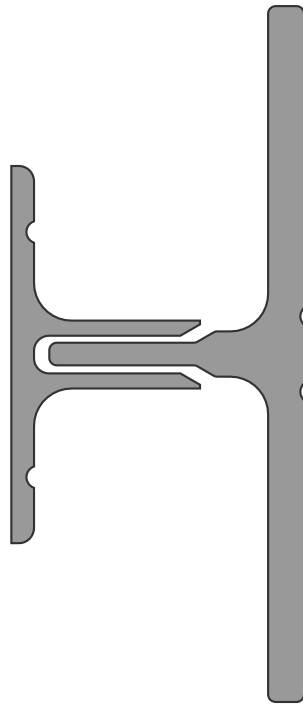
A tal proposito, si è cercato un compromesso vantaggioso, che in definitiva divide il componente in due parti di complessità ridotta, utilizzabili in combinazione o separatamente.

**Ottimizzazione di due profili più
semplici ma versatili**

.....
¹³ Per l'uso di giunzioni così specifiche potrebbe essere interessante osservare altri settori di utilizzo, caratterizzati da maggiore ricerca tecnologica, come quello automotive, aerospaziale o dell'edilizia, trasferendo in quello nautico nuovi spunti di innovazione nel campo dell'assemblaggio.

Per una prima proposta si è mantenuta una semplicità geometrica in linea con i suggerimenti ricevuti dal confronto con *Top Glass*. La sezione del profilo così ottenuta permette verosimilmente di garantirne la fattibilità, da affinare eventualmente con la prototipazione di casi studio e test diretti sui componenti. Questo anche per rimanere nello scenario produttivo e commerciale più facilmente sostenibile in una prima ipotesi. Qualora le circostanze lo consentissero, si potrebbe studiare una serie di soluzioni più articolate, che risolvano ancora meglio le diverse casistiche di accoppiamento tra i componenti.

Viene quindi illustrato il componente pultruso in questa sua prima definizione. La sezione consente di soddisfare i requisiti analizzati sin qui, come illustrato di seguito, nelle diverse situazioni di assemblaggio.

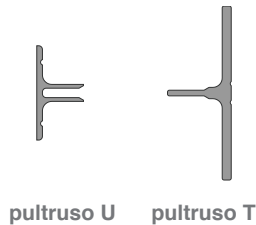


**Sezione dei componenti pultrusi
di connessione**

(scala 1:1)

6.4 Fasi di assemblaggio e disassemblaggio

6.4.a La procedura di assemblaggio



Vengono ora schematizzate le fasi di assemblaggio e disassemblaggio dei componenti coinvolti nelle nuove giunzioni, per chiarirne il funzionamento e verificarne l'applicabilità nella produzione attuale. Si elencano sinteticamente i passi relativi alla gestione delle stampate in relazione ai pultrusi di connessione, escludendo dalla descrizione tutte le operazioni intermedie relative allo smontaggio degli impianti e degli allestimenti dell'imbarcazione.

Per semplicità d'ora in avanti verrà chiamato "T" il pultruso con una sola flangia, con sezione a T, appunto, mentre "U" indicherà il secondo elemento con doppia flangia.

Preparazione dei fissaggi sulla cella

La cella degli interni viene chiusa e sigillata, in una linea di assemblaggio dedicata che permetta di gestirne comodamente l'allestimento nelle diverse configurazioni proposte dal progetto, grazie alla modularità e alla flessibilità che la caratterizza. Ad essa, lungo i due perimetri laterali, viene applicato il pultruso U, tramite incollaggio o rivettatura¹⁴. Il sezionamento a passo costante della U orizzontale facilita la sua flessione lungo lo sviluppo della giunzione. Allo stesso modo viene assemblata un'altra coppia di profilati, di sviluppo rettilineo, nei segmenti di giunzione verso prua e verso poppa, per il fissaggio con le paratie strutturali.

Alla cella così attrezzata, sui profili appena inseriti va assemblato il pultruso T, grazie al disegno che permette il loro incastro reciproco, responsabile del fissaggio con i relativi componenti dello scafo. Tra i due viene precedentemente inserito del sigillante, con la funzione di riempire il gioco, assorbendo le variazioni di accoppiamento, garantire un miglior fissaggio, nonché ammortizzare la giunzione per una migliore prestazione. Il pultruso T deve necessariamente coprire tutta la lunghezza della giunzione scafo-coperta compresa tra le due paratie strutturali, ovvero il tratto di coperta disassemblabile. Diversamente, il pultruso U può riguardare un tratto più limitato di

¹⁴ Il pultruso può anche essere applicato in fase di stampatura di una delle due controstampate. Esso può essere alloggiato in una sede dedicata, ricavata sul bordo dello stampo, che lo mantenga già in posizione curvata e nel giusto allineamento, come da progetto della giunzione.

giunzione, per quello che è sufficiente a garantire il sostegno laterale della cella, e semplificando la gestione dei profili nei quattro angoli. Analogamente vengono assemblati i pultrusi U dei tratti rettilinei di prua e poppa.

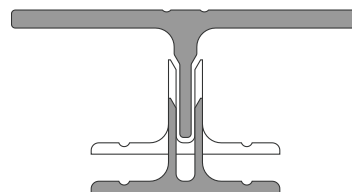
Oltre alle giunzioni laterali, sono da considerare anche quelle superiori e inferiori della cella, che incontreranno rispettivamente coperta e strutture dello scafo. Alla cella viene assemblata un'ulteriore serie di pultrusi T, in corrispondenza dei setti di sostegno inferiori, che verranno posizionati in seguito tra cella e scafo. Anche per questi profilati è possibile prevedere l'assemblaggio in fase di stampatura del pagliolo.

Alla coperta vengono invece fissati i componenti responsabili della connessione superiore. In fase di laminazione vengono quindi posizionati i necessari pultrusi T, senza la presenza di giunti meccanici passanti verso l'esterno. A questi, al momento dell'assemblaggio, sono incastrati i relativi pultrusi U, che andranno in appoggio sulla cella con la loro faccia piana. Questi vengono preassemblati nella posizione di massima estensione di composizione tra i due pultrusi, sfruttando la capacità di scorrimento dell'incastro maschio/femmina. La scelta di provvedere all'incollaggio anche di questo incastro comporta diverse possibilità di disassemblaggio, come verrà esposto in seguito.

