

F. RAPACCIUOLO

ELEMENTI DI TEORIA DELLA NAVE



GEOMETRIA DELLE CARENE DRITTE - BORDO LIBERO 1966
STAZZATURA DELLE NAVI - STABILITA' ED ASSETTO DELLE NAVI
DINAMICA DELLE NAVI - RACCOLTA ESERCIZI SVOLTI - APPENDICE
CONVENZIONE DI LONDRA 1974 - ELENCO EMENDAMENTI ALLA SOLAS 1974

AD USO STUDENTI DEGLI ISTITUTI TECNICI NAUTICI E DEI NAVIGANTI

DICIOTTESIMA EDIZIONE

F. RAPACCIUOLO

ELEMENTI DI TEORIA DELLA NAVE

GEOMETRIA DELLE CARENE DRITTE - BORDO LIBERO 1966 - STAZZATURA DELLE NAVI
STABILITA' ED ASSETTO DELLE NAVI - DINAMICA DELLE NAVI - RACCOLTA ESERCIZI SVOLTI
APPENDICE - CONVENZIONE DI LONDRA 1974 - ELENCO EMENDAMENTI ALLA SOLAS 1974

AD USO STUDENTI DEGLI ISTITUTI TECNICI NAUTICI
E DEI NAVIGANTI

DICIOTTESIMA EDIZIONE

2004

MODERNA EDIZIONI
Tel. 0187 300595 - Fax 0187 300594
ordini@moderna-edizioni.it
www.moderna-edizioni.it

*Le copie non firmate dall'Autore
si ritengono contraffatte.*

*Si ringrazia l'Ing. Lavinio Gualdesi per la collaborazione prestata
nella revisione della presente edizione.*

Ai miei figli

PREFAZIONE

Come già precisato nella prefazione delle precedenti edizioni, questa pubblicazione non vuole essere un trattato di Architettura Navale, bensì un'elementare esposizione degli argomenti richiesti dai programmi per le classi quinte degli Istituti Nautici.

Nel testo sono inseriti, nella raccolta di esercizi svolti, alcuni specchi illustrativi per la realizzazione dell'esercizio stesso su foglio elettronico, al fine di permettere allo studente di esercitarsi a variare i dati del problema ed analizzare i casi simili, in modo da comprendere meglio la portata delle formule impiegate.

Della parte normativa sono state riportate solo le parti fondamentali; è stato però aggiunto, per utilità dello studente, l'elenco degli emendamenti apportati alla SOLAS 1974.

Si sarà grati ad insegnanti e studiosi che vorranno rilevarne gli errori o esprimere giudizi costruttivi al fine unico di apportare un fattivo contributo all'insegnamento di tale materia.

PARTE PRIMA

GEOMETRIA DELLE CARENE DRITE

CAPITOLO I

Nozioni preliminari

La teoria della nave è quella parte dell'Architettura navale che studia la geometria, l'equilibrio e i movimenti della nave.

Nave o bastimento è una costruzione che per forme, dimensioni e sistemazioni deve essere idonea a muoversi sull'acqua con i propri mezzi e con la necessaria sicurezza, per trasportare persone e merci o per assolvere compiti particolari.

Scafo di una nave è il complesso delle strutture che ne sorreggono e costituiscono l'involucro stagno.

Lo scafo di una nave non presenta una forma geometrica definita, ma risulta costruito in due parti simmetriche rispetto ad un piano verticale, nel senso della lunghezza, chiamato piano diametrale o piano longitudinale di simmetria.

Il piano di galleggiamento suddivide lo scafo in due parti: di esse quella emersa è definita opera morta e quella immersa opera viva o carena.

Definizioni generali

LINEA DI GALLEGGIAMENTO: è la linea determinata dalla intersezione del piano di galleggiamento con la superficie esterna dello scafo.

In sede di progetto per la costruzione della nave viene stabilita la linea di galleggiamento di pieno carico estivo in acqua salata (naviglio mercantile) o di pieno carico normale (naviglio militare).

FIGURA DI GALLEGGIAMENTO: è la sezione piana racchiusa dalla linea di galleggiamento.

CENTRO DI GALLEGGIAMENTO (g): è il baricentro della figura di galleggiamento.

AREA DI GALLEGGIAMENTO (A): è l'area della figura di galleggiamento.

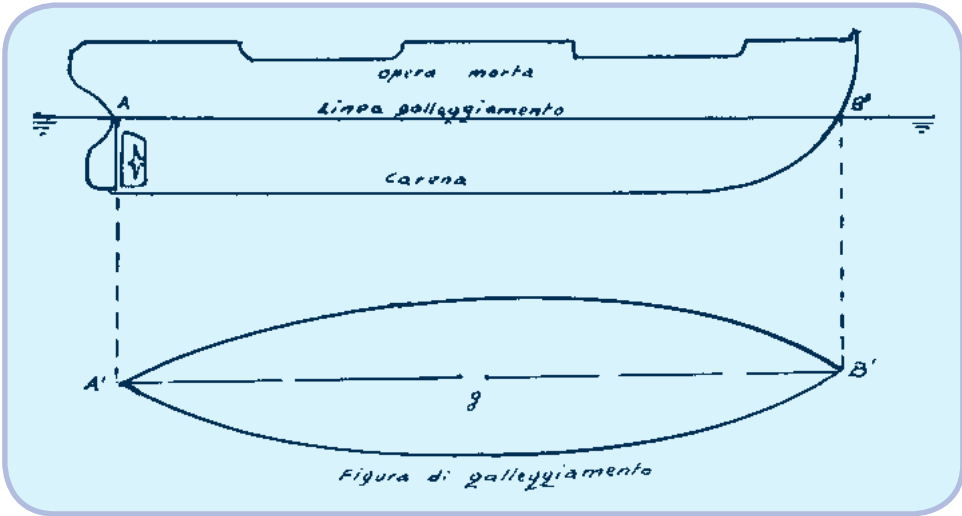


Fig. 1

SUPERFICIE DI CARENA (S): è la parte immersa della superficie dello scafo.

CENTRO DI CARENA (C): è il baricentro del volume di carena.

ISOCARENE: sono le carene di uguale volume appartenenti ad un medesimo galleggiante.

CARENE ISOCLINE: sono le carene di uno stesso galleggiante, limitate da galleggiamenti paralleli.

CARENE ISOBATE: sono le carene di uno stesso galleggiante limitate da piani irradianti da una retta o da un punto (interno o esterno alla nave.)

CARENE DRITTE: sono le carene limitate da galleggiamenti paralleli al galleggiamento di progetto (quello segnato nel piano di costruzione).

Si chiama *strato* (impropriamente zona) la parte di volume di carena compresa tra due galleggianti paralleli.

