

IL TITANIO E LE SUE LEGHE
COME MATERIALE STRUTTURALE
NELLE COSTRUZIONI NAVALI

Comunicazione al
VII MEETING SUL TITANIO
15 Novembre 1991

organizzato dalla
GINATTA TORINO TITANIUM

di
Alessandro Fabroni

Fabroni Engineering
Milano -Firenze

Buongiorno, sono Alessandro Fabroni e da oltre 20 anni mi occupo di progettazione navale nel settore della cantieristica minore al quale dedico, unitamente al mio Gruppo (Fabroni Design e Fabroni Engineering) attenzione anche nello sviluppo di nuove tecnologie e di "nuovi" materiali.

ABSTRACT

Nel mio intervento, maturato al seguito ad una positiva ed efficace collaborazione con la GINATTA TORINO TITANIUM, si intendono evidenziare le caratteristiche che rendono il Titanio ed alcune sue leghe un eccellente materiale strutturale per uso navale.

Si desidera, inoltre, evidenziare come una non corretta valutazione ed informazione sulla lavorabilità del materiale e del suo costo abbiano fino ad oggi limitato l'impiego del materiale, nel settore navale, a parti e componenti di limitata entità.

Si evidenzieranno le caratteristiche che un materiale strutturale deve avere per essere valido in tale tipo di costruzione.

Si daranno cenni sulle caratteristiche del titanio e delle leghe prese in considerazione ed i motivi di tale scelte.

Si daranno anche cenni sui sistemi di lavorazione del materiale, con specifico riferimento alla carpenteria navale.

Desideriamo dimostrare che una imbarcazione realizzata completamente in titanio risulta un'ottima unità con caratteristiche, sia riferite al peso, sia alla quasi totale assenza di manutenzione, sia all'affidabilità nel tempo che nessun altro materiale è in grado di offrire.

Desideriamo sottoporre alla Vostra attenzione che uno scafo in titanio conserva nel tempo il valore del capitale impiegato dal suo Armatore.

Desideriamo altresì sottolineare che una imbarcazione, con strutture e fasciami in titanio ha un costo uguale o di poco superiore ad una unità realizzata con materiali convenzionali.

Voglio ringraziare, in modo particolare il Dottor Ezio Debernardi, gli Ingegneri Luigi Varalda e Andrea Fogliarini della Ginatta Torino Titanium, nonché gli Ingegneri Giovanni Svava e Fulvio Grassi ed il Geometra Gabriele Caciotti, miei collaboratori, che hanno reso possibile questa mia comunicazione.

Ringraziamo altresì il Registro Italiano Navale, il Lloyd's Register of Shipping ed il Bureau Veritas che hanno attivamente collaborato a verificare le nostre ipotesi di calcolo strutturale.

PREMESSA

Il comparto della cantieristica minore, quello della nautica da diporto e quello delle imbarcazioni per usi speciali, resta un comparto prevalentemente artigianale dove non è possibile, data la struttura tecnica e produttiva, in funzione dei numeri e del fatturato, svolgere una vera e propria attività di ricerca, sperimentazione e progettazione industriale.

Ciò nondimeno è possibile, anzi doveroso, data la premessa fatta, introdurre ed apportare tecnologie mediandole da altri settori produttivi, decisamente più evoluti, al fine di un miglioramento qualitativo del prodotto.

Questa esigenza: il miglioramento qualitativo, è soprattutto sentita dalla cantieristica italiana e da quella di altri paesi europei in quanto è nella qualità, e non nella quantità, che tale cantieristica trova la propria ragione di essere ed è appetita dai più importanti mercati come gli Stati Uniti, il Giappone, il mondo arabo nei quali esiste una utenza con forte propensione all'acquisto di super boats.

La cantieristica nazionale, ove oltre il 70% del fatturato è rappresentato da questo tipo di produzione, prevalentemente destinato ai mercati esteri, ha fatto notevoli progressi in molti settori: da quello dell'impiantistica di bordo, a quello dei controlli elettronici dell'unità, alle finiture, allo studio ed ad una diversa e più attuale logica delle compartimentazioni, alle carene, ai sistemi propulsivi, al design.

Nomi notissimi nel campo della progettazione navale da Renato Sonny Levi a Fabio Buzzi, da Paolo Caliarì a Pierluigi Spadolini, da Andrea Vallicelli agli Sciomaken, nomi altrettanto noti della cantieristica da Riva ai Benetti, dai Cantieri di Pisa a i Sangermani, ai Mostes, alla CUV hanno portato nel mondo il così detto italian style, ove forme e contenuti tecnici sono un tutt'uno, invidiato dal mondo intero.

Solo nel campo dei materiali da costruzione, ove si voglia per un'istante dimenticare gli imponenti sforzi fatti dalla Tecnara nelle imbarcazioni da regata, sia a vela che a motore (i MORI DI VENEZIA ed il FERRETTI OFF-SHORE), richiesti per impieghi esasperati e troppo specialistici per avere un seguito più o meno immediato nella produzione, i passi avanti sono stati molto limitati.

Non solo: la nostra tecnologia del lamellare, dell'acciaio, delle leghe leggere è stata fatta propria da produttori di paesi emergenti che, data la loro struttura produttiva e i contenuti costi di manodopera, si presentano al mercato, dopo un periodo di adattamento, come agguerriti concorrenti.

L'inerzia mentale, l'adattamento al comune, di alcuni produttori e di alcuni progettisti ha aggravato questa situazione di stallo.

Fatte queste premesse che portano alla conclusione che sia necessario ed indispensabile uno sviluppo tecnologico nel settore dei materiali da costruzione, se un certo tipo di cantieristica vorrà sopravvivere e riproporsi come leader nei mercati mondiali, occorre traslare da altri settori materiali e tecnologie, che già offrono una consolidata sperimentazione ed impostazione tecnico produttiva, pur con i neces-

sari adeguamenti allo specifico settore della cantieristica minore.

Le esperienze del nostro Gruppo di progettazione e sviluppo del prodotto, maturate in questi ultimi anni, grazie anche alla attiva collaborazione della GINATTA TORINO TITANIUM, ed alle tavole di studio organizzate nel settembre 91 dalla stessa GTT con la collaborazione del nostro Gruppo, ci portano inequivocabilmente ad indicare il titanio ed alcune sue leghe come il materiale in grado di dare una svolta in positivo ed un deciso miglioramento qualitativo nelle costruzioni navali.

Desidero pubblicamente ringraziare il nostro ospite la Ginatta Torino Titanium, non solo a nome personale, ma di tutta la cantieristica minore, per la sensibilità che, quale importante azienda mondiale nel settore del titanio, ha mostrato nei confronti di un comparto produttivo, che, aimè, come detto, non ha una propria potenzialità per avvicinarsi a nuove tecnologie, e qualche volta, purtroppo, manca anche di stimoli sufficienti nell'andarle a ricercare.

INTRODUZIONE

Il titanio ha avuto in passato una larga diffusione nel settore aerospaziale a causa della sua eccellente combinazione di caratteristiche meccaniche/densità, resistenza a fatica, ed eccezionale resistenza a tutte le forme di corrosione, sia chimica che galvanica, nonché alla sua amagnetività ed all'assenza di fenomeni di cavitazione.

Oltre l'impiego aerospaziale, il titanio si è dimostrato estremamente versatile negli impieghi industriali colmando "la breccia di progettazione" che esiste tra le leghe leggere di alluminio e gli acciai.

Il suo utilizzo si fa sempre più ampio in tutti i settori industriali, da quello meccanico, al chimico, all'edilizia e, non ultimo, il medico chirurgico.

L'ignoranza delle caratteristiche del materiale, delle sue tecnologie e delle sue lavorazioni, oltre la preconcepita valutazione di elevati costi di acquisto e di lavorazione ha portato ad un generalizzato disinteresse verso il Titanio, anche da parte di quegli organi di classifica, i Registri Navali, che istituzionalmente sono chiamati a redigere i regolamenti di costruzione e ad approvare e sorvegliare le medesime.

Nel settore navale il titanio ha fino ad oggi trovato scarsissime applicazioni se non in particolari e componenti secondari, di scarso rilievo, se si esclude "impiego nei sommergibili russi di ultima generazione ed alcune esperienze americane in mezzi da sbarco dove il materiale era impiegato essenzialmente come protezione balistica.

In Italia solo grazie all'iniziativa della GTT e del nostro Gruppo si è recentemente iniziato a svolgere un'azione di promozione tecnica, di ricerca specifica e di adeguamento alle metodologie di costruzione, nel settore, che ha già portato ai primi risultati coinvolgendo i più qualificati ed importanti Registri di Classifica in una valutazione regolamentare del materiale.

Il primo anello è quindi spezzato e già posso affermare che il Registro Navale Italiano, il Lloyd's Register of Shipping ed il Bureau Veritas sono disponibili ad esaminare

costruzioni in titanio ed alcune sue leghe sia con calcolo diretto, ma anche sulla base di uno studio di un procedimento di calcolo per redatto pre analogia con altri materiali metallici.

Questo studio, del quale la presente comunicazione ne riporta gli elementi essenziali, dopo un'attenta analisi relativa alle caratteristiche del materiale e delle possibilità di lavorazione, specificatamente riferite al nostro campo di impiego e di utilizzo, ci ha posto nella convinzione che il titanio sia un materiale eccezionale sotto un punto di vista tecnico e praticamente concorrenziale anche nei costi per imbarcazioni di elevate caratteristiche e di prestigio, destinate a durare nel tempo.

CENNI SULLE CARATTERISTICHE RICHIESTE DA UNA COSTRUZIONE NAVALE

Vorrei sottoporre alla Vostra attenzione le principali caratteristiche che sono richieste ad una costruzione navale per poi rapportarle a quelle del materiale da noi preso in considerazione.

- A) DURATA NEL TEMPO DELLA COSTRUZIONE
- B) ASSENZA E/O SCARSITA' DI MANUTENZIONE
- C) MANCANZA DI FENOMENI DI CORROSIONE ED OSMOSI
- D) PESO
- E) CARATTERISTICHE ACCESSORIE
- F) VALIDITA' DEL COSTO DI COSTRUZIONE

A) Durata nel tempo della costruzione.

Una unità sia da diporto, che destinata ad usi speciali (pattugliamento, soccorso, antincendio, ricerca, Etc.) ha un alto valore globale pertanto la sua utilizzazione nel tempo deve essere la più lunga possibile onde ammortizzare in maniera efficace l'impegno economico che questa ha richiesto.

Lo scafo, i ponti e le sovrastrutture hanno un costo percentuale relativamente basso rispetto agli altri componenti, ciò non di meno una non adeguata durata nel tempo di tale, fondamentale, componente compromette in modo pressoché irrecuperabile la restante, preponderante, parte della costruzione o comunque implica costi di ripristino elevatissimi.

E' una delle caratteristiche fondamentali di uno scafo (fasciami e strutture) che la sua durata garantisca gli alti investimenti della intera costruzione.

