

PRINCIPI DI YACHT DESIGN

LARS LARSSON, ROLF E ELIASSON E MICHAL ORYCH

Traduzione di Massimo Paperini

Nutrimenti  mare

Il presente volume, per la prima volta pubblicato in italiano, è la traduzione della quinta edizione inglese di *Principles of Yacht Design*.

Nell'uso dei simboli ci si è attenuti alla rappresentazione raccomandata dall'International Towing Tank Conference (ITTC).

Per la traduzione dei termini tecnici si è tenuto conto della traduzione letterale, ma anche dei termini italiani di uso comune nei cantieri e negli studi professionali.

© Text Lars Larsson, Rolf Eliasson, and Michal Orych 2001.

This translation of *Principles of Yacht Design* is published by Nutrimenti by arrangement with Bloomsbury Publishing Plc.

Traduzione dall'inglese di Massimo Paperini

© 2022 Nutrimenti srl

Prima edizione marzo 2022
www.nutrimenti.net
via Marco Aurelio, 44 – 00184 Roma

ISBN 978-88-6594-873-6

Stampato per conto della casa editrice Nutrimenti da Evrografis D.O.O. – Maribor nel mese di marzo 2022

Printed in Slovenia

INDICE

| | | | |
|--|-----------|---|------------|
| PREFAZIONE..... | 3 | ● Statistiche scafo | 98 |
| LISTA DEI SIMBOLI | 6 | CHIGLIA E TIMONE..... | 104 |
| ● Fattori di conversione | 10 | ● Flusso intorno a un'ala | 104 |
| INTRODUZIONE | 12 | ● Definizione della forma della chiglia | 107 |
| METODO PROGETTUALE | 15 | ● Teoria classica delle ali | 108 |
| ● La spirale di progetto | 15 | ● Forma dell'estremità | 113 |
| ● Computer-aided design (CAD) | 17 | ● Portanza e resistenza indotta dello yacht | 116 |
| CONSIDERAZIONI PRELIMINARI | 19 | ● Progettazione avanzata della chiglia | 118 |
| ● Scelta del tipo di barca | 19 | ● Chiglie basculanti | 125 |
| ● Destinazione d'uso | 19 | ● Valutazione di alcuni concetti di forma | 125 |
| ● Dimensioni principali | 20 | ● Definizione della sezione | 128 |
| ● Costo | 22 | ● Tre sezioni NACA utili | 129 |
| GEOMETRIA DELLO SCAFO | 25 | ● Influenza della forma sulle caratteristiche della sezione | 131 |
| ● Definizioni | 25 | ● Alcune considerazioni pratiche riguardanti la forma della sezione | 138 |
| ● Disegno delle linee d'acqua | 29 | ● Influenza delle deviazioni dalla forma teorica della sezione | 139 |
| ● Strumenti | 32 | ● Progettazione avanzata della sezione | 142 |
| ● Progettazione computerizzata degli scafi | 37 | ● Statistiche sulla chiglia e sull'area del timone | 142 |
| IDROSTATICA E STABILITÀ | 40 | ● L'YD-41 | 144 |
| ● Calcolo delle aree | 40 | FOIL..... | 146 |
| ● Superficie bagnata | 42 | ● Concetti di Foiling | 148 |
| ● Dislocamento | 42 | ● Forze e momenti | 150 |
| ● Centro di galleggiamento | 44 | ● Stabilità di 'volo' | 159 |
| ● Area del piano di galleggiamento | 47 | ● Forma e area in prospetto | 160 |
| ● Stabilità trasversale e longitudinale a piccoli angoli | 49 | ● Profili dei foil | 163 |
| ● Stabilità trasversale ad ampi angoli di sbandamento | 52 | ● Esempio – uno skiff foiling | 167 |
| ● Curva di stabilità statica | 54 | ● Forze calcolate | 170 |
| ● Rollio | 56 | ● Altri aspetti | 179 |
| ● Influenza delle onde sul momento raddrizzante | 59 | PROGETTO VELE E ALBERO..... | 181 |
| ● Statistiche di stabilità | 61 | ● Flusso intorno alle vele | 181 |
| ● Valutazione della tenuta al mare | 62 | ● Forma | 183 |
| PROGETTO DELLO SCAFO | 67 | ● Camber della vela | 187 |
| ● Forze e momenti su uno yacht a vela | 67 | ● Interferenza dell'albero | 189 |
| ● Componenti della resistenza | 69 | ● Mezzi per ridurre i disturbi dell'albero | 190 |
| ● Resistenza viscosa: concetti di base | 71 | ● Razionalizzazione | 192 |
| ● Resistenza d'attrito | 72 | ● Un modello pratico per l'aerodinamica della vela e dell'albero | 194 |
| ● Resistenza della pressione viscosa | 74 | ● Statistiche sulla vela | 199 |
| ● Rugosità | 77 | AVANZO..... | 201 |
| ● Resistenza d'onda: concetti di base | 79 | ● Effetto dello sbandamento | 201 |
| ● Resistenza d'onda e residua | 83 | ● Buon equilibrio | 203 |
| ● Resistenza di sbandamento | 90 | ● Centro di spinta del corpo sommerso | 203 |
| ● Resistenza aggiunta d'onda | 92 | ● Centro di spinta sulle vele | 205 |
| ● Altri aspetti della tenuta al mare | 96 | ● Avanzo (Lead) | 207 |

