

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE

APPUNTI DEL CORSO DI
ALLESTIMENTO NAVALE

IL SERVIZIO DI GOVERNO E MANOVRA

ERNESTO FASANO

2005

1

IL GOVERNO DELLA NAVE

Per governo si intende la capacità di dirigere la nave secondo una rotta prestabilita, servendosi di una superficie di controllo che prende il nome di timone.

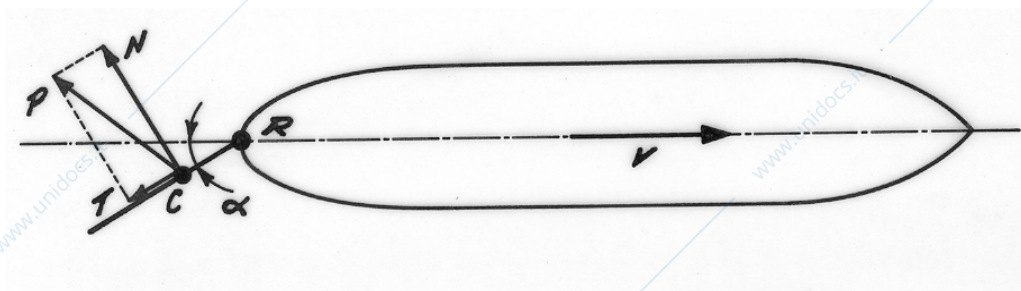
Orientando opportunamente il timone rispetto alla corrente, si generano infatti delle forze in grado di influenzare la traiettoria della nave e soddisfare due principali esigenze:

- i. il mantenimento della rotta, per reagire alle azioni del vento e del mare che tendono a deviare la nave dalla traiettoria prestabilita;
- ii. l'evoluzione della nave, per modificare la rotta secondo una traiettoria desiderata o preordinata per scopi tattici.

Il timone può essere schematizzato in forma elementare, come una piastra piana, collocata nel piano di simmetria della nave, ad estrema poppa e vincolata in modo da consentire la sua rotazione intorno ad un asse generalmente verticale.

Quando la nave avanza con velocità V ed il timone è in posizione di riposo nel piano di simmetria, la corrente investe le due facce della pala in modo identico. Pertanto, il campo di pressione risulta equilibrato su entrambi i lati del timone e la nave, in assenza di altre forze, prosegue la sua rotta con moto rettilineo.

Se invece il timone viene inclinato di un angolo α rispetto al piano di simmetria (fig. 1), la corrente genera una pressione sulla faccia direttamente investita dalla corrente ed una depressione sul dorso. La risultante è una forza N , applicata nel centro di pressione C e



normale
alla pala.

Se si
trascura
la
viscosità

del liquido e con essa la resistenza T , la N resta l'unica azione presente. Essa tende a riportare il timone nel piano di simmetria per effetto del momento $N \cdot \overline{CR}$, essendo R la proiezione sul piano orizzontale dell'asse di rotazione del timone.

Se si vuole impedire questo movimento di ritorno ed utilizzare l'azione della corrente N come forza di controllo della nave rispetto al suo baricentro G , è necessario applicare in R

un momento uguale e contrario al precedente, che rappresenta il lavoro da compiere per governare la nave.

Questa introduzione descrive in breve il principio di funzionamento del timone, ma l'importanza che riveste il servizio di governo richiede prima l'approfondimento degli effetti del timone sulla nave e quindi l'esame dei principali aspetti del progetto: architettonici, strutturali ed impiantistici.

1 EFFETTI DEL TIMONE SULLA NAVE

Si consideri una nave in acqua calma, con timone nella sua posizione di riposo nel piano diametrale ed un sistema cartesiano di riferimento come rappresentato in fig. 2.

In assenza di corrente, le uniche forze applicate alla nave sono la spinta del propulsore S e la resistenza al moto di avanzamento W , entrambe agenti nel piano diametrale.

