LA STABILITA' DELLE NAVI CISTERNA

GENERALITA' SULLA STABILITA'

La galleggiabilità e la stabilità sono le caratteristiche architettoniche del comportamento della nave. Io mi interesso in questo scritto, della seconda delle due.
Ricordo che una nave può inclinarsi in qualsiasi direzione, ma ciascuna di queste inclinazioni viene considerata come la risultante di una inclinazione secondo il piano trasversale ed una secondo il piano longitudinale; in generale queste due inclinazioni vengono trattate separatamente.
Nella nomenclatura marinara la prima viene detta ***sbandamento*** mentre la seconda si dice ***variazione di assetto***.
Considero la prima.
Premetto che:

1. la spinta S è applicata al baricentro C del volume di carena (o centro di carena o centro di spinta);
2. sotto l'azione del vento o delle onde o per lo spostamento trasversale di un peso, la nave si inclina (sbanda), passando dalla linea d'acqua AB alla $A'B'$, ruotando di un piccolo angolo α (considerato minore o al più uguale a 12°, al fine di rimanere nel, così detto, metodo metacentrico) ;
3. il dislocamento D (peso della nave) è applicato nel centro di gravità G della nave.

A sbandamento avvenuto è cambiata la forma del volume di carena per cui è cambiata la posizione del suo centro, passando dalla posizione C alla posizione C' (Fig.1).
Nella seguente figura le forze peso e spinta sono rappresentate a nave sbandata, ed avendo direzione gravitazionale, risultano perpendicolari al galleggiamento $A'B'$, e formano una coppia raddrizzante che determina un momento raddrizzante Ms, detto momento di stabilità statica trasversale.

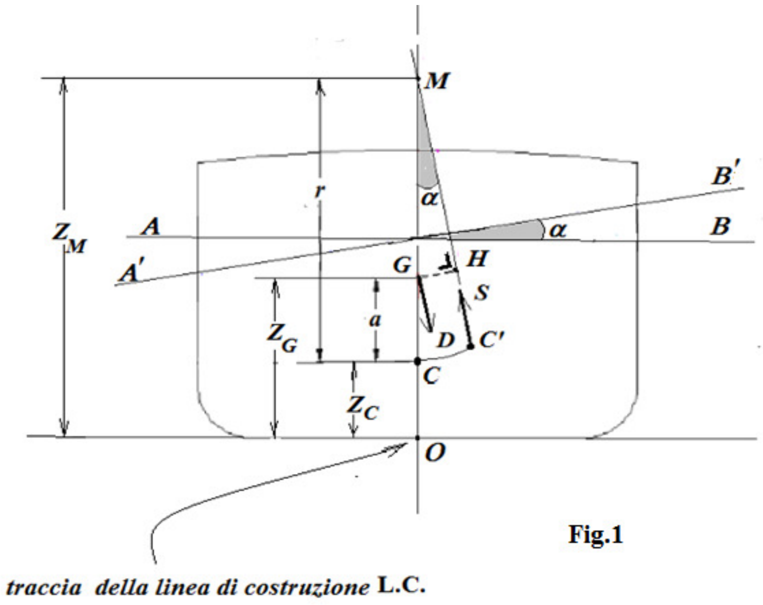


Fig.1

Osservazione. Certamente il centro di carena non passa istantaneamente dalla posizione *C* alla posizione *C'*, ma assume tutte le successive posizioni dell'arco *CC'* (a partire da *C*, sino a giungere in *C'*) detto *curva dei centri di carena delle carene isocareniche* che, nel caso considerato (ovvero per angoli $\alpha \leq 12°$) , è un arco di cerchio avente centro nel punto *M* detto *metacentro*; così che:

1. la distanza del metacentro *M* dal centro di spinta *C , indicata con r,* si dice *raggio metacentrico*. Esso dipende solo dalla forma dello scafo, pertanto è una entità puramente geometrica, ovvero nasce con la costruzione della nave stessa.

Per brevità è sufficiente accettare l'ipotesi che il valore del raggio metacentrico *r* si ottenga in base appunto a considerazioni geometriche riferendosi al volume di carena *V* e all'area della linea d'acqua corrispondente; si dimostra, infatti, che è

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

in cui è:

$$I_x = a_1 d_1^2 + a_2 d_2^2 + a_3 d_3^2 + ... + a_n d_n^2 = \sum_{i=1}^{n} a_i d_i^2$$

I_x è detto *momento* di *inerzia* (*m.* di *i.*) di quella linea d'acqua, calcolato rispetto all'asse longitudinale *x*.

Nella Fig.2 considero la linea d'acqua, a ponti orizzontali, corrispondente a quella immersione che determina il volume di carena considerato, così che possiamo, per definizione, capire la formula del momento d'inerzia prima citato.

Infatti si suppone di suddividere la linea d'acqua in *n* superfici elementari e calcolare, di ciascuna di esse, il *m.* di *i.*, rispetto all'asse baricentrico longitudinale *x* della linea d'acqua. In Fig.2 ho segnato le superfici elementari:

1. a_1 il cui baricentro dista d_1 dall'asse *x*,
2. a_2 il cui baricentro dista d_2 dall'asse *x*,
3. a_i il cui baricentro dista d_i dall'asse *x*, (l'indice *i* sta a significare un termine generico)
4. a_n il cui baricentro dista d_n dall'asse *x*,

Si tenga presente che la scelta della prima, seconda, … , ennesima superficie elementare è assolutamente indifferente, perché successivamente trattasi di scrivere una addizione la cui somma non cambia se si cambia l'ordine dei suoi termini.