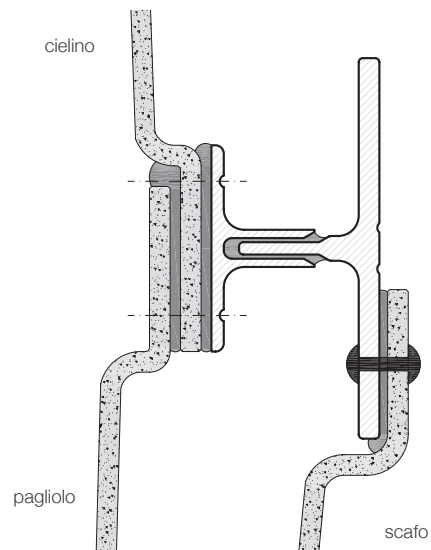
Lo scafo viene preparato con i pultrusi T che fanno coppia con i relativi posizionati sotto alla cella. Essi saranno allineati per presentare una zona di fissaggio dei setti di sostegno inferiori.

A questo punto la cella, pronta per l'assemblaggio, viene calata dall'alto, appoggiandosi sullo scafo in diversi punti. I pultrusi preassemblati lungo il perimetro laterale incontrano il dente della flangia dello scafo, mentre il pagliolo si appoggerà sui rinforzi dell'opera viva e su eventuali altri contatti sulle murate. La flangia dello scafo viene vincolata al pultruso, tramite incollaggio e rivettatura. Vengono fissati anche i pultrusi a contatto con le paratie strutturali di prua e poppa, anche tramite giunzioni meccaniche gestibili da entrambi i lati delle paratie. I profilati T posizionati sotto al pagliolo e sulle strutture di rinforzo dello scafo costituiscono un perimetro di appoggio verticale per il posizionamento dei setti di supporto. Essi possono venire assemblati tramite giunti filettati facilmente gestibili, su tutte le flange predisposte tramite i pultrusi T.

Preparazione dei fissaggi sulla coperta

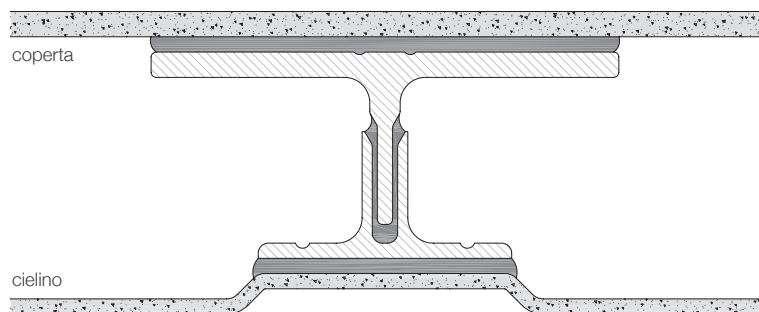


assemblaggio della cella nello scafo

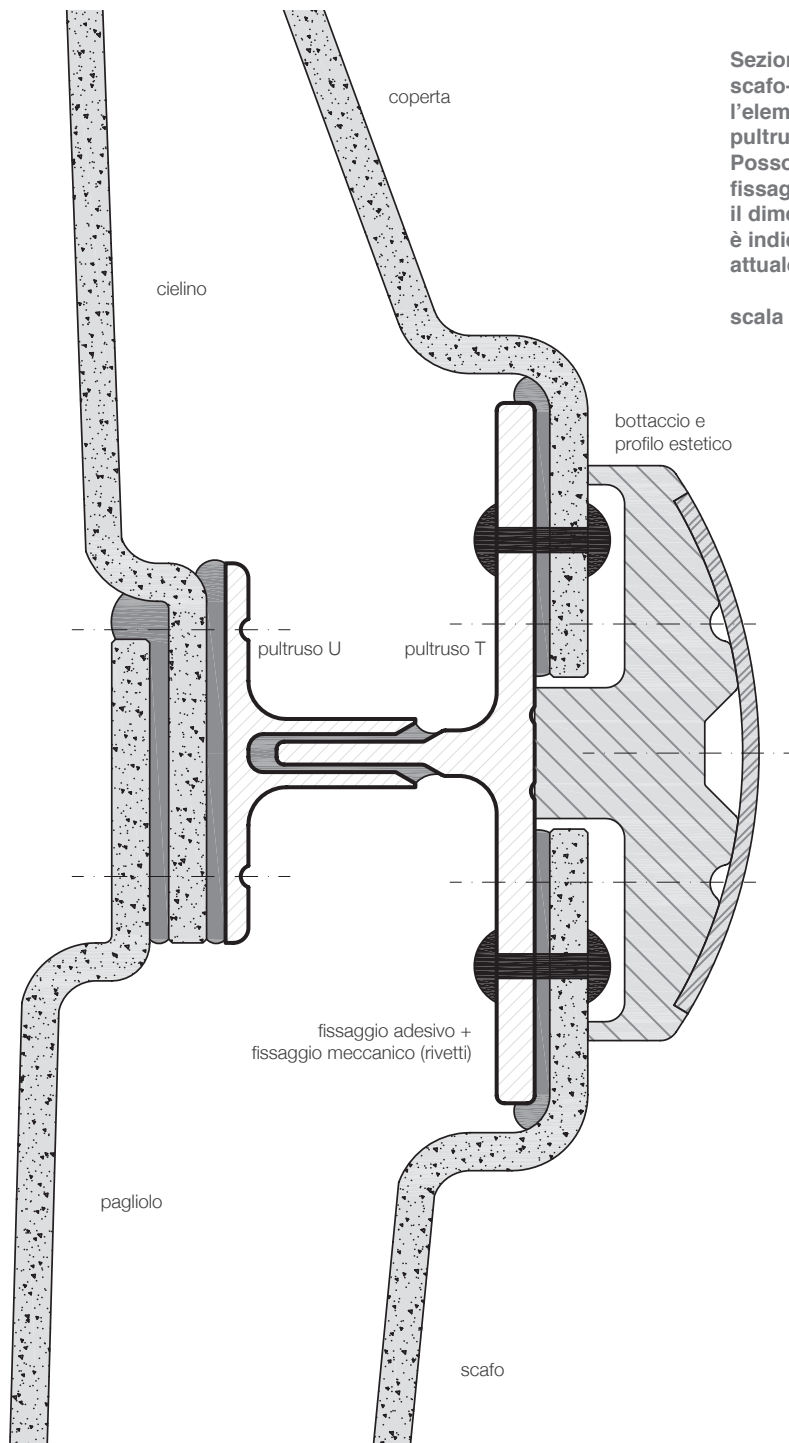


A questo punto può essere posizionata la porzione di coperta, a chiudere tutto l'assieme, attrezzata dei pultrusi che incontreranno le nervature del cielino predisposte per il fissaggio. Essa si appoggerà su queste e sul pultruso T lungo il perimetro della stampata, a cui verrà incollata e rivettata per la giunzione con lo scafo (oltre alle flange delle altre sezioni di coperta, predisposte per l'assemblaggio e la sigillatura), come illustrato nello schema della pagina seguente.

