

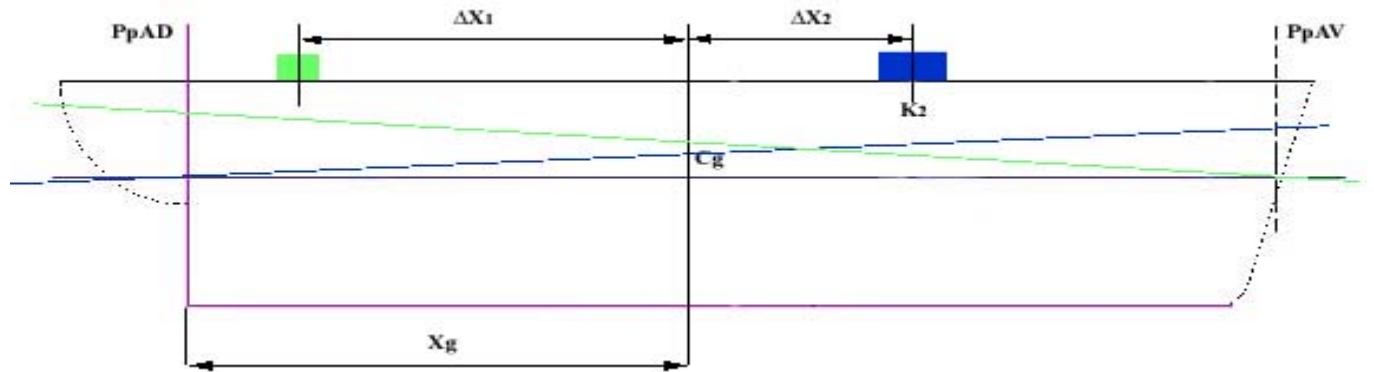
## INCAGLIO & DISINCAGLIO

### Premessa: i punti di indifferenza

Si chiama punto principale di indifferenza di poppa o per il pescaggio prodiero, quel punto del galleggiamento isocarenico dritto iniziale sulla cui perpendicolare è possibile imbarcare o sbarcare "piccoli pesi" senza che vari il pescaggio di prora.

In modo del tutto analogo si va a definire il punto principale di indifferenza di prora o per il pescaggio poppiero. E' inoltre possibile identificare punti di indifferenza in corrispondenza di altre perpendicolari. Il concetto risulta essere di estrema utilità nel caso di incaglio.

I punti di indifferenza si chiamano anche punti neutri o punti coniugati. E' infatti facilmente osservabile che i due punti sono in relazione fra loro.



Dovrebbe essere noto che, in caso di imbarco o sbarco di pesi di lieve entità, è possibile utilizzare la seguente relazione:

$$I'_{AD} = I_{AD} + P/(100Du) - (Xg/Lpp)(P \Delta X_2/100 Mu)$$

La relazione è riferita al caso in figura in cui è ipotizzato un imbarco di un piccolo peso nella posizione  $K_2$ . Per semplicità ammettiamo inoltre che le perpendicolari dei pescaggi e delle immersioni siano coincidenti.

A partire dalla definizione e dalle considerazioni introdotte, dovrà essere che:

$$I'_{AD} = I_{AD}$$

Sia pertanto  $K_2$  quel particolare punto in corrispondenza del quale tale condizione si verifichi. Ne segue, a partire da questa condizione, che:

$$P/(100Du) - (Xg/Lpp)(P \Delta X_2/100 Mu) = 0$$

$$(P/100)[(1/Du) - (Xg/Lpp)(\Delta X_2/Mu)] = 0$$

Dalla legge di annullamento del prodotto deve per forza essere che:

$$1/Du = [(Xg/Lpp)(\Delta X_2/Mu)]$$

da cui:

$$\Delta X_2 = (Lpp/Xg) (Mu/Du)$$

D'altro canto si ha anche che:

$$X_{K2} = Xg + \Delta X_2$$

pertanto si può concludere che:

$$X_{K2} = Xg + (Lpp/Xg)(Mu/Du)$$

In maniera del tutto analoga si va a ricavare, imponendo che:

$$I'_{AV} = I_{AV}$$

sulla relazione:

$$I'_{AV} = I_{AV} + P/(100Du) + [(Lpp-Xg)/Lpp](P \Delta X_1/100 Mu)$$

l'altro caso:

$$\Delta X_1 = [Lpp/(Lpp-Xg)] (-Mu/Du)$$

essendo che:

$$X_{K1} = Xg - \Delta X_1$$

ne segue:

$$X_{K1} = Xg + [(Lpp/(Lpp-Xg)] (Mu/Du)$$

Da osservare che i valori di  $X_{K1}$  e  $X_{K2}$  aumentano con il pescaggio in relazione al fatto che  $Xg$ ,  $Du$  ed  $Mu$  variano. A pieno carico si può ammettere che si trovino tra 1/8 ed 1/10 della lunghezza.