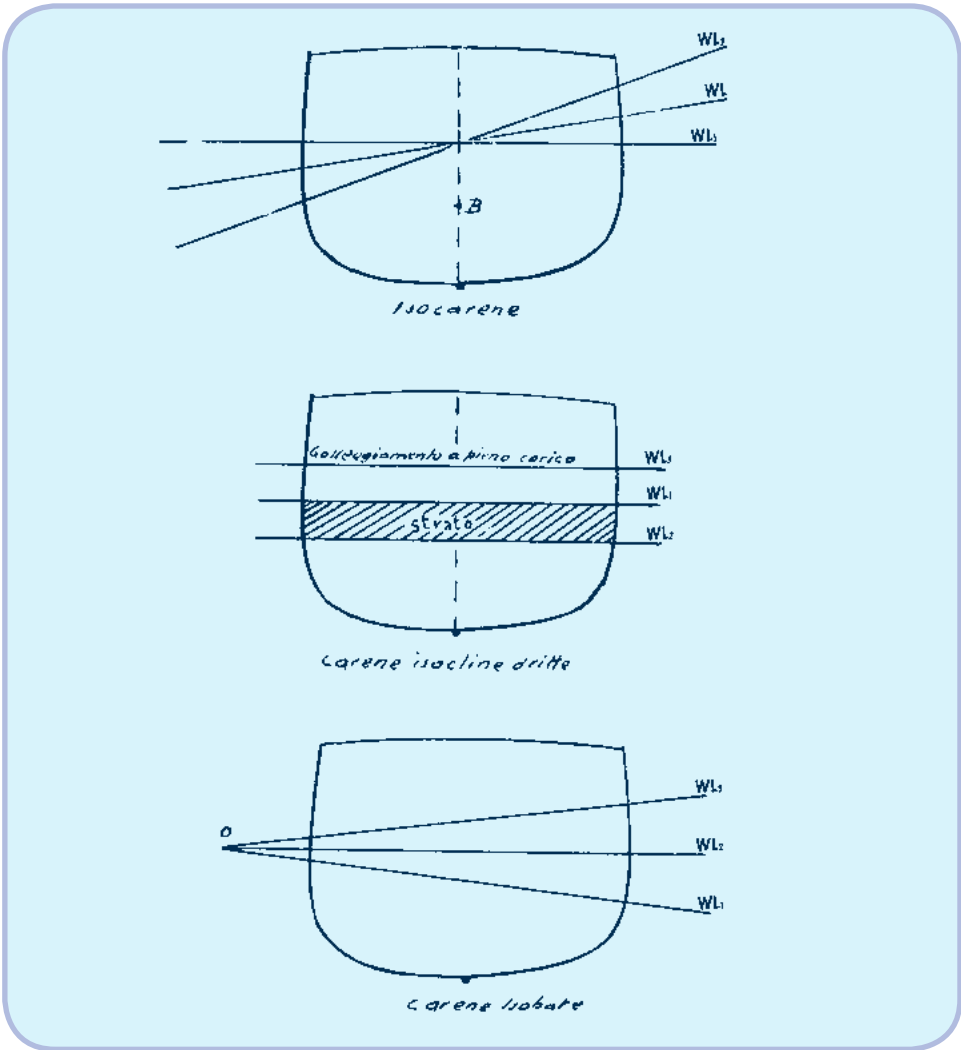


Fig. 2

SEZIONE MAESTRA ∞ : è la sezione trasversale di area massima.

LINEA RETTA DEL BAGLIO: è la retta passante per i punti di intersezione del profilo superiore del baglio con la superficie fuori ossatura.

BOLZONE DEL BAGLIO: è la distanza misurata nel piano diametrale tra la linea retta del baglio e il profilo di questo.

Il bolzone regolamentare del baglio maestro è fissato uguale a 1 : 50 della larghezza della nave.

PIANO DI DERIVA: è la parte immersa del piano diametrale.

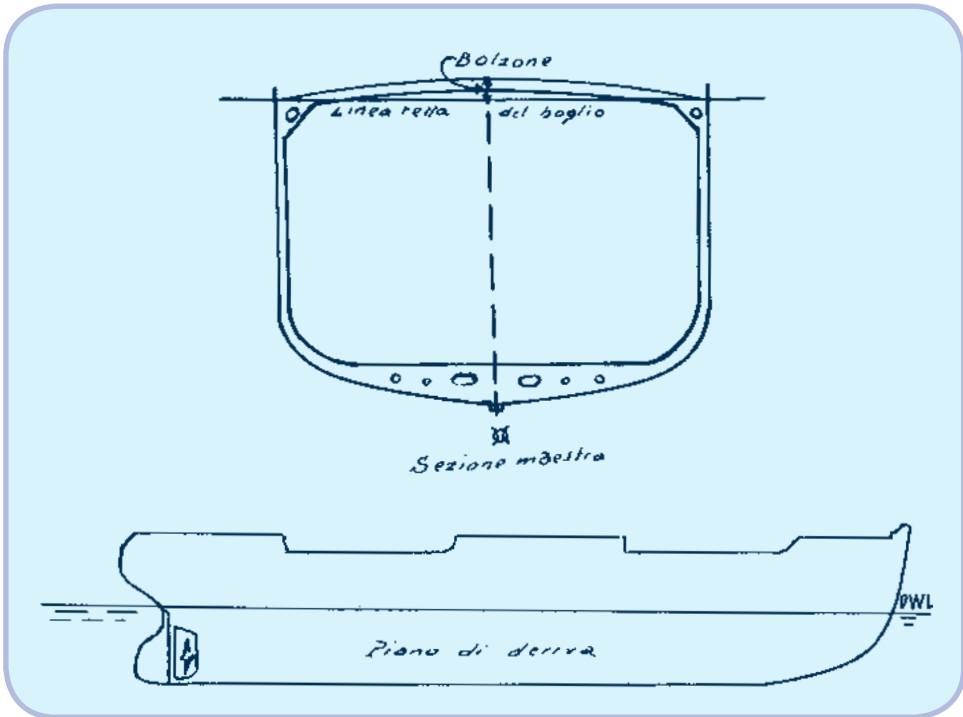


Fig. 3

PERPENDICOLARI ESTREME: sono le verticali tracciate nel piano diametrale per i punti di intersezione del galleggiamento di pieno carico estivo con le facce interne o esterne (R.I.N.A.) della ruota di prora e del dritto del timone: la perpendicolare avanti si indica Pp_{AV} e quella addietro Pp_{AD} .

Quando non esiste il dritto del timone, la Pp_{AD} si considera coincidente con l'asse di rotazione del timone.

La perpendicolare tracciata a metà distanza tra le perpendicolari estreme si indica PpM .

