



**UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE**

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

**Verifica della posizione del baricentro e calcolo della
stabilità di una nave con aggiornamento
dell'esponente dei pesi.**

Tesi di laurea di:

Matteo Montenovo

Relatore:

Prof. Germani Michele

Tutor Aziendale:

Ing. Catani Gabriele

Anno Accademico 2019-2020

INDICE

1	Introduzione	
1.1	<u>CRN s.p.a.</u>	4
1.2	<u>Il Principio di Archimede</u>	7
2	Geometria della nave	
2.1	<u>Definizioni della geometria di carena</u>	12
2.2	<u>Immersione</u>	19
2.3	<u>Tipologie di carene</u>	22
3	Stabilità della nave e posizione del centro di gravità	
3.1	<u>Statica della nave</u>	
	➤ Equilibrio dei corpi	24
	➤ Metacentro	27
	➤ Nave ingavonata	28
3.2	<u>Prova di stabilità</u>	
	➤ Determinazione del centro di gravità	30
	➤ Stabilità dinamica	32
3.3	<u>Spostamento dei pesi a bordo</u>	
	➤ Spostamento verticale	34
	➤ Spostamento trasversale	36
	➤ Spostamento longitudinale	38
	➤ Spostamento generico di un peso: posizione del baricentro	39
3.4	<u>Carichi mobili o deformabili</u>	
	➤ Carichi sospesi	41
	➤ Carichi scorrevoli	42
	➤ Carichi alla rinfusa	43
	➤ Carichi liquidi	45
	➤ Assetto	47

4	Verifica dell'apprendimento teorico	
	➤ Calcoli statistici e di stabilità finale.....	51
	➤ Constatazione visiva della costruzione di una nave in cantiere.....	60
5	Conclusioni	66
6	Ringraziamenti	67
7	Bibliografia	68

INTRODUZIONE

1.1 CRN s.p.a.

CRN, **Costruzioni e Riparazioni Navali**, è un cantiere navale italiano del Gruppo Ferretti, specializzato nella progettazione, costruzione e commercializzazione di megayacht custom in acciaio ed alluminio da 40 a 90 metri.

Il cantiere ha sede ad Ancona, si sviluppa su una superficie di circa 80.000 m² di cui 25.000 coperti. È dedicato alla costruzione della flotta CRN e di alcuni modelli di imbarcazioni di altri marchi del Gruppo Ferretti come Custom Line e Riva.

Dagli anni 1960 agli anni 1980

Nel 1963 Sanzio Nicolini avviò la costruzione di alcune imbarcazioni ad Ancona. La scelta fu quella di produrre scafi in acciaio e alluminio, collocando CRN in una fascia di mercato medio-alta. Alla fine degli anni sessanta le dimensioni degli yacht di CRN andavano da 15 a 20 metri. Il cantiere realizzò la prima serie di scafi di 23 metri chiamata Super Conero, con un totale di ventisette imbarcazioni per il primo decennio.

Nel 1970 Sanzio Nicolini incontrò Carlo Riva e tra i due imprenditori nacque un rapporto di lavoro durato fino al 1978. In questo periodo CRN realizzò otto barche per conto di Riva: sei Marco Polo, derivate dal Super Conero, e due Vespucci, una delle quali divenne lo yacht personale di Carlo Riva. Nel 1973 fece il suo ingresso in CRN l'imprenditore Giandomenico Palmerini.

Nel 1978 CRN realizzò il primo yacht sopra i 45 metri: Fath Al Khair di 47,2 metri, il cui armatore è l'emiro del Qatar, Al-Thani.

Negli anni ottanta i clienti di CRN erano prevalentemente armatori greci e regnanti del Medio Oriente. In questo contesto aumentarono le dimensioni degli yacht, che variavano fra i 32 e i 61 metri. Palmerini divenne il maggiore azionista, e nel 1980 iniziò la costruzione della nuova sede del cantiere di Ancona, riorganizzando l'azienda.

Nel 1983 CRN consegnò a Gianni Agnelli, lo yacht F100 di 32,80 metri progettato da Gerhard Gilgenast, imbarcazione progettata con interni comodi per lunghe navigazioni.

Anni 1990 e anni 2000

Con lo scoppio della Guerra del Golfo, il mercato medio orientale in cui CRN è attivo subisce un profondo rallentamento. Per fronteggiare il momento di crisi si occupa anche di refitting, mentre la produzione cala, con sette yacht varati in dieci anni.

Nella seconda metà degli anni novanta, Lamberto Tacoli, entrato nella nautica negli anni ottanta, propone a Norberto Ferretti, col quale aveva fondato il marchio Custom Line nel 1996, di acquisire il cantiere CRN. È così che nel 1999 il cantiere CRN viene acquisito dal Gruppo Ferretti.

Nel 2001 CRN e Custom Line si uniscono, per formare ad Ancona il polo dei megayacht all'interno del Gruppo Ferretti. Nel 2002 CRN perfeziona l'acquisizione dell'attiguo cantiere Mario Morini, dando origine a una struttura con una superficie di 80.000 m².

Nella seconda metà del decennio CRN diversifica la produzione aggiungendo a quella tradizionale in acciaio e alluminio quella in composito.

Nel gennaio del 2012 CRN, come tutti i marchi del Gruppo Ferretti, viene coinvolto nel passaggio alla nuova proprietà cinese SHIG-Gruppo Weichai. Lamberto Tacoli è confermato presidente e nominato amministratore delegato del cantiere.



Figura n°1: CRN 134 M/Y ATLANTE



Figura n°2: CRN 132 M/Y YALLA

1.2 Il Principio di Archimede.

Il principio o legge di Archimede è una legge sperimentale che rende conto della spinta che riceve un corpo immerso in un fluido. Si tratta di un fondamentale principio dell'idrostatica. Esso afferma che un corpo immerso in un fluido ideale è soggetto ad una forza, diretta verso l'alto e in modulo pari al peso del volume di liquido spostato dal corpo immerso. La spinta ricevuta dal corpo a volte va sotto il nome di spinta o forza archimedeana, o anche spinta idrostatica.

Il principio di Archimede può essere spiegato nel seguente modo. Immaginiamo di immergere un cubo in un fluido ideale, di densità ρ , ad una profondità h : la faccia superiore del cubo si troverà ad una profondità h_1 , mentre la faccia inferiore ad h_2 . La pressione in un fluido ideale ad una certa profondità h è indicata dalla legge di Stevino: $p = p_{atm} + \rho g h$, dove g è l'accelerazione di gravità (che in prossimità della superficie terrestre vale mediamente 9.8 m/s^2) e p_{atm} è la pressione atmosferica (che a livello del mare vale mediamente 101325 Pa).

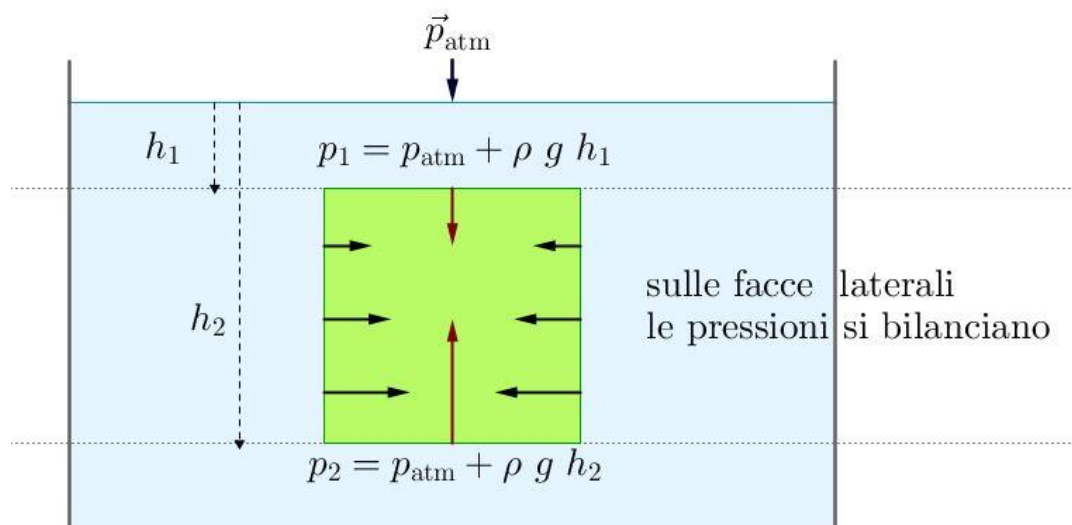


Figura n°3 Principio di Archimede

Come si può vedere dall'illustrazione, la pressione sulle facce laterali viene equilibrata dalla pressione sulle facce opposte; la pressione sulle facce orizzontali,

invece, non è equilibrata: per l'ipotesi di idealità del fluido, essa è diretta perpendicolarmente alle superfici del cubo, in verso opposto, ma l'intensità della pressione sulle due facce è differente. Sulla faccia superiore infatti la pressione vale $p_1 = p_{atm} + \rho g h_1$, mentre sulla faccia inferiore vale $p_2 = p_{atm} + \rho g h_2$, siccome $h_2 > h_1$ si ha che $p_2 > p_1$. Detto l lo spigolo del cubo, la differenza tra le pressioni è data da $\Delta p = p_2 - p_1 = \rho g h_2 - \rho g h_1 = \rho \cdot g \cdot l$. Sfruttando la relazione che lega pressione e forza, $p = SF$ (dove in questo caso, l'area S è il quadrato di base, ossia l^2), otteniamo che il cubo è soggetto ad una forza F pari a:

$$F = \Delta p \cdot S = \rho \cdot g \cdot l \cdot l^2 = \rho \cdot g \cdot l^3 = \rho \cdot g \cdot V.$$

Questa forza è diretta verso l'alto, poichè la pressione sulla faccia inferiore è maggiore, in modulo, di quella esercitata dal fluido sulla faccia superiore, e dunque il risultato netto è una spinta verso l'alto. Notiamo inoltre che la magnitudine di questa forza, $\rho \cdot g \cdot V$, è pari anche $g \cdot \rho \cdot V = g \cdot m$, detta m la massa di un volume V occupata dal liquido ideale considerato. In definitiva, la forza cui è soggetto il cubo è diretta verso l'alto ed è pari al peso del volume di liquido da esso occupato: il principio di Archimede è dimostrato.

Mediante la spinta di Archimede, è possibile stabilire se un determinato corpo possa o meno galleggiare. Consideriamo, ad esempio, un certo corpo di volume V e densità ρ_C , completamente immerso in un fluido ideale di densità ρ_L . Le due forze agenti sul corpo sono:

- La forza peso, che spinge il grave verso il basso, pari a $P = \rho_C \cdot V \cdot g$.
- La forza di Archimede, che spinge il corpo verso l'alto, pari a $F = \rho_L \cdot V \cdot g$

La forza risultante vale quindi, in modulo,

$$|\rho_L \cdot g \cdot V - \rho_C \cdot g \cdot V| = g \cdot V \cdot |\rho_L - \rho_C|.$$

Si possono allora presentare tre casi.

1. Nel primo caso, la densità del solido è maggiore di quella del fluido: $\rho_C > \rho_L$. In questo caso, il netto delle forze in gioco punta verso il basso, e il grave cade di moto uniformemente accelerato (attenzione, si presume che il fluido sia ideale e non eserciti attriti: nella realtà, i fluidi esercitano dell'attrito viscoso sui corpi che cercano di muoversi dentro di essi). L'accelerazione cui è soggetto è stabilita dalla legge fondamentale della dinamica: siccome $F = ma$, si ricava che $a = F/m$,

da cui:

$$a = \frac{g \cdot V \cdot (\rho_L - \rho_C)}{m} \cdot g = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_C}\right)$$

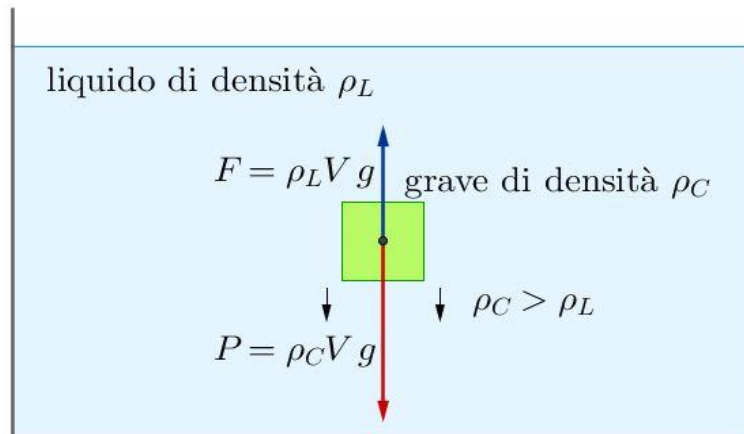


Figura n°4 Principio di Archimede

Nel secondo caso, le due densità sono uguali: $\rho_C = \rho_L$. In questo caso, la forza netta è nulla, e quindi, per il principio di inerzia, siamo in una condizione di equilibrio: il corpo non affonda nè risale.

