

Cristiano Bettini

# COME PROGETTAVANO I VELIERI

*Alle origini dell'architettura moderna  
di navi e yacht*

***anteprima***

***vai alla scheda del libro su [www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)***



Edizioni ETS



[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

© Copyright 2019

Edizioni ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa

[info@edizioniets.com](mailto:info@edizioniets.com)

[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

Distribuzione

Messaggerie Libri SPA

Sede legale: via G. Verdi 8 - 20090 Assago (MI)

Promozione

PDE PROMOZIONE SRL

via Zago 2/2 - 40128 Bologna

ISBN 978-884675510-0

*“There is no Frigate like a Book  
To take us Lands away...”*

[... *Non c'è nessun vascello che, come un libro,  
possa portarci in paesi lontani...*]

da *There is no Frigate* di Emily Dickinson, 1886



# Presentazione

Nel redigere un'opera avente per soggetto un argomento di natura tecnico-scientifica, oltre che storica, l'autore si può proporre: o dare all'argomento un'idea generale in modo da essere intelligibile ad ogni persona di media cultura, oppure entrare nel vivo dell'argomento di cui si occupa, rivolgendosi quindi a persone che questo argomento conoscono, proponendosi così di accrescere la cultura, non trascurando altresì di segnalare le eventuali influenze esercitate da altre discipline, come nel nostro caso, la matematica e la fisica.

Nel dare alle stampe la presente opera, l'Autore si propone di alternare i due indirizzi, anche tramite l'uso di *schede* ed *appendici* tematiche, per mantenere un carattere non esclusivo ma al tempo stesso non superficiale, rendendo così l'opera stessa un esempio insuperabile di esposizione completa e particolarmente interessante.

Grande pregio dell'opera, strutturata in due parti, è quello di fornire immediatamente per ogni argomento gli strumenti necessari per una solida comprensione, sfuggendo così sia all'ermetismo, sia alle tentazioni semplificatrici. Nella prima parte, facendo riferimento al contesto storico-navale (1616-1820) ed evolutivo della materia, si propone una introduzione di natura fisico-matematica per la trattazione storica e l'Autore in maniera brillante e chiara espone gli argomenti mettendo il lettore nelle condizioni di seguire gli stessi senza difficoltà. Molto gradevole ed interessante la seconda parte nella quale vengono messe in confronto le diverse Marine e descritti gli albori dello *Yachting*.

Attesi i richiami di natura matematica riportati nell'opera, e relativamente ad essi, ho ritenuto importante fornire un ordinato e sintetico richiamo storico matematico al fine di rendere manifesta la logica e cronologica concatenazione dei concetti affrontati dall'Autore.

I grandi progressi che sono stati fatti nella scienza e nella tecnica a partire dal XVII secolo sono stati dovuti in gran parte allo sviluppo della matematica. Il XVII secolo in particolare è caratterizzato dalla metodica applicazione dell'algebra alla geometria, grazie all'opera di Descartes (1596-1650) e di Fermat (1601-1668). Descartes è particolarmente ricordato per il nuovo metodo di indagine geometrica: il metodo delle coordinate che permette di tradurre sistematicamente problemi algebrici in problemi geometrici e viceversa.

Negli stessi anni, Fermat svolgeva ricerche indipendenti ma nella stessa direzione, ricerche riguardanti in particolare le equazioni delle coniche (importanti anche nel calcolo delle curvature utilizzate nei progetti navali di allora) le quali rappresentano utili strumenti di calcolo. Importante infatti è il metodo di Fermat per i massimi e i minimi, metodo che costituì (fino alla *memoria* di Leibnitz del 1684 con la quale si inaugurava il calcolo differenziale) il più significativo contributo al calcolo differenziale.

Nel contempo, il matematico francese Pascal (1623-1664), ispirato dall'opera di Desargues (1501-1561), mostra come la pura geometria degli antichi, debitamente ampliata, grazie al concetto di proiezione centrale, disponeva sempre più di importanti risorse. È merito di Pascal aver perfezionato e applicato il nuovo metodo di ricerca geometrica, usando procedimenti la cui profonda radice trovasi nel concetto di infinito, contribuendo e preparando così l'avvento del calcolo infinitesimale.

Il ramo della matematica noto come calcolo infinitesimale costituisce uno strumento potente e naturale per affrontare una varietà di problemi che si presentano nelle diverse discipline di natura tecnico-scientifica. Esso comprende il calcolo differenziale ed il calcolo integrale, basato il primo sulla operazione di derivazione, il secondo invece sulla operazione di integrazione.

Il calcolo differenziale ha avuto origine dal problema della ricerca della pendenza della tangente ad una linea in un punto, mentre il calcolo integrale è stato originato dalla determinazione di aree e volumi di figure qualsiasi, divenendo così strumento indispensabile anche per il calcolo delle carene navali. Entrambi, almeno in senso classico, appaiono come complementari tra loro, anche perché le due operazioni di derivazione e integrazione possono in un certo senso riguardarsi come l'una l'inverso dell'altra.

Spetta a due grandi matematici del XVII secolo, Newton (1642-1727) e Leibnitz (1642-1716) averli creati, indipendentemente l'uno dall'altro, applicando ciascuno metodi suoi propri.

Leibnitz, studiando le "Geometrie" di Descartes, fu attratto dal problema delle tangenti e del suo inverso. Si propose allora di risolverli entrambi e fu così condotto alla fondamentale scoperta fra il problema inverso della tangente e quello della quadratura delle aree piane. Introduce così l'operazione di derivazione da eseguirsi su una funzione  $f$ , simbolo che denota con la lettera  $d$  (ed ancor oggi si chiama notazione leibnitziana il simbolo  $df/dx$ ). Egli approfondì allora lo studio dei metodi fino ad allora proposti per calcolare le aree piane e non tardò ad arrivare alla sua celebre serie

$$\pi/4 = 1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + 1/9 - 1/11 + \dots$$

essendo  $\pi$  il rapporto della lunghezza della circonferenza al suo diametro, serie che mette in rilievo la relazione tra  $\pi$  e i numeri dispari. Fu a tal proposito che Leibnitz introdusse il nuovo simbolo di integrale  $\int$  (deformazione dell'iniziale  $S$  di somma), simbolo che fu prontamente accettato dalla maggior parte dei matematici di quel tempo, giacché sembrava che esso definisse l'integrazione come una sorta di "processo di sommazione".

Il secolo XVIII è dominato da due colossi, Eulero (1707-1783), che entrò direttamente nella tematica navale (*Scientia Navalis*, 1737-1741) e Lagrange (1736-1813), che con la *Théorie des fonctions* rappresenta il massimo tentativo, fino ad allora compiuto, di porre su nuove basi il calcolo differenziale e il calcolo integrale e di unificare le varie parti della matematica.

È importante notare che circa nello stesso tempo il mondo assistette ad un fenomeno del più alto interesse: la geometria si risveglia da un secolare letargo ed offre tutti i sintomi di una feconda rinascita. Grande merito di questa rinascita spetta a Monge (1746-1818) il quale elaborò un metodo razionale per la rappresentazione delle figure nello spazio, perfezionando i procedimenti empirici di rappresentazione fino ad allora elaborati; nasce così la geometria descrittiva, che contribuirà appieno anche alla rappresentazione tridimensionale degli scafi dei vascelli.

Con questo breve cenno storico ho voluto dare solo un'idea di come la matematica sia stata importante nel dare il suo contributo agli argomenti trattati nell'opera di Bettini. L'opera è interessante dal punto di vista storico per eventuali consultazioni ed è anche godibile per chi non ha interessi specifici ma vuole avere un'idea di come nel corso della storia si è evoluto un settore della navigazione, un settore per comprendere il quale, oltre ad alcune conoscenze specifiche introdotte dall'Autore nei *Concetti utili* iniziali, occorre la voglia e la curiosità di comprendere e sapere.

*Gennaro Giannuzzi*  
Professore Emerito di Analisi matematica  
presso l'Accademia Navale

# Presentazione

L'Autore conosce molto bene il mare, le correnti, il vento e le onde, un ambiente evocativo e poetico. Parimenti conosce il Comando in mare, l'arte con la quale il Comandante guida il suo equipaggio e la Nave.

Se i marinai, Comandante ed equipaggio, danno alla Nave un'anima, per affrontare il mare serve di più. E infatti le Navi sono – da sempre – caratterizzate da numeri e formule che risolvono l'arduo problema della Nave in mare.

Definirei l'*Architettura Navale* come la scienza ingegneristica per progettare, sviluppare e costruire mezzi navali performanti, che siano in grado di affrontare il mare e svolgere al meglio la "missione" assegnata.

L'Ammiraglio Cristiano Bettini ha un'invidiabile esperienza di Navi, siano esse con turbine a vapore che a gas, che a vela; ha maturato conoscenze dirette ed approfondite tanto sulle cosiddette "navi grigie", ove ha esercitato diversi anni di Comando, oltre alla sua professione di Direttore del Tiro, quanto sulle Navi a Vela dove ha esaltato il suo spirito marinaresco affrontando il mare ovunque ed in qualunque condizione.

Per questo l'Ammiraglio è un vero marinaio, come veramente pochi, ricco nello spirito e nell'anima, di cui mi onoro vantare una vecchia e sincera amicizia.

L'autore descrive in maniera completa ed organica le origini e l'evoluzione dell'Architettura Navale moderna, dal XVII al XIX secolo, con continui richiami alla situazione storico-politico-geografica di riferimento e, rendendo accessibili al lettore anche le considerazioni tecniche più complesse.

Questo libro, al tempo stesso voluminoso ma agevole da leggere per la sua modularità ed erudito, è un'ulteriore alta prova delle elevatissime e poliedriche qualità di questo splendido marinaio.

La lettura gioverà al profano che inevitabilmente si appassionerà al mondo di noi Marinai. L'esperto – di contro – si interrogherà in merito alle proprie effettive competenze.

Ammiraglio Ispettore Capo (Armi Navali)

*Ing. Matteo Bisceglia*

Direttore generale dell'*Organisation Conjointe de Coopération  
en matière d'Armement* (OCCAR-EA),

già Direttore generale della *Direzione nazionale degli Armamenti navali*





# Indice

Prefazione	1
Introduzione	5
Alcuni concetti utili	
A. Geometria di un vascello	15
B. Nomenclatura fondamentale	25
C. Coefficienti caratteristici	31
D. Aree, volumi, dislocamento, momenti (nel '600 e '700)	41

## PARTE I – *Storia ed evoluzione*

1. L'eredità del passato	
1.1. Contesto storico-navale iniziale, 1616-1715	47
1.2. Il contesto scientifico-matematico di interesse navale	63
1.3. Trattati costruttivi antecedenti il 1650	68
1.4. L'attenzione alle forme	76
1.5. Il galeone	87
1.6. L'olandese “ <i>fluit</i> ”	99
1.7. Le linee dello scafo nel 1600	109
1.8. Evoluzione di <i>scarroccio</i> e <i>resistenza</i> nel '600	121
1.9. L'architettura di T. Cano e J.B. Lavaña (1611, 1616)	129
1.10. L'architettura di Deane (1670)	142
1.11. L'architettura del Sr. Dassié (1677)	153
1.12. Sviluppi di fine '600	160
2. L'evoluzione critica	
2.1. Contesto storico e navale 1715-1820	165
2.2. Le linee dello scafo nel '700	183
2.3. Evoluzione di <i>scarroccio</i> e <i>resistenza</i> dal '700	213
2.4. Il problema della resistenza al moto	222
2.5. Calcolo delle aree, dei volumi, del dislocamento e dei momenti	236
2.6. L'evoluzione critica nel 1700	255
2.7. Bouguer, Eulero e l'ideazione del <i>metacentro</i>	275
2.8. Piano di costruzione	293

2.9. L'illusoria <i>stabilità iniziale</i>	303
2.10. L'insidiosa <i>stabilità dinamica</i>	350
2.11. Il rovesciamento del <i>Vasa</i> , un caso emblematico (1628)	392
2.12. Velature e <i>stabilità dinamica</i>	400
2.13. HMS <i>Captain</i> , un disastro annunciato (1870)	439
2.14. Forme e oscillazioni di rollio	452
2.15. Il fascino delle simmetrie	474
3. I principi si consolidano	
3.1. Il ruolo dell'intelligence	483
3.2. Forme e velocità	494
3.3. L'architettura di Chapman (1775)	553
3.4. L'architettura di Jorge Juan (1771)	575
3.5. Stabilità ad inclinazioni elevate	587

PARTE II – *Le Marine e lo Yachting*

4. Le Marine europee ed extraeuropee	
4.1. Stato dell'arte nelle Marine europee (XVII-XIX secolo)	603
4.2. Le differenti influenze nelle Marine italiane pre-unitarie	614
4.3. Un confronto tecnico tra Marine francese e britannica (1832)	641
4.4. L'originalità del design olandese	654
4.5. Evoluzione dei velieri della Marina americana	682
4.6. La Marina russa, sfida e vanto degli zar	715
4.7. La Marina danese, una piccola marina evoluta (1690-1820)	725
5. Agli albori dello <i>yachting</i>	
5.1. Yachting, origine e metamorfosi	731
5.2. Evoluzione delle forme	743
5.3. Calcolo del dislocamento	776
5.4. Una stabilità particolare	785
5.5. Forme e bilanciamento	794
5.6. Estetica & funzionalità	810

APPENDICI

Appendice 1. Tracciatura con metodo Fournier	815
Appendice 2. Ricostruzione di un vascello da 115' di Dassié (1677)	819
Appendice 3. Forme e resistenza secondo Romme (1767)	823
Appendice 4. Il " <i>Vasa</i> " e l'analisi della sua stabilità	828
Appendice 5. I punti finali di Attwood (1798) e Moseley (1850)	838
Appendice 6. Un confronto moderno tra navi antiche (NL-UK)	846

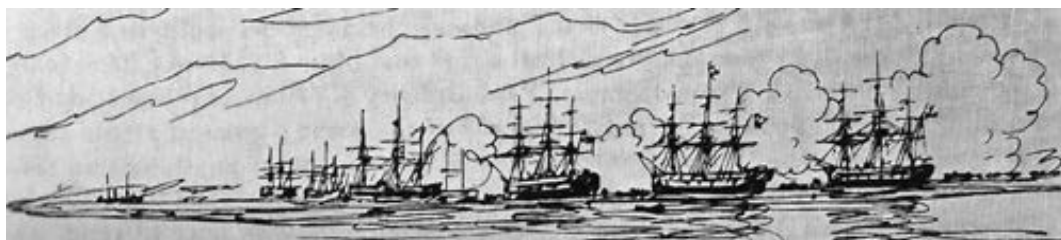
Appendice 7. Le innovazioni di R. Seppings (1806)	855
Appendice 8. I calcoli manoscritti di Chapman (1767)	861
Appendice 9. Modelli e similitudini di scala	869
Appendice 10. Due eredi del passato: Nave <i>Vespucci</i> e Nave <i>Palinuro</i>	876
Appendice 11. Tracciatura in scala reale	890
Appendice 12. La teoria <i>Wave-Line</i> per le navi	903
Appendice 13. Stato dell'arte navale nelle Colonie americane	906
Appendice 14. <i>Yachting</i> , interpretazione delle linee	913
Appendice 15. <i>Yachting</i> , bilanciamento con il <i>Metacentric Shelf</i>	920
Appendice 16. <i>Yachting</i> , teoria e uso della <i>Wave-line</i> di Russell	929
Appendice 17. Disegno tradizionale con il <i>mezzo-garbo</i>	936
Appendice 18. Profili idrodinamici (NACA)	940
Appendice 19. Primi aggiustamenti del progetto	946
Appendice 20. Eredità nel design navale contemporaneo	948
Bibliografia	971
Indice dei nomi	981
Indice delle navi e degli yacht	993



## Indice delle schede

Cap. 1.9. Tracciato “ <i>por el quinto</i> ” del XVI-XVII sec.	136
Cap. 2.2. Sul <i>tumble-home</i>	200
Cap. 2.2. Ricostruzione al computer (CAD) di una fregata del 1760	208
Cap. 2.5. Misura della <i>stazza</i> mercantile	246
Cap. 2.5. Calcolo del <i>momento d’inerzia</i> di una superficie di galleggiamento	248
Cap. 2.5. Calcoli semplificati	251
Cap. 2.5. Calcolo del dislocamento di un brigantino commerciale	253
Cap. 2.6. Sulla <i>stellatura</i>	270
Cap. 2.7. Visualizzare il <i>metacentro</i>	275
Cap. 2.7. Sulla formula del <i>raggio metacentrico</i>	287
Cap. 2.7. Calcolo pratico del <i>metacentro</i> (metodo D’Etroyat)	292
Cap. 2.9. Baricentro di un paraboloide di rotazione ( <i>Teorema V</i> di Archimede)	305
Cap. 2.9. Utili formule approssimate	323
Cap. 2.9. Pratica del <i>bottazzamento</i>	326
Cap. 2.9. La prova di stabilità	332
Cap. 2.9. Stabilità per un vascello da 74 cannoni	337
Cap. 2.9. Rettifica dell’assetto con la zavorra	342
Cap. 2.9. Performance virtuale del HMS <i>Victory</i>	348
Cap. 2.10. Il pericolo degli <i>specchi liquidi</i>	359
Cap. 2.10. L’indecifrato <i>slamming</i>	370
Cap. 2.10. Sbandamento causato dal fuoco d’artiglieria	385
Cap. 2.12. Resistenza al moto obliquo secondo Eulero	402
Cap. 2.12. Le vele quadre come propulsore	407
Cap. 2.12. La temuta <i>straorzata</i>	411
Cap. 2.12. Prove d’andatura	426
Cap. 2.12. Prevedere lo sbandamento	432

Cap. 2.12. Anche lo scafo <i>fa vela</i>	436
Cap. 2.14. Insorgenza della <i>risonanza</i>	466
Cap. 2.14. Rollio e cannoni	471
Cap. 3.2. Forme & coefficienti di confronto	501
Cap. 3.2. Lo scafo delle navi negriere	538
Cap. 3.2. Fregate britanniche, forme e velocità	548
Cap. 3.3. “ <i>Architectura navalis mercatoria</i> ” (1768) e “ <i>Tractat om skeppsbyggeriet</i> ” (1775)	560
Cap. 3.3. <i>Frameline</i>	564
Cap. 3.3. Test di assetto di Chapman, 1797	573
Cap. 3.5. Il metodo Prohaska	592
Cap. 4.2. Le due migliori Fregate standard britanniche	642
Cap. 4.2. Valutazione dei Comandanti sulle navi catturate	646
Cap. 4.2. Vascelli innovativi britannici	652
Cap. 4.3. L'uso della sinusoidi secondo Van Zwijndregt, 1725 ca.	663
Cap. 4.3. Il fattore di scala nel <i>Whole moulding</i>	679
Cap. 4.4. Un terribile scontro alla pari, 1813	711
Cap. 5.2. La portanza idrodinamica	744
Cap. 5.2. La <i>stazza del Tamigi</i> , 1855	768
Cap. 5.3. Il metodo di disegno di <i>Capt. Nat</i> (N. Herreshoff)	779
Cap. 5.3. <i>Yachting</i> – metodi di calcolo semplificati	782
Cap. 5.5. Differenza di immersione prora-poppa ( <i>drag</i> )	806
App. 11. Tracciatura della curvatura del ponte	894
App. 11. L'angolo di <i>quartabuono</i> ( <i>bevel</i> )	897
App. 11. Strumentazione per la tracciatura (periodo elisabettiano)	901
App. 13. Lo <i>Schooner</i> di Baltimora	910
App. 20. Regolamentazioni sulla stabilità e <i>Criterio metereologico</i>	951
App. 20. Uso dei <i>Coefficienti di forma</i> in fase di progetto preliminare	957
App. 20. Relazioni tra <i>Coefficienti</i>	963



## Prefazione

L'idea di questo libro è maturata diversi anni fa durante alcune navigazioni primaverili a vela con il grande *designer* Carlo Sciarrelli su una goletta "Scia 50", da lui poco prima progettata e varata. In mare era più facile conversare con lui sulle origini dello Yachting, forme degli scafi, stabilità, tenuta al mare, scelte progettuali e compromessi tra i quali deve muoversi il progettista; queste conversazioni, che divennero soprattutto un ascolto da parte mia ed uno stimolo da lui sollecitato, traevano più lontana origine dalle domande sorte dall'osservazione degli scafi e dall'interesse per la vela e dalle risposte che, nel corso degli anni, avevo ricercato anche in documenti antichi e in occasione di alcuni incontri, letture, esperienze. Progressivamente andavo così raccogliendo e consultando numerosi documenti storici, talora rari, indispensabili per provare a descrivere oggi, sintetizzandola, una delle svolte epocali nella storia degli uomini, quella dell'**Architettura navale**, avvenuta in era moderna<sup>1</sup>: il fine di questo libro, infatti, è proprio quello di mettere in relazione tra loro le parti di un gran *puzzle* storico del passato e presentare gli effetti di una rivoluzione scientifica di matrice prima europea e quindi americana, che spesso quasi segretamente, come era voluto per gli interessi in gioco, creò in alcuni decenni uno spartiacque nel modo di concepire il progetto di uno scafo: quello antico, dall'origine della storia dell'uomo fino agli albori del '700 circa e quello successivo, che costituisce l'era moderna di questa branca della scienza e della tecnica, non casualmente prima chiamata solo "arte". È una parte affascinante della nostra storia che merita non solo oggi di essere conosciuta ma che dobbiamo anche sforzarci di osservare con gli occhi, le conoscenze ed i presupposti di allora.