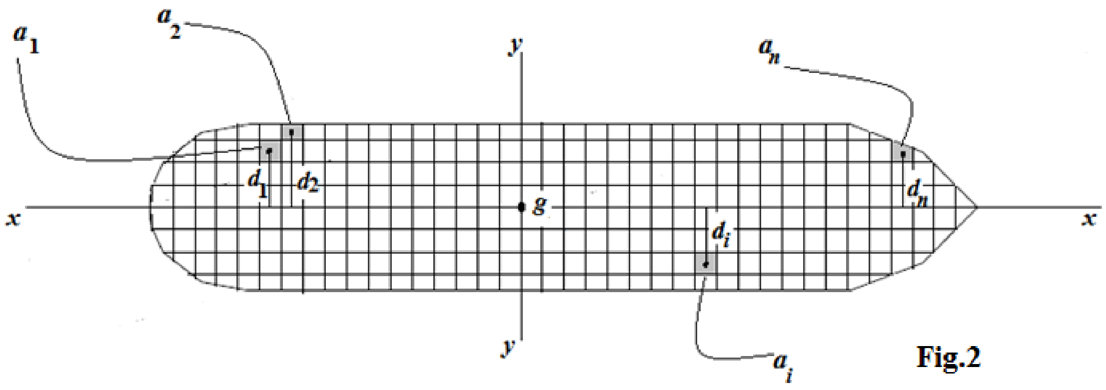


Fig.2

2. la distanza del metacentro M dal centro di gravità G della nave (caratterizzata dalla distribuzione dei pesi a bordo) si dice *altezza metacentrica* indicata con $r - a$, avendo denotato $CG = a$ e, come già detto, $CM = r$.

Così che, come facilmente si determina, il momento di stabilità trasversale è dato dall'equazione

$$M_s = D(r - a)\sin\alpha .$$

Sviluppando, ottengo

$$M_s = Dr\sin\alpha - Da\sin\alpha$$

così rilevo che il momento di stabilità risulta la somma algebrica di due momenti di cui:

1. il primo è detto *momento di stabilità di forma*, perché dipende da r che a sua volta, come abbiamo visto, dipende dalla forma dello scafo;
2. il secondo è detto *momento di stabilità di peso*, perché dipende da a che a sua volta dipende dalla distribuzione dei pesi a bordo

Ora, in generale, a bordo, per aumentare l'altezza metacentrica, non si può agire sul valore di r, bensì possiamo variare opportunamente il valore di a (spostando o imbarcando pesi).

IMPORTANZA DEL MOMENTO D'INERZIA

Quando ero giovane, tornando dalla Sardegna, all'entrata del porto di Genova vidi una nave di piccole dimensioni che aveva su entrambe le fiancate delle protuberanze di forma quasi cilindrica, per metà in acqua, larghe circa 1 metro e per una lunghezza di, forse, una decina di metri. Alla mia domanda, un ufficiale di bordo mi disse che, con quelle aggiunte, avevano aumentato la stabilità di quella nave. Allora potevo capire intuitivamente che quello che mi fu detto fosse vero, mentre successivamente, alla luce degli studi nautici, mi resi conto del perché.
Ora, come si dice a scuola per le materie tecniche, "diamo" alcuni numeri", proponendo il seguente **PROBLEM**A.

Di una nave mercantile (scarica) sono noti i seguenti dati (spero che non siano troppo in contrasto l'uno con l'altro, ma al di là di questo, credo che questo problemino riesca a dimostrare che ho ben capito la questione):

dislocamento $D = 2000\ tonn$

volume di carena $V = \dfrac{2000}{1.025} \approx 1951 m^3$ (ho tenuto conto del peso specifico medio dell'acqua di mare)

momento d'inerzia della linea d'acqua, rispetto all'asse longitudinale $I_x = 8200\ m^4$
ordinata del centro di carena $z_C = 2.00m$
ordinata del centro di gravità $z_G = 6.10m$
sopraelevazione di G su C $a = 4.10m$

Valutare, con questi dati, l'altezza metacentrica.

SOLUZIONE

Dai dati ricaviamo

$$r = \frac{I_x}{V} = \frac{8200}{1951} = 4.20 \text{ m}$$

da cui

$$r - a = (4.20 - 4.10)m = 0.10\ m = 10cm$$

Indubbiamente, benché la nave sia inizialmente stabile, l'altezza metacentrica ha un valore troppo basso ($r - a$ non può essere inferiore ai 15 cm).
Si decide allora di servirsi delle ***controcarene*** (anticamente chiamate "*bottazzi*") per aumentare l'altezza metacentrica, al fine di aumentare la riserva di stabilità.
Si costruiscono due *c.c.*, una per ciascuna fiancata, la cui forma è segnata in figura con colore giallo (ho rappresentato le *c.c.* nella sezione trasversale (Fig.3) e in quella orizzontale (fig.4)).
Al fine di facilitare i calcoli, approssimiamo la linea d'acqua di ciascuna controcarena ad un rettangolo avente dimensioni $0.9m$ di larghezza per $14m$ di lunghezza, come appare in figura (mi sembra di aver capito che gli addetti ai lavori sappiano determinare le *c.c.* equivalenti).