**giunzione superiore tra
cella e coperta**



La giunzione perimetrale viene quindi rifinita con il profilo del bottaccio ed eventuali rifiniture estetiche, tramite fissaggi meccanici sulle flange e sulla nervatura centrale del pultruso a T. L'imbarcazione è chiusa e tutti i principali sostegni sono posizionati, facendo uso degli elementi di connessione profilati preassemblati tra i diversi componenti.



Sezione della giunzione scafo-coperta-cella tramite l'elemento di connessione pultruso in composito. Possono essere previsti ulteriori fissaggi meccanici tra le parti, e il dimensionamento delle flange è indicativo della situazione attuale.

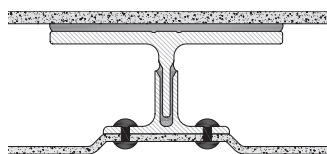
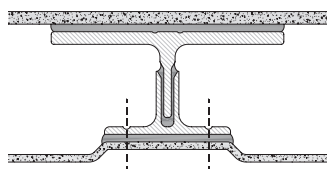
scala 1:1

6.4.b La procedura di disassemblaggio

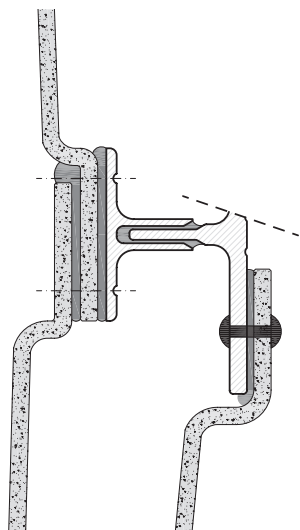
Il disassemblaggio avviene in maniera inversa rispetto alle fasi di assemblaggio appena descritte, seguendo le operazioni nel dovuto ordine.

La coperta viene svincolata dallo scafo tramite un taglio orizzontale del pultruso a T, che dopo aver rimosso i profili estetici del bottaccio, presenta una zona centrale segnata per tale operazione. Tramite questo taglio, come illustrato in precedenza, il pultruso spezzato è svincolato dallo scafo e dalla cella interna. Dall'interno di questa vengono svincolati anche i fissaggi con il cielino, che possono essere di diverso tipo. Infatti, per quanto riguarda l'assemblaggio reciproco dei profili a T e a U tra coperta e cielino, è possibile progettare una tolleranza di accoppiamento dell'incastro tale da consentire una significativa tenuta ad attrito tra i due pultrusi¹⁵. Questo potrebbe consentire di eliminare l'incollaggio interno dell'incastro. In questo caso, il fissaggio del pultruso a U, sul cielino, potrebbe avvenire solamente per incollaggio a pressione, in fase di chiusura della coperta. Ciò non ostacolerebbe le operazioni di disassemblaggio, che vedrebbero i due pultrusi sconnettersi solo per trazione, grazie allo scorrimento dell'incastro. Se invece fosse richiesto l'incollaggio anche tra i due, la loro separazione necessiterà di operazioni di taglio localizzato o di rimozione di giunzioni meccaniche, se previste in sostituzione dell'adesivo. La coperta intermedia va poi svincolata anche dalle altre porzioni di coperta, ovvero quella relativa alla sala macchine e quella del gavone di prua, tramite sistemi reversibili che possono fare uso anch'essi di questi o altri elementi di connessione intelligente, accessibili da ispezioni interne alla cella o anche dall'esterno. Lo stesso vale per le aperture passanti con l'esterno.

Rimossa la coperta, la cella risulta connessa allo scafo tramite la parte rimanente dei profili lungo il perimetro laterale, i sostegni inferiori e gli assemblaggi con le paratie strutturali. Le aperture passanti degli oblò sono smontate e sezionate nello spessore, se adeguatamente eseguite in fase di assemblaggio. I sostegni inferiori tra pagliolo e scafo vengono smontati rimuovendo i relativi giunti meccanici, di facile accesso dall'interno della cella. I profilati di prua e poppa sono separati tramite taglio verticale o eventualmente rimuovendo anche in questo caso i giunti filettati eseguiti attraverso



**soluzione di fissaggio
adesivo (in alto)
o meccanico**



**sezionamento del giunto e
rimozione della coperta**

¹⁵ Fattibilità verificata su esempi di produzione visionati e testati in *Top Glass*, con la stessa configurazione di incastro maschio/femmina

le paratie strutturali. Il profilo della giunzione scafo coperta viene sezionato per la seconda volta, per liberare la cella. A questo punto quest'ultima può essere estratta dallo scafo per sollevamento, tramite punti di appiglio adeguatamente rinforzati o con fasce di sollevamento fatte passare dentro alla cella, attraverso le aperture.

Queste ipotesi di separazione delle stampate dell'imbarcazione costituiscono alcune possibili soluzioni tecniche al problema del disassemblaggio delle imbarcazioni in vetroresina che presentano questa configurazione costruttiva. Tali soluzioni riguardano alcuni degli aspetti più interessanti del problema, e rappresentano un punto di partenza per una ricerca tecnica che consenta un disassemblaggio completo e ottimale dei diversi componenti del prodotto, tramite la soluzione di molte altre problematiche.

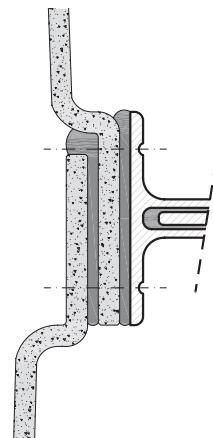
6.5 Gestione dei componenti disassemblati

Completate le operazioni di disassemblaggio, è possibile disporre in maniera indipendente dei macro-componenti che costituiscono l'imbarcazione. Come spiegato in precedenza, questo apre diverse possibilità industriali e commerciali di gestione del prodotto, che ora possono essere osservate dal punto di vista tecnico in modo un po' più approfondito.

Per quanto riguarda lo scafo, scoperchiato della sezione centrale di coperta e svuotato della cella interna, possiamo prevedere di riutilizzarlo nell'assemblaggio della stesso o di altri modelli di imbarcazione, per i quali risulta compatibile.