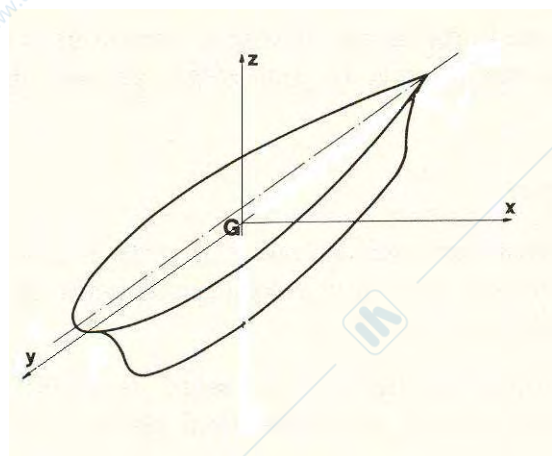


Fig. 2

Qualora la spinta risulti maggiore della resistenza, allora la nave avanzerà di moto rettilineo con velocità V e con un assetto che dipende dalla giacitura delle rette d'azione di S e W .

Quando il timone viene inclinato di un angolo α rispetto al piano diametrale, nasce una forza P quale risultante di N e T (fig. 1).

Se si trascura la resistenza, allora P resta l'unica azione e si può ammettere che agisca normalmente alla pala; essa genera rispettivamente uno spostamento trasversale della nave lungo l'asse x e tre rotazioni intorno agli assi coordinati x , y , z .

Il solo movimento utile al governo della nave è la rotazione intorno all'asse z , che ne modifica la traiettoria nel piano orizzontale. Gli altri movimenti sono quindi indesiderati e producono un effetto negativo sia sull'efficienza della manovra, sia sulla sicurezza della nave.

L'intera evoluzione viene in genere suddivisa in tre fasi distinte:

- fase di "manovra", così chiamata perché dura il tempo necessario per portare il timone dal piano di simmetria, all'angolo di sbandamento desiderato;

- fase di “evoluzione”, che coincide con l’inizio della rotazione della nave nel piano orizzontale;
- fase di “girazione”, caratterizzata da un moto circolare uniforme della nave.

Per esaminare in dettaglio l’effetto di tutte le forze in gioco, si osserva nel seguito l’evoluzione della nave nei tre piani coordinati.

1.1 Moti nel piano orizzontale

Nella fase di manovra, il sistema delle forze è rappresentato inizialmente da S, W, e P (fig. 3), essendo quest’ultima l’unica azione attiva che la corrente esercita sul timone quando viene inclinato di un angolo α .

Per comodità di trattazione, si sovrappone il punto C con la traccia R dell’asse di rotazione del timone.

La forza P ammette allora due componenti: una longitudinale $P \sin \alpha$ ed una trasversale $P \cos \alpha$. La prima agisce nella stessa direzione e verso di W; causa quindi un aumento di resistenza all’avanzamento, che ha l’effetto di rallentare il moto della nave.

La seconda, trasferita nel baricentro della nave G, provoca uno “scarroccio” trasversale, per cui la nave si sposta dal lato opposto a quello di inclinazione del timone. Per la congruenza del sistema, occorre considerare il momento di trasporto ($P \cos \alpha \cdot \overline{RG}$) che tende a far ruotare la nave in senso orario intorno all’asse baricentrico verticale. Ad esso si oppone il momento di inerzia di massa della nave, a cui si aggiunge una certa quantità di acqua circostante chiamata “massa aggiunta”.

Inizialmente, questo momento di inerzia prevale sulla coppia evolutiva e pertanto la nave è soggetta in questa fase al solo moto di scarroccio, senza alcuna apprezzabile rotazione.

La fase di manovra ha una durata limitata nel tempo e quindi in

breve la coppia ($P \cos \alpha \cdot \overline{RG}$) cresce fino a vincere le resistenze del mezzo. A questo punto, la nave comincia a ruotare con la prora all’interno della curva di evoluzione, dando inizio alla seconda fase.