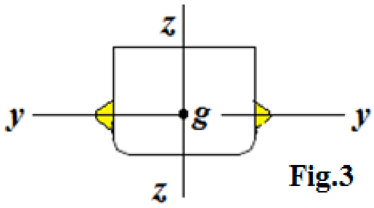


Fig.3

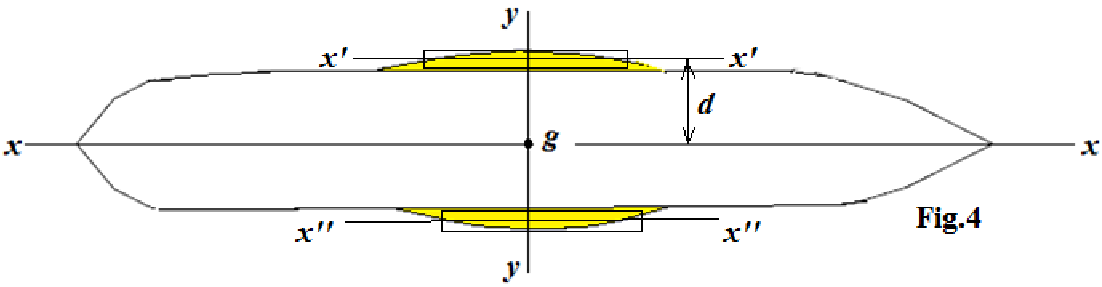


Fig.4

Dalla meccanica applicata, abbiamo:

1. il momento di inerzia baricentrico rispetto all'asse x del rettangolo (Fig.5) è

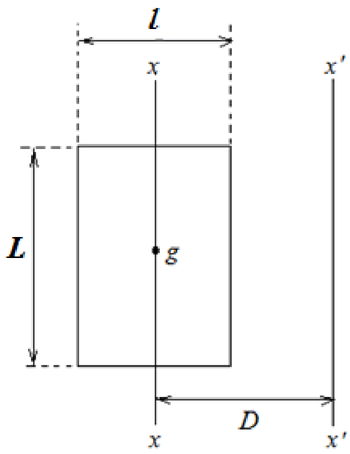


Fig.5

$$i_x = \frac{l^3 \cdot L}{12}; \qquad (1)$$

2. dal teorema di trasposizione (il momento di inerzia rispetto ad un asse x', si ottiene addizionando al momento d'inerzia rispetto all'asse baricentrico *x* parallelo a *x'* , il prodotto dell'area del rettangolo per il quadrato della distanza tra le due rette *x* e *x'*)

$$i_{x'} = \frac{l^3 \cdot L}{12} + l \cdot L \cdot D^2$$

In virtù di quanto detto, supponendo la larghezza dalla linea d'acqua della nave di 11*m*, considerando la *c.c.* di sinistra, ho

$$i_x = i_{x'} + 0.9 \cdot 14 \cdot d^2, \qquad \text{dove} \quad d = (5{,}5 + 0.45)m = 5.95m$$

Quindi $$i_x = \frac{0.9^3 \cdot 14}{12} + 0.9 \cdot 14 \cdot 5{,}95^2 = 446.92$$

Ed essendo due le *c.c.*, questo ultimo risultato va moltiplicato per 2 ed addizionato al momento di inerzia originario, otteniamo il nuovo momento d'inerzia I'_x della nuova linea d'acqua così modificata:

$$I_x' = (8200 + 2 \cdot 446.92)m^4 = 9093.84m^4$$

Possiamo ora calcolare il nuovo raggio metacentrico *r'*, considerando un aumento di carena di $7m^3$ per fiancata:

$$r' = \frac{9093.84}{1951.2 + 2 \cdot 7} = \frac{9093.84}{1965.2} \approx 4{,}63m;$$

che ci porge la nuova altezza metacentrica:

$$r' - a = (4.63 - 4.10)m = 0.53m = 53cm$$

che, per una nave da carico, è un valore nella media.

Da quanto detto, emerge quanto sia importante il momento d'inerzia nei problemi della stabilità, in particolare, come vedremo, per le navi cisterna.

NAVI CISTERNA

Un liquido a superficie libera, contenuto in una tanca o all'interno di un compartimento del doppio fondo, a causa delle oscillazioni della nave, provocate dal moto ondoso, incide sulla riserva di stabilità, riducendone il valore.
Mi propongo di spiegare quanto ho asserito.
Allo scopo, considero una nave , inizialmente dritta, avente un compartimento, all'interno del quale vi sia un certo volume di liquido a *pelo libero* (superficie del liquido soggetto alla sola pressione atmosferica), Indico con p l'intensità della *forza-peso* del liquido considerato che, come è noto, si ritiene applicata nel suo baricentro g.
Ricordando che, qualunque sia la posizione che assume la nave a seguito ad azioni di fattori esterni, la superficie libera del liquido contenuto nel compartimento tenderà sempre a mantenersi orizzontale.
A seguito di quanto detto, ipotizzo che, a causa di una forza esterna, la nave sbandi di un certo angolo α, e considero questo istante per determinare l'effetto prodotto sulla stabilità statica trasversale.
A nave sbandata il pelo libero dell'acqua di mare è rappresentata dalla linea $A'B'$, ed a questa è parallela la linea $a'b'$ che delinea il pelo libero del liquido contenuto nel compartimento considerato.

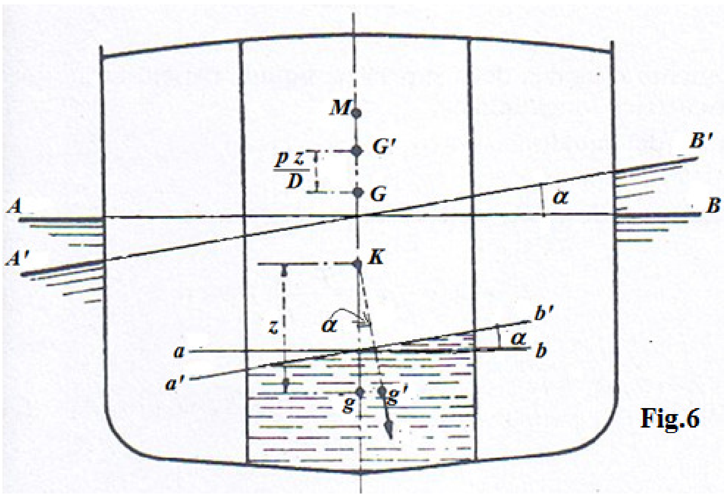
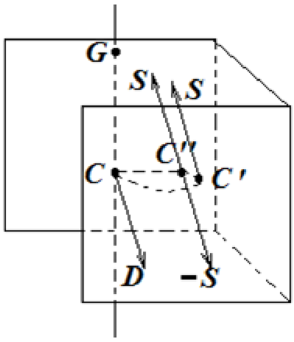