Le prime navigazioni e l'osservazione di yacht e di grandi velieri, tra i quali la Nave Scuola *Amerigo Vespucci*, mi avevano acceso l'interesse su quei rapporti di forze fisiche il cui equilibrio non solo consente alla nave a vela di navigare perennemente sbandata, ma permette di governarla e di prevederne le reazioni, la stabilità e l'assetto nelle condizioni meteorologiche più varie; durante le navigazioni giovanili mi soffermavo spesso ad osservare il movimento di qualsiasi scafo sulle onde, soprattutto con mare formato, cercando di intuire, di volta in volta, le ragioni di ogni oscillazione di questo corpo reso vivo dal mare, su cui stavo navigando, per anticiparne il moto ed il comportamento successivo.

---

<sup>1</sup> Il termine *Architettura navale* nasce nel XVII secolo ed ho usato l'accezione di *moderna* secondo la periodizzazione storica europea convenzionale più usata, rispetto a quella di *contemporanea*, che di massima pone l'*era moderna* tra la scoperta dell'America (1492) ed il Congresso di Vienna (1815); oggi alcuni storici si spingono più avanti, verso l'avvento dei regimi parlamentari (1848) o al completamento delle unità nazionali (1870).

In questo senso l'uso a navigare su barche a vela o velieri è molto più formativo, per la mente ed il carattere dell'uomo di mare, rispetto alla navigazione su navi a diversa propulsione: abitua a "sentire" ed osservare di continuo il mare, anticipandone movimenti ed oscillazioni, in un confronto senza fine che così descrive il grande Straulino, "... *la vita di bordo è mutevole, movimentata, non chiude la mente, ma l'allarga, sollecitata dal **bisogno di prevenire e prevedere il variare del vento e del mare.** Per il cervello è una ginnastica delle più efficienti*".

Si susseguirono in anni diversi alcuni incontri con progettisti, navigazioni atlantiche e mediterranee, due transatlantiche quale skipper del *Corsaro II*, yawl della M.M.I., altre navigazioni quanto mai istruttive, in Italia e in Francia, su alcuni *12 m. S.I.* d'epoca della *Coppa America* (*Tomahawk*, *Flika II*, *Vim* e su quella più antica navigante, *Cintra* di Fife del 1909), un corso di *Yacht Design* svolto per interesse e l'illuminante consultazione di numerosi testi antichi; in particolare, la ricca documentazione francese, inglese, spagnola, olandese, portoghese, svedese e statunitense, oltre ai pochi libri di designer nazionali e tra questi, nel settore dello yachting classico del secolo scorso, vorrei ricordare i nostri Chiggiato, Sciarrelli, Veronese, utili per capire la connessione dei progetti odierni di barche d'altura con la loro origine storica e con i progressi, avvenuti nel XVIII secolo e fino alla metà del XIX, quando sia l'avvento del vapore e della propulsione meccanica, che la ricerca della velocità sollecitata dall'interesse crescente per le regate d'altura, separano e specializzano definitivamente il mondo progettuale delle navi da quello degli yacht.

Vorrei partire proprio dal cuore dell'affermazione *tranchant* di Sciarrelli che "*le imbarcazioni moderne non sono altro che fantastici piani velici su rozzi scafi, mentre le fregate del Settecento avevano linee d'acqua sublimi con vele disastrose*". Da dove il grande designer si è mosso in avanti per descrivere i più bei velieri dell'era contemporanea<sup>2</sup>, io mi muoverò all'indietro, per provare a descrivere, con l'esperienza da comandante di Fregate moderne, il fascino delle Fregate settecentesche e le "*sublimi*" origini degli scafi dell'era moderna, senza trattare in dettaglio le "*disastrose velature*", su cui diversi hanno già scritto.

La ricerca di documentazione storica in Italia mi dava purtroppo risultati inferiori che all'estero per vari motivi, principalmente connessi alla nostra partecipazione marginale a quella parte d'innovazioni scientifiche e tecniche del *Secolo della rivoluzione scientifica* e del *Secolo dei Lumi* (e dell'*Ancien Regime*), con effetti sulle esplorazioni e navigazioni transatlantiche realizzate dalle grandi potenze dell'epoca; ricerca appesantita da maggiori difficoltà d'accesso ai documenti d'archivio pubblici.

In occasione di varie soste in città europee e degli USA, ebbi modo di raccogliere e consultare un'ampia mole di documenti che mi resero evidente, anzitutto, che i vari autori, (architetti navali o storici dell'epoca) con poche eccezioni, avevano scritto facendo riferimento elettivamente al proprio Paese quale fonte principale dell'architettura navale dell'epoca di cui trattiamo, considerando marginalmente la connessione con gli altri Paesi; la circolazione di idee tecnico-scientifiche, spesso riservate, era limitata, anche se questo può suonare strano oggi dove la circuitazione di idee scientifiche e novità tecnologiche è inarrestabile e veloce. Ho così raccolto nel corso degli anni un esteso archivio di documenti (molti originali) delle principali Nazioni ove si attuava questa rivoluzione sommersa, attingendo e raccordando dati dalle fonti originali, dal XVII al XIX secolo:

<sup>2</sup> C. Sciarrelli, *Lo Yacht*, Ed. Mursia, Milano 1970-1988.



soprattutto Francia, Gran Bretagna, Spagna, Olanda, Portogallo, Danimarca, Svezia e Russia, oltre a quanto possibile in Italia.

La parte più affascinante della ricerca è stata proprio la lettura e l'interpretazione, non sempre agevole, dei testi originali scritti dai progettisti e dai costruttori di questi capolavori della tecnologia dell'epoca, spesso condizionati dai vincoli di segretezza imposti, ove riemergono dal passato non solo gli aspetti dell'evoluzione scientifica e tecnica, ma le stesse speranze, motivazioni, competizione ed intima soddisfazione dei protagonisti per i progressi conseguiti, come, non di rado, delusione ed amarezza non solo per grandi fatiche progettuali e costruttive spesso non premiate dai risultati attesi, ma anche per la frequente rovina cui molte di queste navi erano destinate dalla sorte altalenante dei regni europei e dalle strategie dei monarchi, oltretutto dagli scontri in mare.

Le pagine sullo *Yachting*, che si sviluppò partendo dalla riduzione di modelli navali, per poi librarsi autonomo già nel primo '800 con forme molto evolute e talora purissime, dove tecnica ed arte si fondevano, chiudono il quadro di un'epoca irripetibile per la vela, dalle cui radici ancor oggi traiamo in molti campi linfa ed ispirazione.



Fig. 1. Commissione di progetto all'opera all'Ammiragliato britannico nel 1652 su un modello in scala ed alcuni piani per un vascello per l'Olanda; sono riconoscibili il famoso politico sostenitore della flotta e scrittore S. Pepys, con la testa appoggiata sul gomito e (in secondo piano a destra) il Conte di Sandwich nell'atto di annusare tabacco (particolare di "A whip for the Dutch", olio su tela del 1883 di J. Seymour Lucas al Victoria and Albert Museum, Londra).



# Introduzione

Risalendo per i rami di questa storia, si può giungere al cuore dei grandi cambiamenti teorici, situata tra gli ultimi decenni del '600 e la prima metà del '700, in cui davvero si aprivano conoscenze scientifiche nuove, trasversali a diverse discipline, e furono posti i fondamenti dell'architettura navale moderna, più compiutamente applicata solo dai primi decenni dell'800.

Le limitate conoscenze scientifiche che hanno caratterizzato molti secoli passati in merito all'influenza delle forme esterne e di alcuni parametri tipici delle navi sulle loro qualità marine, ha probabilmente comportato, nello studio dei velieri antichi, un diffuso interesse ai metodi di costruzione ma pochi riferimenti alle architetture e forme determinanti per stabilire il comportamento di qualsivoglia corpo galleggiante. Dopo la scoperta delle leggi sul galleggiamento dei corpi solidi da parte di Archimede, passò un tempo lunghissimo prima del passo successivo nel campo dell'idrostatica, che mosse da Stevinus, il quale calcolò la pressione dei fluidi in funzione della profondità di immersione di un corpo solido. Il terzo passo sulle proprietà dei fluidi, che riassume i primi due, proviene da Pascal, che definì che la pressione esercitata da un fluido è uguale in tutte le direzioni. Su questi tre soli grandi principi si è basata la costruzione navale fino al 1700. Ed anche nei secoli che tratteremo, il rallentamento e la resistenza al progresso non furono trascurabili a causa di un eccesso acritico di regole progettuali e costruttive, nonché di gelosie e calcoli politici, che scoraggiavano iniziativa, formazione ed evoluzione scientifica in materia, lamentata soprattutto dai grandi architetti che tratteremo.

La gente che andava per mare aveva sempre posto naturalmente molta attenzione agli aspetti costruttivi, fin nei dettagli, avendo direttamente sperimentato che da loro poteva dipendere la capacità di sopravvivenza; molto meno intuitivo, purtroppo, risultava quanto la capacità di superare condizioni critiche dipendesse anzitutto da quella conoscenza ed applicazione di leggi fisiche e matematiche che costituiscono *l'architettura navale*<sup>1</sup> e che conferiscono alla nave quelle caratteristiche di marinità che i britannici, con una sola parola, chiamano *"seaworthiness"*.

È significativo quanto l'Ammiraglio Nelson, preoccupato per la carente capacità di tenere il mare di molte sue navi, scriveva al proprio Ammiragliato durante l'assedio di Tolone, esprimendosi con semplici ed incisivi sillogismi: *"Se devo tenere sotto controllo i francesi, devo stare per mare; e se devo stare per mare devo fronteggiare il maltempo; pertanto se le navi non sono idonee a fronteggiare il maltempo, esse sono inutili"*.

La lenta evoluzione delle forme degli scafi prima della metà del '600 avveniva sulla base delle osservazioni e dell'intuito di uomini di mare e di costruttori insieme a

---

<sup>1</sup> *L'architettura navale* è oggi la branca dell'ingegneria navale che si occupa della progettazione delle forme di carena e dello studio delle caratteristiche idrostatiche, idrodinamiche, di tenuta al mare e di manovrabilità della nave.

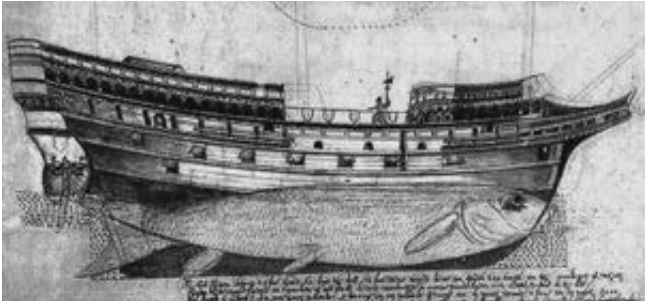


Fig. 2. Le linee ittiformi che per secoli hanno guidato la mano dei costruttori del passato, riassunte in questa immagine del 1586 circa, attribuita a M. Baker, Capo costruttore a Woolwich (UK) nel periodo elisabettiano (Pepysian Library del Magdalene College, Cambridge).

maestri d'ascia esperti, sulle navi che riuscivano a completare ripetutamente le loro navigazioni: queste diventavano, in ciascuna area geografica, punti di riferimento, spesso riprodotte con poche modifiche per molti anni, sulla base dell'idea rinascimentale (confermata in alcuni disegni del 1586 di Matthew Baker, famoso progettista inglese) ed a lungo sopravvissuta che la forma ideale per l'opera viva in uno scafo fosse quella di un pesce, e più precisamente, con "cod's head and mackerel's tail" (testa di merluzzo e coda di sgombro).

A questo si aggiungevano architetture dell'*opera morta* legate ad idee tradizionali e gusti artistici regionali, dove l'aspetto estetico, la magnificenza dei velieri e talora anche fantasticherie numeriche dell'epoca, avevano grande importanza, per ciò che questi vascelli simboleggiavano in termini di potenza e capacità di una nazione, sviluppandosi in forme esteriori, soprattutto sovrastrutture, in modo pressoché indipendente da considerazioni tecniche o da basi scientifiche.

Quando nell'ottobre del 1637 il *Royal Sovereign*, la più grande nave dell'epoca (1522 tonnellate da calcoli successivi), fu varata in Gran Bretagna a Woolwich, fu entusiasticamente reso noto che il suo tonnellaggio corrispondeva esattamente all'anno del varo stesso ed in questo fu subito vista una fortunata coincidenza e premonizione; si trattava probabilmente di mera coincidenza, legata alla nota approssimazione di calcolo dell'epoca e risulterà purtroppo contraddetta dagli eventi che videro questa nave quasi totalmente distrutta da un incendio causato da negligenza, nel 1697 a Chatham. Anche *Le Soleil Royal* ebbe una fine sfortunata, distrutta da un incendio, a seguito dello scontro con la flotta anglo-olandese a La Hague (1692).

Solo le esigenze di maggior velocità, di maggior capacità di trasporto, principalmente di artiglierie e provviste per lunghe navigazioni e di maggiore agilità nelle manovre ed accostate, legate queste soprattutto alle esperienze belliche, comportarono adattamenti e modifiche su base empirica e, certamente, le occasioni di sperimentare in mare i vascelli in condizioni critiche all'epoca non mancavano!

Fu proprio l'apporto più ideativo e quasi-scientifico di alcuni architetti, oltre all'interesse di pochi monarchi di paesi del Nord per la navigazione a vela, a far sviluppare parallelamente anche lo Yachting; l'inglese Deane, per esempio, era noto per la sua ricerca di velocità a vela, difficilmente attuabile su navi che dovevano imbarcare molti pesi, ma non su yacht; lo svedese Chapman, da parte sua, ci ha lasciato una collezione unica di studi e disegni di yacht, raccolta in vari paesi.

Sarebbe tuttavia sbagliato considerare che nel '600 solo la pratica dei cantieri consentisse lo sviluppo tecnico di questa disciplina: costruttori famosi, quali Phineas Pett

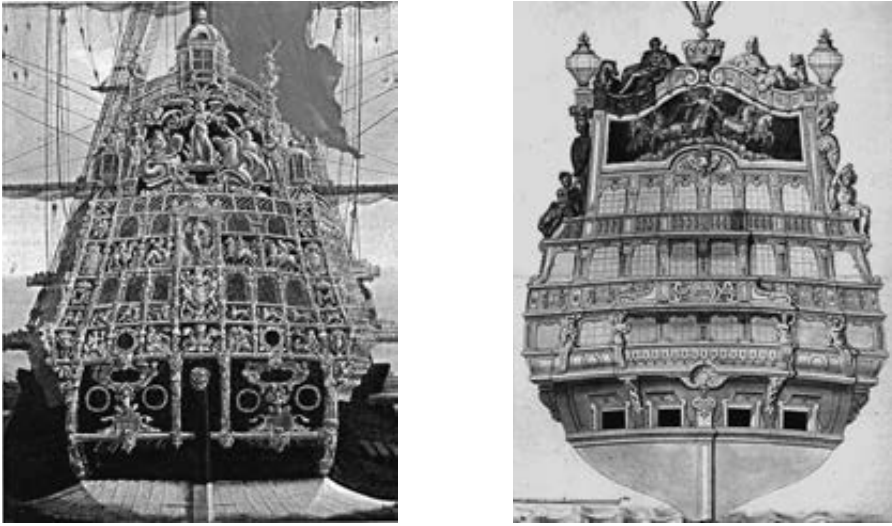


Fig. 3. Le enormi poppe seicentesche, magnificenti e sontuose quanto nauticamente problematiche, del vascello inglese *Sovereign of the Seas* (1637) di 1637 tonn. e di quello francese *Le Soleil Royal* (1669) di 1680 tonn.

in Inghilterra, provenivano dall'Università di Cambridge, come il suo ancor più famoso successore A. Deane o, in Francia, Dassiè.

A rendere l'evoluzione più complessa, contribuiva anche la scarsità di documentazione scritta sui rilievi dal vivo delle forme effettive dei velieri, che ancor oggi costituisce uno dei principali ostacoli nello studio del passato: basta ricordare che fino al XV secolo la trasmissione di dati avveniva con manoscritti copiati a mano, fonte di inevitabili errori sia grafici che numerici; non sembri dunque strano che soprattutto per le navi del passato, un contributo venga cercato anche nella pittura, talvolta molto dettagliata, di eventi storici di rilievo.