Come già spiegato in precedenza, la funzionalità dello scafo ha una longevità prestazionale e stilistica maggiore degli altri macro-componenti, essendo la sua geometria più strettamente legata allo scopo di navigare e di contenere i vani tecnici di prua e di poppa (sala-macchine)¹⁶. Dal punto di vista stilistico, inoltre, la parte più disegnata è costituita dalle murate, che possono presentare modanature e spigoli estetici particolari. Questi particolari possono essere concepiti prevedendo una futura polivalenza stilistica di questo componente, in modo che possa adattarsi ad evoluzioni formali di nuovi modelli. Per quanto riguarda l'allestimento tecnico,

secondo sezionamento del giunto ed estrazione della coperta



Longevità funzionale dello scafo

.....
 16 È frequente che nello sviluppo di nuovi modelli si utilizzi il progetto dell'opera viva di uno scafo più vecchio, dal momento che le sue prestazioni marine sono sempre valide, a parità di tipologia di imbarcazione e gestione dei pesi.

i motori e tutti gli altri componenti possono essere revisionati ed eventualmente sostituiti in qualche loro parte per garantirne la corretta funzionalità, sfruttando la già prevista accessibilità al vano motori per tutte le operazioni di manutenzione e sostituzione.

Vi sono alcuni particolari che restano riferiti agli altri macro-componenti disassemblati. Le aperture passanti degli oblò laterali fanno riferimento alla compartimentazione interna dei volumi della cella, che prevede tali aperture in corrispondenza dei bagni e delle zone di maggiore vivibilità. In base alla loro posizione verrà progettata la compatibilità di un'eventuale nuova cella di arredo, facendo riferimento alle matematiche 3d utilizzate per la modellazione dello scafo. Allo stesso modo si terrà conto della presenza di impianti installati nello scafo, alcuni riposizionabili e altri assemblati in modo irreversibile.

Le porzioni di coperta che non sono state rimosse dallo scafo, sopra al vano motori e al gavone di prua, costituiscono il legame stilistico più vincolante in vista di un riutilizzo del componente. Anche in questo caso il disegno della coperta può tenere conto del ciclo di vita prolungato di queste porzioni, qualora si presenti la possibilità di evolvere lo stile sullo stesso scafo di un modello più vecchio. Se proprio fosse impossibile mantenere tali componenti, c'è da considerare che per queste porzioni di coperta il disassemblaggio è meno problematico della zona centrale. Non vi sono infatti ulteriori connessioni oltre a quella della giunzione con lo scafo, che potrebbe essere sezionata in maniera non troppo dannosa. Eventualmente si può estendere l'applicazione del pultruso di connessione anche a questi tratti di giunzione e renderli reversibili¹⁷.

Ripristino dello scafo

Supponendo di poter disporre dello scafo disassemblato senza ulteriori modifiche configurative, verrà eseguito il ripristino delle zone di fissaggio utilizzate e riutilizzabili. Il pultruso presenta la parte rimanente dal sezionamento incollata alla flangia dello scafo, comprensiva di qualche appendice residua del taglio. Essa verrà lavorata per eliminare le sporgenze ed eventualmente ripulita dei rivetti, rimossi per trapanatura apposita. Allo stesso modo vengono rasate le parti rimanenti dei pultrusi T disposti sulle strutture, per il

.....
 17 Per seguire il percorso della giunzione scafo-coperta anche ai segmenti di prua e poppa è necessario prevedere un disegno della giunzione ed una sezione del pultruso tali da potersi adattare alle curve più strette del perimetro, ovvero a prua e negli spigoli della poppa. Lateralmente la curva di accoppiamento scafo+coperta è semplificabile più facilmente.

fissaggio dei setti.

Ipotizzando di riassembleare una nuova serie di pultrusi per un nuovo prodotto, completo, questi dovranno tenere conto di eventuali spessori residui, soprattutto sulla flangia perimetrale. A parte questo, i nuovi elementi di connessione si applicheranno direttamente sui vecchi, mantenendo anche una traccia, in seguito ispezionabile, dei diversi cicli di vita sostenuti dal componente dalla sua prima produzione.

Per quanto riguarda la cella interna, le possibilità di prolungamento del ciclo di vita sono molteplici. Essa viene estratta dallo scafo anche comprensiva degli allestimenti interni di arredo, qualora non si sia provveduto a smantellarne prima una parte. Potenzialmente può essere ripristinata per diventare nuovamente un modulo interno di un'altra barca, in tal caso il mobilio viene lasciato assemblato e si procede solo con il ripristino dei componenti. Nella cella interna si svolge la vita di bordo più intensa in termini di utilizzo diretto dell'utente, e pensare di recuperare e riutilizzare questo componente necessita di prevedere una serie di operazioni di pulizia, riparazione e sanificazione molto approfondita¹⁸.

Riutilizzo del modulo interno

Nel caso in cui la cella sia impiegabile come nuovo modulo interno con arredi rinnovati, sarà necessario procedere con la rimozione del mobilio installato. Esso viene assemblato tramite giunzioni meccaniche sigillate, e risulta smontabile pezzo per pezzo. Non sarà necessario aprire la cella e separare le due controstampate, perchè gli interni sono sempre progettati per poter essere potenzialmente estratti dalla barca attraverso l'apertura del tambuccio, per eventuali manutenzioni e sostituzioni.

Ripristino del modulo e dei punti di giunzione

Oltre ad un ripristino interno, in maniera simile a quanto fatto per lo scafo è necessario recuperare le zone interessate dal precedente assemblaggio, in corrispondenza degli elementi pultrusi utilizzati. La cella presenta il residuo del proflato a U lungo il suo perimetro di chiusura, che può venire facilmente rimosso e rasato dall'esterno della cella, opportunamente posizionata per le lavorazioni. Sulla parte superiore, ovvero sul cielino, troviamo quanto resta dell'accoppiamento con la coperta. In presenza di incollaggio si procederà anche qui allo stesso tipo di ripristino, se invece si sono utilizzati giunti meccanici sarà possibile rimuoverli tramite utensili.

.....
¹⁸ Un procedimento simile avviene per le auto usate, che dopo un utilizzo in leasing possono venire ripristinate a nuovo negli interni, per poter essere vendute come "chilometri zero", previa sanificazione e sterilizzazione.

Qualora invece sia stata sezionata parte della stampata tramite taglio localizzato, sarà necessario prevedere ad applicare una patch di composito per ripristinare la parete danneggiata, eventualmente tramite un pezzo preformato pronto da assemblare¹⁹.

Se non è possibile reintrodurre la cella nel ciclo produttivo nautico, si procederà allo smantellamento di tutti i tipi di componenti per isolare la vetroresina delle stampate. In questo caso sarà possibile aprire la cella per agevolare queste operazioni, anche tramite tagli distruttivi, visto che il componente non ha più valore funzionale legato alla sua integrità²⁰.