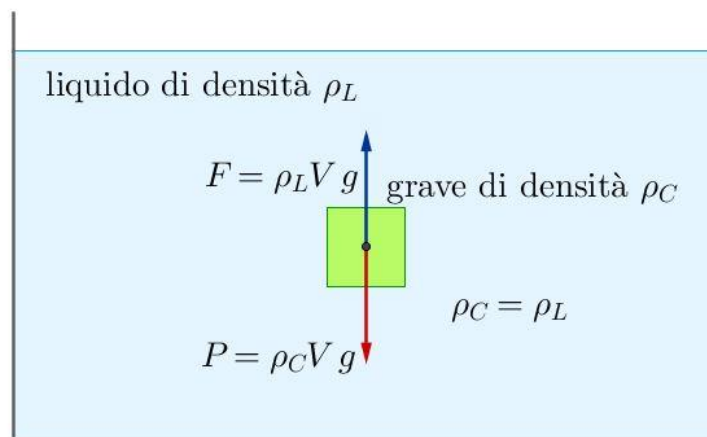


Figura n°5 Principio di Archimede

Nell'ultimo caso, la densità del fluido è maggiore di quella del solido: $\rho_L > \rho_C$. In questo caso, la forza netta spinge il corpo verso l'alto, e il corpo inizia a muoversi di moto uniformemente accelerato (ancora una volta, ribadiamo, si tratta di un caso ideale), ove l'accelerazione è data questa volta da

$$a = g \cdot \left(\frac{\rho_L}{\rho_C} - 1 \right)$$

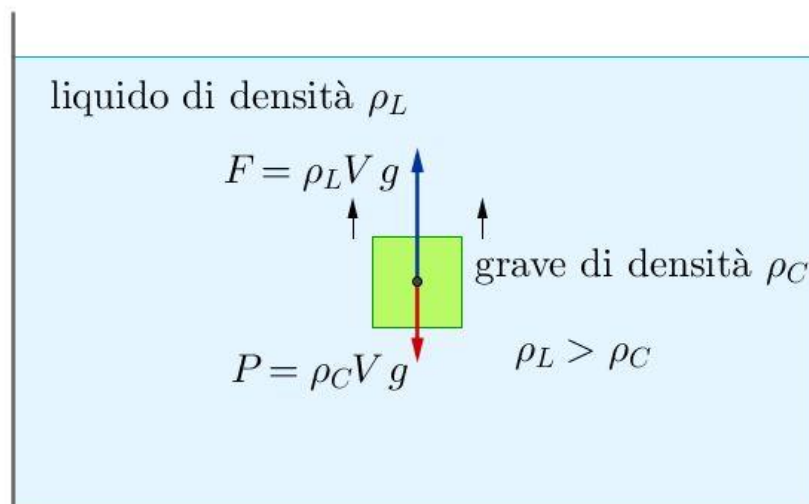


Figura n°6 Principio di Archimede

Ma l'ultimo caso presenta una particolarità: se il corpo non è immerso in una colonna di fluido infinitamente alta, ad un certo punto raggiungerà la superficie libera. A questo punto, emergerà, diminuendo la porzione di volume immerso; ma non appena inizia ad uscire dal fluido, la spinta archimedeo, che lo accelerava verso l'alto, diminuirà, in ragione del fatto che il volume di liquido spostato si riduce. Il corpo si arresterà, galleggiando sulla superficie del fluido, quando il peso di tutto il corpo P sarà controbilanciato dalla spinta archimedeo F_A causata dalla parte ancora immersa dello stesso.

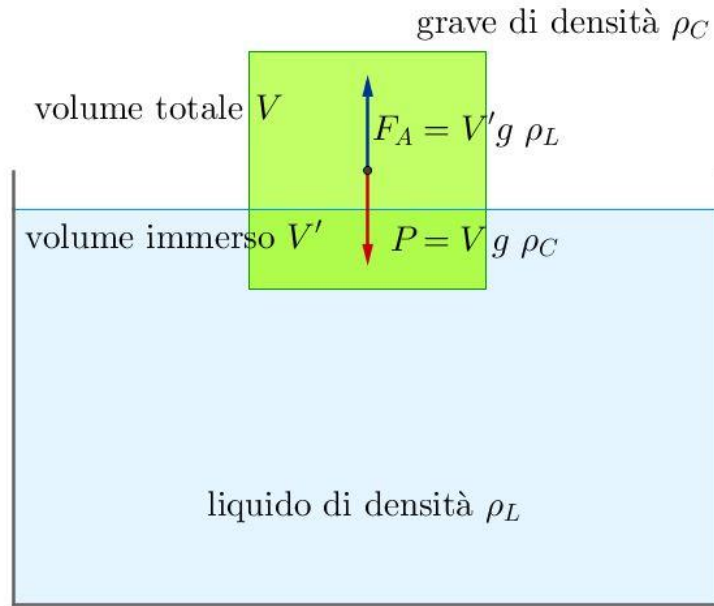


Figura n°7 Principio di Archimede

Se chiamiamo V' il volume ancora immerso e V il volume totale, per il galleggiamento deve valere la condizione di equilibrio tra le forze $F_A = P$

da cui

$$V' \cdot g \cdot \rho \cdot L = V \cdot g \cdot \rho \cdot C \Leftrightarrow V' = V \cdot \rho \cdot L \cdot \rho \cdot C$$

GEOMETRIA DELLA NAVE

2.1 Definizioni della geometria di 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. Più frequentemente l'opera morta può essere asimmetrica, generalmente in conseguenza di particolari necessità operative della nave.

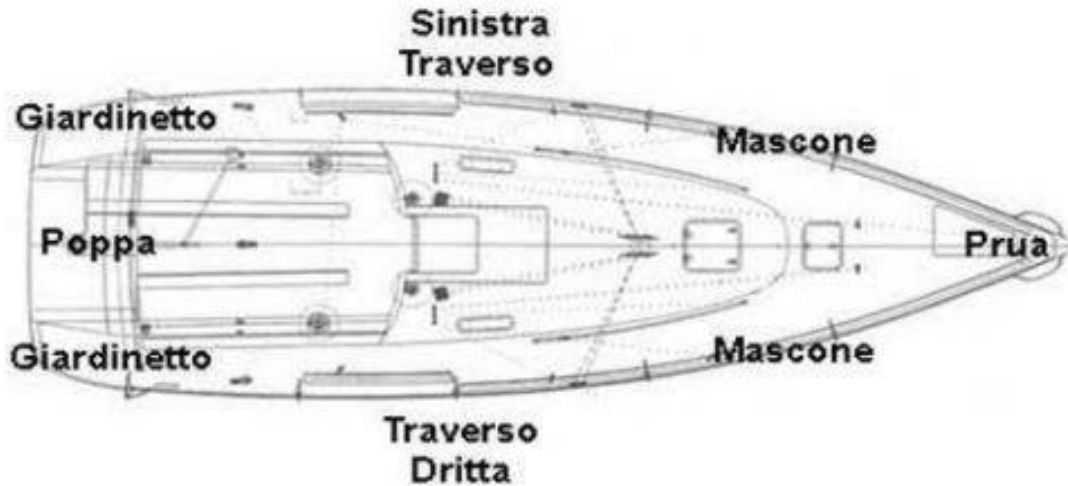


Figura n°8 Definizioni della geometria della nave

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.

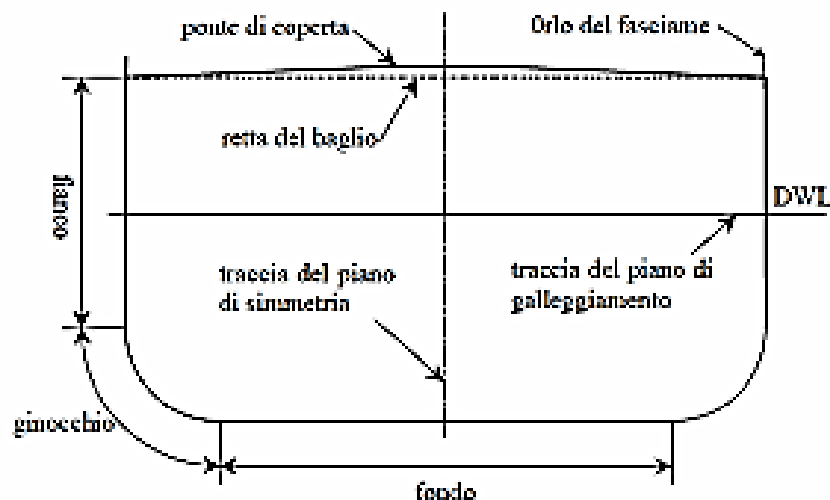


Figura n°9 Definizioni della geometria della nave in sezione

- 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.

- 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 centrale (*Bottom*): la parte dello scafo che ne rappresenta la chiusura inferiore. Nella parte central 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 indicate con il simbolo **LC**
- 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**.

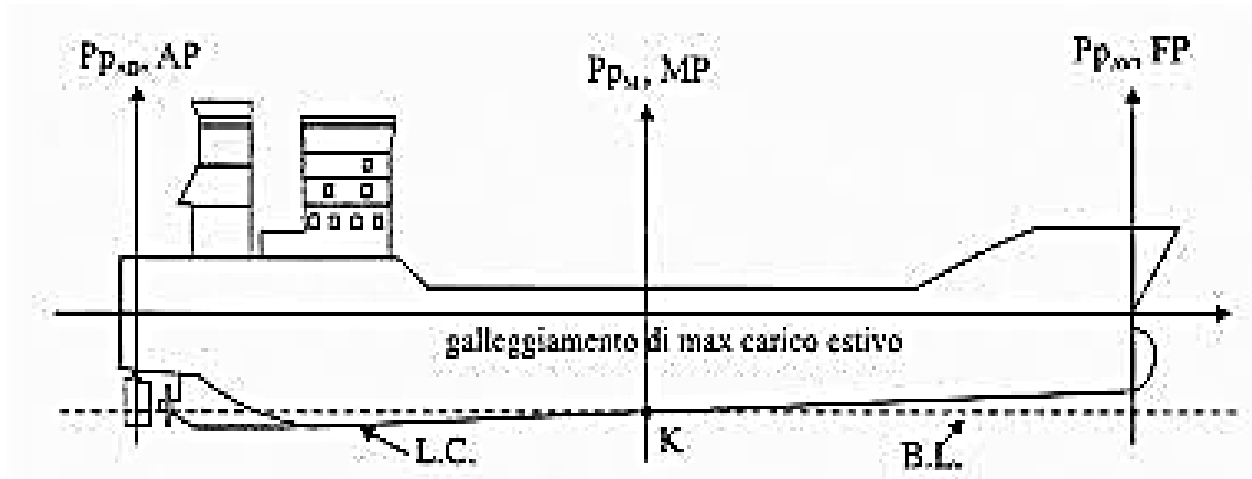


Figura n°10 Definizioni dello scafo

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 prora della **PP_{AV}** essa coincide con la **L_{WL}**.

- Lunghezza fuori tutto (*Length overall*): lunghezza massima dello scafo, indicata con il simbolo L_{OA} .

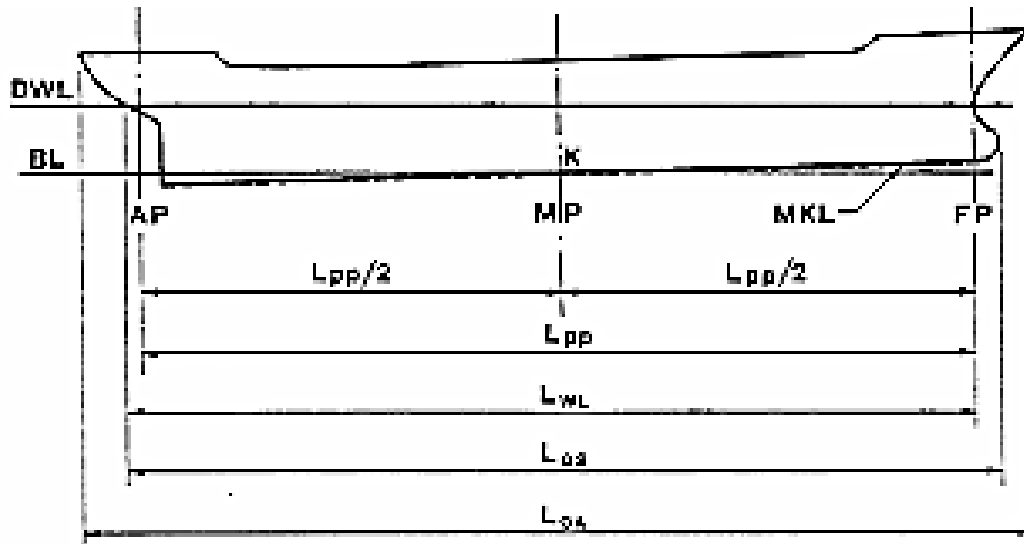


Figura n°11 Definizioni delle lunghezze nave

- 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} .

- 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} . Nei casi in cui la larghezza esterna della nave è maggiore per le presenza di fianchi molto pronunciati.
- Larghezza massima di carena (*Breadth overall submerged*): massima larghezza della parte immersa della carena. Si indica con il simbolo B_{OS} .

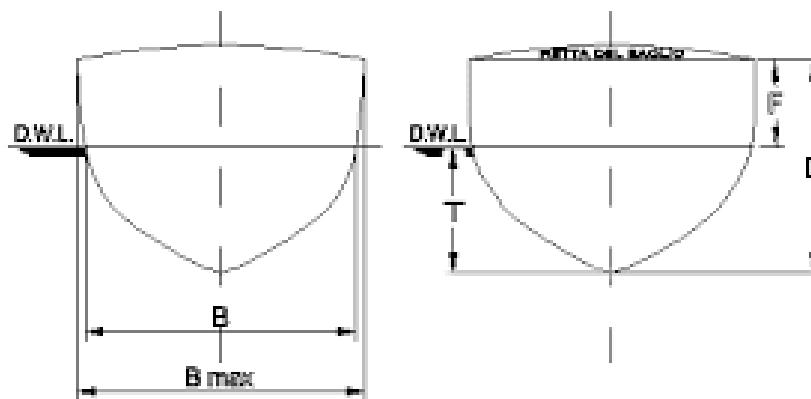


Figura n°12 Definizioni delle larghezze nave

2.1 Immersione.

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).

