



Paolo Di Candia

**Appunti di**  
**SCIENZE DELLA NAVIGAZIONE**  
**E TECNOLOGIE NAVALI 2-II**

2013

# TECNOLOGIA DELLA NAVE

## (STABILITÀ E ASSETTO)



## PREFAZIONE

La Riforma della Scuola Secondaria Superiore, giunta al IV anno di Corso, ha previsto per gli Istituti Tecnici ad Indirizzo Tecnologico, la confluenza degli ex "Nautici" in Istituti Statali per i *Trasporti e la Logistica*. Il Piano di studi ministeriale, nell'Articolazione "*Conduzione del Mezzo Navale*" presenta, al II Biennio e al V Anno, la disciplina denominata "*Scienze della Navigazione, Struttura e Costruzione del Mezzo-Nave*".

Una riflessione indietro nel tempo, conduce a ricordare che già nelle precedenti miniriforme, Sperimentali ed Assistite, per l'Istruzione Nautica (Progetto "ORIONE" 1982, Progetto "NAUTILUS" 1992), le materie tecnico-scientifiche di Indirizzo avevano subito modifiche nella nomenclatura rispetto all'Ordinamento precedente (1961), alterando di poco i contenuti e gli obiettivi di apprendimento, aggiornandoli, ma distribuendoli diversamente nel Biennio di Specializzazione (IV e V classe – Trasporto Marittimo ed Apparat e Impianti Marittimi).

Alla neonata trans-disciplina "*Scienze della Navigazione, Struttura e Costruzione del Mezzo-Nave*", si esprime un giudizio *non positivo* per il numero delle ore settimanali assegnate nel triennio, e un parere favorevole della visione unitaria, in quanto la "*Navigazione*", intesa come l'attività di conduzione del Mezzo-navale, richiede delle *Competenze* ben definite dalle Convenzioni Internazionali (STCW 1978/95), le quali non distinguono più le *Abilità* da possedere per discipline. Del resto, l'obiettivo principale da raggiungere nella conduzione della Nave, nell'attività del Trasporto, è la Sicurezza negli spostamenti, unitamente al fattore economia dell'intera traversata.

Ciò non può prescindere dalle responsabilità e idoneità dell'*Ufficiale di Navigazione*, il quale deve conseguire e, quindi, possedere Conoscenze sulla *Struttura della Nave* e le sue *dotazioni tecnologiche*, e saperi che riguardano lo studio dello *stato del mare* e dell'*aria*, in quanto essi sono i *mezzi fisici* in cui vengono espletati i viaggi marittimi.

Allora è facile comprendere come la Scienza della Navigazione, intesa anche come Governo e Pilotaggio della Nave e inseguimento di una prestabilita Rotta, comprenda le problematiche della *Tecnica dei Trasporti Marittimi* per la gestione del carico, e del *Tempo Meteorologico* per la Sicurezza della Navigazione.

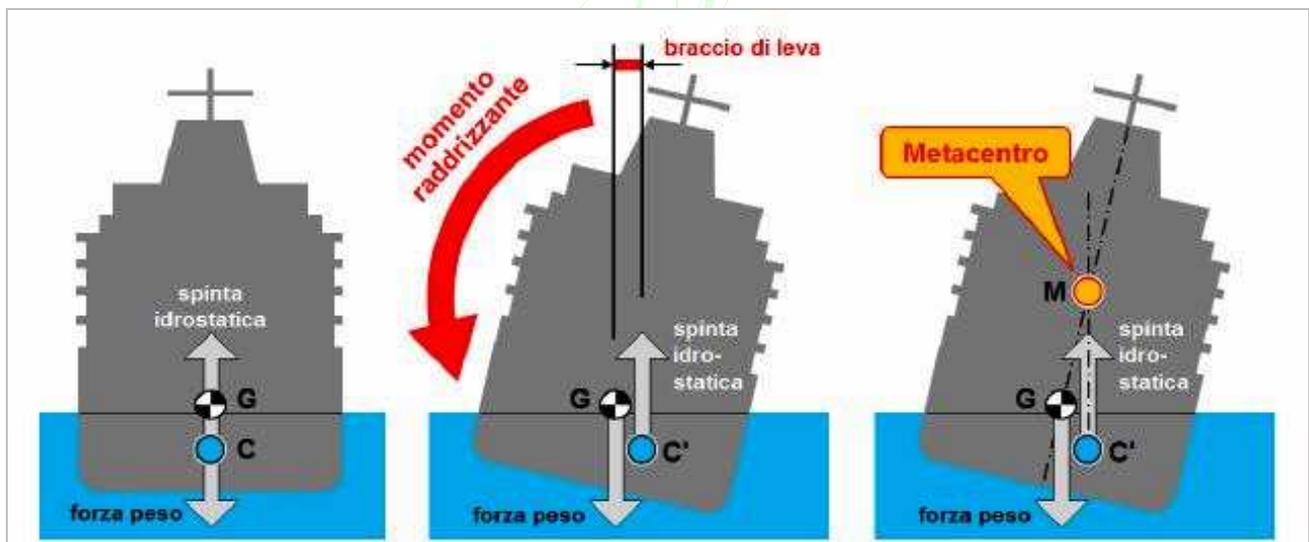
Queste considerazioni spiegano l'elaborazione degli Appunti "SCIENZE DELLA NAVIGAZIONE E TECNOLOGIE NAVALI" nella stesura ivi riportata, anche se si è mantenuto la distinzione in tre Parti, e ciò solo per motivi organizzativi della nuova disciplina. Quanto alla programmazione didattica per "*Competenze in esito*", esse sono impostate secondo la Direttiva delle Linee Guida Ministeriale, in maniera rigorosa e dettagliata.

Gli Appunti che seguono in questa Sezione riguardano le nozioni fondamentali della *Stabilità* e *Assetto* della nave e quindi la *Geometria*, la *Statica* e la *Dinamica*.

Termoli, Settembre 2013

*Prof. Paolo Di Candia*

<b>Competenze in esito N° 3</b>	Gestire in modo appropriato gli spazi a bordo e organizzare i servizi di carico e scarico, di sistemazione delle merci e dei passeggeri.
<b>OBIETTIVI SPECIFICI DI APPRENDIMENTO</b>	
<b>Abilità</b>	- Verificare la stabilità, l'assetto del mezzo di trasporto navale nelle varie condizioni di carico.
<b>Conoscenze</b>	- Condizioni di sicurezza e di equilibrio del mezzo di trasporto navale, in relazione alle condizioni ambientali, all'imbarco, allo spostamento dei pesi.
<b>Contenuti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometria della nave</li> <li>- Statica della nave: stabilità trasversale e longitudinale</li> <li>- Stabilità dinamica</li> <li>- Spostamento dei pesi a bordo</li> <li>- Assetto e variazione d'assetto</li> </ul>



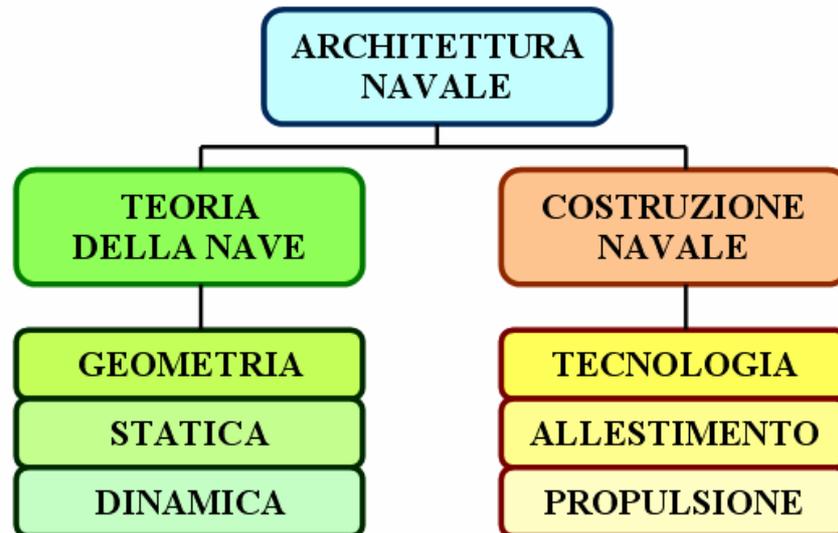
*Il presente e-book è stato realizzato senza fini di lucro; il suo contenuto può essere distribuito e usato liberamente per finalità didattiche e divulgative. Le immagini utilizzate sono, in gran parte, di pubblico dominio e disponibili in rete. Nel rispetto della vigente legislazione, non si intende violare alcun copyright. Eventuali marchi registrati sono di proprietà dei rispettivi titolari. È rigorosamente vietato l'utilizzo e la diffusione a fini commerciali.*

**“Se Pitagora avesse posto il copyright sulle sue tabelline non saremmo mai arrivati sulla Luna” (Pelagusplus)**

## TECNOLOGIA DELLA NAVE

Tutte le cognizioni relative alle Navi (cioè alla *forma*, alle *dimensioni*, alla *produzione*, alle *qualità nautiche*, ai particolari di *costruzione* e di *allestimento*, alla *manutenzione*, alla *riparazione*, ecc.) formano oggetto della *Scienza* che va sotto il nome di *Architettura Navale*.

L'Architettura Navale comprende *due Parti* distinte: la *Teoria della Nave* e la *Costruzione Navale*.



La *Teoria della Nave*, facendo astrazione dai particolari costruttivi, considera la Nave nel suo insieme e ne fa lo studio dal punto di vista *geometrico*.

La *Costruzione Navale* si occupa invece dello studio e della *realizzazione* delle parti che compongono la Nave nel suo insieme, dei *materiali da costruzione*, dei mezzi per metterli in opera, dell'*allestimento*, della *propulsione*.

La Teoria della Nave viene ordinariamente suddivisa in *tre parti*, non nettamente distinte, che sono: la *Geometria*, la *Statica* e la *Dinamica della Nave*.

La *Geometria* individua le *dimensioni lineari*, di *superficie* e di *volume* della nave e ricerca l'ottimizzazione di tali dimensioni e dei relativi *punti caratteristici* (baricentri, centri di carena, ecc.) nell'ottica del progetto di base.

La *Statica*, che è la *meccanica della Nave* nelle condizioni di riposo, si occupa essenzialmente dello studio della *stabilità*.

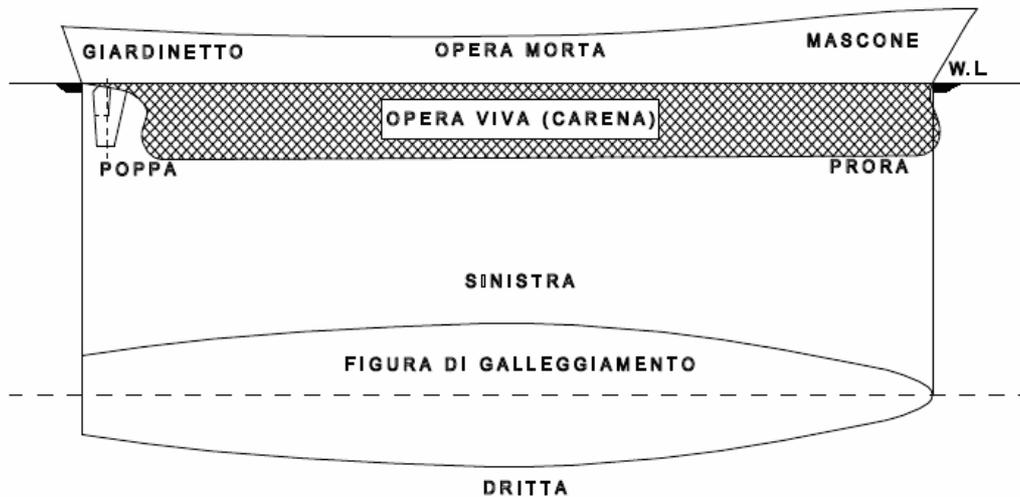
La *Dinamica* tratta della *resistenza al moto*, della *manovrabilità*, della *tenuta al mare*, dei mezzi *propulsivi (elica)*.

### ▪ **GEOMETRIA DELLA NAVE**

#### - **Definizioni riguardanti la geometria della carena**

Lo scafo della nave è una superficie complessa ed in generale non rappresentabile mediante un'equazione. Per questo motivo esso viene rappresentato per mezzo di sezioni ottenute con tre fasci di piani paralleli ortogonali tra loro. Prima di illustrare questa forma di rappresentazione della carena è necessario passare in rassegna la terminologia utilizzata per descrivere lo scafo della nave.

- *Nave (Ship)*: Galleggiante atto a muoversi sulla superficie del mare dotato di propri mezzi di propulsione e governo.



- *Scafo (Hull)*: quella parte della nave che ne costituisce il corpo impermeabile e resistente generalmente, diviso in due parti uguali da un *piano di simmetria*.

- *Prora (o prua) (Head, Bow)*: l'estremità anteriore dello scafo, quella che nella marcia avanti fende per prima l'acqua.

- *Prodi (Stern)*: l'estremità posteriore dello scafo

- *Poppiero (After, Astern)*: che si trova verso poppa

Per un osservatore che sta nel piano di simmetria e rivolto verso prora, si chiamano:

- *Lato sinistro (Port side)*: la parte di nave a sinistra del piano di simmetria

- *Lato dritto (Starboard side)*: la parte di nave a destra del piano di simmetria

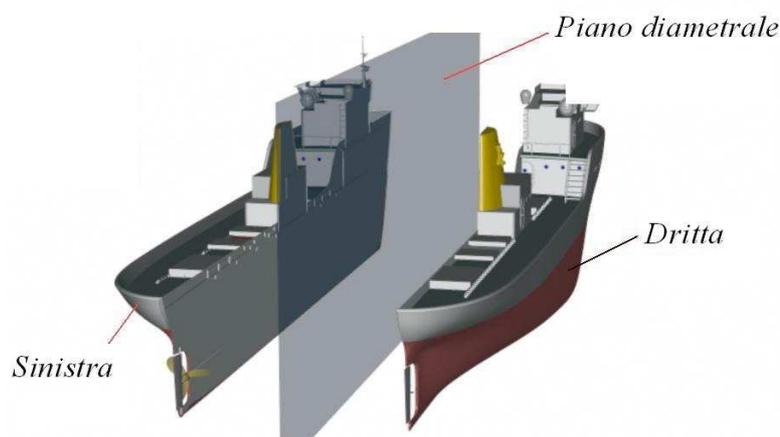
- *Carena o Opera viva (Hull, Quick-works)*: la porzione di scafo che si trova al di sotto dell'acqua

- *Opera morta (Topside, Dead-works)*: la porzione di scafo che si trova al di fuori dell'acqua

- *Mascone (Bow, Loof)*: parte prodiera dell'opera morta

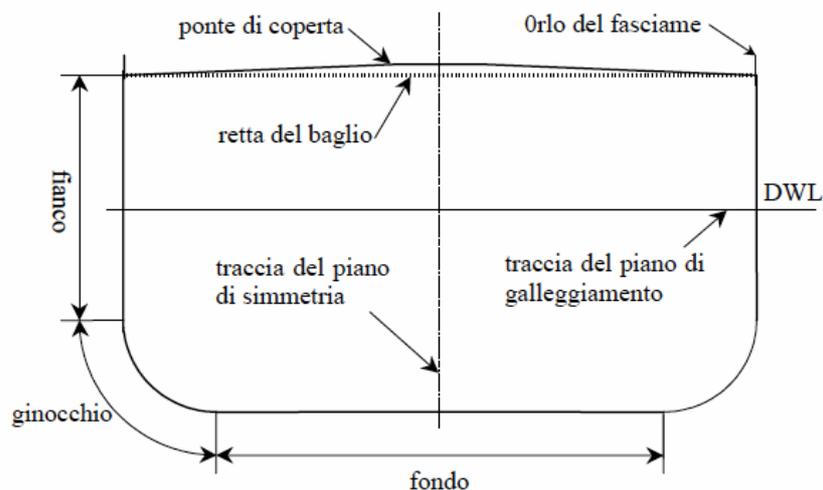
- *Giardinetto (Quarter)*: parte poppiera dell'opera morta

La nave si distingue da un galleggiante generico poiché possiede quasi sempre un piano di simmetria, cioè un piano longitudinale e verticale rispetto al quale la *carena* è *simmetrica*. La gondola veneziana è uno dei rarissimi esempi di *opera viva asimmetrica*; questa asimmetria è dovuta al particolare tipo di propulsione che impedirebbe ad uno scafo simmetrico di procedere in linea retta. Più frequentemente l'opera morta può essere asimmetrica, generalmente in conseguenza di particolari necessità operative della nave.

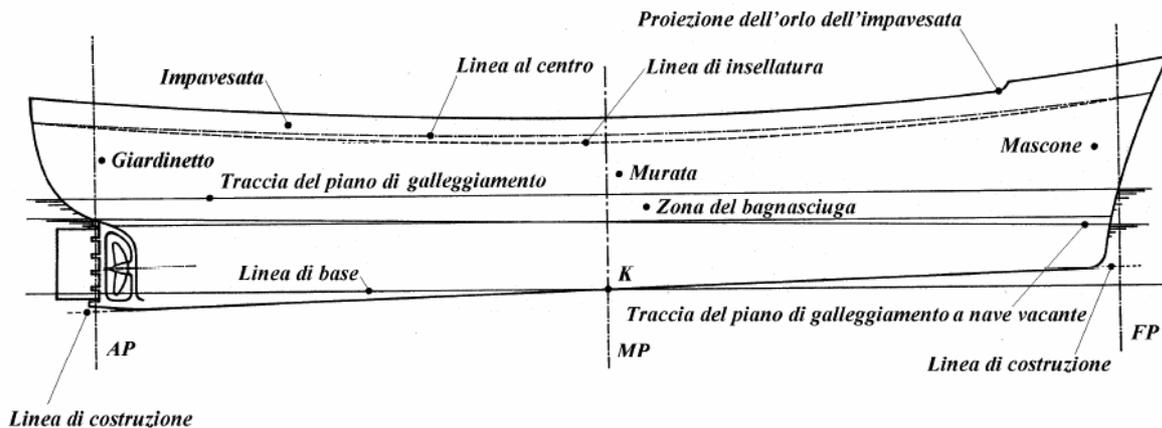


Dal momento che la nave può risultare *più o meno immersa*, in conseguenza del carico che essa porta, si definisce una *condizione di carico particolare*, detta *condizione di progetto*, che viene assunta come base per la progettazione. Le definizioni di carena ed opera morta fanno riferimento a questa condizione.

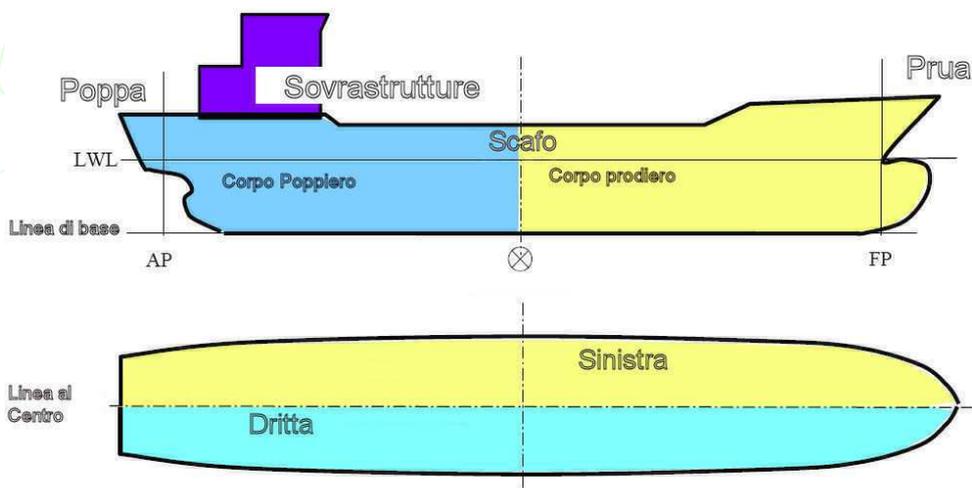
- *Piano di galleggiamento (Water plane)*: è la superficie di separazione tra parte immersa e parte emersa dello scafo; definisce il livello del fluido sul quale la nave galleggia.
- *Linea di galleggiamento o linea d'acqua (Water line)*: è l'intersezione del piano di galleggiamento con la superficie dello scafo.
- *Linea di galleggiamento di progetto (Design water line, DWL)*: è l'intersezione del piano di galleggiamento con la superficie dello scafo quando la nave si trova nella condizione di carico di progetto.
- *Figura di galleggiamento*: è la superficie racchiusa dalla linea di galleggiamento
- *Fasciame (Plating, Shell)*: l'insieme delle lamiere che costituiscono lo scafo
- *Orlo del fasciame*: estremità superiore del fasciame dello scafo, si trova in prossimità dell'intersezione tra il fianco ed il ponte di coperta.
- *Corso (di fasciame) (Strake)*: ciascuna delle strisce di lamiera che costituiscono il fasciame.
- *Superficie fuori ossatura (o superficie entro fasciame) (Moulded surface)*: superficie interna del fasciame che viene a contatto con le strutture di rinforzo.
- *Ponte (Deck)*: superficie che si estende da murata a murata che suddivide il volume interno allo scafo in zone sovrapposte. I ponti possono essere estesi a tutta la lunghezza della nave o interessarne solo una parte.
- *Copertino (Flat)*: ponte di estensione longitudinale molto modesta.
- *Ponte di coperta o Coperta (Main deck, Upper deck)*: ponte che rappresenta la chiusura dello scafo verso l'alto. Esso può presentare, specialmente nelle navi più vecchie, una doppia curvatura che favorisce il deflusso fuoribordo dell'acqua di mare eventualmente imbarcata.



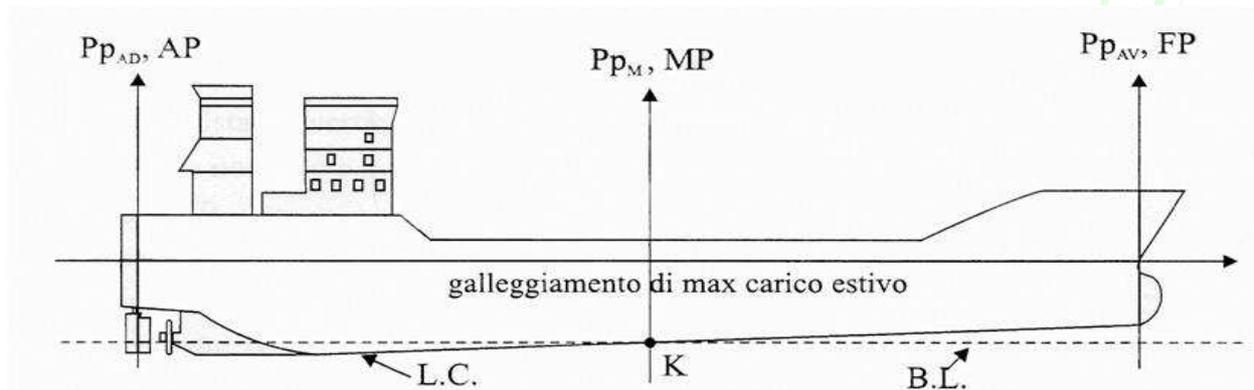
- *Retta del baglio*: linea orizzontale, contenuta in un piano verticale ortogonale al piano di simmetria della carena, congiungente i punti di intersezione tra ponte di coperta e murate.



- **Linea di insellatura**: proiezione sul piano di simmetria della linea di intersezione del ponte di coperta con le murate.
- **Insellatura (Sheer)**: distanza tra la linea d'insellatura e la traccia del piano di galleggiamento tangente all'intersezione tra ponte e murate. L'insellatura assume grandezza diversa a seconda della posizione longitudinale considerata; in particolare essa è più grande nelle sezioni prossime alle estremità prodiera e poppiera e diminuisce verso la mezzeria della nave.
- **Bolzone (Camper)**: distanza, misurata nel piano di simmetria, tra il *ponte di coperta* e la *retta del baglio*. Il bolzone assume grandezza diversa a seconda della posizione longitudinale considerata; esso è maggiore nelle sezioni a centro nave e diminuisce verso le estremità prodiera e poppiera.
- **Fianco o Murata (Ship side)**: la parte dello scafo che ne rappresenta la *chiusura laterale*. Nella parte centra (**Bottom**): la parte dello scafo che ne rappresenta la *chiusura inferiore*. Nella parte centrale della nave esso può essere piano, orizzontale od inclinato.
- **Ginocchio (Bilge)**: parte dello scafo che raccorda fianco e fondo.
- **Perpendicolare Avanti (Fore Perpendicular)**: retta verticale, appartenente al piano di simmetria, passante per l'intersezione tra il piano di galleggiamento di progetto e la superficie interna del fasciame della prora. Viene identificata dai simboli  $PP_{AV}$  o  $FP$ .
- **Perpendicolare Addietro (Aft Perpendicular)**: retta verticale, appartenente al piano di simmetria, passante per l'asse di rotazione del timone. Viene identificata dai simboli  $PP_{AD}$  o  $AP$ .
- **Perpendicolare al Mezzo (Midship Perpendicular)**: retta verticale, appartenente al piano di simmetria, equidistante dalle perpendicolari avanti e addietro. Viene identificata dai simboli  $PP_{AM}$  o  $MP$ .

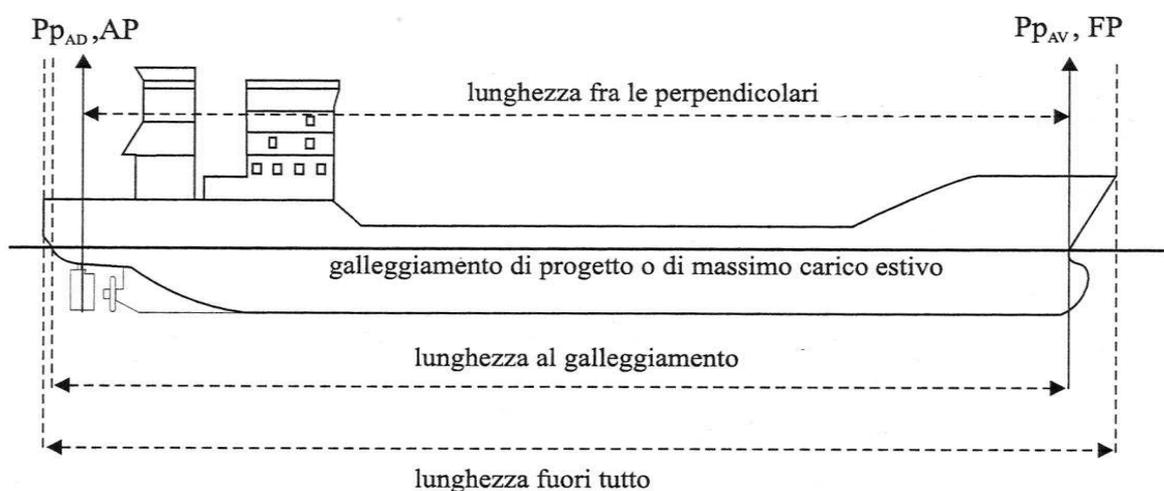


- *Chiglia ([Keel)*: corso di fasciame del fondo a cavallo del piano di simmetria.
- *Linea di costruzione o linea di chiglia (Keel line)*: linea di intersezione tra la superficie fuori ossatura del fondo della carena ed il piano di simmetria (appartiene alla superficie interna della chiglia). Viene indicata con il simbolo  $LC$  o  $KL$  nei paesi anglosassoni.
- *Punto di chiglia*: intersezione tra la perpendicolare al mezzo e la linea di chiglia. Viene indicato con il simbolo  $K$ .
- *Linea di sottochiglia*: linea di intersezione tra la superficie fuori fasciame del fondo della carena ed il piano di simmetria (appartiene alla superficie esterna della chiglia).
- *Linea di base (Base line)*: Linea appartenente al piano di simmetria, parallela al galleggiamento di progetto, passante per il punto di chiglia. Viene indicata con i simboli  $LB$  o  $BL$ .