### Raggio d'inerzia

Si chiama raggio d'inerzia ( $\rho_y$ ) della figura di galleggiamento ( $A_g$ ) rispetto all'asse trasversale baricentrico, l'espressione:

$$I_y = A_g \rho_y^2 \Rightarrow \rho_y = (I_y/A_g)^{1/2}$$

## INCAGLIO & DISINCAGLIO

Elaborando il rapporto:

$$Mu/Du = [D R/100 Lpp]/[A_g \gamma/100]$$

$$Mu/du = [(V \gamma) (\mathcal{I}_y/V)/Lpp]/ A_g \gamma$$

$$Mu/Du = (\mathcal{I}_y/A_g Lpp)$$

da cui si va a ricavare che:

$$Mu/Du = \rho_y^2/Lpp \Rightarrow \rho_y = [Mu/Du Lpp]^{1/2}$$

Si noti che nello sviluppo dei calcoli si è fatto uso del Teorema del Bouguer. Le relazioni precedentemente introdotte possono pertanto essere riscritte nel seguente modo:

$$\Delta X_1 = \rho_y^2/(Lpp-Xg)$$

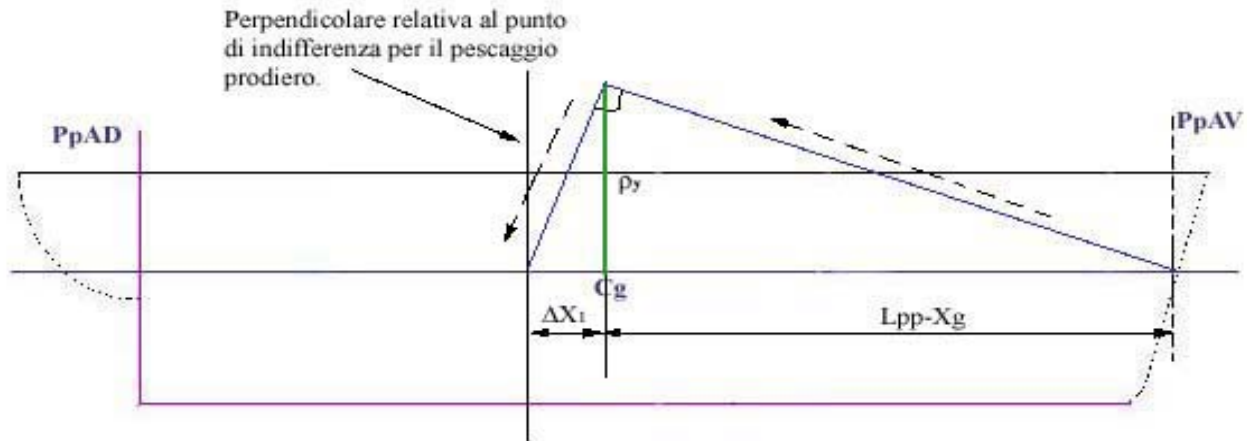
$$\Delta X_2 = \rho_y^2/Xg$$

E' infine possibile verificare che, grossomodo:

$$\rho_y \approx Lpp/2 \div Lpp/4$$

### Determinazione grafica dei punti di indifferenza

Nella figura seguente viene proposta la determinazione grafica dei punti di indifferenza.



In sostanza, una volta individuato il centro di galleggiamento si riporta il valore del raggio di inerzia sulla perpendicolare passante per il centro di galleggiamento. A questo punto non si fa altro che partire dal punto di intersezione tra piano di galleggiamento e perpendicolare avanti, congiungerla con il raggio di inerzia ed infine scendere avendo cura di formare un angolo di 90°. Il punto di intersezione con il piano di galleggiamento definisce la perpendicolare relativa al punto di indifferenza per il pescaggio prodiero.

