

Design di una nuova imbarcazione

Andrea Mastrangelo, Alessandro Pera

3 dicembre 2015

Sommario

Questo report presenta le linee guida per la progettazione di un'imbarcazione, in particolare si indicheranno i passaggi affrontati per il design di uno skiff di classe R3 per le regate del 1001Vela Cup. Il progetto è iniziato nel novembre del 2014 e terminato a dicembre 2015, la costruzione è prevista per i primi mesi del 2016.

Indice

1	I software	3
1.1	Requisiti	3
1.2	Maxsurf	3
1.3	SolidWorks	4
1.4	Analisi FEM e CFD	4
1.5	Complessivo	4
1.6	Disegno delle vele	4
2	I coefficienti	5
2.1	Dislocamento	5
2.2	Coefficienti di finezza	5
2.2.1	Coefficiente prismatico o di blocco	5
2.2.2	Coefficiente di finezza della sezione maestra	5
2.2.3	Coefficiente di finezza al galleggiamento	5
3	La stabilità	6
3.1	Obiettivo	6
3.2	Stabilità di peso	6
3.3	Stabilità di forma	7
4	Dinamica della barca	8
5	Storia ed evoluzione	9
5.1	Dalla nascita della navigazione allo yachting	9
5.1.1	Le origini	9
5.1.2	Lo Yachting	10
5.2	Le origini in Olanda	10
5.3	I primi sviluppi	10
5.4	Stazze	10
5.4.1	Tonnage Rule - Builder's Old Measurement	11

5.4.2	Stazza del Tamigi	11
5.4.3	In America	11
5.4.4	Dixon Kemp	12
5.4.5	Prime Stazze Lineari	13
5.4.6	Parallelamente in Francia	13
5.4.7	Stazza Internazionale	13
5.4.8	In America	14
5.4.9	Conclusioni	14

Capitolo 1

I software

1.1 Requisiti

Sebbene un software CAD 2D possa essere sufficiente per la modellazione delle linee d'acqua e di tutte le strutture della barca, visto che il mercato ci mette a disposizione numerosi software è bene fare una valutazione di quello che ci serve e ci può essere utile e utilizzare il supporto adeguato per ogni fase del processo. Innanzitutto dobbiamo disegnare le linee d'acqua e per questo ci viene utile un software adatto alla modellazione di superfici e che magari abbia determinati strumenti 'immediati' per il calcolo di alcuni coefficienti illustrati a pagina 5. A questo punto abbiamo bisogno di un modellatore per la coperta ed eventuali altre componentistiche per la barca, la soluzione può essere un disegnatore diretto, ma con un buono studio preliminare di quello che sarà il lavoro e le eventuali modifiche iterative si può utilizzare un software di disegno parametrico, più macchinoso in partenza, ma sicuramente più veloce quando dovremo effettuare delle modifiche. Per il disegno delle vele sono presenti diversi Per il disegno delle appendici Necessitiamo infine di software in grado di effettuare analisi FEM e CFD.

Infine si può optare per l'utilizzo di un disegnatore diretto per raggruppare i risultati di tutto il lavoro in modo da averli comodi a portata di mano.

1.2 Maxsurf

Per il disegno delle linee d'acqua abbiamo adottato il software Maxsurf che oltre ad un buon modellatore di superfici fornisce alcuni supporti per il calcolo dei coefficienti della barca e due strumenti per l'analisi della stabilità

e della fluidodinamica. Esistono comunque delle soluzioni gratuite come DELFTShip o FreeCAD con il suo modulo Ship che possono fare al caso nostro.

1.3 SolidWorks

Per il disegno della coperta e delle componenti meccaniche abbiamo invece utilizzato SolidWorks, ma valide alternative sono Creo o CATIA. Tutti questi permettono, oltre al disegno di parti in modo parametrico e la successiva unione in complessivi, anche analisi FEM sul pezzo. Nessuno di questi è un ottimo modellatore di superfici per le quali forse andrebbero meglio SolidEdge o Rhinoceros, quest'ultimo però non è parametrico, cosa che, se ben sfruttata, offre un grosso vantaggio quando il processo di modellazione è ciclico come nel nostro caso.