Fig.6

Per il fatto che il volume di liquido contenuto nel compartimento è quello che è, cioè è immutabile, può essere considerato alla stregua di una *carena liquida*, per cui, a seconda delle varie inclinazioni che può subire lo scafo, cambia solo la sua forma.
Il perché di questa ipotesi è da attribuirsi al fatto che il centro di gravità del liquido coincida col centro del suo volume e, quindi, nei vari sbandamenti della nave si comporta alla stessa stregua di come si comporta il centro di spinta della nave [(1)]; pertanto il baricentro g, a nave dritta, va ad occupare la posizione g' a nave sbandata, percorrendo l'arco di circonferenza gg', avente centro nel punto K. Poiché in tale punto si intersecano le linee di azione del peso del liquido, si può ritenere, ai fini dalla stabilità statica trasversale, che un carico liquido a pelo libero possa essere considerato come se fosse un carico sospeso, nel punto K, tramite un filo di lunghezza $z = \overline{gK}$.
Pertanto è come se venisse spostato il peso p, verticalmente, verso l'alto di una quantità z; questo spostamento virtuale implica la riduzione dell'altezza metacentrica pari a :

(1) Il carico liquido contenuto in una tanica dello scafo si può, come detto, assimilarsi ad una carena liquida, infatti se avessimo un galleggiante uguale a quella tanica ed immerso in acqua con un pescaggio uguale alla profondità del liquido, il punto g sarebbe proprio il centro di quella carena. Le successive posizioni che occupa g (che ora è un centro di carena a tutti gli effetti), durante uno sbandamento, è proprio un arco di cerchio sul piano trasversale. Esattamente questo non avviene, a causa della dissimmetria delle forme prodiere e poppiere, per il centro di carena C. Infatti quando la nave sbanda, il nuovo centro di carena C' descrive un arco di curva che non giace sul piano trasversale, ovvero, a nave sbandata, la spinta formerà con la forza peso D una coppia D,S che non giace nel piano trasversale, come si rileva nella seguente figura



Nella nuova direzione la spinta S, applicata nel punto C', forma, con la forza peso D (dislocamento) una coppia che non giace nel piano trasversale. Questa coppia, però, si può decomporre:

1. nella coppia D,S (giacente nel piano trasversale), con S applicata nel Punto C'', che tende a raddrizzare la nave,
2. nella coppia $-S,S$ (giacente nel piano longitudinale) che tende a fare assumere alla nave l'assetto primitivo.

Osservazione. Date le forme ordinarie delle navi si può ritenere, senza commettere errore apprezzabile, che il centro di spinta, mentre la nave sbanda, non esca dal piano trasversale e cioè che occupi direttamente la posizione C'' (ed è quello che solitamente si fa).

$$GG' = \frac{p \cdot z}{D},$$

che modifica il momento di stabilità statica trasversale (e anche quello longitudinale che, in questo scritto, non tratto), espresso dall'equazione:

$$M_s = D\left(r - a - \frac{p \cdot z}{D}\right)\sin\alpha . \qquad (2)$$

Si può ritenere che il punto K sia il metacentro trasversale della carena liquida, ed allora la distanza $\overline{gK} = z$ è il raggio metacentrico trasversale di quella carena liquida; per cui, indicando con:

1. i_x il momento d'inerzia della superficie liquida rispetto al proprio asse baricentrico longitudinale,
2. v il volume del liquido contenuto nella tanca,

è:

$$z = \frac{i_x}{v}. \qquad (3)$$

Sostituisco la (3) nella (2):

$$M_s = D\left(r - a - \frac{p \cdot i_x}{D \cdot v}\right)\sin\alpha ,$$

la quale, essendo $\frac{p}{v} = \pi'$ il peso specifico del liquido contenuto nella tanca, diventa:

$$M_s = D\left(r - a - \frac{\pi' \cdot i_x}{D}\right)\sin\alpha . \qquad (4)$$

Dalla (4) si rileva che la diminuzione di stabilità statica trasversale non dipende dal peso p del liquido bensì solamente dalla sua dimensione superficiale, ed in particolare dalla larghezza.

Viene naturale che necessiteranno paratie trasversali (e longitudinali) per diminuire il momento d'inerzia del pelo libero.

Ora, considerando il peso specifico π dell'acqua in cui galleggia la nave, è:

$$D = V \cdot \pi$$

Pertanto la nuova altezza metacentrica è:

$$r - \frac{p \cdot z}{D} - a = \frac{I_x}{V} - \frac{v \cdot \pi'}{V \cdot \pi} \cdot \frac{i_x}{v} - a = \frac{I_x}{V} - \frac{i_x \cdot \pi'}{V \cdot \pi} - a$$

Per più carichi liquidi (considerati della stessa natura, altrimenti occorre tenere anche conto della diversità dei pesi specifici dei vari carichi) a livello libero, in depositi indipendenti, si considera la sommatoria dei relativi $i_x \cdot \pi'$, allora l'altezza metacentrica che si dice effettiva, diventa:

$$\frac{I_x}{V} - \frac{\sum_{i=1}^{n} (i_x)_i \cdot (\pi')_i}{V \cdot \pi} - a = \rho - a\,.$$

La quantità ρ è detta *raggio metacentrico trasversale effettivo*.