Un esempio di ciò può essere fornito da una unità da diporto di 27 metri realizzata

circa venti anni or sono in acciaio dove la maggior parte dei componenti, impianti, arredi, motori era sostanzialmente valida ed efficiente, ma dove una parte (circa il 30%) dei fasciami dovevano essere sostituiti per il loro stato di corrosione.

Questa operazione ha comportato un fermo dell'unità di oltre 8 mesi, ma, sopra tutto, lo smontaggio e smantellamento di tutti i principali componenti, compreso gran parte degli alloggi, il cui costo di reinstallazione e ripristino è ben superiore al puro costo della sostituzione dei fasciami avariati.

Si può pertanto concludere, che là dove esista un materiale che non presenti tale inconveniente il valore intrinseco dell'unità è molto superiore, a prescindere dal costo di costruzione.

B) Assenza e/o scarsità di manutenzione.

L'assenza o la scarsità di manutenzione influiscono su due sfere distinte di valutazione.

- costi di manutenzione,
- oneri del fermo barca.

Con i materiali strutturali solitamente fino ad oggi impiegati, sia che si tratti di legno, con le sue variate tecnologie, sia che si tratti di acciaio o leghe leggere di alluminio, ma anche di vetroresina o di compositi esiste una costante: a più o meno brevi intervalli di tempo occorre che le strutture ed i fasciami siano protetti generalmente, con procedimenti particolari, solitamente da vernici di vario genere:

Questa operazione, mentre nei fasciami esterni comporta solo l'onere economico di un ripristino per la loro facile accessibilità, è estremamente complessa per quanto riguarda i fasciami interni e le strutture, spesso difficilmente accessibili od accessibili previo smontaggio e rimozione di molti componenti.

L'altro aspetto, riferito con maggiore interesse alle unità per usi speciali e quindi da lavoro, ma anche sulle unità da diporto, riguarda i tempi e la frequenza di manutenzione che incidono in maniera rilevante sulle valutazioni economiche di gestione di un'unità.

I periodi di fermo per manutenzione incidono pesantemente sulla redditività e sulla fruibilità del natante.

Tale valutazione, spesso non considerata nel diporto, dovrebbe destare comunque un certo interesse in quanto i tempi di nolo dello scalo hanno costi molto elevati.

C) Mancanza di fenomeni di corrosione ed osmosi.

L'assenza di fenomeni di corrosione, nel caso dei metalli, od osmosi, nel caso della vetroresina, o teredini e marcescenza, nel caso del legno, rappresenta un fattore riconducibile ai due succitati punti, ma rappresenta anche un elemento di sicurezza passiva che non può non essere preso in considerazione.

E' noto che l'ambiente marino è estremamente aggressivo sia per aspetti elettro-galvanici che chimici e fisici.

La assenza di tale problema pone il materiale che non è soggetto a tale situazione in una condizione ottimale e quindi preferenziale rispetto agli altri, anche sotto il profilo della sicurezza.

Nel caso di unità da diporto questo fenomeno ha assunto una rilevanza tutta particolare in quanto tali tipi di unità hanno lunghi periodi di stazionamento in porto, periodi che favoriscono i fenomeni di corrosione sia chimica che galvanica.

D) Peso.

In un materiale strutturale le sue caratteristiche meccaniche in rapporto al peso specifico diventano un elemento qualificante in qualsiasi tipo di costruzione navale, in modo particolare quando si parla di unità veloci del tipo planante dove il conseguimento delle prestazioni è in gran parte demandato alla leggerezza dell'insieme.

Materiali come l'acciaio, con caratteristiche meccaniche eccellenti, trovano un limite nel peso specifico del materiale, quasi triplo rispetto alle leghe leggere e doppio rispetto al titanio.

E) Caratteristiche accessorie.

Al di là di quanto fino ad ora, sommariamente esaminato, molteplici sono le caratteristiche che un materiale può offrire, rispetto ad altri, nell'utilizzo navale; esaminiamone alcune.

Elementi positivi sono, senza dubbio, il fatto di essere amagnetico, di avere una temperatura di fusione molto elevata, di avere una scarsa conducibilità termica, di avere scarsa conducibilità alla propagazione dei rumori e delle vibrazioni, lo stesso modulo elastico, che per certi aspetti dell'ingegneria navale rappresenta un limite a livello strutturale, può essere elemento positivo se valutato nel caso di piccoli urti accidentali.

La stessa presenza superficiale del materiale può essere ulteriore elemento di caratterizzazione e di diversificazione.

F) Validità del costo di costruzione.

La valutazione che comunque resta determinante nelle scelte è pur sempre una valutazione economica relativa alla costruzione:

Occorre esaminare a fondo il problema e non limitarsi ad una indagine superficiale del semplice e puro costo del materiale e della sua lavorazione come successivamente esamineremo in modo dettagliato.

CENNI SULLE CARATTERISTICHE DEL TITANIO E DELLE LEGHE SPECIFICAMENTE VALUTATE PER L'IMPIEGO NAVALE

Tutti voi essendo esperti e specialisti in questo settore conoscete le caratteristiche del Titanio e ci sembra inutile soffermarci specificatamente su tale argomento, oltretutto esistendo una letteratura sufficientemente estesa.

Quanto precedentemente detto, relativamente alle esigenze richieste da una costruzione navale, si adatta specificatamente al nostro materiale: resistenza alla corrosione, resistenza a fatica, resistenza meccanica-densità, amagneticità, scagittazione, sono un insieme di caratteristiche che nessun altro materiale, impiegato fino ad oggi nelle costruzioni navali, ha.

Il gruppo di studio di cui abbiamo fatto parte ha valutato per il momento i seguenti tipi di materiale:

TABELLA 1

- Ti CP 2 grado 2
- Ti CP 3 grado 3
- Ti CP 4 grado 4

ed alcuni tipi di leghe:

- Ti 6Al 4V grado 5
- Ti 5Al 2.5Sn grado 6
- Ti 3Al 2.5V grado 9

Riportiamo pertanto le proprietà meccaniche di tali materiali che ci sarà utile valutare

in funzione delle successive tabelle di calcolo strutturale proposte in appendice.

La scelta su questi tipi è dovuta essenzialmente alla reperibilità commerciale ed alla facilità di saldatura, nonché al contenuto costo attuale di tali tipi di titanio e di sue leghe.

TABELLA 2

LIMITE A ROTTURA (MPa)

	Normative ufficiali			Produttori								Metal Handbook	
	ASTM	DIN	MIL	CEZUS	TIMET	RMI	SANDWIK	ILM	IMI	MEDIO	MINIMO		
Grado 1	≥240	290÷410	-	290÷410	≥240	≥275	-	≥275	290÷420	-	240		
Grado 2	≥345	390÷540	≥345	390÷540	≥345	≥345	-	≥345	390÷540	-	340		
Grado 3	≥450	460÷590	≥450	-	≥450	≥450	-	≥448	460÷620	550	450		
Grado 4	≥550	540÷740	≥552	540÷730	≥552	≥552	≥550	≥550	570÷730	620÷630	550		
5A1-2, 5Sn	≥830	≥785	≥687	≥790	≥830	≥830	-	≥790	≥790	860	790		
3A1-2, 5V	≥620	-	≥620	-	≥620	≥620	≥620	-	-	655÷700	-		
6A1-4V	≥895	≥895	≥922	≥900	≥895	≥895	≥920	≥885	≥895	1000	895		

TABELLA 3

Allungamento % su provetta 50 mm (2 inch)

	Normative ufficiali			Produttori						Metal Handbook	
	ASTM	DIN	MIL	TIMET	RMI	SANDVIK	ILM	IMI	MEDIE	MINIME	
Grado 1	≥ 24	≥ 30	-	≥ 25	≥ 25	-	≥ 25	≥ 25	-	24	
Grado 2	≥ 20	≥ 22	≥ 20	≥ 22	≥ 22	-	≥ 20	≥ 20	-	20	
Grado 3	≥ 18	≥ 18	≥ 18	≥ 18	≥ 20	-	≥ 18	≥ 16	25	18	
Grado 4	≥ 15	≥ 16	≥ 15	≥ 15	≥ 15	-	≥ 15	≥ 16	20	15	
5Al-2,5 Sn	≥ 10	≥ 8	≥ 10	≥ 10	≥ 10	-	≥ 10	≥ 9	15	10	
3Al-2,5V	≥ 15	-	-	-	≥ 15	15	-	-	25÷30	15	
6Al-4V	≥ 10	≥ 14	≥ 15	≥ 14	≥ 14	-	≥ 10	≥ 8	-	10	

TABELLA 4

Limite di snervamento allo 0,2% di allungamento residuo (MPa)

	Normative ufficiali				Produttori							Metal Handbook	
	ASTM	DIN	MIL.	CESUZ	TIMET	RMI	SANDVIK	ILM	IMI	MEDIE	MINIME		
Grado 1	170÷310	≥ 180	-	≥ 195	≥ 170	≥ 210	-	-	≥ 200	-	172		
Grado 2	275÷450	≥ 250	275÷450	≥ 275	≥ 275	≥ 275	-	≥ 275	≥ 290	-	276		
Grado 3	380÷550	≥ 320	380÷550	-	≥ 380	≥ 380	-	≥ 375	≥ 340	-	380		
Grado 4	485÷655	≥ 390	485÷655	≥ 440	≥ 485	≥ 485	≥ 480	≥ 476	≥ 460	550	480		
5A1-2, 5Sn	≥ 795	≥ 755	≥ 775	≥ 760	≥ 775	≥ 785	-	≥ 760	≥ 760	820	795		
3A1-2, 5V	≥ 485	-	≥ 485	-	≥ 482	≥ 517	≥ 517	-	-	560÷600	-		
6AL-4V	≥ 830	≥ 830	≥ 830	≥ 830	≥ 830	≥ 830	≥ 870	≥ 830	≥ 830	900	830		

CENNI SUI TIPI DI LAVORAZIONE DEL TITANIO

Anche sulla lavorazione del Titanio esiste una letteratura sufficientemente estesa che voi tutti ben conoscete, merita comunque ricordare che la lavorazione del Titanio e delle sue leghe, nelle costruzioni navali, implica da parte dell'esecutore una conoscenza attenta dei parametri di lavorazione, conoscenze peraltro, facilmente acquisibili e che non implicano macchinari e tecnologie di alto livello, a differenza dell'industria aeronautica dove sono richiesti tipi di lavorazione di altissima precisione e l'utilizzo di speciali leghe che rendono queste operazioni particolarmente complesse.

Nel settore navale, cioè quello della grande carpenteria metallica, le lavorazioni richieste sono estremamente diverse ed implicano un Know how relativamente semplice, non più complesso di quello delle leghe leggere.

Tali metodi non sono però conosciuti dalla stragrande maggioranza delle cantieristica che ritiene, in modo preconcepito, particolarmente difficoltose le lavorazioni del Titanio riferendosi, generalmente, alla esecuzione di componenti aeronautiche o di altissima precisione.

Per questo occorre che si formi anche nella cantieristica una "cultura del Titanio".

In modo specifico occorrerà prendere atto che il sistema più diffuso di giunzione è quello per saldatura.