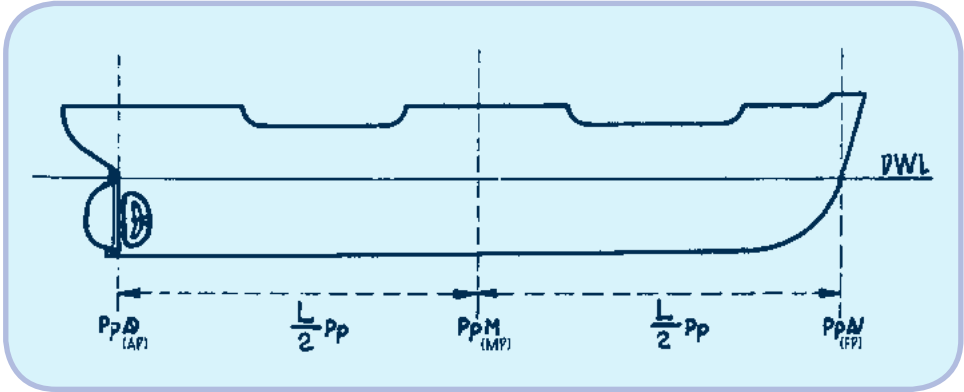


Fig. 4

LINEA DI COSTRUZIONE (*L.C.*): è la linea determinata dalla intersezione del piano diametrale con la superficie fuori ossatura. Per le navi costruite con differenza d'immersione (rimorchiatori, pescherecci) per linea di costruzione si considera, in genere, la retta orizzontale passante per il punto di intersezione, al mezzo nave, tra il piano diametrale e la superficie fuori ossatura.

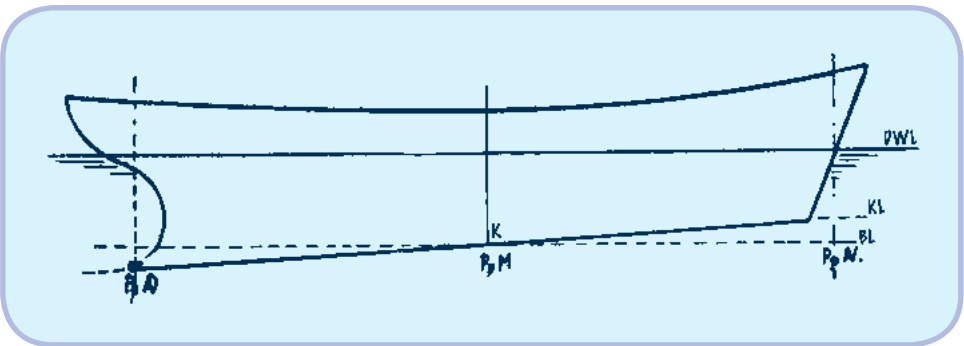


Fig. 5

Negli scafi in legno per linea di costruzione si considera la proiezione sul piano diametrale dello spigolo superiore della battuta di chiglia.

LINEA DI SOTTOCHIGLIA: è la retta determinata dalla intersezione del piano diametrale con la faccia inferiore della chiglia.

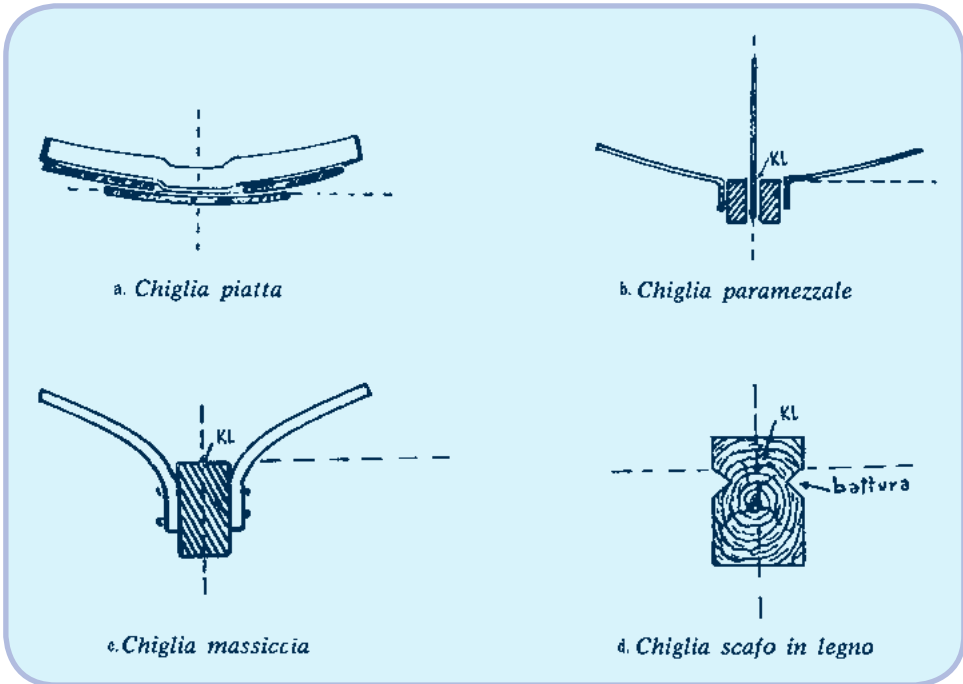


Fig. 6

ORLO DEL PONTE SUPERIORE O LINEA DEL PONTE IN MURATA: è la linea definita dalla intersezione della superficie inferiore del fasciame del ponte con la superficie interna di murata. La proiezione ortogonale di tale linea sul piano diametrale viene denominata *linea di insellatura o cavallino*: essa ha un andamento curvilineo con la concavità verso l'alto ed il rialzamento prodiero risulta in genere doppio di quello poppiero.

La linea di insellatura regolamentare, secondo le norme del Registro Italiano Navale (R.I.N.A.), è costituita da due rami parabolici col vertice comune a metà lunghezza nave; le ordinate in millimetri riferite alla retta orizzontale tangente a tale linea nel vertice sono indicate dalla tabella seguente:

Posizione	Ordinate in mm.
P _{pad}	$y_1 = 25 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$
$\frac{1}{6} L$ dalla P _{pad}	$y_2 = 11,1 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$
$\frac{1}{3} L$ dalla P _{pad}	$y_3 = 2,8 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$
$\frac{1}{2} L$ P _p	$y_4 = 0$
$\frac{1}{3} L$ dalla P _{pav}	$y_5 = 5,6 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$
$\frac{1}{6} L$ dalla P _{pav}	$y_6 = 22,2 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$
P _{pav}	$y_7 = 50 \left(\frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)$

(L è la lunghezza tra le perpendicolari in metri).