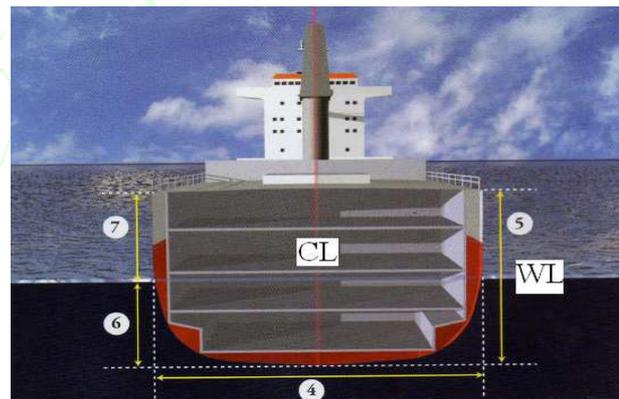
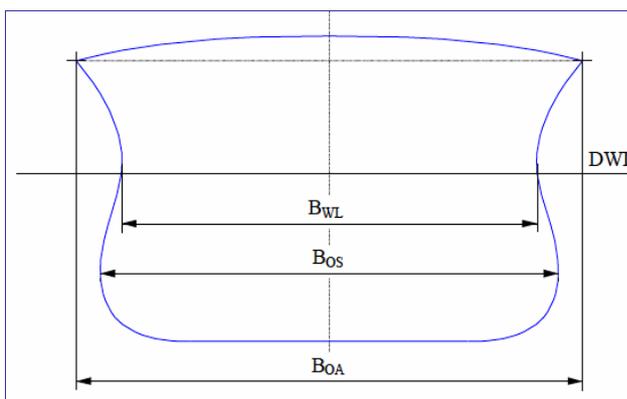
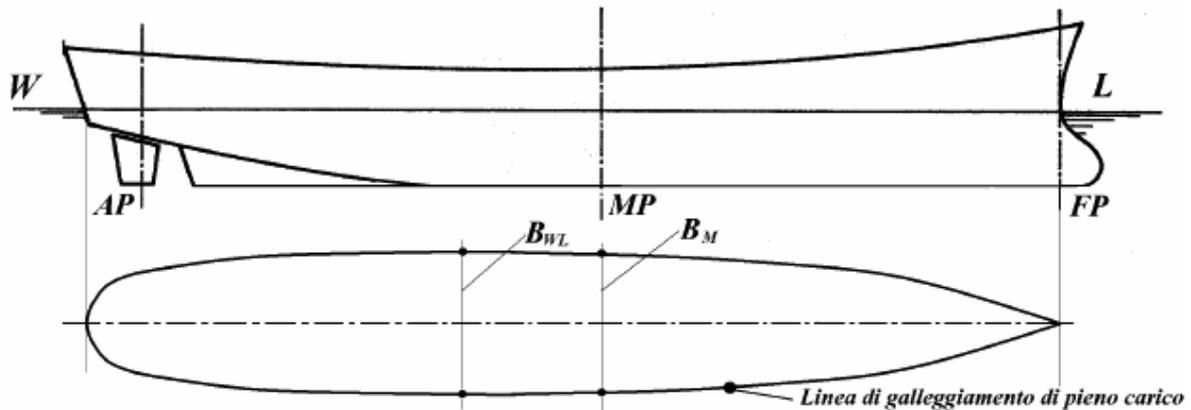


Per quanto riguarda le definizioni delle *dimensioni della nave* si deve osservare che queste si riferiscono sempre alla *superficie fuori ossatura*, nella letteratura anglosassone per evidenziare questa caratteristica si aggiunge, a volte, l'aggettivo *molded* al nome della grandezza.

- *Lunghezza tra le Perpendicolari (Length between Perpendiculars)*: lunghezza equivalente alla distanza tra la *perpendicolare avanti* e la *perpendicolare addietro*. Viene indicata con il simbolo  $L_{PP}$ .
- *Lunghezza al galleggiamento (Length of the water line)*: lunghezza, misurata nel piano di simmetria, della linea di galleggiamento. Viene indicata con il simbolo  $L_{WL}$ .
- *Lunghezza totale di carena (Length overall submerged)*: lunghezza della carena. Viene indicata con il simbolo  $L_{OS}$ . Per le carene prive di bulbo a proravia della  $PP_{AV}$  essa coincide con la  $L_{WL}$ .
- *Lunghezza fuori tutto (Length overall)*: lunghezza massima dello scafo, indicata con il simbolo  $L_{OA}$ .

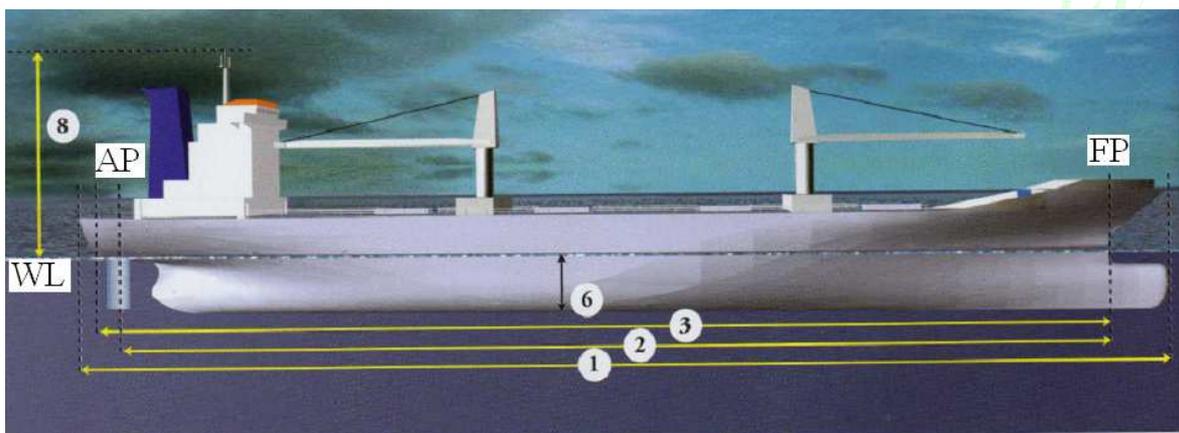
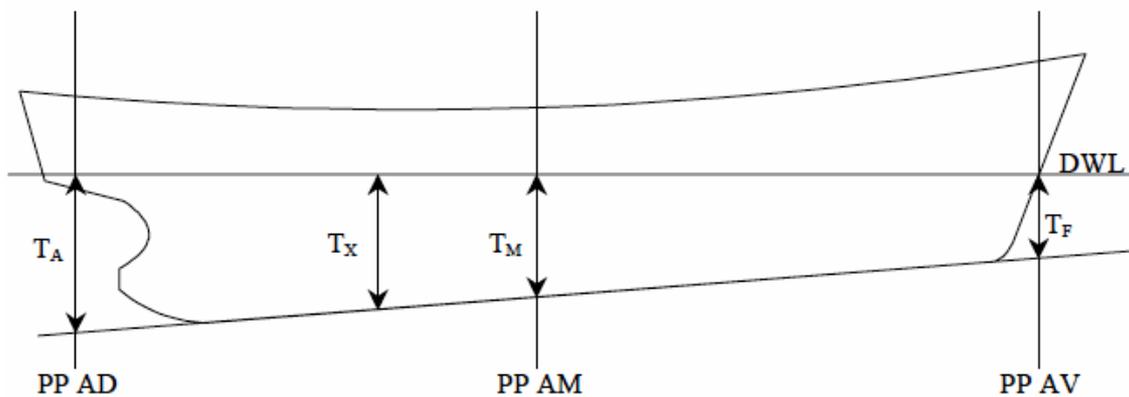


- *Sezione maestra (Maximum transverse section)*: sezione trasversale della carena caratterizzata dal valore massimo dell'area immersa al di sotto del galleggiamento di progetto.
- *Corpo cilindrico (Parallel middle body)*: porzione di scafo, generalmente situata nella parte centrale, ove la sezione trasversale della carena si mantiene invariata.
- *Larghezza al galleggiamento (Breadth of the water line)*: massima larghezza in corrispondenza della linea d'acqua di progetto. Viene indicata con il simbolo  $B_{WL}$ .



$B_{OA}$  Breadth overall;  $B_{OS}$  Breadth overall submerged;  $B_{WL}$  Breadth of the waterline; WL Waterline; CL Centreline; 4 -  $B_{OA}$  Breadth over all; 4 -  $B_{MLD}$  Breadth or beam; 5 - Depth D; 6 - Draft; 7- Freeboard.

- *Larghezza a metà nave*: larghezza, misurata sulla linea d'acqua di progetto, della sezione contenente la perpendicolare al mezzo. Si indica con il simbolo  $B_M$ . Il simbolo  $B$ , usato senza ulteriori specificazioni, indica solitamente questa larghezza.
- *Larghezza della sezione maestra*: larghezza, misurata sulla linea d'acqua di progetto, della sezione maestra. Si indica con il simbolo  $B$ .
- *Larghezza massima (Breadth overall)*: è la massima larghezza dello scafo. È indicata dal simbolo  $B_{OA}$ .
- *Larghezza massima di carena (Breadth overall submerged)*: massima larghezza della parte immersa della carena. Si indica con il simbolo  $B_{OS}$ .



1 - Length over all LOA; 2 - Length between perpendicular LPP; 3 - Length waterline LWL; 4 - Breadth over all BoA; 4 - Breadth or beam B<sub>MLD</sub>; 5 - Depth D; 6 - Draft Forward ( $T_{FWD}$ ); 6 - Draft at the stern ( $T_{AF}$ ); 7 - Freeboard; 8 - Air draft.

- *Immersione avanti (Fore draught)*: distanza, misurata sulla perpendicolare avanti, tra il piano di galleggiamento di progetto (massimo carico Estivo) e la linea di chiglia (linea di costruzione). È indicata dal simbolo  $T_F$  ( $T_{AV}$ ).
- *Immersione al mezzo (Midship draught)*: distanza, misurata sulla perpendicolare al mezzo, tra il piano di galleggiamento di progetto e la linea di chiglia. È indicata dal simbolo  $T_M$ .
- *Immersione addietro (Aft draught)*: distanza, misurata sulla perpendicolare addietro, tra il piano di galleggiamento di progetto e la linea di chiglia. È indicata dal simbolo  $T_A$  ( $T_{AD}$ ).
- *Immersione della sezione maestra*: distanza, misurata in corrispondenza della Sezione maestra, tra il piano di galleggiamento di progetto e la linea di chiglia. È indicata dal simbolo  $T_X$ .

### - Scale delle immersioni estreme o scale dei Pescaggi

I segmenti di Perpendicolari comprese tra la *Linea di sottochiglia* e il galleggiamento considerato sono detti *Pescaggio*, la cui lunghezza viene letta sulle *Scale delle Immersioni* fissate a prora e a poppa, generalmente in corrispondenza dei piani trasversali contenenti le Perpendicolari e del piano trasversale a  $L_{WL}/2$ . Esse vengono indicate rispettivamente con la notazione  $I_{AV}$  e  $I_{AD}$ . Lo zero delle scale è al sottochiglia (o al punto più basso della carena sporgente rispetto alla linea di sottochiglia).

Spesso l'Immersione a poppa è diversa dall'Immersione avanti; la differenza tra i due valori è detta Differenza d'immersione ( $\Delta$ ), cioè:

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

Si chiama Immersione media  $I_m$ , la media aritmetica delle predette due immersioni, cioè:

$$I_m = \frac{I_{AV} + I_{AD}}{2}$$

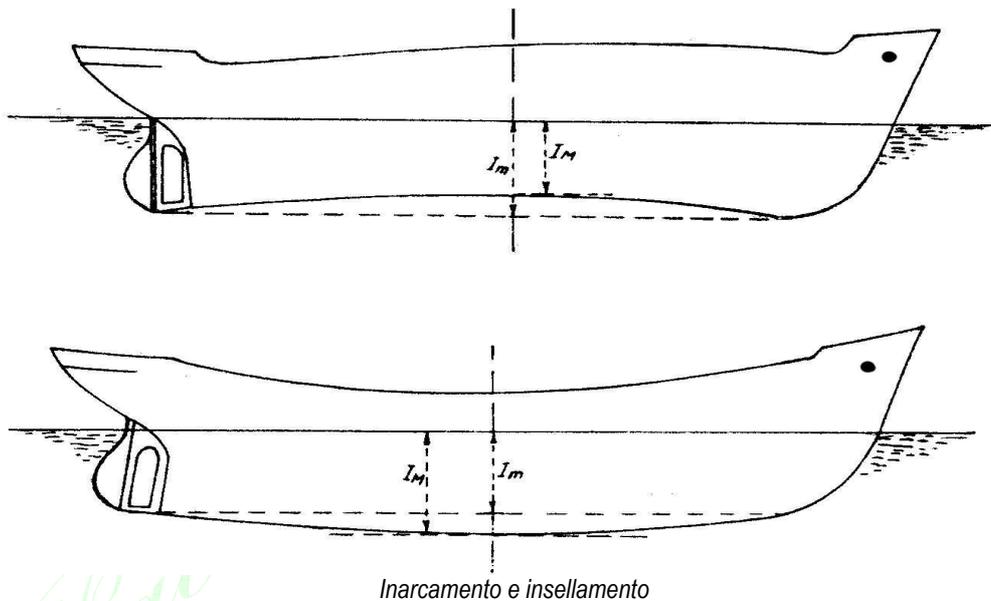
Questa immersione corrisponde a quella misurata a metà Lunghezza tra le Perpendicolari, detta Immersione al mezzo  $I_M$ , se la nave è costruita senza differenza d'immersione, se la chiglia è dritta.

Ferme restando le precedenti ipotesi, se l'immersione al mezzo non corrisponde all'immersione media, vuol dire che la chiglia è incurvata. Si dice che la chiglia ha un *inarcamento* quando risulta  $I_m$  maggiore di  $I_M$  e la differenza chiamasi *freccia di inarcamento*  $a$  :

$$a = I_m - I_M$$

Si dice che la chiglia ha un *insellamento* quando risulta  $I_M$  maggiore di  $I_m$  e la differenza chiamasi *freccia di insellamento*  $a'$  :

$$a' = I_M - I_m$$



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

$$I_m = \frac{I_{AV} + 4I_M + I_{AD}}{6} \quad \text{oppure} \quad I_m = \frac{I_{AV} + 6I_M + I_{AD}}{8}$$

I pescaggi si leggono sulle scale graduate in *decimetri* da un lato e in *piedi* dall'altro lato della *ruota di prora* e del *dritto del timone* - o del *dritto dell'elica*, nel caso di navi senza dritto del timone -, a partire dal canto inferiore della sottochiglia. Queste scale sono dette *Scale dei Pescaggi* o *Scale delle Immersioni*.

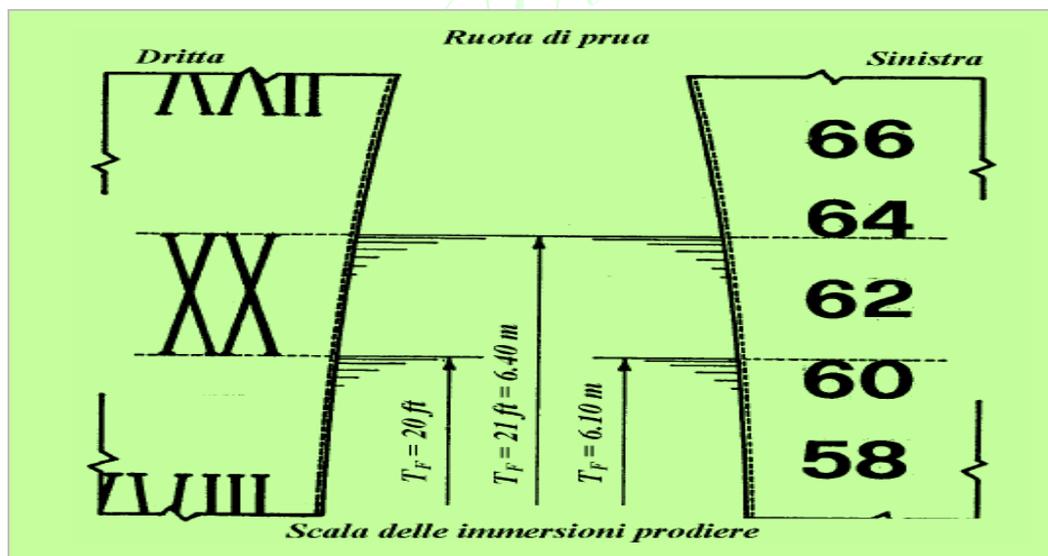
La graduazione delle scale è fatta con cifre dell'altezza di *1 decimetro*, alla distanza verticale l'una dall'altra di *1 decimetro*, e sull'altro lato con cifre alte *6 pollici* intercalate con spazi di uguale altezza.

I numeri indicanti i *pie*di sono in *cifre romane* (la graduazione è fatta con numeri *pari e dispari*); i numeri indicanti i *decimetri* sono in *cifre arabe* (la graduazione è fatta con *numeri pari*). Sulle piccole navi è talvolta 5 centimetri, come pure la distanza tra i numeri ( $1 \text{ piede} = 0,3048 \text{ m}$ ).

Ciascun numero della graduazione della scala indica il pescaggio corrispondente quando la superficie libera del mare tange il lembo inferiore del numero.



Su alcune navi le *scale dei Pescaggi*, dette anche *Targhe dei Pescaggi*, non possono essere sistemate in corrispondenza delle *Perpendicolari*, per cui vengono poste ad una certa distanza da esse. In tal caso bisognerà apportare delle *correzioni* per la non coincidenza delle scale con le *PPpp*, dal momento che i calcoli delle *Carene Dritte* sono svolti considerando la *Lunghezza tra le PPpp*.



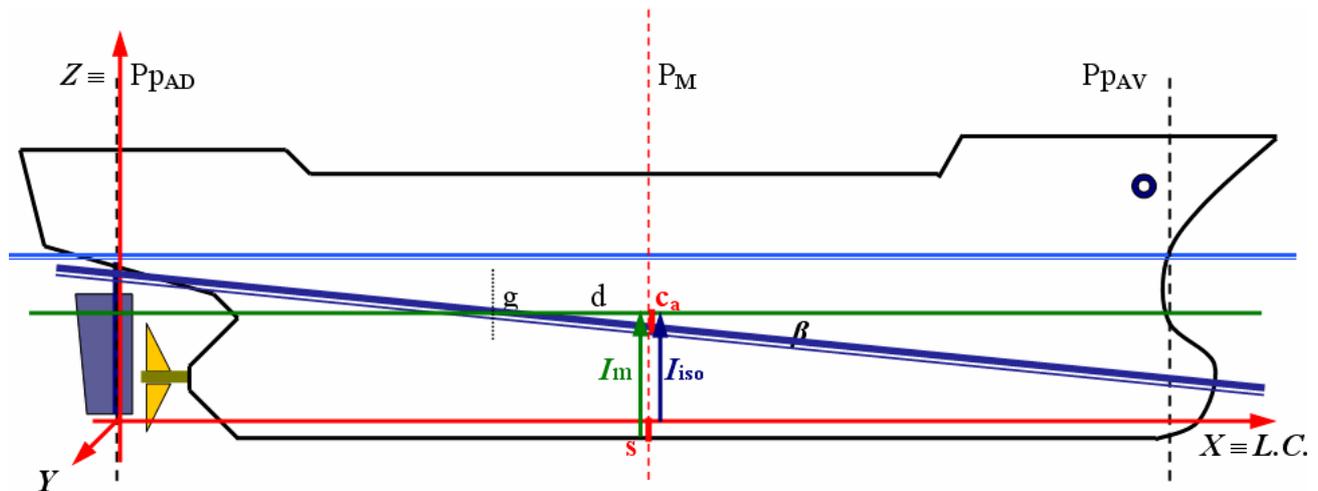
### - **Immersione isocarenica dritta**

I vari *Elementi Geometrici e Meccanici* delle *Carene dritte* vengono ricavati in funzione della *Immersione isocarenica dritta*. Rilevate le immersioni estreme, si avrà quale valore dell'*Immersione Isocarenica dritta*:

$$I_{iso} = I_m - S + C_a$$

in cui:

$I_m$  è l'immersione media;  $s$  è lo spessore della chiglia (distanza tra la linea di costruzione L.C. e la linea di sottochiglia);  $c_a$  è detta correzione d'assetto.



La correzione d'assetto  $c_a = d \cdot \tan \beta$ ; la  $\tan \beta = \frac{I_{AD} - I_{AV}}{L} = \frac{A_S}{L}$ , in cui  $A_S$  è l'assetto della nave ed  $L$  la lunghezza tra le perpendicolari.

### - Elementi caratteristici di una carena: Coefficienti di Finezza

La descrizione della carena di pieno carico è completata fornendo i valori di alcuni parametri adimensionali, caratterizzanti le forme e le dimensioni. Essi hanno grande influenza sulle qualità nautiche della nave. I principali rapporti sono:

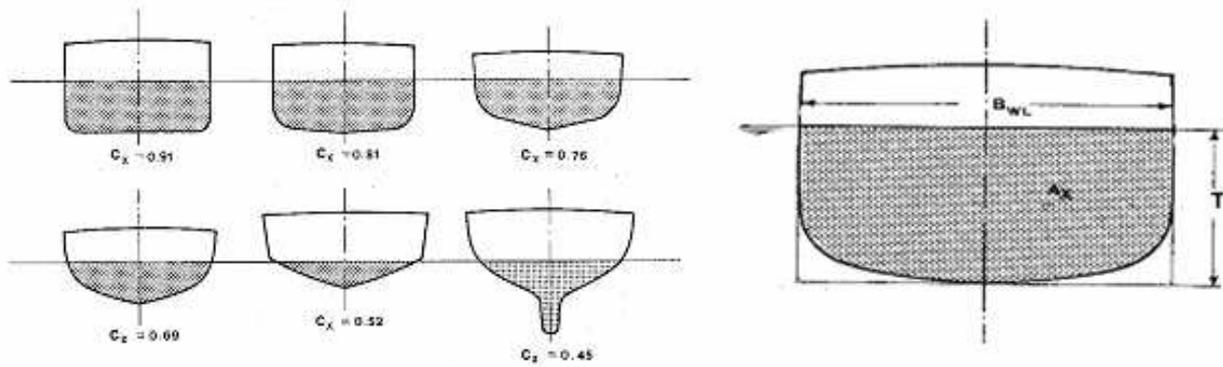
- lineari
- di superficie
- di volume.

In genere, si considerano i seguenti rapporti:

- Rapporto tra la lunghezza e la larghezza:  $L/B$
- Rapporto tra la lunghezza e l'altezza di costruzione:  $L/D$
- Rapporto tra la larghezza e l'immersione:  $B/T$
- Rapporto tra l'altezza di costruzione e l'immersione:  $D/T$
- Rapporto tra la larghezza e l'altezza di costruzione:  $B/D$

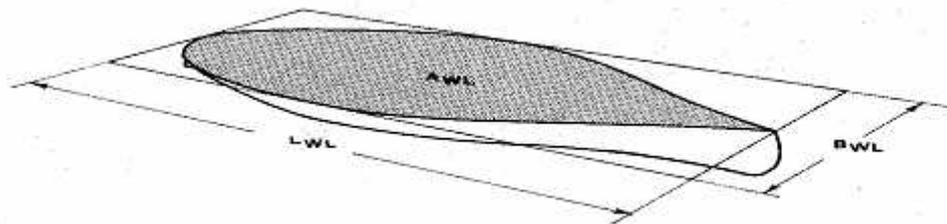
Rapporti di superficie

- Coefficiente di finezza della Sezione Maestra:  $C_x = \frac{A_x}{B_{WL} \cdot T_x} \quad (0.65 \div 0.98)$



- Coefficiente di finezza al galleggiamento:  $C_{WL} = \frac{A_{WL}}{B_{WL} \cdot L_{WL}} \quad (0.65 \div 0.90)$

dove  $A_{WL}$ ,  $B_{WL}$  e  $L_{WL}$  sono rispettivamente Area, Larghezza e Lunghezza della figura di galleggiamento.

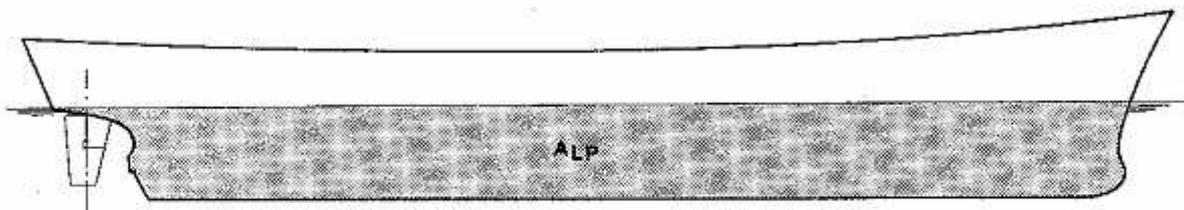


Coefficiente di finezza della sezione maestra immersa



Coefficiente di finezza dell'area di galleggiamento

- Coefficiente di deriva:  $C_{LP} = \frac{A_{LP}}{L_{WL} \cdot T_X} \quad (\approx 1)$



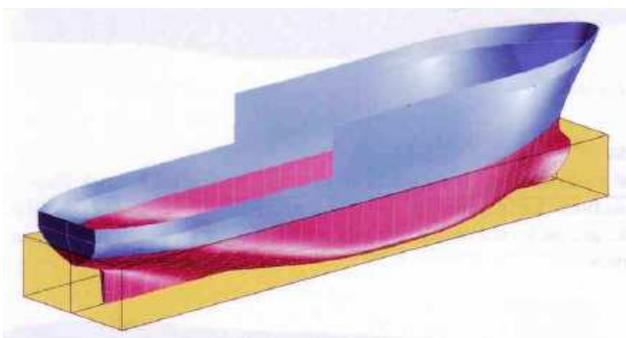
### Rapporti di volume

- Coefficiente di *finezza totale (block-coefficient)*: 
$$C_B = \frac{V}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T_{WL}}$$

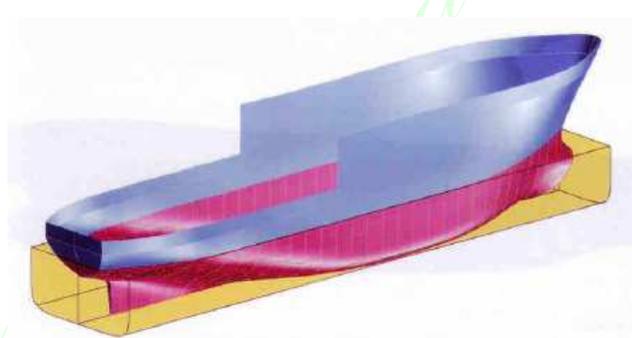
è il rapporto tra il volume della carena ed il parallelepipedo che ha come dimensioni lunghezza, larghezza ed immersione.