1.4 Analisi FEM e CFD

Per le simulazioni meccaniche abbiamo utilizzato in parte il simulatore presente dentro al modellatore CAD utilizzato e in parte Ansys, quest'ultimo è un po' ostico per chi è alle prime armi, ma costituisce lo standard per questo tipo di strumento.

Le simulazioni CFD sono invece state fatte con StarCCM, software della CD-Adapco che ci ha offerto un monte ore di simulazione.

Infine si può utilizzare, per purà comodità, un meshatore esterno come Hypermesh che garantisce un controllo della mesh molto migliore di quello che si avrebbe importando il modello in Ansys dal CAD e meshandolo da lì.

1.5 Complessivo

Come detto in precedenza può essere utile comporre il tutto in un software diretto che permetta di avere a portata di mano rapidamente tutto il lavoro, che permetta di spezzettarlo e manipolarlo in modo veloce, cosa per cui un software parametrico sarebbe troppo macchinoso. Abbiamo adottato Rhinoceros.

1.6 Disegno delle vele

Smar Azure e Rhino

Capitolo 2

I coefficienti

2.1 Dislocamento

2.2 Coefficienti di finezza

2.2.1 Coefficiente prismatico o di blocco

2.2.2 Coefficiente di finezza della sezione maestra

2.2.3 Coefficiente di finezza al galleggiamento

Capitolo 3

La stabilità

La stabilità di un corpo descrive la sua attitudine a cambiare la sua configurazione quando perturbato in prossimità di un punto di equilibrio. In architettura navale è uno degli aspetti più importanti della fase di progettazione dell'imbarcazione. In particolare si deve analizzare la stabilità longitudinale e quella trasversale, ciò che influenza la stabilità è la distribuzione dei pesi e la forma della carena.

Si parla di equilibrio positivo se lo scafo perturbato (ad esempio da una folata di vento) tende a riportarsi nella posizione iniziale, indifferente se lo scafo perturbato rimane nella sua posizione, negativo se dopo la perturbazione tende a fuggire dalla posizione di partenza.

3.1 Obiettivo

Una barca a vela deve essere ovviamente stabile, ma questo non significa che debba sempre navigare in posizione 'dritta', ovviamente il caso dello skiff è un'eccezione, può anche trovarsi a navigare in posizione coricata e di conseguenza la forma dello scafo deve eventualmente prevedere questa opportunità.

3.2 Stabilità di peso

Come si evince dal nome la stabilità di peso riguarda la distribuzione dei pesi sulla barca, nel nostro caso, poichè più del 50% del peso è composto dall'equipaggio e da attrezzatura mobile, lo studio dei pesi assume un'importanza minore. È ovviamente fondamentale calcolare il dislocamento, la linea di galleggiamento e quindi tutte le nostre linee d'acqua dipendono dalla

sua posizione. Fatto questo però, nel nostro caso, è sufficiente fare in modo che i pesi siano il più possibile concentrati vicino al baricentro dello scafo per evitare che, a seguito di una forzante, si ingenerino delle coppie che portano la barca a rollare e beccheggiare spreco così energia.

3.3 Stabilità di forma

Al contrario è fondamentale la scelta della forma dell'imbarcazione.

Differente è invece il caso della stabilità di forma in quanto possiamo andare a disegnare uno scafo più stabile o più 'ballerino' a seconda della forma che diamo alla parte istantaneamente immersa. Probabilmente è più facile spiegare questa situazione con un esempio: supponiamo che per un motivo ignoto (non interessa alla trattazione) la barca tenda a sbandare sul lato di dritta, in questo modo avremo che un volume X a dritta verrà immerso, provocando una spinta di galleggiamento, mentre un volume Y a sinistra emergerà. A seguito di questa modifica della sezione immersa avremo una differente spinta idrostatica (che potrebbe portare ad avere un minor pescaggio della scafo qualora il volume inizialmente immerso sia maggiore di quello emerso) ma soprattutto si genererà un momento dovuto allo spostamento a dritta del punto di applicazione della risultante delle spinte idrostatiche. Lo sbandamento sarà tanto maggiore quanto più dobbiamo spostare tale punto. Tanto più le sezioni della barca saranno squadrate (e larghe) tanto maggiore sarà lo spostamento del punto di applicazione con un piccolo sbandamento e tanto meno la barca soffrirà di rollio.