L'invenzione della stampa, l'evoluzione del disegno tecnico e della prospettiva, che permettevano di visualizzare le idee dei costruttori, contribuirono anch'essi alla nascita dell'architettura navale moderna, che quindi, come scienza, è relativamente recente, allocabile a cavallo della fine del XVII secolo, pur se metodi di costruzione abbastanza avanzati sono reperibili già agli inizi dello stesso secolo; in questo periodo si consolidava anche l'uso dei modelli in scala, particolarmente utili per decidere sulle scelte dei costruttori, tanto che nel 1649 l'Ammiragliato britannico pubblicò una ordinanza che imponeva ai costruttori di inviare un modello, prima del progetto, delle navi proposte.

Tuttavia anche il processo evolutivo avvenuto a cavallo del '700, come peraltro in seguito, è lento ma continuo, segnato da poche scoperte sensazionali, pur se in questi anni l'incontro di diverse discipline scientifiche e la spinta esterna daranno l'impulso per una svolta epocale.

Va inoltre considerato come lo sviluppo delle idee, anche in questo campo, abbia anticipato la capacità tecnologica dell'epoca di rendere operative le idee stesse; i progressi scientifici e matematici tardarono ad essere applicati, oltre che per le insufficienti capacità tecnologiche, anche per una diffusa diffidenza mentale verso l'impiego della matematica nella tecnica; può essere emblematico quanto Federico il Grande scriveva a Voltaire il 25 gennaio 1778 in pieno secolo dei lumi: *“gli inglesi hanno costruito navi del tipo migliore*

*indicato da Newton e i loro Ammiragli mi hanno assicurato che queste navi sono molto meno buone di quelle costruite con le regole suggerite dall'esperienza*".

Le limitate conoscenze fisico-matematiche iniziali nel settore, oltre a generare la resistenza progettuale a cambiamenti che risultavano pertanto basati solo sul bagaglio di esperienze, privilegiavano l'attenzione e la ricerca verso le più impellenti problematiche costruttive e manutentive che impegnavano progettisti, costruttori e cantieri per i vascelli da guerra, quali ad esempio:

- la deformazione dello scafo a causa degli sforzi sostenuti sotto vela e per gli stress causati dal peso e l'uso delle artiglierie, che comportava infiltrazioni d'acqua e cedimenti di tutta la struttura, continuamente sottoposta ad operazioni di rinforzo con metodi vari;
- la ricerca del legname adatto alle varie componenti dello scafo e degli alberi, in relazione al progressivo depauperamento delle riserve lignee in Europa<sup>2</sup>;
- la protezione esterna dell'opera viva dello scafo contro l'aggressione delle tereidini;
- la marcescenza interna del legno dello scafo, soprattutto per il contatto con i liquidi di sentina e il trafileamento di acqua marina, oltre che per la scarsa ventilazione interna;
- la contenuta lunghezza, per ragioni di resistenza strutturale degli scafi e di economia, che costringeva, per aumentare la potenza di fuoco, ad utilizzare anche ponti molto bassi sull'acqua, con evidenti problematiche sotto vela;
- la conservazione delle derrate alimentari;
- la protezione dei depositi di polvere da sparo;
- la prevenzione ed estinzione degli incendi;
- lo sviluppo di efficaci pompe capaci di esaurire l'acqua in caso di falla.
- la riparabilità in mare dopo i danni subiti in combattimento.

Era inoltre noto che, talora, anche scafi molto curati in fase progettuale, risultavano di scarse qualità marine, mentre altri di minor valore o addirittura velieri commerciali, risultavano inspiegabilmente ottimi vascelli; molti velieri americani rispecchiavano queste caratteristiche, come vedremo. Solo il consolidamento di principi scientifici, tutt'oggi



Fig. 4. Incagli e incendi erano tra le cause principali della perdita di velieri, oltre agli affondamenti per maltempo o in battaglia, qui rappresentati dai "pittori di marina" E. De Martino e R. Claudus.

<sup>2</sup> Si consideri che una nave come la citata *Sovereign of the Seas* non richiedeva per la sua costruzione, meno di 2000 querce mature, corrispondenti ad un bosco di 50 acri, che richiede almeno cento anni per rigenerarsi.

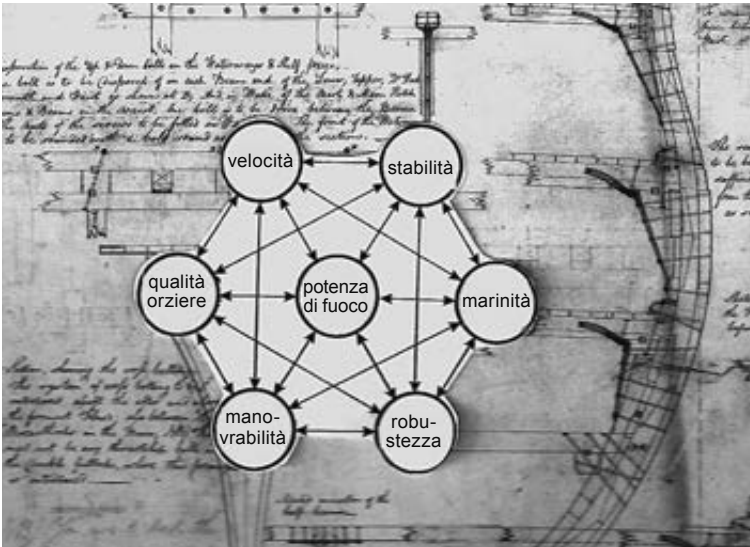


Fig. 5. Le principali caratteristiche che il progettista di un vascello da guerra doveva sviluppare, subsistenti alla potenza di fuoco attesa da ogni specifica piattaforma navale; sullo sfondo parte di un disegno dell'arch. Seppings sui rinforzi strutturali da adottare nel 1815 per l'HMS *Euryalus*.

validi, consentì comunque la nascita di una vera *Architettura Navale*, di cui la costruzione navale diveniva una parte.

Ogni progettista di vascelli da guerra era chiamato alla sfida di costruire la nave migliore per i profili di missione cui era designata, costruendola “attorno” alla sua capacità di fuoco, alle sue artiglierie, che costituivano il principale vincolo cui le altre caratteristiche dovevano sottostare, adottando il miglior compromesso possibile tra: stabilità, velocità, marinità, robustezza, manovrabilità e capacità di risalire il vento; similamente in campo mercantile si ricercava il compromesso migliore tra capacità di carico, velocità ed economia complessiva di gestione, privilegiando in questo senso il profilo scelto dall'armatore.

Nonostante l'importanza assunta nella storia tecnica dell'epoca contemporanea, le varie forme di **resistenza all'avanzamento** di uno scafo nel mezzo fluido, ebbero invece un modesto impatto sulle forme dell'epoca moderna, considerando le basse velocità in gioco e la ridotta strumentazione per una misura quantitativa del fenomeno. Tuttavia questa non era la convinzione dell'epoca.

Lo studio della resistenza al moto dei fluidi nacque nel '700 ma fu avviata scientificamente dagli studi di Froude attorno al 1860; tratterò questo aspetto per la connessione, di fatto modesta ma non nelle convinzioni dei costruttori in tutto il '700, con lo studio delle forme e relativa, in particolare, alla configurazione di prua e poppa; viste le relativamente basse velocità dei velieri delle flotte, era infatti di gran lunga prevalente la *resistenza d'attrito* su quella *d'onda* e quindi solo un'attenzione, estranea alle conoscenze dell'epoca, alla *superficie bagnata* (sia estensione che levigatezza) avrebbe potuto fare, in fase di progetto, la differenza.

Il vero salto di qualità alla base dell'architettura moderna, pertanto oggetto di maggiore attenzione nel testo, è costituito dall'evoluzione delle forme ai fini della **stabilità ed equilibrio della nave**, e questo rappresenta il vero cuore degli studi all'origine di questa scienza; tuttavia l'applicazione delle nuove scoperte troverà spazio molto lentamente, in pieno '800, sia per ragioni tecniche che di stato, oltre che per attitudini e consuetudini

molto radicate. La formula finale più rappresentativa, quella di Bouguer sul *raggio meta-centrico* (rapporto tra il *momento d'inerzia della superficie di galleggiamento* rispetto all'asse d'inclinazione e il *volume di carena*:  $\int \frac{2}{3} y^3 dx / P$ ) era però già piaciuta tanto al grande architetto svedese Chapman, che nel 1793 la fece mettere in rilievo sui bottoni dell'uniforme del neo-costituito *Corpo dei costruttori navali* svedesi (vedi capitolo su Chapman).

Un ulteriore aspetto implicò una ricerca di perfezionamento delle forme la diminuzione della resistenza per aumentare la velocità e la riduzione dell'**angolo di scarroccio**, per migliorare la capacità di stringere il vento.

Questi stessi tre problemi sono anche alla base degli studi moderni per migliorare le prestazioni degli yacht a vela. I progressi dell'architettura navale, con meno condizionamenti, entrano infatti direttamente negli studi di quei piccoli velieri la cui forma pian piano si scosterà da quella dei vascelli.

Mentre altre scoperte passavano rapidamente dall'allora ristretto mondo scientifico ad una più ampia conoscenza, proprio a partire dall'epoca illuminista, questo non avvenne nel nostro campo, in quanto ogni nazione, non di rado ogni monarca, dettava disposizioni severissime sulla riservatezza delle scoperte scientifiche nel campo della architettura navale, fonte di possibile supremazia sugli altri paesi, per la valenza strategica dello strumento navale nell'espansione dei domini oltremare; gli architetti stessi erano molto spesso vincolati al silenzio su principi e misure applicate per costruire i velieri, su cui riferivano periodicamente, in strettissimo concistoro, direttamente al monarca.

I migliori architetti navali erano attivamente ricercati e contesi e la materia era uno degli oggetti preferiti dello spionaggio dell'epoca, che oggi chiameremmo spionaggio industriale. Così, come meglio descritto nei capitoli dedicati, troviamo l'architetto spagnolo Jorge Juan y Santacilia che si reca in Gran Bretagna sotto falso nome per riuscire a scoprire i metodi di progettazione e costruzione inglese; l'architetto svedese Chapman arrestato a Londra con l'accusa di spionaggio a favore dei francesi e conteso tra diverse nazioni per il suo bagaglio di esperienze maturate nelle principali nazioni marittime; il ministro



Fig. 6. La raccolta dei piani costruttivi dello svedese Chapman *Architectura Navalis Mercatoria* (1768) e (a destra) il suo Trattato di architettura (1775) sono tra le migliori fonti documentarie del XVIII secolo.



francese Colbert che manda il figlio maggiore Jean Baptiste, designato suo successore, in missione in Italia, Gran Bretagna e Olanda con la scusa di curare una salute fragile ma in realtà con ben precise istruzioni su quali informazioni carpire e cosa osservare. Il giovane era solo uno degli strumenti di spionaggio navale organizzati da Colbert dal 1670.

Nel 1732 missioni di spionaggio francese furono organizzate in Gran Bretagna, con due costruttori navali inviati a cercare indizi nell'uso del *solido di minima esistenza* studiato da Newton; un'altra missione sappiamo che fu organizzata sotto il ministro della Marina francese Maurepas, per recuperare notizie sui piani di costruzione di nuove fregate da 20 cannoni e nel 1737 lo stesso Maurepas mandò in Olanda e Gran Bretagna gli architetti Blaise Ollivier e Blaise Geslain, che al ritorno redassero dettagliati rapporti sui rispettivi modi di progettare e costruire; questi sono solo alcuni esempi che vogliono soprattutto evidenziare come le tecnologie navali fossero all'apice degli interessi degli Stati.

Mentre così oggi molti conoscono le principali scoperte astronomiche del '700 e l'esito e forse anche la storia di uno dei grandi quesiti dell'epoca, il calcolo della longitudine, a lungo dibattuta e ricercata, parallelamente grandi uomini di scienza, soprattutto matematici e fisici, ponevano in modo meno conosciuto le basi del tutto nuove dell'architettura navale dell'era moderna: tra questi Newton, Eulero, Leibniz, de l'Hospital, Bernoulli, Bouguer, Simpson, Monge, Froude, alcuni dei quali ci sono noti soprattutto per altri aspetti delle loro ricerche, per la tipica poliedricità di molti scienziati e matematici del passato. Essi sono dunque alla base dei progressi anche dello *Yachting* moderno e già nella seconda metà dell'800 il passaggio del progredire scientifico nella vela da diporto divenne costante. Il contributo di grandi scienziati ha anche permesso, attraverso l'ingresso di fisica e matematica nella progettazione, l'esaltazione dell'applicazione geometrica ed estetica della simmetria che agli inizi del XIX secolo esce dalla nebbia della indeterminazione tramite il genio matematico di Galois, crescendo d'importanza fino ai giorni d'oggi nella fisica quantistica.

Storia questa di uomini, oltreché tecnica, dunque, che ho tentato di raccontare, di genialità e sacrificio, ma anche di politica fra Stati per lotte dinastiche, con tutto ciò che questo ha comportato nella ricerca della supremazia economica e militare, su uno sfondo costellato di continui conflitti sia per mare che per terra, con alleanze mutevoli e frequenti cambi di scenari e scontro.

Storia complessa, dunque, che, pur non riecheggiando immediatamente al lettore il fragore delle battaglie navali o l'affascinante storia delle scoperte geografiche che queste navi consentirono, vide un analogo stato di tensioni ed operazioni occulte e di spionaggio, con gli stessi scontri e grandi sacrifici, fisici ed intellettuali, che segnarono la vita di molti uomini che all'epoca legarono la loro vita al mare; miscuglio eccezionale di dedizione, genialità, sacrificio, senso dell'onore e coraggio ma anche di fatalismo, spregiudicatezza e sopraffazioni, caratteristici di quell'epoca storica ove vita e morte, sia a bordo che a terra, avevano un confine labile perché legato ad eventi che vengono descritti spesso come ineluttabili, in una società codificata e regolata da severe norme di vita, in un contesto sociale, quello dell'*Ancien Régime*, estremamente rigido e stratificato.





Fig. 7. Nell'*Ancien Régime* gli scontri per mare erano eventi frequenti che ispirarono letterati e pittori; in Olanda la famiglia *de Velde*, con più generazioni, rappresentò pittoricamente molti dei principali eventi bellici delle flotte del N. Europa e del Mediterraneo, talora seguendo direttamente a bordo di piccole imbarcazioni gli scontri prossimi alle coste. In questo quadro del 1845, J. Dehoij rappresenta *Willem van de Velde (il Giovane probabilmente, 1633-1707)* mentre dal vivo dipinge uno scontro tra navi olandesi e inglesi (dipinto del *State Hermitage Museum, S. Pietroburgo*).

Ho tentato, in conclusione, di fare da interprete di questa lunga storia poco nota soprattutto in Italia, cercando di contemperare storia, tecnica ed alcuni concetti generali di architettura navale, che ritengo utili per allargare la schiera di chi si vorrà interessare di questa affascinante evoluzione; il libro può quindi essere letto anche in modo non consequenziale, a seconda degli interessi del lettore. Oltre alla sequenza temporale degli eventi, ho estrapolato dalla storia sei profili degli architetti più significativi in periodi diversi: lo spagnolo Cano, il portoghese Lavaña, l'inglese Deane, il francese Dassiè, lo spagnolo Juan Jorge e lo svedese Chapman. Sono entrato in alcuni contesti nazionali specifici per comprendere meglio le evoluzioni trainanti, come la francese, americana, inglese e spagnola o tipica come quella olandese; in queste descrizioni il lettore potrà trovare qualche ripetizione di alcuni concetti espressi in altri capitoli, finalizzata a rendere più agevole ed abbastanza indipendente la lettura di un capitolo da un altro, secondo l'interesse del lettore.

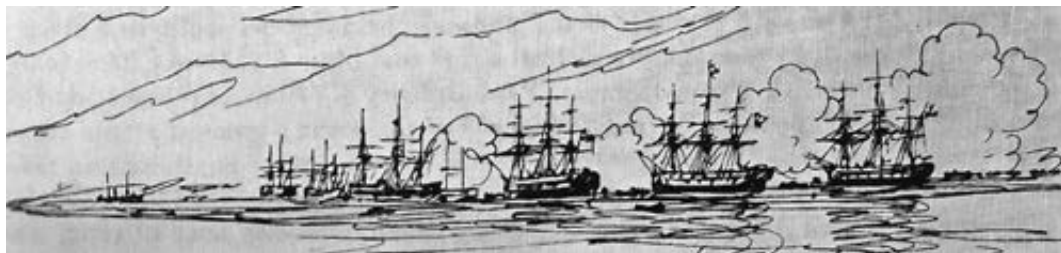
Per risolvere il solito dilemma di rendere scorrevole il testo ma non superficiale il contenuto, ho quindi lasciato alcune "finestre" in forma di *Schede* di immediata lettura in prossimità delle pagine di testo, ponendo in appendice pagine di approfondimento tecnico ed iconografico, per aspetti più specifici: tra queste l'analisi metacentrica delle cause dell'affondamento del *Vasa*, un esame dei calcoli manoscritti del grande architetto Chapman conservati in Svezia ed il recupero dalle nebbie del tempo di due teorie, non errate ma insufficienti, che ebbero influenza per alcuni decenni, una soprattutto in campo navale, la *Wave-line* e l'altra nello yachting, la *Metacentric shelf*; per i più curiosi infine una descrizione di ciò che oggi rimane nei metodi del *design navale* tradizionale come eredità ed evoluzione diretta da quei secoli, a partire dai *coefficienti di forma*. Ho anche inserito in alcuni capitoli della formule semplificate ma affidabili, utili sia in fase di progetto che per valutazioni su velieri antichi, mentre per lo yachting ho voluto ricordare alcuni vecchi e dimenticati modi di calcolo, approssimati con metodi pratici ma sufficientemente precisi, tanto da essere usati anche da noti *designer*, se non altro per verifiche speditive iniziali. Ho lasciato spazio alle figure geometriche, più immediatamente intuibili e dato loro il giusto valore che avevano nel passato, rispetto al contesto odierno in cui la progettazione grafica professionale si affida a sistemi CAD (*Computer Aided Design*) ed il dimensionamento delle strutture all'analisi *a elementi finiti* FEM (*Finite Element Method*) che costi-

tuisce uno dei sistemi più affidabili per il “calcolo diretto” nel campo della *meccanica del continuo*.

Per le formule e le misure, ho lasciato, ove intelligibili, le rispettive formulazioni antiche, alcune delle quali presentano pertanto in alcuni casi simbologie differenti ma specificate, da capitolo a capitolo; in caso contrario, le ho convertite secondo le formulazioni nazionali in uso.