- Coefficiente di *finezza longitudinale o prismatico*: 
$$C_P = \frac{V}{L_{WL} \cdot A_X}$$

è il rapporto tra il volume della carena e quello del solido avente come altezza la lunghezza al galleggiamento e come base la sezione maestra.



Coefficiente di finezza totale di carena



Coefficiente di finezza prismatico



Nave con piccolo block-coefficient

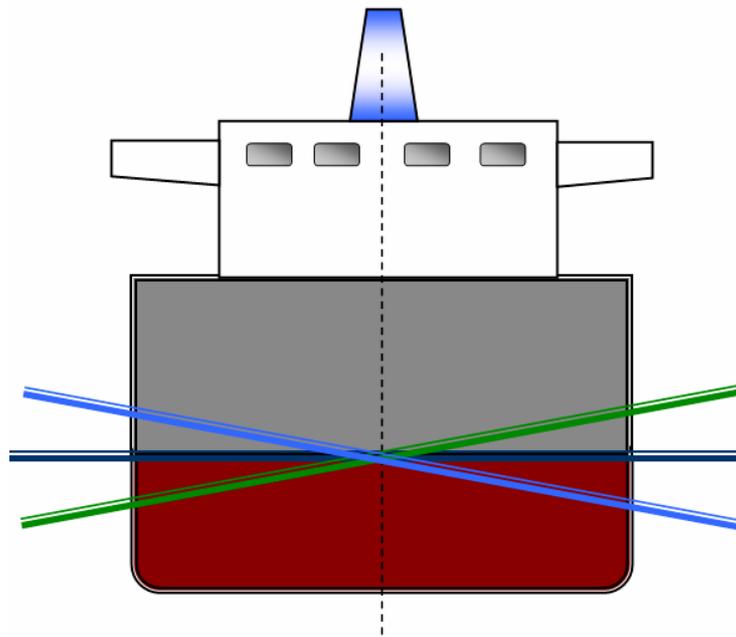


Nave con grande coefficiente prismatico

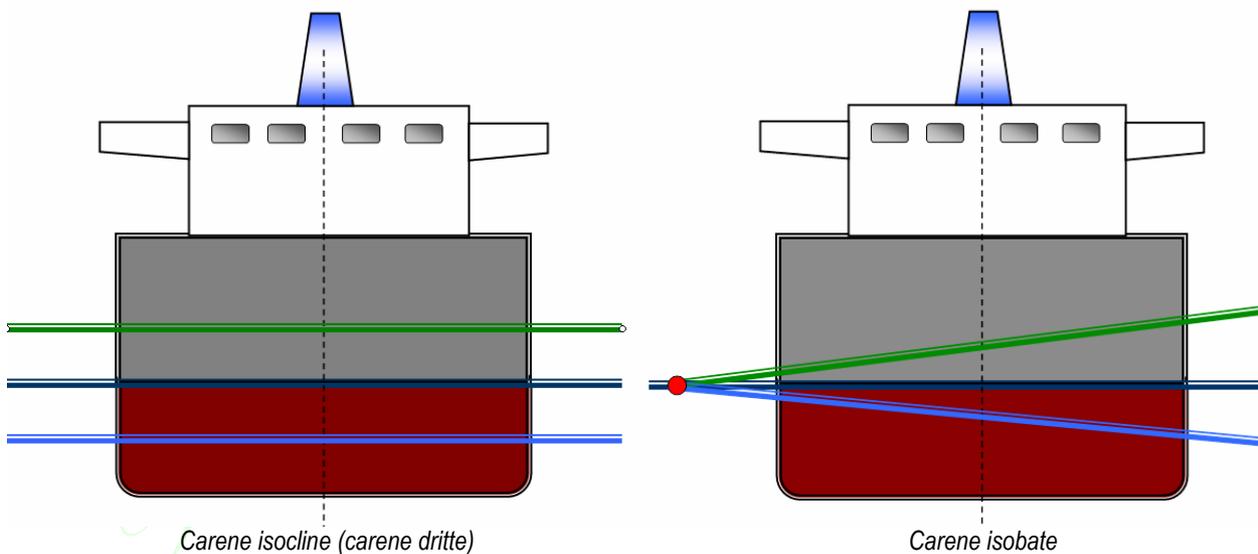
### - Tipologie di carene

Con i movimenti della nave, la carena può assumere forme varie, di diverso o uguale volume:

1. **Isocarene**: sono le carene di uguale volume appartenenti ad un medesimo galleggiante (nave nel movimento di *rollio* o *beccheggio*).



2. **Isocline:** sono le carene di uno stesso galleggiante, limitate da galleggiamenti paralleli (Carene dritte).
3. **Isobate:** sono le carene di uno stesso galleggiante limitate da piani che passano per una retta o un punto, interno o esterno alla nave (imbarco pesi, incaglio, falla).



### - Il Piano di Costruzione

La forma di una nave è la risultante degli innumerevoli tentativi fatti fin dai primordi della navigazione e che non corrisponde a quella di un solido noto in geometria. Per la rappresentazione della superficie esterna delle ossature della nave si ricorre al sistema dei *Piani quotati*. Questo sistema consiste nel sezionare la nave, mediante un determinato numero di piani equidistanti e paralleli fra loro, e nel proiettare sul piano di maggiore area i contorni delle sezioni degli altri piani paralleli.

Il disegno della nave, in scala ridotta secondo il sistema dei piani quotati e paralleli ai tre assi della nave si chiama *Piano di costruzione*. Esso è la base per tutti i disegni costruttivi della nave. Questo è costituito da tre viste ottenute sezionando lo scafo con tre famiglie di piani paralleli a quelli principali:

- piano diametrale o *longitudinale* (è il piano di simmetria della nave)
- piano *orizzontale* (perpendicolare al piano diametrale e passante per la linea di costruzione)
- piano *trasversale* o *verticale* perpendicolare agli altri due piani.

Si vengono pertanto ad individuare *tre famiglie di curve-sezioni* che proiettate sui piani principali, secondo il metodo delle proiezioni ortogonali, formano i *piani di costruzione*.

Le *linee di intersezione* sono ottenute con i piani *trasversali*, *longitudinali* e *orizzontali*, rispettivamente denominate, come si è già detto, *ordinate*, *longitudinali*, *linee d'acqua*.

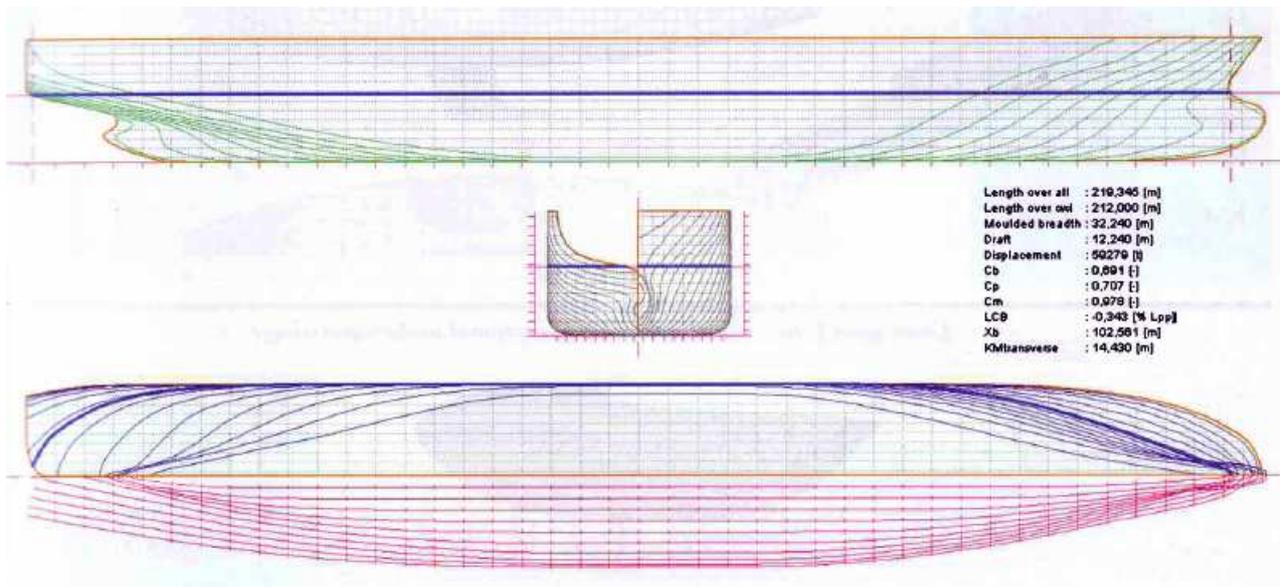
Per l'esistente simmetria rispetto al piano longitudinale diametrale si disegna soltanto *metà del piano* orizzontale e del piano trasversale, ed in quest'ultimo si disegnano a destra del piano diametrale le sezioni relative al *corpo prodiero* ed a sinistra quelle relative al *corpo poppiero*.



Dall'alto: le ordinate, le forme longitudinali, le linee d'acqua

La scala del disegno si fa in generale di *1:200 per grandi navi*; di *1:100 per navi di medio dislocamento*; di *1:20 per piccole navi*. Una leggenda completa il disegno.

Sul piano di costruzione si tracciano generalmente da *5 a 6 sezioni longitudinali*, *10 linee d'acqua* e *20 ordinate*.



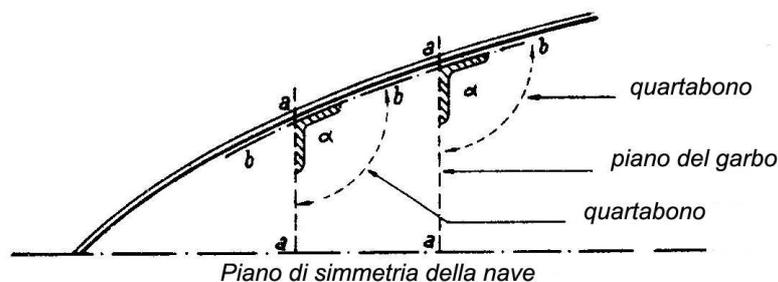
Il **Piano longitudinale** s'immagina coincidente col piano di simmetria della nave e su di esso si disegna (generalmente con la prua a destra) il contorno dello scafo da poppa a prua, nonché le intersezioni con lo scafo dei vari piani longitudinali equidistanti fra loro.

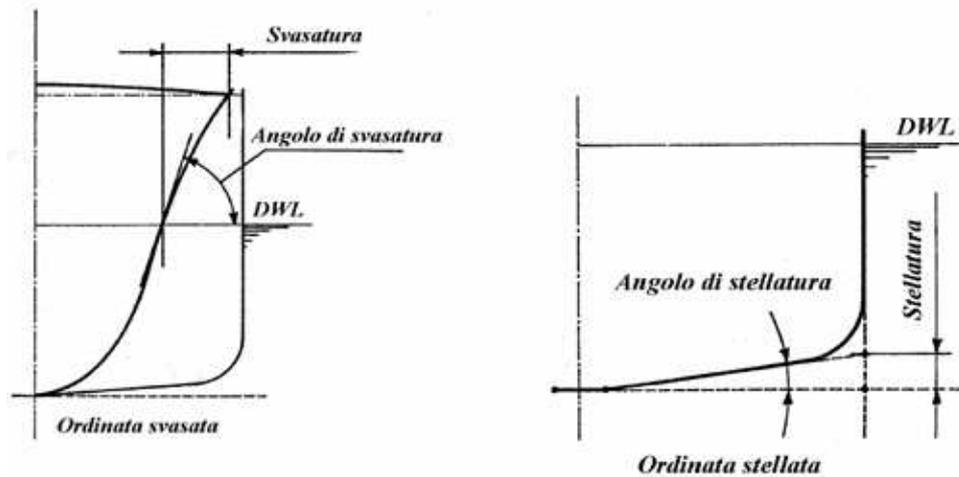
Il **Piano orizzontale**, disegnato a metà per la simmetria della nave rispetto al piano diametrale (generalmente quello di sinistra), s'immagina parallelo al piano di galleggiamento e su di esso si proiettano le varie linee d'acqua, nonché la suola e l'orlo. Sono generalmente chiamati: suola, l'intersezione della faccia superiore dei bagli del ponte principale con la superficie fuori ossatura; orlo, la linea che delimita superiormente il fasciame di murata.

Il **Piano trasversale**, s'immagina parallelo ai piani delle ordinate e su di esso si disegna il contorno della sezione maestra (questo generalmente non cade al mezzo della nave) e i contorni dello scafo, definiti dai piani trasversali equidistanti. Le ordinate sono tracciate a metà: a destra le prodiere e a sinistra le poppiere.

Il piano di costruzione non è sufficiente per la costruzione della nave; bisogna, perciò, eseguirne il disegno in vera grandezza, affinché si possano rilevare i *garbi* o le *seste* (modelli al vero per la lavorazione delle varie strutture; detti *modelli* sono fatti in sottili tavole di legno). Questo disegno viene eseguito sul pavimento di una *sala a tracciare*. A questo disegno si dà il nome di *tracciato alla sala*. La *sesta* dà la linea di contorno giacente nel *piano del garbo* (piano in corrispondenza del quale è sistemata la superficie della ossatura trasversale).

Per costruire un'ossatura necessità conoscere il *quartabono*, cioè l'angolo che il *piano del garbo* forma con la superficie della carena, ossia con la faccia esterna dell'ossatura per diversi punti del contorno.





Un'ordinata si dice: 1) **svasata** se si estende allontanandosi dal piano diametrale; 2) **rientrante** se si estende avvicinandosi al piano diametrale; 3) **stellata** se è diverso da zero l'angolo acuto compreso tra la tangente all'ordinata, nel punto di attacco di questa con la chiglia, forma con il piano orizzontale passante per la Linea di costruzione, detto angolo si dice **angolo di stellatura**; talvolta la stellatura dell'ordinata è definita come la lunghezza del segmento intercettato dalle due rette che definiscono l'angolo di stellatura. Considerato uno dei due rami dell'ordinata, si definisce: **svasatura dell'ordinata**, la distanza tra la normale alla traccia del galleggiamento di pieno carico e la corrispondente estremità della murata; si definisce **rientranza dell'ordinata**, la distanza tra l'estremo superiore della murata e la verticale tangente all'ordinata.

### - Elementi Geometrici e Meccanici delle Carene Dritte

Tracciato il Piano di Costruzione, definita cioè la *forma della nave*, è necessario sapere come si comporta la nave nelle varie condizioni di inclinazione e di assetto in cui essa si può trovare.

Nello studio dei problemi di *Statica della nave*, cioè delle sue caratteristiche di *stabilità ed equilibrio*, è di fondamentale importanza considerare i problemi relativi alla *nave diritta*, cioè con galleggiamento parallelo alla linea d'acqua del piano di costruzione e per questo occorre conoscere le caratteristiche delle *carene diritte* per un campo di immersioni che si estende almeno dal *pieno carico* a *nave vuota*. Ciò non toglie però che per certi problemi sia necessario lo studio geometrico delle carene a varie inclinazioni (*carene inclinate trasversalmente e longitudinalmente*) per un campo adeguato di immersioni.

Si chiamano *Carene Diritte* quelle *carene isocline* delimitate da piani di galleggiamento paralleli a quello di pieno carico, segnato nel *Piano di Costruzione*. Esso viene impiegato per eseguire i calcoli delle carene diritte, al fine di determinare i principali *Elementi Geometrici ed Meccanici* di tutte le carene.

Nello studio delle carene diritte vengono calcolati:

- Area di ciascuna linea d'acqua
- Ascissa del baricentro di ciascuna linea d'acqua
- Area di ciascuna sezione trasversale
- Ordinata del baricentro di ciascuna sezione trasversale
- Ordinata del centro di carena
- Ascissa del centro di carena
- Raggio del metacentro trasversale di carena
- Raggio del metacentro longitudinale di carena
- Coefficienti di finezza
- Dislocamento
- Dislocamento Unitario d'Assetto
- Momento Unitario d'Assetto

L'ascissa e l'ordinata del *Centro di carena*, l'ascissa del *Centro di galleggiamento*, si intendono riferite a due assi ortogonali: il primo, l'asse  $X$  si fa generalmente coincidere con la *Linea di Costruzione*, il secondo (l'asse  $Z$ ) con la *Perpendicolare Addietro*. La terna viene completata con l'asse  $Y$ , ortogonale ai primi due e positivo a sinistra della nave.

Per il calcolo dell'area della *Superficie di Carena*, al fine di valutare la *Resistenza di attrito*, o per altri scopi (es. per la pitturazione della carena), si usa ricorrere a formule empiriche o a metodi pratici.

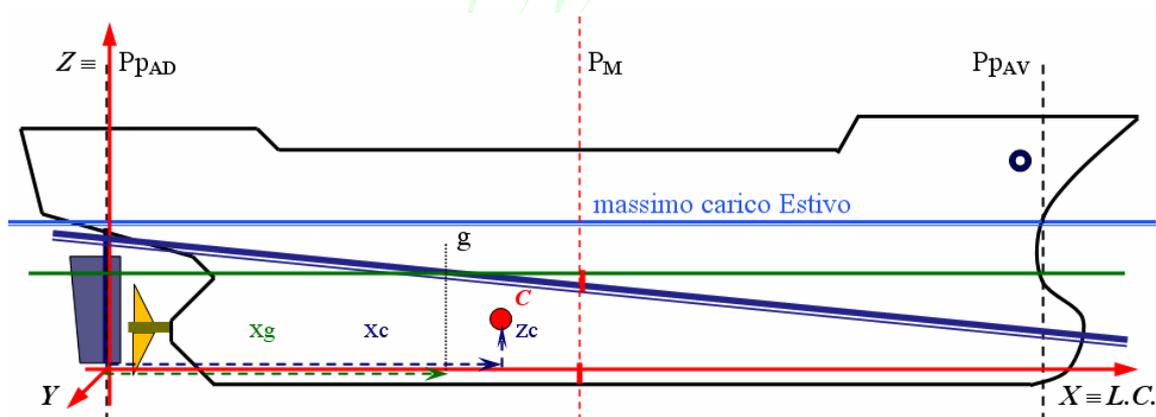
Senza entrare nel merito dello svolgimento dei calcoli, essi si riducono alla determinazione di Aree, applicando i metodi di *quadratura approssimata* (metodo di *Bezout*, di *Simpson*), o con l'ausilio di *planimetro*, che è uno strumento che permette di misurare l'area di una figura limitata da un contorno qualunque e, tenendo conto infine della scala del disegno, si può risalire all'area in vera grandezza.

#### - Determinazione di alcuni elementi Geometrici

- **Ascissa del baricentro di ciascuna linea d'acqua:**  $x_g = \frac{\sum_1^n a_i \cdot x_i}{A}$ , in cui al numeratore vi figura il *Momento statico* della superficie di galleggiamento rispetto all'asse  $Z$ ,  $A$  è l'area di galleggiamento.

- **Ascissa del centro di carena:**  $x_c = \frac{\sum_1^n v_i \cdot x_i}{V}$ , in cui al numeratore vi figura il *Momento statico* del volume della carena (di una data immersione) rispetto all'asse  $Z$ ,  $V$  è il volume di carena.

- **Ordinata del centro di carena:**  $z_c = \frac{\sum_1^n v_i \cdot z_i}{V}$ , in cui al numeratore vi figura il *Momento statico* del volume della carena (di una data immersione) rispetto all'asse  $X$ ,  $V$  è il volume di carena.



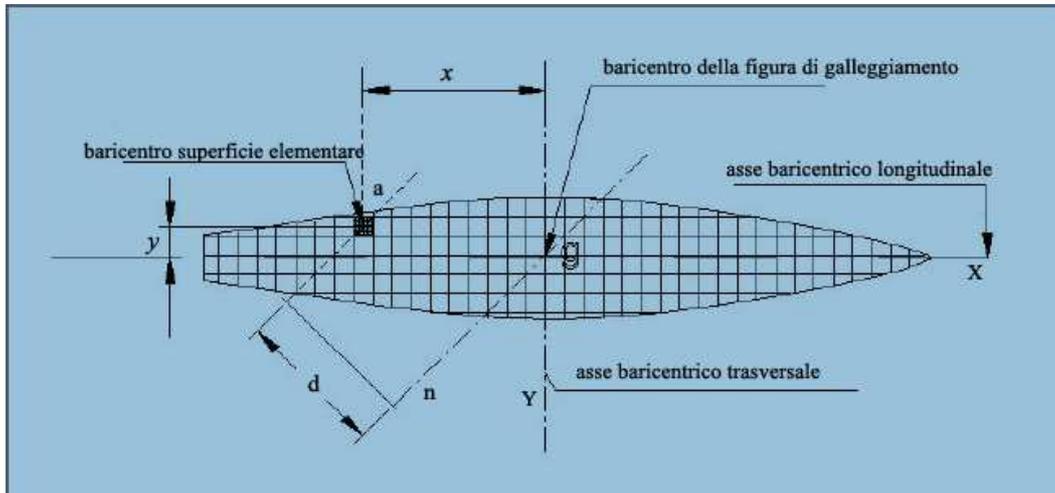
#### - Raggio metacentrico trasversale

Una relazione approssimata per calcolare il *raggio metacentrico trasversale*  $r$  è la seguente:

$$r = \frac{I_x}{V}$$

dove:  $I_x$  è il *momento d'inerzia* della figura di galleggiamento rispetto all'asse baricentrico longitudinale  $X$ . Il momento d'inerzia della figura rispetto all'asse baricentrico  $X$  è dato dalla sommatoria dei prodotti delle aree elementari in cui si può scomporre la figura, per il quadrato della distanza dei baricentri di queste areole dall'asse  $X$ , per cui:

$$I_x = \frac{\sum a_i \cdot y_i^2}{V}$$



### - Raggio metacentrico longitudinale

Una relazione approssimata per calcolare il *raggio metacentrico longitudinale*  $R$  è la seguente:

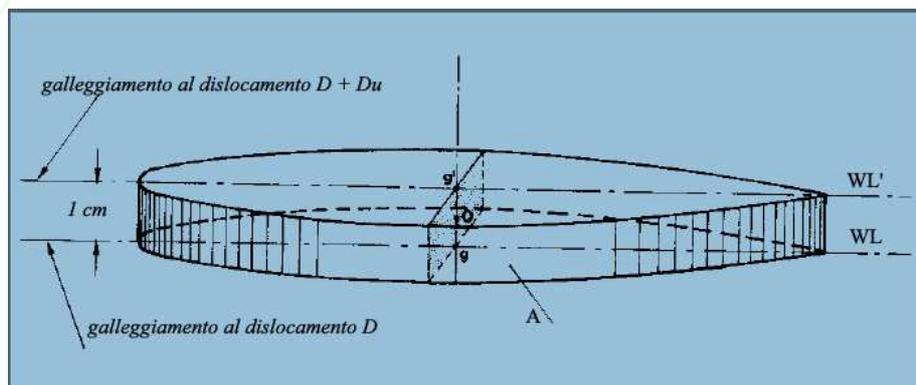
$$R = \frac{I_y}{V}$$

dove:  $I_x$  è il *momento d'inerzia* della figura di galleggiamento rispetto all'asse baricentrico longitudinale  $Y$ . Il momento d'inerzia della figura rispetto all'asse baricentrico  $Y$  è dato dalla sommatoria dei prodotti delle aree elementari in cui si può scomporre la figura, per il quadrato della distanza dei baricentri di queste areole dall'asse  $Y$ , per cui:

$$I_y = \frac{\sum a_i \cdot x_i^2}{V}$$

Oltre agli *Elementi Geometrici*, si portano in diagramma anche i valori dei cosiddetti “**Elementi Meccanici**” della carena, che dipendono dagli elementi geometrici già calcolati. La conoscenza degli Elementi meccanici è di grande utilità pratica; si può avere un'idea immediata dell'Assetto e delle immersioni della nave nell'imbarco o sbarco di pesi. Essi comprendono:

### - Dislocamento unitario



Rappresenta la variazione di Dislocamento che si verifica nella carena in esame, galleggiante in posizione dritta, quando la sua immersione aumenta o diminuisce di 1 cm.

Il volume dello strato di carena è uguale:

$$\Delta V = A \cdot 1 \text{ cm} \quad \text{e il peso dell'acqua spostata, } D_u = \Delta V \cdot \omega$$

$$D_u = A_{(m^2)} \cdot 0,01_{(m)} \cdot \omega$$

cioè :

$$D_u = \frac{A}{100} \cdot \omega \quad \left[ \frac{\text{Tonn}}{\text{cm}} \right]$$

### - **Momento unitario d'assetto**

È il momento (determinato dallo spostamento di un peso  $P$  per una distanza longitudinale  $x$ ) che occorre applicare alla nave, in posizione dritta, per determinare la variazione di differenza d'immersione (*Variazione d'Assetto*) di 1 cm.

### - **Dislocamento fuori fasciame**

Si definisce *Dislocamento* (o spostamento d'acqua della carena di una nave) il suo peso espresso in tonnellate che, per il *Principio di Archimede*, è uguale al peso del volume d'acqua spostata dalla carena.

In media 1 m<sup>3</sup> di acqua di mare pesa 1.026 Tonn, si avrà quale valore del Dislocamento:

$$D_{(\text{Tonn})} = 1,026 \cdot V_{(m^3)}$$

Il *R.I.NA.* considera quale peso specifico dell'acqua di mare:

$$\omega = 1,025 \quad \left[ \frac{\text{Tonn}}{m^3} \right]$$

I valori ottenuti dai calcoli devono essere riportati in diagrammi (o tabulati), che si disegnano su un foglio di carta millimetrata, per facilitare sia la costruzione che la lettura dei diagrammi stessi.

Sul foglio si tracciano due assi ortogonali, in prossimità dei margini sinistro ed inferiore. Sull'asse delle ordinate si riportano, in opportuna scala, le *Immersioni isocareniche* dritte corrispondenti ai galleggiamenti considerati sul Piano di Costruzione. Sull'asse delle ascisse si riportano i valori del *Dislocamento fuori fasciame*, *Dislocamento fuori ossatura*; da quelle dei Dislocamenti si ricava la cosiddetta "*Scala di Solidità*" che è una tabella, d'uso corrente a bordo, che dà in funzione delle immersioni, il Dislocamento fuori fasciame.

Gli altri valori degli *Elementi Geometrici* vengono riportati, sempre in ascissa, in corrispondenza dei valori dell'*Immersione isocarenica dritta*, e su ciascuna curva è riportata la scala utilizzata per il diagramma, oltre che l'indicazione del riferimento.

L'uso dei diagrammi è molto semplice: lette le immersioni estreme della nave, se ne determina quella media ( $I_m$ ) e successivamente quella Isocarenica ( $I_{iso}$ ), con la quale si entra nel diagramma. In tal modo si possono determinare tutti gli *Elementi Geometrici e Meccanici* necessari alla risoluzione dei vari problemi.