- 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 .

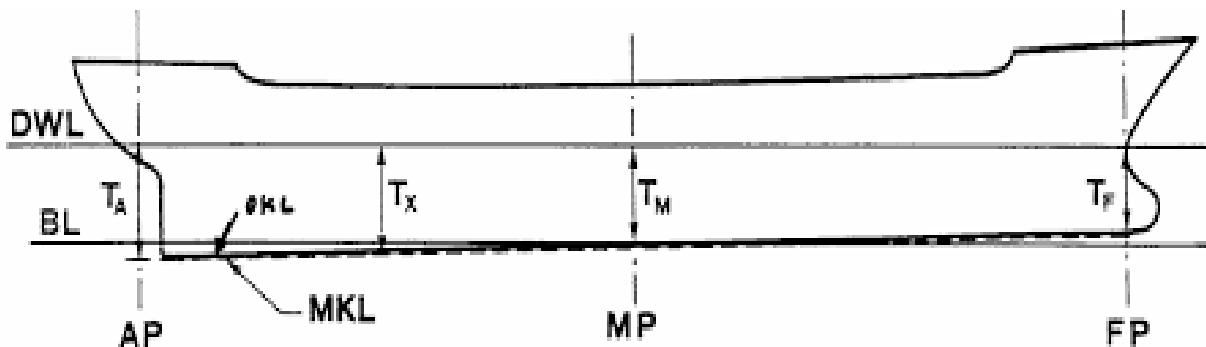


Figura n°11 Immersioni

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 T_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 T_M la differenza chiamasi *freccia di inarcamento* a :

$$a = I_m - T_M$$

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

$$a' = T_M - I_m$$

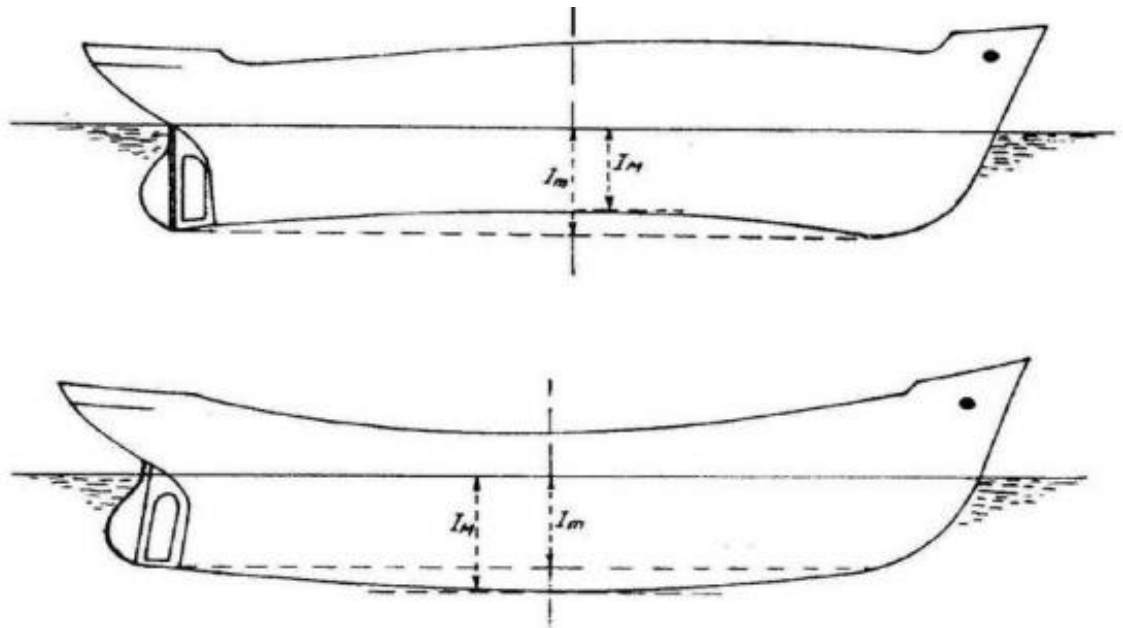


Figura n°12 Inarcamento e insellamento

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 piedi 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). (1 piede = 0,3048 m).

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

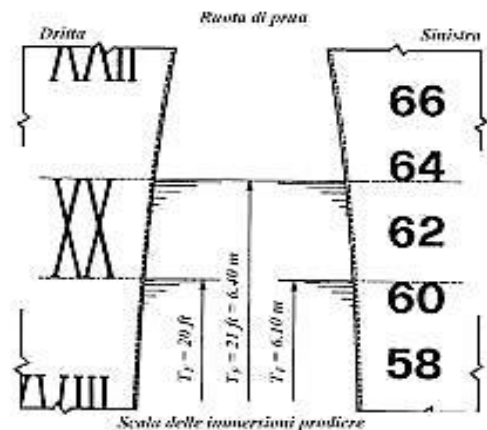
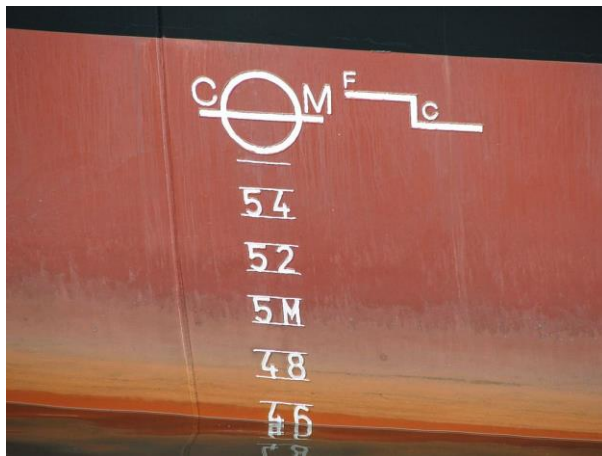


Figura n°13 Scala delle immersioni

2.3 Tipologia di carene.

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

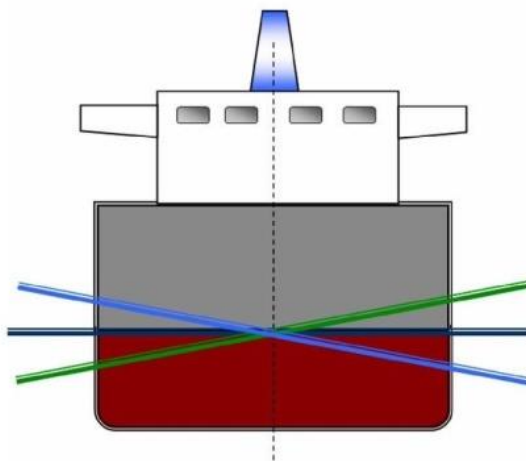


Figura n°14 Isocarene

2. **Isocline:** sono le carene di uno stesso galleggiante, limitate da galleggianti paralleli (carene dritte).

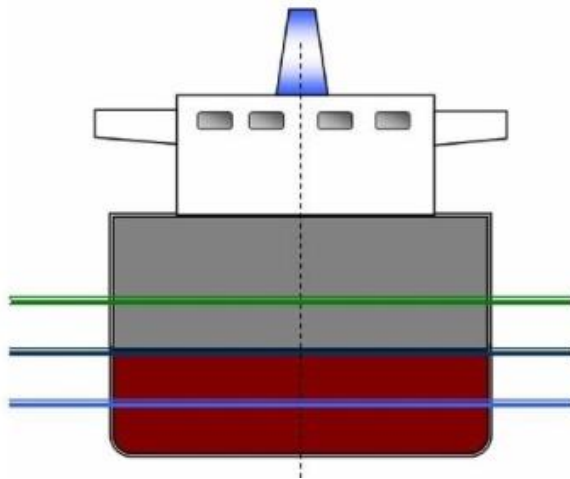


Figura n°15 Carene isocline

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).

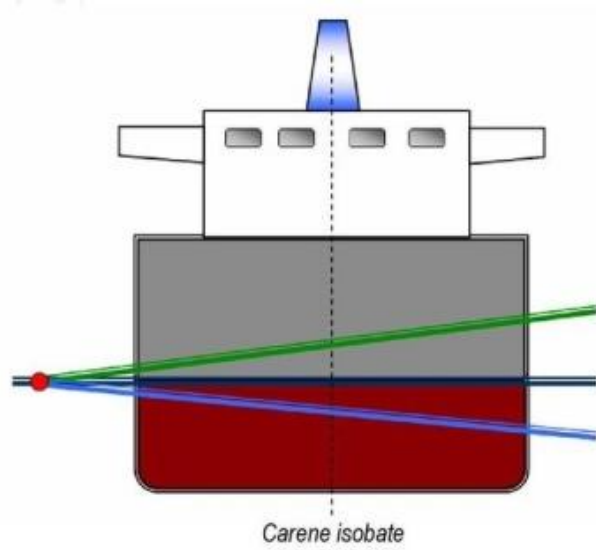


Figura n°16 Carene isobate

STABILITÀ DELLA NAVE E POSIZIONE DEL BARICENTRO

3.1 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: $\sum \mathbf{F} = \mathbf{0}$;
- la sommatoria dei momenti di dette forze rispetto ad un polo sia nulla: $\sum \mathbf{M} = \mathbf{0}$.

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**).

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 qualsiasi sia la perturbazione (causa esterna od interna), la nave rimane in equilibrio nella posizione sbandata perché baricentro **G** e metacentro **M** coincidono. Le forze in gioco (forza di spinta e forza peso o dislocamento) agiscono sullo stesso punto (braccio nullo).

Nei corpi parzialmente immersi (ad esempio navi), a differenza dei copri totalmente immersi (sommersibili) è che in questi ultimi: la posizione del centro di carena non varia al variare dell'inclinazione del corpo, mentre nei primi, 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 = Δ) 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.

In fig. 17(a) è rappresentata una sezione trasversale di una nave non sbandata. Se questa sezione contiene il centro di carena \mathbf{B}_0 , per la legge di Stevino (equilibrio dei momenti) contiene anche il centro di gravità \mathbf{G} ; la linea dell' acqua $\mathbf{W}_0\mathbf{L}_0$, la forza peso è applicata in \mathbf{G} , la spinta idrostatica è applicata in \mathbf{B}_0 e la nave è in condizioni di equilibrio.

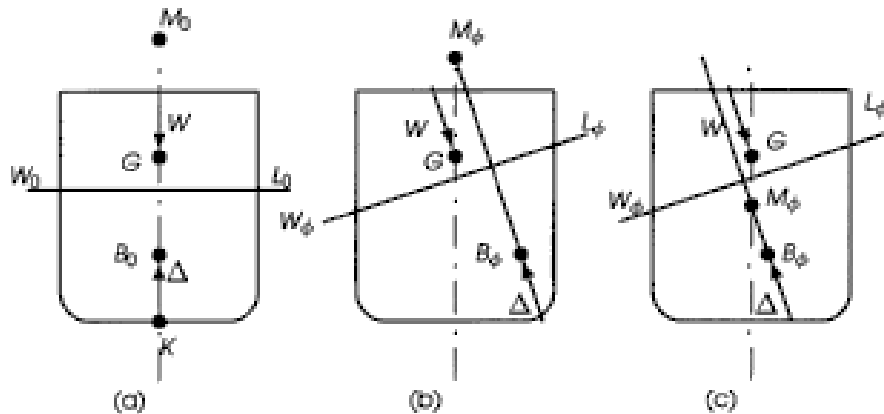


Figura 17 Condizione iniziale di stabilità

Supponiamo che la nave sbandi sulla destra, inclinandosi d'un angolo ϕ fig. 17 (b) in cui la nuova linea dell' acqua è $\mathbf{W}_\phi\mathbf{L}_\phi$. Qui peso e spinta sono verticali, cioè perpendicolari alla linea dell' acqua $\mathbf{W}_\phi\mathbf{L}_\phi$; si genera quindi un momento che tende a riportare la nave in posizione parallela alla $\mathbf{W}_\phi\mathbf{L}_\phi$, cioè verso sinistra, in posizione orizzontale.

In queste condizioni la nave è stabile.

Se la verticale per \mathbf{B}_ϕ si trova a sinistra della verticale per \mathbf{G} fig. 17(c), il momento tenderebbe a far ancora ruotare la nave verso destra.

In queste condizioni la nave è instabile.

La differenza tra le condizioni di fig 17 (b) e (c), può essere descritta introducendo il concetto di *Metacentro*.

- *Metacentro*

Il **Metacentro** è un punto definito nello studio del comportamento dei corpi galleggianti. Geometricamente rappresenta il punto per il quale ruota la retta d'azione della spinta idrostatica per tutte le piccole inclinazioni.

Per definizione, il metacentro (**M**) è il centro di curvatura della proiezione sul piano verticale passante per il centro di massa (**G**) e perpendicolare all'asse d'inclinazione baricentrico della traiettoria seguita dal centro di carena (**B**) nel corso di un'inclinazione isocarenica infinitesima.

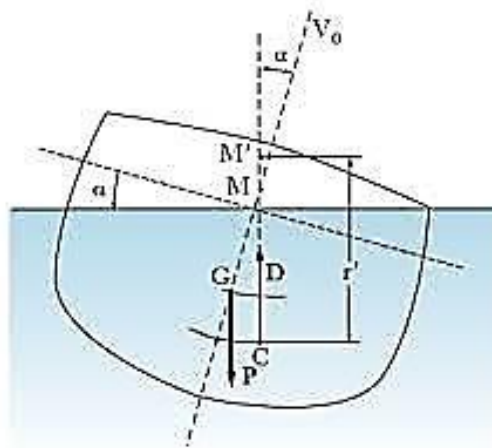


Figura 18 Metacentro

In fig. 17 (b) il metacentro **M** si trova sopra il centro di gravità **G**;

In fig. 17 (c) il metacentro **M** si trova sotto il centro di gravità **G**;

L'equilibrio di un galleggiante è stabile se il Metacentro si trova sopra il centro di gravità.