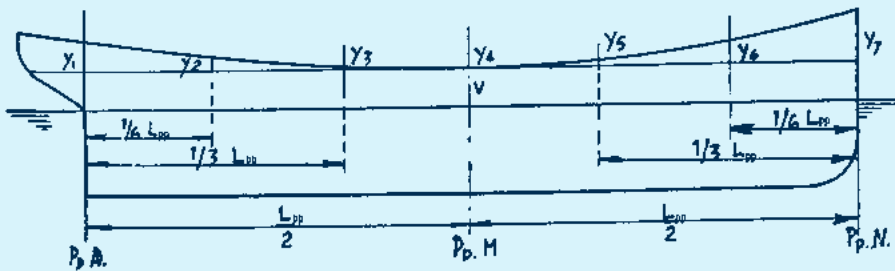


Fig. 7

ORLO DI MURATA: è la linea che definisce il profilo superiore della murata.

STELLATURA: è l'affinamento delle forme della carena, procedendo dalla sezione maestra verso le estremità di prora e di poppa.

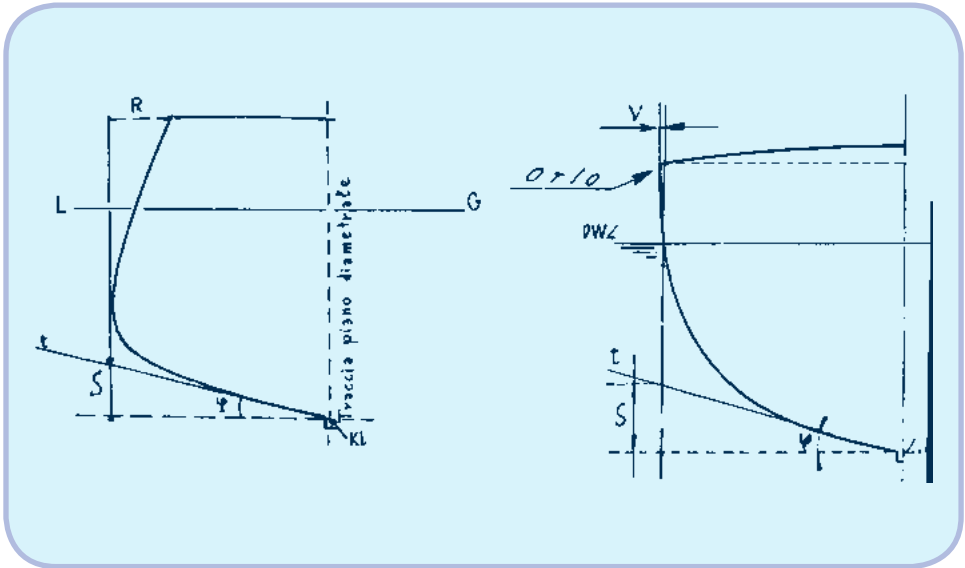


Fig. 8

Viene misurata dall'angolo φ che la tangente t all'ordinata nel suo punto di attacco con la chiglia forma col piano orizzontale che contiene la linea di costruzione; è anche misurata dal segmento S staccato dalla predetta tangente sulla verticale condotta tangenzialmente all'ordinata (nave con murata rientrata) o sulla verticale passante per il punto di intersezione dell'ordinata col galleggiamento (nave con murata svasata).

RIENTRATA (R): è la distanza tra l'orlo e la verticale tangente all'ordinata.

SVASATURA (V): è la distanza tra l'orlo e la verticale condotta nel punto di intersezione dell'ordinata col galleggiamento di pieno carico estivo.

CAPITOLO II

DIMENSIONI LINEARI DELLO SCAFO

LUNGHEZZA - Secondo le norme del Registro Italiano Navale si considerano le seguenti lunghezze:

- a) *Lunghezza fuori tutto* (L_{ft}): distanza orizzontale misurata tra i punti estremi (emersi o immersi) dello scafo. Il bompresso o la parte di timone che eventualmente si estende oltre la poppa non viene considerata.
- b) *Lunghezza tra le perpendicolari* (L_{pp} o semplicemente L): distanza tra le perpendicolari estreme.

Nei bastimenti con poppa tipo incrociatore si considera quale lunghezza o quella tra le perpendicolari (L), oppure, se maggiore di questa, la lunghezza $L' = 0,96 Lg$, essendo Lg la lunghezza dello scafo misurata al galleggiamento di pieno carico estivo.

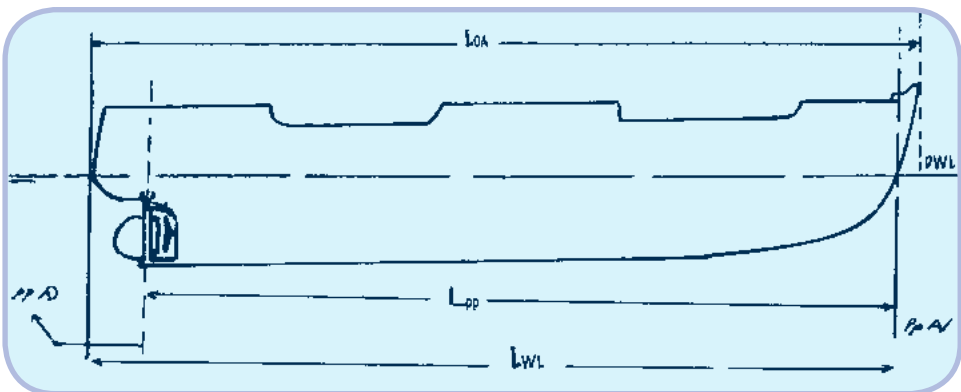


Fig. 9

LARGHEZZA: si considerano la larghezza massima (l) e la larghezza al galleggiamento (lg), misurate nella sezione maestra, fuori ossatura (scafi metallici), fuori fasciame (scafi in legno), fuori corazza (navi da guerra).

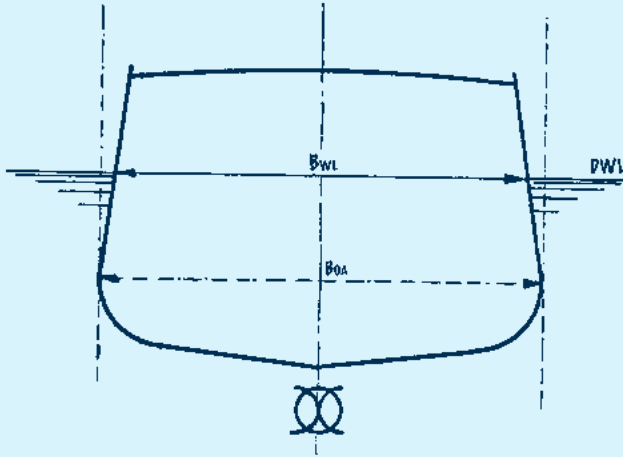


Fig. 10

ALTEZZA DI COSTRUZIONE o ALTEZZA DI SCAFO (b): è la distanza verticale misurata nel piano diametrale, a metà lunghezza nave, tra la linea di costruzione e la linea retta del baglio del ponte principale.