| | | | |
|---|------------|---|------------|
| ● Equilibrio del timone | 208 | ● Definizioni scafo | 308 |
| ELICA E MOTORE | 209 | ● Aree | 310 |
| ● Resistenza con tempo buono e perturbato | 210 | ● Dimensioni dei pannelli e degli irrigidimenti | 312 |
| ● Caratteristiche dell'elica | 213 | ● Pressione su pannelli e irrigidimenti | 312 |
| ● Progettazione di un'elica ottimale | 215 | ● Fattori di regolazione della pressione | 315 |
| ● Prestazioni dell'elica non ottimale | 218 | ● Carichi di progetto per il fondo | 317 |
| ● Controllo dell'area della pala | 222 | ● Carichi di progetto per le murate | 320 |
| ● Resistenza dell'elica | 223 | ● Carichi di progetto per ponti, sovrastrutture e paratie | 322 |
| IDRODINAMICA AD ALTA VELOCITÀ..... | 225 | ● Riepilogo dei carichi di progetto | 324 |
| ● Planata | 225 | ● Proprietà meccaniche e sollecitazioni di progetto | 324 |
| ● 'Deadrise' | 228 | ● Fattore di qualità della costruzione k_{BB} | 325 |
| ● Forze su uno scafo planante | 230 | ● Fattore del metodo di valutazione k_{AM} | 326 |
| ● Guide di spruzzatura, fondi a gradini e alette di poppa | 235 | ● Fattori di proporzione per il fasciame k_{2B} e k_{SH} | 326 |
| ● Stabilità dinamica | 238 | ● Fattore di correzione della curvatura per il fasciame K_C | 326 |
| ● Dispositivi di propulsione alternativi | 240 | ● Sollecitazioni di progetto | 327 |
| ● Esempio | 241 | ● Forze di taglio e momenti di progettazione F_d e M_d | 328 |
| COSTRUZIONE DELL'ALBERO | 245 | ● Metodi di determinazione del dimensionamento | 329 |
| ● Definizioni e campo di applicazione dello standard | 245 | ● Determinazione delle proprietà meccaniche | 330 |
| ● Forze sulle sartie | 248 | ● Calcolo del pannello a pelle singola | 333 |
| ● Forza sugli stralli | 252 | ● Sandwich | 334 |
| ● Confronto tra cavo e tondino | 253 | ● Forze e momenti dell'irrigidimento di progetto | 336 |
| ● Rigidità trasversale dell'albero | 257 | ● Fattore di curvatura dell'irrigidimento k_C | 339 |
| ● Rigidità longitudinale dell'albero | 258 | ● Sollecitazioni negli irrigidimenti τ e δ_{CRIT} | 339 |
| ● Albero frazionato | 258 | ● Larghezza effettiva del fasciame collegato B_E | 339 |
| ● Boma | 258 | ● Irrigidimento di costruzione | 342 |
| ● Crocette | 260 | ● Asse timone a spada | 343 |
| ● Fori nell'albero | 261 | ● Perni della chiglia | 346 |
| ● L'albero del YD-41 | 262 | ● Carichi e montaggio dell'albero | 347 |
| COSTRUZIONE DELLO SCAFO | 265 | ● Costruzione dell'YD-41 | 348 |
| ● Concetti di meccanica strutturale | 266 | INTERNI..... | 353 |
| ● Carichi globali | 266 | ● Requisiti di spazio generici | 353 |
| ● Carichi idrostatici locali | 272 | ● Alloggio | 354 |
| ● Carichi idrodinamici locali | 272 | ● Layout della coperta | 362 |
| ● Distribuzione trasversale del carico | 275 | VALUTAZIONI DEL PROGETTO | 368 |
| ● Deformazioni locali | 276 | ● Parametri adimensionali | 369 |
| ● Forze dalla chiglia | 277 | ● Il programma di previsione della velocità (VPP) | 370 |
| ● Forze dall'incaglio | 278 | ● Prove in vasca navale | 376 |
| ● Forze dal timone | 281 | ● Test in galleria del vento | 378 |
| ● Riepilogo dei carichi | 283 | ● Fluidodinamica computazionale (CFD) | 379 |
| MATERIALI | 288 | APPENDICE 1: PRINCIPALI DETTAGLI DELL'YD-41 | 389 |
| ● Rinforzo in vetro | 289 | APPENDICE 2: CALCOLO DEL PESO..... | 390 |
| ● Laminati bagnati | 293 | APPENDICE 3 CALCOLO STIX..... | 397 |
| ● Fatica | 293 | BIBLIOGRAFIA | 398 |
| ● Laminati esotici | 295 | INDICE ANALITICO | 402 |
| ● Sandwich | 297 | | |
| ● Tipica deformazione sandwich | 300 | | |
| ● Flessione sandwich | 300 | | |
| ● Sandwich in pratica | 302 | | |
| ● Osservazioni finali | 304 | | |
| DIMENSIONAMENTI..... | 306 | | |
| ● Struttura dello standard | 306 | | |