- Nave ingavonata

Una nave si definisce ingavonata quando assume una posizione di equilibrio stabile inclinata trasversalmente di un angolo α_g , detto angolo di ingavonamento.

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 dritta in quanto $(r - a) < 0$; devo valutare 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 .

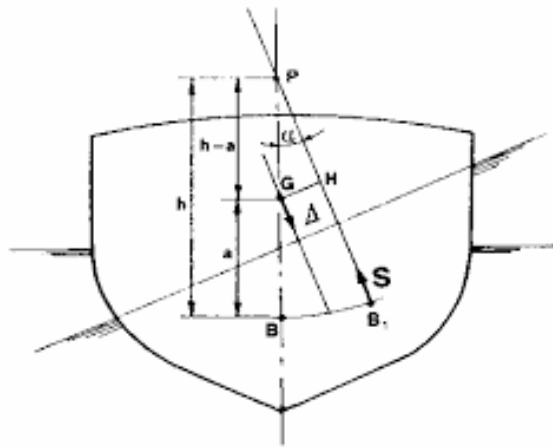


Figura 19 Stabilità trasversale per piccole inclinazioni $\alpha=10/12^\circ$

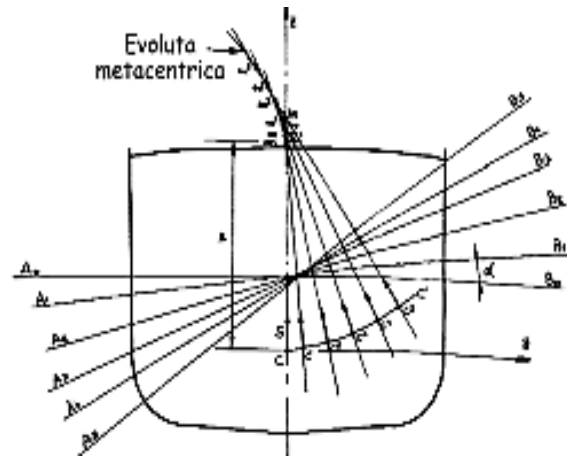


Figura 20 Evoluta metacentrica

- $(r = h)$ raggio metacentrico trasversale;
- $P = M$;
- $B-B_1 = r \text{ sen } \alpha$;
- α = angolo format tra la linea del galleggiamento e la retta inclinata.

Il valore di r dipende dalla forma della carena:

Il valore della sopraelevazione “ a ” di G su B dipende dalla distribuzione dei pesi sulla nave.

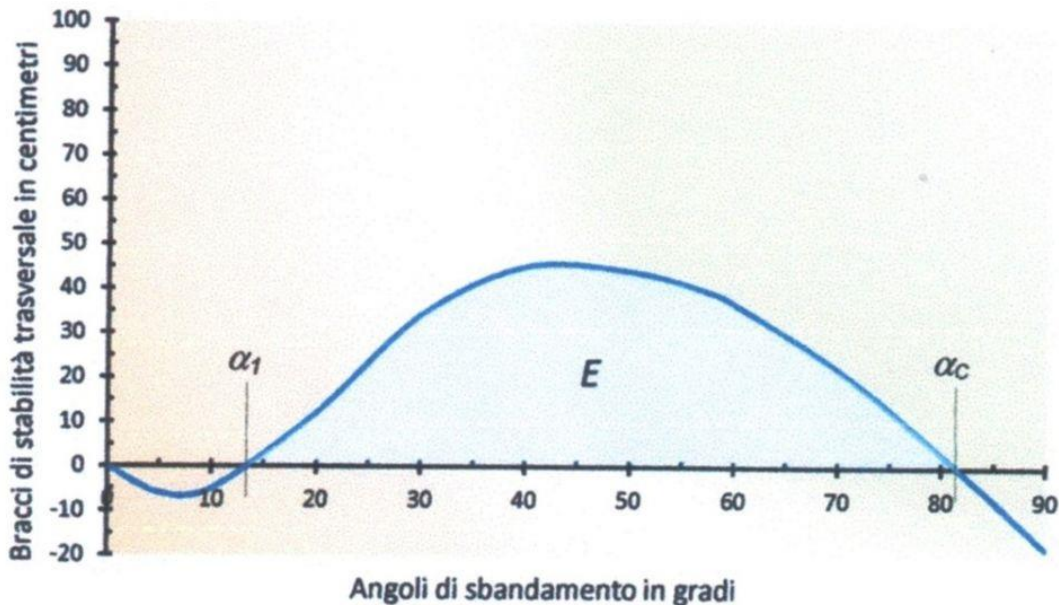


Figura 21 Diagramma di stabilità statica nave ingavonata

- $0 - \alpha_1$: primo tratto al di sotto delle ascisse, in quanto l'altezza metacentrica è negativa, di conseguenza saranno tali anche i momenti di stabilità ($\alpha_1 = \alpha_g$).
- $\alpha_g - \alpha_c$: secondo tratto positive fino all'angolo di capovolgimento α_c .

L'ingavonamento è dovuto ad un'errata distribuzione vertical del carico; tale distribuzione provoca l'innalzamento del baricentro rispetto al metacentro M . Per riportare una nave ingavonata dalla posizione inclinata di equilibrio alla posizione dritta di equilibrio stabile, è necessario produrre un abbassamento del baricentro al di sotto 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.

3.2 Prova di Stabilità

- *Determinazione del centro di gravità*

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 pesicostituenti 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 p del carrello una volta spostato trasversalmente creerà una coppia sbandante equilibrata dalla coppia di stabilità trasversale e la nave assumerà una inclinazione α ricavabile dall'eguaglianza dei momenti:

$$D \cdot (h - a) \cdot \text{sena} = p \cdot y \cdot \text{cosa}$$

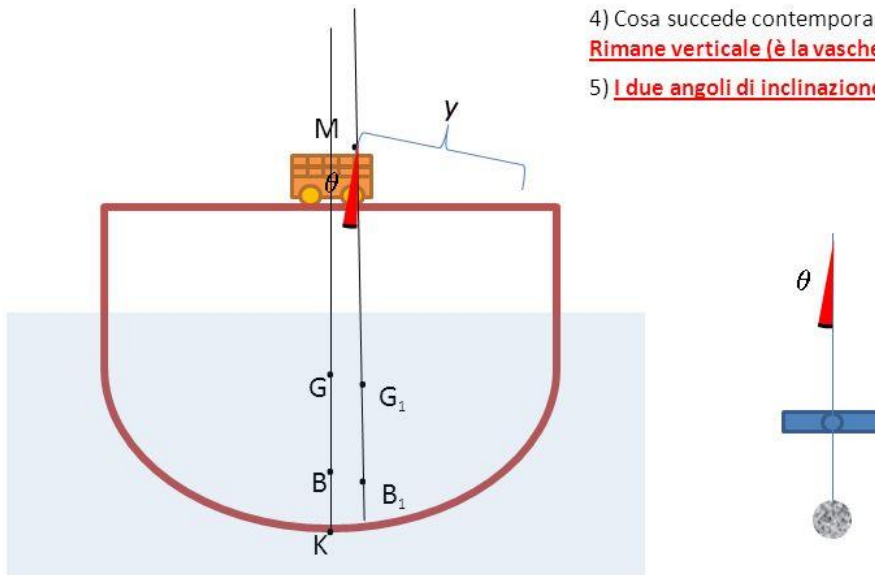
dove y è lo spostamento trasversale del peso p . Il peso p viene opportunamente scelto in modo che l'inclinazione finale sia relativamente piccola e quindi si possa applicare la semplificazione del metodo metacentrico:

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

Infine il baricentro di determina con $G = Z_B + a$

Prova di stabilità

- 1) Il carrello viene spostato a dritta trasversalmente sul ponte di una distanza chiamata "y"
- 2) Contemporaneamente la nave si inclina dallo stesso lato
- 3) Si spostano anche il baricentro ed il centro di spinta
- 4) Cosa succede contemporaneamente al filo a piombo?
- 5) I due angoli di inclinazione sono identici



Nota Bene: lo spostamento del peso deve provocare uno sbandamento MASSIMO di 3° allo scopo di rimanere nei limiti del metodo metacentrico

Figura 22 Prova di stabilità statica

- *Stabilità dinamica*

La Stabilità dinamica si riferisce alla condizione d'equilibrio della nave inclinata dell'angolo α nella fase di moto oscillatorio trasversale: essa è la capacità della nave di ritornare nella posizione d'equilibrio stabile dritto 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 α , 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 α ; 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:

$$L = \int_0^{\alpha} M_s \cdot da = \int_0^{\alpha} D \cdot (r - a) \cdot \text{sena} \cdot da$$

Tale integrale, rappresenta graficamente l'area racchiusa tra la curva di stabilità e l'asse delle ascisse, compresa tra l'origine e l'angolo α .

Tutta l'area, racchiusa tra la curva di stabilità e l'asse delle ascisse fino all'angolo di capovolgimento α_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.

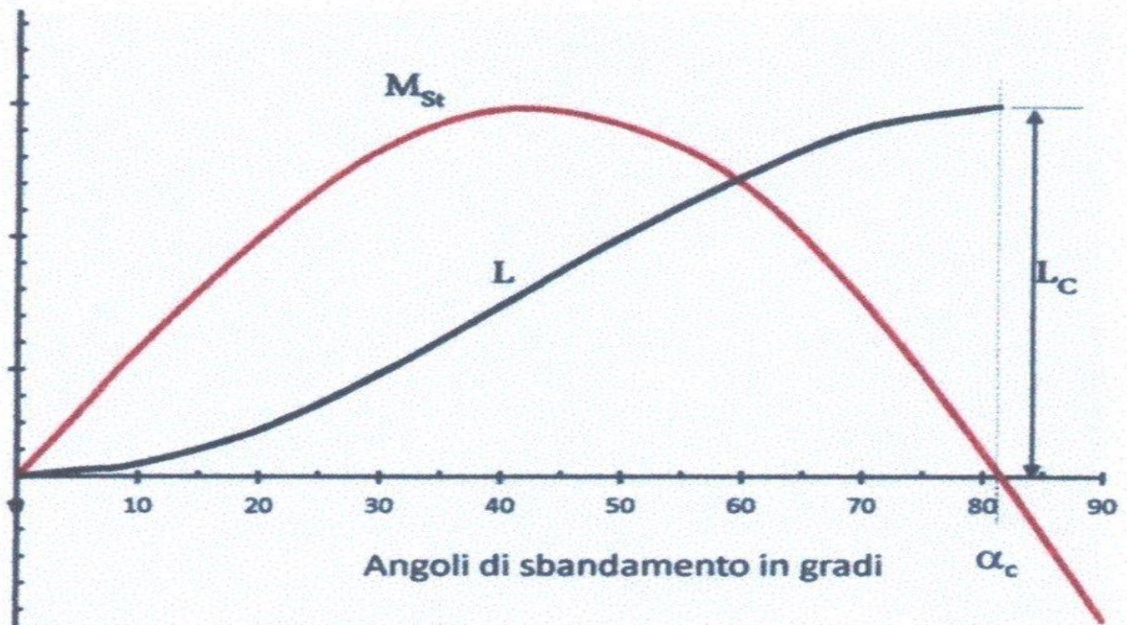


Figura 23 Diagramma di stabilità statica e dinamica

- Curva rossa: Diagramma di stabilità statica compresa tra $\alpha = 0$ e $\alpha = \alpha_c$
- Curva nera: Sulle ascisse riporto i valori dell'angolo di sbandamento α e sulle ordinate i valori del lavoro eseguito dal Momento di Stabilità M_S , per riportare la nave dal generico angolo di sbandamento α alla posizione dritta.
- Il valore di L_C della curva L , è il lavoro che occorre per portare la nave all'angolo di capovolgimento α_c , è la "Riserva totale di stabilità", cioè l'energia che ha la nave ad opporsi alla forza sbandante.
- Il "momento inclinante" M_S è il momento generato da quelle forze che modificano la posizione iniziale della nave. Queste forze possono essere causate dallo spostamento di un peso a bordo, dal vento, dal mare ondosso, dall'azione del timone, ecc...
- $M_{St} = \text{"momento di stabilità"}; \text{ in questo caso } M_{St} = M_S$

3.3 Spostamento dei pesi a bordo

- 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:

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

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

$$\Delta z \cdot G_1 = \Delta z \cdot G + p \cdot zp - p \cdot zp$$

da cui essendo $z = zp, -zp$ e $GG_1 = Z_G - Z_{G_1}$, si ottiene la relazione di cui sopra. Ne consegue che l'altezza metacentrica risulterà variata e varrà:

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

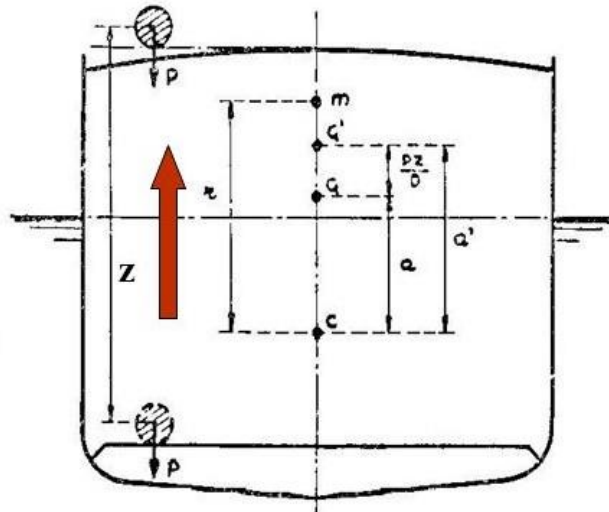


Figura 24 Spostamento verticale

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:

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

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

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

$M'i = \pm p \cdot z \cdot \text{sen}\alpha$ è il *Momento inclinante* prodotto dallo spostamento statico del peso; esso non produce alcun sbandamento, tende solamente o ad *aumentare* o a *diminuire* il *Momento di stabilità trasversale* della nave.