PUNTALE (p): è la distanza verticale misurata nel piano diametrale, a metà lunghezza nave, tra la faccia superiore del madiera ed il profilo superiore del baglio.

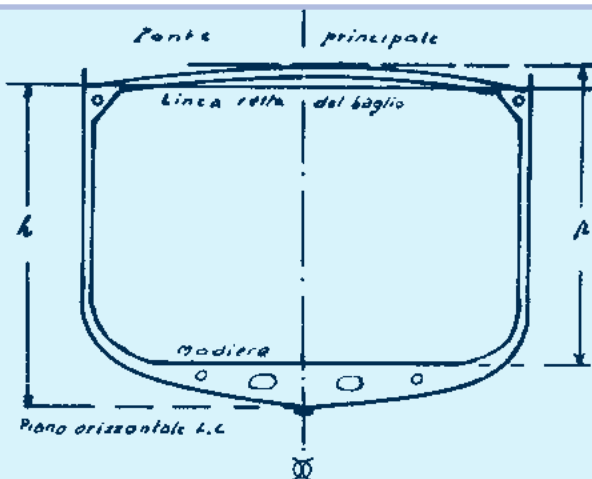


Fig. 11

IMMERSIONE ISOCARENICA o semplicemente IMMERSIONE (i): è la distanza verticale misurata a metà lunghezza nave tra la linea di costruzione e il piano di galleggiamento che delimita una carena dritta.

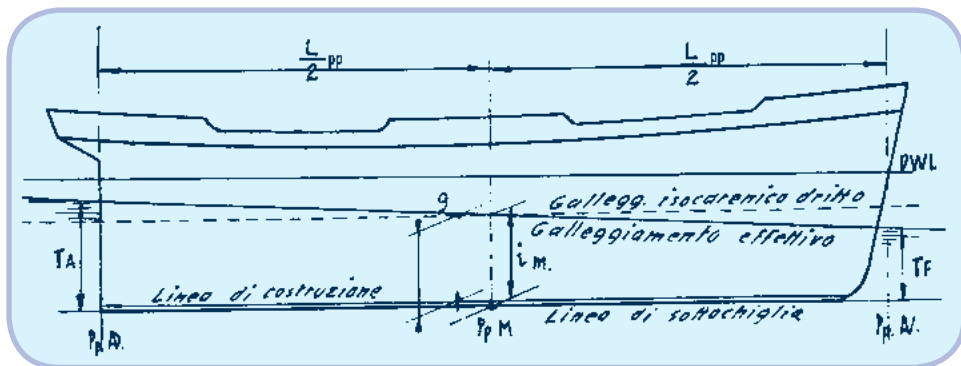


Fig. 12

IMMERSIONI ESTREME o PESCAGGI: sono indicate dai segmenti delle perpendicolari estreme compresi tra la linea di sottochiglia e la traccia del piano di galleggiamento effettivo, si indicano i_{AV} e i_{AD} .

Si definisce immersione media (i_m) la media aritmetica delle immersioni estreme:

$$i_m = \frac{i_{AV} + i_{AD}}{2} \quad (*)$$

Quando lo scafo presenta un'inflexione (un inarcamento o un insellamento), per ottenere l'immersione media presumibile si usa applicare la formula:

$$i_m = \frac{i_{AV} + 4i_c + i_{AD}}{6} \qquad i_m = \frac{i_{AV} + 6i_c + i_{AD}}{8} \quad (*)$$

essendo: i_c l'immersione al centro nave.

(*) In pratica i valori i_{AV} , i_c e i_{AD} delle suddette formule sono stabiliti dalla media aritmetica delle letture eseguite a sinistra e a dritta dello scafo.

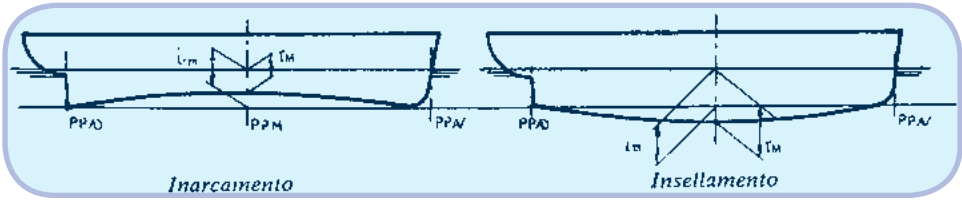


Fig. 13

La differenza delle immersioni estreme:

$$\Delta = i_{AD} - i_{AV}$$

è considerata positiva se $i_{AD} > i_{AV}$, negativa se $i_{AD} < i_{AV}$.

Rapporti tra le dimensioni lineari dello scafo

I rapporti delle dimensioni principali dello scafo generalmente considerati sono:

$\lambda = \frac{L}{l}$ della lunghezza alla larghezza, che varia da 5 a 10.
Esso influisce sulla velocità della nave, sulla manovrabilità, sulla stabilità e sulla resistenza alla deriva.

$\eta = \frac{i}{l}$ dell'immersione alla larghezza, che varia da 0,30 a 0,50.
Esso influisce sulla stabilità e sulla resistenza alla deriva.

$\frac{L}{b}$ della lunghezza all'altezza di scafo, che varia da 7 a 14,
dal quale dipende la resistenza longitudinale.

$\frac{b}{l}$ dell'altezza di scafo alla larghezza, che varia da 0,55 a 0,70,
dal quale dipende la stabilità.

$\frac{i}{b}$ dell'immersione all'altezza di scafo, che varia da 0,55 a 0,85.
Esso dipende dal pescaggio consentito nelle zone in cui la nave esplica la sua attività.

Si riportano nella seguente tabella alcuni esempi dei citati rapporti dimensionali calcolati per alcune moderne unità di vario tipo:

Tipi di navi	L/l	i/l	L/h	h/l	i/h
Navi portacontaineri	6,5-8,5	0,3-0,4	11,5-13,5	0,5-0,7	0,5-0,6
President Truman	6.62	0.32			
CGM La Perouse	6.70	0.33	11.47	0.58	0.56
Hannover Express	8.73	0.38	13.16	0.66	0.57
Cisterne	5,0-6,0	0,3-0,4	10,5-13,0	0,4-0,5	0,6-0,7
VLCC Nisseki	5.30	0.33	10.71	0.50	0.66
Maru	5.50	0.32	11.48	0.48	0.66
Passeggeri veloci	6,5-7,5	0,2-0,3	9,0-16,0	0,3-0,7	0,4-0,7
Crown Princess	7.60	0.24			
Crown Odyssey	5.50	0.25	16.86	0.33	0.75
Seabourne Pride	5.92	0.26	9.06	0.65	0.40
Seaward	6.27	0.25			
Combi Carrier	6,0-7,0	0,2-0,4	8,0-13,0	0,5-0,7	0,3-0,7
Nils Dacke	6.35	0.23	8.82	0.72	0.33

SCALE DELLE IMMERSIONI O SCALE DEI PESCAGGI

Su tutte le navi i pescaggi vengono rilevati dalle scale segnate sulle facce laterali della ruota di prora e del dritto del timone. In alcune navi le scale delle immersioni sono segnate anche sulla *PpM* (a volte limitatamente alla zona del bagnasciuga).