Ora mi propongo, con esempi numerici, di mostrare come varia il *m*. di *i*. allorquando si esegue la compartimentazione della tanica; allo scopo considero una tanica il cui pelo libero sia a forma rettangolare di lunghezza L=10*m* e larghezza l=6*m*, supponendo di suddividerla prima in due parti e poi in tre parti, mediante paratie stagne (fig.7).

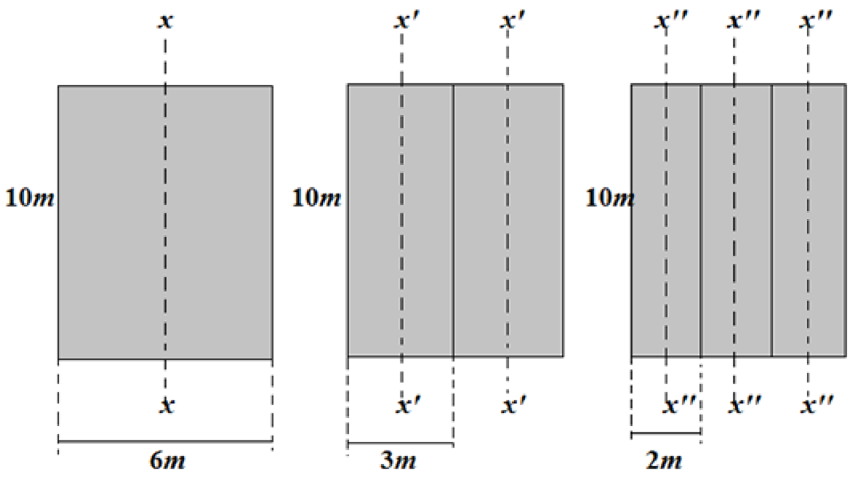


Fig.7

I momenti d'inerzia delle precedenti figure sono rispettivamente.

1. $\frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 6^3 = 180 m^4$
2. $2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 3^3 = 45 m^4$
3. $3 \cdot \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 2^3 = 20 m^4$

Essendo :

a) $\frac{180}{45} = 4 = 2^2$

b) $\frac{180}{20} = 9 = 3^2$,

rilevo che il momento d'inerzia diminuisce col quadrato del numero delle suddivisioni.
Pertanto, in generale, se le dimensioni della superficie libera di liquido, a forma rettangolare sono, L longitudinalmente ed l trasversalmente, dividendo la larghezza l in un numero n di parti uguali (Fig.8), il momento di inerzia della somma di tutte quelle superfici è.

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

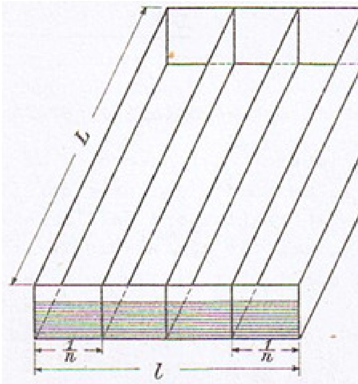


Fig.8

CONCLUSIONE

Da quanto detto, risulta utile ridurre il livello libero di un carico liquido, ovvero eseguire una adeguata compartimentazione del locale mediante paratie longitudinali.
Per una tanica avente lunghezza L e larghezza l, per la (1), la riduzione del raggio metacentrico r è:

$$\frac{i_x \cdot \pi'}{D} = \frac{1}{12} \cdot \frac{L \cdot l^3 \cdot \pi'}{D}$$

Se la larghezza l del pelo libero del liquido, nella compartimentazione, è diviso in n parti uguali, ciascuna delle n taniche ottenute ha larghezza $\frac{l}{n}$; da cui la nuova diminuzione di r è:

$$n \cdot \frac{i_x' \cdot \pi'}{D} = n \cdot \frac{1}{12} \cdot \frac{L \cdot \left(\frac{l}{n}\right)^3 \cdot \pi'}{D} \qquad (5)$$

In cui i'_x è il *m.* di *i.* di ciascuna striscia di livello libero del liquido rispetto al proprio asse baricentrico longitudinale.
La (5) può scriversi

$$n \cdot \frac{i_x' \cdot \pi'}{D} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{L \cdot l^3}{12} \cdot \frac{\pi'}{D},$$

che, per la (1), diventa:

$$n \cdot \frac{i_x' \cdot \pi'}{D} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{i_x \cdot \pi'}{D}:$$

in definitiva la riduzione di r è uguale a quella della tanica senza pareti longitudinali, divisa per n^2.

Quanto detto giustifica anche le forme delle navi *turret-deck* e *trunk-deck*, destinate al trasporto dei cereali alla rinfusa. Infatti, per le granaglie, non essendovi l'assoluta mobilità che hanno i liquidi, è sufficiente ridurre la superficie libera (pelo libero a grano), che resta ancora mediamente piccola quando si assesta il carico per effetto del movimenti che la nave subisce durante la navigazione. Ciò è alla stregua di quando in casa riempiamo la zuccheriera; versiamo un po' di zucchero che si distribuisce a forma di gobba di dromedario, poi la scuotiamo un poco e finiamo di riempirla. Non possiamo certamente scuotere la nave per far sì che il carico vada anche nelle parti laterali alte dei locali da riempire; a questo ci penseranno gli eventi esterni (onde e venti).