Sul diagramma di stabilità la somma o la differenza dei valori di M_s e M_i , a seconda che lo spostamento sia verso il basso o verso l'alto, ci restituisce I valori del nuovo momento $M's$.

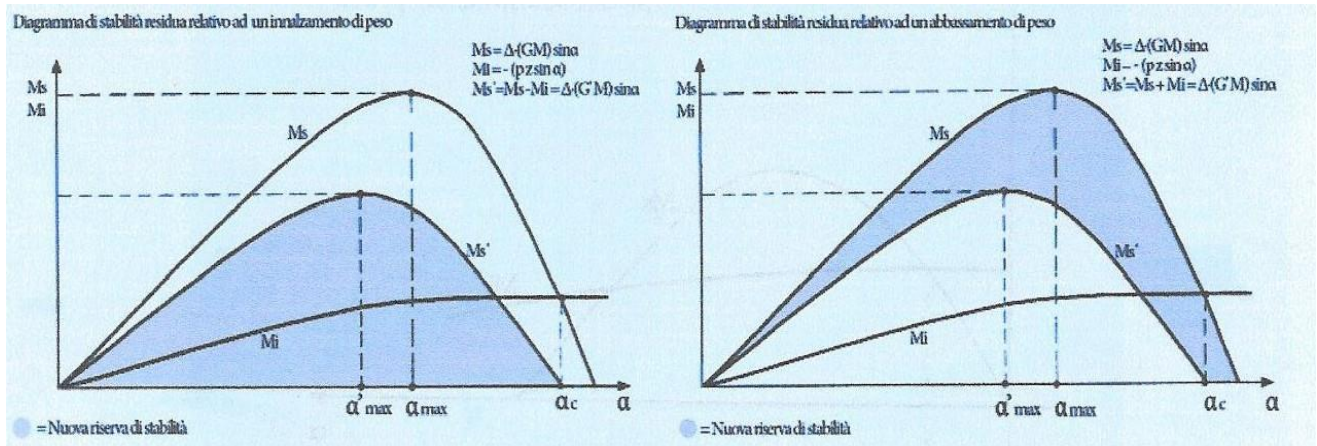


Figura 25a Diagramma stabilità residua per un innalzamento di peso

Se a causa dell'innalzamento di un peso il baricentro G della nave viene a posizionarsi al di sopra del metacentro M , la nave si *ingavona* di un angolo α .

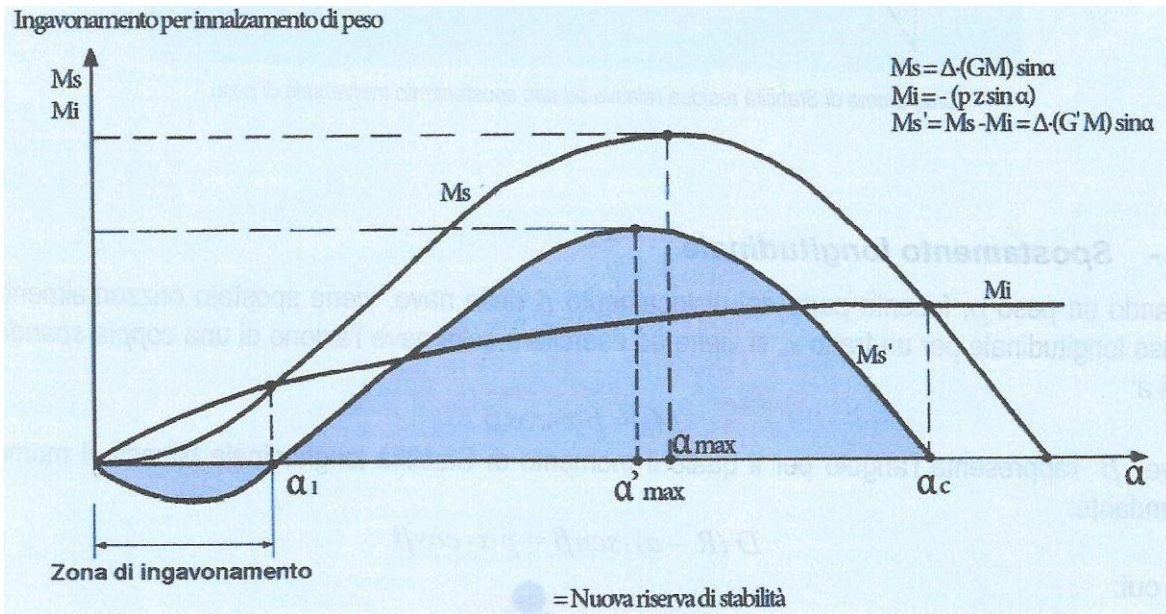


Figura 25b Ingavonamento per innalzamento di peso

- *Spostamento trasversale*

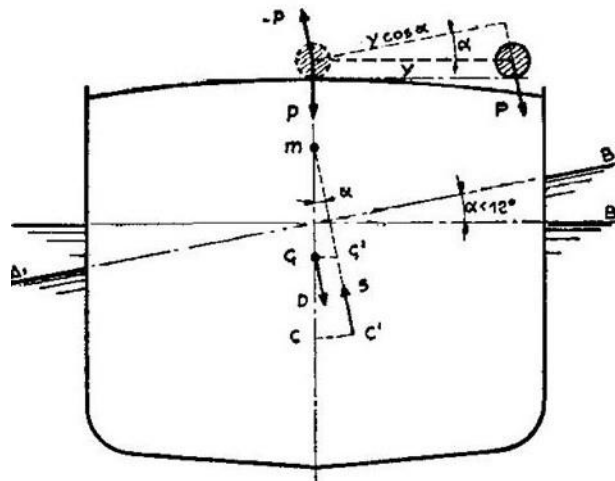


Figura 26 Spostamento trasversale

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

$$M\alpha = p \cdot y \cdot \cos \alpha$$

che dà luogo all'inclinazione trasversale α . 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 α non supera i 10° 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 37° a 12° , per determinare l'angolo di sbandamento α si traccia sul diagramma di stabilità il Momento di stabilità M_S e il Momento inclinate M_i , cioè la cosinusoide $p \cdot y \cdot \cos \alpha$; l'intersezione delle curve ci fornisce il valore dell'angolo (α) di equilibrio 37° . La differenza delle aree racchiuse 37° tra due curve rappresenta, invece, la nuova *Riserva di Stabilità della nave*. Dall'equazione per determinare l'angolo di sbandamento trasversale α di equilibrio 37° possiamo ricavare due importanti formule inverse:

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

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

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

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

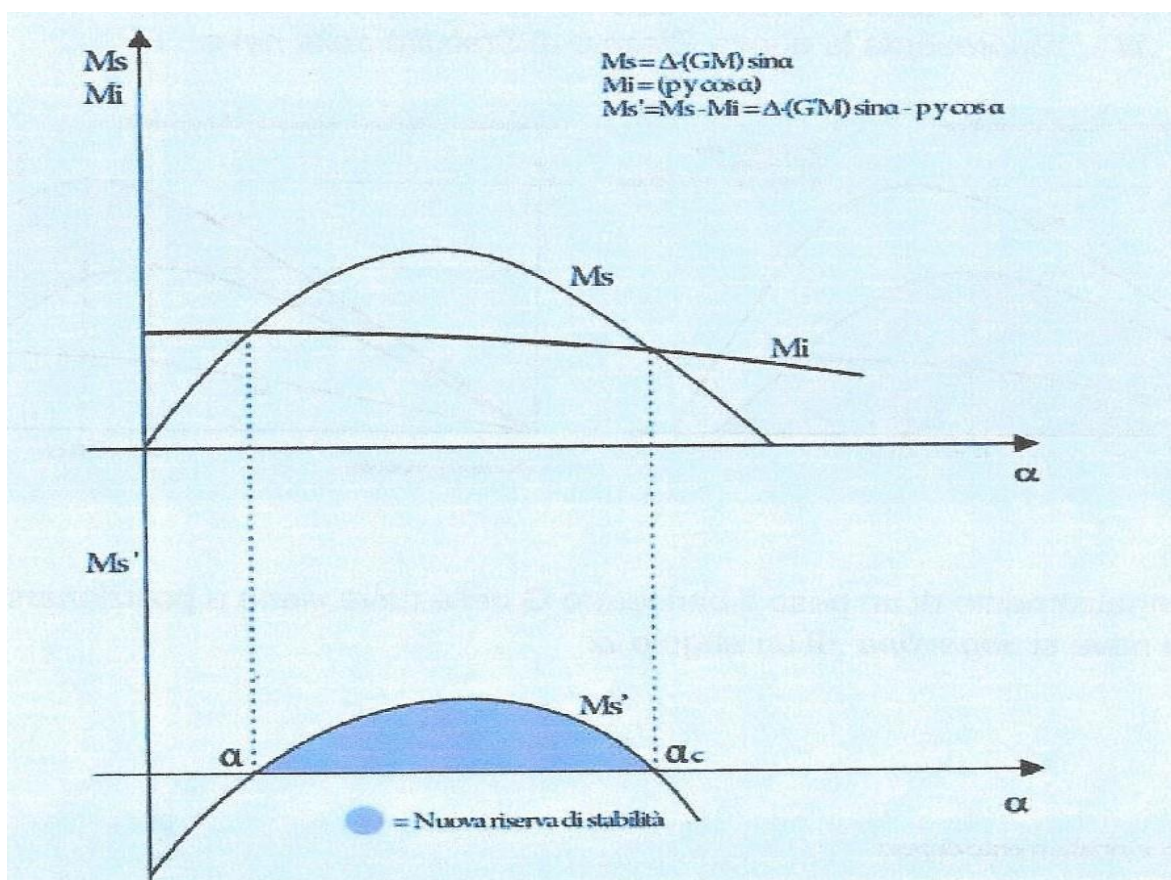


Figura 26 Diagramma stabilità residua per uno spostamento trasversale di peso

- Spostamento longitudinale

Quando un peso p , facente parte del dislocamento Δ 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 β 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:

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

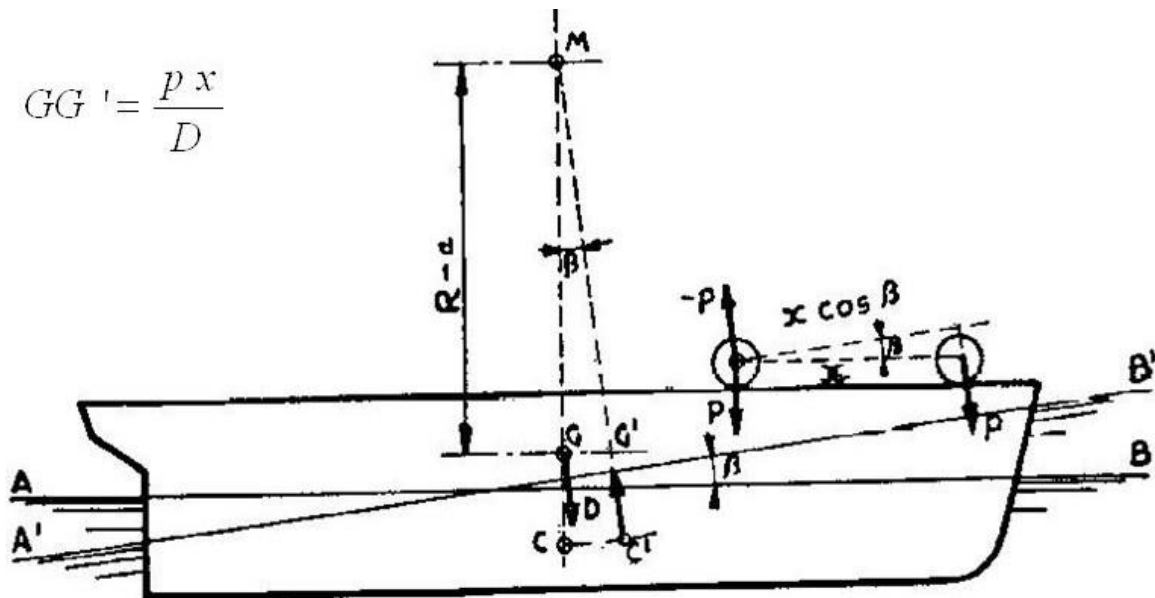


Figura 28 Spostamento longitudinale

$D = \Delta \rightarrow$ Dislocamento

- Spostamento generico di un peso: posizione del baricentro della nave

Se un peso facente parte del dislocamento Δ viene spostato dal punto A al punto D , il dislocamento non varia; varia invece la posizione del baricentro della nave e di conseguenza l'assetto trasversale, longitudinale e le caratteristiche di stabilit .