Questo principio influenza ovviamente anche il beccheggio, qui però entrano in gioco maggiormente anche le onde e le spinte che queste creano prevalentemente nella zona di prua essendo questa generalmente molto leggera: dislocare troppi volumi nella zona di prua (e quindi molto lontani dal centro di rotazione della barca che è di solito spostato a poppa rispetto al centro geometrico della barca) finirà per rendere la barca molto nervosa su mari agitati.

Capitolo 4

Dinamica della barca

La domanda che sta alla base di questo capitolo è "Come si muove la barca?"

Capitolo 5

Storia ed evoluzione

Abstract

Si presenta, in questo capitolo, un rapido riassunto di quella che è stata l'evoluzione degli scafi negli anni cercando di legare ad ogni nuovo sviluppo una causa che l'ha avviato.

5.1 Dalla nascita della navigazione allo yachting

La navigazione a vela ha origine, secondo gli storici, circa 6000 anni fa, ma come ci ricorda anche Franco Giorgetti [5] si trattava per lo più di imbarcazioni di ausilio al lavoro o da guerra, mentre il veleggiare per diletto, salvo alcune parate o manifestazioni, è arte molto recente e possiamo collocarne l'inizio nel *XVII* secolo in Olanda, una "terra d'acqua" in cui l'assenza di guerre e la ricca borghesia formatasi con il commercio ha portato allo sviluppo di imbarcazioni private per il divertimento.

5.1.1 Le origini

I primi rudimentali mezzi erano tronchi scavati a creare delle canoe o legati assieme a formare zattere, man mano la tecnica si è poi evoluta e si sono creati veri e propri scafi che in genere erano larghi e piatti per il trasporto di merci.

Probabilmente la prima vela venne issata dagli Egizi per risalire il Nilo.

Le navi per il commercio rimasero larghe e generalmente piatte, quelle atte alla guerra invece si svilupparono a seconda delle abilità dei proprietari: Fenici e Vichinghi erano abili navigatori e costruirono navi più filanti, i Ro-

mani erano invece molto più bravi nel corpo a corpo e costruirono navi più robuste che permettessero il combattimento classico su di esse.

Dopo l'impero romano la navigazione era in mano alle Repubbliche marinare prima e poi a Olandesi, Spagnoli e Portoghesi con le loro grandi navi mercantili.

5.1.2 Lo Yachting

Fu però solo con l'inizio dello Yachting e con esso della navigazione competitiva, che i progettisti hanno cominciato una ricerca delle linee migliori per aumentare le prestazioni, l'avvento poi dei criteri di compensazione, le stazze, ha permesso lo sviluppo di scafi con una certa linea piuttosto che altre.

5.2 Le origini in Olanda

Come si è avuto modo di anticipare nel paragrafo precedente le origine dello Yachting si possono attribuire all'Olanda, ciò che ha reso possibile lo sviluppo della navigazione per diletto fu la pace e l'arricchimento dei mercanti borghesi che hanno deciso di dedicarsi a questa attività.

Le barche erano dirette discendenti delle mercantili che navigavano lungo le acque basse dei canali. Pertanto queste erano molto larghe e piatte con due derive mobili ai lati per limitarne il pescaggio. Inoltre queste imbarcazioni avevano in generale la prua molto più piena della poppa.

Si trattava comunque di caratteristiche che derivavano dalle necessità e dalle barche da carico fin lì costruite

5.3 I primi sviluppi

Per il primo secolo gli sviluppi non avvennero tanto sulle forme (in generale una barca da carico doveva essere più piena e una da corsa più lunga, ma più che altro per farci stare più vela o più rematori), quanto più sulla deriva e sulla zavorra. Ci furono così i primi studi di derive mobili ed esperimenti sul posizionamento della zavorra che in origine è mobile (sacchi o barili).

5.4 Stazze

È con l'avvento delle stazze che iniziano veramente gli studi sulle forme. Il tutto nasce dalla necessità di poter paragonare in acqua barche di differenti

dimensioni per evitare che a vincere sia sempre la più lunga. Si introducono così delle classificazioni (le stazze appunto) che potessero introdurre degli handicap per far correre tutti alla pari.