Un ultimo utilizzo che può avere la cella è per fini di studio e progettazione. Nel caso in cui si voglia mantenere la sua configurazione interna per nuovi modelli, può essere utilizzato un modulo arredi disassemblato per protipare nuove soluzioni progettuali.

Possibilità di riutilizzo della coperta

La coperta che viene rimossa dallo scafo in fase di disassemblaggio rappresenta la porzione centrale compresa tra le due paratie strutturali di prua e di poppa. Essa rappresenta la parte più esposta allo stesso tempo all'utilizzo degli utenti e alle sollecitazioni atmosferiche esterne. Per questo è presumibile che risulti, al termine di un primo ciclo di vita dell'imbarcazione, il componente più logoro tra quelli recuperati per disassemblaggio. A ciò si aggiunge una considerazione legata all'obsolescenza estetica delle sue forme, che hanno vocazione stilistica tanto quanto funzionale, e sono più soggette al cambiare delle mode da un modello a un altro. Inoltre, pur potendo resistere nel tempo grazie ad un disegno mirato ad una maggiore longevità di mercato, la coperta rappresenta la "veste" esterna che più di tutte segna l'evoluzione di un nuovo modello, e che gli consente di prendere le distanze dalle serie precedenti, acquisendo personalità e facilitando il posizionamento commerciale.

Per queste considerazioni, è difficile prevedere una reintroduzione del componente nel ciclo produttivo nautico, a meno che non si presentino situazioni particolari. In tal caso, è possibile eseguire un ripristino delle flange di accoppiamento, relative ai pultrusi di assemblaggio, così come descritto per gli altri componenti.

.....
 19 Vedi le diverse ipotesi di configurazione di questo giunto, nel paragrafo 6.3.

20 Per questo non si è previsto di poter separare le due stampate di pagliolo e cielino per riutilizzarle indipendentemente, dal momento che la loro integrità ha senso solo se restano unite.

6.6 Conclusioni

Le possibilità produttive e di disassemblaggio descritte possono aprire nuovi scenari interessanti per quanto riguarda una nuova offerta più flessibile del prodotto nautico analizzato. Poter gestire in maniera indipendente i macro-assiemi dell'imbarcazione permette di impostare una sequenza di produzione più aperta, compatibilmente con i vincoli industriali legati a tempi e costi dei processi. Senza addentrarci troppo in valutazioni specifiche, possiamo considerare di poter dividere il momento dell'allestimento degli interni dal loro assemblaggio con lo scafo e la coperta. Ciò significa poter gestire a fine assemblaggio la tipologia di configurazione da dare al prodotto finito, che accoglierà un allestimento o un altro solo al momento dell'inserimento finale del modulo interni nella "scatola" scafo+coperta. Questo può tradursi in una maggiore flessibilità e una più rapida risposta produttiva verso le richieste di mercato.

**Nuovi scenari produttivi
grazie alla modularità**

Per ricordare un altro aspetto interessante, gestire separatamente il modulo interno consente di evolvere le fasi di progettazione e prototipazione del prodotto, specialmente per quanto riguarda gli interni. È possibile studiare nuovi allestimenti ed esternalizzare la loro messa a punto in maniera più affidabile.

Per quanto riguarda il disassemblaggio, si prospettano interessanti scenari di allungamento della vita dei componenti, che una volta separati possono mantenere un valore di riutilizzo nel ciclo produttivo.

**Valore del disassemblaggio
e prospettive commerciali**

Un caso tipico può esprimersi nell'offerta di un servizio di aggiornamento dell'imbarcazione, ad un prezzo concorrenziale rispetto al nuovo. Tramite le operazioni di apertura (ed eventuale sostituzione) della coperta e sostituzione del modulo interno il cantiere è in grado di rinnovare il prodotto ciclicamente e legare così il cliente per un periodo prolungato. In questo modo, inoltre, il cantiere può affiancare alla produzione ordinaria una sezione di "modular refitting" aggiuntiva, aumentando i suoi sbocchi commerciali²¹. Tali servizi potranno essere gestiti anche tramite la rete di vendita convenzionata, localizzata a livello internazionale per seguire i prodotti con questi nuovi servizi.

.....
21 Verrà offerta, al momento della vendita, la possibilità di usufruire di pacchetti di controllo e aggiornamento di componenti certificati direttamente dal cantiere, prospettando nel cliente la possibilità di rinnovare la propria barca negli anni, a costi vantaggiosi.

**Predisposizione alle future
imposizioni legislative**

Se l'imbarcazione è giunta a fine vita senza intenzione di prolungarne l'uso con la sostituzione di un componente, può essere ritirata in cantiere e disassemblata, in uno scenario di responsabilità del produttore che inneschi un sistema di recupero e gestione del fine vita. Dei macro-componenti separati, quelli senza valore commerciale nella produzione saranno avviati al riciclo o alla dismissione, mentre lo scafo potrà essere recuperato per reinserirlo nel programma produttivo dell'usato, qualora esista un ciclo modulare abbastanza avviato.

**Limiti attuali all'evoluzione
progettuale nel settore nautico**

Probabilmente l'introduzione di una costruzione modulare come quella descritta necessita che lo scenario produttivo si evolva maggiormente, per alcuni aspetti. Le soluzioni progettuali ipotizzate presuppongono un certo livello di industrializzazione del prodotto, tale da poter avere un notevole controllo dimensionale e di assemblaggio tra le parti. Anche se gli strumenti e le competenze necessarie sono già ampiamente inseriti nel processo progettuale di questo settore, verosimilmente solo poche realtà industriali sono in grado attualmente di recepire questi spunti di innovazione.

Da un punto di vista culturale, il mercato nautico presenta caratteristiche tali da renderlo ancora poco interessato alle discipline proprie della progettazione sostenibile. Diversamente, in altri settori produttivi essa ha già favorito importanti miglioramenti, in termini industriali ed economici, sicuramente stimolati anche da una maggiore pressione legislativa sul tema. Ci si aspetta, quindi, che anche nella nautica si sviluppi una maggiore attenzione ai temi legati alla dismissione, attraverso una maggiore coscienza ambientale e una visione più ampia e lungimirante del ciclo di vita del prodotto, al passo con i tempi.

Per queste motivazioni, possiamo ipotizzare che soluzioni come quella proposta in questo lavoro, pur suscitando un immediato interesse, necessitino ancora di qualche tempo per essere recepite concretamente dai cantieri e dal mercato.