Il Regolamento per la sicurezza delle navi mercantili e della vita umana in mare prescrive che la graduazione sia in decimetri da un lato e in piedi inglesi dall'altro.

Col sistema italiano l'altezza delle cifre è generalmente un decimetro (sulle piccole navi è talvolta cinque centimetri); col sistema inglese l'al-

tezza delle cifre è mezzo piede e meno comunemente un piede.

In ogni caso quando la graduazione è indicata con cifre alte e equidistanti un decimetro o un piede, si segnano soltanto i numeri pari, mentre con le cifre alte e equidistanti cinque centimetri o mezzo piede, si segnano tutti i numeri interi di decimetri o di piedi: comunemente si usano cifre arabe, meno frequentemente cifre romane.

La base della scala dei pescaggi coincide con la linea del sottochiglia o col punto più sporgente al disotto della chiglia.

La lettura va eseguita valutando ad occhio le frazioni di decimetro o di piede, misurando la distanza tra il pelo dell'acqua e il lembo di una cifra emersa, tenendo presente che, quando il piano di galleggiamento lambisce la base di una cifra, il valore di questa indica il pescaggio.

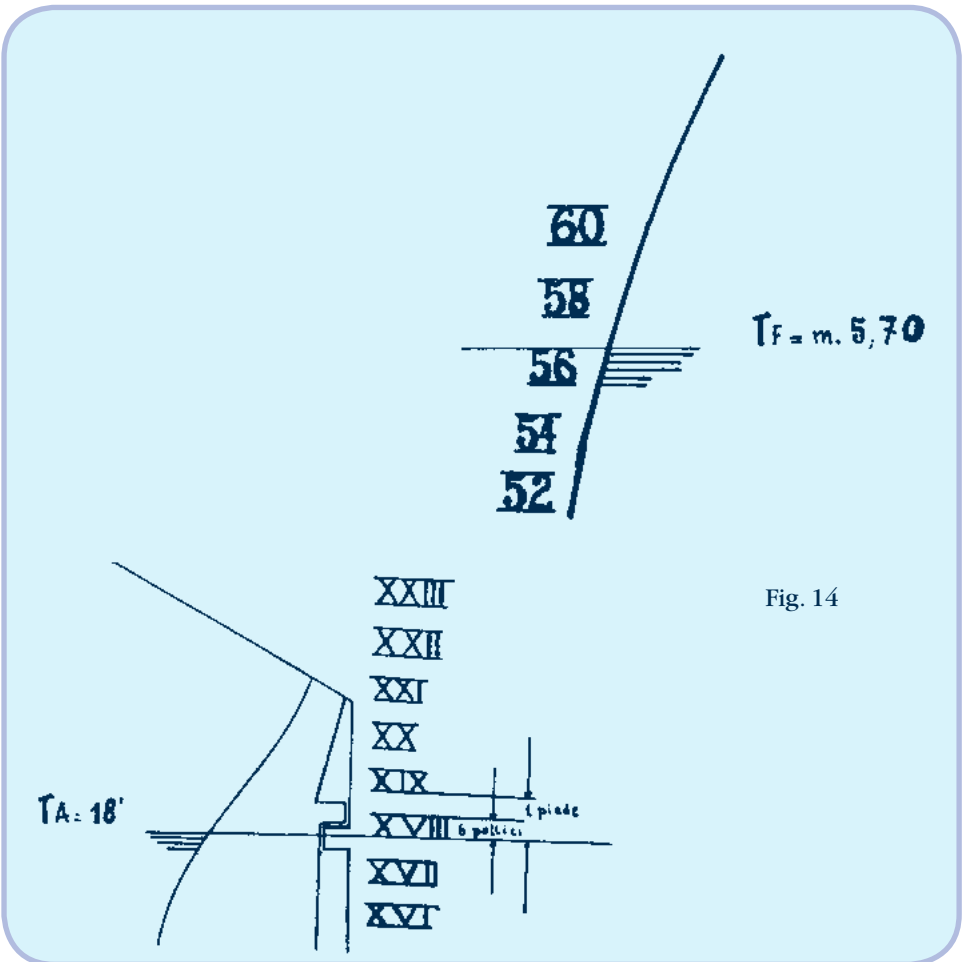


Fig. 14

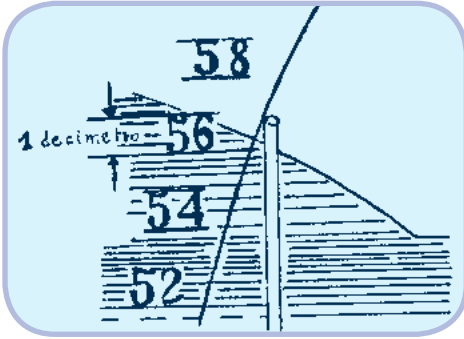


Fig. 15

Nel caso di mare mosso la lettura viene eseguita immergendo verticalmente nell'acqua un tubo di vetro aperto alle due estremità, lungo circa 50 cm. con un diametro di 3 ÷ 4 cm. (perché non si formi menisco capillare) nel cui interno l'acqua assume il livello corrispondente a quello del mare allo stato di calma.