In base al 2° teorema di Euclide (il quadrato costruito sull'altezza è uguale al prodotto delle proiezioni dell'altezza sull'ipotenusa) è possibile giungere allo stesso risultato ottenuto in precedenza. Infatti:

$$\Delta X_1 = \rho_y^2/(Lpp-Xg)$$

e, similmente, è possibile ricavare:

$$\Delta X_2 = \rho_y^2/Xg$$

Volendo infine generalizzare il risultato, ecco che risulta possibile ottenere i punti di indifferenza anche per altre posizioni. La condizione che si ottiene è del tipo:

$$\boxed{X X' = \rho_v^2}$$

che, per certi versi, giustifica anche il nome di "punti coniugati". Quest'ultima conclusione è quella che viene utilizzata nel caso dell'incaglio.

### Incaglio

Per incaglio si intende la condizione in cui la nave esercita una pressione sul fondo.

Generalmente la parte interessata dall'incaglio è l'estremità prodiera della nave e, solitamente, l'incaglio interessa più punti del fondo dello scafo.

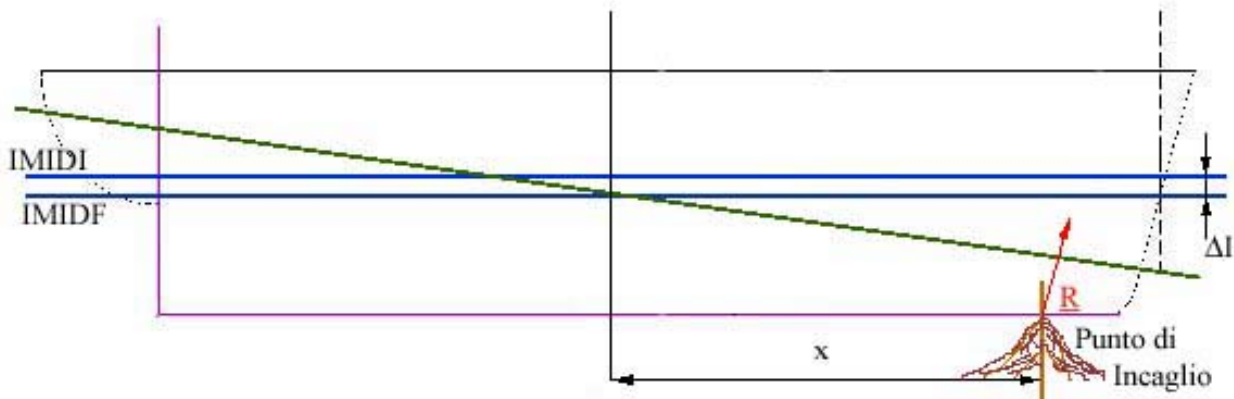
La gravità di una tale emergenza a bordo è inoltre funzione delle caratteristiche del fondale, delle condizioni e del tipo di carico trasportato, degli elementi meteo marini, dei possibili danni sullo scafo, delle condizioni di marea, ecc.

Per semplicità, in questa trattazione ci limiteremo ad analizzare il problema dell'incaglio ipotizzando che esso sia avvenuto su di un punto, situato sul piano longitudinale di simmetria e nell'ipotesi che a seguito dell'incaglio non siano state riportate delle falle.

Normalmente in caso di incaglio si può registrare una diminuzione dell'immersione media isocarenica dritta. Il problema può essere trattato come il caso di uno sbarco di un piccolo peso da una posizione qualsiasi e, pertanto, facendo uso dei

## INCAGLIO & DISINCAGLIO

concetti di dislocamento unitario e di momento unitario di assetto. In sostanza si può pensare che con l'incaglio la nave subisca un movimento verticale (riduzione dell' $I_{MID}$ ), unitamente ad una rotazione (infatti, nelle ipotesi introdotte, la nave emerge con la prora).



### Operazioni da effettuare in caso di incaglio

In caso di incaglio è indispensabile essere in condizioni di capire in breve tempo la gravità dell'emergenza ed inoltre risalire alle condizioni di assetto, carico e di stabilità nell'istante immediatamente precedente all'incaglio. Grossomodo, la check list prevede:

- Verifica dell'integrità dello scafo previa chiusura delle porte stagne
- Sondaggio della natura del fondale nonché della profondità
- Determinazione dei pescaggi prima dell'incaglio ( $I_{MIDI}$ ): questa operazione si effettua solitamente per estrapolazione a partire dal valore dell' $I_{MID}$  alla partenza, tenendo conto dei consumi, delle caratteristiche dell'acqua di mare e di altri fattori che possono avere modificato tale valore.
- Determinazione dei pescaggi a nave incagliata ( $I_{MIDF}$ ): si procede per lettura diretta.
- Determinazione delle caratteristiche dell'incaglio: si tratta di valutare la Razione di Incaglio, R, cioè la forza esercitata dal fondo. Si ricava a partire dalle operazioni precedenti. In particolare risulta:

$$\begin{aligned} I_{MIDI} &\rightarrow D \\ I_{MIDF} &\rightarrow D' \end{aligned}$$