Non avendo trovato su nessun libro che ho consultato le definizioni di queste particolari navi, riporto ciò che ho letto sull'Enciclopedia Treccani:

turret-deck ‹tḁ′rit dèk› locuz. ingl. (propr. «ponte a torretta»; pl. turret-decks ‹... dèks›), usata in ital. come s. m. – Nave da carico il cui fasciame esterno si collega per mezzo di una curva rientrante, a collo di bottiglia, col ponte di coperta, il quale viene a costituire una specie di ristretta sovrastruttura che corre da prua a poppa lungo il centro della nave ed è in comunicazione con la stiva, riducendone così la superficie libera; è un tipo di nave adatto per carichi alla rinfusa (cereali) e liquidi che, avendo minore superficie libera, sono meno pericolosi per la stabilità con mare ondoso.
trunk-deck ‹trḁṅk dèk› locuz. ingl. [comp. di trunk «baule» e deck «ponte»] (pl. trunk-decks ‹... dèks›), usata in ital. come s. m. – Tipo di nave simile al turret-deck, con la differenza che il fasciame esterno si collega al ponte di coperta ad angolo vivo anziché con una curva avviata.

OSSERVAZIONE. Anche navi non specifiche possono trasportare grano, purché vengano dotate di determinati accorgimenti, e precisamente è uso dotare ciascuna stiva di:

1. una paratia di legno (*cascio* in italiano, *shifting-boards* in inglese) giacente nel piano longitudinale della nave,
2. un cassone alimentatore di legno (*tramoggia*), costruito nell'interponte.

Tutte le divisioni e i contorni delle tramogge devono essere costruite a tenuta di grano.

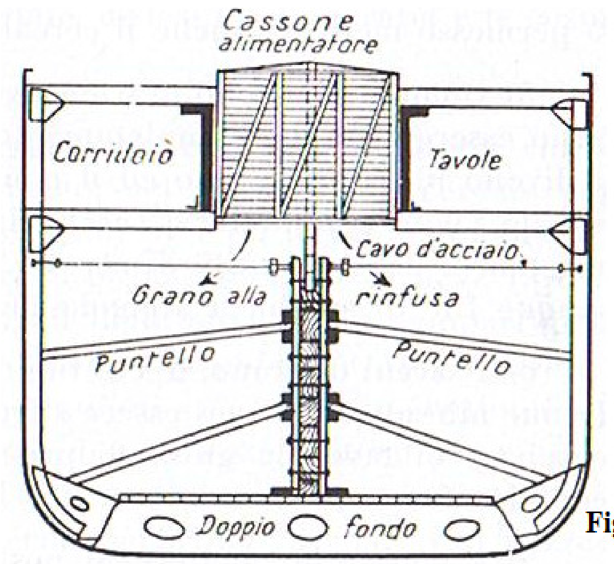


Fig.9

PROBLEMA

In una nave di $D = 5000 tonn$ ed avente un'altezza metacentrica $r - a = 0.65m$, si rompe un tubo da incendio e si raccolgono alcune tonnellate d'acqua in un locale avente lunghezza $L = 12m$ e larghezza $l = 15m$. Calcolare il nuovo valore dell'altezza metacentrica trasversale a seguito della superficie libera di acqua che si è formata ($\pi = 1.026$).

SOLUZIONE

Calcolo anzitutto il volume di carena V:

$$V = \frac{D}{\pi} = \frac{5000}{1.026} \approx 4873 m^3,$$

per cui è:

$$r' - a' = r - a' = r - a - \frac{\frac{L \cdot l^3}{12}}{V} =$$

$$= r - a - \frac{L \cdot l^3}{12 \cdot V} = 0.65 - \frac{12 \cdot 15^3}{12 \cdot 4873} \approx 0.65 - 0.69 = -0.04m = -4cm$$

Pertanto la nave si trova in equilibrio instabile, cioè la nave assume le condizioni di nave ingavonata; la nave si inclina da un lato di un angolo α_i , detto angolo di ingavonamento, non appena intervengano forze esterne, anche lievi, sull'altro lato.

La Fig.10 rende chiaro ciò che ho detto

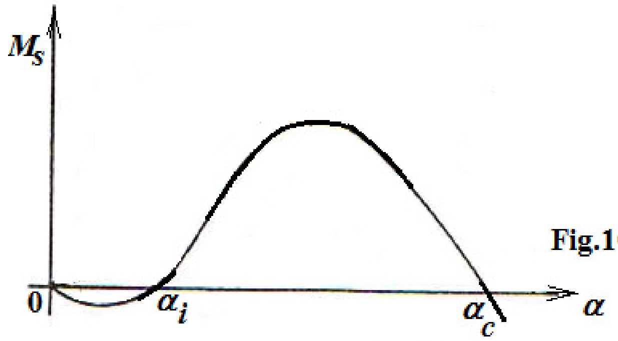


Fig.10

Irresponsabile sarebbe quell'ufficiale che pensasse di spostare un peso trasversalmente credendo di raddrizzare la nave, perché in tal caso si otterrebbe una inclinazione più grande dal lato opposto. Infatti si sommerebbe all'angolo di ingavonamento (per l'instabilità iniziale) l'angolo di inclinazione dovuto allo spostamento trasversale (sconsiderato) del peso suddetto.