1 METODO PROGETTUALE

La progettazione di yacht è una procedura iterativa di ‘prova ed errore’ in cui il risultato finale deve soddisfare determinati requisiti, specificati in anticipo. Per raggiungere questo obiettivo il progettista deve iniziare con una serie di ipotesi e lavorare attraverso il progetto per vedere se, alla fine, soddisfa i requisiti. Questo non sarà certamente il caso nella prima iterazione, quindi dovrà cambiare alcune ipotesi e ripetere il processo, normalmente più volte. La sequenza di operazioni viene spesso definita spirale, in cui il progettista attraversa tutte le fasi della progettazione e poi ritorna al punto di partenza, dopodiché inizia un nuovo ‘giro’. Dopo diversi giri il processo potrebbe aver prodotto il risultato desiderato. Descriveremo la spirale di progettazione in modo più dettagliato di seguito.

Se tutti i passaggi vengono eseguiti manualmente, la procedura può richiedere molto tempo e si può essere tentati di interrompere le iterazioni prima che le specifiche iniziali siano state pienamente soddisfatte. Un enorme risparmio di tempo e precisione è possibile se vengono adottate le moderne tecniche di progettazione assistita da computer (CAD), e discuteremo di questa possibilità nella seconda parte del capitolo.

■ LA SPIRALE DI PROGETTO

In Fig. 1.1 viene mostrata la spirale di progetto. Undici segmenti diversi possono essere identificati e ogni segmento corrisponde a un’operazione del progettista. Non tutte le operazioni devono essere eseguite in ogni giro e gli strumenti utilizzati in ogni operazione possono variare di volta in volta. In linea di principio, vengono inclusi sempre più segmenti e vengono utilizzati strumenti sempre migliori, man mano che il processo converge verso la soluzione finale. La figura mostra che ogni settore corrisponde a un capitolo (o forse due) di questo libro.

Fin dall’inizio il progettista ha solo le specifiche dello yacht, cioè le sue caratteristiche richieste. Sulla base della sua esperienza, o dei dati di altri yacht, assume i dati principali dello scafo. Parametri adimensionali come il rapporto dislocamento/lunghezza, superficie velica/superficie bagnata, braccio di sbandamento e altezza metacentrica possono quindi essere calcolati e un controllo approssimativo delle prestazioni può essere effettuato sulla base delle statistiche di altri yacht. La procedura è riassunta nei capitoli 2 e 17. In questo primo giro a spirale il progettista salta direttamente dal primo all’ultimo segmento, e la valutazione è molto approssimativa.