5.4.1 Tonnage Rule - Builder's Old Measurement

In Inghilterra si fece così riferimento al tonnellaggio (da tun = botte), nacque nel 1829 a Cowes la seguente formula:

$$Tonnage = \frac{(L - \frac{3}{5}B) \times B \times \frac{1}{2}B}{94} \quad (5.1)$$

inizialmente vi erano quattro classi, ognuna delle quali doveva un vantaggio in distanza alle inferiori, successivamente si aggiunsero altre due classi e quindi si passò agli handicap in tempo.

5.4.2 Stazza del Tamigi

Sebbene fosse un enorme passo avanti la (5.1) derivava dal mondo delle navi mercantili, fu l'arrivo di America che portò alla:

$$Tons = \frac{(L - B) \times B \times \frac{1}{2}B}{94} \quad (5.2)$$

questa formula aveva però alcuni difetti: dava grande importanza (in termini di tonnellaggio) alla larghezza e non contemplava le dimensioni delle vele, questo portò a scafi sempre più stretti e lunghi (avendo essi migliori prestazioni di uno scafo corto e largo, ma potenzialmente potendo vantare un tonnellaggio analogo) che potessero portare anche molta più tela.

5.4.3 In America

Mentre in Inghilterra si aveva in odio la larghezza, in America si usava una formula che contemplava il peso:

$$T = \frac{(L - \frac{3}{5}B) \times B \times D}{95} \quad (5.3)$$

con D peso effettivo della barca. Per questo in America si puntava più sulla stabilità di forma in modo da ridurre il peso che era inserito come moltiplicatore.

5.4.4 Dixon Kemp

Queste formule di stazza avevano, come già detto, dei notevoli problemi: penalizzavano in modo importante larghezza e dislocamento, permettendo ai progettisti di fare barche di egual rating riducendo enormemente questi due parametri e allungando a piacere la barca, con l'aggiunta che uno scafo più lungo poteva anche portare molta più vela. Nacquero i cosiddetti *plank on the edge*, scafi con rapporti lunghezza/larghezza che arrivavano anche oltre il 5. Tali soluzioni portavano a scafi sempre più pericolosi e si ricorda tristemente il caso di *Oona* (10,33m di lunghezza per 1,67m di larghezza e 12t di dislocamento) che affondò durante il viaggio inaugurale, a seguito di una tempesta, portando con sé il progettista Payton.

Una prima modifica fu la seguente:

$$R = \frac{(L + B)^2 \times B}{1730} \quad (5.4)$$

poi venne adottata la formula di *Dixon Kemp* del 1886, denominata **Lenght and Sail Area Rule**:

$$R = \frac{L \times SA}{6000} \quad (5.5)$$

$$R = \frac{L \times SA}{4000} \quad (5.6)$$

la (5.5) veniva usata dagli inglesi, mentre gli americani modificarono il denominatore ottenendo la (5.6), nella sostanza non cambia nulla, ma si otteneva una formula più ragionevole del numeratore.

SA è la superficie velica alla quale veniva finalmente data la giusta importanza in termini di prestazioni, di fatto ora si avevano a numeratore i due parametri più semplici da modificare per un progettista che vuole cercare la prestazione, è logico che non siano gli unici, ma quando di sicuro un designer la prima cosa che farà sarà quella di sfruttare al massimo la lunghezza al galleggiamento e la tela disponibile prima di andare a ricercare affinamenti importanti, ma molto più complessi, nelle forme, materiali e armo.

5.4.5 Prime Stazze Lineari

Arrivarono poi le stazze lineari, la prima partorita da *Richard Hurrell Froude* che introdusse il concetto di contorno della carena:

$$R = \frac{L + B + \frac{3}{4}G + \frac{1}{2}\sqrt{SA}}{2} \quad (5.7)$$

Una seconda stazza lineare utilizzata nei primi anni del '900 fu la seguente:

$$R = \frac{L + B + \frac{3}{4}G + 4D + \frac{1}{2}\sqrt{SA}}{2,1} \quad (5.8)$$

5.4.6 Parallelamente in Francia

5.4.7 Stazza Internazionale

Seppur valida tecnicamente, la stazza lineare appena varata, aveva fatto fuggire i grandi yacht dai campi di regata così, sotto la spinta di *Brooke heckstall-Smith*, si riunirono le associazioni veliche europee a Londra nel gennaio 1906 dandosi l'obiettivo di formulare un regolamento che toccasse tutti gli aspetti dello yachting.