Osservazione. Se si volesse rendere la nave stabile a ponti orizzontali, si dovrebbe spostare verticalmente, verso il basso di una quantità z, un ipotetico peso p, tale che il valore $+\frac{pz}{D}$ da addizionare all'altezza metacentrica, la renda positiva; se non è disponibile quel peso p, si individuano n pesi presenti p_i presenti a bordo, da spostarsi verticalmente, verso il basso, con i rispettivi valori z_i , tale da ottenere, l'equazione:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot z_i}{D} = \frac{pz}{D}.$$

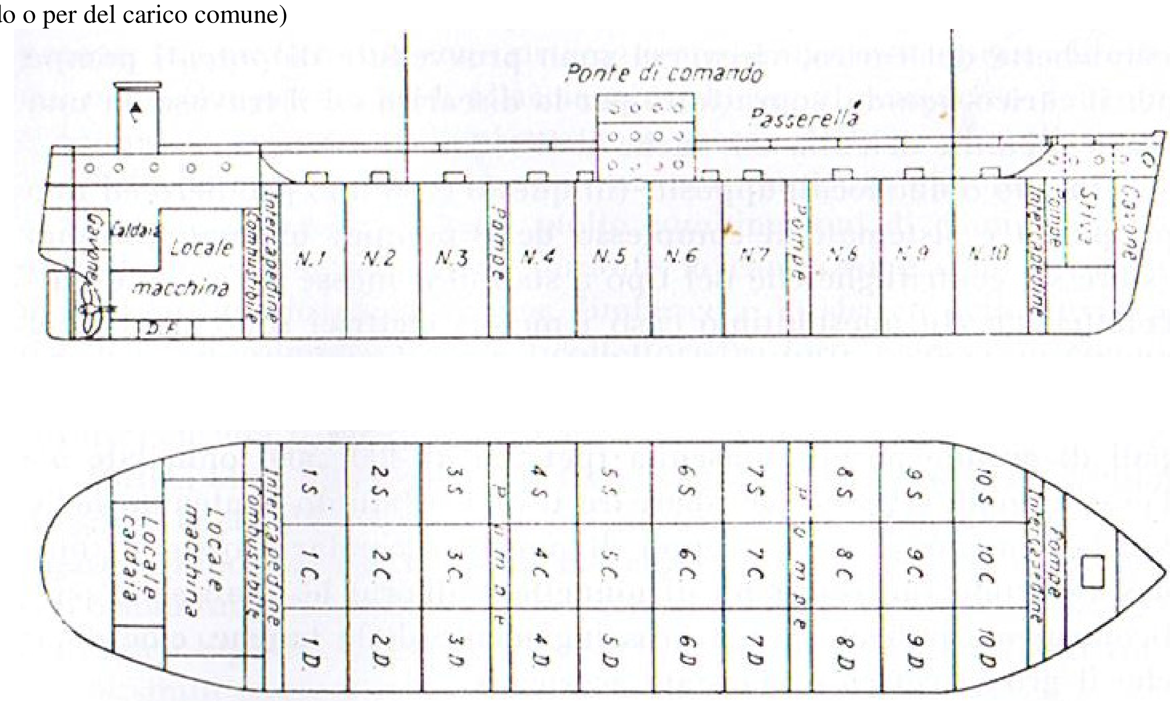
Ho recuperato, dal libro *"Stivaggio delle merci" di Gieuppe Sorrentino_ Cedam 1966"* le seguenti figure che rappresentano bene la compartimentazione di una petroliera.
Lo scafo delle petroliere è generalmente a struttura longitudinale (sistema Isherwood [2]) ovvero le paratie longitudinali e trasversali, necessarie per limitare gli effetti dannosi del carico liquido, sulla stabilità della nave, si inseriscono strutturalmente rendendo la nave più forte longitudinalmente.

[2] Con l'aumentare delle dimensioni delle navi (in particolare della lunghezza) le sollecitazioni di flessione divennero le più importanti per la trave nave per cui il sistema trasversale risultò non idoneo.
Ai soli fini della robustezza longitudinale, la struttura più idonea sarebbe quella che vede i fasciami (fondo, cielo del doppio fondo, fianchi e ponte) irrigiditi da un grande numero di elementi longitudinali comuni, intervallati da alcuni elementi longitudinali rinforzati.
I detti telai longitudinali, comuni e rinforzati, dovrebbero essere collegati tra loro tramite un ridotto numero di telai trasversali rinforzati. Una tale struttura, però, risulterebbe di peso tanto elevato da risultare inaccettabile.
La soluzione fu trovata dall'ingegnere navale inglese Joseph Isherwood *, e può essere definita sistema a prevalenza longitudinale.
La struttura a prevalenza longitudinale è quella che si adotta, di norma, per navi di lunghezza superiore a 200 metri e varia a seconda del tipo di nave (petroliere, portarinfuse ecc.).
Lo scafo è costituito da un certo numero di telai: madieri rinforzati, costole rinforzate e bagli rinforzati.
Le navi **portarinfuse** sono tutte quelle navi che possono trasportare carichi non-liquidi e non unitarizzati in container o pallets.Le porta rinfuse (*bulk carrier* in inglese) sono per convenzione divise in categorie a seconda delle capacità di carico.

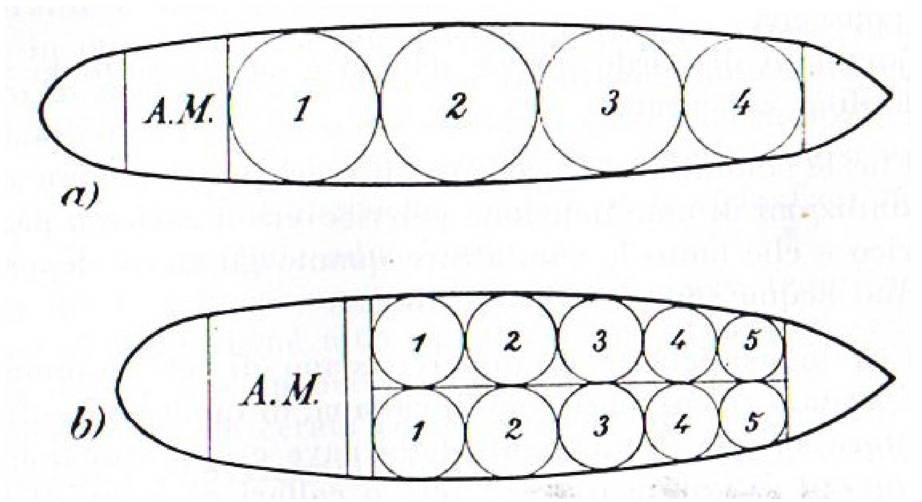
- Le più grandi sono le *Cape-size*, navi che hanno una portata superiore alle 80.000 Tonnellate. A causa delle loro dimensioni non possono transitare per il canale di Panama e sono quindi costrette a doppiare Capo Horn (da qui il loro nome).