In conclusione, come descritto nei capitoli precedenti, lo studio per il disassemblaggio è da relazionare agli obiettivi progettuali, industriali ed economici legati alle reali possibilità di recupero di valore da queste operazioni, in termini di riutilizzo e riciclo dei componenti.

Le prospettive di evoluzione produttiva legate ai vantaggi

della modularità possono rappresentare una leva economica interessante, anche – o soprattutto – in momenti di crisi per il mercato nautico. Estendere la vita del prodotto, e poter trarre vantaggio commerciale dal suo aggiornamento nel tempo, è una strategia che può comportare nuovi ritorni economici, in un settore che tratta un prodotto per certi versi ancora acerbo e poco sfruttato da questo punto di vista.

Appendice

Alcuni progetti di trattamento di imbarcazioni a fine vita (ELB)

Il progetto NORBOAT 1994

Si cerca inizialmente di collaborare con l'industria di fabbricazione del cemento NORCEM, per esplorare le possibilità di riutilizzo di materiale e recupero di energia. Le conclusioni sono positive, eccetto che per i costi. La schiuma di PVC, presente in laminati sandwich, può essere accettata nel processo assieme al cemento, in uno dei forni della NORCEM in cui si aggiunge cloro per conferire al prodotto finito alcune proprietà richieste. Tuttavia la sperimentazione nella produzione di cemento aveva bassa priorità, in quanto si cercavano soluzioni di riciclo a valore più alto. In seguito, un gruppo di giovani conosciuti come gli "EcoPilots", contribuisce nella ricerca di ELB abbandonate in un'area ristretta di costa, vicino alla città di Fredrikstad. Vengono trovate, catalogate e fotografate 67 imbarcazioni. Solo cinque portano ancora i numeri identificativi, e tre di queste non sono più presenti sul registro delle autorità. Non si riesce risalire ai proprietari di nessuna delle 67 barche, il 67% delle quali è di lunghezza inferiore ai 4,5 metri. Sette delle 67 barche, ostruite di VTR, polietilene e legno, vengono portate ad una stazione di smantellamento e trattate adeguatamente.

La vetroresina macinata, con aggiunta di resine poliesteri, viene testata come anima nella skin di un'imbarcazione fuoribordo di fabbricazione svedese, con esito positivo e incoraggiante.

Con riferimento al punto 6.d qui di seguito, si contatta una grande compagnia assicurativa, giungendo a conclusioni costruttive riguardo il concetto di "Assicurazione Riciclo" (vedi riguardo nella sezione precedente "1.2.3.c - Aspetti Economici")

Viene stilata una lista delle conclusioni raggiunte:

1. E' necessario intraprendere quanto prima delle iniziative per fronteggiare il problema della dismissione
- 2.a Non sono disponibili dati statistici per avere una visione generale
- 2.b Non esiste al momento nessun sistema per ottenere dati sufficienti a pianificare un sistema di smaltimento
- 2.c Identificare i proprietari di ELB abbandonate è molto difficile
- 2.d La raccolta di ELB abbandonate è molto complicata, perchè sono spesso di difficile accesso
- 2.e Vi è chiaramente troppo abbandono illegale, che deve essere evitato
- 2.f Raccolta, trasporto e trattamento sono costosi, e si deve predisporre un finanziamento adatto
3. Si devono prendere in considerazione tutti i possibili materiali di costruzione delle barche
4. E' indispensabile un registro centrale, affinché i proprietari non possano evitare le loro responsabilità di smantellamento.
5. Lo studio di riutilizzo e di refittig può aprire nuove opportunità di business.
- 6.a Stabilire fondi appositi per finanziare lo smantellamento di future ELB
- 6.b Inizialmente i costi di trattamento di ELB anonime devono essere coperti da fondi governativi
- 6.c Trovare soluzioni per finanziare il trattamento di ELB, fino alla creazione di un apposito finanziamento
- 6.d Un sistema di assicurazione sembra poter essere una soluzione plausibile nel sistema dell'industria nautica
- 7.a Sono da valutare appieno la logistica e la struttura dei siti di smantellamento
- 7.b E' vitale la cooperazione con strutture esistenti di trattamento dei rifiuti.
- 7.c Sul problema del trattamento dei materiali di rifiuto FRP tutta l'industria relativa deve cooperare, non solo i costruttori di barche.
8. Per riuscire a stabilire un sistema corretto, occorre una legislazione apposita.
9. Si potrebbe progredire mediante la costituzione di un sistema a livello nazionale.

Viene predisposto un piano per le azioni successive, secondo i seguenti punti:

- Minimizzare gli impatti ambientali negativi del processo (incluso il trasporto e il trattamento)
- Logistica ottimizzata economicamente
- Sviluppo di metodologie adatte
- Valutazione dei mercati potenziali per la collocazione (rivendita) dei prodotti.
- Sviluppo di prodotti basati sui materiali provenienti dalle ELB
- Progetto principale: smaltimento di 2000 imbarcazioni di tutte le dimensioni e materiali

- Valutazione della localizzazione ottimale dei terminali e dei siti
- Cooperazione con l'intera industria del FRP

Il progetto venne poi sospeso per mancanza del supporto governativo, in quanto il Dipartimento dell'Ambiente non ritenne più lo smaltimento di ELB un problema urgente.

Il progetto JBIA 2002-2006

Al congresso ICOMIA del 2002 l'Associazione dell'Industria Navale Giapponese (JBIA, Japan Boat Industry Association) presentò un progetto intrapreso in comune con il Ministero del Territorio, Infrastrutture e Trasporti (MLIT) e l'Istituto Giapponese di Ricerca Marittima. Questi i due scopi principali del progetto:

- Risolvere i potenziali problemi ambientali delle imbarcazioni abbandonate sulle coste
- Soddisfare la richiesta pubblica per creare una società con coscienza ambientale

Al congresso del 2006 la JBIA presentò un progetto aggiornato sullo sviluppo del loro processo di riciclo di VTR secondo queste fasi:

1. Raccolta delle barche in VTR in disuso
2. Scomposizione
3. Separazione (interni, legno, metalli, sartame, etc..)
4. Trasporto delle parti VTR separate
5. Taglio e sminuzzamento
6. Smistamento delle parti VTR di 20mm dal legno, da altri materiali
7. Forno rotativo per il processo di produzione del cemento

Basandosi sull'esperienza acquisita, lo scopo del progetto era stato leggermente modificato e ampliato:

- Risolvere i potenziali problemi ambientali derivanti dalle barche in FRP illegalmente abbandonate e/o affondate.
- Soddisfare la richiesta pubblica per creare una società orientata al riciclo ed all'uso efficace delle risorse
- Estendere la responsabilità dei costruttori di barche in VTR allo stadio successivo al periodo di utilizzo (EPR).