Osservando che a spostamento avvenuto le condizioni di stabilit  ed assetto sono le stesse qualunque sia il percorso effettuato da p per passare da A a D , si pu  pensare che lo spostamento AD avvenga parallelamente ai tre assi principali XYZ , ovvero:

1. spostamento verticale AB (punto avente la stessa altezza di D) con conseguente variazione delle caratteristiche di stabilità trasversale come verificato per uno spostamento verticale di peso;
2. spostamento trasversale BC (punto avente la stessa ascissa di D) con la variazione delle caratteristiche di stabilità trasversale studiate per lo spostamento trasversale;
3. spostamento longitudinale CD , con la relativa variazione dell'assetto longitudinale.

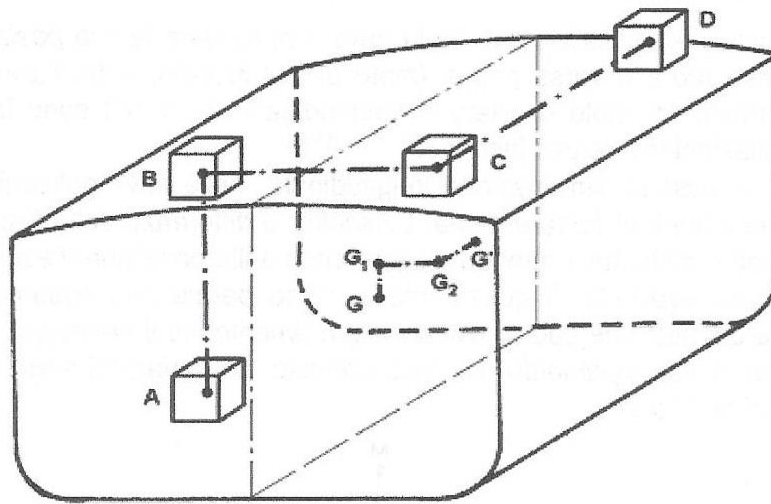


Figura 29 Spostamento generic di un peso nello spazio

Il risultato finale sar' dato dalla domma dei 3 effetti. Le coordinate del nuovo baricentro G' , saranno:

$$\begin{cases} X_{G'} = X_G \pm \frac{P \cdot x}{\Delta} \\ Y_{G'} = Y_G \pm \frac{P \cdot y}{\Delta} \\ Z_{G'} = Z_G \pm \frac{P \cdot z}{\Delta} \end{cases}$$

In cui:

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

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

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

Le inclinazioni trasversali e longitudinali risultano stabilite dalle relazioni:

$$\tan \alpha = \frac{p \cdot y}{\Delta \cdot \left[(r - a) \pm \frac{p \cdot z}{\Delta} \right]} \qquad \tan \beta = \frac{p \cdot x}{\Delta \cdot \left[(R - a) \pm \frac{p \cdot z}{\Delta} \right]}$$

3.4 Carichi mobili o deformabili

- 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 inclinate per cui:

$$M = p \cdot t \cdot \text{sen} \alpha$$

- t = segmento quando Kp è perpendicolare

dove $t \cdot \text{sen} \alpha$ 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 $\frac{p \cdot z}{\Delta}$, che è la riduzione dell'altezza metacentrica (vedi *spostamento verticale* del peso).

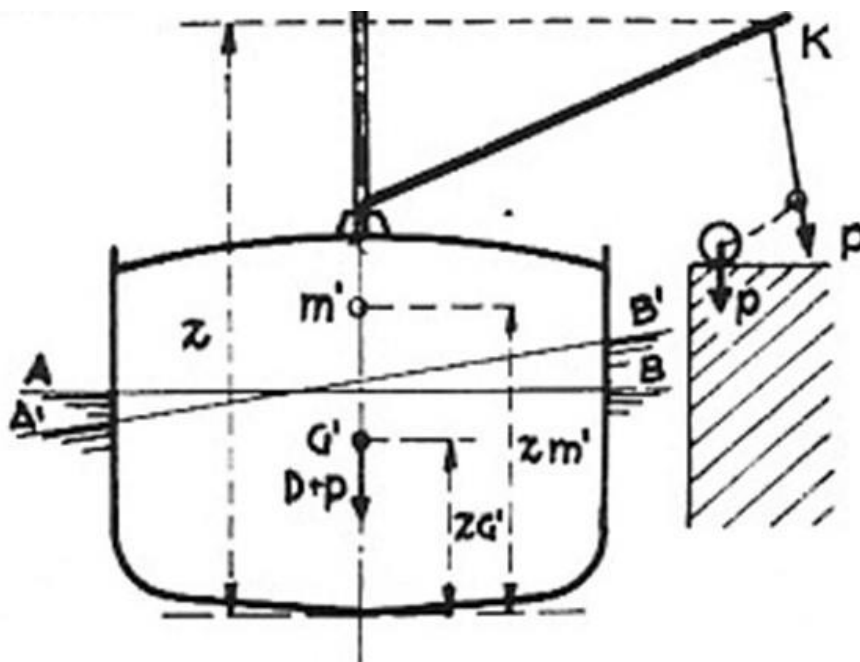


Figura 30 Carichi sospesi

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:

$$Ma = p \cdot y \cdot \cos \alpha$$

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.

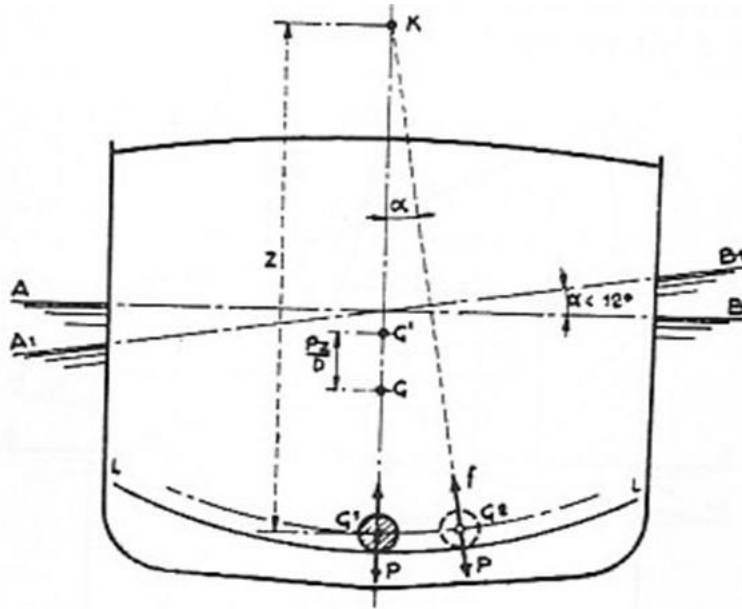


Figura 31 Carichi scorrevoli

- 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.

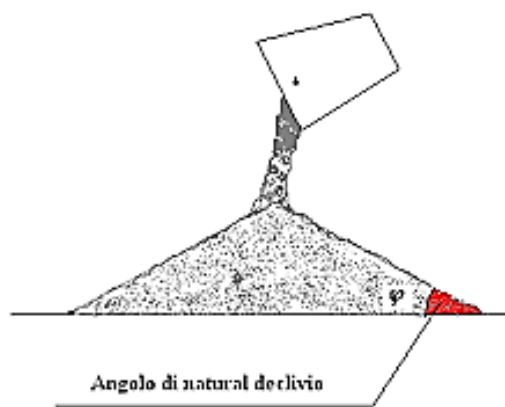


Figura 32 Angolo di natural declivio

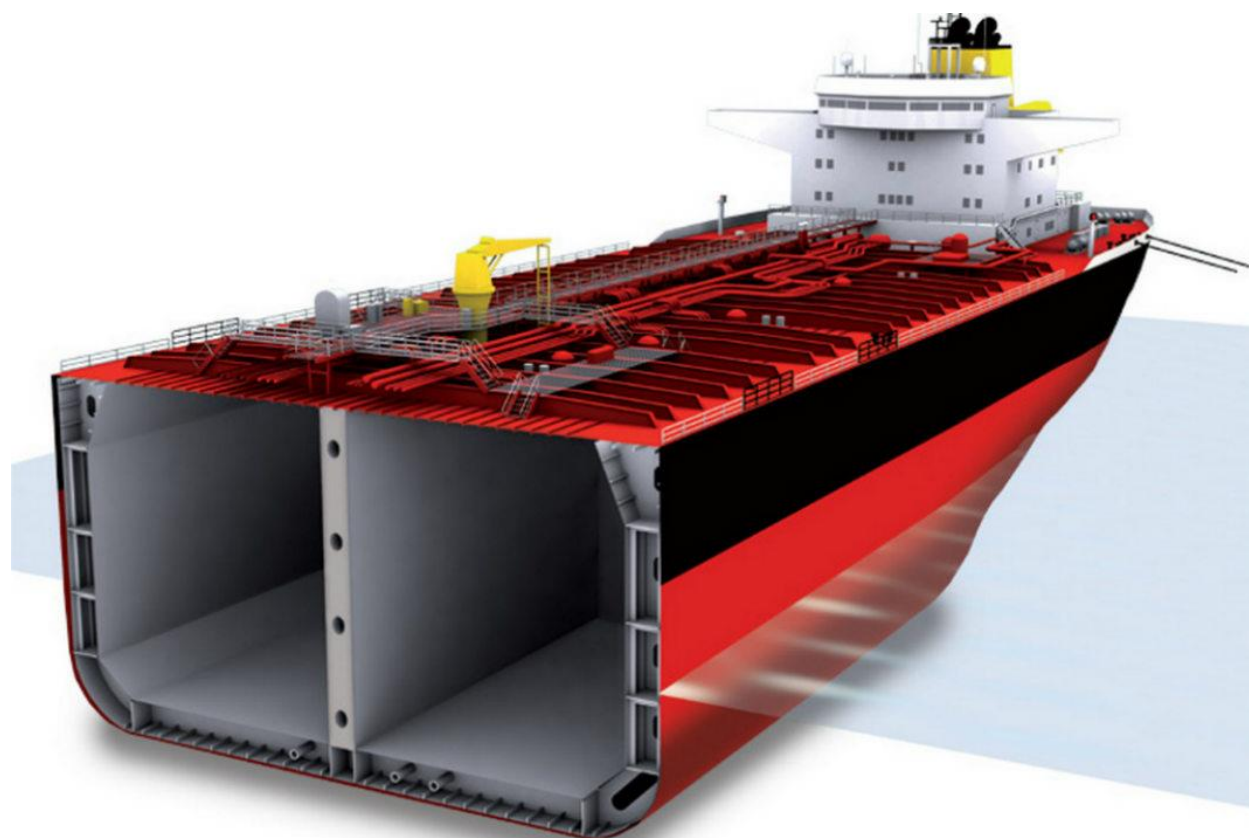


Figura 33 Navi trasporta rinfuse, Bulk-carriers

- Carichi liquidi

Tra i carichi che costituiscono il dislocamento Δ 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 (α) 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' :

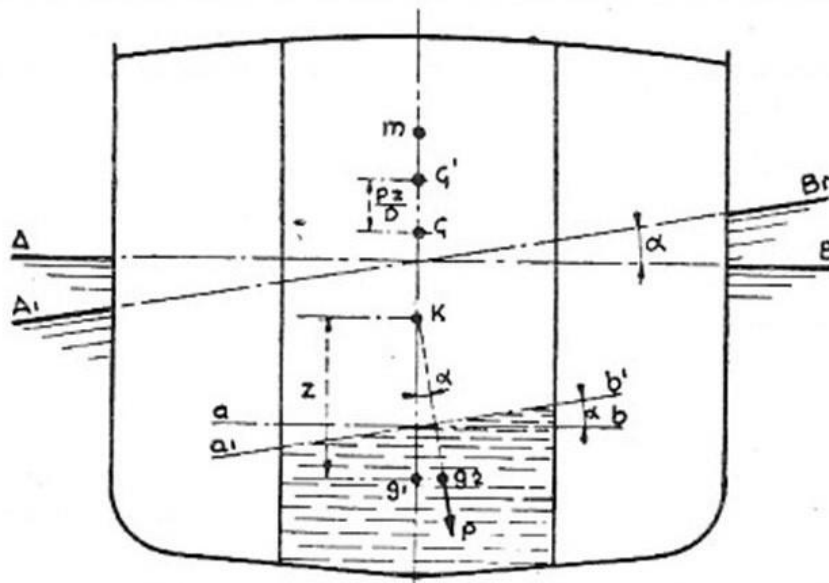


Figura 34 Carichi liquidi

Poiché $\frac{p}{v} = \omega$ (peso specifico del carico liquido); $z = \frac{i_x}{v}$ ($z = Kg$ è il raggio metacentrico del carico liquido, che analogamente al raggio metacentrico trasversale della nave $r = \frac{i_x}{V}$, può essere così determinato; i_x = momento d'inerzia della superficie libera del liquido rispetto all'asse longitudinale della cisterna; v = volume del liquido contenuto nella cisterna).

La nuova altezza metacentrica sarà:

$$G'M = GM - GG' = GM - \frac{ix \cdot \omega}{\Delta}$$

Il nuovo Momento di stabilità, sarà:

$$M's = \Delta G'M \cdot \text{sen}\alpha = \Delta \cdot \left((r - a) - \frac{ix \cdot \omega}{\Delta} \right) \cdot \text{sen}\alpha$$

Il termine $\frac{ix \cdot \omega}{\Delta}$ è la riduzione dell'altezza metacentrica per effetto della superficie libera del liquido, esso dipende dal peso specifico del liquido (ω), dal momento d'inerzia della superficie libera del liquido rispetto all'asse longitudinale della cisterna (i_x) ma indipendente dal volume del liquido della cisterna (v).