Per le finalità del libro, rivolte ad esporre proprio le ragioni delle geometrie degli scafi a vela del passato, la stabilità e le forme assumono un ruolo essenziale e trovano quindi uno spazio privilegiato di trattazione. Per dare al lettore una cornice più esplicativa, ho inserito anche due capitoli che richiamano il contesto storico-navale, che si estende fino alla fine delle guerre napoleoniche (yachting a parte per il quale è necessario inoltrarsi maggiormente nell’800) ed uno sul progresso scientifico-matematico europeo d’interesse navale; questo, pur se maturato nel prospero *humus* illuministico, cresceva inestricabilmente all’interno dei vincoli degli *Ancien Régime* dominanti in Europa. In essi la prevalenza di interessi soggiogati ai conflitti dinastici non fece comunque mancare un appoggio opportunistico ad una scienza alla base di tecnologie viste come moltiplicatrici di potenza. Fu proprio quel contesto, estremamente bellicoso e competitivo sia in ambito militare che mercantile, ma al contempo molto vitale scientificamente e non scevro da luci di dispotismo illuminato, a spingere ad una ricerca instancabile di miglioramento degli scafi dei vascelli, della loro stabilità e velocità sotto vela. Ciò contribuì in modo determinante a marcare il fascino e la drammaticità di questa lunga epopea storica nella quale la maggiore energia disponibile, quella del vento, diveniva spesso arbitro inconsapevole e capriccioso, come nel mondo omerico, dei destini degli uomini.

Cristiano Bettini





### A. Geometria di un vascello

I disegni che accompagnavano nel testo la descrizione dell'evoluzione dell'architettura navale dell'epoca moderna, sono prevalentemente tratti dai *piani costruttivi* che dalla fine del XVII secolo rappresentano e finalizzano i progetti navali, fino a diventare normalmente obbligatori nel XVIII secolo, almeno per le costruzioni militari, sostituendo o abbinandosi alla presentazione di modelli in scala.

E dunque muovendo da questo dato di fatto che possiamo inserire il primo elemento utile ai lettori per la comprensione delle figure che seguiranno nel testo, sulle quali poi indicare la nomenclatura principale.

Tra le varie rappresentazioni possibili di una forma irregolare come quella di uno scafo, non rappresentabile con una espressione analitica (a parte casi specifici), la presentazione in una *terna cartesiana*, vista anche l'epoca, divenne da subito prevalente superando altri tipi di rappresentazioni in *coordinate polari* e fu perfezionata proprio nel '700 dal matematico Monge, considerato l'inventore della *geometria descrittiva*, che divenne anche Ministro della Marina francese nel 1792.

La simmetria secondo alcuni assi del corpo di una nave ne consente una rappresentazione, secondo la geometria proiettiva, lungo i tre assi principali ortogonali tra loro: un *piano longitudinale* disposto verticalmente, lungo l'asse prora-poppa, uno *orizzontale* parallelo al piano di galleggiamento di progetto ed uno *trasversale*, normale ai primi due. Con questo sistema, descritto nella figura seguente, si interseca la superficie dello scafo con tre famiglie di piani virtuali, equidistanti tra loro e paralleli ai tre piani principali coordinati e si proiettano le linee di intersezione su tre piani ortogonali, detti piano longitudinale (*sheer plan*) XZ, piano orizzontale (*half breadth plan*) XY e piano trasversale (*body plan*) YZ. Nelle figure seguenti appare chiaramente l'efficacia di questa serie di proiezioni.



Vediamo ora nei disegni successivi le linee principali dei tre piani costruttivi usati per il progetto di un vascello.

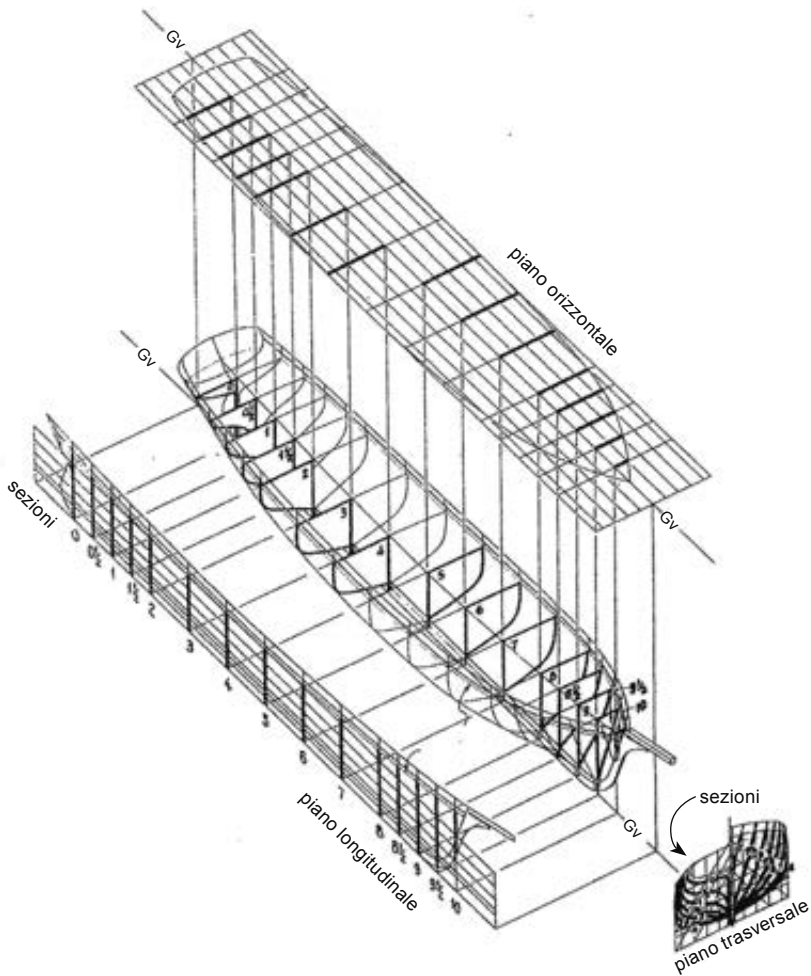


Fig. A.3. Vista delle **sezioni trasversali** di un vascello del '700 nelle tre proiezioni ortogonali; come si può notare, le semi-sezioni poppiere dalla 0 alla 4 sul piano trasversale sono riportate per convenzione a sinistra, quelle prouiere dalla 5 alla 10 a destra. Inoltre dove le linee cambiano più rapidamente, come a prua e poppa, si usavano già frequentemente intervalli tra le ordinate dimezzati.

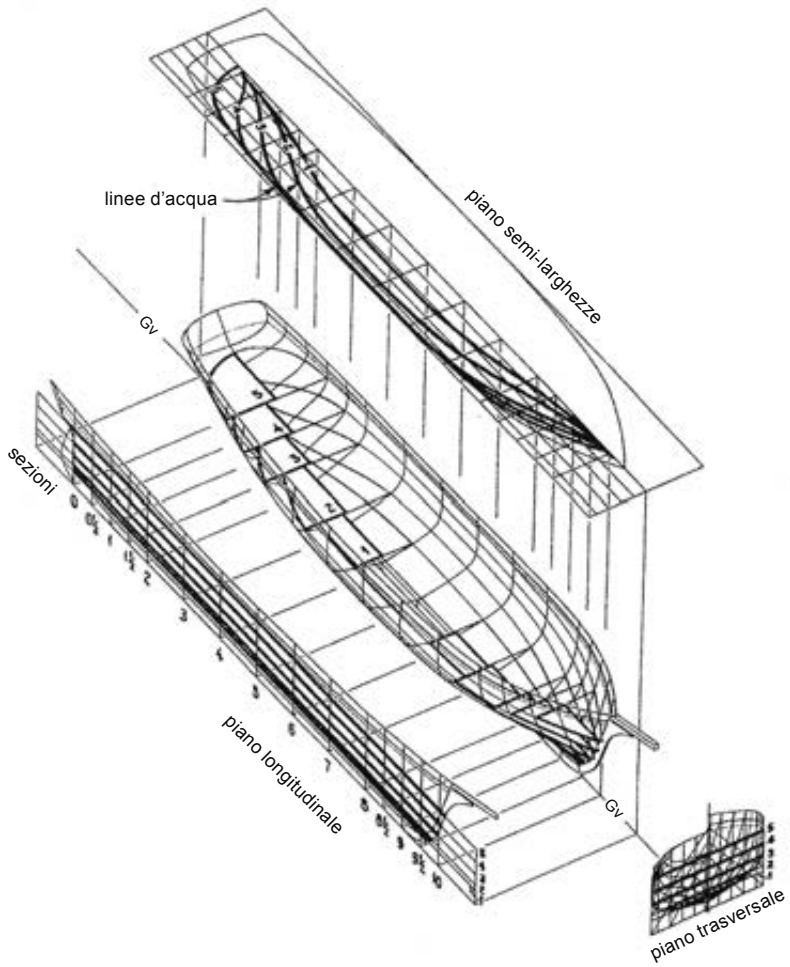


Fig. A.4. Vista delle c.d. *linee d'acqua*, sezioni orizzontali dei *piani di galleggiamento* della carena a partire dalla *linea di galleggiamento*.



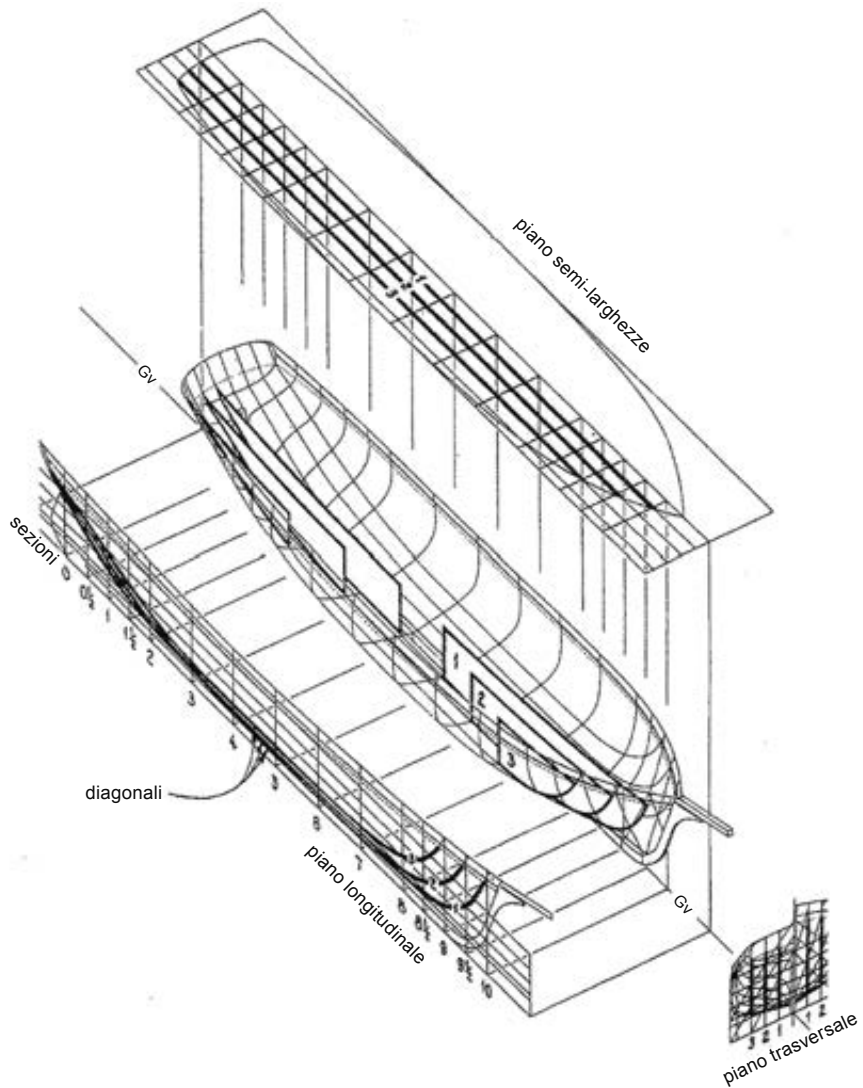


Fig. A.5. Vista delle **sezioni longitudinali**, riportate sul piano trasversale nelle due metà secondo la convenzione poppa a sinistra e prua a destra, come per le sezioni trasversali.

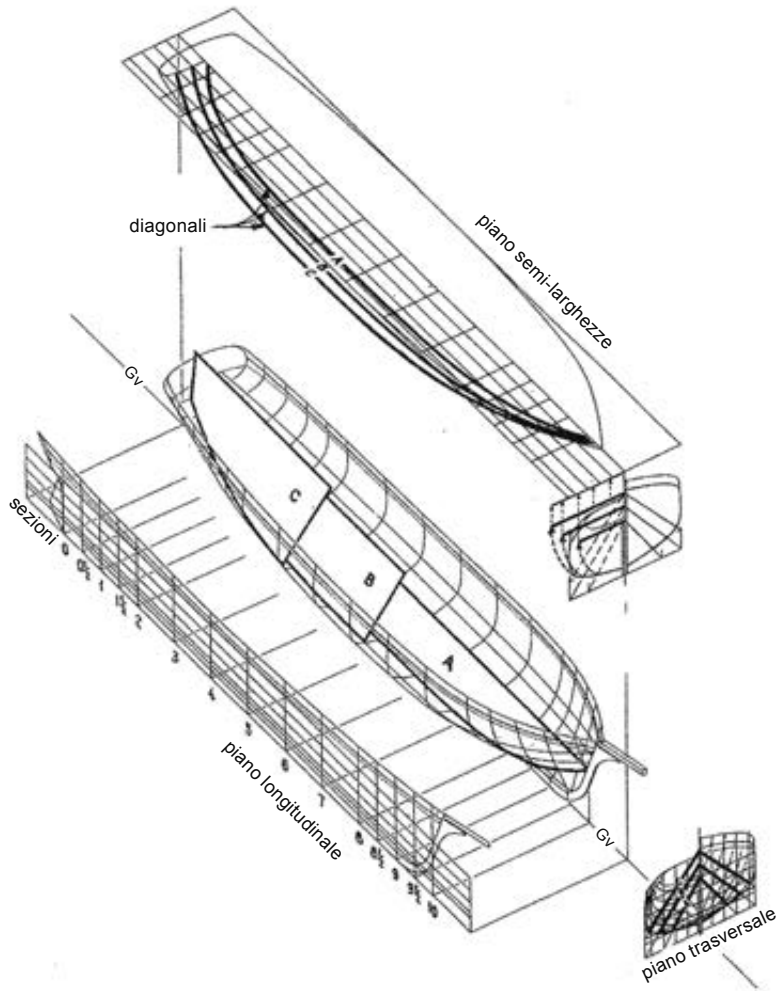


Fig. A.6. Vista delle **diagonali**, curve e linee ottenute dall'intersezione di piani obliqui con la carena; talora, quando le curve risultanti sul piano delle linee d'acqua si possono confondere con le tracce dei piani di galleggiamento, vengono disegnate in un piano separato. Per il loro uso vedi Cap. 2.8 e App. 11.

Tutti i piani risultanti vengono ribaltati e tracciati in un unico piano, quello del disegno, detto *Piano di costruzione*; questo è tracciato normalmente *fuori ossatura*, cioè senza tener conto dello spessore del fasciame, il cui computo viene aggiunto sia in termini di superficie, che di volume e peso (usualmente il volume si calcola come incremento percentuale del volume fuori ossatura). Per le navi in legno si assume, ad esempio, il 5-8% per il fasciame in quercia, il 6-9% per quello in abete. Quale riferimento per la tracciatura si usa la *linea di costruzione* (*base line*) che coincide con il tratto superiore della *battura* della chiglia. Su questi tre piani si distinguono le *sezioni longitudinali* (*buttock lines*), in quello orizzontale le *linee d'acqua* (*water lines*) o galleggianti (*water planes*), identificate anche dal diverso carico della nave.

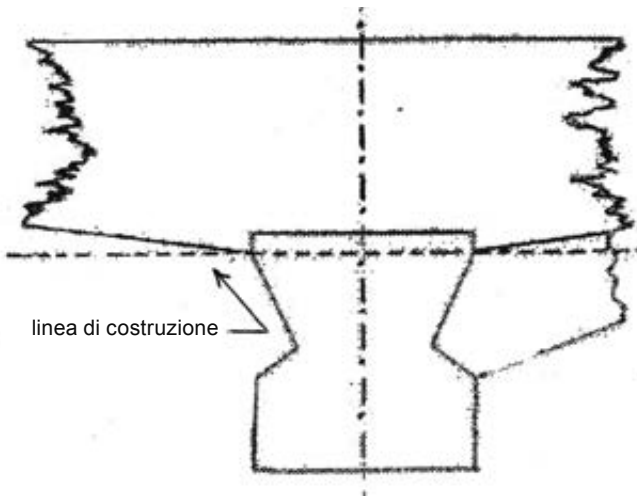


Fig. A.7. Linea di costruzione (*base line*) adottata per le navi in legno.

Nella proiezione verticale si distinguono le *ordinate* (*sections, frames*), la principale delle quali è la *sezione maestra* (*midship section*) che è prossima al centro longitudinale. Per simmetria, per convenzione si riportano le sezioni a prora della sezione maestra sulla dritta e quelle a poppa sulla sinistra del disegno. Per i velieri si consiglia lo spostamento della sezione maestra ad  $1/15 \div 1/18$  della lunghezza al galleggiamento verso prua (a meno dei velieri con forte differenza di immersione prora-poppa), mentre negli yacht classici a vela oggi si predilige una posizione più verso poppa di circa  $1/20$  della lunghezza al galleggiamento.

Nei vari disegni proposti compariranno spesso anche dei piani normali alle ordinate ma obliqui rispetto al piano di simmetria (vedi fig. sottostante), sia per il corpo prodiero che per quello poppiero, usualmente dette *diagonali*, ma più correttamente *piani delle forme* (*plans of diagonals*), le cui intersezioni con la superficie esterna dello scafo sono in "ribaltamento"; esse sono utili soprattutto nelle zone più sensibili del corpo-nave come l'area dei *ginocchi* della carena e vengono decise arbitrariamente in base all'esperienza dal progettista, ma è bene che risultino il più normali possibile al maggior numero di ordinate, per ridurre l'imprecisione in fase di tracciatura. Questa si ottiene riducendone progressivamente l'inclinazione rispetto all'asse di simmetria, dal basso verso l'alto. Esse formano delle linee di controllo delle forme a partire dalla sezione trasversale, oltre a quelle determinate dalle linee d'acqua.

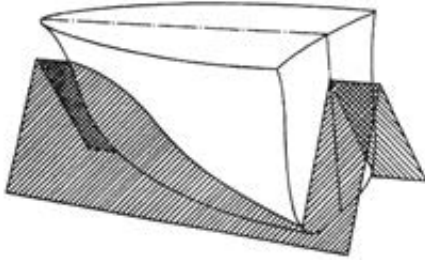


Fig. A.8. Esempio di piani diagonali per ottenere un *piano delle forme* (o *diagonali*) al livello del ginocchio della carena.

Il ribaltamento di questo piano inclinato delle forme si ottiene trasportando sulla proiezione orizzontale i segmenti indicati come nella figura di sinistra sottostante, cioè  $0a$ ,  $0b$ ,  $0c$  e  $0a'$ ,  $0b'$ ,  $0c'$ ... secondo le loro distanze sul rispettivo piano inclinato.