Nel secondo giro, dopo aver regolato i parametri principali, potrebbe essere il momento di iniziare la progettazione vera e propria dello scafo, della chiglia, del timone e del piano velico. La teoria per questo è data nei capitoli 3, 5, 6, 7, 8 e 9. Una disposizione approssimativa del design interno ed esterno (vedi capitolo 16) può essere fatta anche, per dare una stima iniziale del peso, necessaria

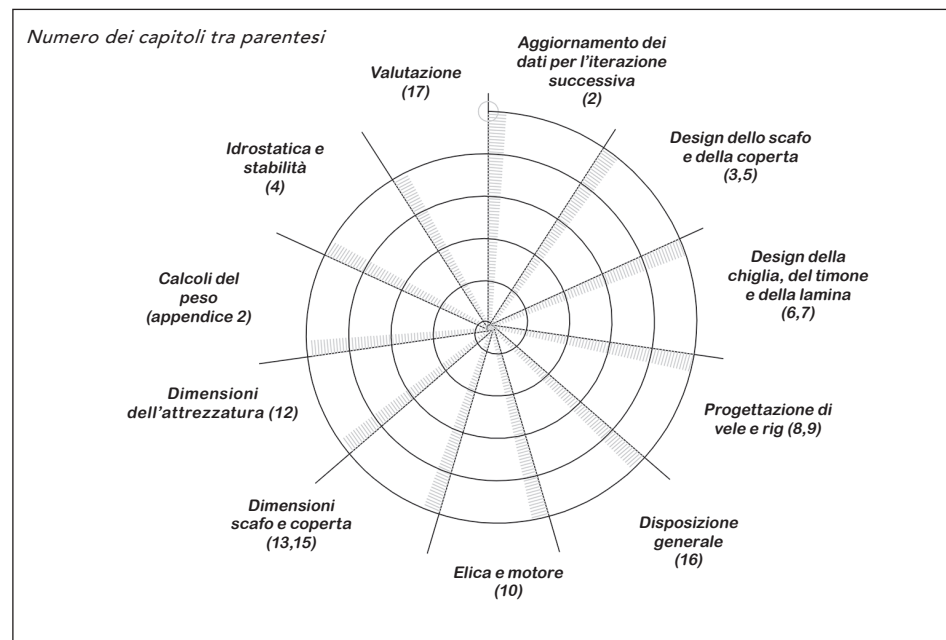


Fig. 1.1 La spirale di progetto.

per il calcolo della stabilità (vedi capitolo 4). È probabile che né il peso né la stabilità siano corretti, quindi potrebbero essere necessari diversi giri per soddisfare ragionevolmente questi requisiti. Naturalmente, non tutte le operazioni precedenti potrebbero dover essere rifatte in ogni turno. Avendo trovato un peso e una stabilità ragionevoli per lo yacht, il turno successivo può includere i calcoli dettagliati dello scafo e il dimensionamento dello scafo, nonché la scelta del motore (vedi capitoli 10-15). Solo in questa fase è possibile effettuare un calcolo esatto del peso, come indicato nell'appendice 2. Man mano che il progettista si avvicina alla soluzione finale, potrebbe voler valutare il progetto con maggiore attenzione, e per fare ciò è necessario un programma di previsione della velocità (Velocity Prediction Program VPP). Tali programmi sono descritti nel capitolo 17, dove vengono presentate anche altre tecniche ancora più accurate, come la prova in vasca navale e la fluidodinamica computazionale (CFD). Il designer amatoriale potrebbe non avere accesso a nessuno di questi strumenti, tuttavia, quindi la sua valutazione della progettazione attuale dovrà essere basata sull'esperienza.

Va sottolineato che in alcuni segmenti sono necessarie iterazioni interne. Questo è particolarmente vero nell'area di progettazione dello scafo. Qui, i requisiti per il volume e la sua distribuzione sono probabilmente specificati in anticipo e potrebbero essere necessarie diverse iterazioni per soddisfarli. Se il processo è manuale, sono necessarie anche iterazioni tra le diverse viste per eseguire correttamente le linee, come verrà descritto nel capitolo 3. Nel segmento idrostatico e di stabilità sono necessarie iterazioni per trovare la giusta immersione e assetto quando lo scafo sbanda ad ampi angoli.

COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD)

Grazie al rapido sviluppo degli ultimi anni, la progettazione assistita da computer (CAD) può essere eseguita in modo efficiente su PC o Mac. È importante avere uno schermo ad alta risoluzione; uno speciale software di grafica accelera il processo. Una stampante laser produrrà un output grafico su piccola scala ragionevolmente buono, ma i progettisti professionisti utilizzano plotter a penna di varie dimensioni per produrre disegni fino a scala reale.