Si arriva così al 14 ottobre 1907, a Parigi viene fondato l'attuale **ISAF** e venne pubblicata la prima *Stazza Internazionale* che suddivideva le imbarcazioni in undici classi secondo la lunghezza:

$$R = \frac{L + B + \frac{1}{2}G + 3D + \frac{1}{3}\sqrt{SA} - F}{2} \quad (5.9)$$

dove:

- L = lunghezza al galleggiamento
- B = larghezza massima
- G = catena
- D = differenza tra contorno e catena

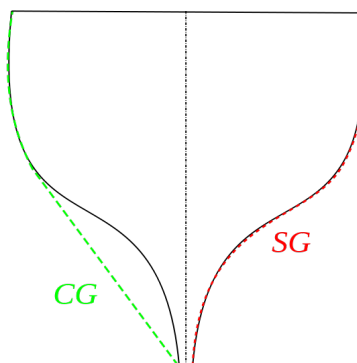


Figura 5.1: Differenza tra catena CG (chain girth) e contorno SG (skin girth), la linea orizzontale mostra la waterline

- SA = superficie velica
- F = bordo libero

La catena è una curva ideale che unisce la falchetta con il punto di massima immersione, mentre il contorno segue appunto il contorno della carena, le misure sono prese dal piano di galleggiamento. (verificare) Il bordo libero è invece l'altezza dell'opera morta.

Successivamente affinamenti hanno portato alla formula definitiva ancora oggi in vigore (5.11).

$$R = \frac{L + \frac{1}{4}G + 2D + \sqrt{SA} - F}{2,5} \quad (5.10)$$

$$R = \frac{L + 2D + \sqrt{SA} - F}{2,37} \quad (5.11)$$

5.4.8 In America

5.4.9 Lo IOR: una Regola Mondiale

5.4.10 Conclusioni

Questo capitolo dimostra che l'evoluzione dello yacht non è dipesa solo e soltanto dalla ricerca della perfezione e della prestazione, ma in generale ha

seguito quelli che erano i buchi disponibili nei regolamenti per permettere di fare la barca più veloce di un'altra, piuttosto che la barca perfetta. D'altro canto le numerose formule di stazza partorite dimostrano che non è facile trovare quali e in che misura i parametri di uno scafo influiscono sulle prestazioni: ogni condizione di vento e di mare avrà la sua forma preferita, sta al designer trovare la soluzione tecnologica che permetta al suo prodotto di destreggiarsi meglio nelle condizioni di mare ipotizzate lavorando all'interno di un particolare regolamento.

Bibliografia

- [1] «A sounding rocket as a test bench for cost effective measurements: Development of a sounding rocket demonstrator test bench for aerospace technologies and atmospheric measurements». In: *Metrology For Aerospace (MetroAeroSpace)*, *IEEE* (giu. 2015), pp. 574–579.
- [2] Ruby Philpott Adrian Lee. *Laurent Gilles*. 2004.
- [3] Pietro Fiammenghi. «Stazza, la legge e l’inganno». In: *Solo Vela* (2003).
- [4] Ross Garrett. *Fisica della Vela*. A cura di Zanichelli. 1990.
- [5] Franco Giorgetti. *Storia ed Evoluzione degli Yacht da Regata*. White Star, 2000.
- [6] Sebastian O.H. Madgwick. *An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays*. Rapp. tecn. Bristol University, 2010.
- [7] Sebastian O.H. Madgwick. <http://www.x-io.co.uk/open-source-imu-and-ahrs-algorithms/>.
- [8] A. Mastrangelo. *Disegno e verifica di un datalogger basato su Arduino per piccole imbarcazioni da regata (Skiff)*. 2014.
- [9] R. Vaidyanathan Sebastian O.H. Madgwick A.J.L. Harrison. «Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm». In: *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2011 IEEE International Conference on* (2011), pp. 1–7.
- [10] Norman L. Skene. *Elements of Yacht Design*. 1904.
- [11] Olin J. Stephens. *All This And Sailing, Too*. 1999.
- [12] Andrea Vallicelli. *TAC 11 Design Nautico, riflessioni tematiche ed esercitazioni progettuali*. A cura di Sala Editori. 2002.