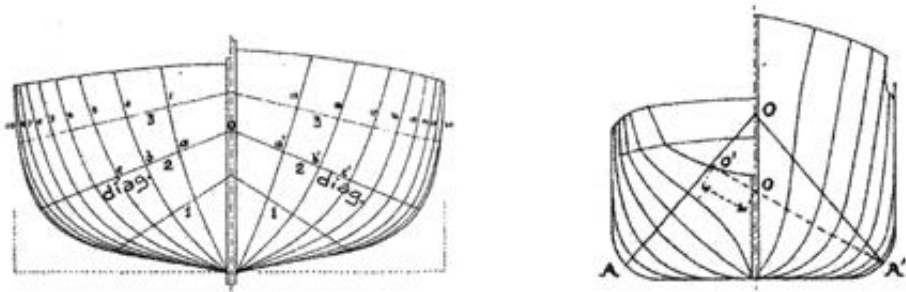
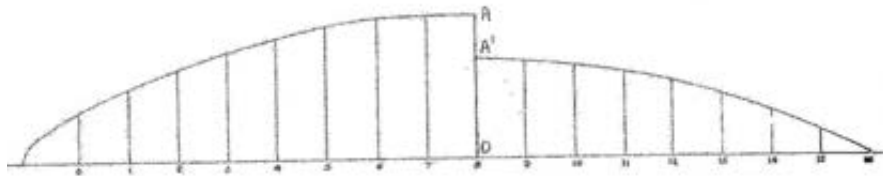


Fig. A.9. Diverse forme dello scafo, tra prua e poppa, richiedono adattamenti per la continuità della traccia delle *diagonali* per la sezione *maestra*. Nel caso dello scafo di destra risulterebbero infatti come nella figura sottostante.



La differenza tra corpo prodiero e poppiero della nave era spesso sensibile nei velieri maggiori del passato (meno nelle piccole costruzioni) e, pertanto, anche le forme (o *diagonali*) differivano nelle due metà della sezione trasversale, così come nel loro ribaltamento sul piano orizzontale. Nel caso di piccole costruzioni, tre *diagonali* per ogni semi-corpo sono sufficienti, mentre sulle navi maggiori, la stessa *forma* viene ottenuta con piani distinti per area prodiera e poppiera.

Per non avere in questi casi discontinuità in corrispondenza della sezione maestra, si traslava (come ancor oggi) uno dei due rami in direzione normale al piano di simmetria per ristabilire la continuità; con riferimento alla figura seguente, si misuravano le semilarghezze delle forme (*diagonali*) per il corpo prodiero e poppiero, sempre con il principio del taglio delle ordinate che sia il più possibile normale; dopodiché si aggiungeva al segmento minore (prodiero, tratteggiato) la differenza rispetto a quello maggiore (tratto  $0-0'$ ). Il risultato che si ottiene è visibile nella figura seguente.

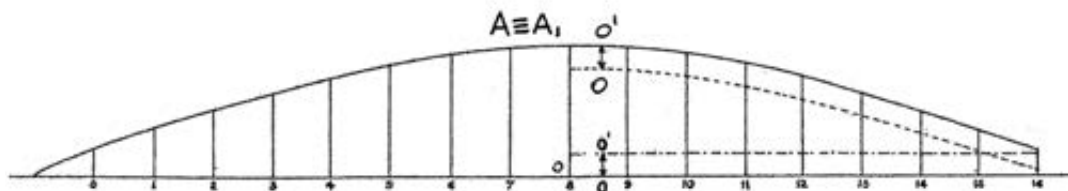


Fig. A.10. Correzione della traccia delle diagonali alla sez. maestra in scafi con differenti forme del corpo prodiero e poppiero (figura A.9. a destra).

Nel tracciare il piano di costruzione, andava poi risolto subito un altro problema legato alla frequente maggiore immersione dei velieri a poppa rispetto alla prua, utile spesso per mantenere un equilibrio di spinta dove le linee si affinavano che, tra l'altro, consentiva una migliore direzionalità ed un miglior governo per il maggior sviluppo verticale del timone. Altre volte, come vedremo in un esempio nel successivo paragrafo sul calcolo dei volumi, era l'effetto finale legato alle diverse forme del corpo poppiero rispetto a quello prodiero. La chiglia in questi velieri "a differenza d'immersione" era dunque inclinata rispetto al piano di galleggiamento.

Esistevano, di massima, tre metodi differenti di procedure nel disegno, che compaiono in alcuni dei piani presentati nel testo (anche ricostruiti).

- Il primo rappresentava la nave nel suo assetto di galleggiamento in acqua calma.

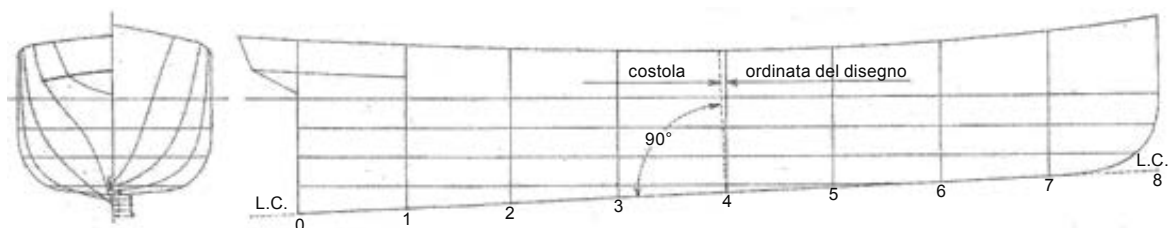


Fig. A.11. Differenza d'immersione Pr-Pp, con assetto reale ma necessità di inclinazione per tracciare i garbi (da M. Biggio, *La progettazione delle carene navali*).

La nave è rappresentata come si trova realmente in acqua calma. Qui le ordinate, normali ai piani del galleggiamento, non sono però utili per tracciare le costole, che si fanno con il piano del garbo perpendicolare alla chiglia per ragioni costruttive e di tale angolo devono essere inclinate.

- Nel secondo la nave viene disegnata con la chiglia orizzontale e le linee d'acqua risultano inclinate dell'angolo che la chiglia forma con il galleggiamento.

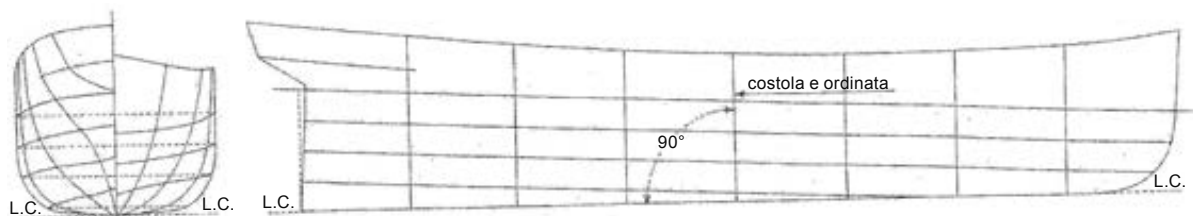


Fig. A.12. La nave è disegnata con la chiglia orizzontale. Le linee d'acqua nel piano trasversale risultano curve (da M. Biggio, *La progettazione delle carene navali*).

Le ordinate in questo caso forniscono *i garbi* delle costole, ma le linee d'acqua proiettate nel piano trasversale vi compaiono curve ed in quello orizzontale proiettate in dimensioni non reali.

- Usando il terzo metodo la nave viene disegnata come nel secondo con la chiglia orizzontale e molte *linee d'acqua* parallele a questa (tratteggiate in figura) e quindi non coincidenti con quelle reali.

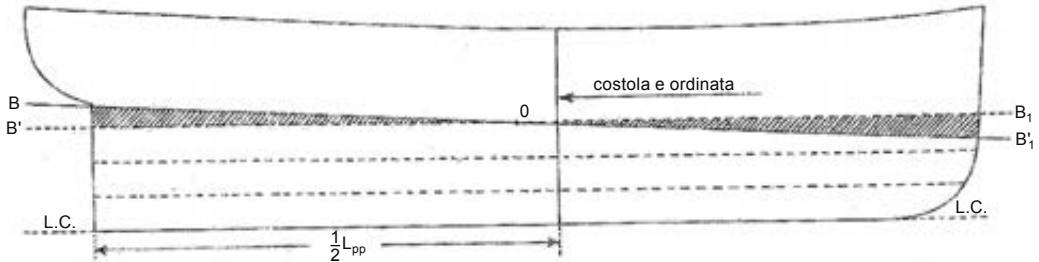


Fig. A.13. La differenza d'immersione è marcata dai due *cunei* generati dalle diverse *linee di galleggiamento*. Il volume della carena vera si ottiene da quello della carena fittizia.

Si traccia, comunque, la vera linea di galleggiamento  $gg_1$ , quella fittizia  $g'g'_1$  (parallela alla chiglia) che si incrociano nel punto 0 a poppavia della mezzeria, il quale passa per il baricentro del piano di galleggiamento reale; l'inclinazione fra i due piani è comunque molto piccola e quindi anche la superficie esterna della nave, compresa tra questi due piani, si può considerare generata dalla rotazione attorno al punto 0 di uno dei due piani. Essendo i due "cunei" di immersione/emersione longitudinali (tratteggiati in figura) di egual volume<sup>1</sup> rispetto alla posizione longitudinale del centro di galleggiamento, lo saranno anche i rispettivi volumi di carena. In questo caso il volume della carena vera potrà quindi essere ottenuto calcolando quella fittizia.

Questa metodica, nonostante alcune approssimazioni, è stata la più usata, per la semplificazione che riporta il calcolo del galleggiamento fittizio a quello di una nave senza differenza di immersione. Inoltre, ordinate e linee d'acqua sono in grandezza vera pur non coincidendo con galleggiamenti reali, che risultano ancora curvi sul piano verticale.

In Appendice 11 descrivo più estesamente lo sviluppo del tracciamento delle linee dello scafo.

<sup>1</sup> In base al teorema del matematico svizzero seicentesco Guldino sul volume dei solidi di rotazione.

## B. Nomenclatura fondamentale

Sui piani che sono stati definiti, vengono indicate le misure fondamentali dello scafo, come indicato nelle figure sottostanti, con i principali acronimi. Non tutte le nazioni usavano gli stessi elementi geometrici di riferimento. È su questa base che vengono successivamente definiti i coefficienti ed i rapporti caratteristici.

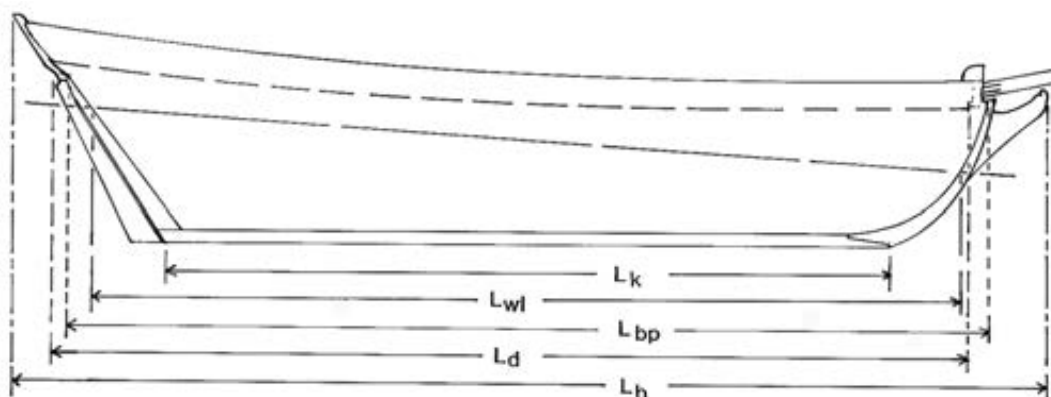
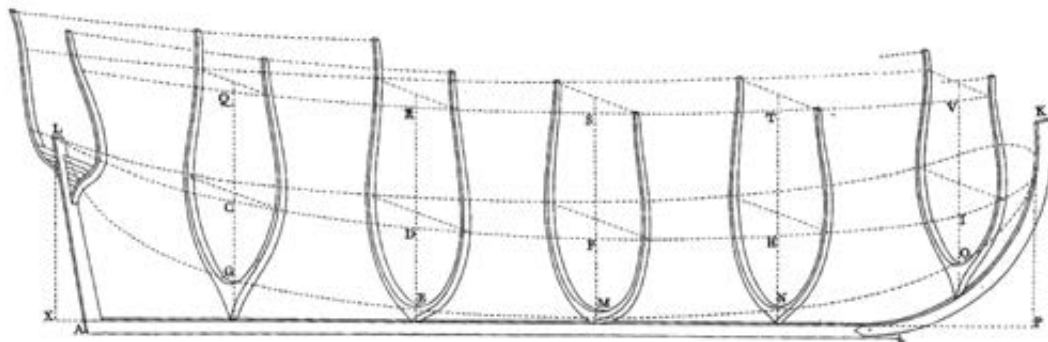


Fig. B.1. Misure longitudinali fondamentali: lunghezza della chiglia  $L_k$ , lunghezza totale dello scafo  $L_h$ , lunghezza fra le perpendicolari  $L_{pp}$ , lunghezza al galleggiamento  $L_{wl}$ , lunghezza del ponte superiore  $L_d$ , lunghezza fuori tutto, compreso (e timone se oltre la  $L_d$ )  $L_{ft}$  (non indicata). La linea di galleggiamento appare inclinata per rappresentare la linea di chiglia orizzontale, per la differenza di immersione tra prua e poppa.

Si distinguono sul piano longitudinale (*sheer plan*):

- **lunghezza fuori tutto** (LFT, LOA): lunghezza orizzontale fra punti estremi;
- **lunghezza tra le perpendicolari** ( $L_{pp}$ ,  $L_{BP}$ ): nelle navi in legno è la lunghezza tra la verticale passante all'intersezione tra il piano di galleggiamento e il centro della *bat-tura* della *ruota di prua* e la verticale passante all'intersezione tra il piano di galleggiamento e la faccia esterna del *dritto di poppa* (sotto, da un disegno di J. Juan, 1771);



- **lunghezza al galleggiamento** ( $L_g$ ,  $L_{wl}$ ): lunghezza della carena misurata fra i limiti esterni della *ruota di prua* e del *dritto di poppa* al livello del galleggiamento.

- **battura** (*rabbet*): scanalatura a sezione triangolare posta sui due lati della ruota di pro-  
ra, della chiglia e del dritto di poppa, dove va ad incastrarsi il primo corso di fasciame  
(*torello*).

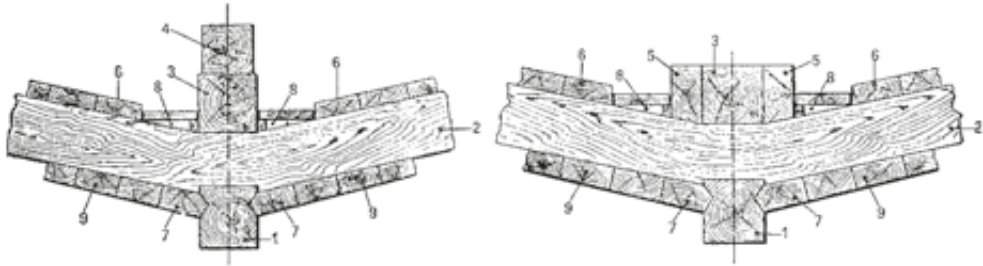


Fig. B.2. Due tipi di *chiglia* (1) (sezione sul piano trasversale), in cui è visibile la forma cuneiforme triangolare della *battura*, in cui si inserisce il *torello* (7). Le altre parti indicate sono i *madieri* (2), il *paramezzale* (3), il *sovraparamezzale* (4), i *controparamezzali* (5), i *serrotoni* (6) ed i *canali di scolo* (8).

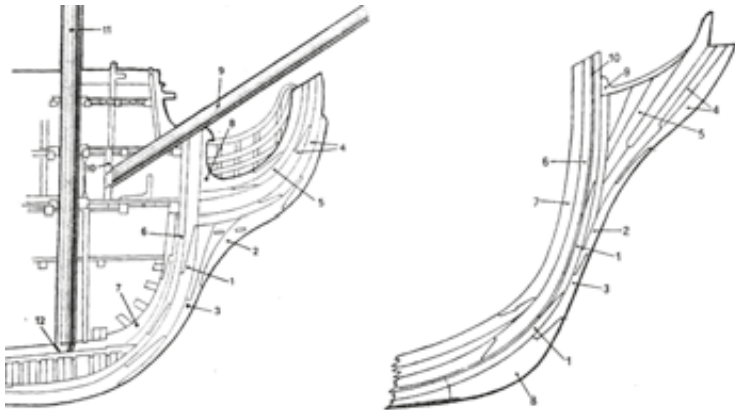


Fig. B.3. **Ruota di prua** (*sternpost*) di un vascello del XVII sec. (sx.) e di uno del XVIII sec. (dx), in cui sono identificabili le parti principali del *tagliamare* (2), della *gorgiera* (3), della *freccia* (4), della *controruota* (6), del *bracciolo* (7), del *cappuccino* (8), del *bompress* (9) con la sua *scassa* (10) prossima all'*albero di trinchetto* (11).

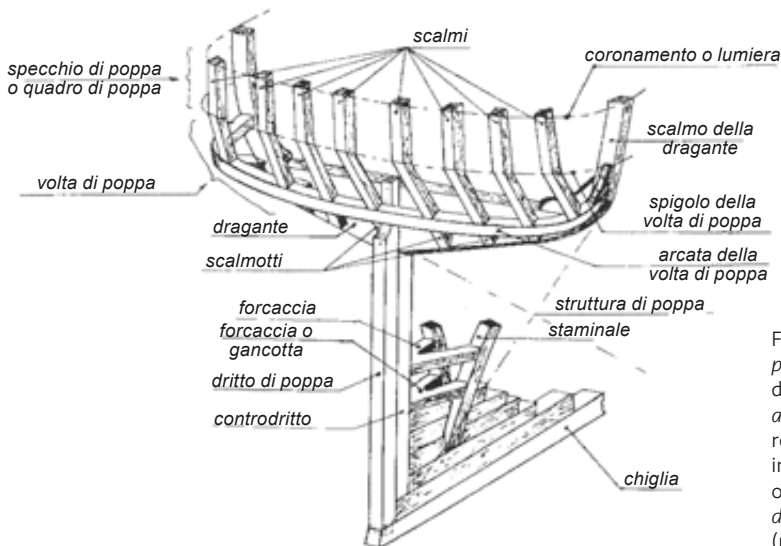


Fig. B.4. **Dritto di poppa** (*sternpost*) e *controdrutto*, sovrastati dalla *volta* sporgente e dalla sua *arcata*, fissata al *dragante* e sorretta da *scalmotti*. Sono anche indicate le *forcacce*, strutture orizzontali incastrate al *controdrutto* ed intestate agli *staminali* (parte intermedia delle costole).