Il modulo più importante di un sistema CAD per la progettazione di yacht è un potente programma per la generazione delle linee dello scafo, e tali programmi sono stati disponibili fin dai primi anni Ottanta. Nei programmi moderni la superficie dello scafo è rappresentata matematicamente da una o più NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Per una descrizione dettagliata si rimanda il lettore al libro *Computational Geometry for Ships* di Nowacki, Bloor e Oleksiewicz (1995). Qualsiasi punto sulla superficie può essere trovato dalla rappresentazione matematica, o più precisamente, se vengono date due coordinate di un punto, il programma calcola la terza. Pertanto, se l'utente fornisce la distanza dalla prua, X , e la distanza sopra la linea di galleggiamento, Z , il programma calcola la larghezza locale, Y , in questa posizione. Inoltre, qualsiasi taglio attraverso la superficie può essere ottenuto, ad esempio, qualsiasi sezione o linea di galleggiamento.

Ci sono principalmente due diversi problemi in relazione alla rappresentazione della superficie. Il compito può essere quello di generare un nuovo scafo o di duplicare, nel modo più accurato possibile, uno esistente. Quest'ultimo problema è più difficile. È certamente possibile in un processo iterativo avvicinarsi a una determinata forma, ma può richiedere molto tempo. Fortunatamente, il progettista è normalmente interessato al primo compito: creare un nuovo scafo. Per raggiungere questo obiettivo deve lavorare con un insieme di punti, chiamati vertici, situati vicino alla superficie. Spostando un vertice la superficie dello scafo viene deformata localmente in modo tale da essere ancora avviata. Nella maggior parte dei programmi la curvatura della superficie può essere tracciata, consentendo così al progettista di generare linee avviate anche su piccola scala e con la risoluzione relativamente bassa dello schermo. Alcuni programmi utilizzano punti sullo scafo stesso per definire la sua forma, ma tutti i principali programmi sul mercato internazionale utilizzano punti di controllo. Sembra esserci un consenso tra gli yacht designer sul fatto che questo approccio sia molto efficace per creare linee avviate. Nel capitolo 3 mostreremo come lo scafo è generato dai punti di controllo.

La maggior parte dei programmi di geometria dello scafo ha la capacità di ruotare lo scafo e mostrarlo in diverse prospettive sullo schermo. La possibilità di mostrare una vista prospettica dello scafo è importante ed è un importante miglioramento rispetto all'approccio manuale, in cui sono impiegate solo tre viste standard (vedi capitolo 3). Ad esempio, la forma della cinta (sheer line) può apparire molto diversa in prospettiva rispetto alla vista laterale, poiché la linea che incontra l'occhio è influenzata anche dalla distribuzione della larghezza lungo lo scafo. Gli scafi che sembrano belli in una vista laterale possono sembrare piuttosto brutti in realtà.

Alcuni dei programmi più avanzati includono il ponte e la sovrastruttura come per il modello dello scafo, cioè queste parti dello yacht sono rappresentate in tre dimensioni e possono essere visualizzate in prospettiva. In altri programmi sono trattati separatamente. Per calcolare la stabilità a grandi angoli di sbandamento, il ponte, la tuga e il pozzetto devono essere modellati, e questo viene spesso fatto in un modulo separato in cui queste parti vengono aggiunte in modo relativamente grezzo, sezione per sezione.

Un modulo chiglia/timone è spesso disponibile nei sistemi CAD per yacht. Il progettista può scegliere tra una serie di profili diversi per la sezione trasversale e specificare la forma del piano della chiglia/timone. Il codice calcola il volume, il peso della chiglia, il centro di gravità e il centro di spinta della forza idrodinamica. Quest'ultimo è richiesto nel bilanciamento dello yacht, come spiegato nel capitolo 8. Per questo è richiesto anche il piano velico, e alcuni sistemi hanno un semplice modulo velico che calcola le aree e i centri velici, date le coordinate dell'angolo della vela.

Il peso totale e la posizione del baricentro (in tre direzioni) sono calcolati in una tabella di calcolo del peso, che accetta il peso e la posizione relativi a un determinato punto di riferimento di tutti gli accessori a bordo. L'appendice 2 presenta l'input e l'output di tale tabella di calcolo.

Moduli molto importanti del sistema CAD dello yacht sono i programmi di idrostatica e stabilità. Questi calcolano tutte le quantità discusse nel capitolo 4, compresa la stabilità ad angoli di sbandamento piccoli e grandi, il peso per mm di affondamento e il momento per grado di assetto. Nel calcolo della stabilità si trovano l'immersione e l'assetto corretti per ogni angolo di sbandamento, una procedura che richiede molto tempo se eseguita manualmente.