Poiché (i_x) dipende unicamente dalla sua estensione superficiale rispetto all'asse longitudinale della cisterna, possiamo dedurre che la riduzione dell'altezza metacentrica, per effetto del carico liquido, è tanto più elevata quanto più la superficie del liquido è estesa trasversalmente.

Da questo nasce la necessità di limitare trasversalmente i depositi dei liquidi di bordo mediante delle opportune paratie longitudinali, non necessariamente complete, ma tali da limitare la riduzione dell'altezza metacentrica.

Ad esempio, consideriamo un deposito rettangolare di lunghezza L e larghezza l , il momento d'inerzia della superficie libera del liquido in essa 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° a 3° .

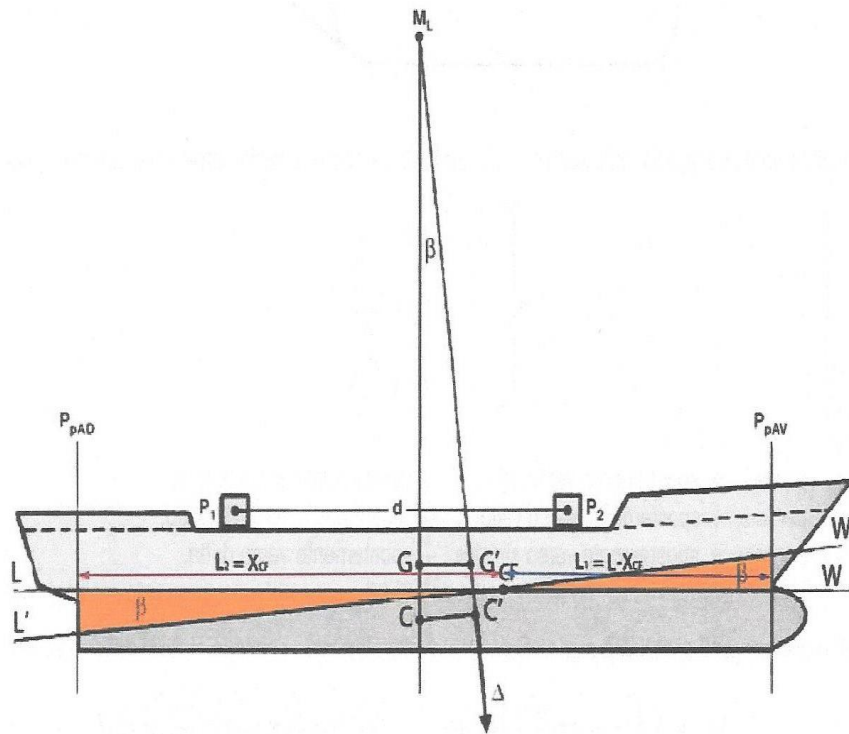


Figura 35 Assetto e variazioni d'assetto

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, la differenza tra l'Immersione addietro (I_{AD}) e l'immersione avanti (I_{AV}):

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

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

Si definisce Variazione di Assetto (*CT: Change of Trim; Δd*), 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 β , di conseguenza si verifica una variazione dell'Assetto.

Tale variazione può essere facilmente determinare geometricamente osservando la figura riportata sopra:

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

Poichè:

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

Avrò:

$$\Delta I_{AV} = L_1 \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)} \quad \Delta I_{AD} = L_2 \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)} \quad \Delta d = L \cdot \frac{p \cdot x}{D \cdot (R - a)}$$

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

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

VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO TEORICO

- Calcoli statistici e di stabilità finale

Il lavoro assegnatomi dall'Ing. Catani consiste nel determinare il peso di ogni singolo componente di uno yacht (motori, scafo, divani, finestre, porte...), stimandolo, tramite formule, o prendendo le offerte dei singoli fornitori e riportare il peso della commessa in questione su di un foglio Excel che calcola peso totale e posizione del baricentro in tempo reale di ogni apparato della nave; dalle camere, alla sala motori, alla plancia di comando, fino ai tender per far giungere gli ospiti dello yacht in porto senza dover spostare una nave da 60 metri.

Ho iniziato calcolando le aree calpestabili dello yacht, ricalcandone il perimetro e creando un'area grazie al programma MicroStation Design che prontamente veniva determinata; una volta calcolata l'area e deciso quale tipo di materiale bisogna installarci sopra, andavo a moltiplicare una semplice area per un peso al m², trovando il peso finale delle aree calpestabili che dovevano essere individuate su un sistema di riferimento fisso dato dalle coordinate:

- X = (lunghezza totale dell'imbarcazione in metri presa sulla mezzeria della nave grazie al piano diametrale, o nel linguaggio navale usando i "frame": che corrispondono a circa 0.5 metri per quanto riguarda l'imbarcazione per cui lavoro, il frame può anche arrivare a 0.6 metri per barche oltre i 60 metri);
- Y = (corrisponde alla larghezza totale dell'imbarcazione, perpendicolare al piano diametrale, e nel mio caso, la parte a destra del piano diametrale, chiamata StarBoard, è assunta come positiva; mentre la parte a sinistra del piano, PortSide, è assunta negativa);
- Z = (corrispondente al piano verticale e perpendicolare ai piani X e Y ; è quel piano perpendicolare alla linea dell'acqua, con appunto il valore 0 in corrispondenza del pelo libero della superficie marina).

Prima della realizzazione del natante, si deve determinare il **GT** (Gross Tonnage) o Stazza Lorda.

La *stazza* rappresenta la somma dei volumi degli spazi interni, ermeticamente chiusi all'acqua, di una nave o di un natante o di un galleggiante di qualunque tipo. La sua unità di misura, fino all'entrata in vigore della normativa internazionale dell'*International Maritime Organization*, era la tonnellata di stazza, un'unità di volume corrispondente a 100 piedi cubi (2,832 metri cubi). La stazza internazionale si indica con il valore calcolato seguito da GT (gross tonnage, stazza lorda).

Oggi, pur continuando a parlare di *stazza lorda* e *stazza netta*, a seguito dell'entrata in vigore della "Convenzione Internazionale sulla Stazzatura delle Navi" (conclusa a Londra il 23 giugno 1969), questa non rappresenta più il volume interno di una nave espresso in *tonnellate di stazza*, ma solamente il risultato dei calcoli di una complessa formula che dà luogo a un numero. Tale valore, pur essendo un indice di "grandezza" e di "capacità" commerciale della nave, non esprime un volume ma, come anzidetto, rappresenta una misura convenzionale.

- Determinazione del GT

Il calcolo della tonnellata di stazza lorda è definito nel Regolamento 3 dell'Appendice 1 della Convenzione internazionale del 1969. Dipende da due variabili, ed è una funzione iniettiva crescente del volume dell'imbarcazione:

- siano V il volume totale della nave espresso in m^3 ;
- K : un coefficiente basato sul volume.

Il valore del coefficiente K varia con il volume totale dell'imbarcazione ed è usato come fattore di amplificazione per determinare la stazza lorda. Più è grande l'imbarcazione, più aumenta il coefficiente K .

K è calcolato con una formula logaritmica:

$$K = 0.2 + 0.02 \times \log_{10}(V)$$

Se V e K sono note, la stazza lorda è calcolata usando la formula, in cui TSL è funzione di V :

$$TSL = V \times K$$

che per sostituzione equivale a:

$$TSL = V \times (0.2 + 0.02 \times \log_{10}(V))$$

In base alla stazza lorda sono stabilite le tabelle di armamento, gli obblighi imposti dalle normative internazionali, le tariffe di pilotaggio, rimorchio e ormeggio, i premi assicurativi ecc. In base alla stazza netta si calcolano invece le tasse marittime, i diritti per il transito nei canali ecc.

La Tonnage Tax

Con l'espressione *tonnage tax* si intende un regime opzionale forfetario di tassazione delle imprese operanti nel settore marittimo. La sua introduzione è motivata dalla necessità di limitare il trasferimento di imprenditori verso Paesi con tassazioni sensibilmente inferiori.

Sono interessate alla tonnage tax le imprese operanti nel settore marittimo che possiedono e gestiscono navi con tonnellaggio superiore a 100 tonnellate di stazza netta destinate a trasporto passeggeri, merci o soccorso, rimorchio, realizzazione o posa in opera di impianti e altre attività di assistenza.

Il reddito si calcola sulla base di un importo fisso giornaliero previsto in modo distinto a seconda del tonnellaggio.

A tal fine si applicano quattro coefficienti inversamente correlati al tonnellaggio netto della nave.

- 1) da 0 a 1.000 tonnellate di stazza netta: 0,0090 euro per tonnellata;
- 2) da 1.001 a 10.000 tonnellate di stazza netta: 0,0070 euro per tonnellata;
- 3) da 10.001 a 25.000 tonnellate di stazza netta: 0,0040 euro per tonnellata;
- 4) da 25.001 tonnellate di stazza netta: 0,0020 euro per tonnellata.

L'applicazione di tali coefficienti consente di ricavare l'importo giornaliero del reddito, da moltiplicare per i giorni di utilizzo della nave.

Quest'immagine qui di seguito è la pagina iniziale del programma di calcolo, dove ad ogni gruppo, corrisponde una descrizione generale, che tiene conto di tutti quegli elementi ad essa legati.


CRN		CRN 141 - VELOCE		Date of first issue	18/11/2019		
		LIGHTSHIP WEIGHT CALCULATION		Revision	00.1		
				Date of revision			
				Length overall 60.3 m Beam moulded 9.83 m Draught F.L. 2.29 Max Speed 27.00 knt Range @ 12 knt 3 000 Nm Class: ABS * A1 (E), COMMERCIAL YACHTING SERVICE, (* AMS, * ACCU	Gross tonnage 1060 GT Guest 12 p Crew members 13 p		
GROUP	DESCRIPTION	Q.ty	Weight Unitary	Weight Total	X _G From Fr.0	Y _G + STB	Z _G From B.L.
		[-]	[kg]	[kg]	[m]	[m]	[m]
01	HULL AND SUPERSTRUCTURE			161 504	26.70	-0.03	4.78
02	OUTFITTING			78 281	27.23	0.13	6.61
03	MACHINERY AND PROPULSION			85 019	15.34	0.08	2.35
04	ELECTRICAL NAVIGATION AND COMMUNICATION			33 261	23.02	-0.03	6.21
05	PIPING SYSTEM			26 497	23.70	-0.16	3.02
06	HEATING VENTILATION & AIR CONDITIONING (HVAC)			14 278	22.59	-1.17	5.33
07	ACCOMODATION			56 046	29.53	-0.13	6.17
08	PAINTING AND INSULATION			50 157	25.74	-0.03	5.93
09	FLUIDS IN CIRCUIT AND MACHINERIES			11 000	18.33	0.10	2.70
(A)	LIGHTSHIP WITHOUT MARGIN			516 044	24.442	-0.033	4.893
(B-A)	Delta			16 044	0.185	-0.018	0.128
(B)	LSW (Iniziale Arrabito)			500 000	24.257	-0.015	4.765

Figura 36 Foglio di calcolo in Excel

Ad esempio nel gruppo 03: *Machinery and Propulsion*; avremmo oltre che tutto l'apparato motore, quindi motori, riduttori e generatori, anche il sistema di pinne stabilizzatrici; utili per ridurre il rollio della nave durante il viaggio quando le condizioni di navigazione peggiorano, il Bow Thruster che è un tunnel situato a prua contenente due piccole eliche che aiutano la manovra di attracco in porto o di uscita dallo stesso della nave, il sistema di propulsione vero e proprio che per quanto riguarda questa nave è costituito da due eliche.

Barche più piccole e performanti utilizzano un sistema di propulsione a idrogetto (L'*idrogetto* è un sistema di pompaggio o di propulsione nautico complementare composto da un ugello ed una pompa che fornisce la potenza necessaria per il getto. La pompa può essere assiale o centrifuga. Nel primo caso sostanzialmente è come se l'elica fosse intubata ed integrata con un ugello di uscita/direzione).

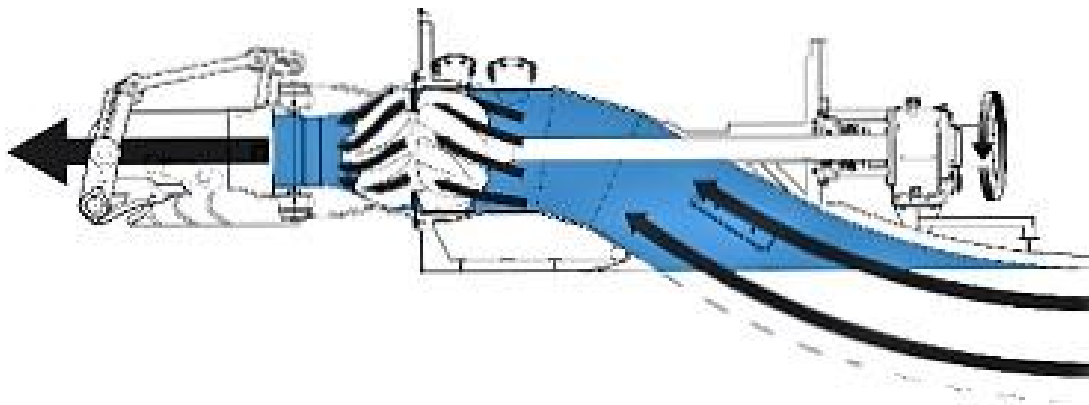


Figura 37 Idrogetto



Figura 38 Bow Thruster

Nella terza colonna del gruppo 03 in questione, vi è il relativo peso totale espresso in chili di tutti i componenti al suo interno.