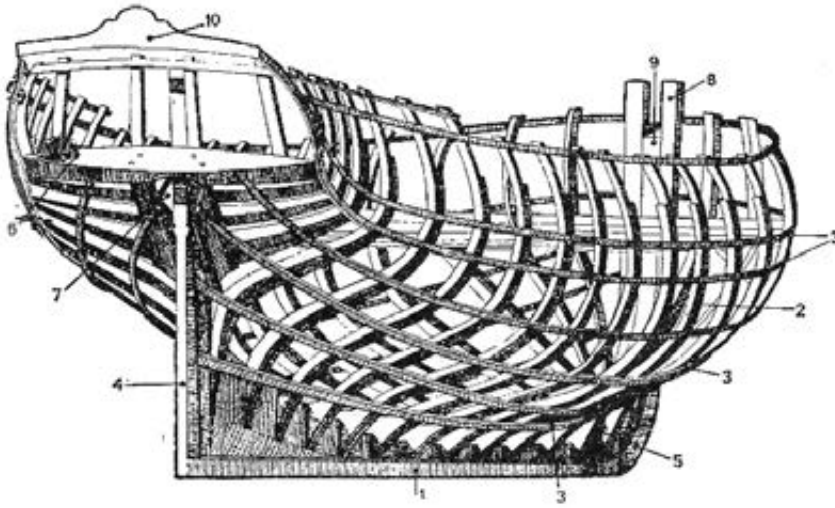
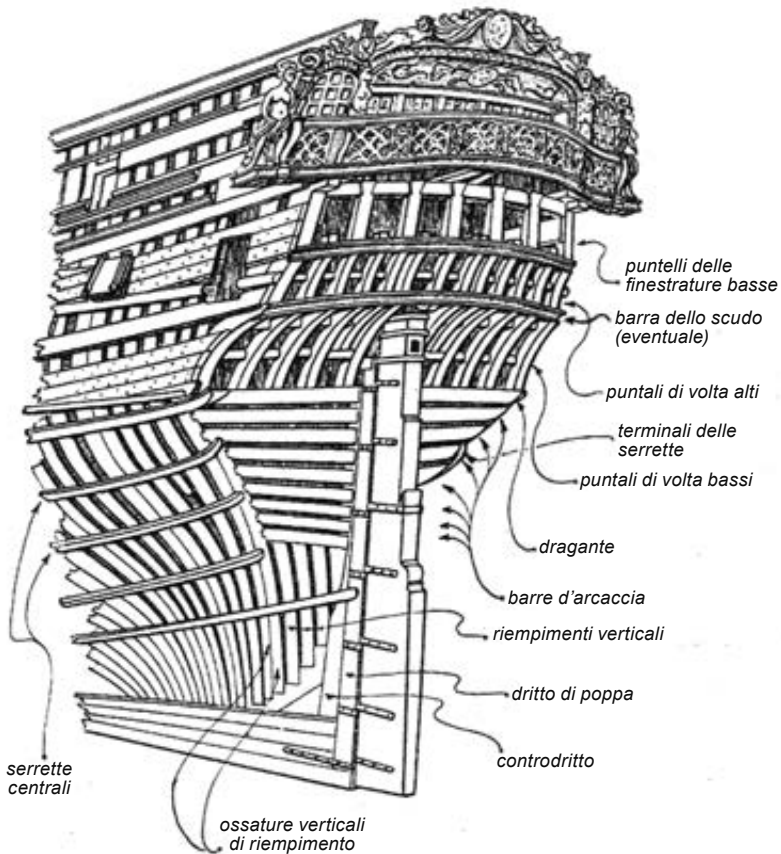


Fig. B.5. Vista prospettica della struttura poppiera di un veliero di medie dimensioni della prima metà del XVIII sec. (sopra) dove sono visibili in particolare il *dragante* (6), la *losca* del timone (7), il *dritto di poppa* (4), le *cinte* (3) che ad essa si raccordano, il *coronamento* (10) ove venivano fissate le *luci di via* poppiere (da un disegno di Chapman, 1775); vista poppiera di un grande vascello (sotto), con strutture più imponenti.



Oltre alle misure fondamentali, altre linee venivano considerate importanti nel XVII e XVIII secolo per dare marinità, controllo della resistenza al moto e stabilità: queste erano in particolare, sul piano longitudinale, la *linea di levata dei madieri* (4), la *curva della massima larghezza* (1), l'*insellatura* (o *cavallino*), che sono indicate nelle figure seguenti:

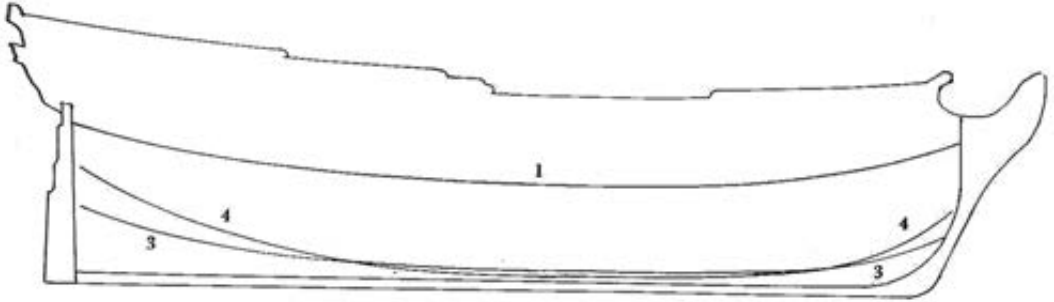


Fig. B.6. Linea di levata dei madieri (4), curva della massima larghezza (1), linea di costruzione del paramezzale da prua a poppa (3).

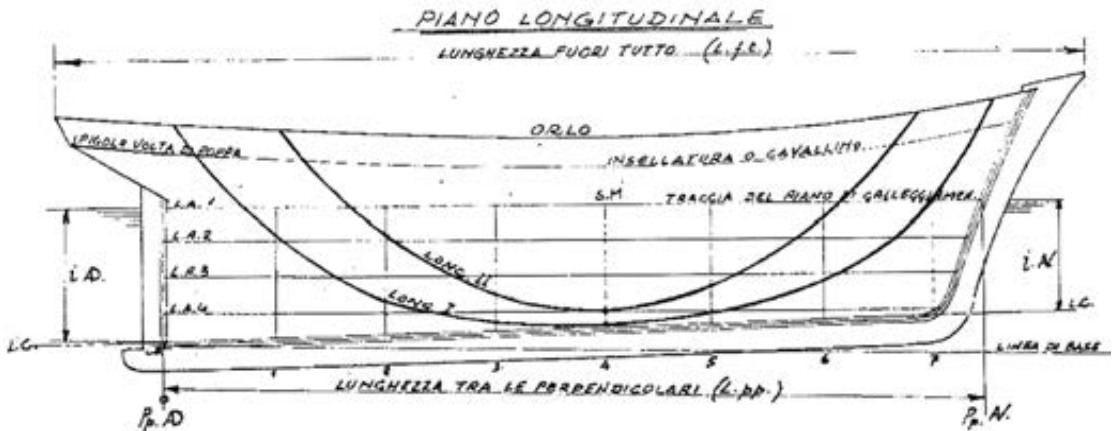


Fig. B.7. Sezione longitudinale in cui è visibile il cavallino (o insellatura), al quale usualmente l'orlo si conforma.

Vediamo ora le principali misure sul piano trasversale (*body plan*):

- la larghezza della nave può essere presa **fuori fasciame** (*extreme breadth*) o più spesso **entro fasciame** (o **fuori ossatura**) (*moulded breadth*), a seconda che sia misurata all'interno o all'esterno della superficie del fasciame.
- la **larghezza massima** (*moulded breadth*) della sezione trasversale è misurata fuori fasciame e al di sotto del ponte di coperta.
- la **larghezza al galleggiamento** (BWL) (*breadth waterline*) è la larghezza della sezione trasversale misurata al galleggiamento e a seconda della forma delle murate, può essere maggiore minore o uguale a quella massima.
- **linea di costruzione** (*baseline*): linea retta orizzontale definita dall'intersezione del piano longitudinale di simmetria con la superficie dello scafo *fuori ossatura*. Nelle

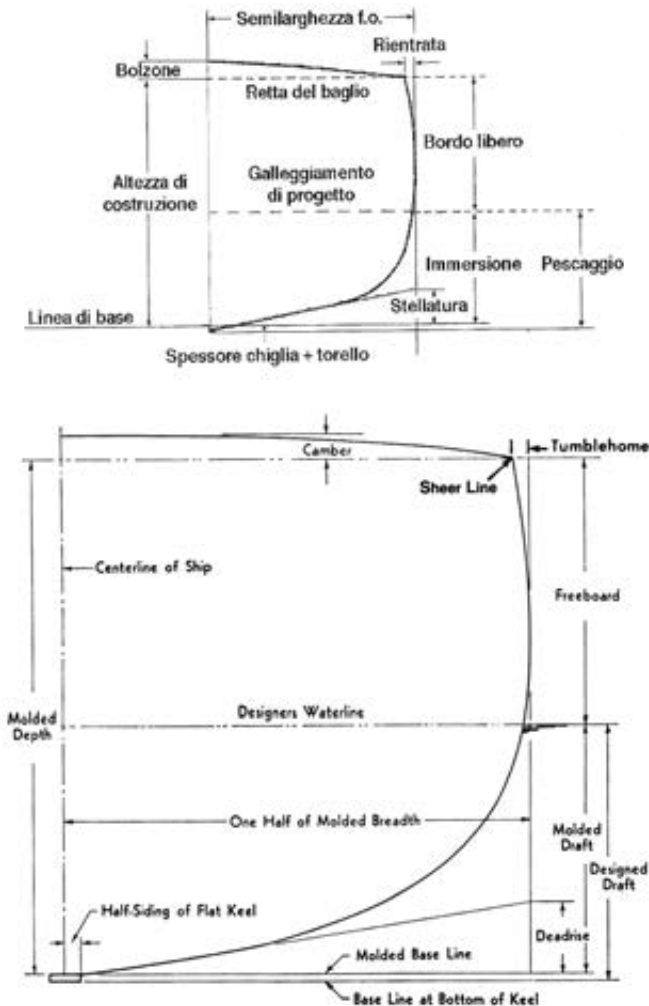


Fig. B.8. Misure fondamentali sul piano trasversale, con terminologia in italiano ed inglese.

navi progettate con differenza di immersione  $P_r - P_p$ , come frequentemente nei velieri antichi, la linea di costruzione assume il nome di **linea di base** ed è rappresentata dalla retta parallela al piano di galleggiamento passante per il punto centrale della chiglia sul piano longitudinale (detta *perpendicolare al mezzo*).

- **stellatura** (*deadrise*): è un'importante caratteristica del profilo esterno dello scafo in corrispondenza del fondo, definita dall'angolo che la semiretta tangente al punto d'attacco dell'ordinata con la *chiglia* forma con il piano orizzontale passante per la *linea di costruzione*. È un parametro di rilevanza per le caratteristiche veliche di un veliero (vedi Scheda al Cap. 2.6 - L'evoluzione critica nel 1700).
- **rientrata delle murate** (*tumble home*): caratteristica usuale e prevalente nei velieri del XVII e XVIII secolo, di cui vedremo le finalità; la larghezza all'orlo della murata è minore della larghezza al galleggiamento. L'opposto è la **svasatura delle murate** (*flare*), raro nelle navi dell'epoca considerata.

- **bagli** (*beam*): strutture di collegamento trasversale dell'ossatura dello scafo, disposte a diverse altezze in corrispondenza dei *ponti*; la loro faccia superiore è curva.
- **bolzone** del *baglio* (*camber*): distanza verticale tra la retta del *baglio* e il profilo superiore di questo.
- **menisco** (di **immersione** ed **emersione**) (*wedge*): parti del volume di carena che si immerge (o emerge) quando il piano di galleggiamento ruota di un angolo  $\alpha$  attorno all'asse di inclinazione ( $C_0$  e  $C$  sono le due posizioni assunte dal centro di carena prima e dopo l'inclinazione).

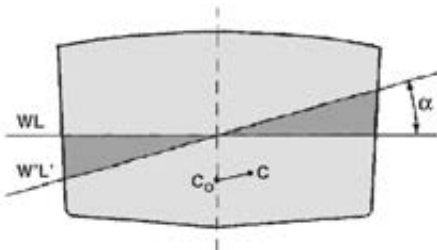


Fig. B.9. Il menisco di immersione e quello di emersione a nave inclinata.

Le principali misure sul piano orizzontale (*half breadth plan*):

oltre alla larghezza massima, già vista nel piano trasversale, si distinguono altre curve caratteristiche, principalmente il *piano delle linee d'acqua* (*water plane*), costituito dalla proiezione delle intersezioni dei piani orizzontali con la superficie fuori ossatura dello scafo, la traccia delle *diagonali* (*diagonal*) e le proiezioni dell'*orlo* (profilo superiore della murata) (*topgallant rail*) e della *soglia* (il maggiore dei corsi di fasciame prossimi alla coperta). Oltre a queste linee sul piano orizzontale ne esistevano due essenziali dal tardo XVI sec., a definire le forme dei velieri: la *curva della massima larghezza* e la *curva della larghezza dei madieri*. Sul piano longitudinale queste definivano l'*altezza delle massime larghezze* e quella *di salita* (o *levata*) *dei madieri*, come in fig. B.10.

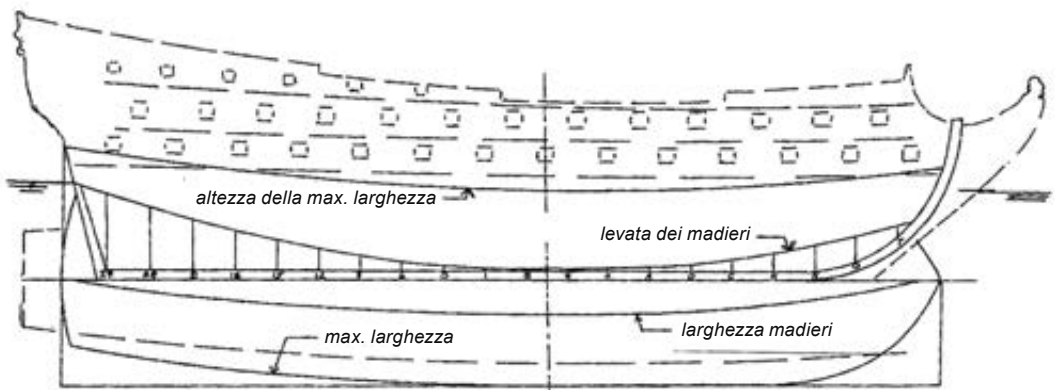


Fig. B.10. Schema di un veliero del primo '600 con le curve sul piano orizzontale della *massima larghezza* e della *larghezza dei madieri*, corrispondenti in quello longitudinale con l'*altezza della massima larghezza* e con la *levata dei madieri*.

## C. Coefficienti caratteristici

La prima caratterizzazione di uno scafo è facilitata dall'uso di alcuni *rapporti e coefficienti* adimensionali, molto utili sia nella fase di progettazione che nella comparazione di carene diverse, come nel nostro caso. Se ne faceva e se ne fa uso frequente; ne vedremo meglio l'applicazione nel Cap. 3.2 "Forme e velocità".

Per semplicità mi riferirò a quelli con un *carico da progetto*, raggruppandoli in quattro categorie (rapporti fra *dimensioni lineari*, fra *superfici*, fra *volumi* ed altri più particolari, ma a noi utili) entro le quali definire solo quelli di principale interesse.

### a. Rapporti fra dimensioni lineari

1. *Lunghezza/larghezza*,  $\lambda = L/B$  con L lunghezza fra le perpendicolari e B misurata fuori ossatura al galleggiamento. Dà un'idea della snellezza dello scafo, ma interviene anche nella stabilità, velocità, manovrabilità e resistenza.

Varia normalmente da 3 a 10 (es.:  $7 \div 9$  per navi da carico  $9 \div 10$  per un cacciatorpediniere moderno,  $4 \div 6$  per navi a vela).

2. *Immersione/larghezza*,  $\eta = \frac{T}{B}$

Dà un'idea della stabilità trasversale ed influisce sulla deriva (es.: 0,25 navi stabili, 0,52 navi meno stabili).

3. *Lunghezza/altezza*,  $L/D$ , dove D è l'altezza di costruzione, misurata tra linea di costruzione e retta del baglio del ponte principale.

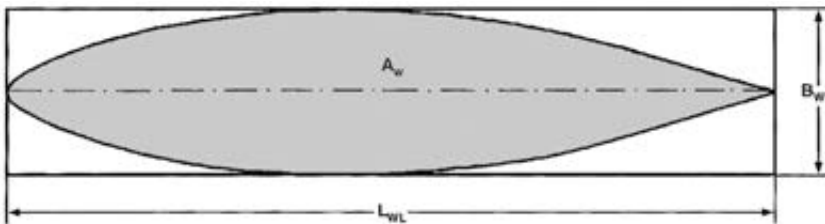
Questo rapporto influisce sulla resistenza alla flessione longitudinale; varia tra 7 e 18 (es.: per velieri in legno varia tra  $8 \div 10$ ).

Altri rapporti lineari sono il rapporto altezza/larghezza  $D/B$ , immersione/altezza  $T/D$  e immersione/lunghezza  $T/L$ .

### b. Rapporti fra superfici

I principali sono:

1. *Coefficiente di finezza dell'aria di galleggiamento*  $C_{WP}$  (*waterplane coefficient*): è il rapporto fra l'area della figura di galleggiamento  $A_{WL}$  e l'area del rettangolo a questa circoscritta, pari a  $L_{WL}$  e  $B_{WL}$ , cioè lunghezza e larghezza al galleggiamento.

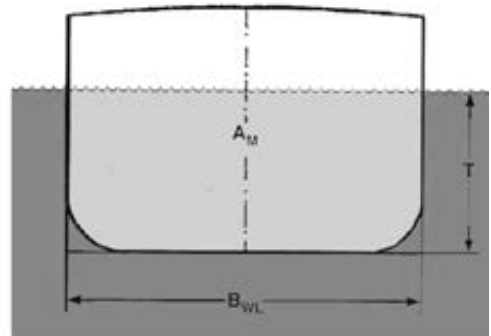
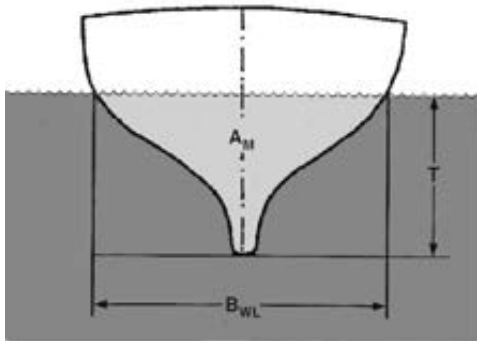
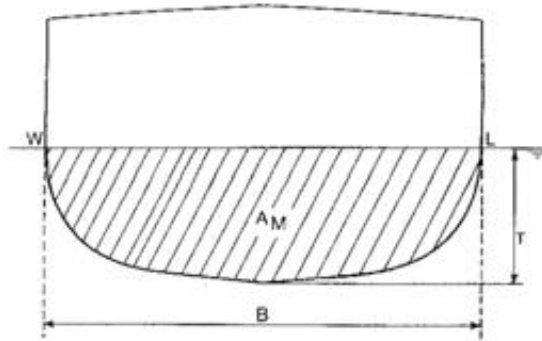


$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L_{WL} \cdot B_{WL}}$$

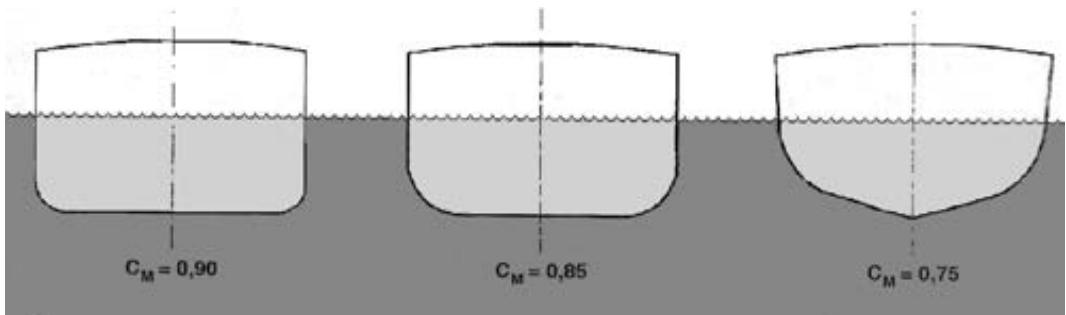
[varia da 0,65 a 0,87; per bastimenti a vela in legno e per yacht classici valeva in media 0,73]

2. *Coefficiente di finezza della sezione maestra immersa*  $C_M$  (*Midship section coefficient*): è un coefficiente molto usato dato dal rapporto fra l'area della sezione immersa  $A_M$  e l'area del rettangolo a questa circoscritto, pari a  $B_{WL}$  e  $T$ , cioè larghezza e immersione.

$$C_M = \frac{A_M}{B_{WL} \cdot T}$$



Questo coefficiente è più variabile, ma, per navi di forme usuali come nell'esempio in figura, varia da 0,75 fino a 0,98, per bastimenti a vela in legno 0,84, mentre per yacht classici 0,32.