- Le Panamax sono quelle navi che hanno una larghezza massima di 32,2 metri e che quindi possono attraversare il canale di panama. Hanno una portata di circa 60.000/80.000 tonnellate.

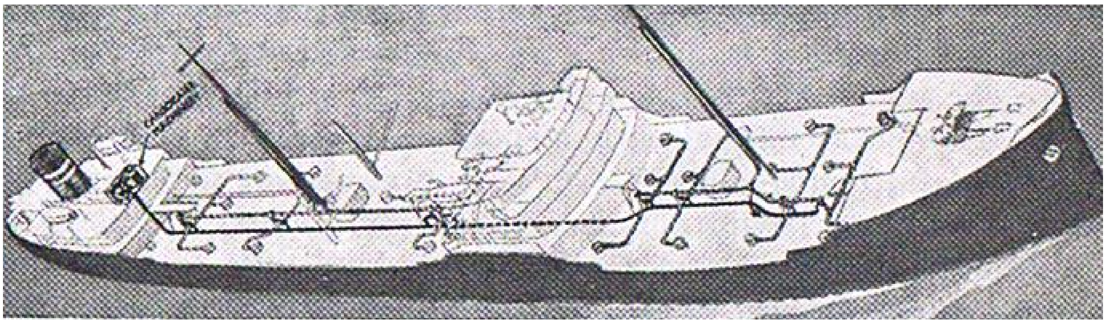
La seguente figura riporta una compartimentazione con due paratie longitudinali e nove trasversali. Ogni gruppo di due o tre (secondo se vi è una paratia o ve ne siano due, come nel nostro caso) viene indicato con un numero progressivo a cominciare, generalmente, da poppa.
Inoltre, l'insieme delle cisterne è isolato, mediante una intercapedine (cofferdam), eventualmente pieno d'acqua, sia dall'apparato motore che dalla stiva prodiera (generalmente usata per le provviste di bordo o per del carico comune)



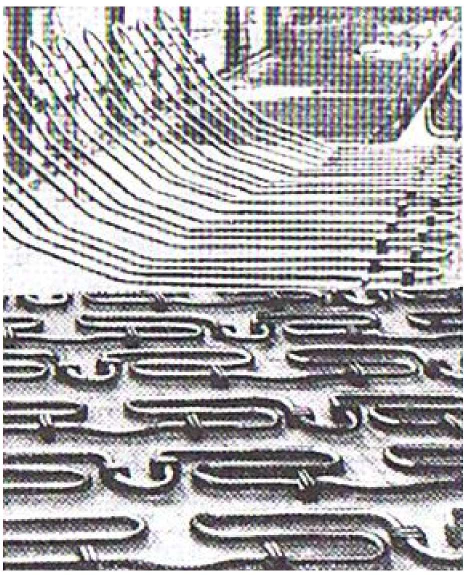
La seguente figura rappresenta una petroliera con serbatoi cilindrici nelle stive. Trattasi di navi comuni adottati a petroliere. Talvolta, i serbatoi, anziché occupare tutto lo spazio trasversale di una stiva, sono a coppia, simmetrici rispetto al piano longitudinale, raggiungendo il duplice scopo di una minore superficie libera di liquido e di caricare più qualità di oli.



La seguente figura riporta uno schema d'impianto *cargocaire* (sistema di ventilazione); la linea nera indica la tubazione principale dell'aria secca, mentre le linee sottili indicano lo sfogo dei vapori.



La seguente figura rappresenta le serpentine per il riscaldamento degli oli densi.



CONCLUSIONE SULLA STABILITA'

La riduzione dell'altezza metacentrica non dipende dalla quantità del liquido, ma solo dalla sua densità e dalla estensione della superficie libera.
Nel caso in cui il liquido sia costituito da acqua di mare o acqua piovana, la sua densità vale tanto quanto quella dell'acqua in cui la nave sta navigando, cosicché il rapporto delle densità vale 1. Ne deriva che la riduzione dell'altezza metacentrica dipende solo dalla geometria della superficie libera.
In termini pratici, ciò vuol dire che un ponte allagato per colpi di mare o pioggia se non può scaricare rapidamente l'acqua, costituisce un rischio gravissimo per la sicurezza della nave, anche se la quantità di acqua è minima.
Ecco il motivo per il quale il ponte di coperta viene di solito disegnato "*a schiena d'asino*" e debitamente provvisto di ombrinali e/o aperture alla base dell'impavesata, da cui l'acqua possa facilmente defluire.
Ecco anche il motivo per cui sulle navi adibite al trasporto di carichi liquidi le cisterne sono dotate di un duomo, nel quale sale il livello del liquido trasportato quando la cisterna è piena: le dimensioni del duomo sono tali da consentire la
libera dilatazione del liquido trasportato
Rammento, al riguardo, che passando da mari freddi a mari caldi il liquido si dilata e che la stessa cosa capita passando da una stagione all'altra. Non ci si meravigli: le petroliere impiegate nel trasporto del greggio dal Golfo Persico al Mare Mediterraneo passando per il Capo di Buona Speranza incontrano condizioni climatiche assai variabili.

Ecco infine il motivo per il quale sovente, su questo tipo di navi, le cisterne sono suddivise mediante paratie longitudinali, aventi appunto lo scopo di ridurre la larghezza degli specchi liquidi.