Questo per le leghe prese da noi in considerazione, come tutti sapete, richiede unicamente, oltre alla pulizia dei lembi, la protezione con gas della zona portata in temperatura durante la saldatura.

Occorre semplicemente mettere a punto un tipo di procedimento che meglio si adatti ai manufatti navali.

VALUTAZIONI DEFINITIVE SUI COSTI

E' sul costo di un imbarcazione realizzata in Titanio che desideriamo sottolineare e fare delle considerazioni riepilogative e definitive.

Il costo è un elemento determinante per costruzioni da posizionarsi in un mercato estremamente aggressivo e concorrenziale; per una valutazione economica globale occorre tenere presenti tre aspetti:

- costo di costruzione dello scafo
- costi generali di costruzione rapportati alle caratteristiche specifiche del materiale

- costi di gestione e manutenzione

COSTI DI COSTRUZIONE DELLO SCAFO

Proprio il costo del materiale e gli alti costi di lavorazione sono stati, come predetto, uno degli elementi, che, erroneamente valutati, hanno maggiormente impedito l'utilizzo del Titanio e delle sue leghe.

Va ricordato inoltre che una crescente offerta del materiale, unita mente a migliorati e più razionali metodi di produzione (vedasi il procedimento GINATTA), in questi ultimi anni ne a diminuito, e la tendenza si prevede sia costante anche in futuro, il costo.

A tale proposito merita porre all'attenzione dei cantieri la recente costituzione della TITANIA (Gruppo ILVA) primo produttore nazionale di semilavorati in Titanio.

Abbiamo evidenziato che il mercato, riferito alla produzione nazionale ed Europea al momento richiede, e più ancora in futuro richiederà un buon numero di "super yachts" ed unità per usi speciali, imbarcazioni da 30, 35, 40 ed anche 50 nodi in misure comprese tra i 20, 30, ed anche 40 metri.

Queste sono imbarcazioni generalmente realizzate all'unita, od in serie limitatissima, e rappresentano una delle più alte espressioni tecniche nel settore navale.

Attualmente questo tipo di unità viene realizzato od in leghe di alluminio, specificatamente AA 5083 o AA 5086, e più raramente in compositi di tipo non avanzato.

Quella dei "super yachts" ed unità per usi speciali è una fetta importante del mercato che si rivolge ad una utenza, sia privata che pubblica, competente esigente che ricerca in una imbarcazione caratteristiche tecniche di eccellenza.

Tutto ciò premesso occorre fare una valutazione di quanto incide, in tale tipo di imbarcazioni, il costo dello scafo e delle sovrastrutture rispetto a tutti gli altri componenti.

La parte propulsiva richiede potenti e leggeri motori diesel, poco rumorosi, con modeste vibrazioni, affidabili, macchine generalmente sofisticate, progettate e realizzate specificata mente per un impiego marino, quindi in serie limitate, il cui costo è molto elevato, quando addirittura non si utilizzino delle turbine.

Lo stessi dica si per le trasmissioni che vedono un'applicazione sempre più frequente di complessi con eliche di superficie o con idrogetto.

Il valore di questi sistemi compreso lo studio e la loro corretta installazione a bordo può essere valutato tra il 25 e il 30 % del valore complessivo.

Anche l'impiantistica in questo tipo di unità riveste un ruolo determinante, sia per problemi connessi alla sicurezza, sia per l'affidabilità, nonché per offrire un miglior comfort all'utilizzatore.

Al di là degli impianti considerati strettamente connessi all'efficienza dell'imbarcazione: impianto elettrico, impianto di esaurimento sentine, impianto prevenzione ed estinzione incendi, ecc.. sono presenti a bordo impianti tendenti a migliorare la qualità della stessa vita di bordo; dal condizionamento alla desalinizzazione dell'acqua di mare, della refrigerazione cibi, ai più semplici, ma per questo non meno costosi impianti di diffusione musica e ricezione TV.

Tutta questa serie di problematiche, ormai divenute elemento essenziale in una moderna unità, implicano percentualmente un costo, sul complesso, particolarmente elevato che si aggira tra il 20 ed il 25 %.

Un ulteriore elemento determinante nella costruzione di imbarcazioni da diporto sono: gli arredi ed il loro grado di finitura.

Tutto ciò comporta una valutazione del 25 -30 % sul valore dell'opera, quando questo valore, per specifica richiesta, non aumenti, in modo percentuale a valori assai più elevati.

La componentistica elettronica, può essere suddivisa in tre gruppi. Quella strettamente legata alla navigazione (radar, scandagli, sistemi di navigazione, sistemi meteorologici, ecc.), settore che in questi ultimi anni ha subito una evoluzione, e quindi un aumento di costi decisamente sorprendente. Quella dei metodi di controllo dell'unità e dei suoi apparati, basata su sofisticati sistemi computerizzati. Quella dei sistemi di comunicazione, tenuti in grande conto dagli Armatori di questo tipo di unità. Non solo si parla di sistemi di radiotelefonia sempre più complessi, ma anche di sistemi telex e fax in collegamento con apparati satellitari.

Una valutazione percentuale approssimativa, là dove non vengano richieste particolari sofisticazioni, può essere indicata tra il 5 -10 %.

Infine va considerato l'armamento marinaresco di una imbarcazione; tutto ciò comprende quel gruppo di apparati che vanno dall'ormeggio alla funzionalità e fruibilità dei mezzi di contatto ed ai sistemi ed apparati di sicurezza passivi.

Anche questi incidono in modo rilevante che può essere valutato percentualmente tra il 5 ed il 10 %.

Mediamente, e può a prima vista parere un assurdo, la parte strutturale (fasciami e strutture) di una imbarcazione da diporto non supera il 15 - 20 % del suo valore totale e quindi l'incidenza del costo del materiale strutturale non incide in modo pesante o determinante sul valore finale.

Questa percentuale diviene ancora inferiore nelle unità più prestigiose, come i fast yachts, dove le prestazioni richieste sono molto elevate (costo dei gruppi motori propulsione), ma non di meno incidono l'impiantistica e l'elettronica di bordo nonché il tipo di finitura di decisa eccellenza (in queste l'armamento e l'allestimento influiscono fino al 90 %).

Desideriamo riepilogare, nella sotto riportata tabella, le percentuali di incidenza dei costi, in base alle nostre esperienze, che debbono essere interpolati tra loro, dei

singoli gruppi che compongono il tipo di unità che meglio si presta per l'utilizzo del titanio e di alcune sue leghe come materiale strutturale.

TABELLA 5

Scafo e sovrastrutture	15 / 20 %
Motori e propulsioni	25 / 30 %
Impiantistica	15 / 20 %
Arredi e loro finiture	25 / 30 %
Elettronici	5 / 10 %
Armamento	5 / 10 %

Questa analisi, dettata dalle esperienze di molte costruzioni, porta a concludere che, anche qualora il costo del manufatto strutturale, fasciami e strutture, fosse anche doppio di uno analogo in leghe leggere, il valore finale dell'unità risulterà più alto solo di un 10 -15 %.

Ma un'altra considerazione, che definiremo essenziale in funzione delle caratteristiche del materiale, relativa al costo del manufatto, balzerà agli occhi appena si approfondirà il problema strutturale.

A parità di caratteristiche una unità in titanio (già con il GRADO 2), mediamente, verrà a pesare circa un 10 % in meno di una in leghe leggere, e più grande sarà tale unità, maggiore sarà tale percentuale, fino a giungere a valori del 20 %.

E inoltre saranno utilizzati Gradi più elevati il peso globale verrà ridotto in modo sensibile come evidenziato in appendice.

Da quanto esposto ne consegue che se il costo finale di un tale tipo di unità, come fino ad oggi realizzata in leghe leggere di alluminio, può essere indicata in un valore 1000; un analogo tipo di unità realizzata in titanio non supera il valore di 1150.

A ciò va aggiunto un altro tipo di considerazione, estremamente importante: là dove noi riusciremo a contenere i pesi e richiesta, a parità di prestazioni, un'applicazione di potenza inferiore e quindi una diminuzione dei costi dell'apparato propulsivo.

COSTI GENERALI DI COSTRUZIONE

Nella costruzione di una imbarcazione vi sono molte componenti che possono variare in rapporto alle caratteristiche del materiale di costruzione impiegato: dalla verniciatura, a certi tipi di protezione, all'isolamento termoacustico, ecc..

Nel caso del titanio saranno particolarmente contenuti tutti i costi relativi alla verniciatura ed alle protezioni tramite verniciatura.

Sostanzialmente l'unica verniciatura richiesta, dovuta ad un fatto estetico, è quella dell'opera morta e delle sovrastrutture in quanto risultano completamente inutili le vernici protettive all'interno dello scafo nei fasciami e nelle strutture.

Questa operazione solitamente richiede materiali specifici di elevato costo e tempi di esecuzione elevati oltreché risultare un lavoro non salubre per l'operatore.

Il fatto inoltre che le costruzioni in titanio non richiedano vernici antivegetative riduce ulteriormente il costo globale della costruzione, sia per il materiale antivegetativo da apportare sia per i precedenti primer.

Anche nel settore dell'isolamento, sia termico che acustico, le unità realizzate in titanio anno minore necessità di tale tipo di protezione che si traduce in minori costi di materiali e manodopera.

Non saranno altresì più necessarie le protezioni galvaniche ed il loro impianto.

Quanto esposto porta ad una riduzione globale di costi di una certa valenza.

COSTI DI GESTIONE E MANUTENZIONE

Ma la più importante valutazione "dei costi" di una imbarcazione realizzata in titanio è il quasi completo abbattimento delle spese di gestione e di manutenzione sia ordinaria che straordinaria.

Questa voce è spesso trascurata in una valutazione complessiva di una imbarcazione, ma rappresenta, nella sua gestione, una delle voci predominanti e quindi un elemento discriminante.

Le imbarcazioni da diporto in modo particolare richiedono un paio di carenaggi all'anno che comprendono tutta una serie di operazioni quali l'alaggio ed il varo, la pulizia della carena, la successiva messa in opera di antivegetativa.

Spesso, proprio per problemi connessi alla manutenzione ed al deterioramento del materiale strutturale molte imbarcazioni da diporto vengono messe in terra, nei mesi invernali.

Anche in questo caso l'armatore va incontro alle spese di alaggio e varo, nonché di rimessaggio.

In imbarcazioni metalliche, poi, ma anche in quelle in legno od in vetroresina, seppur con minore frequenza in queste, è richiesta la sostituzione degli anodi sacrificali, cosa che non avviene in una costruzione in titanio.

Ciclicamente occorre poi una revisione dei fasciami interni, in special modo delle sentine, dove oltre eventuale acqua vi si trovano olii ed idrocarburi che con il tempo eliminano la protezione data dalle vernici, questo tipo di manutenzione risulta estremamente onerosa e richiede tempi di manutenzione rilevanti.

In quella occasione stendere nuove mani di protezione risulta estremamente disagiata, data l'esiguità dello spazio e richiede, molto spesso lo smontaggio ed il successivo rimontaggio di apparati e componenti onde avere accessibilità ai fasciami.