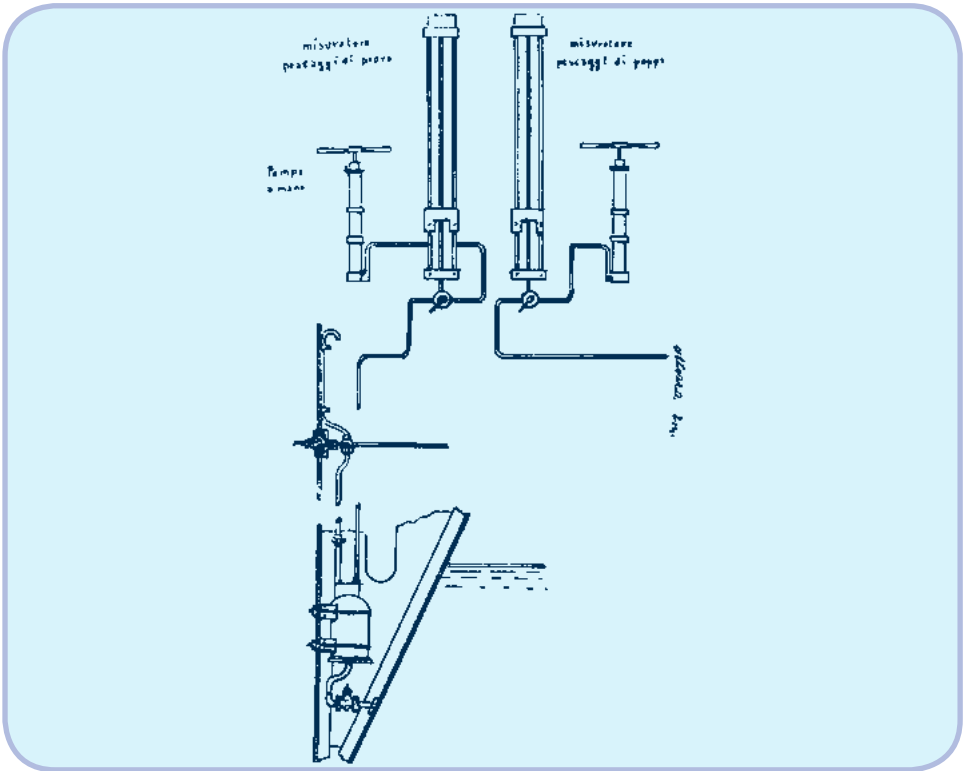


Fig. 16

Su molte navi moderne la lettura dei pescaggi viene eseguita su due tubi graduati situati in timoneria o in altro locale.

Tabella di conversione da misure inglesi in misure metriche

Conversione di pollici in metri		Conversione di piedi in metri			
Pollici	Metri	Piedi	Metri	Piedi	Metri
1	0,0254	1	0,305	26	7,92
2	0,0508	2	0,610	27	8,23
3	0,0762	3	0,914	28	8,53
4	0,1016	4	1,219	29	8,84
5	0,1270	5	1,524	30	9,14
6	0,1524	6	1,829	31	9,449
7	0,1778	7	2,134	32	9,753
8	0,2032	8	2,438	33	10,058
9	0,2286	9	2,743	34	10,363
10	0,2540	10	3,048	35	10,668
11	0,2794	11	3,35	36	10,973
12	0,3048	12	3,66	37	11,278
		13	3,96	38	11,582
		14	4,27	39	11,887
		15	4,57	40	12,112
		16	4,88	41	12,497
		17	5,18	42	12,802
		18	5,49	43	13,106
		19	5,79	44	13,411
		20	6,10	45	13,716
		21	6,40	46	14,021
		22	6,70	47	14,326
		23	7,01	48	14,630
		24	7,31	49	14,935
		25	7,62	50	15,240

Tabella ragguglio alcune misure inglesi

pollice	<i>(inch)</i> 1"	= 25,3998 mm.	(25,4 mm.)
piede	<i>(foot)</i> 1'	= 0,3048 m.	(0,305 m.)
yarda	<i>(yard)</i> yd	= 0,914309 m.	(0,914 m.)
braccia	<i>(fathom)</i>	= 1,828798 m.	(1,83 m.)
gallone	<i>(gallon)</i>	= 4,5459631 l.	(4,546 l.)
libbra	<i>(pound)</i>	= 0,45359243 Kg.	(0,454 Kg.)
long	<i>(ton)</i>	= 1.016,048 Kg.	
short	<i>(ton)</i>	= 907,1848 Kg.	

Tabella dei multipli per la conversione

da	a	multiplo
centimetro	pollice	0,3937
pollice	centimetro	2,54
piede	metro	0,3048
metro	piede	3,28
piede quadrato	metro quadrato	0,0929
metro quadrato	piede quadrato	10,764
piede cubo	metro cubo	0,028316
metro cubo	piede cubo	35,315
gallone imp.	litri	4,54596
litri	gallone imp.	0,264178
libbre	chilogrammi	0,4536
chilogrammi	libbre	2,20462
tonn. metriche	long tons	0,98421
long tons	tonn. metriche	1,101605

COEFFICIENTI DI FINEZZA

Sono rapporti tra alcune dimensioni geometriche dello scafo, che permettano di stabilire la pienezza delle forme: essi hanno grande influenza sulle qualità nautiche della nave.

Quelli più comunemente considerati sono:

a) Coefficiente di finezza dell'area di galleggiamento, che è costituito dal rapporto tra l'area A della figura di galleggiamento e l'area del rettangolo avente per lati la lunghezza e la larghezza della nave.

$$\alpha = \frac{A}{L \cdot l} = 0,65 \div 0,90$$

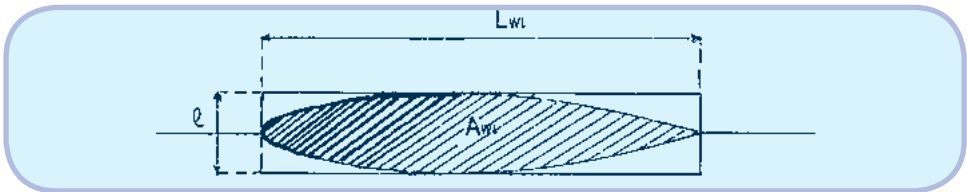


Fig. 17

b) Coefficiente di finezza della sezione maestra immersa, che è costituito dal rapporto tra l'area B della sezione maestra immersa ed il rettangolo avente per lati la larghezza e l'immersione della nave.

$$\beta = \frac{B}{l \cdot i} = 0,65 \div 0,98$$

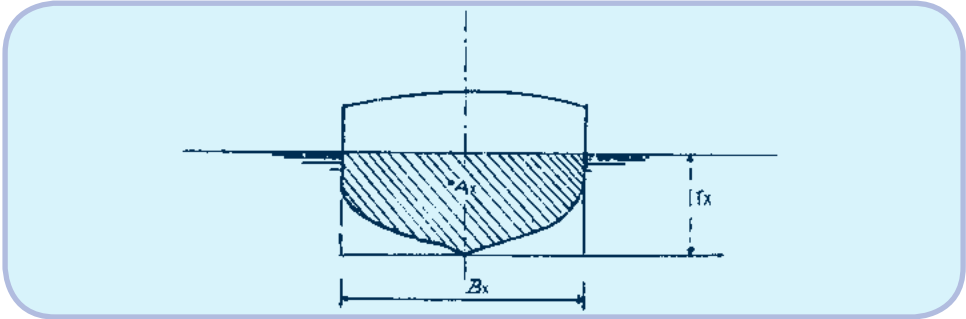


Fig. 18

c) Coefficiente di finezza del piano di deriva, che è costituito dal rapporto tra l'area D del piano di deriva e l'area del rettangolo avente per lati la lunghezza e l'immersione della nave.