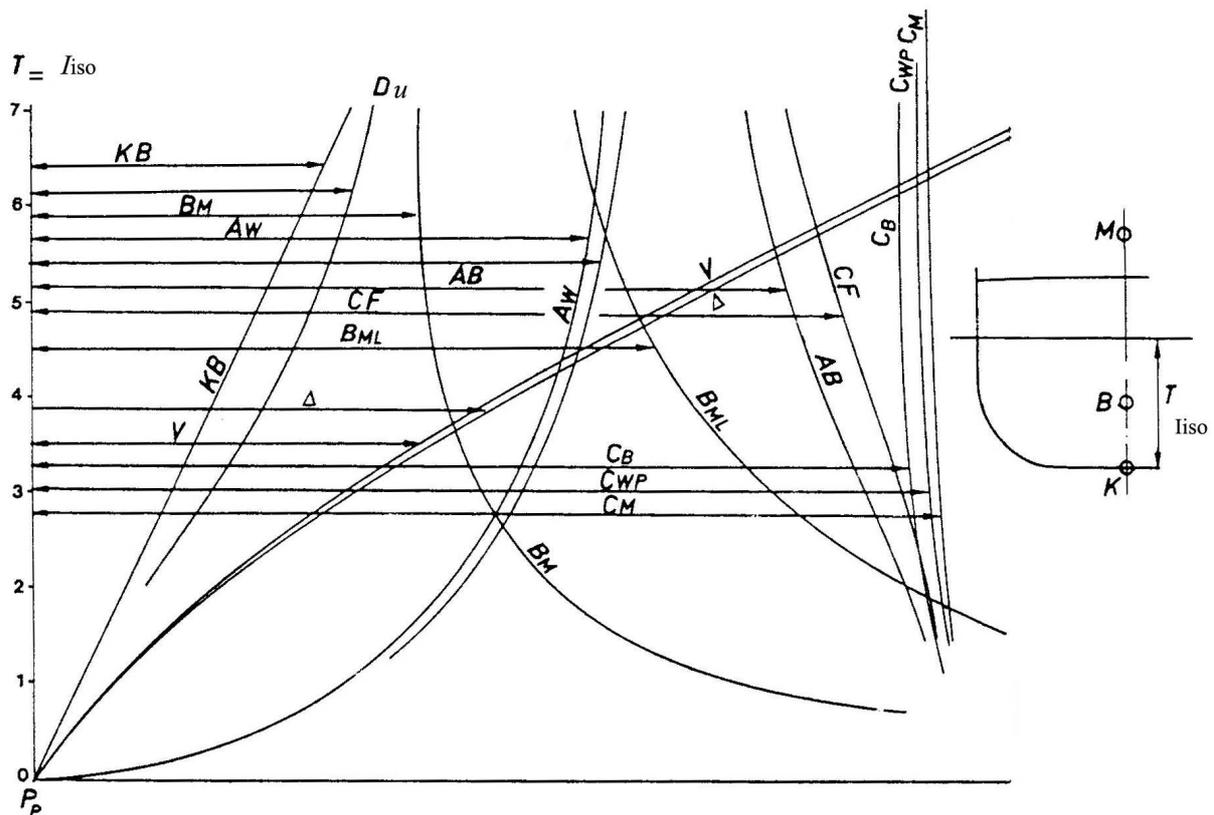


Tavola delle Carene Dritte:  $\nabla$ , Volume di carena;  $\Delta$ , Dislocamento;  $A_w$ , Area di galleggiamento;  $D_u$ , Dislocamento unitario;  $M$ , momento unitario d'assetto;  $B_M$ , raggio metacentrico trasversale;  $B_{ML}$ , raggio metacentrico longitudinale;  $KB$ , ordinata centro di carena;  $C_B$ ,  $C_{WP}$ ,  $C_M$ , coefficienti di finezza. Tali elementi vanno misurati in scala diversa (ascissa in centimetri dei diagrammi): su ogni curva è indicata la scala di riferimento (ad es.  $1\text{cm} = 100\text{m}^2$ , oppure  $1\text{cm} = 10\text{t/cm}$ , ecc.).

**Nota.** L'insieme dei dati che caratterizzano la carena, con particolare riferimento ai dati che verranno utilizzati dall'Ufficiale addetto alla pianificazione del carico, possono essere rappresentati in due forme differenti:

- Diagrammi
- Tabulati

I primi venivano utilizzati soprattutto nel passato. Oggi, grazie alla diffusione capillare dei computer, si preferiscono i *Tabulati* in quanto, essendo rappresentabili su foglio elettronico, risultano più facilmente accessibili e consentono un'interpolazione più corretta e veloce. Oggigiorno sono ormai diffusissimi i programmi specifici per la gestione del carico al punto che, la maggior parte delle grandi Compagnie gestisce il tutto da terra, fornendo alla nave anche il *Piano di carico*. Riguardo a quest'ultimo, poiché resta comunque soggetto all'approvazione del Comandante, nonché dell'Ufficiale addetto al carico ( $1^\circ$  Ufficiale), può essere oggetto di ulteriori modifiche.

La gestione del Piano di carico è affidata a terra, Agenzia della Società, in quanto il Terminal è in possesso della stessa documentazione della Compagnia. Si riesce ad ottimizzare, pertanto, la movimentazione del carico (carico e/o scarico), riducendo così i tempi di permanenza dell'unità in porto a vantaggio del profitto sia dell'Armatore che del Terminal. Tutto questo spiega perché molte Compagnie siano interessate anche alla gestione dei terminal.

<i>IMID</i> (m)	<i>V</i> (m <sup>3</sup> )	<i>D</i> (Tonn)	<i>Xc</i> (m)	<i>Zc</i> (m)	<i>Xg</i> (m)	<i>KMT</i> (r)	<i>KML</i> (R)	<i>Du</i> (Tonn/cm)	<i>Mu</i> (tonn.m/cm)
10,450	098409,500	100869,735	11,428	5,401	8,269	20,968	462,895	104,151	1747,527
10,500	098917,320	101390,253	11,410	5,428	8,190	20,928	461,456	104,220	1750,764
10,550	099425,460	101911,096	11,392	5,454	8,111	20,888	460,013	104,288	1753,938
10,600	099934,000	102432,350	11,380	5,480	8,030	20,840	458,639	104,370	1758,302
10,650	100443,000	102954,075	11,362	5,506	7,950	20,802	457,237	104,439	1761,535
10,700	100952,500	103476,312	11,344	5,532	7,871	20,764	455,858	104,508	1764,818
10,750	101462,400	103998,960	11,325	5,558	7,791	20,727	454,498	104,577	1768,127
10,800	101972,800	104522,120	11,307	5,583	7,712	20,691	453,150	104,647	1771,435
10,850	102483,700	105045,792	11,289	5,609	7,632	20,655	451,808	104,716	1774,719
10,900	102995,000	105569,875	11,270	5,640	7,550	20,610	450,139	104,780	1777,502
10,950	103506,700	106093,650	11,251	5,665	7,469	20,575	448,859	104,850	1780,941
11,000	104018,800	106619,270	11,233	5,691	7,388	20,541	447,594	104,919	1784,400
11,050	104531,100	107144,377	11,214	5,717	7,305	20,508	446,349	104,989	1787,889
11,100	105043,700	107700,542	11,194	5,742	7,223	20,474	445,126	105,058	1791,419
11,150	105556,300	108195,207	11,175	5,768	7,140	20,442	443,928	105,128	1795,003
11,200	106069,000	108720,725	11,160	5,790	7,070	20,400	442,409	105,200	1798,102
11,250	106581,700	109246,242	11,140	5,817	6,990	20,369	441,223	105,271	1801,656
11,300	107094,500	109771,862	11,120	5,843	6,912	20,338	440,049	105,342	1805,219
11,350	107607,600	110297,790	11,099	5,870	6,836	20,307	438,886	105,414	1808,791
11,400	108121,100	110824,127	11,078	5,898	6,760	20,278	437,735	105,486	1812,371
11,450	108635,200	111351,080	11,057	5,925	6,685	20,248	436,598	105,559	1815,960
11,500	109150,000	111878,750	11,040	5,950	6,580	20,210	435,259	105,620	1819,402
11,550	109665,700	112407,342	11,018	5,976	6,508	20,182	434,142	105,693	1823,005
11,600	110182,100	112936,625	10,996	6,002	6,435	20,155	433,035	105,766	1826,615
11,650	110699,100	113466,577	10,973	6,028	6,363	20,128	431,939	105,838	1830,232
11,700	111216,500	113996,912	10,951	6,053	6,292	20,102	430,854	105,911	1833,857
11,750	111734,200	114527,555	10,927	6,078	6,222	20,076	429,779	105,984	1837,490
11,800	112252,000	115058,300	10,910	6,110	6,150	20,040	428,519	106,060	1841,002
11,850	112769,800	115589,045	10,887	6,135	6,076	20,015	427,469	106,132	1844,660
11,900	113287,600	116119,790	10,863	6,161	6,003	19,991	426,430	106,203	1848,331
11,950	113805,600	116650,740	10,840	6,187	5,928	19,966	425,403	106,275	1852,016
12,000	114323,700	117181,792	10,816	6,213	5,853	19,942	424,387	106,346	1855,711
12,050	114842,200	117713,255	10,793	6,238	5,777	19,919	423,382	106,417	1859,415
12,100	115361,000	118245,025	10,770	6,260	5,710	19,890	422,179	106,490	1862,902

I tabulati sopra rappresentati si riferiscono ad una nave avente:  $LBP = 264m$ . Le uniche difficoltà che si possono incontrare stanno nella necessità di effettuare delle interpolazioni lineari, per estrapolare i valori intermedi (*IMID* = Immersione MidDraft).

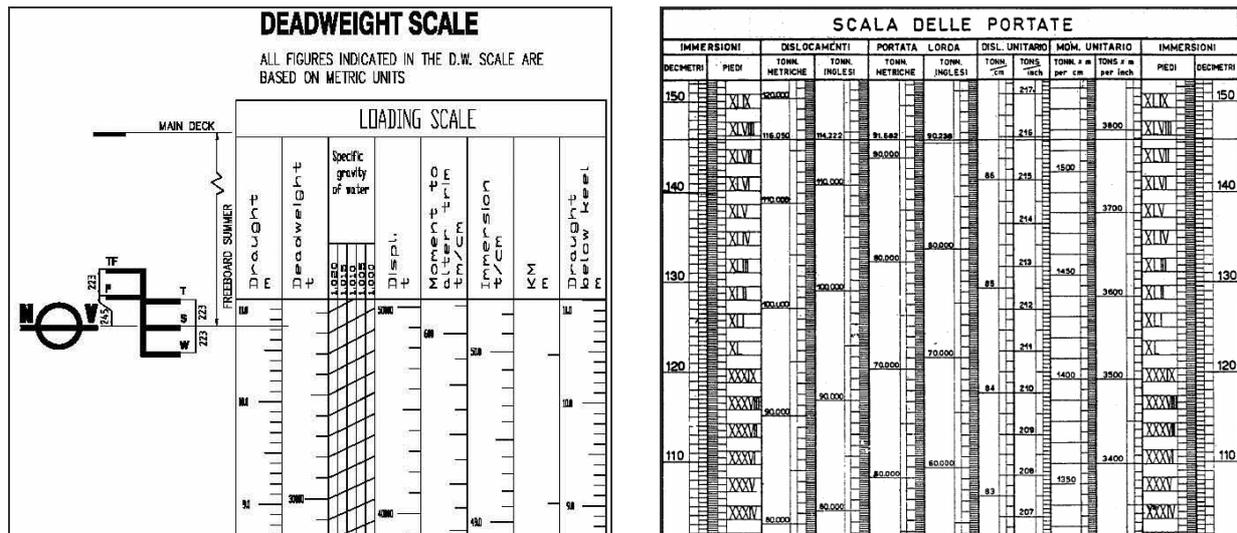
### - **Scala di Solidità. Scala delle Portate (D.W. - Dead Weight)**

La conoscenza dell'*Immersione media*, e quindi dell'*Immersione isocarenica*, è utilissima perché consente di stabilire il *Dislocamento*, la *Portata* e gli altri *Elementi* fra i quali il *Dislocamento unitario* e il *Momento unitario d'assetto*.

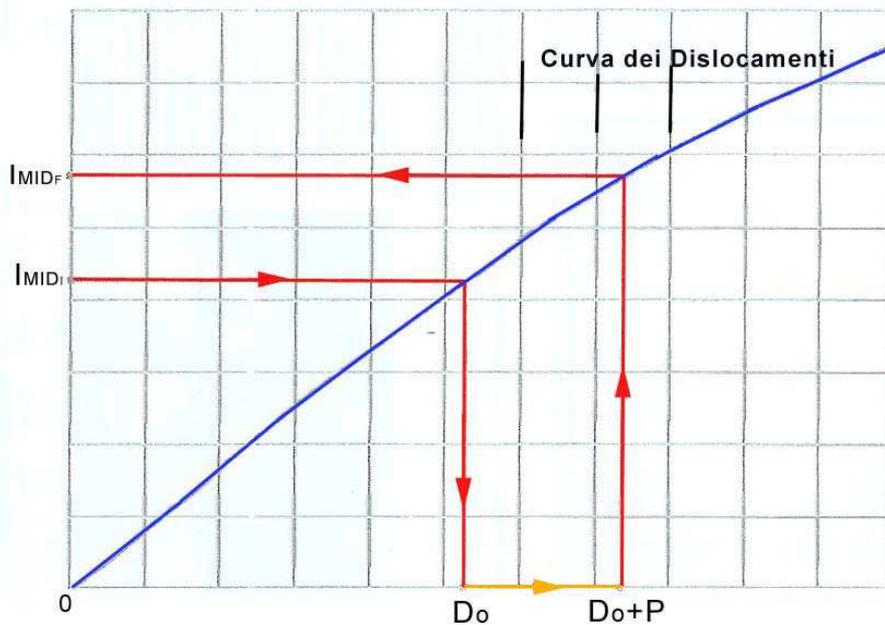
A tal fine si possono utilizzare appositi diagrammi, *Scale di Solidità*, che forniscono il *Dislocamento* della nave in funzione dell'*Immersione media* (*Im*), o speciali tabelle, *Scale delle Portate* (*Loading Scale*) che consentono di conoscere, in funzione dell'*Immersione media*, non solo il *Dislocamento*, ma anche la corrispondente *Portata*, il *Dislocamento unitario* e il *Momento unitario d'assetto*.

Si osserva che dalla *Scala delle Portate* si ricava la *Portata Lorda*, ossia il peso di tutto ciò che è stato imbarcato sulla nave per farle assumere l'*Immersione Im* che viene ricavata attraverso la lettura delle *Scale delle Immersioni*.

Nota la *Portata Lorda* si ricava il valore del *carico utile* esistente a bordo, *Portata Netta*, deducendo da essa il peso del *combustibile*, dell'*olio lubrificante*, dell'*acqua* e di tutto ciò che non può essere eliminato e che viene genericamente compreso sotto la voce *Pesi morti* (residui della *zavorra*, *provviste* di bordo, *equipaggio* e *bagagli*).



Sulle navi da carico accade spesso che la Scala del Dislocamento (Displacement Scale) e la Scala delle Portate (Deadweight Scale, detta anche Scala del Carico o "Loading Scale") vengano raggruppate in un'unica figura, come quella sopra riportata. L'ingresso avviene a partire dalla lettura delle Immersioni o dei Pescaggi, in metri oppure in piedi. Sulla scala numerica delle portate lo "zero" è posto in corrispondenza dell'immersione relativa al Dislocamento leggero (Light Ship).

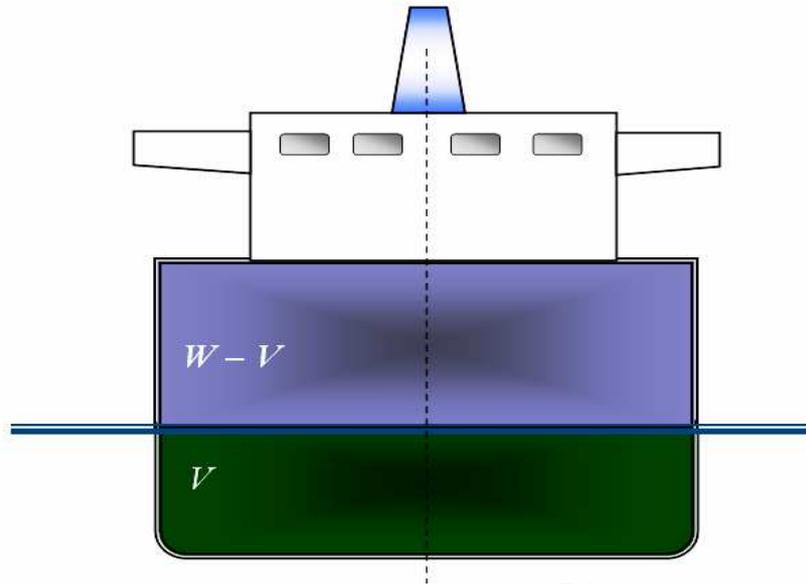


La Curva che si ottiene ponendo in grafico l' $IM_{ID}$  (MIDRAFT o  $Im$  se la nave non è deformata) con il volume di carena, definisce la Scala di solidità. Tale curva parte da 0 se la nave è progettata senza differenza di Immersione. Altrimenti partirà da un punto negativo. Moltiplicando i valori dei Volumi con il peso specifico dell'acqua (attraverso la nota relazione  $D = V \omega$ , con  $\omega = 1,025 \text{ t/m}^3$ ), è possibile ottenere l'analoga curva dei Dislocamenti. Quest'ultima, benché impropriamente, è spesso chiamata Scala di Solidità.

La Portata massima di una nave è la Portata relativa al più alto galleggiamento consentito; viene frequentemente indicata con il termine inglese *DeadWeight* e con il simbolo  $DW$  e costituisce un elemento di fondamentale importanza per le navi da carico.

### - **Riserva di spinta e Riserva di galleggiabilità**

Si definisce *Riserva di spinta* la differenza tra il Dislocamento corrispondente all'immersione dell'intero scafo, supposto limitato al *Ponte principale*, e il Dislocamento relativo alla carena secondo cui la nave si suppone immersa.



Indicando con  $W$  il volume dello scafo e con  $V$  il volume della carena considerata, la Riserva di spinta, risulta:

$$\begin{aligned} & \omega \cdot W - \omega \cdot V \\ \text{cioè:} & \omega(W - V) \end{aligned}$$

in cui  $\omega$  è il peso specifico dell'acqua di mare.

Si definisce coefficiente di Riserva di spinta, il rapporto:  $\rho = \frac{W - V}{V}$ , e il suo valore varia tra 0,25 circa e poco più di 1 (rispettivamente per nani mercantili e navi militari).

Anche se spesso la *Riserva di spinta* viene detta *Riserva di galleggiabilità* è preferibile definire quest'ultima quale differenza tra l'Immersione della nave quando il più alto ponte che sia stagno e resistente, detto *Ponte di Bordo Libero* si trova al piano di galleggiamento e l'*Immersione a pieno carico*.

### - **Variazione dell'Immersione media al passaggio della nave in acqua di densità diversa**

Indicando con  $V'$  il volume di carena in acqua salmastra e con  $V$  il volume di carena in acqua salata, si avrà:

$$D = V' \cdot \omega'$$

$$D = V \cdot \omega$$

Da cui:

$$V' = \frac{D}{\omega'} ; \quad V = \frac{D}{\omega}$$

per differenza:

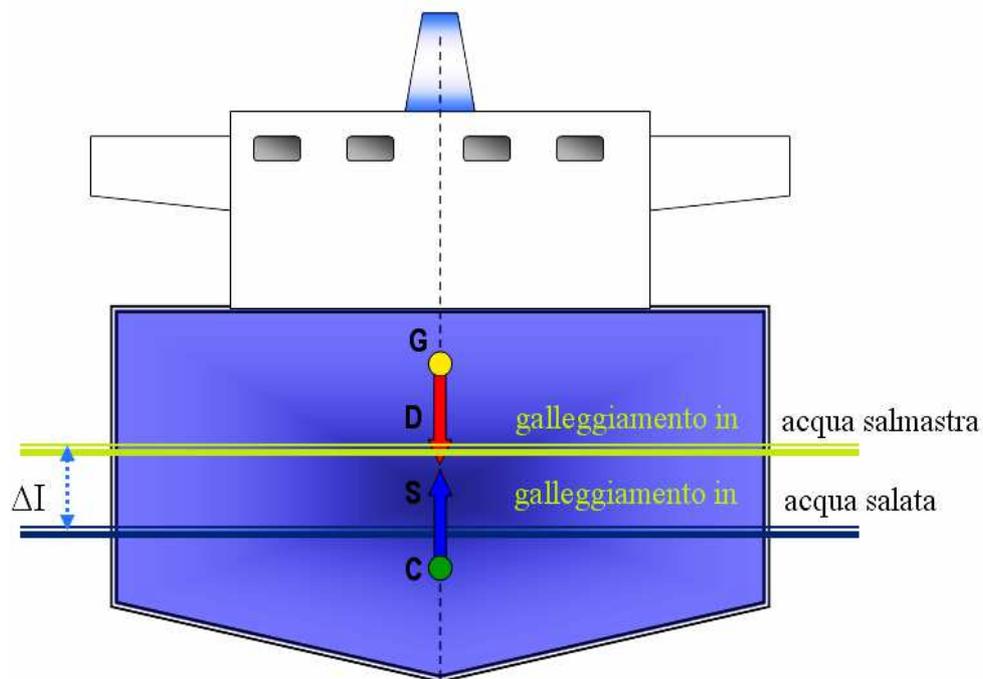
$$V' - V = D \cdot \left( \frac{1}{\omega'} - \frac{1}{\omega} \right)$$

Ritenendo:

$$V' - V = A \cdot \Delta I$$

si avrà :

$$A \cdot \Delta I = D \cdot \left( \frac{1}{\omega'} - \frac{1}{\omega} \right) = D \cdot \frac{\omega - \omega'}{\omega \cdot \omega'}$$



Poiché:  $A = \frac{100 \cdot Du}{\omega}$ , sostituendo:  $100 \cdot Du \cdot \Delta I = D \cdot \frac{\omega - \omega'}{\omega'}$

da cui :

$$\Delta I = \frac{D}{100 \cdot Du} \cdot \frac{\omega - \omega'}{\omega'}$$

Per  $\omega = 1,025 \text{ Tonn/m}^3$ , e  $\omega' = 1 \text{ Tonn/m}^3$  (acqua dolce),

si ha :

$$\Delta I = \frac{D}{40 \cdot Du} \cdot 10_{(mm)}$$

Tale valore rappresenta la *distanza della marca Bordo Libero* in acqua dolce, dalla marca di *Bordo Libero* in acqua salata.

## ▪ STATICA DELLA NAVE

La Stabilità della nave studia e stabilisce le condizioni necessarie e sufficienti di *equilibrio stabile* della nave galleggiante liberamente quando è sottoposta all'azione sbandante provocata da forze esterne. Essa si suddivide in *Stabilità statica* e *Stabilità dinamica*; con riferimento agli assi di oscillazione della nave si parla di *Stabilità trasversale* e di *Stabilità longitudinale*. In genere quando si parla e si tratta della stabilità della nave ci si riferisce a quella *trasversale* perché questa assume valori limitati in relazione alle posizioni inclinate della nave, mentre quella *longitudinale* assume in generale valori soddisfacenti.

### - Equilibrio dei corpi

Dalla *Statica dei corpi rigidi* sappiamo che condizione *necessaria* e *sufficiente* affinché un corpo sia in equilibrio è che:

- la sommatoria delle forze agenti (*Risultante*) sul corpo sia nulla:  $\sum F = 0$ ;
- la sommatoria dei momenti di dette forze rispetto ad un polo sia nulla:  $\sum M = 0$ .

Su un corpo *totalmente* o *parzialmente* immerso agiscono *due sole forze*:

- la *forza peso* del corpo detta *Dislocamento*, pari alla somma di tutti i pesi interni, diretta verticalmente verso il basso ed applicata nel *centro di gravità* (*G*).
- la *spinta idrostatica* diretta verticalmente verso l'alto e passante per il *centro di carena* (*B*) o (*C*).

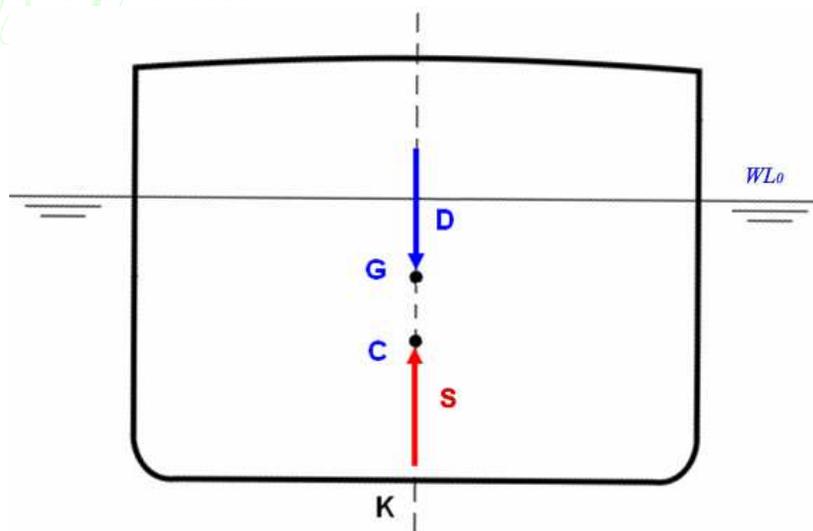
Tale spinta è nota, secondo il *Principio di Archimede*, conoscendo il volume immerso del corpo in esame; infatti:

“Un corpo *totalmente* o *parzialmente* immerso in un fluido in quiete riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume del liquido spostato”;

$$S = V \cdot \omega$$

Dove,  $V$  = Volume del liquido spostato,  $S$  = Spinta,  $\omega$  = Peso specifico del liquido (1,025 t/m<sup>3</sup>, per acqua di mare a 15°C e condizioni standard di salinità).

Sono così individuate *intensità*, *direzione* e *verso* della spinta ricevuta dal corpo, ma non il *Centro di Spinta* che è il suo punto di applicazione. Essendo questo punto di difficile determinazione e di scarsa applicazione pratica, in Architettura navale si preferisce definire un altro punto, il *Centro di carena* (baricentro del volume dell'opera viva) per il quale passa la retta d'azione della spinta e le cui coordinate sono facilmente individuabili.



Affinché siano quindi verificate le condizioni di equilibrio prima indicate, occorre che peso e spinta:

- abbiano lo stesso valore (modulo) e verso opposto;
- giacciono sulla stessa retta d'azione.

Oltre alle condizioni generali di equilibrio, dovranno essere soddisfatte anche le *condizioni di stabilità*; sappiamo infatti che esistono tre condizioni di equilibrio per un corpo qualsiasi:

- *equilibrio stabile*
- *equilibrio instabile*
- *equilibrio indifferente*

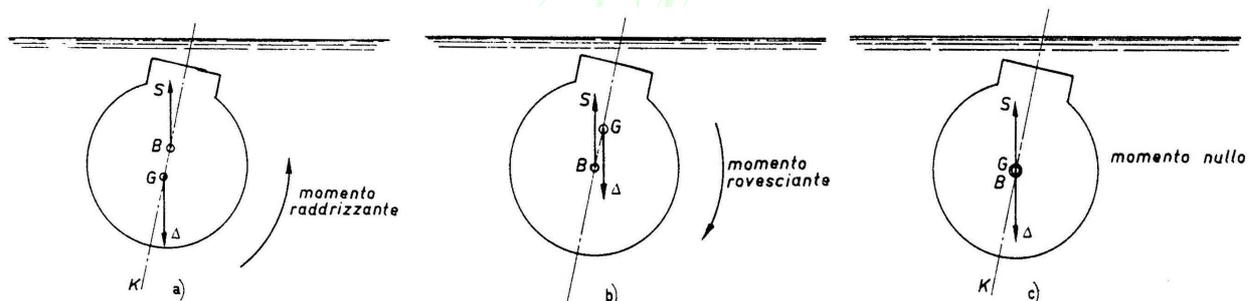
L'equilibrio, è *Stabile* quando, perturbando il sistema in modo da spostare il corpo dalla posizione iniziale di una piccola quantità, la risultante delle forze applicate è tale da riportare il corpo nella configurazione originaria, al cessare della causa perturbatrice.