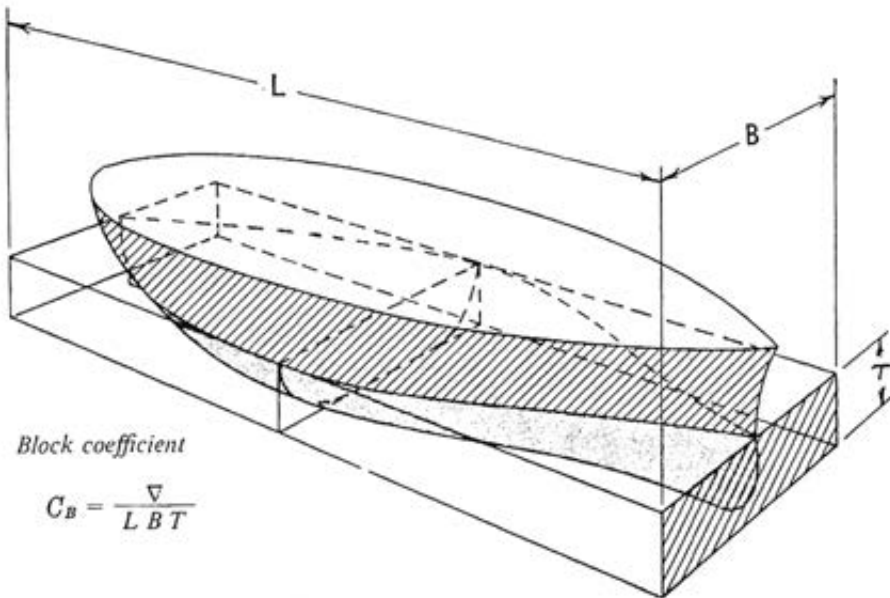


c. Rapporti fra i volumi

I principali sono due:

1. Il *coefficiente di finezza* (o *coefficiente di blocco*) totale,  $C_B$ , è il rapporto fra il volume di carena  $\nabla$  ed il volume del parallelepipedo circoscritto, di misure  $L_{WL}$ ,  $B_{WL}$ ,  $T$ ; cioè lunghezza, larghezza e immersione dello scafo ed una determinata linea di galleggiamento  $W_L$ .

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T}$$



Questi valori, come vedremo, in particolare per vascelli americani le cui misure sono state ricostruite, variavano mediamente tra 0,50 e 0,60 per navi a vela, fra 0,60 e 0,65 per piroscafi da carico e talora fino anche a 0,75-0,85.

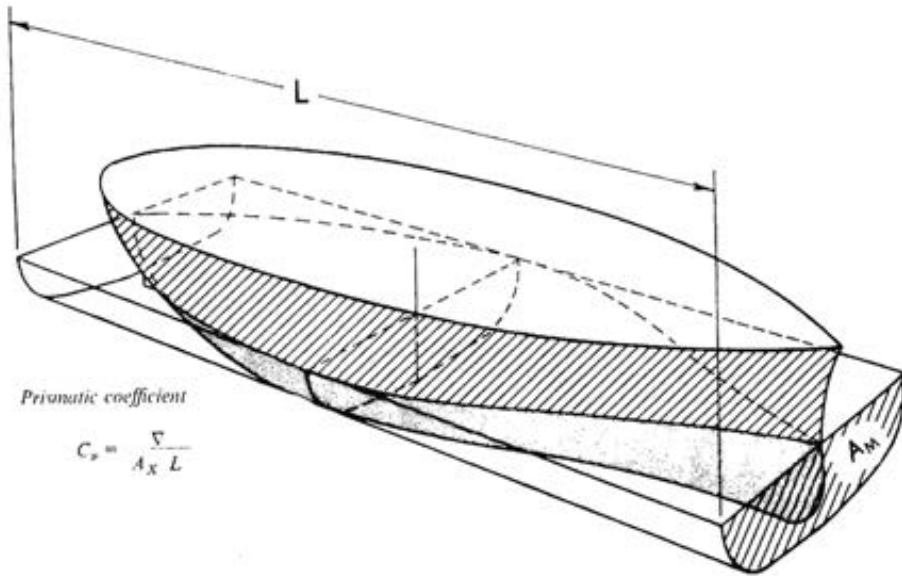
Per bastimenti a vela in legno il rapporto valeva circa 0,738 e per yacht classici 0,469.

Conoscendo o impostando  $C_B$  posso quindi ottenere sia il volume di carena  $\nabla$ , che il *dislocamento*, essendo  $\Delta = \nabla \cdot \delta$  ( $\delta = \text{peso specifico dell'acqua}$ ).

2. Il *coefficiente di finezza longitudinale* o *prismatico*  $C_P$ .

È il rapporto fra il *volume di carena*  $\nabla$  e il volume del solido di forma cilindrica che ha come sezione (costante)  $A_M$  e come lunghezza  $L_{WL}$

$$C_P = \frac{\Delta}{L_{WL} \cdot A_M} = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T \cdot C_M} = \frac{C_B}{C_M}$$



È, questo, un coefficiente molto usato perché ci indica qual è la distribuzione longitudinale del volume di carena poiché, a parità di lunghezza e volume di carena, ma diversi coefficienti prismatici (o longitudinali), quella con il valore  $C_p$  minore avrà un'area trasversale immersa maggiore e pertanto una concentrazione di volume di carena maggiore a centro nave.

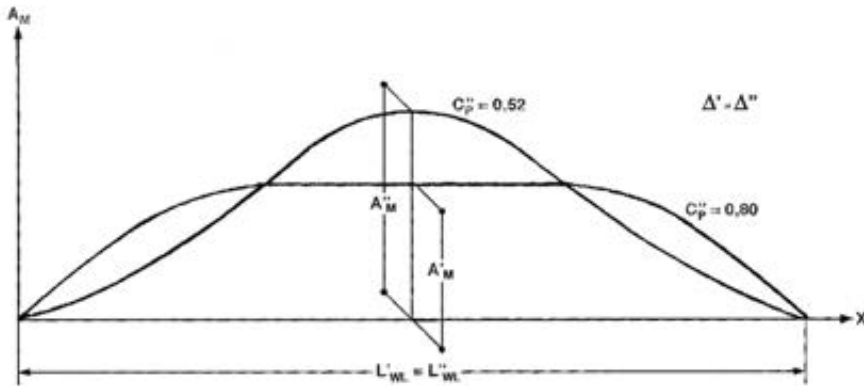


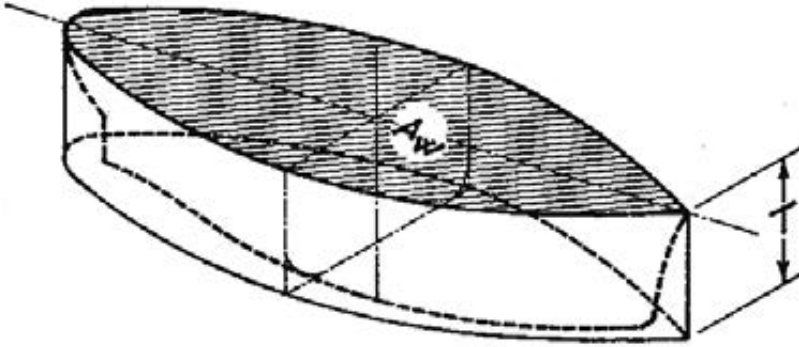
Fig. C.1. Diagramma di Coefficiente prismatico.

Posto in grafico, come sopra, evidenzia immediatamente questa diversa distribuzione di masse ed è molto utile al calcolo predittivo della velocità, influenzando sulla resistenza al moto.  $C_p$  varia da 0,55 a 0,80.

Molto interessante per lo studio dei velieri è il meno usato *coefficiente prismatico verticale*  $C_{VP}$ , analogo al coefficiente prismatico ma che indica la distribuzione verticale del volume di carena:  $C_{VP} = \frac{\nabla}{A_{WP} \cdot T} = \frac{C_B}{C_{WP}}$ , dove  $A_{WP}$  è l'area della



figura di galleggiamento e  $T$  l'immersione. Valori alti o bassi significano che il volume di carena, e quindi anche il dislocamento, è distribuito vicino alla chiglia (nave piena in basso) o vicino al piano di galleggiamento (nave rastremata), cioè con buona *stellatura*.



d. Esistono altri rapporti utili al confronto tra scafi.

1. Rapporto *dislocamento (ton)/lunghezza (m)*:  $\frac{\Delta}{(L/10)^3}$ ; il valore, variabile da 2 a 10, è correlato alla resistenza d'onda della carena. Talora è usato anche un coefficiente più "sensibile" (detto di Taylor) che al denominatore pone 100 anziché 10 e che ci servirà per un confronto con scafi antichi in App. 20.
2. Rapporto (adimensionale) ITTC *volume/lunghezza*,  $C_V: \frac{V}{L^3}$  che varia da 0,1 a 20 circa.
3. Rapporto *velocità (nodi)/lunghezza (m)*:  $C = \frac{V}{\sqrt{L}}$  che varia da 1,92 a 0,45, per navi con  $C_B$  (coefficiente di finezza totale) da 0,45 a 0,90.
4. Coefficiente (adimensionale) *di dislocamento di Froude*:  $\frac{L}{V^{1/3}}$
5. *Curva di finezza* (o diagramma delle aree), tradotto in grafico, pone in relazione l'area delle sezioni trasversali immerse in funzione delle relative posizioni longitudinali.

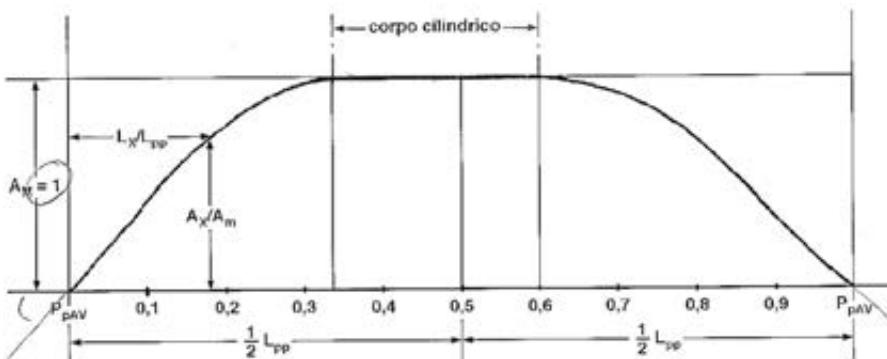


Fig. C.2. Diagramma delle aree o Curva di finezza.

La figura è trapezoidale, seguendo con la base minore il corpo centrale cilindrico ed indica anche l'acutezza delle forme con gli angoli d'uscita ai punti estremi di prua e di poppa. L'area racchiusa rappresenta il volume di carena.

A titolo esemplificativo riporto i coefficienti dimensionali di finezza (di superficie e di volume del vascello francese Royal Louis, 1780) le cui linee abbiamo già utilizzato nel paragrafo sulla geometria dello scafo, elaborati dall'ing. M. Vezzani (2007).

### Rapporti di superficie

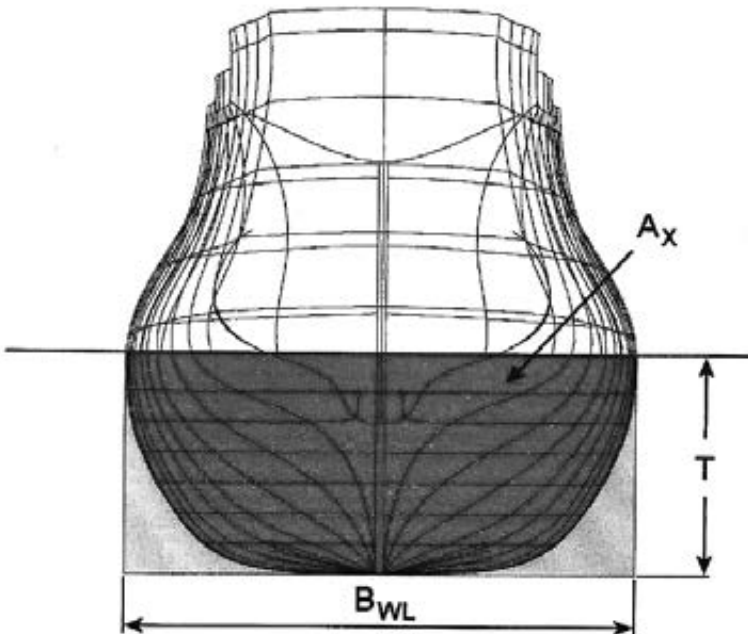
1) *Coefficiente di finezza della sezione maestra ( $C_x$ ):*

$$C_x = \frac{A_x}{B_{WL} \cdot T}$$

dove  $A_x$ ,  $B_{WL}$  e  $T$  sono rispettivamente l'area immersa, la larghezza e l'immersione della sezione maestra.

Per il vascello Royal Louis risulta:

$$C_x = \frac{108,015 \text{ m}^2}{17,005 \text{ m} \cdot 7,395 \text{ m}} = 0,8589$$



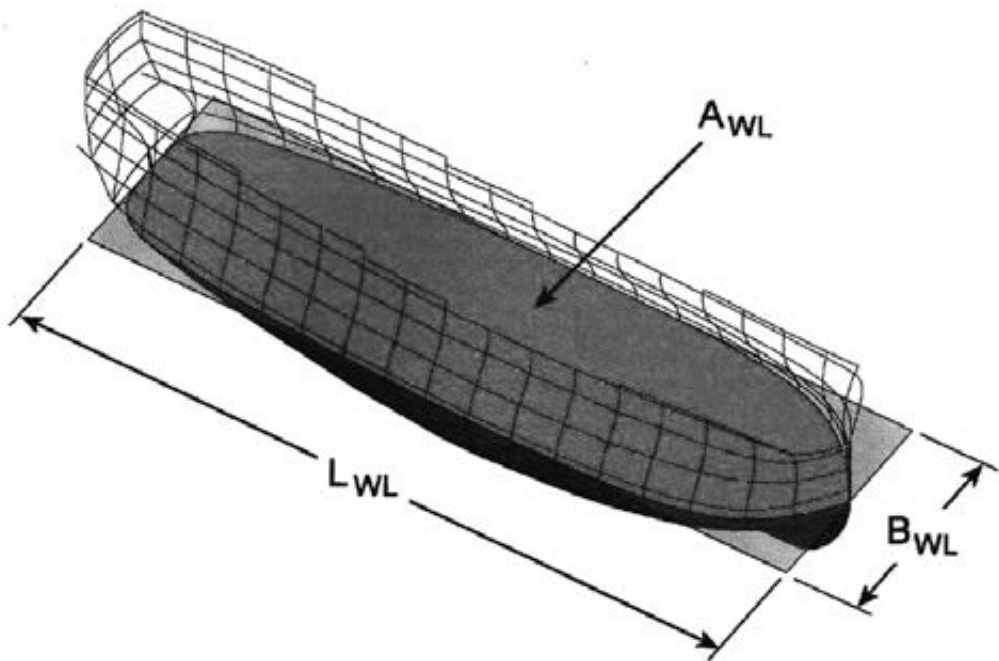
2) Coefficiente di finezza al galleggiamento ( $C_{WP}$ ):

$$C_{WP} = \frac{A_{WL}}{L_{WL} \cdot B_{WL}}$$

dove  $A_{WL}$ ,  $B_{WL}$  e  $L_{WL}$  sono rispettivamente l'area, la larghezza e la lunghezza della figura di galleggiamento.

Per il vascello Royal Louis risulta:

$$C_{WP} = \frac{895,741 \text{ m}^2}{61,099 \text{ m} \cdot 17,005 \text{ m}} = 0,8621$$



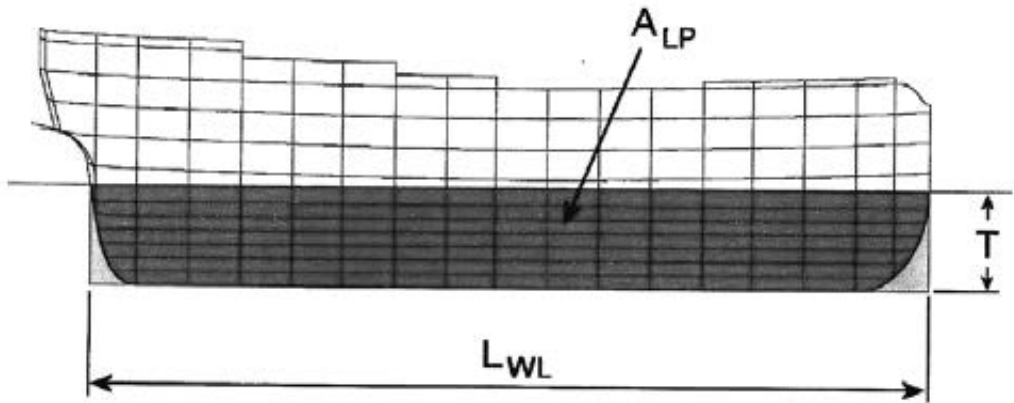
3) *Coefficiente di finezza del piano di deriva (C<sub>LP</sub>):*

$$C_{LP} = \frac{A_{LP}}{L_{WL} \cdot T}$$

dove con A<sub>LP</sub> si è indicata l'area della proiezione della carena sul piano diametrale.