A partire da questi due valori si ricava che:

$$R = D - D' = \Delta V \gamma = Ag \gamma \Delta I = 100Du \Delta I$$

- Determinazione del punto di incaglio: si può lavorare considerando la variazione della stabilità della nave. Infatti si ha che se posso immaginare l'incaglio come uno sbarco di un peso. In relazione a ciò si ha allora che:

$$(r-a)^* = (r-a) - Pz/D = (r-a) - (\Delta V \gamma z)/D = (r-a) - (Ag \gamma \Delta I z)/D$$

A questo punto, per l'ordinata del punto di incaglio si risolve considerando che posso lavorare in analogia al caso dello spostamento trasversale di un peso:

$$P y \cos \alpha = D(r-a)^* \operatorname{sen} \alpha$$

da cui si ricava che:

$$y = [D(r-a)^* \operatorname{tg} \alpha] / Ag \gamma \Delta I = [D(r-a)^* \operatorname{tg} \alpha] / 100Du \Delta I$$

Per l'ascissa, supponendo che l'assetto iniziale fosse dritto, in analogia con il caso dello spostamento longitudinale di un peso, abbiamo che:

$$x = 100Mu \Delta I / R$$

- Valutazione dello stato della marea: la marea può portare ad un miglioramento delle condizioni ed eventualmente anche al disincaglio della nave. Può peraltro portare ad ulteriori (evidenti) problematiche aggiuntive.
- Operazioni di disincaglio:
  - Macchine indietro con timone alternativamente a dritta ed a sinistra.
  - Spostamento o sbarco di pesi sfruttando i punti di indifferenza (trabacco/allibo).
  - Rimorchio.

### Disincaglio

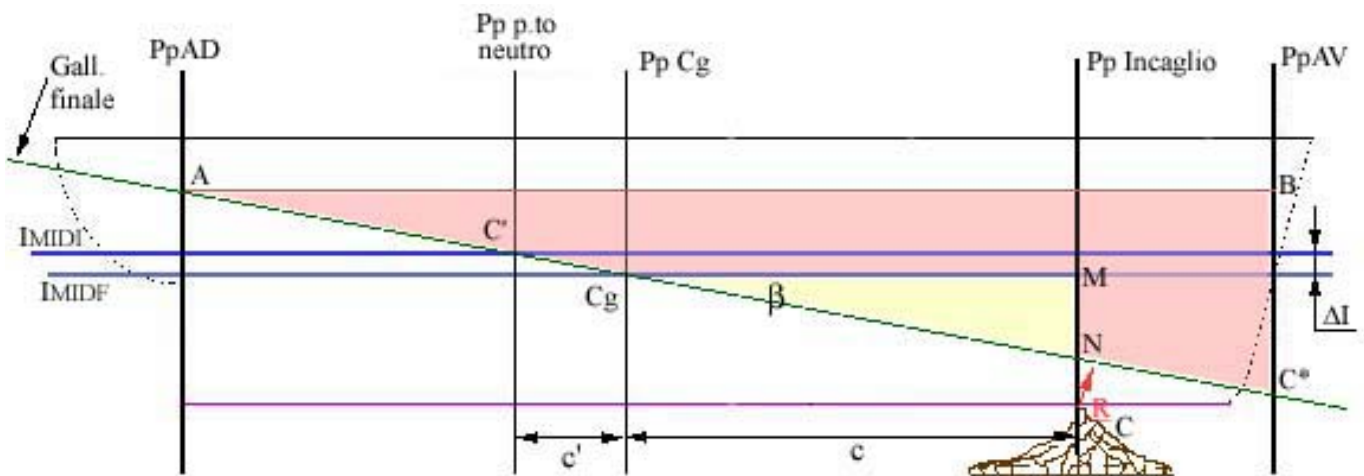
L'operazione di disincaglio può dunque avvenire sfruttando i punti di indifferenza. Prendendo come riferimento la figura seguente, possiamo identificare i seguenti elementi:

- ❖ Nel triangolo ABC\* il lato BC =  $\Delta d$

## INCAGLIO & DISINCAGLIO

- ❖ Nel triangolo  $C_gMN$  il lato  $MN = \Delta r$  e rappresenta l'effetto della rotazione che, nell'incaglio, ha portato all'emersione della parte prodiera della nave.
- ❖  $C$  rappresenta il punto di incaglio. In questo punto è applicata la reazione di incaglio. Per semplicità tale punto giace sul piano longitudinale di simmetria (e pertanto  $y_c = 0$ ).
- ❖  $c$  rappresenta l'ascissa del punto di incaglio riferita al centro di galleggiamento.
- ❖  $C'$  rappresenta il punto coniugato relativo a  $C$  (punto di incaglio). Si osservi che in questo punto il pescaggio non è cambiato a seguito dell'incaglio.
- ❖  $c'$  definisce l'ascissa del punto neutro riferita al centro di galleggiamento.
- ❖  $C_g$  rappresenta come al solito il centro di galleggiamento. Nei calcoli si assume come centro di galleggiamento quello relativo all'immersione media fra prima e dopo l'incaglio.
- ❖  $h$  esprime l'innalzamento del punto di incaglio.

Dovrebbe essere evidente che, per disincagliare la nave occorre sbarcare dalla perpendicolare passante per il punto di incaglio un peso pari alla reazione di incaglio,  $R$ , ovvero sbarcando più pesi la cui somma corrisponda ad  $R$  ed aventi come baricentro la perpendicolare passante per il punto di incaglio. In questo caso si parla di "allibo ottimo" in quanto non viene modificato l'assetto della nave. In alternativa sarà sempre possibile sbarcare un peso minore di  $R$  da punti situati a pravia del punto di incaglio oppure pesi maggiori di  $R$  da punti situati a poppavia della perpendicolare per il punto di incaglio, oppure ancora sarà possibile spostare dei pesi verso poppa. In tutti questi ultimi casi andrò a modificare l'assetto della nave rispetto a quello di incaglio.



Passando ai calcoli si può quindi scrivere che:

$$h = \Delta I \text{ (traslazione)} + \Delta r \text{ (rotazione)}$$

A partire da semplici considerazioni in merito al dislocamento unitario si ha che risulta:

$$\Delta I = R/100Du$$

Il  $Du$  considerato è quello relativo all'immersione media fra prima e dopo l'incaglio.

Si può altresì osservare che il triangolo  $ABC^*$  è simile al triangolo  $C_gMN$  e pertanto i lati sono proporzionali. Ne segue che:

$$\Delta d : L_{pp} = \Delta r : c$$

↓

$$\Delta r = \Delta d \cdot c / L_{pp}$$

In base alle considerazioni fatte in precedenza si ha poi che:

$$\Delta d = R \cdot c / 100Mu$$

e, pertanto:

$$\Delta r = R \cdot c \cdot c / (100Mu \cdot L_{pp})$$

Mettendo tutto assieme si può scrivere che:

$$h = R/100Du + R \cdot c^2 / (100 \cdot Mu \cdot L_{pp})$$

Veniamo ora al disincaglio in termini analitici. Se da una nave sbarchiamo un peso ( $P$ ) da un punto che si trova ad una distanza  $x$  dal centro di galleggiamento ( $C_g$ ), cioè:

avremo:

1) Traslazione:  $\Delta I = P/100Du$

2) Rotazione:  $\Delta d = P \cdot x / 100Mu$

a causa di ciò, il punto  $C$  si innalzerà di una quantità (in analogia con quanto visto in precedenza) pari a:

$$P/100Du + P \cdot x \cdot c / (100Mu \cdot L_{pp})$$

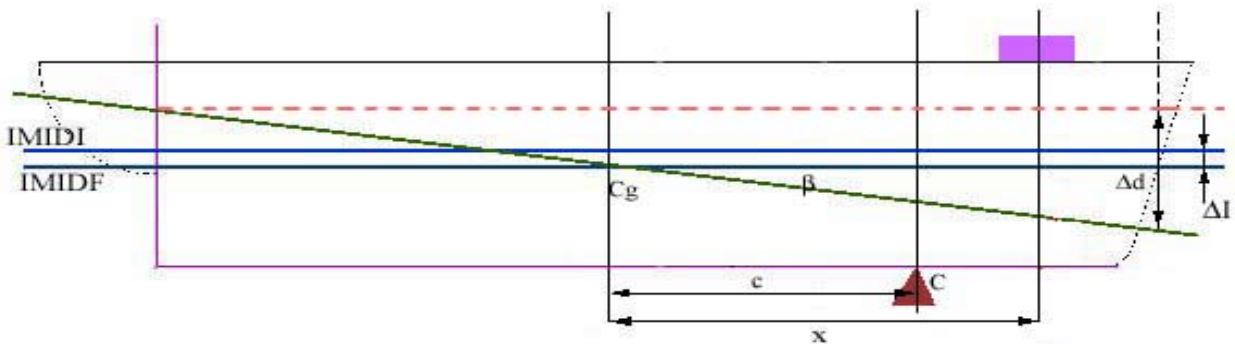
Affinché vi sia disincaglio, dovrà essere necessariamente che questa quantità sia pari ad  $h$ . In particolare è possibile dimostrare che (si tratta di eguagliare le relazioni e moltiplicarle per  $Mu \cdot L_{pp}/c$ ):

## INCAGLIO & DISINCAGLIO

$$R/100[(Mu Lpp)/(c Du) + c] = P/100 [(Mu Lpp)/(c Du) + x]$$

Se poi, anziché avere l'eguaglianza, avessi la disequaglianza, sarebbe meglio:

$$R/100[(Mu Lpp)/(c Du) + c] < P/100 [(Mu Lpp)/(c Du) + x]$$



Proseguiamo. Abbiamo già visto che  $C'$  rappresenta il punto neutro relativo al punto di incaglio  $C$  ed abbiamo anche verificato che:

$$(Mu Lpp)/Du = \rho_y^2$$

dove  $\rho_y^2$  rappresenta il raggio di inerzia della figura di galleggiamento rispetto all'asse trasversale baricentrico. Si può scrivere a questo punto che:

$$\rho_y^2 = c c'$$

La nostra relazione diventa allora:

$$R/100[(Mu Lpp)/(c Du) + c] = P/100[(Mu Lpp)/(c Du) + x]$$

$$R[c c'/c + c] = P[c c'/c + x]$$

$$R(c' + c) = P(c' + x)$$

$$\boxed{P = R(c' + c)/(c' + x)}$$

La relazione mi esprime il peso da sbarcare da un determinato punto che dista  $x$  dalla perpendicolare passante per  $C_g$ . Questa relazione esprime nel modo più generale la condizione di disincaglio con la sbarco di un solo peso e dimostra che per disincagliare la nave occorre produrre un momento uguale a quello prodotto dall'incaglio.

E' chiaro che questa relazione può essere rielaborata in vari modi, per esempio nel caso di sbarco di più pesi da diversi punti:

$$R(c' + c) = P_1(c' + x_1) + P_2(c' + x_2) + P_3(c' + x_3) + \dots$$

### Contributo della marea

La marea può contribuire al disincaglio parziale o totale della nave. Nel primo caso, che andiamo ora ad accennare, è chiaro che l'innalzamento determinato dalla marea equivale ad uno sbarco di peso. La spinta dovuta alla variazione di marea risulta data dalla relazione:

$$\Delta S = e 100Du$$

dove  $e$  esprime la differenza tra il livello che si aveva nel momento di lettura delle scale delle immersioni ed il livello dell'alta marea.

Il contributo  $\Delta S$  risulta applicato al centro di zona ( $C_z$ ) ed agisce come se si effettuasse uno sbarco di un peso dalla verticale del centro di zona, o, in prima approssimazione dalla verticale di  $C_g$ .

Affinché si abbia disincaglio per effetto della marea occorre che sia:

$$c' \Delta S = R(c' + c)$$

$$\Delta S = R [(c' + c)/c']$$

$$e 100Du = R(1 + c/c')$$

$$e = R/100Du [1 + c/c']$$

da cui, essendo generalmente che:  $\Delta I = P/100Du$  nel nostro caso è:  $\Delta I = R/100Du$ ,

$$e = \Delta I(1 + c/c')$$

Diversamente l'effetto sarà comunque di aiuto, ma occorrerà procedere allo sbarco di pesi.

### Riferimenti Bibliografici

- ❑ Rapacciuolo "Elementi di Teoria della Nave" Ed. Tipografia Moderna, La Spezia
- ❑ Petronzi, Vecchia, Formisano "Teoria e tecnica delle navi" Ed. Vingiani, Napoli
- ❑ De Manzini "Nuovi concetti sul disincaglio" Pubbl. Ist. Nautico, Trieste