L'equilibrio è *Instabile*, quando spostando il corpo dalla posizione iniziale di una piccola quantità, al cessare della causa perturbatrice, le forze agenti tendono ad allontanare il sistema dalla configurazione iniziale di equilibrio in modo irreversibile.

L'equilibrio è *Indifferente*, quando il sistema non risente della causa perturbante e qualsiasi parzialmente immerso o galleggiante e di corpo totalmente immerso.

### - **Stabilità dei corpi completamente immersi**

Se il Dislocamento ( $\Delta$ ) è uguale alla spinta ( $S$ ) ed ambedue giacciono sulla stessa retta d'azione il corpo è in equilibrio. Possono verificarsi *tre condizioni di equilibrio* a seconda della reciproca posizione del *baricentro G* e del centro di *carena B*.



Stabilità dei corpi completamente immersi: a) equilibrio stabile; b) equilibrio instabile; c) equilibrio indifferente; G, centro di gravità; B, centro di carena;  $\Delta$ , dislocamento; S, spinta idrostatica.

E' verificabile che se il corpo viene allontanato per una causa esterna dalla posizione iniziale di equilibrio e inclinato trasversalmente, la sola *condizione di stabilità* è che il baricentro (G) sia sotto al centro di carena (B), infatti è l'unica situazione in cui, al cessare della causa perturbatrice, il corpo tenderà a ritornare nella condizione iniziale grazie alla nascita di un *momento raddrizzante* tra *Spinta* e *Dislocamento*.

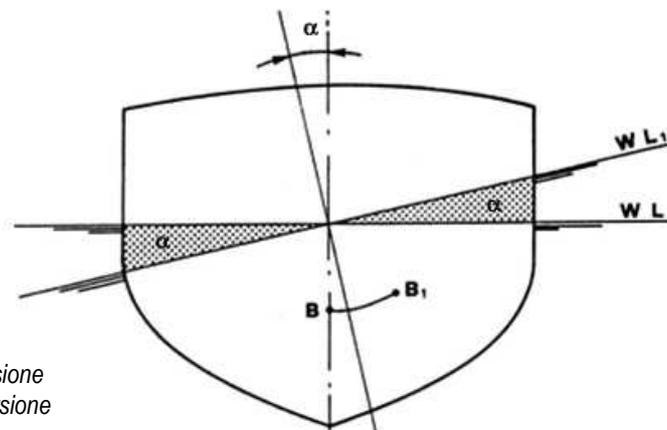
### - **Equilibrio dei corpi galleggianti**

La sostanziale differenza nei riguardi dell'equilibrio fra corpi totalmente immersi (ad esempio sommergibili in immersione) e corpi parzialmente immersi (ad esempio navi), è che nei primi la posizione del centro di carena *non varia* al variare dell'inclinazione del corpo, mentre nei secondi, la posizione del centro di carena, ossia del punto per il quale passa la linea di azione della *Spinta*, varia al variare della posizione o dell'inclinazione del corpo stesso.

Il centro di gravità della nave, indicato nei disegni con la lettera G, è il baricentro dei pesi che costituiscono la nave stessa. In genere il centro di gravità di una nave si trova sul piano longitudinale di simmetria ad una altezza di poco maggiore della metà dell'altezza dello scafo e leggermente spostato a poppavia della mezzeria.

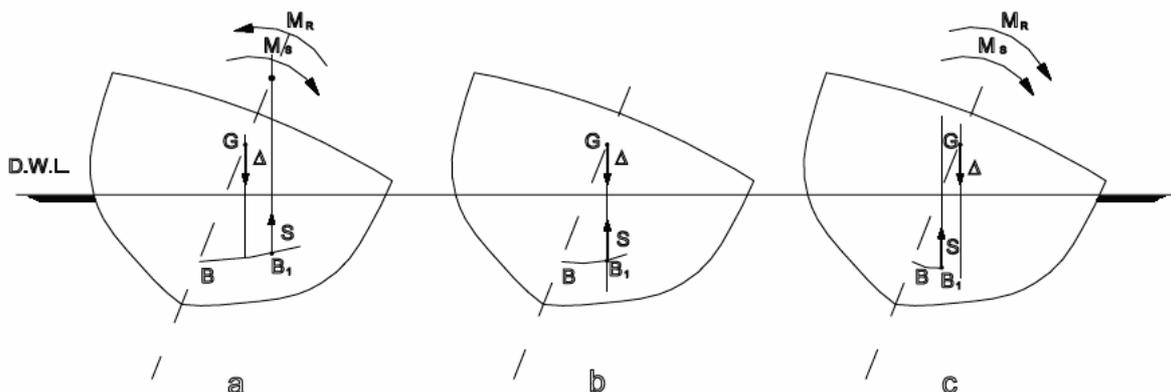
Come il *centro di gravità*, anche il *centro di carena* di una nave galleggiante in posizione diritta ed in equilibrio si trova sul piano longitudinale di simmetria, in quanto la spinta è simmetricamente distribuita sui due lati della carena.

Poiché l'acqua spostata si trova tutta al di sotto del piano di galleggiamento, con le consuete forme di carena, il centro di carena B si trova poco sopra la metà dell'immersione, quindi in posizione sensibilmente inferiore al baricentro G. La forza peso (*Dislocamento*) della nave è applicata nel centro di gravità mentre la spinta (S) passa per il centro di carena. Queste due forze sono sempre dirette verticalmente ed hanno verso contrario. Affinché la nave sia in equilibrio, esse devono risultare uguali in modulo ed avere la stessa linea d'azione. Incliniamo trasversalmente la nave, mediante una causa esterna, di un angolo generico  $\alpha$ .



Menisco di immersione  
e menisco di emersione

Dato che il Dislocamento non è cambiato, la nuova carena, individuata dal piano  $WL_1$ , ha lo stesso volume della carena individuata dal piano  $WL$ , ma la sua forma è evidentemente diversa. Le due carene si dicono *Isocarene*, cioè carene di uguale volume. L'inclinazione avvenuta si chiama *Isocarenica*. Data la forma delle due carene, mentre il centro di volume, ossia il centro di carena, della carena iniziale si trova in B, il centro della nuova carena dopo l'inclinazione si sarà spostato, verso dritta e verso l'alto nel punto  $B_1$  e sarà uscito dal piano del disegno a causa delle diversità di forme di prora e di poppa. Una nave in posizione diritta è in *Equilibrio Stabile* quando, spostata dalla sua posizione iniziale diritta, origina una *coppia di forze* che tendono a riportarla nella *posizione iniziale*.

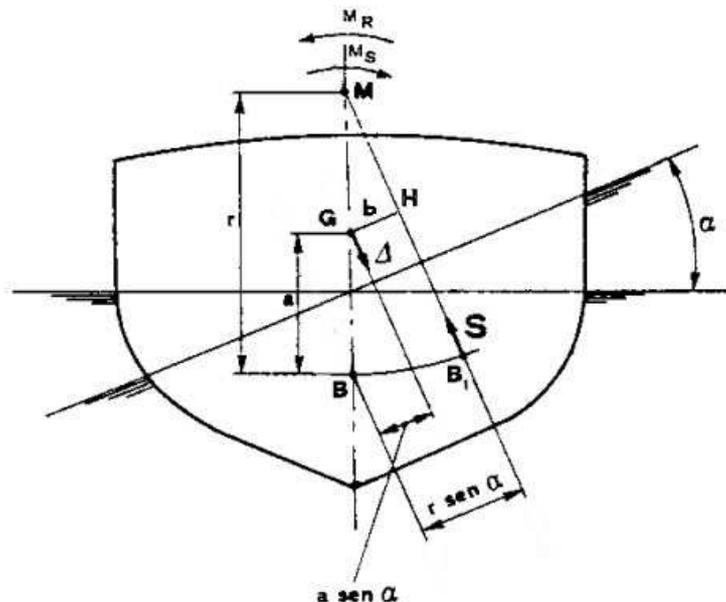


Se il centro di carena si è spostato in  $B_1$ , la coppia di stabilità dovuta alle forze  $\Delta$  ed  $S$  ha un effetto raddrizzante e quindi l'equilibrio della nave si dice *Stabile* (a), oppure può avere un effetto ulteriormente sbandante e quindi l'equilibrio si dice *Instabile* (c). Nel caso che peso e spinta abbiano la stessa linea d'azione siamo nel caso di *equilibrio Indifferente* (b), caso comunque puramente teorico.

Risulta evidente che, a parità di posizione di  $G$ , la stabilità dell'equilibrio di una nave e la reazione che essa oppone ad essere allontanata dalla sua posizione iniziale diritta, dipendono dallo spostamento laterale del centro di carena, determinato dal cambiamento di forma conseguente all'avvenuta inclinazione, cioè in definitiva dalla forma di carena.

### - **Stabilità trasversale per piccole inclinazioni ( $\alpha \leq 10^\circ \div 12^\circ$ )**

Consideriamo ora una nave che sia in equilibrio stabile nella posizione iniziale diritta come devono essere normalmente tutte le navi, e diamole un'inclinazione isocarenica di un angolo  $\alpha$ . Per le considerazioni già fatte, il centro di carena  $B$  si sposta in  $B_1$  e la nuova linea d'azione della spinta  $B_1M$  incontrerà la linea d'azione della spinta iniziale  $BM$  nel punto  $M$ .



Il punto  $M$  si chiama *Metacentro trasversale* relativo al volume di carena  $V$ . Se l'angolo di inclinazione è di piccola entità ( $<10^\circ$ ) si può ammettere, con sufficiente approssimazione, che la curva descritta dal centro di carena, nel passare da  $B$  a  $B_1$ , sia un arco di circonferenza e che tutte le successive linee d'azione delle spinte relative ai centri di carena da  $B$  a  $B_1$  passino per il punto  $M$  che rappresenta quindi il *centro di curvatura* della curva descritta da  $B$ .

Con tale definizione risulta evidente che, affinché la nave in posizione diritta sia in equilibrio stabile, è necessario che  $M$  si trovi al disopra di  $G$ . Infatti in tale caso la coppia che si determinerà per un piccolo angolo di inclinazione della nave sarà positiva e tenderà a riportare la nave nella sua posizione iniziale diritta.

Se chiamiamo " $r$ " il *raggio metacentrico trasversale*  $BM$  ed " $a$ " la misura del segmento  $BG$ , cioè la distanza tra il baricentro e il centro di carena a nave diritta, si definisce *altezza metacentrica trasversale iniziale* il segmento  $(r - a)$ , che in definitiva rappresenta la distanza tra il metacentro ed il centro di gravità.

Il momento della coppia di stabilità trasversale, considerando il triangolo rettangolo  $MGH$  vale:

$$M_{\alpha} = \Delta \cdot b = \Delta \cdot GH = \Delta \cdot GM \cdot \sin \alpha$$

cioè:

$$M_{\alpha} = \Delta \cdot (r - a) \cdot \sin \alpha$$

Il valore di  $(r - a)$  si chiama anche *indice di Stabilità iniziale* e dà un'idea della capacità della nave a *reagire a cause sbandanti* esterne nell'intorno della sua posizione dritta.

Un valore elevato di  $(r - a)$  sarebbe perciò consigliabile per la stabilità, soprattutto per le navi militari. D'altra parte, un valore troppo elevato di  $(r - a)$ , se va bene in mare tranquillo, rende la nave eccessivamente "dura" in acqua agitata, tendendo la nave a mantenere i *ponti paralleli* al profilo dell'onda (in gergo marinaro "cavalca l'onda") causando continui movimenti ed accelerazioni trasversali e longitudinali. Tali accelerazioni, oltre che essere dannose per il "benessere" e quindi l'operatività dell'equipaggio, possono ostacolare il corretto funzionamento delle apparecchiature installate a bordo. Nel caso che il valore  $(r - a)$  sia basso, sarà meno stabile, ma si comporterà meglio in mare agitato (in gergo "taglia l'onda") e si dirà "nave cedevole".

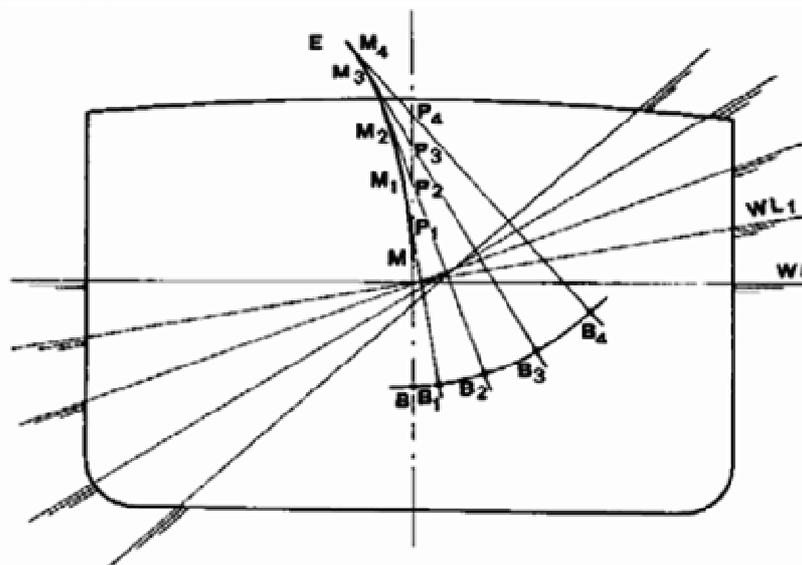
Pertanto i valori adottati di  $(r - a)$  per i vari tipi di navi sono i risultati di un compromesso tra le varie necessità. I valori medi dell'altezza metacentrica possono essere, orientativamente:

- Portaerei: 2,5 ... 3,0 m
- Incrociatori: 1,0 ... 1,6 m
- Fregate: 0,7...1,5 m
- Sommergibili: 0,3 ... 0,5 m (in superficie).

### - **Stabilità trasversale per inclinazioni $\alpha$ superiori a $10^{\circ}$**

Per angoli di inclinazione  $\alpha > 10^{\circ}$  le considerazioni precedentemente fatte non sono più valide. Infatti la *traiettoria dei centri isocarenici* di carena non è più assimilabile ad una circonferenza di centro  $M$ , ma ad una serie di archi di circonferenza di raggio variabile, rispettivamente di centri  $M_1, M_2, M_3, \dots$

Si può quindi vedere che mentre il centro di carena descrive la *traiettoria dei centri isocarenici di carena* ( $B_0, B_1, B_2, \dots$ ) i relativi metacentri descrivono una traiettoria nota come *Evoluta Metacentrica* (insieme dei centri dei raggi metacentrici istantanei).

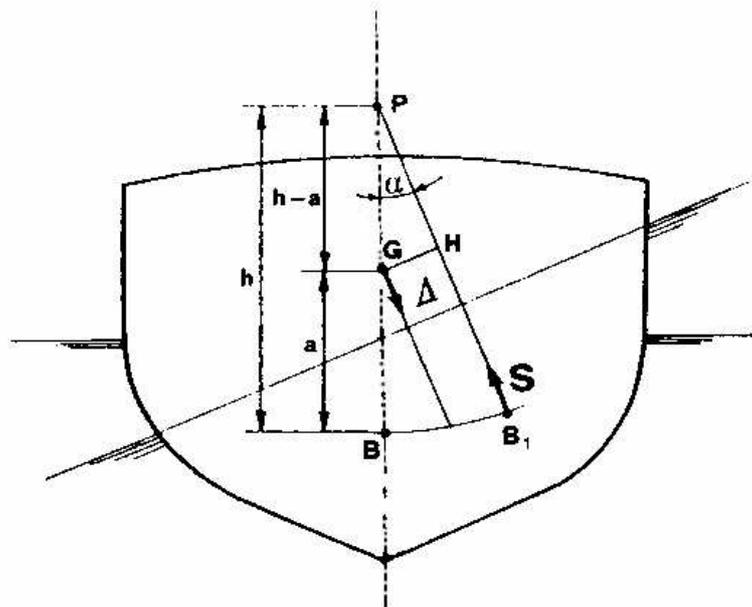


Il momento della *Coppia di stabilità*, analogamente a quanto già visto per piccole inclinazioni, vale:

$$M_{\alpha} = \Delta \cdot b = \Delta \cdot GH$$

Volendo esprimere tale braccio  $GH$  in funzione di quantità note, conviene fare riferimento ai punti  $P_1, P_2, P_3, \dots$ , intersezione della linea d'azione della spinta iniziale (verticale della nave) con linee d'azione delle successive spinte relative ai centri di carena  $B_0, B_1, B_2, \dots$  tali punti vengono chiamati *prometacentri* o *falsi metacentri*.

La distanza del generico prometacentro  $P$  dal centro di carena iniziale  $B_0$  prende il nome di *altezza prometacentrica* " $h$ ".



Si può pertanto scrivere:

$$M_{\alpha} = \Delta \cdot GH = \Delta \cdot GP \cdot \text{sen } \alpha$$

cioè:

$$M_{\alpha} = \Delta \cdot (h - a) \cdot \text{sen } \alpha$$

### - **Diagramma di stabilità statica trasversale**

Per facilitare lo studio della stabilità di una nave si ricorre ai *Diagrammi di stabilità statica*. Portando su due assi ortogonali, in *ascissa* i valori degli angoli di inclinazione  $\alpha$  (in gradi), ed in *ordinata* i valori dei momenti  $M_{\alpha}$  corrispondenti (*tonn·m*), ricavati mediante l'espressione sopra scritta, si ottiene un diagramma chiamato *Diagramma di stabilità statica trasversale* che fornisce i valori dei *Momenti di coppia di stabilità* al variare dell'angolo di inclinazione trasversale  $\alpha$  della nave.

Come si vede nella figura, che rappresenta l'andamento di un generico diagramma di stabilità in funzione dell'angolo di inclinazione, il valore del momento varia da zero per  $\alpha = 0^{\circ}$  ad un valore massimo e poi decresce sino ad annullarsi nuovamente in corrispondenza di  $\alpha = \alpha_c$ . Tale angolo  $\alpha_c$  è detto angolo di *capovolgimento statico*.

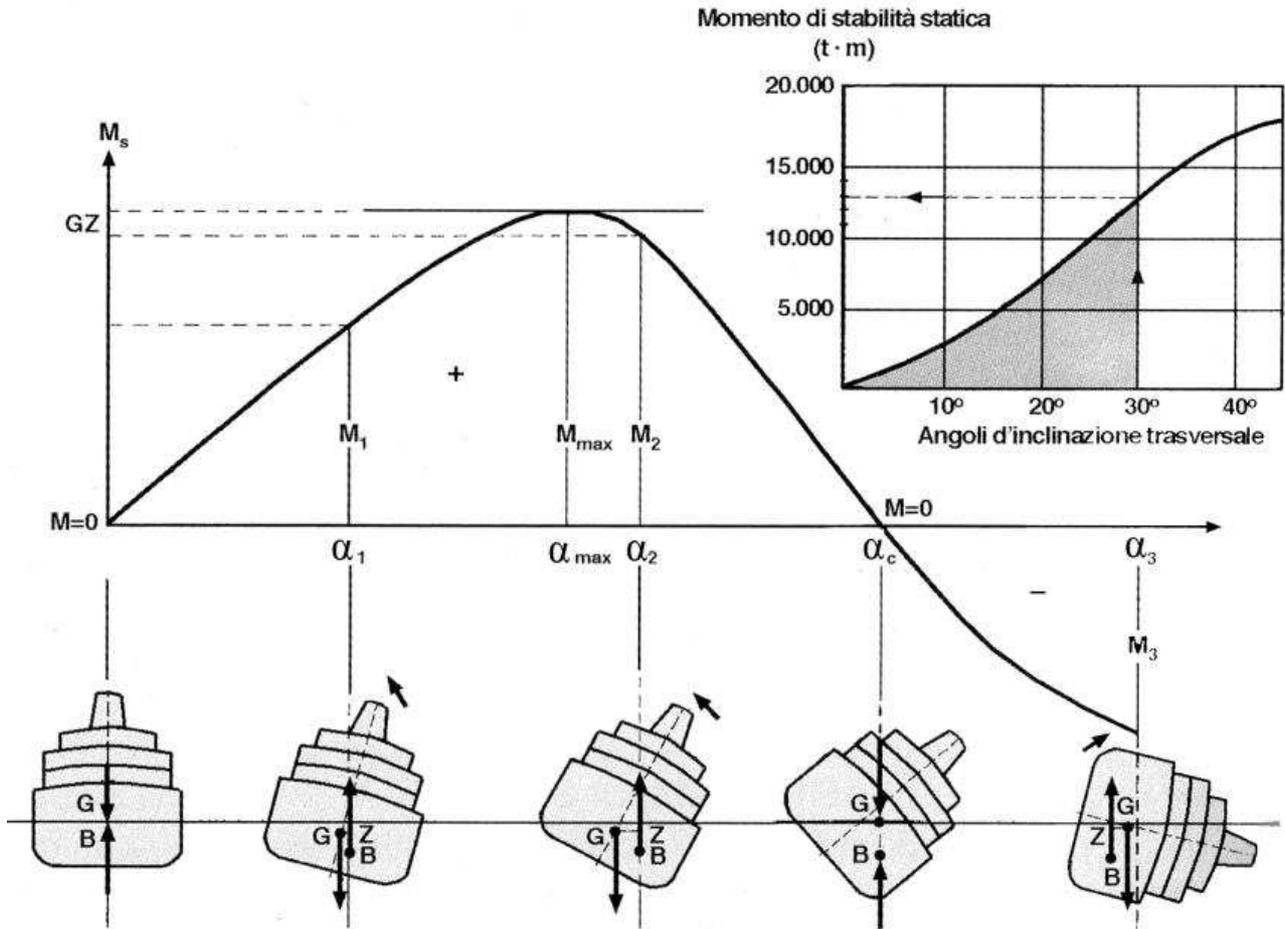
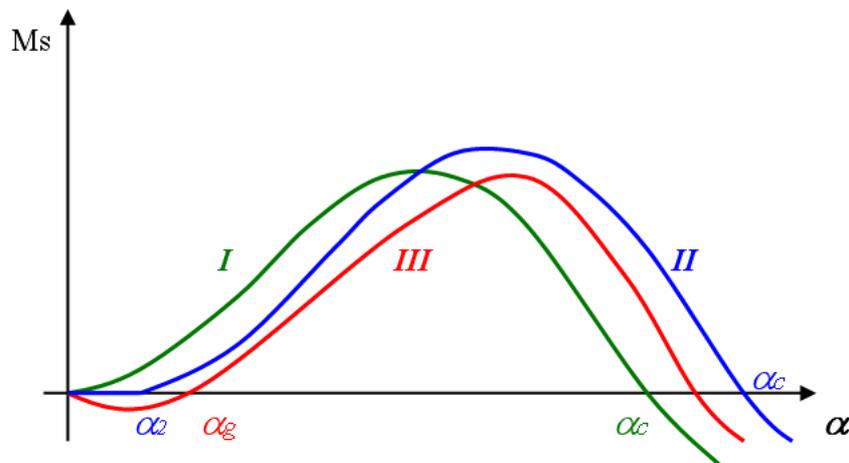


Diagramma di stabilità statica trasversale, per una nave in equilibrio stabile;  $\alpha_c$ , angolo di capovolgimento.

Le posizioni  $\alpha = 0^\circ$  e  $\alpha = \alpha_c$  sono entrambe posizioni di equilibrio, ma, mentre la prima è una posizione di *equilibrio stabile* poiché la nave ha tendenza, se inclinata, a ritornare in questa posizione (momento positivo), la seconda è una posizione di *equilibrio instabile*, in quanto, inclinando la nave verso angoli maggiori, la coppia di stabilità risulta *negativa* e quindi tende ad inclinare ulteriormente la nave, fino al suo capovolgimento.



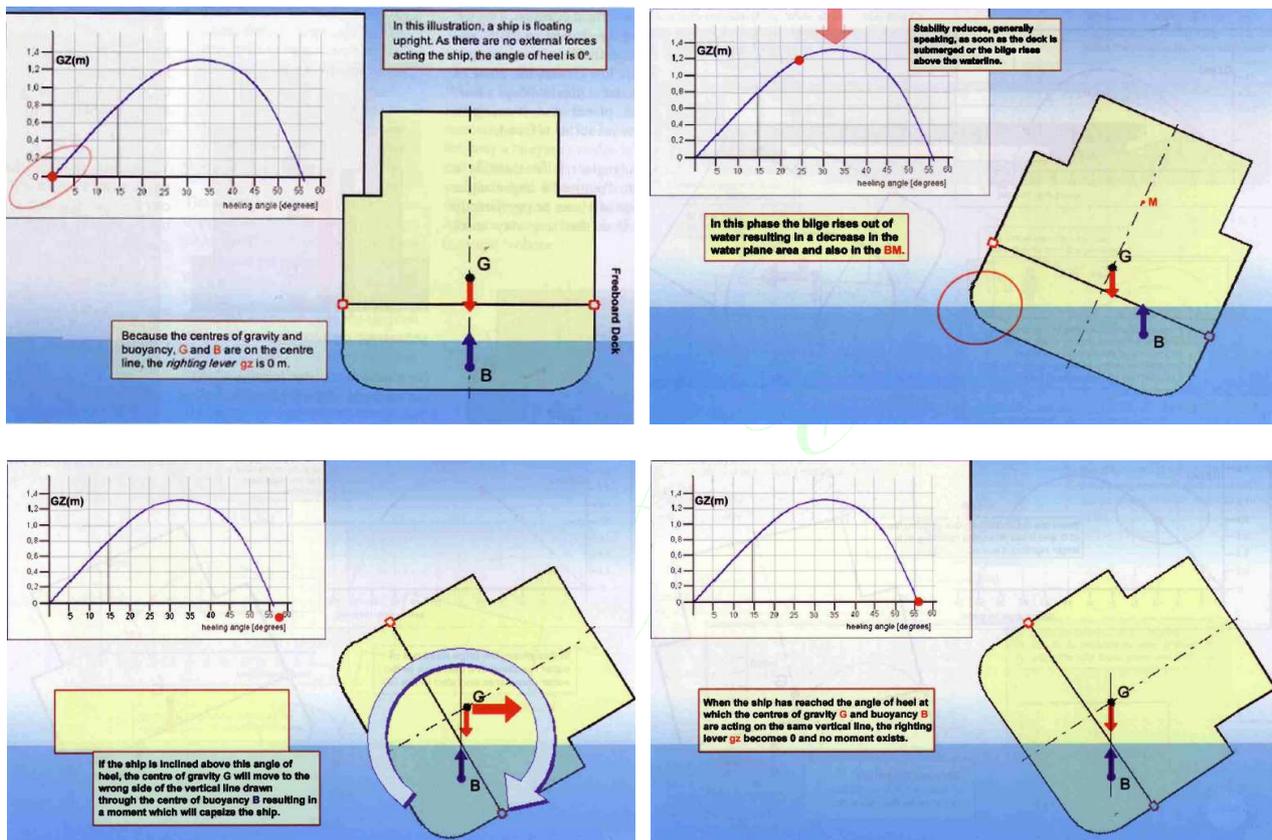
Curva I: diagramma di equilibrio stabile - Curva II: diagramma di equilibrio indifferente per ogni inclinazione compresa tra  $0^\circ$  e  $\alpha_2$  - Curva III: diagramma di stabilità di equilibrio instabile, di nave ingavonata,  $\alpha_g$  di equilibrio stabile inclinata.