Vi è ancora da dire delle manutenzioni straordinarie, dopo un certo numero di anni di vita di un'unità, che richiedono sovente mente la sostituzione di intere zone di fasciame.

Con il titanio questo non avviene.

Volendo concludere, in un esame globale, le valutazioni di carattere economico ad un maggior costo iniziale, che non risulta peraltro eccessivo, si contrappone e viene compensato ampiamente da un minor' costo di armamento ed allestimento dalla notevole minor richiesta di manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, e soprattutto il titanio offre un mantenimento nel tempo del valore dell'intera imbarcazione.

E' in corso uno studio approfondito ed analitico, riferito a vari tipi di unità, relativamente al costo di gestione di una imbarcazione a seconda i tipi di materiale impiegato nella costruzione.

Non vogliamo anticipare i dati di questo studio, non ancora concluso, è comunque già accertato che i costi globali di gestione e manutenzione di imbarcazioni realizzate in Titanio risulta inferiore fino all'80 %.

Questo dato, indicativo al momento, dovrebbe fare riflettere sulla validità economica del materiale preso in considerazione.

CONCLUSIONI

Dopo quanto precedentemente esposto appare evidente che l'utilizzo del titanio e di alcune sue leghe come materiale strutturale nelle costruzioni navali offre una grande serie di vantaggi che possono così essere riepilogati:

- Caratteristiche meccaniche di assoluta eccellenza,
- Assoluta mancanza di qualsiasi problema di corrosione,
- Assoluta affidabilità nel tempo,
- Un peso contenuto rispetto agli altri materiali solitamente utilizzati,
- Un grado di sicurezza non riscontrabile negli altri materiali,
- Una elevata economicità di gestione,
- Una manutenzione praticamente nulla,
- Un insieme di altre caratteristiche quali la riduzione di propagazione dei rumori e delle vibrazioni, la amagneticità, la mancanza di richiesta di protezioni antivegetative.

Per quanto attiene alla difficoltà di lavorazione si può rilevare che:

- nelle lavorazioni di macchina non esistono particolari differenze rispetto ad altri metalli,
- il procedimento di saldatura non è più complesso di quello delle leghe leggere, occorre unicamente la formazione di una specifica mentalità del saldatore di titanio.

Relativamente ai costi occorre evidenziare:

- l'allestimento e l'armamento di una unità in titanio richiede minori oneri che in altri materiali,
- che una imbarcazione in titanio non necessita di manutenzione
- che una imbarcazione in titanio mantiene nel tempo alto il valore dell'intero mezzo.

Infine, relativamente all'aspetto normativo.

- che i principali Registri di Classifica hanno preso in considerazione il materiale,
- che il calcolo strutturale può essere effettuato in modo diretto,
- che, comunque, R.I.Na. e Lloyd's Register già accettano come base di valutazione

la metodologia proposta dalla Ginatta Torino Titanium e dalla Fabroni Engineering.

Volendo porre uno forte stimolo alla cantieristica italiana suggeriamo, al fine di riacquistare competitività nella qualità, di interessarsi attivamente a tale tipo di materiale sfruttando la sensibilità di chi ha iniziato tale azione di diffusione del materiale, sforzandosi di adeguarsi a nuove tecnologie che sono le sole in grado di offrire competitività ai nostri prodotti.

APPENDICE

Concetti di base per il calcolo strutturale

La presente sezione ripresa dallo studio GTT - Fabroni Engineering intende determinare un metodo di calcolo per una struttura navale in lega di titanio che ad un tempo sfrutti appieno le eccezionali caratteristiche del materiale e risulti qualificato da parte degli Organi di Classifica.

Si dovrà in sintesi ripercorrere in termini brevi quell' iter tecnologico, culturale e normativo che ha portato all' individuazione , uso e qualificazione di altri materiali da costruzione, quali il cemento armato e l'acciaio in campo edile I o il legno I l'acciaio, le leghe leggere e la vetroresina in campo navale.

Si risconterà in definitiva che la maniera più adeguata per qualificare la struttura in titanio sarà quella di ricorrere al dimensionamento per calcolo diretto, come consentito da tutti i Registri di Classifica, provvedendo poi a verificare le condizioni di pari sicurezza rispetto una simile struttura in materiale normato. Per tale verifica andranno applicate ipotesi di carico di validità scientificamente riconosciuta, adottando limiti per le sollecitazioni e le deformazioni pari a quelli che si ottengono per strutture di analoghe proporzioni, dimensionate secondo il Registro, e sottoposte alle medesime condizioni di carico.

Tale iter progettuale evidenziato nell'allegato schema a blocchi.

La progettazione

Il progettista di imbarcazioni da diporto non può non venir attratto dal titanio come materiale da costruzione navale, specie in un momento in cui si stà affermando prepotentemente una categoria di yachts di prestigio ed unità per usi, di dimensioni medio grandi, ad alta velocità, che costituisce certamente la maggior quota del mercato attuale.

Tale categoria di imbarcazioni, con lunghezze indicative tra i 20 ed i 50 metri, costituisce il top della progettazione nautica, o attinge contemporaneamente la meticolosità artigianale della cantieristica minore e la sofisticazione tecnologica ed industriale delle grandi navi di linea.

Anche la figura del progettista viene fortemente modificata rispetto al passato richiedendo una diversa organizzazione e struttura progettuale.

Da artigiano della progettazione, tuttofare ingegnere, architetto. arredatore , deve diventare un "project leader", cioè un manager al vertice di uno staff nel quale ogni componente deve dare, sulla scorta dei suoi indirizzi di base, la risposta più propria e coerente.

Si assiste così al formarsi di gruppi di progettazione, in cui convergono ingegneri navali (o naval architects , per dirla all' inglese) per la progettazione delle carene,

delle strutture, della propulsione e dell'impostazione di base, architetti per il taglio dei volumi esterni, la composizione dei volumi interni e lo styling generale, designers, per la cura dell' arredamento, del mobilio, del decoro, dell'accessoristica.

Il prodotto finale viene così a qualificarsi sia sotto l'aspetto tecnico vero e proprio, che quello, né secondario né accessorio, dello stile, del design non ch  della funzionalit .

Tutte le discipline che concorrono a qualificare questo tipo di naviglio hanno compiuto nel tempo vertiginosi passi in avanti: si pensi all' elettronica di bordo, all' impiantistica in generale, ai materiali e le tipologie d'arredo che portano a risultati, dal punto di vista abitativo, esaltati e non vincolati dalla relativa angustia degli spazi e del tutto impensabili sino a poco tempo f  .

Solo la parte propriamente navale, cio  la realizzazione dello scafo ha relativamente segnato il passo (salvo in alcune imbarcazioni a vela o a motore da regata), restando ancorata a tecniche e tecnologie che costituiscono il momento pi  "rusty and dusty" della progettazione e della costruzione.

Se si tien conto che tutte queste imbarcazioni o quasi sono ad alta velocit , o comunque imbarcazioni di grandi dimensioni e di prestigio, risulta palese invece l'importanza di realizzare una struttura leggera ma estremamente resistente e durevole e affidabile nel tempo.

Considerando poi l'aspetto economico, il loro alto valore porta a pensare ad un prodotto long life , indipendentemente dal suo costo, seppure ancorato a parametri commerciali, per realizzare una costruzione durevole e affidabile nel tempo.

Se il costo dello scafo rappresenta circa il 15-20 % del costo globale, si deve tener presente che un suo danno, per sottodimensionamento, cedimento strutturale o incidente, pu  comportare la perdita dell' intero capitale.

Dunque il problema scafo v  riesaminato attentamente, e merita un preciso approfondimento.

Anticipando un tema che verr  sviluppato pi  avanti, bisogna rimarcare fortemente che un' imbarcazione viene classificata dai Registri per la qualit  dei suoi materiali di scafo. per il loro dimensionamento e per i controlli che hanno subito in corso d' opera.

In sintesi la barca piace per il suo styling, comoda e fruibile per la sua architettura, ma vale ed   affidabile per il suo engineering.

In questo contesto la possibilit  di costruire in titanio si offre come eccezionale alternativa ai materiali tradizionali. prima che per specifici motivi tecnici, come nuova modalit  per elevare il contenuto tecnologico della lavorazione di carpenteria dello scafo.

A questo scopo   opportuno analizzare, almeno sommariamente, le caratteristiche dei materiali di uso corrente su queste unit .

Consideriamo in primo luogo l'acciaio comune da scafo. Esso risulta di facile

reperibilità, lavorabilità, saldabilità, basso costo e di bassa tecnologia applicativa. Di contro dà luogo a strutture pesanti, spesso troppo per scafi ad alta velocità, necessità di protezione dalle corrosioni e regolare manutenzione, spesso assai gravosa nel tempo.

Prendiamo poi la cosiddetta "vetroresina", ovvero le materie plastiche rinforzate con fibre di vetro o altro. Necessitano di lavorazione da stampo, non consentendo così economico impiego nel one-off, danno luogo a strutture meno pesanti dell'acciaio, più difficilmente modificabili, non abbisognano di protezione anodica, ma devono ancora dar prova di sé sul lungo periodo per quel che riguarda la resistenza all'osmosi e ai fenomeni di taglio interlaminare.

I compositi avanzati, quelli per intenderci di barche da regata come i Mori di Venezia o i Ferretto off shore, risultano materiali eccellenti quanto a caratteristiche meccaniche, ma di lavorabilità che richiede tecnologie avanzatissime, costi iperbolici senza offrire garanzie di resistenza nel tempo, nonché le necessarie garanzie di sicurezza relative all'incendio.

Questi tipi di materiali non possono essere presi in considerazione per imbarcazioni da diporto, anche se di elevate prestazioni, per i motivi sopra accennati.