Il sistema di riciclo giapponese è gestito dalla JBIA che ha iniziato a operare in aree limitate, con l'intenzione di espandersi ogni anno, fino ad essere disponibile in tutto il paese nel 2007. Il costo netto dello smaltimento così come descritto è sensibilmente inferiore al costo di smaltimento convenzionale di ELB nel paese. La soluzione del cemento si è dimostrata una scelta di successo, e la collaborazione tra l'industria navale e quella del cemento si è rivelata molto costruttiva.

Il progetto FIN 2005-2006

Lo studio francese di FIN (Fédération des Industries Nautiques) si riferisce a richieste di regolamentazione e alla Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), cioè meccanismi in virtù dei quali la responsabilità passa dal proprietario del mezzo da smantellare ai produttori dello stesso, e prende in considerazione i seguenti punti:

- Il ciclo di vita di una imbarcazione da diporto è relativamente lungo.
- Quando le barche sono smantellate c'è poco da fare ormai per il riciclaggio economico dei rifiuti prodotti.
- Le imbarcazioni non sono tenute sotto sufficiente controllo.
- Il volume è abbastanza scarso (20.000 t/anno)
- La vela è una attività ricreativa "in esterno"

Quando si considera un processo di smaltimento, l'industria tipicamente tende a processi che risultino finanziariamente accettabili ai proprietari delle barche da smaltire, cercando di ottimizzare i costi di smantellamento, meglio se eseguito da servizi professionali, con un approccio durevole nel tempo.

Gli scopi dello studio francese sono i seguenti:

- Varare un piano per lo smantellamento industrializzato di imbarcazioni a vela e a motore dai 4 ai 12 metri

- Determinare le implicazioni legali relative a imbarcazioni da diporto che arrivano alla fine della loro vita utile.
- Identificare e valutare i costi e le fonti di finanziamento
- Stilare un piano organizzativo per coordinare l'intero schema

Il rapporto continua con una analisi più attenta alla logistica, al processo di smantellamento, alla gestione dei rifiuti generati, e stabilisce una lista dei costi connessi all'operatività di un impianto centralizzato con una capacità di trattamento bilanciata. Una cifra media, includendo la logistica di raccolta, smantellamento e trattamento dei rifiuti, si aggira intorno ai 200€ per una barca di 4m, 530€ per una di 6m e 4750€ per una di 12m.

Costi stimati (2006) di operazione di un centro che tratti 1500 barche di 6 m di lunghezza (€):

costi logistici connessi alla raccolta delle imbarcazioni	450.000
smantellamento	1.233.000
smaltimento dei	120.000
totale	1.803.000
costo medio per barca	1.202

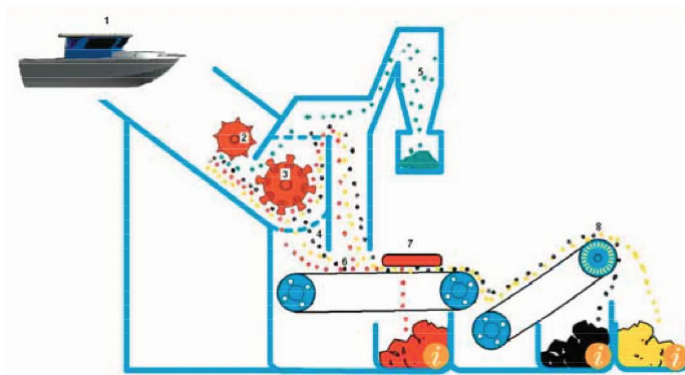
Il costo medio (dipende dalla lunghezza) per imbarcazioni di 4m è stimato a 530€, per imbarcazioni di 12m a 4.750€.

Lo studio considera come stabilire una "sistema ELB" e come finanziarlo. Viene approntato e testato un processo di smantellamento industrializzato, che consente di identificare e stimare i costi per mettere in piedi il sistema e le potenziali fonti di finanziamento; vengono anche identificate le implicazioni legali presenti e future. Il rapporto termina con una stima dei rischi connessi sia con far partire il progetto, sia con il rimanere fermi.

Il progetto FINNBOAT 2005-2006

Il report finlandese "Progetto di riciclo imbarcazioni" datato 3/11/2006 asserisce che in Finlandia vi sono 750.000 barche da diporto, di cui circa 3000 vengono smantellate ogni anno. Attualmente lo smantellamento è responsabilità del proprietario; prima del 2005 non esisteva alcun modo ragionato di riciclare le imbarcazioni.

Il sistema si basa sull'esperienza della società di riciclo Kuusakoski¹, maturata nel riciclo dei veicoli. Kuusakoski ricicla ogni anno, solo in Finlandia, diverse centinaia di tonnellate di materiale metallico sminuzzabile. La scala di questa operazione ha effetti positivi sia sulla logistica che sul processo di sminuzzamento. Per le ELB viene usata la stessa macchina utilizzata per i veicoli (sminuzzatore a martello). Un separatore a flusso d'aria è utilizzato per searare legno, FRP e plastica dal metallo, mentre i diversi tipi di metallo sono separati mediante separatori a magneti, a corrente di Eddy, a effetto galleggia-affonda. La macchina accetta componenti da sminuzzare delle dimensioni di una grande automobile. Finora i rifiuti FRP sono stati versati in discarica, in quanto nessun mercato ha accettato di prendersi la quantità, relativamente piccola (circa 10 t/anno) di FRP sminuzzato.



FASI DEL PROCEDIMENTO FINLANDESE

1. La barca è inserita nel frantoio
2. Cilindro di alimentazione
3. Cilindro/martello di frammentazione
4. Filtro di separazione piccole parti
5. Aspirazione polveri
6. Nastro di trasporto
7. Separatore magnetico per metalli ferrosi
8. Separatore a corrente di Eddy, per la separazione di metalli non ferrosi (alluminio, rame, ottone)

¹ **Kuusakoski AB** è la società leader di riciclo nel Nord Europa ed uno dei maggiori produttori di materiali di riciclo al mondo. I maggiori mercati a cui si rivolge sono Europa e Asia. Fondata nel 1914, nel 2005 il Gruppo Kuusakoski OY ha un fatturato di 811 milioni di Euro e più di 3300 dipendenti.