Nella fase di evoluzione, il sistema si compone delle seguenti forze (fig. 4):

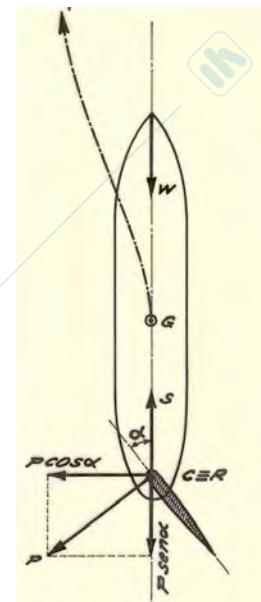


Fig. 3

- resistenza all'avanzamento W' , applicato in B ;
- resistenze del mezzo alla rotazione W_v del corpo prodiero e W_a poppiero, applicate nei centri dei rispettivi corpi, poste a distanza v ed a dal baricentro;
- forze inerziali (centrifuga F_C e tangenziale F_t) applicate in G, rispettivamente pari a:

$$f_c = \frac{\Delta v_G^2}{g r}; \quad f_t = \frac{\Delta dv_G}{g dt}$$

essendo Δ il dislocamento della nave, g l'accelerazione di gravità, V_G ed r rispettivamente la velocità ed il raggio istantaneo di rotazione.

Per queste forze, valgono le seguenti considerazioni:

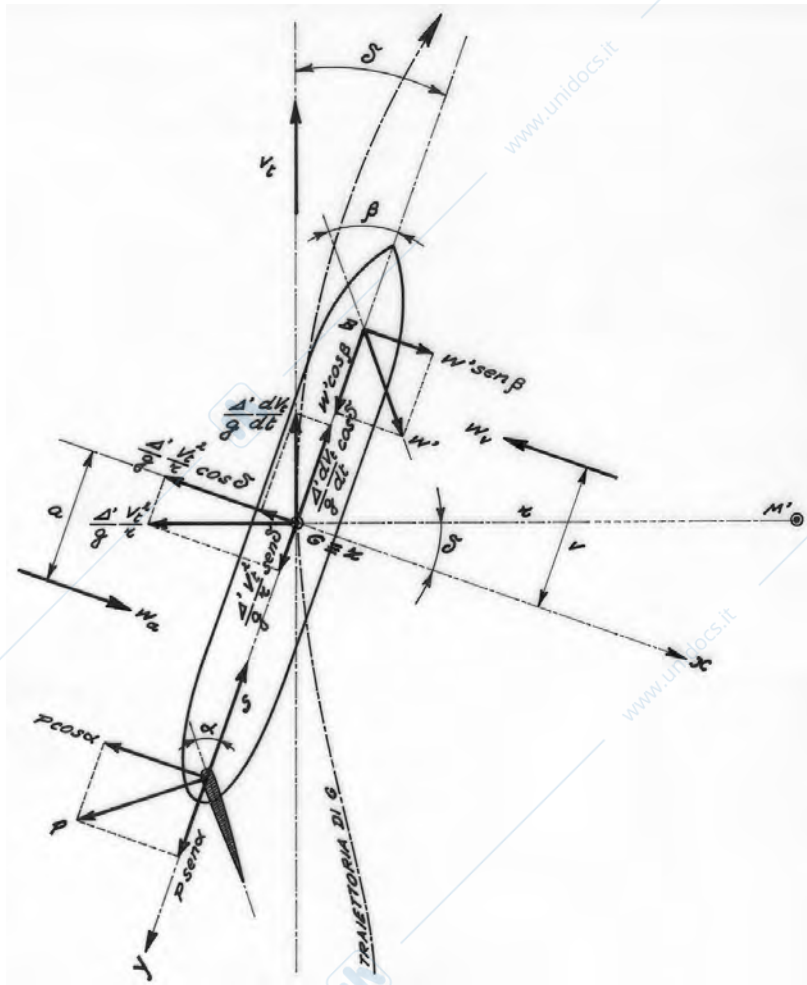


Fig. 4

1) la resistenza all'avanzamento della nave W' è maggiore di W per effetto dell'incremento di resistenza di forma offerta dal mascone rispetto a quella della prora. La sua retta d'azione è inclinata di un angolo β rispetto al piano diametrale, il suo punto di applicazione B è spostato verso poppa ed ammette due componenti: una longitudinale -