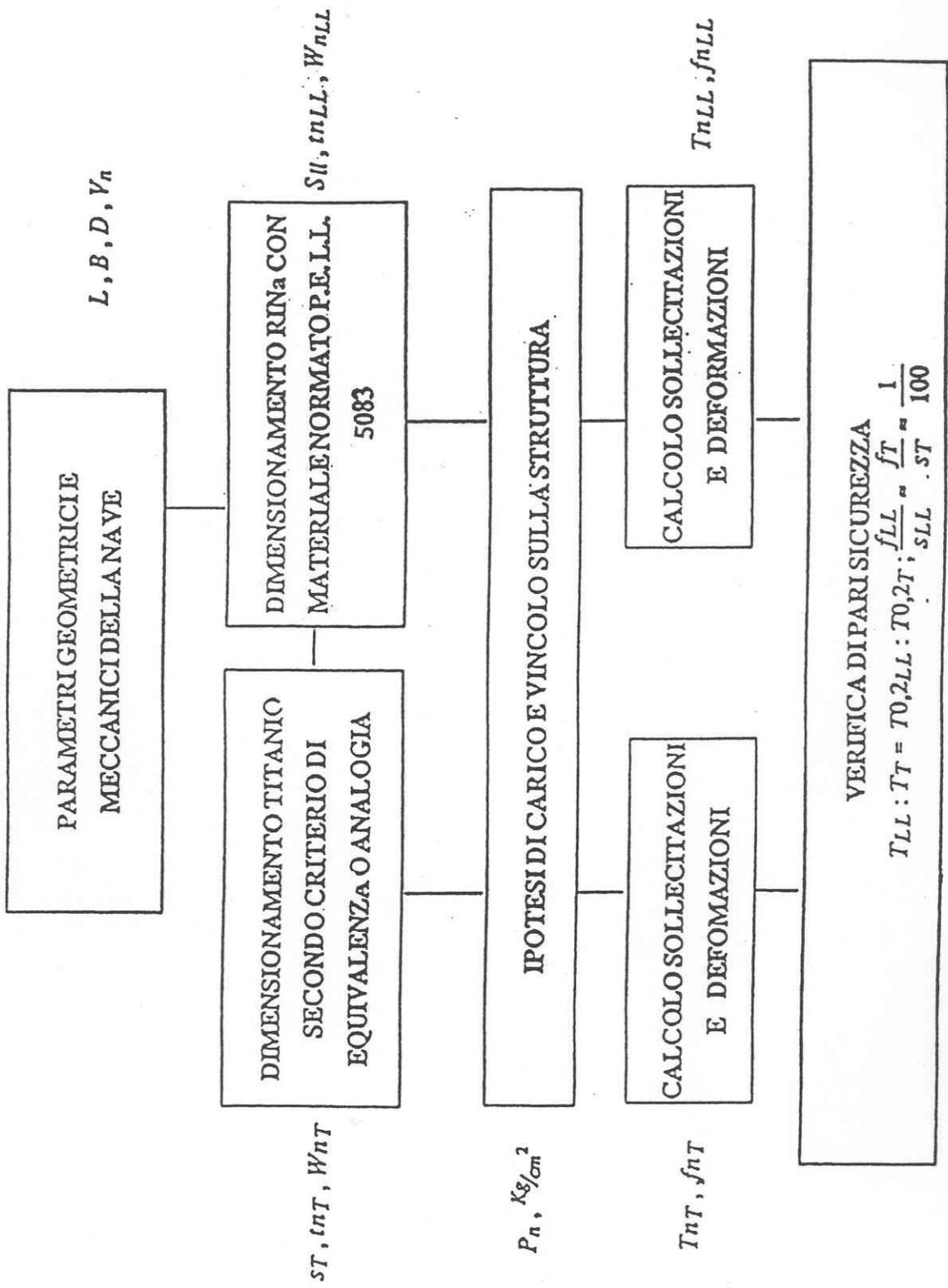
La parte del leone la fanno le leghe di alluminio. Consentono strutture leggere, da realizzare con tecnologie di uso comune, appena più impegnative di quelle dell'acciaio. La saldatura però abbatte le caratteristiche meccaniche del materiale base, che inoltre è molto sensibile alle diverse forme di corrosione ed invecchiamento, necessitando pertanto di idonea protezione e costante manutenzione.

Il titanio viene a porsi come notevole contendente, presenta caratteristiche meccaniche confrontabili con un buon acciaio (anche con il grado 2 che ha le minori caratteristiche meccaniche dei vari materiali presi in considerazione in questo studio), modulo elastico e peso specifico compresi tra acciaio e leghe leggere, resistenza alla corrosione superiore a quella degli altri due metalli, perfetta saldabilità e grande stabilità nel tempo. Come vedremo, nonostante il peso specifico doppio rispetto alle leghe di alluminio, consente strutture del pari e forse più leggere, a scapito solo di un leggero maggior costo e di una più attenta tecnica di saldatura.

Si pone il problema dei dimensionamenti e della qualificazione normativa della struttura e della sua esecuzione.

Su questo punto il titanio risulta scoperto rispetto agli altri due metalli, che sono già perfettamente definiti dalla Unificazione nazionale, né risultano determinati i metodi di lavorazione, e sono specificamente trattati dai Registri di Classificazione.

SCHEMA DI FLUSSO DEL CALCOLO



I REGISTRI DI CLASSIFICA

Per capire la portata ed il valore dei regolamenti di costruzione emessi da questi Enti è opportuno analizzare attentamente la situazione normativa vigente in Italia, simile del resto a quella di altre nazioni.

Il pilastro normativo che fondamento di tutta la legislazione sulle navi, loro costruzione e condotta, il Regio Decreto 30 marzo 1942 ,n. 327, noto come "Codice della Navigazione", che accomuna in maniera forse strana, la navigazione marittima a quella aerea.

Tale legge stabilisce, in diversi articoli, quali siano le competenze del Registro Italiano Navale. Possiamo così individuare:

Art. 130 : Stazzatura ; atto di grande rilevanza ai fini fiscali, economici e assicurativi,

Art. 161: Imposizione di riparazioni o demolizione; atti concernenti l'obbligo di manutenzione ai fini della pubblica incolumità,

Art. 166, 167, 168 Accertamento della navigabilità, classificazione ed emissione atti certificativi; conferimento de jure dell'incarico di Organo Tecnico capace di emettere norme tecniche e sorvegliarne l'applicazione.

Considerando che il Codice tratta anche delle responsabilità penali e civili connesse con l'inosservanza di tali norme, balza agli occhi il ruolo rilevante e responsabile che la legge conferisce al Registro Italiano Navale.

Valga a chiarirlo il seguente parallelo.

Si debba costruire una struttura civile in acciaio ottenute le prescritte autorizzazioni edilizie, sarà nominato un progettista delle strutture. Egli adotterà materiali classificati per esempio UNI 7070-72 e 5680-65 , applicherà i carichi prescritti, come normati da CNR-UNI 10012 -67, ed eseguirà il calcolo secondo CNR-UNI 10011-75.

La legge dello Stato 1086 d.d. 5/11/1971 impone che il progettista depositi copia degli elaborati presso gli uffici del Genio Civile, che venga nominato un direttore dei lavori che verifichi la rispondenza tra progetto e costruzione, e un collaudatore che esegua e verbalizzi il collaudo statico, copia del quale sarà pure depositata.

Le tre figure professionali si assumono quindi le relative responsabilità, lasciando agli Enti pubblici il compito di definire le modalità di calcolo e conservare, in maniera notarile, le copie degli elaborati.

Nel caso della progettazione di una struttura navale, gli elaborati devono venir realizzati secondo regolamento, sottoposti alla verifica e all'approvazione del Registro, che provvederà poi a sorvegliare l'esecuzione, far eseguire le prove sul materiale e sui metodi di costruzione, eseguire i collaudi della nave finita e certificarne la rispondenza.

Il Registro tramite i suoi Ispettori si assume quindi delle responsabilità dirette sulla costruzione per la quale sia stata richiesta la sua sorveglianza.

Non solo, ma mentre nel caso della costruzione civile le Norme si limitano a suggerire ipotesi di carico e le modalità di calcolo, il Registro fornisce delle formule per dimensionare direttamente spessori e moduli di resistenza.

Il progettista trova quindi nel Registro un forte punto di riferimento, che lo affianca in ogni fase del progetto e della costruzione, al fine di realizzare un prodotto di sicura affidabilità.

Molto spesso, a garanzia del Committente, si fa in aggiunta riferimento a Registri esteri, richiedendone la sorveglianza e la classificazione dell' imbarcazione.

Con questa premessa, la via per introdurre un nuovo materiale per la costruzione navale non può che passare per una fase di confronto ed analogia con i Regolamenti dei Registri - RINA certamente e Lloyd's Register per la sua rilevanza internazionale - nella quale possano venir individuati dei criteri base con i quali, in fase successiva, i Registri stessi possano far proprio il materiale in esame emettendone uno specifico Regolamento.

I REGOLAMENTI DI COSTRUZIONE

L'epesegesi introduttiva è stata necessaria per introdurre all' argomento tecnici provenienti da settori diversi da quello navale.

Entriamo ora nello specifico, analizzando quanto previsto nei Regolamenti di costruzione.

Registro Italiano Navale (R.I.Na.)

Il R.I.Na , nel volume "Regolamento per la nautica da diporto" propone norme per la costruzione e la classificazione delle navi e delle imbarcazioni da diporto trattandole ai capitoli 4 e 5 rispettivamente per scafi in acciaio e per gli scafi in leghe leggere.

E' evidente anche ad una prima lettura, come il secondo derivi dal primo, anche a seguito dell' affermarsi più recente delle LL rispetto l'acciaio.

Potremo così analizzarli parallelamente, in modo da evidenziare differenze di trattamento in funzione di specifiche caratteristiche.

I paragrafi 4.1 , 5.1 trattano di norme generali, definizioni ed elaborati da presenta re e sono sicuramente validi anche per le costruzioni in titanio.

I paragrafi 4.2 , 5.2 , 5.3 descrivono i materiali de i collegamenti. Ben più succinto per l'acciaio, per il quale presenta un estesa forma tabellare, esclude per questo materiale la costruzione chiodata .

Per la lega leggera invece è ampiamente trattato il giunto chiodato, in quanto dato per scontato il decadimento meccanico del giunto saldato e pertanto il giunto chiodato viene rivalutato (anche se nella pratica di costruzione tale tipo di giunto viene usato esclusivamente in imbarcazioni da competizione).

Nel descrivere il materiale base frequente il riferimento a normative UNI, p.e. la 7070-72 per l'acciaio e la UNI 3574 per l'alluminio.

Particolare interessante che compare nell'alluminio il riferimento, in termini di equivalenza, tra le UNI e le AA (Aluminium Association), che individua un'apertura verso altri Enti di unificazione, del resto ribadita al punto 5.2.2.2 " ...la D.G. si riserva di ammettere, a suo giudizio, in base al presente art. 5.2 , altre norme unificate riconosciute".

La normativa ASTM quindi ha tutte le caratteristiche per venir considerata fonte certa di informazione sulle caratteristiche del titanio.

Nel caso del titanio non ci interesserà il collegamento chiodato, chè ad un materiale perfetta mente saldabile non comporta alcun utile.

Da evidenziare il punto 5.4 in quanto solo per la le leghe leggere il Registro Italiano dà

indicazioni sui criteri di protezione delle strutture dello scafo contro le corrosioni.

E' un paragrafo che, date le caratteristiche intrinseche del titanio e delle sue leghe relativamente alle resistenze ai vari tipi di corrosione non ha più ragione di essere.

I paragrafi 4.3 e 5.5 affrontano la definizione del dimensionamento dei singoli componenti la struttura dello scafo: spessori dei fasciami, larghezza, intervallo dei rinforzi. moduli di resistenza degli stessi.

I punti che ci interessano in maniera specifica sono i seguenti:

4.3.4.) Impiego di acciai ad elevata resistenza (ER)

Si introduce un coefficiente riduttivo, K , proporzionale al maggior carico di snervamento R_s dell'acciaio, da applicare come radice di K negli spessori e K sui moduli di resistenza.

E' tabellato per acciai da 265 a 350 N/mm², nei confronti di un acciaio "standard" da 235 N/mm².

5.5.2.) Coefficiente di dimensionamento K_0

Si introduce un coefficiente maggiorativo K_0 , ottenuto dal rapporto tra 235 e il carico minimo di proporzionalità della lega utilizzata ($235 / \sigma_{0.2}$).