Nell'estate del 2005 la Finnboat, in cooperazione con la Kuusakoski, iniziò una un sistema di prova per la raccolta delle barche nella zona dell'arcipelago Turku. La raccolta iniziò con un piccolo traghetto merci, che girava per le isole raccogliendo le barche. Nei porticcioli raggiungibili si adoperavano dei camion muniti di gru. In alternativa, i proprietari di imbarcazioni potevano consegnarle essi stessi ad alcuni rivenditori nautici della zona. Tutti i costi connessi venivano coperti da Kuusakoski, cosicché il riciclo era totalmente gratuito per i proprietari. Durante l'estate vennero portate all'area di smantellamento circa 180 barche, delle quali il 50% erano in FRP, il 20% in ABS, 20% in legno, e 10% in metallo.

Nell'estate successiva si partì con il sistema completo. A seguito dell'esperienza acquisita l'anno precedente, Finnboat e Kuusakoski decisero di estendere il sistema all'intero Paese. Le barche potevano essere riconsegnate a 23 centri di riciclaggio e ad alcuni concessionari. Venne anche offerto un servizio di trasporto; i costi erano coperti da una tassa di riciclo, pari a 10€/m per barche fino a 6m, e di 150€/t per lunghezze superiori. In questo modo si riuscì a contenere il costo, per effetto del sistema di riciclaggio molto efficiente. Il trasporto era abbastanza costoso, circa 70€/h, mentre si poteva prendere in prestito a costo zero un rimorchio, su cui caricare la barca per spostarla fino al centro di riciclo. Nell'estate del 2006 vennero raccolte 250 barche, la maggior parte delle quali in FRP.

Guardando al futuro, il rapporto esprimeva che Kuusakoski e Finnboat avrebbero continuato a riciclare barche in Finlandia per l'intero anno, specificando che il costo del riciclo diventerà una responsabilità dei produttori.

Bibliografia

- AA. VV., *Decommissioning Of End-Of-Life Boats – A Status Report*, International Council of Marine Industry Associations (ICOMIA), Londra, 2007.
- AA. VV., *Nautical activities: what impact on the environment?*, European Confederation of Nautical Industries (ECNI), Bruxelles, 2009.
- AA. VV., *Basic Principles of Life-Cycle Assessment*, International Council of Marine Industry Associations (ICOMIA), Londra, 2007.
- AA. VV., *Definizione di linee guida, strategie e strumenti per la dismissione delle imbarcazioni in vetroresina al termine del ciclo di vita*, Piattaforma Tecnologica Nazionale Marittima, Roma, 2008.
- AA. VV., *“Nautica in cifre - analisi del mercato per l’anno 2010”*, Centro studi UCINA, Genova, 2011.
- AA. VV., *Tecnologie e processi per la produzione nautica*, supplemento a NauTech, Tecniche Nuove, Milano, 2010.
- Ashby M., Johnson K., *Materiali e Design*, CEA Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2005.
- BMWGroup, *Vehicle Recycling. Focus on Sustainability*, Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft Technologiekommunikation, München, 2005.
- Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. A., *Product Design for Manufacture and Assembly*, CRC Press, New York, 2010.
- Chiodo, J. D., *“Design Principles for Active Disassembly”*, Brunel University, London, 2005.
- Jovane F., Boldrini A., *Sostenibilità e sviluppo sostenibile*, Corso di sistemi integrati di produzione, Politecnico di Milano, 2006.
- Musio-Sale M., *Yacht Design - dal concept alla rappresentazione*, Tecniche Nuove, Milano, 2009.
- Pisano S., *Eco-efficienza nel settore nautico*, Politecnico di Milano, 2006.

- Piardi S., Ratti, A., Maggiulli F., *Costruire imbarcazioni da diporto*, Libreria Clup, Milano, 2005.
- Streiffert B., *La barca in vetroresina*, Mursia, Milano, 1998.
- Stevenson K., *“End of Life Hulls - The current situation and disposal options”*, University of Southampton, Southampton, 2008.
- Van Loon, H. W., *Storia della Navigazione*, Magenes, Milano, 2008.
- Vezzoli C., & Manzini E., *Design per la sostenibilità ambientale*, Zanichelli, Bologna, 2007.
- Villa V., *Database per la dismissione di imbarcazioni da diporto*, tesi PhD, Politecnico di Milano, 2012.

Articoli, riviste, atti di convegno

- AA. VV., *“Greenitaly 2011 - L'economia verde sfida la crisi”*, 2011.
- AA. VV., *“Greenitaly & Nautica - Innovazione ed eco-efficienza per la competitività nella nautica”*, 2010.
- Abrami S., *“Green Passport - Un modo nuovo di affrontare la progettazione a 360° includendo anche lo studio di fine vita dell'imbarcazione”*, da presentazione al seminario MIDRO 2012, Milano.
- Bertelli P., *“Nulla si crea e nulla si distrugge. O quasi...”*, Mondo Barca, Milano, 2008.
- Cinquegrana F., *Il car-fluff: ultimo anello del percorso di smaltimento di autoveicoli a fine vita. Il caso della discarica controllata Faeco*, Faeco Spa, Montichiari, 14/09/2007.
- Curatolo P., *“La produzione nautica”*, NauTech, tecniche Nuove, Milano, 2010.
- Di Carlo S., *“I veicoli fuori uso - La svolta per il risultato”*, Ecomondo, 6/11/2008.
- Di Martino A., *“End of Life Boats - Dismissione e riciclo di unità da diporto, componenti e stampi”*, da presentazione al seminario MIDRO 2012, Milano.
- Frassine, R., *“Materiali per un futuro sostenibile”*, Compositi, 2008.
- Gessner, G., *“Come riciclare le barche”*, Il Sole 24 Ore, 6/09/2010.
- Giocosa, A., *“Innovazione passata e futura nell'industria automobilistica”*, Compositi, 2010.
- Vattese, A., *“La nuova sfida è l'ecocompatibilità”*, Il Sole 24 Ore, 27/04/2010.

Sitografia

www.activedisassembly.com
www.altomareblu.com
www.azimutyachts.net
www.ban.org
www.bmwgroup.com

www.boatingbusiness.com
www.corecork.amorim.com
www.ecosmes.net
www.fibergrate.com
www.icomia.com
ec.europa.eu
www.infiniti.it
ita.sika.com
www.itwplexus.co.uk
www.jeanneau.com
www.matech.it
www.milanomet.it
www.montecarlo-yachts.it
www.nautica.it
www.nautyluxslem.it
www.novambiente.it
www.plastics.dupont.com
www.portalecompositi.it
www.prochima.it
www.sessamarine.com
www.shipbreakingplatform.org
www.somain.it
www.symbola.net
www.tecnologiaindustriale.it
www.topglass.it
www.ucina.net
www.wikipedia.com