Nell'origine degli assi l'equilibrio può essere:

- stabile (curva I)
- indifferente (curva II)
- instabile (curva III – Nave ingavonata)

Il diagramma di stabilità ci fornisce:

- 1) I limiti della stabilità (l'angolo di capovolgimento  $\alpha_c$ );
- 2) Il valore massimo del braccio di stabilità  $GZ$ ;
- 3) Il valore dell'altezza metacentrica  $GM = (r - a)$



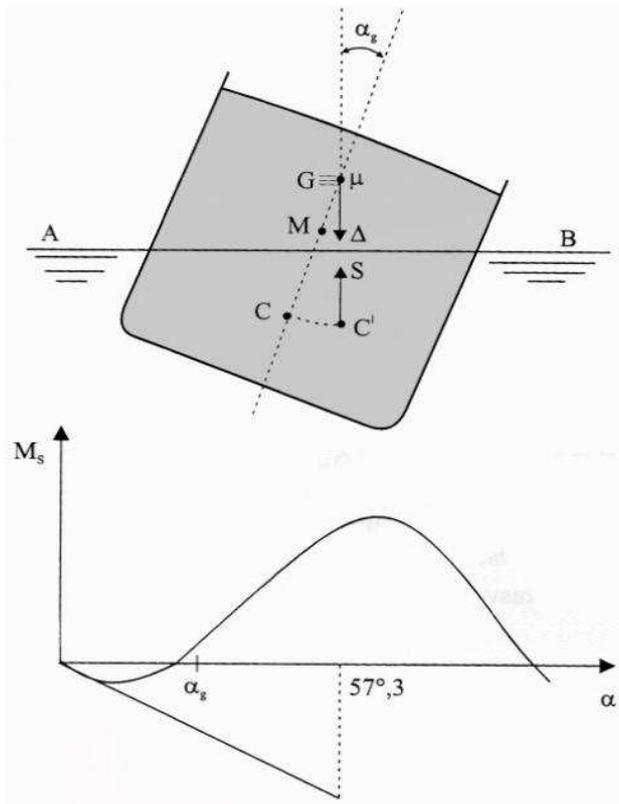
### - Nave ingavonata

Se l'innalzamento di peso è tale da portare il baricentro al di sopra del metacentro trasversale iniziale M, la nave non risulterà essere in equilibrio stabile nella posizione diritta in quanto  $(r - a) < 0$ . Bisognerà quindi analizzare il comportamento della nave nell'intorno della posizione diritta; valutando l'andamento dell'evolva metacentrica.

Se l'evolva è a rami inizialmente ascendenti, la nave si inclinerà e troverà un angolo di equilibrio stabile, detto *Angolo di ingavonamento*, ottenuto portando dal baricentro G' la tangente all'evolva stessa.

La nave ingavonata si inclinerà quindi non per eccentricità del carico ma per *instabilità iniziale*. Per raddrizzarla occorre spostare dei carichi verso il basso in modo da riportare il baricentro G al di sotto del metacentro trasversale iniziale M. In questo caso spostando trasversalmente del carico sul lato opposto a quello di inclinazione, come l'intuito potrebbe addurci, otterremmo come risultato quello di portare la nave inizialmente in posizione diritta ma, non appena raggiunta tale condizione, la nave si inclinerebbe dal lato opposto con una inclinazione maggiore della precedente.

Nave Ingavonata (equilibrio stabile caratterizzato da un angolo di inclinazione diverso da  $0^\circ$ ). Una nave si definisce ingavonata quando assume una posizione di equilibrio stabile inclinata trasversalmente di un angolo  $\alpha_g$ , detto angolo di ingavonamento. La nave, avendo, inizialmente, un'altezza metacentrica negativa, è caratterizzata da una posizione dritta di equilibrio instabile; pertanto, se è soggetta ad azione esterna, essa si abbatte fino a raggiungere un equilibrio stabile in corrispondenza dell'angolo e quindi il pro-metacentro verrà a coincidere con il baricentro della nave.



Il diagramma di stabilità di una nave ingavonata è, quindi, caratterizzato da un primo tratto, compreso tra l'origine e l'angolo  $\alpha_g$ , al di sotto delle ascisse, in quanto l'altezza metacentrica è negativa, e di conseguenza saranno tali anche i momenti di stabilità; e da un secondo tratto positivo fino all'angolo di capovolgimento  $\alpha$ .

L'ingavonamento è dovuto ad un'errata distribuzione verticale del carico; tale distribuzione provoca l'innalzamento del baricentro rispetto al metacentro M. Per riportare, pertanto, una nave ingavonata dalla posizione inclinata di equilibrio alla posizione dritta di equilibrio stabile, è necessario produrre un abbassamento del baricentro al disotto del metacentro. Ciò può essere realizzato:

1. imbarcando pesi sul fondo;
2. sbarcando dei pesi al di sopra del baricentro;
3. spostando dei pesi verso il basso.

### - Stabilità di forma e di peso

Il valore del raggio metacentrico trasversale  $r$  dipende dalla forma della carena, mentre il valore della sovrelevazione "a" di G su B, dipende dalla distribuzione dei pesi sulla nave.

Può essere interessante mettere in evidenza i rispettivi contributi della forma e dei pesi nel momento di stabilità, suddividendolo rispettivamente la *componente di stabilità di forma* e la *componente di stabilità di peso*:

$$M_\alpha = \Delta \cdot (r - a) \cdot \text{sen} \alpha = \Delta \cdot r \cdot \text{sen} \alpha - \Delta \cdot a \cdot \text{sen} \alpha \quad (\text{forma} - \text{peso})$$

La forma e l'estensione del *diagramma di stabilità statica trasversale*, sono (a parità di altre condizioni) influenzate dai seguenti parametri:

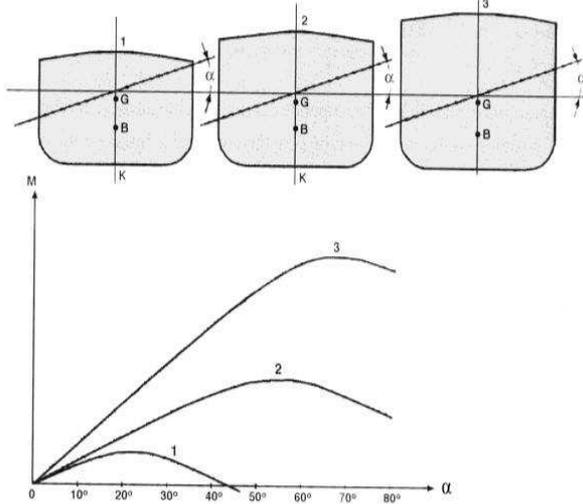
- *altezza delle murate* (stabilità di forma);
- *forma delle murate* (stabilità di forma);

- larghezza della nave (stabilità di forma);
- posizione del centro di gravità della nave G (stabilità di peso).

Tale influenza è evidente valutando i diagrammi di stabilità che si riportano nelle figure seguenti.

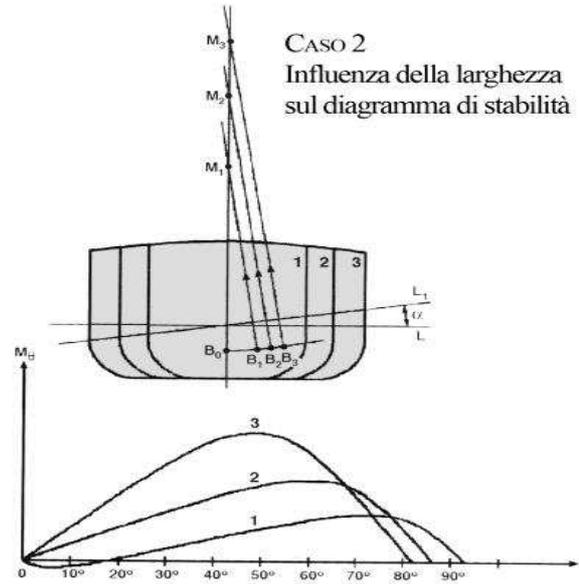
CASO 1

Influenza del bordo libero sul diagramma di stabilità



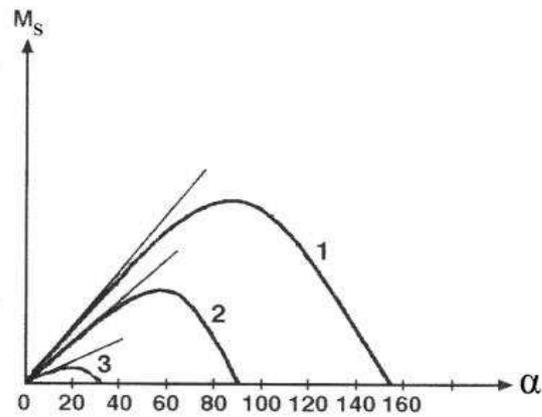
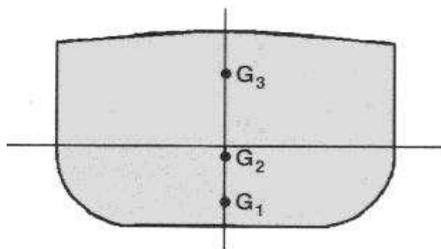
CASO 2

Influenza della larghezza sul diagramma di stabilità



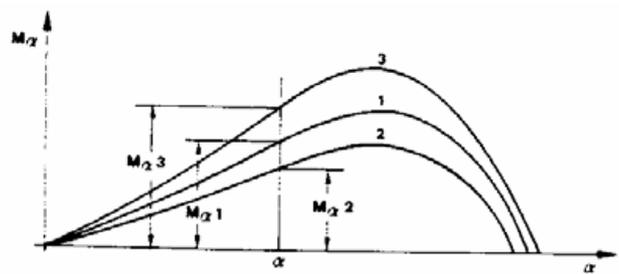
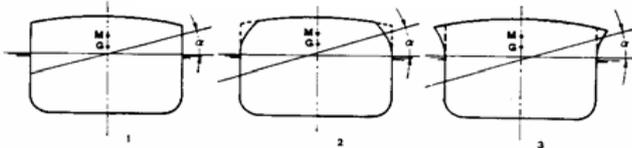
CASO 3

Influenza della posizione di G sul diagramma di stabilità



Caso 4

Influenza della larghezza della nave



### - Prova di Stabilità – Determinazione del centro di gravità di una nave

Abbiamo visto che il valore di  $(r - a)$  dipende sia da *elementi geometrici* ( $r$ ) che *meccanici* ( $a$ ). Mentre la determinazione di quelli geometrici, mediante conoscenza del piano di costruzione, non pone alcun problema, esistono invece possibili incertezze per quanto concerne l'esatta posizione del baricentro della nave.

Tale posizione viene stimata in sede progettuale per le diverse condizioni di carico dall'analisi dei pesi costituenti la nave e la loro posizione; ma occorre condurre ulteriori prove pratiche durante la vita della nave. La prova ordinariamente si esegue:

- dopo che la nave è stata varata;
- dopo che la nave è stata completamente allestita e portata alla voluta condizione di carico (per le dovute verifiche contrattuali);
- dopo che la nave ha subito lavori di trasformazione o modifica (per apportare eventuali aggiornamenti o variazioni alla stabilità);
- periodicamente durante il suo servizio.

La prova si effettua portando la nave sullo specchio d'acqua di un bacino, in assenza di vento, in posizione perfettamente diritta eliminando eventuali assetti longitudinali ed assicurandosi che gli ormeggi siano in bando.

Prima di effettuare la prova occorre controllare che non vi siano a bordo carichi scorrevoli o specchi liquidi liberi e che a bordo sia rimasto solo il personale interessato alla prova.

Si sistemano sul ponte di coperta nella zona più larga della nave *due ferroguidi* su cui si fa poggiare un carrello, all'uopo imbarcato, portante un peso di zavorra, libero di scorrere da murata a murata. Si dispongono anche uno o più fili a piombo per misurare le inclinazioni trasversali che nascono dallo spostamento trasversale del carrello di prova.

Il peso sul carrello deve essere di entità trascurabile rispetto al Dislocamento della nave e tale da provocare, quando spostato a murata, delle piccole inclinazioni trasversali. Posto il carrello inizialmente sul piano di simmetria, si sposta successivamente a murata.

Il peso  $p$  del carrello una volta spostato trasversalmente creerà una *coppia sbandante* equilibrata dalla *coppia di stabilità trasversale* e la nave assumerà una inclinazione  $\alpha$  ricavabile dall'eguaglianza dei momenti:

$$D \cdot (h - a) \cdot \sin \alpha = p \cdot y \cdot \cos \alpha$$

dove  $y$  è lo spostamento trasversale del peso  $p$ .

Il peso  $p$  viene opportunamente scelto in modo che l'inclinazione finale sia relativamente piccola e quindi si possa applicare la semplificazione del metodo metacentrico:

$$D \cdot (h - a) \cdot \sin \alpha = p \cdot y \cdot \cos \alpha \quad \text{ovvero} \quad r - a = \frac{p \cdot y}{D \cdot \tan \alpha}$$

da cui, essendo tutti i termini noti, si può ricavare  $a$  :

$$a = r - \frac{p \cdot y}{D \cdot \tan \alpha}$$

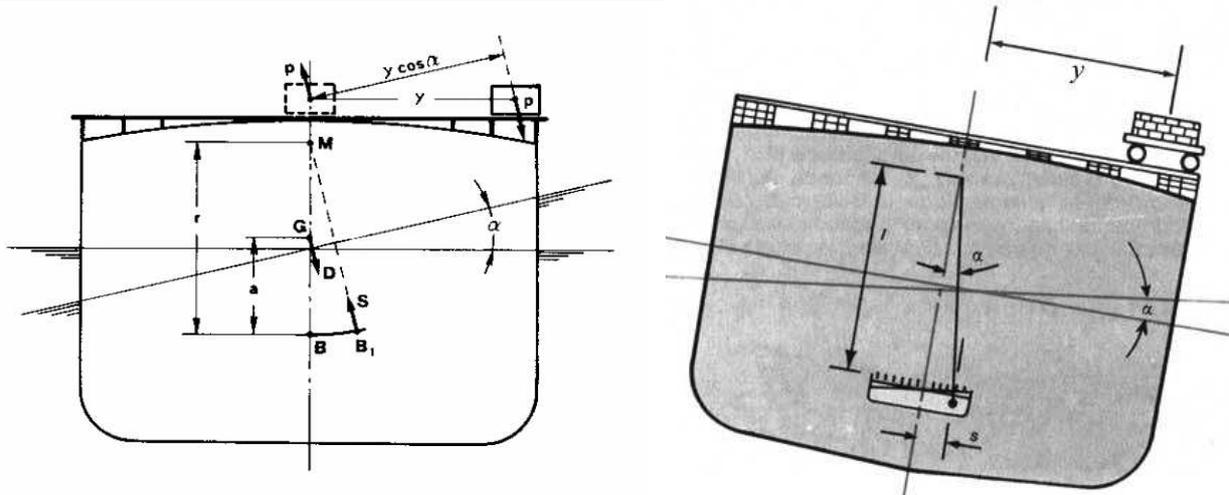
In tale formula l'unica incognita è la funzione tang  $\alpha$ , calcolata con la relazione:  $\tan \alpha = \frac{s}{l}$

in cui  $l$  è la lunghezza del filo a piombo,  $s$  lo spostamento del filo, misurato sul regolo graduato, fissato all'orlo superiore della vasca:

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2 + \tan \alpha_3}{3}$$

e, infine, la posizione del baricentro  $G$ :

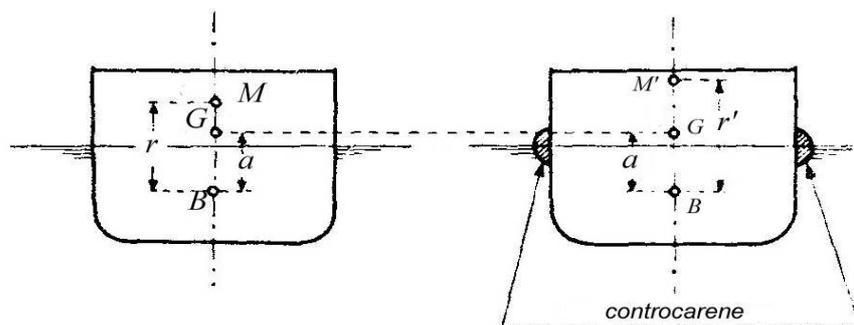
$$Z_G = Z_B + a$$



### - Come aumentare l'altezza metacentrica

Può accadere che, eseguita la *Prova di stabilità*, si trovi un valore dell'*altezza metacentrica* ( $r - a$ ) diverso da quello previsto in sede di progetto. I metodi correttivi da adottare sono *due* ed agiscono sulla stabilità di peso o di forma:

- spostare pesi verso la parte bassa della nave, qualora possibile;
- *zavorrare* la nave imbarcando in sentina pani di ghisa o blocchi di cemento con conseguente aumento del Dislocamento e diminuzione della velocità;
- *aumentare* il momento d'inerzia minimo della figura di galleggiamento agendo cioè sul rapporto  $r = I_x/V$ , ovvero allargando la figura stessa con l'applicazione nella zona di galleggiamento dei *controbordi* o *bottazzi* (controcarenare).



Ampliamento della superficie di galleggiamento (bottazzi) per aumentare la stabilità trasversale della nave

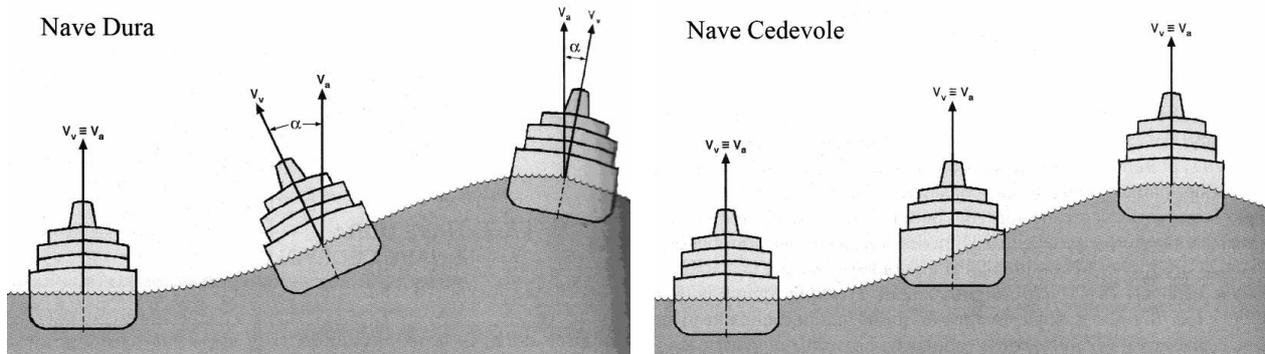
### - Nave dura o nave cedevole

Il coefficiente  $D(r - a)$  rappresenta la *resistenza* opposta dalla nave alle inclinazioni trasversali per angoli minori di  $10^\circ \div 12^\circ$  e a seconda che il suo valore risulti *elevato* o *ridotto*, la nave si dirà *dura* o *cedevole*.

Nello studio del *rollio* in moto ondoso, si dimostra che una *nave dura* risulta *molto agitata*, per la tendenza a mantenere i *ponti paralleli* al superficie dell'onda; una *nave cedevole* invece, presenta una

*stabilità di piattaforma*, tende cioè a mantenere i ponti in *posizione orizzontale* per l'elevato *Periodo di oscillazione* nei movimenti di *rollio* e di *beccheggio*.

Per conciliare le due condizioni, in modo che la nave non risulti, *troppo dura* né *troppo cedevole*, l'*altezza metacentrica* dovrà avere valore adeguato al tipo di nave stessa.



Il movimento oscillatorio della nave in mare ondoso è derivante dalla sovrapposizione dei due movimenti oscillatori: quello intorno alla verticale virtuale (normale all'onda) che è continuamente variabile (rollio relativo) e quello della verticale virtuale intorno alla verticale assoluta (rollio dell'onda).

**Nota.** Nello studio del rollio in un mezzo calmo non resistente vengono premesse ipotesi semplificative:

- si trascura la resistenza del mezzo (acqua aria);
- si trascurano le oscillazioni di beccheggio e di sussulto;
- le oscillazioni avvengono attorno ad un asse longitudinale passante per il centro di gravità della nave;
- l'ampiezza delle oscillazioni sia compresa nei limiti di applicazione del metodo metacentrico ( $< 10^\circ$ - $12^\circ$ ).

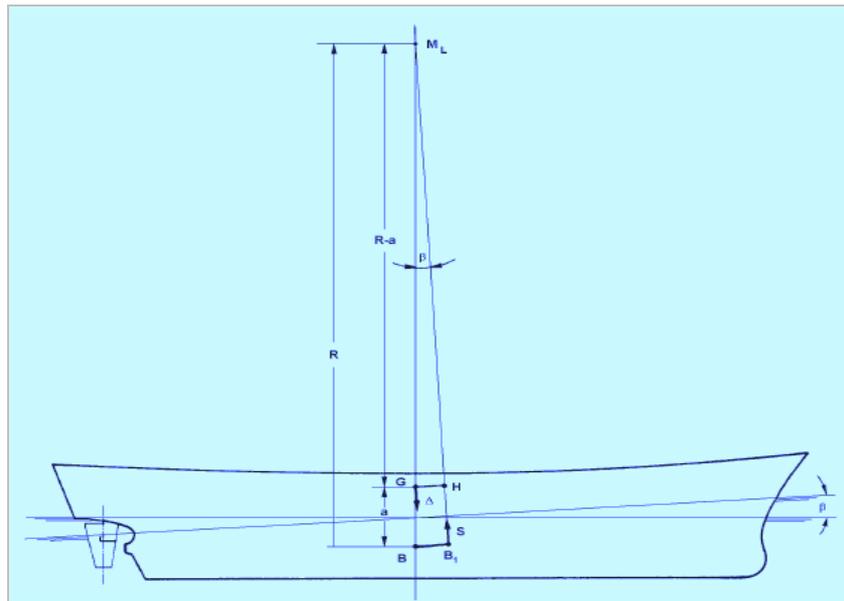
Con tali ipotesi la nave nel suo movimento di rollio può essere assimilato a quello di un pendolo composto, con lasse di oscillazione nel suo centro di gravità. Il periodo di oscillazione risulta:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{Gx}}{D(r-a)}}$$

in cui:  $T$ , il tempo impiegato dalla nave per compiere un'oscillazione completa (da una banda a quella opposta e ritorno a quella iniziale);  $I_{Gx} = \sum m \cdot d^2$  rappresenta il *Momento di Inerzia di massa* della nave rispetto all'asse longitudinale passante per il baricentro.

### - **Stabilità longitudinale**

Lo studio della stabilità statica longitudinale non influenza direttamente la sicurezza della nave, in quanto la nave reagisce alle inclinazioni longitudinali con altissimi valori della coppia di stabilità come successivamente dimostrato. Lo studio ha invece una grande importanza per la verifica dell'assetto della nave e le sue variazioni nelle diverse condizioni di carico. Lo studio degli assetti, cioè delle differenze di immersione tra prora e poppa, è di grande importanza ai fini dell'analisi della resistenza al moto e del comportamento della nave in moto ondoso.



La coppia di stabilità statica longitudinale viene determinata con ragionamenti del tutto analoghi a quelli effettuati per la coppia trasversale. Bisogna però considerare che le inclinazioni longitudinali, a causa della grande inerzia che la nave oppone ai *movimenti di beccheggio*, sono dell'ordine di pochi gradi, rientrando sempre nel campo di applicazione del *metodo metacentrico*.

Il raggio metacentrico longitudinale è molto più alto del raggio metacentrico trasversale essendo:

$$R = I_Y/V \quad \text{perché} \quad I_Y \gg I_X, \quad \text{si avrà} \quad R \gg r.$$

Il momento di stabilità longitudinale varrà (figura):

$$M_{SL} = D \cdot GH = D \cdot GM_L \cdot \text{sen} \beta$$

sostituendo:

$$M_{SL} = D \cdot (R - a) \cdot \text{sen} \beta$$

e trascurando  $a$  essendo molto più piccolo di  $R$ :

$$M_{SL} \cong D \cdot R \cdot \text{sen} \beta$$

### ▪ **Stabilità dinamica**

La *Stabilità dinamica* si riferisce alla condizione d'equilibrio della *nave inclinata* dell'angolo  $\alpha$  nella fase di moto oscillatorio trasversale: essa è la capacità della nave di ritornare nella posizione d'equilibrio stabile dritta grazie al *lavoro* compiuto dal momento della coppia di stabilità.

La nave ritornerà nella posizione d'equilibrio stabile se il valore di  $L$  è maggiore di quello del lavoro prodotto dalle forze sbandanti applicate alla nave per spostarla dalla posizione d'equilibrio stabile e dritta a quella definita dall'isocarena inclinata trasversalmente dell'angolo  $\alpha$ , senza velocità finale, in mezzo calmo.

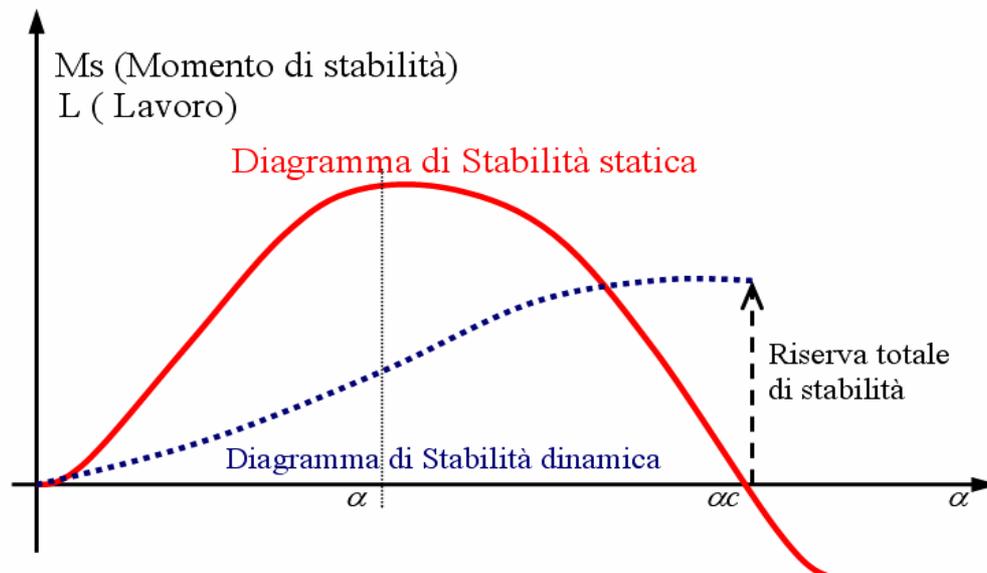
Si definisce quindi *Stabilità dinamica* di una nave, il lavoro compiuto dalle forze esterne per inclinare trasversalmente la nave di un angolo  $\alpha$ ; ovviamente tale lavoro è uguale e contrario a quello compiuto dal *momento di stabilità* per riportare la nave nella posizione dritta di equilibrio.

In *Fisica* il Lavoro effettuato da un *Momento*, per generare una rotazione è uguale al prodotto del momento per la relativa rotazione; nel nostro caso specifico poiché il valore del momento di stabilità  $M_s$  varia al variare dell'angolo di sbandamento, il lavoro può essere calcolato come integrale definito:

$$L = \int_0^{\alpha} M_{st} \cdot d\alpha = \int_0^{\alpha} D(r - a) \cdot \text{sen } \alpha \cdot d\alpha \quad [t \cdot m \cdot \text{rad}]$$

Tale integrale, e quindi il lavoro, rappresenta graficamente l'area racchiusa tra la curva di stabilità e l'asse delle ascisse, compresa tra l'origine e l'angolo  $\alpha$ .