Si imputa alla struttura saldata un decadimento delle caratteristiche meccaniche, implicitamente individua bile nel rapporto tra 150 e 235.

Da ultimo il Registro si riserva di valutare caso per caso l' utilizzo di leghe da saldatura con R_s 150 N/mm² e per chiodatura con R_s 235 N/mm².

Sulla base del contenuto di questi due paragrafi può aprirsi un costruttivo confronto col Registro, in considerazione del fatto che il titanio di grado 2, normato secondo ASTM B 265-89 , presenta una forcilla di carico di proporzionalità R_s da 275 a 450 N/mm². Il valore minimo, che sarà quello da adottare nei futuri calcoli, si inserisce tra quelli presi in considerazione tra gli acciai ad alta resistenza.

E' poi opportuno passare direttamente alle norme che regolano le imbarcazioni ad alta velocità, che interessano gli yachts in esame, trattate ai paragrafi 4.12 e 5.14 rispettivamente.

Relativamente circoscritto il campo di applicazione; velocità sino a 35 nodi, lunghezza sino a 60 metri, strettamente definiti i rapporti geometrici e volumici.

La struttura realizzabile esclusivamente quella di tipo longitudinale, con imposto un valore massimo di calcolo pari a 3.75 per il rapporto tra la distanza tra gli anelli rinforzati e l'intervallo tra i longitudinali.

Vengono poi definiti dei coefficienti maggiorativi K_v per spessori e moduli di resistenza in funzione della velocità relativa $\frac{V}{r^{0.5}}$.

Facendo poi un passo indietro rispetto l'ordine degli articoli del Registro (ma avanti nel senso dell' iter progettuale) , compare la necessità, espressa ai punti 4.3.2. 4.3.3. e 5.5.3, di verificare il modulo di resistenza della sezione maestra (trave - nave) , per scafi di elevate dimensioni e prestazioni, secondo i criteri indicati alla Sez. B par. 7.3 (Navi sotto i 90 metri).

Si intravede quindi la disponibilità del Registro ad esaminare non solo soluzioni strutturali diverse da quelle normate (v. pro 4.1.1. e 5.1.1.) ma anche materiali di particolari caratteristiche, e di valutare sistemi di calcolo diretto (p.e. calcolo di verifica alle pressioni di impatto, ai momenti flettenti su onda...).

Lloyd's Register of shipping.

Questo ente di classificazione tratta congiuntamente in un unico capitolo (chapter 3 of part 2) dell' acciaio e delle leghe leggere.

Nelle sections 1 e 2 vengono descritti i materiali e le modalità di impiego.

Si osserva che:

al punto 1.6.2. si richiede la certificazione del produttore per tutti i materiali diversi dall'acciaio, nel caso dei tipi di titanio e delle sue leghe da noi prese in considerazione sarebbe auspicabile che questo Registro, stante le severe normative sul titanio, prenda in considerazione di valutare direttamente il materiale con procedura simile a quella dell'acciaio.

Al punto 1.5 , 2.3 , 2.4 , sia per l'acciaio che per l'alluminio, si impone la necessità di protezione dalle corrosioni, anche in questo caso tale indicazione non sarà necessaria per il nostro materiale.

La section 4 affronta la determinazione dei dimensionamenti.

Interessante il punto 4.1 , ove il Registro si dichiara disponibile a valutare dimensionamenti su calcolo diretto, imposti obbligatori per velocità superiori a 35 nodi, o velocità relative maggiori di 10.8.

Le proprietà meccaniche dell' acciaio base e dell'alluminio base sono rispettivamente:

Acciaio:	snervamento	235	N/mm ²
	rottura	400 -490	N/mm ²
	m. di Young	200*10 ³	N/mm ²

Alluminio:	proporzionalità	125	N/mm ²
	rottura	260	N/mm ²
	m. di Young	69*10 ³	N/mm ²

Si nota, com'è logico, una grande affinità col RINa salvo il fatto di citare esplicitamente il modulo elastico, valutazione di cui noi abbiamo tenuto conto particolare nel calcolo diretto secondo le indicazioni di Silva3.

Il rigore normativo con cui è classificato il titanio e le sue leghe, la particolare qualificazione dei produttori, come precedentemente evidenziato, fanno sì che le caratteristiche minime di produzione di ogni gruppo siano sempre superiori a quelle previste dalla normativa.

Questa considerazione dovrà essere tenuta presente dagli Enti di Classifica che desiderano regolamentare il materiale valutando non solo le caratteristiche di normativa, ma i livelli di produzione del medesimo.

Noi, in ogni caso, abbiamo assunto per il CP 2 (grado 2) i seguenti valori:

Titanio:	snervamento	345	N/mm ²
	rottura	275-450	N/mm ²
	m. di Young	10.5*10 ³	N/mm ²

Al successivo punto 4.3 compaiono i coefficienti K , simili a quelli adottati dal R.I.Na., per le strutture in acciaio ad elevata resistenza e per l'alluminio.

Per l'acciaio:

$K_s = 245 / e_s$, σ 0.72 se maggiore; spessori da moltiplicare per $K_s^{.5}$, moduli per K_s . La limitazione a 0.72 del coefficiente non premia acciai (o materiali) con e_s 340 N/mm².

Per l'alluminio: .

$K_a = 235 / \sigma$ 0.2 , oppure 1.36 se maggiore: gli spessori vanno moltiplicati per $.95 * K_a^{.5}$, i moduli per K_a .

La limitazione a 1.36 del coefficiente non premia leghe con resistenza maggiore di 172 N/mm.

Rispetto al R.I.Na. i fasciami godono di un 5 % di riduzione dello spessore.

Atteggiamenti quindi molto in linea tra loro, com'è logico attendersi , in quanto sono univoci i principi della scienza delle costruzioni a cui fanno riferimento.

Per quel che riguarda la struttura longitudinale , il Lloyd's Register fa riferimento ad un intervallo di 1 metro, maggiorabile fino ad un massimo di 2, limite del resto posto anche dal RINa.

Non viene invece limitato il rapporto tra l'intervallo degli anelli rinforzati e il passo tra i longitudinali, cosa che differenzia in una qualche misura i due regolamenti.

Si nota poi che il Lloyd's Register fa ricorso ad un'estesa rappresentazione tabulare per i valori dei dimensionamenti.

Le differenze tra i due Registri esaminati sono in definitiva più formali che di merito, e, associata la disponibilità di entrambi di valutare metodi diversi, si ritiene in definitiva di poter proporre un unico metodo di calcolo del titanio, che dia risultati rispondenti ai criteri di sicurezza di entrambi i Registri.

Dimensionamento diretto

E' stato naturale quindi, ogni volta che imbarcazioni affini per dimensioni e velocità sono state trattate con criteri diversi. fare dei paragoni e confrontare i risultati.

E' evidente altresì che, dalle corrette ipotesi di carico per il calcolo diretto di un'imbarcazione che rientri nei limiti dimensionali e parametrici dei Registri, non può uscire una struttura del tutto difforme da quella che scaturirebbe da un dimensionamento secondo Norme.

In casi del genere poi risulta possibile fare una mediazione tra il dimensionamento dei Registri e quello da calcolo diretto. in quanto evidente come le ipotesi di carico, per quanto frutto di attente analisi numeriche e statistiche, possano risultare eccessivamente prudenziali per il caso in esame.

L'esperienza ci porta a segnalare alcuni motivi di riflessione, che saranno evidenziati nelle tabelle relative ai calcoli proposti come esempio applicativo.

Per i fasciami i Registri dimensionano direttamente lo spessore. In realtà, con l'ipotesi di un calcolo diretto che schematizzi una pressione idrostatica gravante su di esso, esso funziona come una lastra piana semincastata al contorno.

La sollecitazione che esso subisce è definita non dal suo spessore, ma dal suo modulo di resistenza, pur essendo quest'ultimo funzione diretta del primo.

I fasciami dimensionati dai Registri, quando sottoposti a calcolo diretto, risultano spesso molto sollecitati e molto deformati.

Benchè i Registri non ne facciano riferimento, nel calcolo diretto è sempre opportuno verificare la freccia, oltre che la sollecitazione.

Per uno sfruttamento ottimale di tale materiale l'esperienza ci ha portato ad infittire i rinforzi longitudinali, portando il loro intervallo al di sotto del valore di 0.8 Sr indicato dal RINA. Di conseguenza aumenta pure quel rapporto tra intervallo tra i trasversali e i longitudinali che il RINA fissa in 3.75 ($4.12.3 : S = 0.8 \text{ Sr} ; 1 \text{ } 3 \text{ Sr}$), pur restando ampiamente entro i limiti per quel che riguarda il valore assoluto dell'intervallo tra i telai trasversali. Si vedano in tal senso i valori ottenuti nell'esempio con i due pannelli di $300 * 900$ e $250 * 1000$.

Il valore di freccia, per le caratteristiche del materiale, prudenzialmente da noi assunto per il calcolo a cui si riferiscono le tabelle è di 1/100, ma riteniamo che il valore 1/75 sia ampiamente ammissibile e dia estreme garanzie.

Infatti l'impiego di un materiale con un modulo R_m /modulo elastico superiore ad altri presi in considerazione nelle costruzioni navali, rende necessaria la considerazione di frecce diverse pur restando un fattore di sicurezza ampiamente elevato.

Per quel che riguarda gli elementi strutturali sia longitudinali che trasversali, la verifica diretta ha evidenziato l'ottima risposta sia in termini di sollecitazione che di deformazione dei dimensionamenti secondo Registro.

Altro fatto da notare che, mentre i Registri impongono di conservare per tutta la lunghezza nave i valori calcolati alla sezione maestra, tutti gli approcci di calcolo diretto ammettono valori minori di battenti idraulici di verifica verso le estremità.

Il problema invero non ha quasi mai valenza pratica, in quanto il raccordo con strutture localizzate, quali banchi motore, braccioli, casse in doppiofondo, non consentono riduzione dei rinforzi in senso lunghezza - nave.

Esempio di applicazione

Sono state prese in considerazione, rispettivamente unità di 17 e 27 metri al galleggiamento, ne sono stati tracciati i piani di costruzione e sviluppati i calcoli delle carene diritte, e ipotizzata una geometria generale.

E' stato scelto un titanio di grado 2, secondo ASTM B 265 -89, come in premessa, preferendolo ad altri di più alte caratteristiche meccaniche per i motivi precedentemente esposti:

- contenuto costo
- facile reperibilità
- saldabilità perfetta
- caratteristiche meccaniche comunque elevate:

E' stata ipotizzata una distribuzione dei rinforzi che rientra nei canoni R.I.Na., con misure arrotondate (in unità metriche), come consuetudine a $300 * 900$ mm, realizzando pannelli di fasciame con allungamento 1 : 3.

Sono stati calcolati secondo R.I.Na. e Lloyd's Register gli spessori dei fasciami e i moduli di resistenza dei rinforzi: longitudinali, madieri.