$$\gamma = \frac{D}{L \cdot i} = 1$$

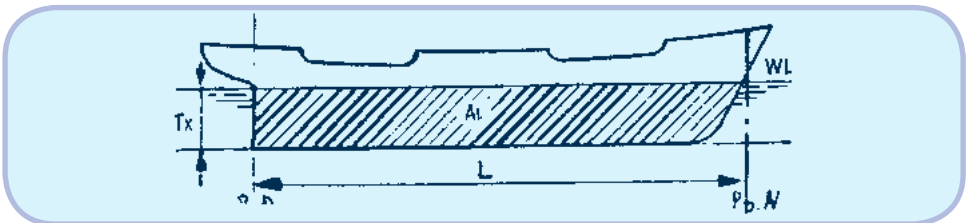


Fig. 19

d) Coefficiente di finezza totale di carena (Block coefficient) che è costituito dal rapporto tra il volume di carena V ed il volume del parallelepipedo avente per lati la lunghezza, la larghezza e l'immersione della nave.

$$\varphi = \frac{V}{L \cdot l \cdot i} \approx 0,45 \div 0,80$$

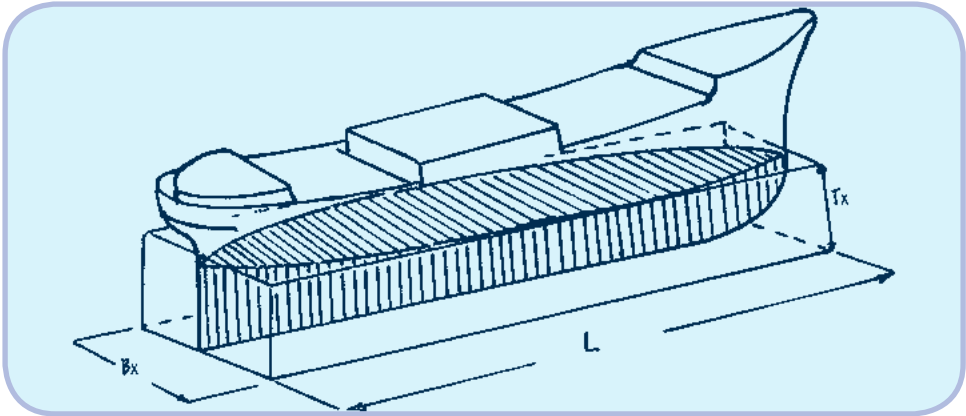


Fig. 20

e) Coefficiente di finezza longitudinale di carena (prismatic coefficient), che è costituito dal rapporto tra il volume della carena V ed il volume del cilindro avente per sezione retta la sezione maestra immersa e per lunghezza la lunghezza della nave.

$$\psi = \frac{V}{B \cdot L} \approx 0,60 \div 0,80$$

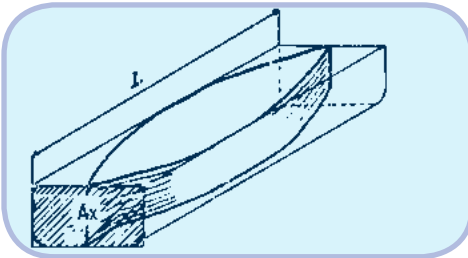


Fig. 21

Risultando: $V = \varphi \cdot L \cdot l \cdot i$
 $B = \beta \cdot l \cdot i$

sarà: $\psi = \frac{V}{B \cdot L} = \frac{\varphi}{\beta}$

Si tengano inoltre presenti le seguenti notazioni in uso nella letteratura internazionale specializzata:

L = Lunghezza tra le perpendicolari

B = Larghezza

T = Immersione

V = Volume di carena (a volte indicato con delta rovesciato)

A_x = Area della sezione maestra

A_w = Area della figura di galleggiamento

C_B = Coefficiente di finezza totale

$$C_B = V / (L \cdot B \cdot T)$$

C_x = Coefficiente di finezza della sezione maestra

$$C_x = A_x / (B \cdot T)$$

C_{wp} = Coefficiente di finezza della figura di galleggiamento

$$C_{wp} = A_w / (L \cdot B)$$

$$C_p = V / (A_x \cdot L)$$

C_v = Coefficiente volumetrico

$$C_v = V / L^3$$

L/B = Rapporto lunghezza larghezza

B/T = Rapporto larghezza immersione

D/T = Rapporto altezza di costruzione immersione.

Con il significato della notazione sopraelencata si riporta a scopo esemplificativo la tabella dei coefficienti e dei rapporti dimensionali desunta dal noto testo: Colombo - "Manuale dell'Ingegnere" Pg. G120.

Coefficienti e rapporti dimensionali

	C_B	C_x	C_{wp}	L/B	B/T	$1000 \cdot C_v$	D/T
Grandi navi lente	0,78 ÷ 0,85	≥ 0,99	0,85 ÷ 0,95	5,5 ÷ 7,0	2,2 ÷ 3,0	7,0 ÷ 8,5	1,2 ÷ 1,4
Navi da carico lente e medio-veloci	0,72 ÷ 0,78	0,98 ÷ 0,99	0,75 ÷ 0,85	5,5 ÷ 7,0	2,2 ÷ 3,0	6,0 ÷ 7,0	1,4 ÷ 1,6
Navi da carico medio-veloci e veloci	0,65 ÷ 0,72	0,96 ÷ 0,98	0,70 ÷ 0,80	6,0 ÷ 7,5	2,4 ÷ 3,5	5,0 ÷ 6,5	1,4 ÷ 1,7
Navi da carico molto veloci	0,57 ÷ 0,65	0,94 ÷ 0,97	0,70 ÷ 0,75	6,0 ÷ 7,5	2,4 ÷ 3,5	4,5 ÷ 6,0	1,5 ÷ 1,9
Navi per traffico costiero	0,68 ÷ 0,75	0,98 ÷ 0,99	0,75 ÷ 0,82	5,0 ÷ 7,0	2,2 ÷ 3,0	6,0 ÷ 7,5	1,2 ÷ 1,4
Navi passeggeri	0,55 ÷ 0,65	0,93 ÷ 0,97	0,65 ÷ 0,80	6,0 ÷ 8,0	2,5 ÷ 3,5	2,5 ÷ 5,0	1,6 ÷ 2,0
Navi traghetto	0,55 ÷ 0,62	0,92 ÷ 0,97	0,70 ÷ 0,80	5,5 ÷ 7,5	3,0 ÷ 4,0	3,5 ÷ 5,5	1,1 ÷ 1,5
Navi da pesca grandi	0,50 ÷ 0,62	0,70 ÷ 0,90	0,65 ÷ 0,80	4,5 ÷ 6,0	2,0 ÷ 3,0	7,0 ÷ 10,0	1,2 ÷ 1,5