Tutta l'area, racchiusa tra la curva di stabilità e l'asse delle ascisse fino all'angolo di capovolgimento  $\alpha_c$ , è detta *Riserva totale di stabilità*; essa rappresenta il lavoro che le forze esterne devono compiere per produrre il capovolgimento della nave o analogamente il lavoro che la nave oppone al capovolgimento.



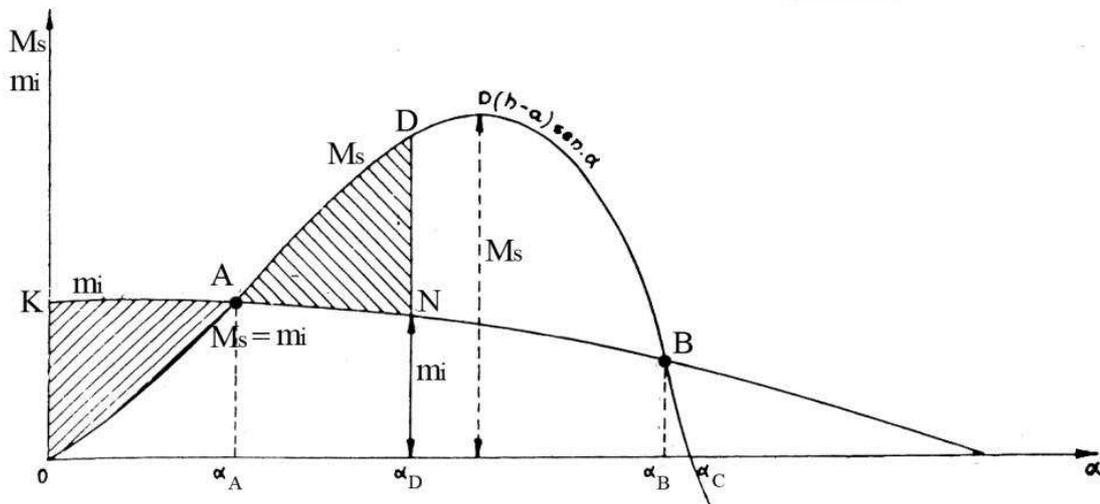
L'ordinata nel punto  $\alpha_c$  rappresenta la *Riserva totale di stabilità* della nave, cioè il Lavoro resistente che può opporre la nave al suo capovolgimento. Tale Lavoro è rappresentato dall'area racchiusa dal diagramma di stabilità statica (rosso), compresa tra gli angoli  $\alpha = 0^\circ$  e  $\alpha = \alpha_c$ . Il Diagramma della Stabilità dinamica è una curva ottenuta riportando sull'asse delle ascisse i valori dell'angolo di sbandamento  $\alpha$  e sulle ordinate i valori del lavoro eseguito dal Momento di Stabilità  $M_s$  per riportare la nave dal generico angolo di sbandamento  $\alpha$  alla posizione dritta.

### - Azione di una coppia inclinante

Se sul diagramma di stabilità sono riportati anche i valori del momento inclinante  $m_i$ , dovuto ad un'eventuale spostamento pesi (trasversale/longitudinale) o all'azione del vento, possiamo dal confrontando delle due curve (la curva di stabilità e la curva del momento inclinante) ricavare delle importanti informazioni sulla risposta della nave a tale momento inclinante e sulla relativa stabilità residua della nave. I punti in cui corrispondenza dei quali le due curve si intersecano rappresentano la nuova posizione di equilibrio per la nave.

La curva del momento inclinante interseca la curva di stabilità in due punti A e B, che rappresentano due posizioni inclinate di equilibrio stabile ed instabile.

Nella posizione iniziale dritta, poiché ( $m_i > M_s$ ), la nave comincia a sbandare trasversalmente fino a raggiungere la posizione di equilibrio stabile, dove ( $m_i = M_s$ ). L'angolo  $\alpha_A$  è detto *angolo di equilibrio statico*.



Tuttavia pur avendo raggiunto un equilibrio, poiché il *lavoro abbattente* compiuto dal momento inclinate (area  $OKA\alpha_A$ ) è maggiore di quello raddrizzante compiuto dal momento di stabilità (area  $OA\alpha_A$ ), la nave continua a sbandare trasversalmente; in particolare la differenza tra il *lavoro abbattente* e il *lavoro raddrizzante*, ovvero l'area ( $OKA$ ), rappresenta l'*energia cinetica* che spinge la nave ad oltrepassare il *punto di equilibrio stabile*.

Lo sbandamento trasversale termina quando si raggiunge la posizione di *equilibrio dinamico*, dove il lavoro abbattente (area  $OKN\alpha_D$ ) è perfettamente equilibrato dal lavoro raddrizzante (area  $OD\alpha_D$ ).

L'area ( $OKN\alpha_D$ ) = area ( $OD\alpha_D$ ), quando area ( $OKA$ ) = area ( $ADN$ ), condizione di equilibrio dinamico. L'angolo è detto *angolo di equilibrio dinamico*.

Raggiunto il punto  $D$  di equilibrio dinamico, poiché ( $M_s > m_i$ ), la nave tornerà verso la posizione  $A$  di equilibrio stabile dopo aver compiuto una serie di oscillazioni.

Il punto  $B$  è invece un punto di *equilibrio instabile*, infatti se la nave è inclinata ulteriormente, anche di un piccolo angolo, si avrà ( $m_i > M_s$ ), quindi la nave si inclinerà sempre più fino al *capovolgimento*.

L'angolo è detto *angolo di equilibrio critico dinamico*.

Dalla differenza tra i valori del momento di stabilità ( $M_s$ ), e i valori del momento sbandante ( $m_i$ ), possiamo costruire un nuovo diagramma di stabilità, dove sull'ordinate riportiamo i valori della differenza ( $M_s - m_i$ ), e sulle ascisse gli angoli  $\alpha$  di sbandamento. L'area racchiusa tra tale curva e l'asse delle ascisse è detta *Riserva di stabilità residua*.

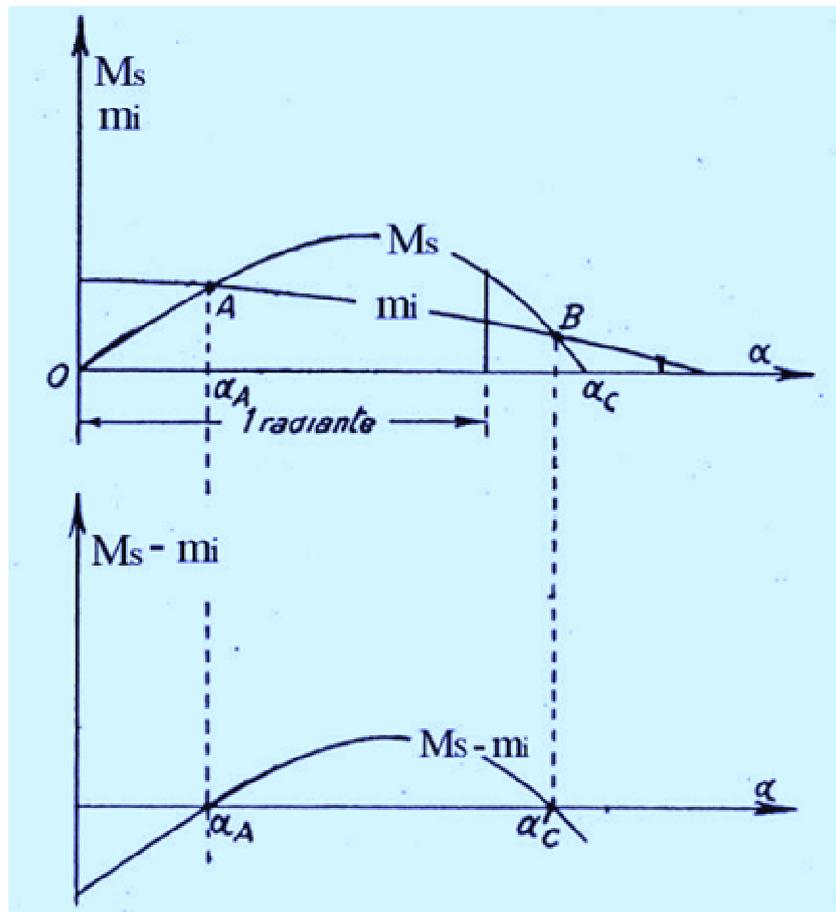
**Momenti inclinati di tipo sinusoidali e cosinusoidali.** Il momento inclinate di tipo sinusoidale dipende dalla *funzione seno* e varia ovviamente al variare dell'angolo d'inclinazione della nave; il suo valore è nullo quando ( $\alpha = 0^\circ$ ) e massimo quando ( $\alpha = 90^\circ$ ).

Questo momento è dovuto allo *spostamento verticale* del baricentro della nave ad esempio per uno *spostamento verticale del peso* e ha come effetto quello di non produrre sbandamenti (la nave rimane dritta) ma provoca una variazione dell'*altezza metacentrica* e quindi del *Diagramma di Stabilità* (vedi paragrafo spostamento pesi).

Il momento inclinate di tipo *cosinusoidale* dipende dalla *funzione coseno* e varia al variare dell'angolo d'inclinazione della nave; il suo valore è nullo quando ( $\alpha = 90^\circ$ ) e massimo quando ( $\alpha = 0^\circ$ ).

Sono momenti inclinati di tipo *cosinusoidali* l'*azione di un vento costante* e lo *spostamento trasversale* di un peso. Un momento cosinusoidale provoca uno sbandamento trasversale della nave e poiché la sua azione è massima quando la nave è nella sua *posizione dritta* ( $\alpha = 0^\circ$ ) possiamo intuire che per far fronte a questo momento abbattente deve essere dotata di un'elevata altezza

metacentrica tale che il Momento di Stabilità risulti maggiore del momento abbattente di tipo cosinusoidale ( $M_s > m_i$ ).



### ▪ **Spostamento di pesi a bordo delle navi**

Le cause principali di *variazione della stabilità* sono:

- Spostamento dei pesi
- Sospensione di un peso
- Carichi scorrevoli
- Materiali caricati alla rinfusa
- Carichi liquidi
- Imbarco e sbarco di pesi
- Allagamento per falla
- Incaglio
- Immissione della nave in bacino
- Accostata ed evoluzione
- Azione del vento al traverso combinata con il rollio

### - Spostamento verticale

Quando un peso  $p$  viene innalzato verticalmente della quantità  $z$ , il centro di gravità della nave si sposta verticalmente da  $G$  a  $G_1$  della quantità:

$$GG_1 = \frac{p \cdot z}{\Delta}$$

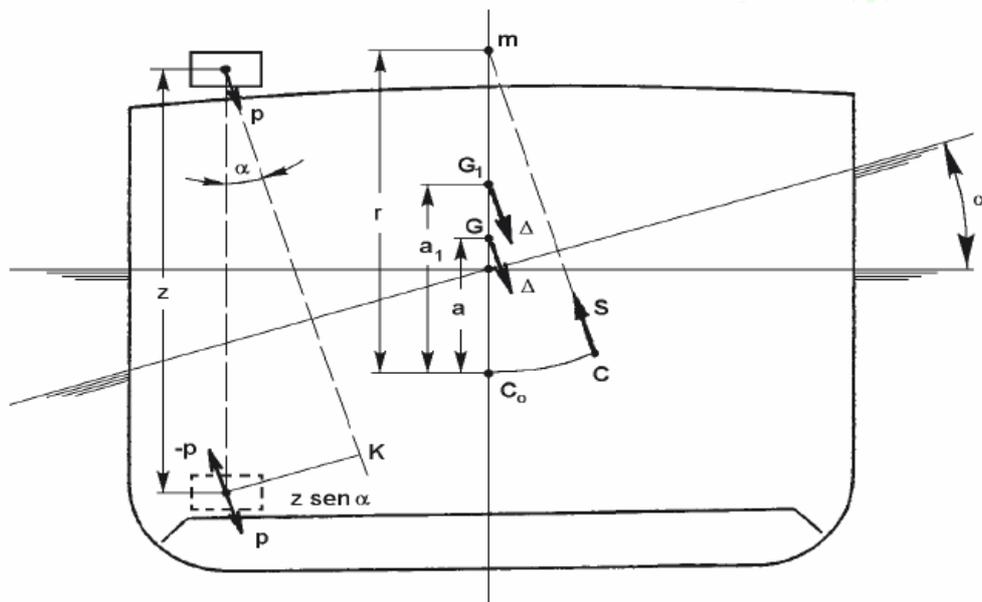
infatti indicando con  $Z_G$  e con  $Z_{G_1}$  le posizioni del baricentro rispetto alla linea di costruzione e con  $z_p$  e  $z_{p'}$  le posizioni iniziali e finali del peso  $p$  si avrà dal teorema dei momenti statici (di Varignon):

$$\Delta \cdot z_{G_1} = \Delta \cdot z_G + p \cdot z_{p'} - p \cdot z_p$$

da cui essendo  $z = z_{p'} - z_p$  e  $GG_1 = Z_{G_1} - Z_G$ , si ottiene la relazione di cui sopra.

Ne consegue che l'altezza metacentrica risulterà variata e varrà:

$$(r - a_1) = \left[ (r - a) - \frac{p \cdot z}{\Delta} \right]$$



Tale grandezza ovviamente risulterà accresciuta o diminuita a seconda che lo spostamento sia avvenuto verso il basso o verso l'alto. In particolare si nota come uno spostamento verso l'alto sia penalizzante ai fini della stabilità riducendo il valore  $(r - a)$  della quantità  $\frac{p \cdot z}{\Delta}$ .

Lo spostamento verticale di un peso non produce alcuna inclinazione ma farà variare la Stabilità; si avrà, infatti, un nuovo valore dell'altezza metacentrica trasversale e quindi un nuovo valore del Momento di stabilità trasversale:

$$M'_s = \Delta \cdot G' M \cdot \text{sen} \alpha = \Delta \cdot \left[ (r - a) \pm \frac{p \cdot z}{\Delta} \right] \cdot \text{sen} \alpha$$

$$M'_s = \Delta \cdot (r - a) \cdot \text{sen} \alpha \pm p \cdot z \cdot \text{sen} \alpha$$

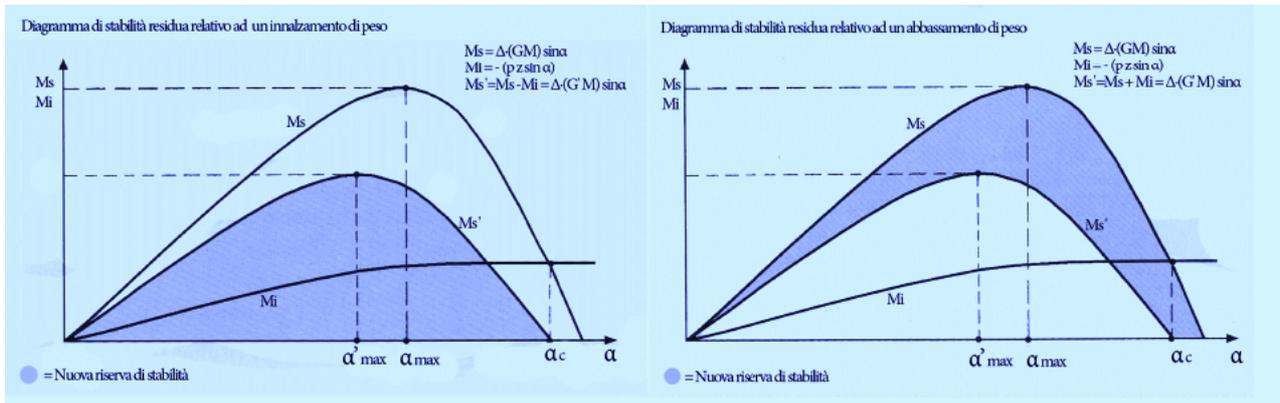
$$M'_s = M_s \pm M_i$$

dove,

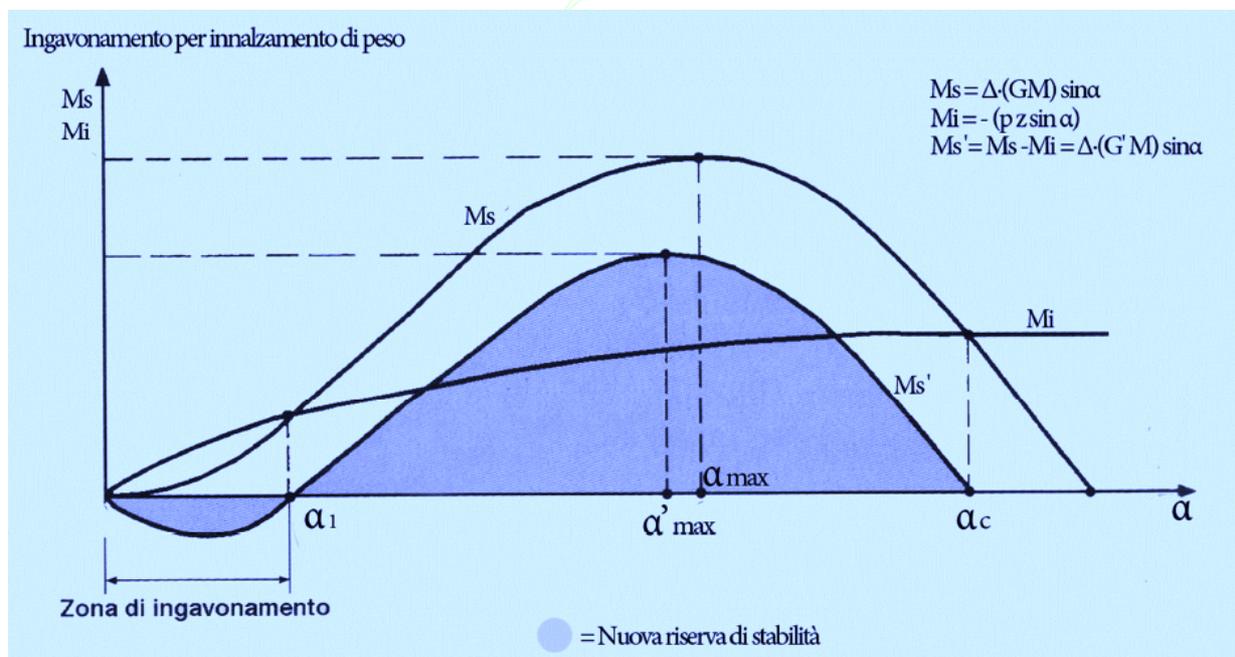
$M'_i = \pm p \cdot z \cdot \text{sen} \alpha$  è il Momento inclinate prodotto dallo spostamento verticale del peso; esso non

produce alcun sbandamento, tende solamente o ad *aumentare* o a *diminuire* il *Momento di Stabilità trasversale* della nave.

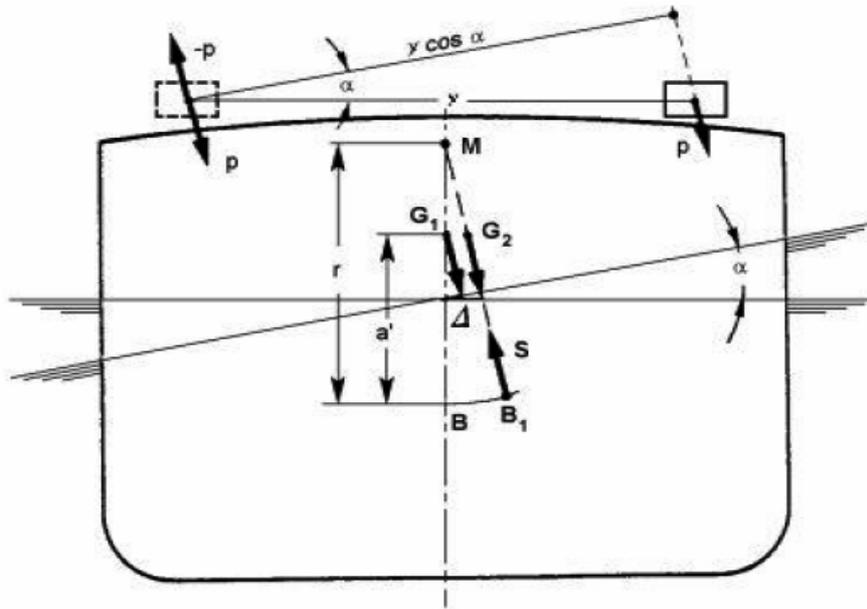
Se tracciamo sul *diagramma di stabilità* i valori del *Momento iniziale di stabilità*  $M_S$  e i valori del *Momento inclinato*  $M_i$ , prodotto dallo spostamento verticale del peso, la loro *somma* o la loro *differenza*, a seconda che lo spostamento del peso sia *verso il basso* o *verso l'alto*, ci restituisce i valori del nuovo *Momento di Stabilità trasversale*  $M'_S$ . L'*area racchiusa* tra l'asse delle ascisse e il nuovo Momento  $M'_S$  rappresenta la nuova *Riserva di Stabilità della nave*.



Se a causa dell'innalzamento di un peso il baricentro  $G$  della nave viene a posizionarsi al disopra del metacentro  $M$ , la nave si *ingavona* di un angolo  $\alpha$



## - Spostamento trasversale



Quando il peso  $p$  viene spostato trasversalmente della quantità  $y$  viene ad esercitarsi sulla nave l'azione della *coppia sbalancata* pari a:

$$M_{\alpha} = p \cdot y \cdot \cos \alpha$$

che dà luogo all'inclinazione trasversale  $\alpha$ .

Tale inclinazione sarà facilmente individuabile dall'equilibrio dei momenti:

$$p \cdot y \cdot \cos \alpha = \Delta \cdot (h - a) \cdot \sin \alpha$$

da cui:

$$\tan \alpha = \frac{p \cdot y}{\Delta \cdot (h - a)}$$

Se l'angolo di inclinazione  $\alpha$  non supera i  $10^{\circ}$  si potrà ricorrere alla semplificazione del metodo metacentrico sostituendo  $h$  con  $r$ ; per cui:

$$\tan \alpha = \frac{p \cdot y}{\Delta \cdot (r - a)}$$

Nel caso in cui lo sbandamento trasversale è superiore a  $12^{\circ}$ , per determinare l'angolo di sbandamento  $\alpha$  si traccia sul diagramma di stabilità il *Momento di stabilità*  $M_S$  e il *Momento inclinato*  $M_i$ , cioè la *cosinusoide*  $p \cdot y \cdot \cos \alpha$ ; l'intersezione delle curve ci fornisce il valore dell'angolo ( $\alpha$ ) di *equilibrio statico*.

La *differenza* delle aree racchiuse dalle due curve rappresenta, invece, la nuova *Riserva di Stabilità della nave*.

Dall'equazione per determinare l'angolo di sbandamento trasversale  $\alpha$  di *equilibrio statico* possiamo ricavare due importanti formule inverse:

- 1) per determinare il peso  $p$  da spostare trasversalmente del valore  $y$  per ottenere un'inclinazione  $\alpha$ :

$$p = \frac{\Delta \cdot (r - a) \cdot \tan \alpha}{y}$$

- 2) per determinare la distanza trasversale  $y$  di cui bisogna spostare il peso  $p$  per ottenere un'inclinazione  $\alpha$ :

$$y = \frac{\Delta \cdot (r - a) \cdot \tan \alpha}{p}$$

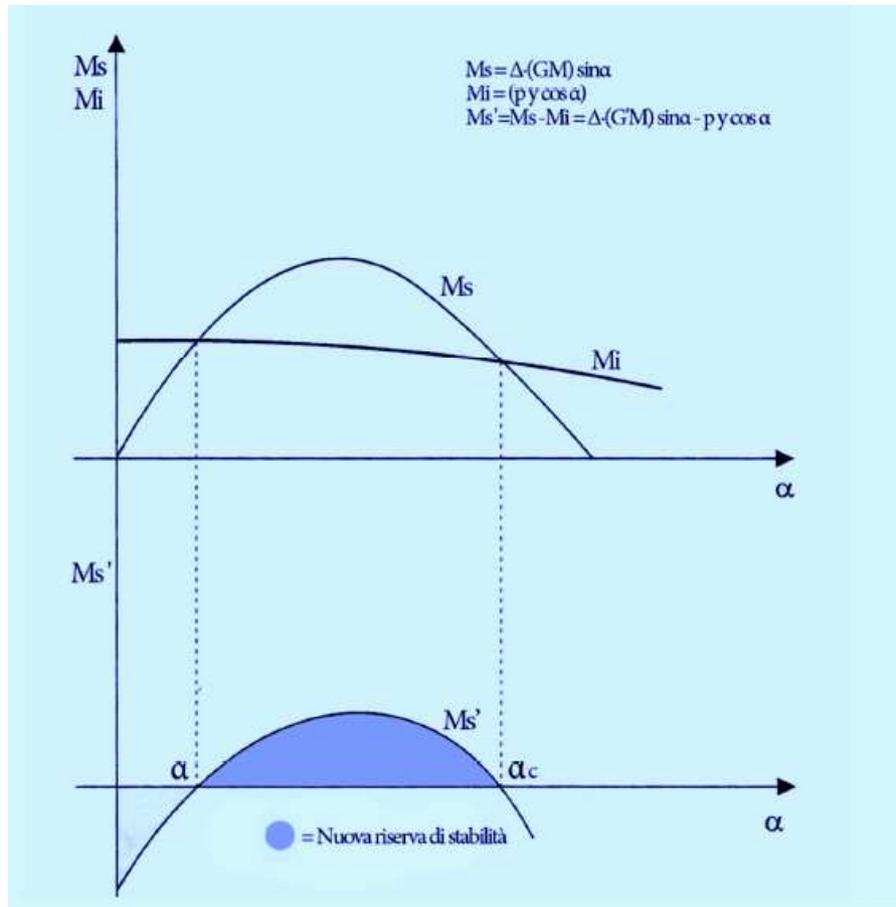


Diagramma di Stabilità residua relativa ad uno spostamento trasversale di peso

### - Spostamento longitudinale

Quando un peso  $p$ , facente parte del dislocamento  $\Delta$  della nave, viene spostato orizzontalmente in senso longitudinale per un tratto  $x$ , si viene ad esercitare sulla nave l'azione di una *coppia sbandante* pari a:

$$M_\beta = p \cdot x \cdot \cos \beta$$

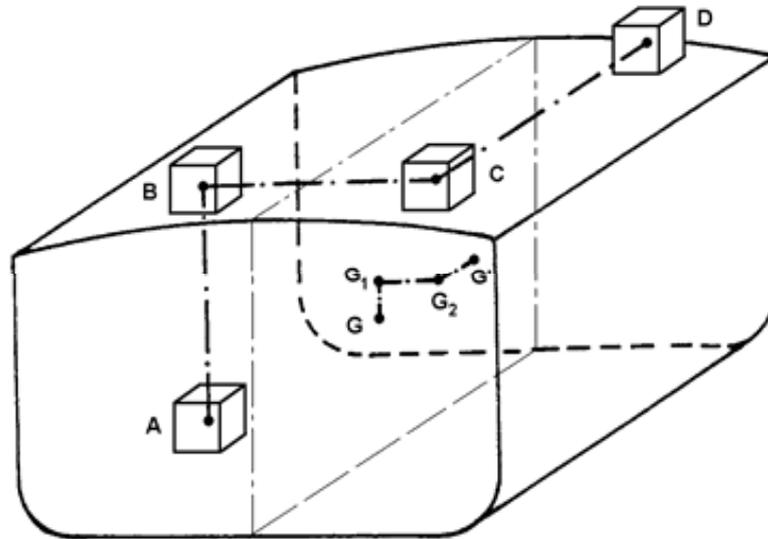
dove  $\beta$  rappresenta l'angolo per il quale il momento di Stabilità longitudinale bilancia il momento sbandante:

$$D \cdot (R - a) \cdot \sin \beta = p \cdot x \cdot \cos \beta$$

da cui:

$$\tan \beta = \frac{p \cdot x}{\Delta \cdot (R - a)}$$





Il risultato finale sarà dato dalla somma dei tre effetti. Le coordinate del nuovo baricentro  $G'$ , saranno:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{G'} = X_G \pm \frac{P \cdot x}{\Delta} \\ Y_{G'} = Y_G \pm \frac{P \cdot y}{\Delta} \\ Z_{G'} = z_G \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \end{array} \right.$$

in cui:

- per la  $x$ , + spostamento verso prora;      - spostamento verso poppa;
- per la  $z$ , + spostamento verso l'alto;      - spostamento verso il basso;
- per la  $y$ , + spostamento verso sinistra;      - spostamento verso dritta.