Il R.I.Na. non ci premierà per aver tenuto S a 300 mm contro i 340 e 376 ammessi rispettivamente, ma ci farà portare avanti i calcoli con questi due valori.

Nella futura normativa riferita al titanio sarà opportuno tenere conto di modificare intervalli di riferimento ed il rapporto S/S_r in funzione delle specifiche caratteristiche del materiale, ciò permetterà di avere informazioni elastiche più contenute a garanzia di una maggiore qualità del prodotto.

Si è considerata inoltre la velocità di 35 nodi la massima prevista dai Registri (E. V.).

Nelle tabelle allegate, al fine di non appesantirle, sono stati riportati i valori relativi ai soli elementi del fondo, in quanto sia i Registri che il metodo di calcolo diretto derivano i valori degli altri elementi strutturali come proporzionali a questi.

Per le ipotesi di carico nel calcolo diretto si è fatto riferimento alla pubblicazione "Small craft engineering : structures", del Michigan University, di Silvia, Scott e Michalopoulos, che calcola i carichi sul fondo in funzione della velocità. In genere i valori ricavati da tale pubblicazione sono piuttosto gravosi.

Le strutture delle due navi (rispettivamente di 17 metri e 27 metri al galleggiamento), dimensionate secondo i due Registri nei due materiali normati (Fe 42 B, con $e_s = 235$ e Al 5083 con $e_{0.2} = 130 \text{ N / mm}^2$) sono state sottoposte ai carichi di verifica e ne sono state calcolate le frecce e le sollecitazioni dei fasciami, longitudinali e madieri.

Si è passati poi ad un dimensionamento in titanio per affinità, adottando ciò il criterio proposto dai Registri, del rapporto tra le sollecitazioni al limite di proporzionalità, ed a una sua verifica coi medesimi carichi e nelle medesime ipotesi di vincolo.

Successivamente attraverso il medesimo iter, abbiamo realizzato e modificato la struttura "a longitudinali infittiti", $250 * 1000$, con rapporto 1 : 4.

Delle $3 * 2 * 2 = 12$ strutture si poi calcolato il peso relativo, rapportando il peso delle strutture al metro quadro di fasciame.

Si è infine calcolato il modulo di resistenza delle sezioni maestre, rapportandolo ad un valore standard di momento flettente.

Salvo la perplessità sollevata dai valori elevati di sollecitazione raggiunti su tutti i fasciami, che depone forse a riprova delle ipotesi di carico valutate secondo il Silvia, si verificano positivamente tutte le strutture realizzate, verificando così la validità del criterio di derivazione acciaio - titanio adottato.

E' stato così raggiunto in definitiva il risultato voluto, di realizzare una struttura in titanio di pari leggerezza di una in lega leggera, se non inferiore (nei casi di titanio puro di grado 3 e di grado 4 e nelle leghe prese in considerazione), nonostante il peso specifico doppio, rispondente ai criteri di sicurezza dei Registri.

Questa struttura è molto meno sollecitata e assolutamente garantita inoltre dalle corrosioni.

CONCLUSIONI

Le considerazioni svolte ci portano a concludere che il titanio e le sue leghe rappresentino una realtà dalla quale la cantieristica non potrà prescindere se vorrà ulteriormente innalzare il livello qualitativo e funzionale del prodotto nautico, sia impiegato per tutta la costruzione, che in unione ad altri materiali.

Il titanio infatti, e le leghe da noi prese in considerazione offrono qualità decisamente superiori, non solo come caratteristiche meccaniche, ma nella loro globalità, rispetto agli altri materiali fino ad oggi utilizzati e regolamentati dai Registri di Classifica.

I calcoli riportati precedentemente in questo studio si riferiscono al grado 2 (CP 2) che presenta oltre a buone caratteristiche e facile lavorabilità anche la possibilità di facile reperibilità commerciale ed economicità.

Non ultimo, si tenga presente che le sue caratteristiche meccaniche, in particolare il poria 345 N/mm², rientrano nella gamma di valori in qualche modo "controllabili" nei termini previsti dai Registri per gli acciai ad alta resistenza.

Ulteriori progressi nell'ottimizzazione strutturale potranno pervenire dallo studio di una gamma di estrusi di sezione specificata mente studiata, nonché dalla divulgazione di tecniche affidabili di saldatura in cantiere su spessori sottili, al fine di poter utilizzare spessori minimi per le parti non sollecitate.

Questi steps tecnici consentiranno di utilizzare appieno le possibilità del materiale, e dare degli indirizzi normativi per poter introdurre le leghe di grado superiore, i cui **incredibili valori di resistenza esulano del tutto dal campo di valori presi in considerazione dai Registri anche per gli acciai ad alta resistenza.**

Volendo in prima battuta utilizzare il criterio dei coefficienti KO, ottenuti dividendo un valore di riferimento del sigma di proporzionalità per quello del materiale impiegato, si otterrebbe, per un titanio di grado 5 un coefficiente correttivo di 0,283 rispetto ad un acciaio da 235 N/mm², con riduzioni di peso del 30 % rispetto l'AA 5083 e dell'80 % rispetto all'acciaio.

Si potrebbe altresì individuare una curva algebrica che interpoli i valori di resistenza ed i relativi K tabulati dai Registri per gli acciai ad alta resistenza, curva del tipo:
 $K=(235+0.15* 0.2)/ 0.2$

Resta comunque elevata la portata dell'estrapolazione tra i valori tabellati, inferiori ai 400 N/mm², e quelli che una lega di grado 5 ha, nell'intorno degli 800 N/mm².

Va comunque tenuto presente che sparisce il concetto del sovrametallo da corrosione, ed ogni progetti sta sa che mezzo millimetro risparmiato sul fasciame costituisce un risparmio di peso molto maggiore di quello dato da un incremeto del passo tra le strutture.

Di seguito vengono riportati i coefficienti Kt per ogni grado di titanio. Tali coefficienti sono stati ottenuti dividendo il valore di riferimento di 235 N/mm² per i valori di snervamento dei rispettivi gradi di titanio definiti dalla norma ASTM:

Grado	Kt
2	0,854
3	0,618
4	0,484
5	0,283
6	0,296
9	0,484

Il coefficiente Kt può essere impiegato, in analogia con il KO delle leghe leggere, per determinare gli spessori dei fasciami e dei moduli di resistenza dei rinforzi longitudinali e trasversali.

TABELLE DI CALCOLO PER SIMILITUDINE

(Ing. G. Svara - Ing. F. Grassi)

CALCOLO DEL FASCIAME DEL FONDO SECONDO REGISTRO

s = 300 m/m S = 900m/m

MATERIALE	REGISTRI	CALCOLATO m/m	ASSEGNATO m/m	PESO Kg/m ²	CALCOLATO m/m	ASSEGNATO m/m	PESO Kg/m ²	
	RINa	5,42			5,72			
ACCIAIO			5,5	44		6,0	48	
	L.R.	5,0			5,8			
	RINa	6,55			6,91			
LEGA L.			6,5	17,55		7,5	20,25	
	L.R.	6,39			7,4			
	RINa	4,63			4,89			
TITANIO			5,0	22,55		5,0	22,55	
	L.R.	4,62			5,36			
				LWL = 17.0m	LWL = 27.0m			

CALCOLO DEL MODULO DI RESISTENZA DEI LOG.LI DEL FONDO SECONDO REGISTRO
 $s = 300\text{m/m}$ $S = 900\text{m/m}$

MATERIALE	REGISTRI	CALCOLATO cm^3	ASSEGNATO cm^3	PESO Kg/ml	CALCOLATO cm^3	ASSEGNATO cm^3	PESO Kg/ml
	RINa	8,72			9,66		
ACCIAIO			8,72			10,85 (min.)	
	L.R.	7,78			8,73		
	RINa	14,13			15,65		
LEGA L.			14,13			15,78	
	L.R.	14,07			15,78		
	RINa	7,45			8,25		
TITANIO			7,45			9,27 (min.)	
	L.R.	6,64			7,46		
		LWL = 17.0m		LWL = 27.0m			

CALCOLO DEL MODULO DI RESISTENZA DEI MADERI SECONDO REGISTRO

s = 300m/m S = 900m/m

S = 2100m/m

S = 3100m/m

MATERIALE	REGISTRI	CALCOLATO cm ³	ASSEGNATO cm ³	PESO Kg/ml	CALCOLATO cm ³	ASSEGNATO cm ³	PESO Kg/ml	
	RINa	170,96			412,75			
ACCIAIO			171			413		
	L.R.	129,98			301,41			
	RINa	276,96			668,66			
LEGA L.			278			669		
	L.R.	233,96			542,55			
	RINa	146,09			352,71			
TITANIO			146			353		
	L.R.	111,07			257,57			
				LWL = 17,0m	LWL = 27,0m			

CALCOLO DEL FASCIAME DEL FONDO SECONDO REGISTRO

$s = 250\text{m/m}$ $S = 1000\text{m/m}$

MATERIALE	REGISTRI	CALCOLATO m/m	ASSEGNATO m/m	PESO Kg/m ²	CALCOLATO m/m	ASSEGNATO m/m	PESO Kg/m ²	
	RINa	5,42			5,72			
ACCIAIO			5,0	40		5,5	44	
	L.R.	4,45			5,24			
	RINa	6,55			6,9			
LEGA L.			6,5	17,55		7,0	18,9	
	L.R.	5,68			6,69			
	RINa	4,63			4,88			
TITANIO			4,5	20,29		5,0	22,25	
	L.R.	4,11			4,84			
				LWL = 17,0m	LWL = 27,0m			

CALCOLO DEL MODULO DI RESISTENZA DEI LONG-LI DEL FONDO SECONDO REGISTRO

s = 250m/m S = 1000m/m

MATERIALE	REGISTRI	CALCOLATO cm ³	ASSEGNATO cm ³	PESO Kg/ml	CALCOLATO cm ³	ASSEGNATO cm ³	PESO Kg/ml
	RINa	8,95			9,94		
ACCIAIO			8,95			10,85 (min.)	
	L.R.	8,44			10,06		
	RINa	14,5			16,10		
LEGA L.			15,3			19,6 (min.)	
	L.R.	15,26			18,18		
	RINa	7,65			8,49		
TITANIO			7,65			9,27 (min.)	
	L.R.	7,21			8,59		
			LWL= 17,0m			LWL= 27,0m	

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 m

LWL = 17,0 m

CASO	INTERVALLI	DENOMIN:	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
FASCIAME DEL FONDO	s = 300 m/m S = 900m/m	W	t = 0,55 cm	0,0504	44 Kg/m ²	t = 0,6 cm	0,06	48 Kg/m ²
		J		0,0138			0,018	
		P		1,45			1,48	
		sigma1		2163			1855	
		sigma2		1081			928	
		f		0,105			0,083	
		%		0,35			0,27	
ACCIAIO								
snervamento 2400 Kg/cm ²								
E = 2100000 Kg/cm ²								
FASCIAME DEL FONDO	s = 250m/m S = 1000m/m	W	t = 0,5 cm	0,0416	40 Kg/m ²	t = 0,55 cm	0,0504	44 Kg/m ²
		J		0,0104			0,0138	
		P		1,45			1,48	
		sigma1		1817			1534	
		sigma2		909			767	
		f		0,067			0,052	
		%		0,27			0,207	