Per il vascello Royal Louis risulta:

$$C_{LP} = \frac{437,440 \text{ m}^2}{61,099 \text{ m} \cdot 7,395 \text{ m}} = 0,9681$$



**Rapporti di volume**

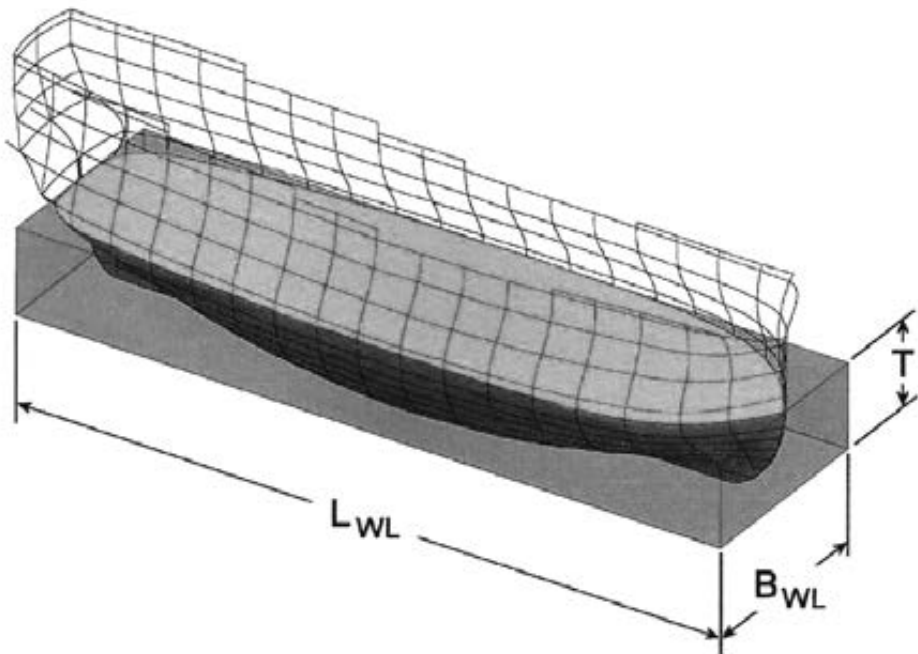
4) *Coefficiente di finezza totale (C<sub>B</sub>):*

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T}$$

dove C<sub>B</sub> è il rapporto tra il volume della carena e quello del parallelepipedo che ha come dimensioni lunghezza e larghezza al galleggiamento ed immersione.

Per il vascello Royal Louis risulta:

$$C_B = \frac{4615,405 \text{ m}^3}{61,099 \text{ m} \cdot 17,005 \text{ m} \cdot 7,395 \text{ m}} = 0,6007$$



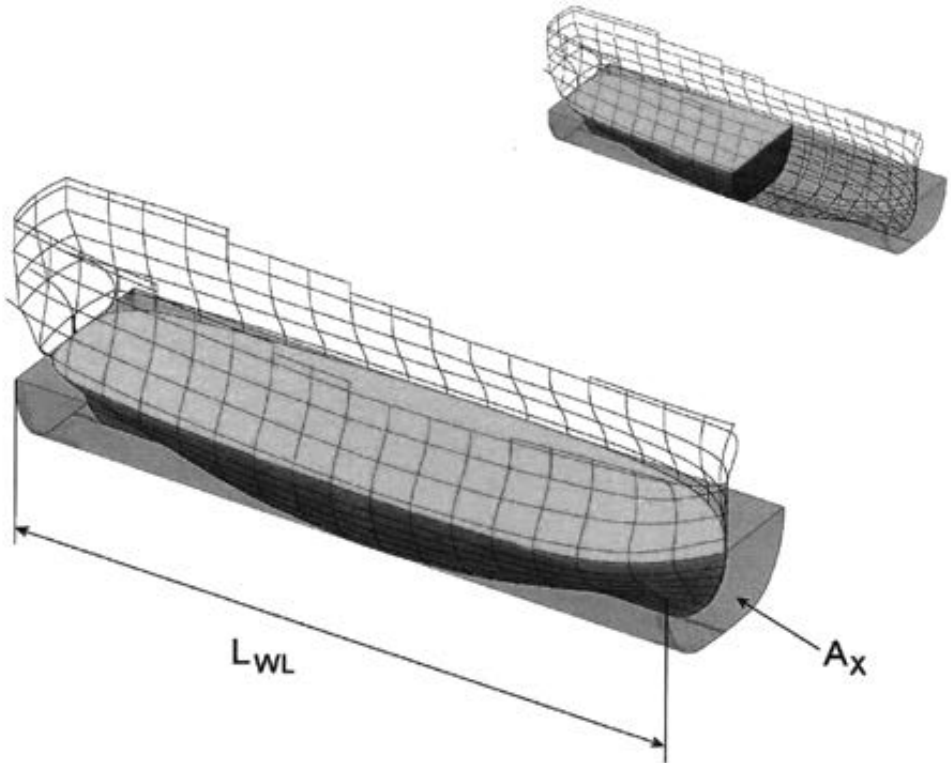
5) *Coefficiente prismatico o di finezza longitudinale (C<sub>P</sub>):*

$$C_P = \frac{\nabla}{A_x \cdot L_{WL}}$$

dove C<sub>P</sub> è il rapporto tra il volume della carena e quello del solido avente come altezza la lunghezza al galleggiamento e come base l'area della sezione maestra.

Per il vascello Royal Louis risulta:

$$C_P = \frac{4615,405 \text{ m}^3}{108,015 \text{ m}^2 \cdot 61,099 \text{ m}} = 0,6993$$



In merito ai valori risultanti ne vedremo più estesa applicazione nel Cap. 3.2 su “Forme e velocità”.

## D. Aree, volumi, dislocamento, momenti (nel '600 e '700)

La progettazione di una nave, come di uno yacht, richiede non solo l'esecuzione di un *piano di costruzione*, cioè la rappresentazione grafica delle forme dello scafo, ma anche una serie di calcoli per definire gli elementi caratteristici di uno scafo, presenti nel c.d. *diagramma delle carene dritte*, tra cui soprattutto:

- l'area delle *figure di galleggiamento* alle diverse immersioni;
- le aree delle *sezioni trasversali immerse*.

Queste consentono di passare agli altri elementi caratteristici dello scafo che esamineremo, quali i *volumi di carena* ed il *dislocamento*; successivamente i centri di forma (*centro di carena* e *centro di galleggiamento*); da qui si possono calcolare gli elementi che identificano le caratteristiche nautiche di stabilità e sicurezza, a partire dai *momenti d'inerzia* delle aree di galleggiamento, e i *raggi metacentrici* trasversali e longitudinali, nonché la *superficie bagnata*, necessaria ai fini della valutazione della resistenza d'attrito. Tuttavia, la carena, a meno di casi molto particolari, non ha una forma esprimibile matematicamente<sup>1</sup>; dopo i metodi geometrici approssimati a lungo usati nei secoli precedenti, nel XVIII secolo si iniziarono ad usare, per il calcolo di aree e volumi, *metodi di quadratura approssimati* discendenti da applicazioni del neo-nato calcolo integrale, che rispondevano pienamente alle esigenze di precisione allora richieste dall'architettura navale. Questi nuovi metodi di calcolo delle aree e dei volumi, concepiti dal matematico italiano Cavalieri<sup>2</sup> ed elaborati poi dall'inglese Simpson<sup>3</sup> (metodo usato in Italia, Gran Bretagna e negli Stati americani) e successivamente dal francese Bézout<sup>4</sup> (usato obbligatoriamente in Francia e non sempre dai costruttori francesi all'estero) prima di altri, consentirono un grande salto di qualità a tutta l'architettura navale.

Il calcolo di aree e volumi, pur facendo parte dei concetti di base preliminari agli argomenti del testo, è stato anche oggetto di una radicale evoluzione tra la fine del '600 e i primi decenni del '700 e ho quindi ritenuto opportuno inserirne la descrizione nel Cap. 2.5 sul "Calcolo di aree, volumi e dislocamento".

Per meglio entrare in quel capitolo, dobbiamo anzitutto distinguere tra:

- *dislocamento*: il peso in tonnellate metriche della nave che per la Legge di Archimede è pari al peso del volume di liquido spostato dalla carena della nave. Questo varia in funzione delle diverse condizioni di carico e del peso specifico dell'acqua. È pari, dunque, a:

$$\Delta = \gamma \cdot \nabla$$

dove  $\nabla$  è il volume di carena in  $\text{m}^3$ ;  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua di mare,  $1.026 \text{ t/m}^3$ ;

<sup>1</sup> L'area di una figura piana irregolare rappresentata in un piano cartesiano è espressa da un'integrale, il cui calcolo non è possibile non essendo nota la variazione della funzione integranda  $y=f(x)$ , al variare di  $x$  fra i due estremi di  $x$ .

<sup>2</sup> In *Geometria degli indivisibili* del 1635.

<sup>3</sup> In *Treatise on Fluxions*, sugli integrali definiti, 1737.

<sup>4</sup> In *Quantité différentielles* del 1757 e in *Rectification des courbes* del 1758.

- *portata lorda (dead weight)* è la differenza in tonnellate tra il dislocamento a pieno carico e il dislocamento a nave vacante (vuota) e quindi corrisponde al massimo peso che la nave può imbarcare, senza oltrepassare il massimo galleggiamento di progetto.
- *portata netta*: è il carico utile ai fini commerciali ed esclude, quindi, il peso passivo dell'equipaggio e dei suoi viveri e del combustibile;
- *stazza*: è la misura complessiva del volume interno di tutti gli spazi chiusi situati sotto e sopra il ponte di stazza che per le navi a soli due ponti è il secondo ponte continuo, a partire dalla chiglia. Tale volume si esprime in un'unità di misura tradizionale e oggi convenzionale, detta *tonnellata di stazza*, che equivale a 100 piedi cubici inglesi, pari a 2,832 m<sup>3</sup>. Una tonnellata di stazza è pari ad un cubo di lato 1,415 m. La *stazza lorda* indica tutti gli spazi chiusi, mentre la *stazza netta* sta ad indicare solo quelli utilizzati a fini commerciali.

Quando si usano le misure nordiche e francesi di una nave di allora, ad esempio, di 100 tonnellate, ciò significa che questa ha la capacità di contenere 100 tonnellate di stazza pari a 0,913 m<sup>3</sup> circa e che il suo massimo carico non può superare le 100 tonnellate d'acqua di mare (circa 200.000 libbre, pari a 98 tonnellate di peso). La densità dell'acqua influenza l'immersione dello scafo; quella media reale dell'acqua di mare è appunto di 1,026 t/m<sup>3</sup>.

Un ulteriore aspetto importante per i calcoli di stabilità statica e dinamica della nave, soprattutto trasversale, è l'applicazione dei *momenti d'inerzia*. In breve desidero ricordarne le poche formule di base che vedremo applicate, tutte elaborate nel periodo "meccanicistico" del '600.

Per questo possiamo partire dal ricordare che la *coppia* è un sistema costituito da forze uguali, parallele e discordi, applicate ad un corpo rigido in punti diversi e tale da imprimere un al corpo una rotazione, proporzionale all'intensità delle forze ed al *braccio* (b), che è la distanza minima delle loro rette. Da qui si può passare ai *momenti statici* ed ai *momenti d'inerzia*, il primo legato al matematico francese P. Varignon (1654-1722) che li definì nel 1682<sup>5</sup> ed il secondo al fisico-matematico olandese C. Huygens (1629-1695) che li descrisse nel 1673<sup>6</sup>.

Il *momento statico di una forza* rispetto ad un punto o ad un asse complanare è il prodotto di una forza per la distanza minima da quel punto o da quell'asse; gli effetti di più coppie si sommano algebricamente secondo il senso di rotazione. Abbiamo così un *momento statico di superficie* rispetto ad un asse sullo stesso piano, come prodotto dell'area A della stessa superficie (espressa come sommatoria  $\Sigma$  di elementi infinitesimali) per la distanza minima  $d_g$  (espressa per le rispettive distanze di ogni elemento infinitesimale) del suo baricentro dall'asse, cioè:

$$M_a = A \cdot d_g = \Sigma dA \cdot d$$

Il *momento statico di un volume* di un corpo solido rispetto ad un asse è uguale, analogamente, al prodotto del volume V del corpo (espresso nelle sue unità elementari) per la distanza  $d_g$  (espressa per le rispettive distanze baricentriche), cioè:

<sup>5</sup> In *Projet d'une nouvelle mecanique*, 1682.

<sup>6</sup> In *Horologium Oscillatorium*, 1673.



$$Mv = V \cdot d_g = \sum dV \cdot d$$

*Momenti d'inerzia.* Il *momento d'inerzia*  $I$  di un corpo rispetto ad un asse  $x$  è dato dalla somma dei prodotti dei suoi elementi di massa  $dm$  per i quadrati delle loro distanze minime  $d$  dall'asse, che equivale al prodotto della *massa*  $M$  del corpo per il quadrato del *raggio d'inerzia*  $r$  (distanza a cui si può considerare concentrata la massa), cioè:

$$I_x = \sum dm \cdot d^2 = M \cdot r^2$$

Se il momento è riferito ad un punto il momento è detto *polare* e la distanza è riferita a questo punto; questo è utile per la ricerca delle coordinate del centro di gravità della nave ai tre assi cartesiani, come si vede nella figura seguente, dove  $d = F_1d_1 + F_2d_2 - F_3d_3 / R$ .

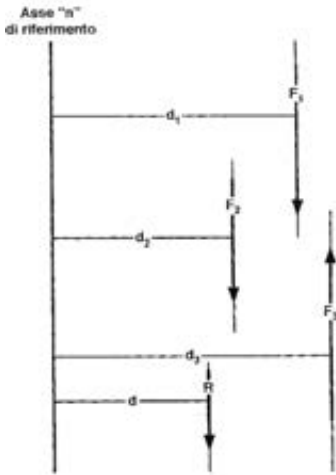


Fig. D.1. Applicazione del *teorema di Varignon* per la determinazione della distanza  $d$  della risultante  $R$  di un sistema di forze parallele da un asse generico "n".

In particolare il *teorema di Huygens* dimostra che il *momento d'inerzia*  $I_y$  di una massa  $m$  rispetto ad un asse  $y$  non baricentrico è uguale alla somma del momento d'inerzia baricentrico  $I_u$ , rispetto ad un asse parallelo e complanare a  $y$  e del prodotto della massa  $M$  per il quadrato della distanza fra i due assi, cioè:

$$I_y = I_u + M \cdot d^2$$

che riferiti ad un'area  $A$  (come nella geometria della nave) è  $I_y = I_u + A \cdot d^2$

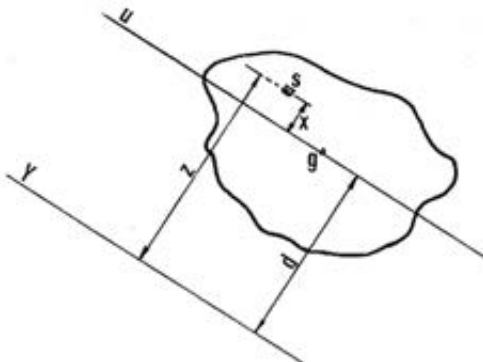


Fig. D.2. Teorema della *trasposizione dei momenti di inerzia* di Huygens, 1673.

La misura dei *momenti* viene espressa: se di massa in  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ , se lineare in  $\text{m}^3$ , se di superficie in  $\text{m}^4$ , se di volume in  $\text{m}^5$ .

Ne consegue che il momento d'inerzia di un piano del nostro veliero rispetto ad un asse di oscillazione qualsiasi è dato dalla sommatoria dei prodotti di ciascuna area elementare per il quadrato della distanza del loro baricentro rispetto all'asse:

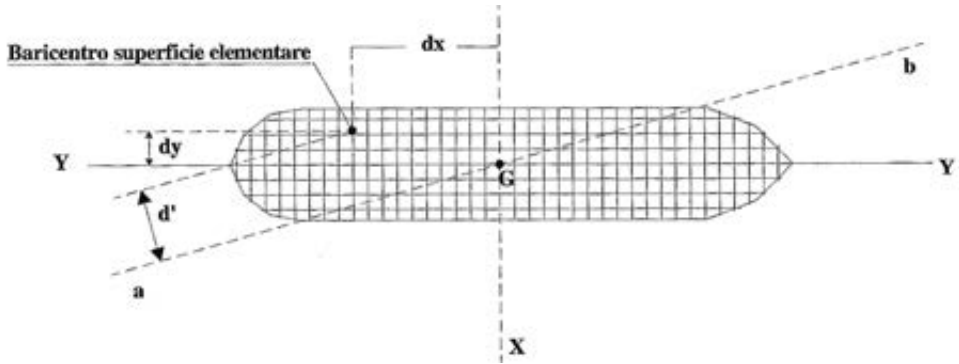


Fig. D.3. Figura di galleggiamento di cui calcolare il *momento d'inerzia longitudinale*  $I_{yy}$  in  $\text{m}^4$ .  $I_{yy}$  è il *minimo momento d'inerzia* rispetto a qualsiasi altro asse di riferimento (Huygens).

Si vede anche come il valore del *momento d'inerzia della superficie di galleggiamento* rispetto all'asse longitudinale ( $I_{yy}$ ) è il più piccolo rispetto ai momenti d'inerzia della stessa superficie rispetto a qualsiasi altro asse di riferimento, secondo il teorema di Huygens.

Le figure geometriche semplici hanno momenti d'inerzia più facili da calcolare e per questo spesso utilizzati per valutazioni/simulazioni iniziali. Ad esempio una figura rettangolare ( $L \cdot l$ ), utile alle nostre semplificazioni perché simile al piano di galleggiamento di una chiatta, come quella della figura seguente, ha un'inerzia rispetto all'asse longitudinale  $L$  pari a  $I_T = (L \cdot l^3)/12$ ; se il piano di galleggiamento ha una forma qualsiasi ma simmetrica la si può dividere in  $n$  rettangoli equidistanti (il numero dipende dalla precisione che si vuole ottenere) di cui si sommano le inerzie, pari a:

$$I_T = [(L/n) \cdot \sum l^3] / 12$$

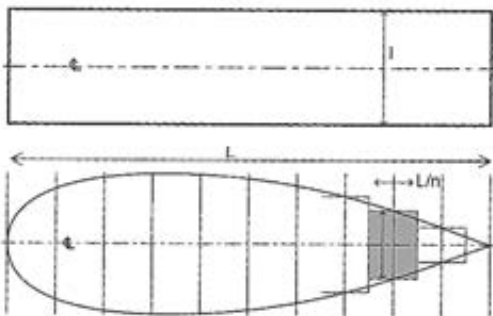


Fig. D.4. Calcolo del momento d'inerzia trasversale per una figura rettangolare e (sotto) per una figura di galleggiamento qualsiasi con metodo grafico approssimato.

Riprenderemo questo calcolo nel Cap. 2.9 nel quale tratteremo i parametri iniziali di stabilità trasversale.

Edizioni ETS  
Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa  
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com  
Finito di stampare nel mese di ottobre 2019