I valori dei momenti di stabilità statica trasversale e longitudinale risultano stabiliti dalle relazioni:

$$M_{ST} = \Delta \cdot \left[ (r - a) \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \right] \cdot \text{sen} \alpha$$

$$M_{SL} = \Delta \cdot \left[ (R - a) \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \right] \cdot \text{sen} \beta$$

Le inclinazioni trasversali e longitudinali risultano stabilite dalle relazioni:

$$\tan \alpha = \frac{P \cdot y}{\Delta \cdot \left[ (r - a) \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \right]}$$

$$\tan \beta = \frac{P \cdot x}{\Delta \cdot \left[ (R - a) \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \right]}$$

### ▪ Carichi mobili o deformabili

Sono quei carichi il cui baricentro si sposta in seguito ad un'inclinazione della nave. A tale categoria appartengono i *carichi pendolari*, quelli *scorrevoli* e quelli a *livello libero* (liquidi).

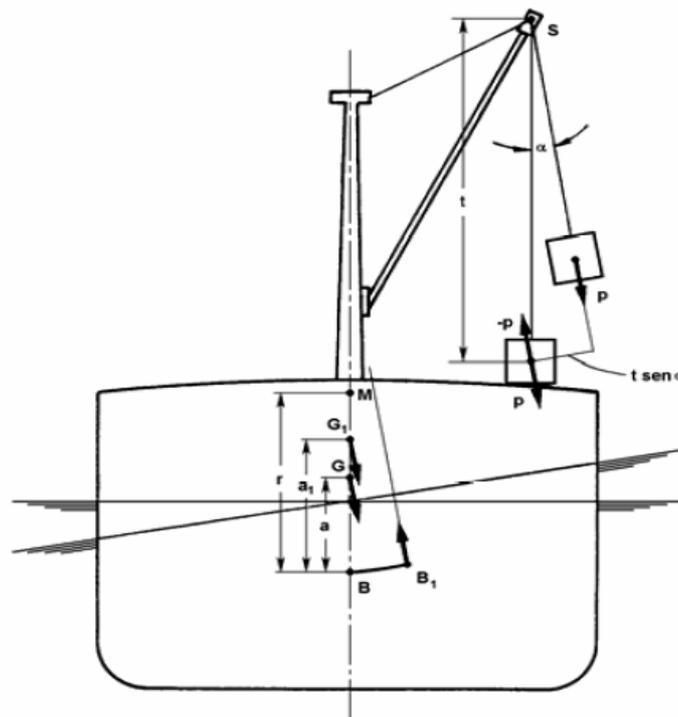
#### - Carichi sospesi

Un peso  $p$ , sospeso ad un punto sopraelevato e libero di oscillare, influenza le caratteristiche di stabilità della nave. Infatti per qualunque inclinazione la retta d'azione di tale peso passa proprio per il *punto di sospensione* e, ai fini della stabilità, è come se il carico fosse applicato proprio in tale punto.

Si ricadrà dunque nel caso di spostamento verticale di peso. Si può pensare ad una causa inclinante per cui:

$$M = p \cdot t \cdot \sin \alpha$$

dove  $t \cdot \sin \alpha$  è il braccio della coppia fittizia  $p, -p$ , creata dalla sospensione del carico e  $t$  è l'altezza del punto di sospensione. Il baricentro risulterà innalzato dunque della quantità  $p \cdot t / \Delta$  che è la *riduzione dell'altezza metacentrica* (vedi spostamento verticale del peso).



Da quanto precede risulta chiaro come sia importante, nell'elevare pesi di una certa entità, vincolarli con paranchi di ritenuta, venti ed altri mezzi che ne riducano le oscillazioni; questo sia per contenere le riduzioni di stabilità trasversale quando ci si trovi in condizioni critiche, sia perché il carico non urti danneggiandosi o provocando danni a persone o strutture.

#### - Carichi scorrevoli

Se a bordo di una nave, inizialmente diritta e stabile, si trova un carico non rizzato e la nave si inclina per una causa qualunque, possono nascere notevoli problemi per quanto riguarda la stabilità. Infatti quando l'angolo di inclinazione trasversale sarà pari all'angolo di attrito di primo distacco, il corpo comincerà a strisciare o rotolare andando a fermarsi contro un eventuale ostacolo che può essere rappresentato da una paratia.

Se tale angolo non viene superato il carico si comporta come se fosse rigidamente vincolato alla nave. Si ricade dunque nel caso di spostamento trasversale di peso in cui il momento di stabilità dovrà equilibrare il momento sbandante:

$$M_{\alpha} = p \cdot y \cdot \cos \alpha$$

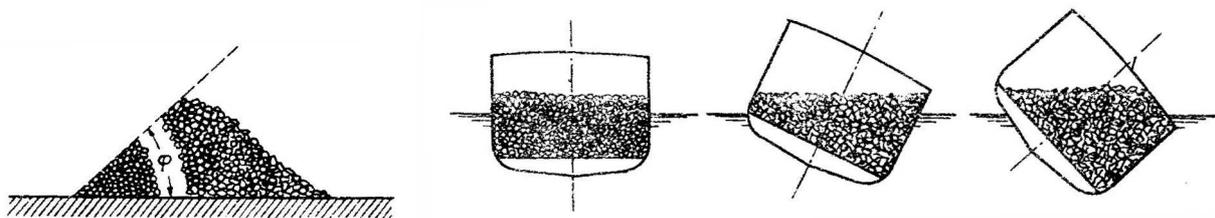
e ciò accadrà per un certo valore di sbandamento della nave (vedi spostamento trasversale di pesi).

Tale spostamento trasversale, essendo improvviso ed incontrollato, può essere pericoloso per l'equipaggio, le strutture e le apparecchiature; nel caso di navi che trasportano carichi pesanti come lamiere o tondini d'acciaio, gli spostamenti trasversali del carico possono essere tali da portare la nave a situazioni critiche di stabilità e sicurezza, soprattutto in condizioni di mare molto agitato.

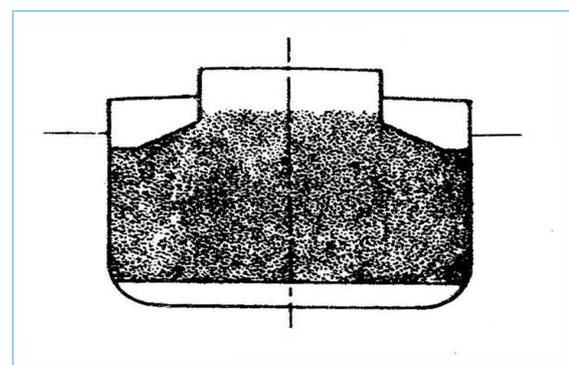
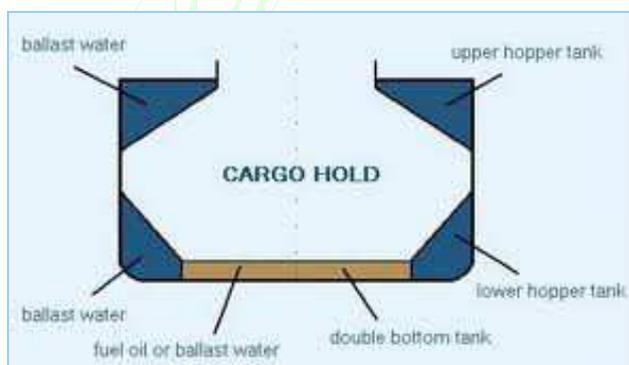
### - Carichi alla rinfusa

La presenza a bordo di carichi alla rinfusa (*cereali, granaglie, carbone, minerali*) provoca dei problemi simili a quelli visti per i carichi scorrevoli). Si definisce *angolo di naturale declivio* quell'angolo in cui il materiale si va a posizionare naturalmente quando viene rovesciato su un piano.

Inclinazioni trasversali piccole, *minori* dell'angolo di naturale declivio del carico, non provocano alcuna variazione della stabilità in quanto il carico si comporta come se fosse rigidamente collegato allo scafo; appena si supera questo angolo, il carico comincia a scorrere e si sposta senza tornare nella posizione originaria anche se la nave torna nella posizione diritta. Tale fenomeno può presentarsi, in maniera pericolosa, sia pure per angoli inferiori a quello di naturale declivio, per le *azioni dinamiche* dovute alle accelerazioni provocate dal mare molto agitato. Tale situazione è riconducibile ad uno *spostamento trasversale* di peso.

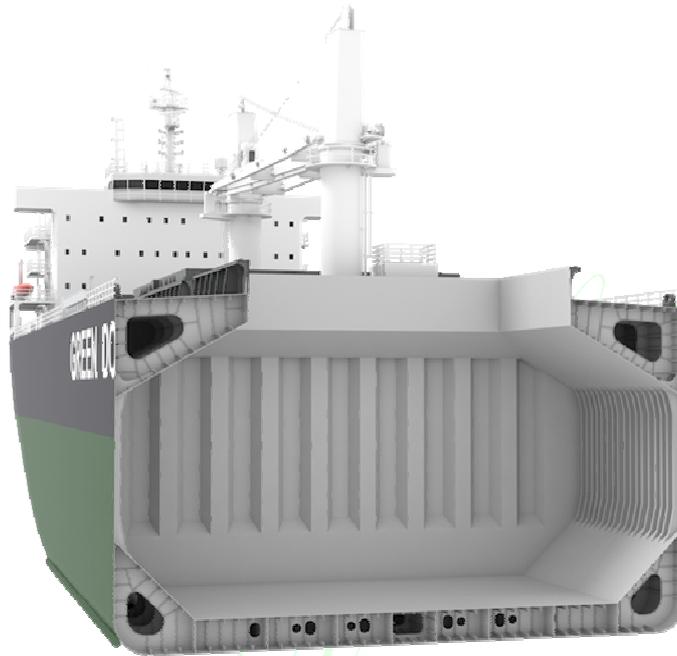


L'angolo di naturale declivio (o di sdruciolamento) di un materiale è l'angolo di attrito fra le varie particelle. Esso si identifica con l'angolo  $\varphi$  che la scarpa del cono con cui si dispone un materiale incoerente quando è lasciato cadere a mucchio. Per le granaglie è:  $\varphi = 25^{\circ} \div 30^{\circ}$ ; per il carbone  $\varphi = 40^{\circ} \div 45^{\circ}$ ; per il minerale ghiaioso  $\varphi = 55^{\circ} \div 40^{\circ}$ ; per il minerale in pezzatura  $\varphi = 50^{\circ} \div 60^{\circ}$ .



Esistono delle navi appositamente costruite per il trasporto di carichi alla rinfusa. Queste navi sono dette "bulk-carriers" o navi trasporta rinfuse. La loro struttura presenta delle casse alte laterali che tra gli altri compiti assolvono a quello di diminuire la superficie di scorrimento del carico.

Nelle piccole navi, le cui stive non sono progettate come sopra descritto, occorre, se possibile, caricare "a tappo" oppure, inserire durante il caricamento *paratie longitudinali* mobili in legno o lamiera (*a cascio*). Nel caso di granaglie è opportuno fare una "saccatura" sulla superficie libera. Per ovviare e diminuire i pericoli di spostamento del carico alla rinfusa le navi adibite a tale trasporto vengono costruite con stive di forma opportuna, dette "autostivanti" in modo da limitare la possibilità e l'entità dello spostamento.

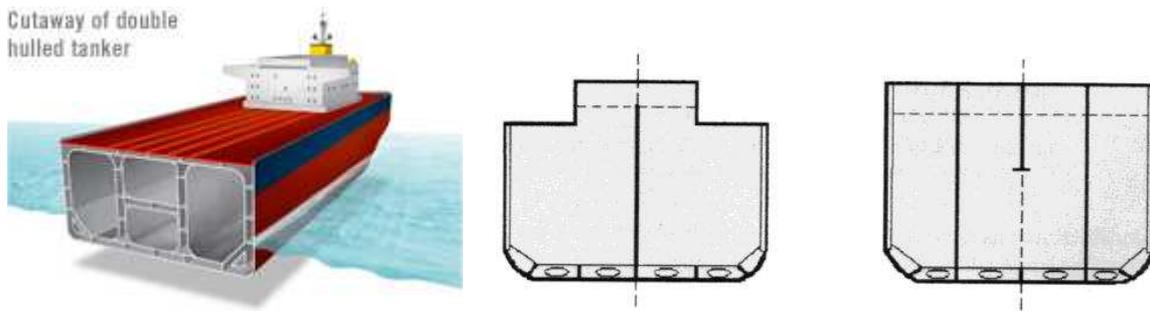


### - Carichi liquidi

Tra i carichi che costituiscono il dislocamento  $\Delta$  di una nave vi sono sempre dei *carichi liquidi* che comportano problemi di stabilità. Consideriamo una cisterna contenente un carico liquido. Se il deposito è completamente riempito, il carico liquido deve considerarsi come un peso solido e la posizione (g) del suo baricentro rimane costante indipendentemente dallo sbandamento trasversale della nave.

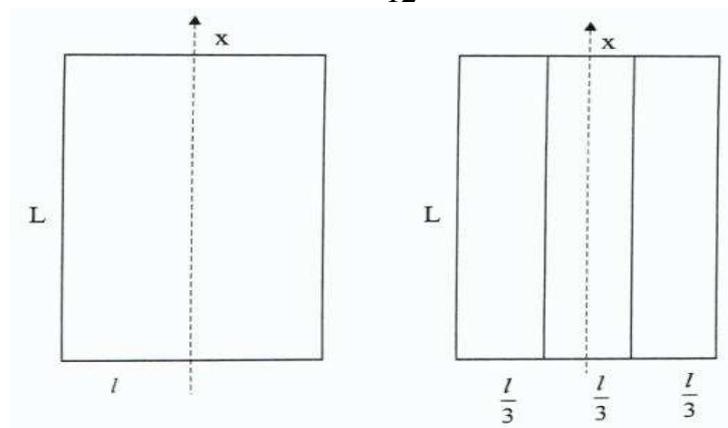
Se, invece, il deposito è parzialmente pieno, allora quando la nave sbanderà trasversalmente di un angolo ( $\alpha$ ) per effetto di una causa esterna, la superficie libera del liquido, contenuto nella cisterna, si disporrà parallelamente al galleggiamento della nave e il suo baricentro si sposterà dalla posizione (g) alla posizione (g') descrivendo una curva, che per angoli ( $< 12^\circ$ ), potrà considerarsi un arco di circonferenza di centro  $K$ , detto *metacentro del carico liquido*, e raggio  $z = Kg$ , detto *raggio metacentrico* della cisterna liquida. In pratica si andrà a considerare il carico liquido come un carico pendolare di peso ( $p$ ), sospeso ad un filo di lunghezza ( $z$ ), libero di oscillare intorno al punto  $K$  di sospensione, dove si suppone sia concentrato l'intero peso del carico. Di conseguenza, analogamente al carico pendolare, il carico liquido produrrà un innalzamento virtuale del baricentro della nave dalla posizione  $G$  alla posizione  $G'$ :





Ad esempio consideriamo un deposito rettangolare di lunghezza ( $L$ ) e larghezza ( $l$ ), il momento d'inerzia della superficie libera del liquido in esso contenuto sarà:

$$i_x = \frac{L \cdot (l)^3}{12}$$



Se si suddivide il deposito in due parti uguali, il momento d'inerzia totale, sarà la somma dei momenti d'inerzia delle due porzioni di deposito:

$$i_x = 2 \cdot \frac{L \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{12} = \frac{1}{4} \cdot \frac{L \cdot (l)^3}{12}$$

e la riduzione dell'altezza metacentrica sarà 1/4 di quella senza paratie di suddivisione.

Se, invece, si suddivide il deposito in tre parti uguali, il momento d'inerzia totale sarà:

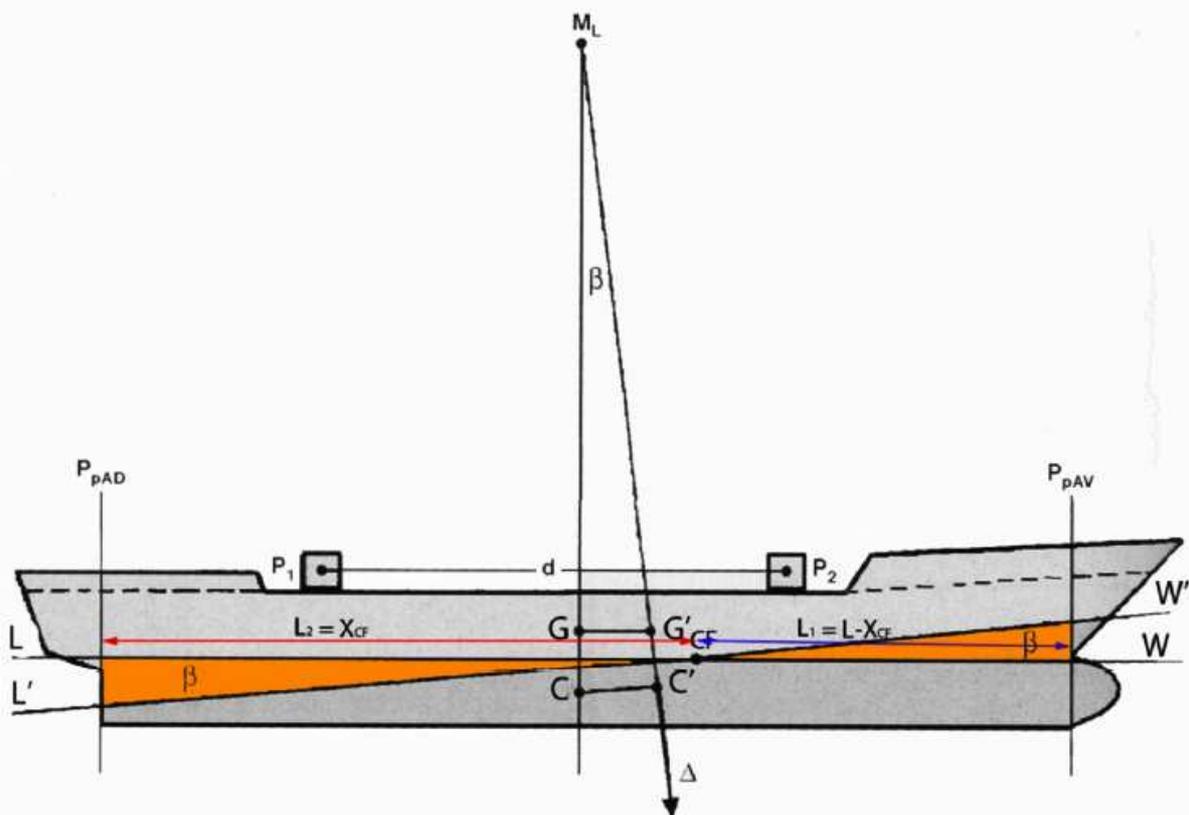
$$i_x = 3 \cdot \frac{L \cdot \left(\frac{l}{3}\right)^3}{12} = \frac{1}{9} \cdot \frac{L \cdot (l)^3}{12}$$

e la riduzione dell'altezza metacentrica sarà 1/9 di quella senza paratie.

### ▪ Assetto (Trim) e Variazione d'Assetto

La *Stabilità longitudinale* è l'attitudine che ha la nave a riprendere la sua *posizione d'equilibrio*, dopo essere inclinata verso prora e verso poppa (moto di beccheggio) sotto l'azione di forze esterne. I valori degli angoli relativi al moto oscillatorio longitudinale ( $3^\circ \div 5^\circ$ ) sono inferiori a quelli che si verificano nelle oscillazioni trasversali (fino a  $30^\circ \div 40^\circ$ ).

Si definisce *angolo di assetto*, l'inclinazione longitudinale della nave galleggiante in equilibrio, non sottoposta ad alcuna azione di forza esterna. L'Assetto, a differenza della Stabilità longitudinale che studia il comportamento della nave quando è allontanata dalla posizione d'equilibrio da forze esterne, si riferisce a *posizioni equilibrio* di questa più o meno permanenti assunte in dipendenza della *distribuzione interna* dei pesi che può provocare *appruamento*, se il *pescaggio* della prua è superiore a quello della poppa, o *appoppamento* nel caso opposto. Le variazioni angolari oscillano, come già detto, intorno a valori di  $2^\circ$  a  $3^\circ$ .



In realtà nel caso di uno spostamento longitudinale del peso, più che riferirsi all'angolo di sbandamento si preferisce considerare l'Assetto (Trim) o la Variazione di Assetto (change of Trim). Si definisce Assetto (Trim), la differenza tra l'Immersione addietro ( $I_{AD}$ ) e l'immersione avanti ( $I_{AV}$ ):

$$\text{Assetto} = \text{Trim} = I_{AD} - I_{AV}$$

se  $I_{AD} > I_{AV}$ ,  $\text{Trim} > 0$ , la nave è appoppata; se  $I_{AD} < I_{AV}$ ,  $\text{Trim} < 0$ , la nave è appruata.

Si definisce Variazione di Assetto (CT: Change of Trim;  $\Delta d$ ), la somma delle variazioni delle immersioni estreme:

$$\text{Variazione di Assetto } A_S = CT = \Delta d = I_{AD} + I_{AV};$$

se  $\Delta d > 0$ , la nave è appoppata; se  $\Delta d < 0$ , la nave è appruata.

Se un peso  $p$  è spostato longitudinalmente di una quantità  $x$ , la nave si inclina longitudinalmente di un certo angolo  $\beta$ , di conseguenza si verifica una *variazione dell'Assetto*. Tale variazione può essere facilmente determinata geometricamente osservando la figura riportata sopra:

$$\begin{aligned} \Delta I_{AV} &= L_1 \cdot \tan \beta & \Delta I_{AV} &= L_2 \cdot \tan \beta & (L_1 = l - x_g) & (L_1 = l - x_g) \\ \Delta d &= (L_1 + L_2) \cdot \tan \beta & \Delta d &= L \cdot \tan \beta \end{aligned}$$

Poiché

$$\tan \beta = \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)}$$

si avrà

$$\Delta I_{AV} = L_1 \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)}$$

$$\Delta I_{AD} = L_2 \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)}$$

$$\Delta d = L \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)}$$

Noti i valori dei pescaggi iniziali e finali, come nel caso dell'incaglio, la variazione d'Assetto si può stabilire mediante la relazione algebrica ( $\Delta d = A'_S - A_S$ ):

$$\Delta d = (I'_{AD} - I'_{AV}) - (I_{AD} - I_{AV})$$

Con le relazioni sopra scritte è possibile definire il cosiddetto *Momento Unitario di Assetto*:

“ il momento  $p \cdot x$  che produce la Variazione d'Assetto  $\Delta d = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$  ”

Quindi:

$$0,01 = L \cdot \frac{M_u}{D(R-a)} \quad \text{ovvero} \quad M_u = \frac{D \cdot (R-a)}{100 \cdot L}$$

Con l'introduzione del Momento unitario d'Assetto, le relazioni di cui si trasformano in:

$$\Delta I_{AV} = \frac{L_1}{L} \cdot \frac{p \cdot x}{100 \cdot M_u}$$

$$\Delta I_{AD} = \frac{L_2}{L} \cdot \frac{p \cdot x}{100 \cdot M_u}$$

$$\Delta d = \frac{p \cdot x}{100 \cdot M_u}$$

Il calcolo dei pescaggi dopo lo spostamento longitudinale del peso  $p$  si effettuerà con:

$$I'_{AV} = I_{AV} \pm \frac{L_1}{L} \cdot \frac{p \cdot x}{100 \cdot M_u}$$

$$I'_{AD} = I_{AD} \mp \frac{L_2}{L} \cdot \frac{p \cdot x}{100 \cdot M_u}$$

in cui il segno + nella prima va preso per spostamento *verso prora* e nella seconda si sceglierà in tal caso il segno -; il segno - per spostamento *verso poppa* (e nella seconda si prenderà il segno +).

## INDICE

Prefazione .....	Pag 3
COMPETENZA IN ESITO N. 3	
Gestire in modo appropriato gli spazi a bordo e organizzare i servizi di carico e scarico, di sistemazione delle merci e dei passeggeri .....	» 4
<hr/>	
GEOMETRIA DELLA NAVE	
Definizioni riguardanti la geometria della carena .....	» 5
Scale delle immersioni estreme o scale dei Pescaggi .....	» 11
Immersione isocarenica dritta .....	» 13
Elementi caratteristici di una carena: Coefficienti di Finezza .....	» 14
Tipologie di carene .....	» 16
Il Piano di Costruzione .....	» 17
Elementi geometrici e meccanici delle Carene dritte .....	» 20
Scala di Solidità. Scala delle Portate (D.W. - Dead Weight ) .....	» 25
Riserva di spinta e Riserva di galleggiabilità .....	» 27
Variazione dell'Immersione media al passaggio in acqua di densità diversa .....	» 27
STATICA DELLA NAVE	
Equilibrio dei corpi .....	» 29
Stabilità dei corpi completamente immersi .....	» 30
Equilibrio dei corpi galleggianti .....	» 30
Stabilità trasversale per piccole inclinazioni ( $\alpha \leq 10^\circ \div 12^\circ$ ) .....	» 32
Stabilità trasversale per inclinazioni $\alpha$ superiori a $10^\circ$ .....	» 33
Diagramma di stabilità statica trasversale .....	» 34
Nave ingavonata .....	» 36
Stabilità di forma e di peso .....	» 37
Prova di Stabilità – Determinazione del centro di gravità di una nave .....	» 39
Come aumentare l'altezza metacentrica .....	» 40
Nave dura o nave cedevole .....	» 40
Stabilità longitudinale .....	» 41
Stabilità Dinamica .....	» 42
- Azione di una coppia inclinante .....	» 43
Spostamento di pesi a bordo delle navi .....	» 45
- Spostamento verticale .....	» 46
- Spostamento trasversale .....	» 48
- Spostamento longitudinale .....	» 49
- Spostamento generico di un peso: posizione del baricentro della nave .....	» 50
Carichi mobili o deformabili .....	» 52
- Carichi sospesi .....	» 52
- Carichi scorrevoli .....	» 52
- Carichi liquidi .....	» 54
Assetto e Variazione d'Assetto ( <i>Trim</i> ) .....	» 57
INDICE .....	» 59
Scienze della Navigazione e Tecnologie Navali 2-II: Architettura Navale	59

*Paolo Di Candia*