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 mt

LWL = 17,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.		RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
LONG. DEL FONDO	S = 300 m/m	W	cm ³	(8,72)	8,7	2,39 Kg/ml	(10,85)	11,4	3,85 Kg/ml
		J	cm ⁴		40,5		72,3		
		P	kg/cm ²	T 50 x 30 x 4	27,54		28,46		
	S = 900 m/m	sigma	Kg/cm ²		2137		1685		
		f	cm		0,055		0,032		
		%			0,06		0,035		
		ACCIAIO							
LONG. DEL FONDO	S = 250 m/m	W	cm ³	(8,95)	8,7	2,39 Kg/ml	(10,85)	11,1	3,85 Kg/ml
		J	cm ⁴		40,5		71,9		
		P	kg/cm ²	T 50 x 30 x 4	22,95		23,7		
	S = 1000m/m	sigma	Kg/cm ²		2198		1734		
		f	cm		0,07		0,0406		
		%			0,07		0,0406		
		ACCIAIO							
		snervamento = 2400 Kg/cm ²							
		E = 2100000 Kg/cm ²							

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 mt

LWL = 17,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
MADIERI DEL FONDO	S = 300 m/m	W	(171)	180	13,12 Kg/ml	(413)	415	22,08 Kg/ml
		J	Le = 420 x 5,5	2727		Le = 620 x 6	7939	
		P	A = 200 x 5	55,08		A = 260 x 6	55,08	
	sigma	L 80x8	1124,5	L 120x10		1063		
	f	cm	0,048			0,079		
	%		0,023			0,025		
ACCIAIO	S = 2100 m/m							
	sneramento = 2400 Kg/cm ²							
ACCIAIO	S = 3100 m/m							
	E = 21000000 Kg/cm ²							
MADIERI DEL FONDO	S = 250 m/m	W	(190)	208	14,4 Kg/ml	(458)	460	23,52 Kg/ml
		J	Le = 520 x 5,0	2958		Le = 620 x 5,5	8815	
		P	A = 200 x 5	61,2		A = 270 x 6	61,2	
	sigma	L 100x8	1184	L 110x12		1065		
	f	cm	0,05			0,079		
	%		0,023			0,025		
ACCIAIO	S = 1000m/m							
	S = 1000m/m							

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 mt

LWL = 17,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.		RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
FASCIAME DEL FONDO	S = 300 m/m	W	cm ³	t = 0,65 cm	0,0704	17,55 Kg/ml	t = 0,75 cm	0,0937	20,25 Kg/ml
		J	cm ⁴		0,0229			0,03515	
		P	Kg/cm ²		1,45			1,48	
		sigma1	Kg/cm ²		1548			1187	
		sigma2	Kg/cm ²		774			594	
		f	cm		0,191			0,127	
		%			0,638			0,424	
LEGA LEGGERA									
snervamento = 1326 Kg/cm ²									
E = 7000000 Kg/cm ²									
FASCIAME DEL FONDO	S = 250 m/m	W	cm ³	t = 0,65 cm	0,0704	17,55 Kg/ml	t = 0,7 cm	0,0816	18,9 Kg/ml
		J	cm ⁴		0,0229			0,0286	
		P	Kg/cm ²		1,45			1,48	
		sigma1	Kg/cm ²		1075			947	
		sigma2	Kg/cm ²		538			437	
		f	cm		0,092			0,075	
		%			0,37			0,302	
S = 1000m/m									

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 17,0 mt

LWL = 27,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
LONG. DEL FONDO	s = 300 m/m	W	T = 70 x 4	19	1,32 Kg/ml	T = 70 x 4	19	1,32 Kg/ml
		J		120			120	
	P	27,54		28,46				
	sigma	978		1011				
	f	0,056		0,0578				
	%	0,062		0,064				
snervamento = 1326 Kg/cm ²	LEGA LEGGERA							
	E = 7000000 Kg/cm ²							
LONG. DEL FONDO	s = 250 m/m	W	T = 70 x 4	19	1,32 Kg/ml	T = 70 x 4	19	1,32 Kg/ml
		J		120			120	
	P	22,95		23,715				
	sigma	1007		1040				
	f	0,071		0,0735				
	%	0,071		0,0735				
S = 1000m/m								

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 mt

LWL = 17,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
MADIERI DEL FONDO	s = 300 m/m	W	277	281	6,6 Kg/ml	668	679	11,02 Kg/ml
		J	Le = 420 x 6,5	4496		La = 620 x 7,5	14535	
		P	sigma = 220 x 7	55,08		sigma = 300 x 8	55,08	
	sigma	L 90x10	730	L 140x12		650		
	f	cm	0,088			0,13		
	%		0,042			0,042		
S = 900 m/m								
LEGA LEGGERA								S = 3100 m/m
MADIERI DEL FONDO	s = 250 m/m	W	308	301	6,86 Kg/ml	746	766	11,08 Kg/ml
		J	Le = 420 x 6,5	4731		La = 620 x 7	16810	
		P	sigma = 220 x 7	61,2		sigma = 320 x 8	61,2	
	sigma	L 100x10	730	L 150x12		640		
	f	cm	0,093			0,125		
	%		0,044			0,0403		
S = 1000m/m								

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 27,0 mt

LWL = 17,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
FASCIAME DEL FONDO	s = 300 m/m S = 900 m/m	W	cm ³	0,0416	22,55 Kg/ml	t = 0,5 cm	0,0416	22,55 Kg/ml
		J	cm ⁴	0,0104			0,0104	
		P	Kg/cm ²	1,45			1,48	
		sigma1	Kg/cm ²	2616			2671	
		sigma2	Kg/cm ²	1308			1335	
		f	cm	0,206			0,286	
		%		0,687			0,954	
		TITANIO						
FASCIAME DEL FONDO	s = 250 m/m S = 1000m/m	W	cm ³	0,0337	20,3 Kg/ml	t = 0,45 cm	0,0416	22,55 Kg/ml
		J	cm ⁴	0,00759			0,0104	
		P	Kg/cm ²	1,45			1,48	
		sigma1	Kg/cm ²	2290			1855	
		sigma2	Kg/cm ²	1145			927	
		f	cm	0,1854			0,138	
		%		0,74			0,55	

VERIFICA IN CALCOLO DIRETTO

LWL = 17,0 mt

LWL = 27,0 mt

CASO	INTERVALLI	DENOMINAZ.	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO	RICHIESTO	ASSEGNATO	PESO
LONG. DEL FONDO	s = 300 m/m	W	cm ³	7,4	1,62 Kg/ml	L 60x6	7,4	1,62 Kg/ml
		J	cm ⁴	41,8			41,8	
		P	Kg/cm ²	27,54			28,46	
	sigma	Kg/cm ²	2512	2596				
	f	cm	0,107	0,1108				
	%		0,119	0,123				
		TITANIO						
LONG. DEL FONDO	s = 250 m/m	W	cm ³	7,4	1,62 Kg/ml	L 60x6	7,4	1,62 Kg/ml
		J	cm ⁴	41,8			40,5	
		P	Kg/cm ²	22,95			23,715	
	sigma	Kg/cm ²	2584	2271				
	f	cm	0,136	0,145				
	%		0,136	0,145				
		TITANIO						
		S = 1000m/m						

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- L'utilizzo del titanio e di alcune sue leghe come materiale strutturale nelle costruzioni navali
Ginatta Titanium Torino - Fabroni Engineering 1991
E. Debernardi, A. Fabroni, G. Caciotti, A. Fogliarini, F. Grassi, G. Svara, L. Varalda
- Concetti di base per l'impiego del titanio e delle sue leghe
Ginatta Torino Titanium 1990
- Le Lavorazioni di macchina del titanio e delle sue leghe
Ginatta Torino Titanium 1990
- La saldatura del titanio
Ginatta Torino Titanium 1990
- Titanium ASTM specifications
1987
- Dhows to deltas a designer's saga
A & A 1990
Renato Sonny Levi
- Bollettini ASPRONADI
AS.PRO.NA.DI. 1981 -1983 -1984 -1985 -1989
C. Belletti, G. Giordano, S. Cavallaro, A. Fabroni, P. Fracchia, G. Svara, M. Baldi.
- Fondamenti di Idrodinamica
HOEPLI 1984
U. F. Costaguta
- Small Craft Engineering
P. A. Silva, R. J. Scott
- Regolamento per la nautica da diporto
R.I.Na. 1982
- Rules and Regulations far the Classification of Yachts and Small Craft Lloyd's Register of Shipping 1980
- Metals Handbook, ninth edition Voi II American Society for Metals
- Corrosion fatigue of metals in marine environments
Battelle's Columbus Laboratories

- L. Lunde (Institute for Energy Technology)
"Off-shore use of titanium - benefits and possible limitations"
May 1987 - Kjeller, Norway
- Effects of compositions of filler wire on the mechanical properties of commercially pure and palladium alloyed titanium weldsment
D. Rudinger and D. Fisher THYSSEN AG. Germany
International conference of titanium, Kyoto Japan 1980
- Aspects metallurgique du soudage du titane et de ses alliages - etat de l'art"
Marya - Le Maitre. Soudage et techniques connexes. Nov. Dec. 1989
- The effects of air contamination on the mechanical and fatigue properties of titanium weldsment
Mantila -Hewikinheimo Pihkakoski Saarinen.
Finland. Sixth world conference on titanium. Cannes France, 1988.

Indice

ABSTRACT	pag. 1
PREMESSA	pag. 2
INTRODUZIONE	pag. 3
CENNI SULLE CARATTERISTICHE RICHIESTE DA UNA COSTRUZIONE NAVALE	pag. 4
A) Durata nel tempo della costruzione.	pag. 4
B) Assenza e/o scarsità di manutenzione.	pag. 5
C) Mancanza di fenomeni di corrosione ed osmosi.	pag. 6
D) Peso.	pag. 6
E) Caratteristiche accessorie.	pag. 6
F) Validità del costo di costruzione.	pag. 7
CENNI SULLE CARATTERISTICHE DEL TITANIO E DELLE SUE LEGHE SPECIFICAMENTE VALUTATE PER L'IMPIEGO NAVALE	pag. 7
CENNI SUI TIPI DI LAVORAZIONE DEL TITANIO	pag. 12
VALUTAZIONI DEFINITIVE SUI COSTI	pag. 12
Costi di costruzione dello scafo	pag. 13
Costi generali di costruzione	pag. 15
Costi di gestione e manutenzione	pag. 16
CONCLUSIONI	pag. 18
APPENDICE	pag. 20
Concetti di base per il calcolo strutturale	pag. 20
La progettazione	pag. 20
I REGISTRI DI CLASSIFICA	pag. 23
I REGOLAMENTI DI COSTRUZIONE	pag. 25

Dimensionamento diretto	pag. 29
CONCLUSIONI	pag. 31
TABELLE DI CALCOLO PER SIMILITUDINE	pag. 34
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	pag. 49