Il programma di previsione della velocità (VPP), menzionato in precedenza, può anche essere considerato come un modulo del sistema CAD. Come spiegato sopra, questo programma calcola la velocità, l'angolo di sbandamento e l'angolo di scarroccio a tutte le velocità del vento e le direzioni di interesse, in base a un insieme di dimensioni per scafo, chiglia, timone e vele. Il semplicissimo stimatore delle prestazioni, basato su alcuni parametri principali e utilizzato nella prima iterazione della spirale di progettazione, può anche essere un modulo del sistema.

Infine, possono essere inclusi programmi più o meno avanzati per la progettazione strutturale dello yacht. Tali programmi possono essere basati sulle regole fornite dalle società di classificazione: l'American Bureau of Shipping, (ABS), Lloyd's Register of Shipping (LR) e altri o l'ISO Scantling standard 12215. Lo standard ISO sarà descritto nel capitolo 15. I metodi utilizzati nei calcoli dell'attrezzatura e dimensionamento possono essere basati sulla teoria della forza di base o su tecniche agli elementi finiti.

La progettazione assistita da computer può essere estesa alla produzione assistita da computer, che può essere utilizzata nella produzione dello yacht. Ad esempio, il processo di tracciatura che richiede molto tempo, in cui il costruttore produce modelli su larga scala, può essere eliminato. Tradizionalmente, il costruttore riceve tabelle di offset dal progettista. Sulla base di questi offset le sezioni vengono disegnate in scala 1:1 con una riduzione delle dimensioni per lo spessore della pelle dello scafo. Questo è necessario, poiché i modelli vengono utilizzati internamente durante il processo di costruzione. Se lo scafo è stato progettato al CAD, tuttavia, i modelli in scala reale con la riduzione appropriata possono essere tracciati direttamente, a condizione che sia disponibile un plotter sufficientemente grande. Lo sviluppo delle lastre può essere ottenuto anche dal sistema CAD, semplificando la produzione di scafi in acciaio e alluminio.

2 | CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Prima di iniziare effettivamente il lavoro di progettazione, dobbiamo avere un quadro chiaro dello scopo dello yacht: quali sono i requisiti, i limiti e gli obiettivi del progetto? In questo capitolo elencheremo le considerazioni che costituiscono il punto di partenza del progetto.

■ SCELTA DEL TIPO DI BARCA

Indipendentemente dal fatto che il cliente sia un singolo proprietario o un'azienda di costruzione di barche, avrà idee precise sul tipo di barca che desidera. La maggior parte delle persone ha in mente uno yacht particolare che, con cambiamenti di dimensioni, stile, disposizione, attrezzatura o forma dello scafo, soddisfa le loro esigenze. Queste preferenze sono spesso modificate da altre valutazioni, come le condizioni locali, le valutazioni economiche e l'uso previsto. L'opinione personale spesso governa la scelta del tipo a tal punto che gli argomenti più logici e scientifici possono diventare di secondaria importanza, se non messi completamente da parte.

■ DESTINAZIONE D'USO

La destinazione d'uso dello yacht è una questione che viene prima nella lista delle considerazioni. La prima distinzione è quella tra regate e crociere. Per l'imbarcazione da regata dobbiamo naturalmente decidere secondo quale regola deve essere progettata la barca e in quale classe regaterà. Questo ci dà un buon punto di partenza per quanto riguarda le dimensioni della barca e dell'equipaggio, le dimensioni e il tipo di attrezzatura, confrontandolo con i progetti di successo esistenti. Stabilito il tipo e le dimensioni dell'imbarcazione, possiamo procedere con il processo di progettazione descritto nei capitoli seguenti, apportando modifiche in modo da conformarci alla regola che stiamo seguendo.

Per l'imbarcazione da crociera il requisito principale che influenza il tipo di progettazione da adottare per quanto riguarda scafo, coperta, interni e attrezzatura è l'uso previsto dello yacht in termini generali, vale a dire per esempio l'impiego per traversate oceaniche senza limiti, l'uso d'altura più o meno impegnativo o l'uso costiero o riparato. Ovviamente, è più facile raggiungere elevati standard di sicurezza, stabilità e prestazioni con un grande yacht, a condizione che ci sia un equipaggio sufficiente per gestire l'imbarcazione.

Questo ci porta alla questione della necessità di un compromesso. I requisiti di velocità, tenuta di mare, barca asciutta, resistenza agli agenti atmosferici, facilità di conduzione, comfort e altre qualità spesso sono in conflitto, ma minori saranno i compromessi migliore sarà il progetto.