Proseguendo con le colonne; dalla quarta alla sesta; troviamo il baricentro del dislocamento di tale gruppo secondo le coordinate **X,Y,Z**: esso è determinato tramite la formula -sommaprodotto- che in base al peso, individua la posizione del baricentro, infatti più un peso è elevato, più il dislocamento totale sarà in prossimità di tale componente.

Una volta fatto tale calcolo, esso sarà uguale anche per tutti gli altri gruppi.

Il mio compito alla fine di tutto ciò è quello di rimanere entro i limiti imposti da chi ha fatto i progetti preliminari come architetti e designer (ultima riga evidenziata in giallo). Per fare ciò devo consultare più offerte e fornitori possibili, in modo da avere una scelta maggiore di prodotti e vedere quali pesano e ingombrano di meno, facendo attenzione anche al costo finale ovviamente, che però in yacht privati come questo, passa un po' in secondo piano.

Un'altro compito affidatomi è stato quello di calcolare un coefficiente di peso per le isolazioni; tale coefficiente è stato determinato in più metodi, in modo da determinarne una media che non influiva più del dovuto sul peso finale delle isolazioni applicate sullo scafo con appositi prodotti per evitare la perdita di calore verso l'esterno dagli ambienti e stanze interne.

- Un primo metodo è stato quello di determinare la superficie delle pareti di ogni ponte dello yacht su Rhinoceros; tale dato era il dividendo della frazione calcolata su un foglio Excel, dove al numeratore ho determinato l'area delle pareti di ogni ponte sommata con l'area dei ferri: (bagli, anguille, copertini, squadrette). Tale rapporto infine andava moltiplicato per l'area piana del calcolo in esame come: celini, pavimenti, fianchi e pareti rinforzate, per il relativo peso a metro quadro del tipo di materiale da applicare per isolare al meglio tale ambiente.

- Un secondo metodo, usando sempre Excel è stato quello di utilizzare le quantità esatte di ogni tipo di ferro per rinforzo e isolazioni, le aree dei bagli (aree trasversali situate al di sotto del ponte, dove passano cavi e fili di ogni genere), lo sviluppo della lunghezza ad esempio del fianco o del ponte; moltiplicando e sommando tutto tra loro, ho ottenuto un'altro valore del coefficiente per le isolazioni;

Facendo una media aritmetica dei due valori, ho ottenuto un valore affidabile del coefficiente moltiplicativo per determinare il peso d'isolante da applicare in quella determinata zona.

fr.84 HS04 FIANCO MAIN DECK PT				
Lunghezza pannello		1.00	m	
Larghezza\altezza pannello		3.663	m	
Spessore isolazioni intorno ferri comuni		30	mm	
Spessore isolazioni intorno travi rinforzate		30	mm	
Ferri comuni longitudinali	Q.ty	9		
	h=	70	mm	
Travi rinforzate longitudinali	Q.ty	0		
Anima	h=	0	mm	
Piattabanda	b =	0	mm	
Travi rinforzate trasversale	Q.ty	1		
Area anima trave rinforzata trasversale (one side)		0.774	m ²	
Lunghezza piattabanda sviluppata		2.916	m	
Piattabanda larghezza	b =	100	mm	
Area pannello piano (Gross area\area lorda)	A1	3.663	m ²	
Area pannello (escluso isolamento travi rinforzate)	A2	3.443	m ²	
Area pannello (escluso isolamento travi rinforzate+correnti comuni)	A3	2.936	m ²	
Superficie isolamento attorno travi rinf long.	S1	0.000	m ²	
Superficie isolamento attorno travi rinf trasv.	S2	2.131	m ²	
Superficie isolamento attorno ferri comuni	S3	1.692	m ²	
Area all around Plate+travi comuni+travi rinforzate		6.758	k1=	1.85
Superficie isolamento intercostale ai ferri rinforzati		3.443	k2=	0.94
Superficie isolamento intercostale ai ferri rinforzati e comuni		2.936	k3=	0.80

Figura 39 Determinazione del coefficiente di peso per le isolazioni

Nell'ultimo periodo, sono stato incaricato di determinare il volume di una nave, diversa da quella precedente, sezione per sezione: ovvero il Gross Tonnage.

Tale compito, viene effettuato ad una distanza fissata che parte dall'asse del timone (cioè il mio asse di riferimento iniziale = l'asse zero); ed ogni sezione è offsettata di una distanza sempre costante che può essere o la distanza tra i frame, o quella in corrispondenza dei punti di maggior interesse dove cambia la geometria dello scafo, delle strutture interne o delle sovrastrutture.

Tutto il processo inizia su Rhinoceros, dove dal modello 3D, creo sezioni che poi esporto in programmi 2D come MicroStation, ne determino il baricentro posizionandole su un sistema di riferimento fisso trasversale alla lunghezza della nave, fatto ciò, individuo le sezioni create e ne determino l'area.

Una volta determinata l'area la riporto su un foglio di calcolo Excel dove:

- Nella prima colonna individuo l'identificazione con numeri di tale sezione;
- Nella seconda colonna, la relativa coordinata x della sezione;
- Nella terza Colonna, l'area della sezione, che si differenzia a seconda che sia un'area dello scafo o delle sovrastrutture;
- Nell'ultima colonna infine, grazie al teorema dei trapezi, identifico il volume di tale area.

Con tutti i dati a disposizione, creo un diagramma a punti che interpola tutti i dati relativi ai diversi volume calcolati; dove sull'asse delle ascisse pongo la coordinata della sezione e sull'asse delle ordinate l'area in m^2 della relativa sezione.

Dove vi è un salto, significa che in corrispondenza di tale sezione vi è un cambiamento di geometrie nave e quindi un aumento di area totale; per determinare ciò: faccio una sezione qualche millimetro prima e una qualche millimetro dopo, in modo da avere due valori sulla stessa coordinate e determinare la differenza di aree.

Section (ID #)	X [m]	CROSS SECTIONAL AREAS		VOLUMES	
		Superstructure (2nd tier) $A_T [m^2]$	Superstructure (2nd tier) $V [m^3]$	Total $V [m^3]$	
1.0	16.50	16.73	0.0	0	
2.0	18.85	16.73	39.3	39	
3.0	21.20	16.73	78.6	79	
4.0	23.55	16.73	118.0	118	
5.0	25.90	16.07	156.5	157	
6.0	28.25	15.97	194.2	194	
6.0	28.25	18.80	197.5	197	
7.0	30.63	16.92	240.0	240	
7.5	31.85	13.53	258.6	259	
8.0	33.01	5.09	266.2	266	
TOTAL VOLUME			266	266	

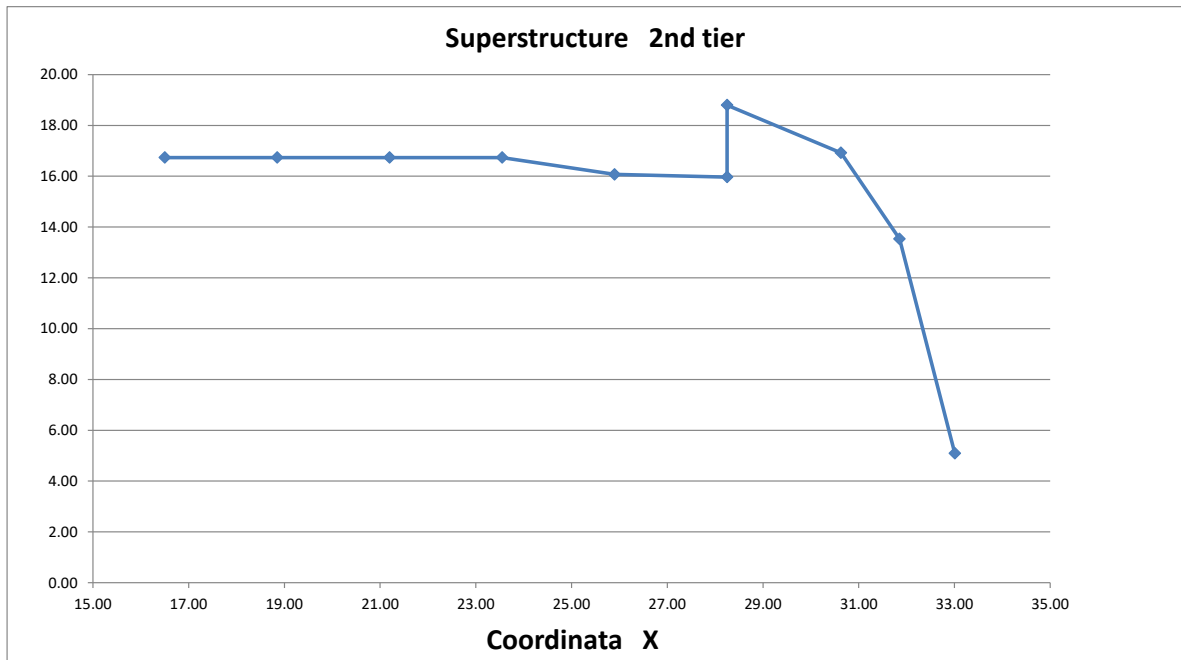


Figura 40 Determinazione Gross Tonnage Upperdeck

- Costatazione visiva della costruzione di un nave in cantiere

L'attività svolta in cantiere purtroppo è molta meno di quella in ufficio, ma è molto più divertente e istruttiva, perchè puoi vedere con i tuoi occhi tutti i lavori svolti seduto dietro una scrivania davanti al computer.

In particolare ho potuto vedere la costruzione dello scafo in alluminio della nave affidatami.

La costruzione parte da lamiere tagliate di diversa misura e spessore che poi vengono saldate per formare l'ossatura esterna e interna della nave.



Figura 41 Paratia trasversale al di sotto del ponte di coperta



Figura 42 Saldatura e assemblamento scafo



Figura 43 Ribaltamento di un blocco

Tale costruzione, sarà poi trasportata in cantiere, in questo caso via terra tramite apposite carrelli motorizzati, che trasportano la struttura saldata all'interno dei capannoni dove verranno completate; ad esempio: dal passaggio dei cavi, all'applicazione di isolante delle stanze, al posizionamento dei motori, degli interni...



Figura 44 Natanti in costruzione (Custom line)



Figura 45 Panoramica del cantiere di Ancona

Una volta che la nave è costruita, viene messa in acqua e varata e vengono fatte tutte le prove necessarie prima della vendita: come il calcolo delle vibrazioni, del rumore tra le stanze che devono rimanere sotto certi limiti imposti dalla specifica nave e da chi si occupa di tali rilevazioni al fine di limitare spiacevoli conseguenze; le prove in mare per vedere la stabilità della nave e l'assetto e eventualmente correggere gli errori.

Appurato che la nave non presenti errori e che tutte le valutazioni delle prove fatte sono risultate positive ai fini del commercio e della navigazione in sicurezza, lo yacht lascia il porto dove è stato costruito per raggiungere le località più famose e disparate.



Figura 46 Varo CRN Cloud 9 (74 metri)

- Conclusioni

Questa breve ma intensa esperienza mi ha fatto crescere sotto il piano tecnico e umano; facendomi instaurare nuove relazioni con gente più grande e capace di me, che mi ha insegnato tanto.

Sono maturato molto dal punto di vista ingegneristico: acquisendo padronanza di termini e formule che prima conoscevo poco o quasi per niente.

Ho conosciuto e imparato un po' delle basi di una diversa branca dell'ingegneria: quella navale.

Ho imparato ad utilizzare nuovi programmi di modellazione e visualizzazione 2D e 3D, come ad esempio: MicroStation; ampliato la conoscenza di programmi che già sapevo utilizzare come Rhinoceros, Excel, ecc.

Con le conoscenze apprese durante il mio percorso di studi, sono riuscito a non trovarmi in difficoltà all'interno dell'azienda e per i compiti che mi venivano assegnati. Credo che col passare del tempo e con il massimo impegno, io riesca ad imparare altre nozioni acquisite su libri e appunti, che sono di più facile apprendimento vedendole applicate su qualcosa di più tangibile rispetto al classico foglio di carta.

Ringraziamenti

Questo periodo di tirocinio, mi ha fatto conoscere un mondo nuovo ed affascinante, che avevo solo immaginato; mi ha fatto conoscere persone gentilissime che mi hanno accolto con grande entusiasmo e che mi hanno fatto capire che anche all'interno di quell'ufficio siamo tutti una grande famiglia.

Ringrazio in primis Gabriele, colui che è stato a volermi far conoscere tutto ciò che ha sempre saputo, una persona gentilissima e disponibile al 100%, con la quale mi confrontavo sempre dopo ogni compito assegnatomi; lo ringrazio per avermi avvicinato con amore e passione al lavoro che fa da tanti anni, lo ringrazio per la disponibilità mostratami e per le belle parole sul mio operato, e non lo ringrazierò mai abbastanza per avermi fatto crescere dal punto di vista ingegneristico.

Ringrazio anche Gianluca, l'Engineering Manager, che mi ha voluto come tirocinante, e che mi ha chiesto di diventare parte della loro famiglia.

Ringrazio Maurizio, Emanuele, e tutte le persone dell'ufficio; ma anche i capobarca e i capocantiere da cui ho appreso i segreti del passato e dai quali sarò più che contento di imparare nel futuro.

- Bibliografia

Appunti di scienza della Navigazione e tecnologie Navali 2 II P. Di Candia;

Appunti di geometria dei galleggianti – Ferruccio Bresciani;

Geometria dei galleggianti – ing. Di Blasi;

CRN (yacht) – official website;

www.pressmare.it;

www.scuolanauticazenith.it;

www.naviicapitani.it;

www.Treccani.it;

www.ipsora.it;