$W' \cos \beta$ - che è concorde con $P \sin \alpha$ e ritarda ancora il moto della nave; una trasversale - $W' \sin \beta$ - che è in contrasto con la $P \cos \alpha$, e riduce quindi lo scarroccio della nave. Inoltre, la coppia $(W' \sin \beta \cdot \overline{BG})$ è concorde con la coppia $(P \cos \alpha \cdot \overline{RG})$; pertanto aumenta la velocità angolare del moto intorno all'asse baricentrico verticale e la nave avanza su di una traiettoria curvilinea riducendo gradualmente il suo raggio di curvatura. Poiché B giace nella metà prodiera, la nave avanza con la prua all'interno e con la poppa all'esterno della traiettoria descritta dal baricentro G.

2) Durante la rotazione, la nave incontra la resistenza dell'acqua circostante, che si può immaginare sotto forma di una azione W_v sul fianco destro del corpo prodiero ed una azione W_a sul lato sinistro del corpo poppiero. I momenti di queste forze valutati rispetto a G si oppongono alla rotazione della nave.

3) Per effetto del moto curvilineo e della variazione di velocità, nascono le forze d'inerzia: una forza centrifuga F_C diretta secondo il raggio istantaneo di curvatura r e una forza F_i diretta secondo la tangente alla traiettoria del baricentro G. Le loro componenti trasversali - $F_C \cos \delta$ e $F_i \sin \delta$ - hanno lo stesso verso della $(P \cos \alpha)$ e pertanto tendono a far aumentare lo scarroccio lungo l'asse x. Le componenti longitudinali - $F_C \sin \delta$ e $F_i \cos \delta$ - hanno invece segni diversi, quindi esercitano un effetto contrapposto sul moto di avanzamento della nave.

Dall'equilibrio alla traslazione delle forze secondo gli assi x ed y ed alla rotazione dei momenti rispetto all'asse z (positivi se antiorari), si trae il seguente sistema:

$$\begin{cases} P \sin \alpha - S + f_c \sin \delta - f_i \cos \delta + W' \cos \beta = 0 \\ -P \cos \alpha + W_a - f_c \cos \delta - f_i \sin \delta - W_f + W' \sin \beta = 0 \\ -P \cos \alpha \overline{RG} + W_a a + W_f f - W' \sin \beta \overline{BG} + I_z \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

dove:

δ = angolo di deriva che la tangente alla traiettoria di G forma con la traccia del piano diametrale;

I_z = momento d'inerzia di massa della nave rispetto all'asse baricentrico verticale;

θ = angolo di rotta, inteso quale angolo compreso fra la traccia del piano diametrale attuale della nave e la direzione del moto prima della rotazione.

La fase di evoluzione è caratterizzata da una forte variabilità delle azioni in gioco; infatti:

- aumentando l'angolo di deriva, il punto di applicazione della resistenza si sposta verso poppa in B, riducendo di conseguenza l'effetto della coppia ($W' \cos \beta \cdot \overline{BG}$);
- per effetto della rotazione della nave, la corrente incontra il timone con un angolo di incidenza inferiore e quindi diminuisce l'effetto sia dello scarroccio che della relativa coppia;
- al crescere della velocità angolare, aumentano anche le resistenze opposte dall'acqua alla rotazione.

Esiste un particolare valore dell'angolo di deriva δ^* per cui il sistema raggiunge un equilibrio fra le coppie in diminuzione e quelle in aumento, che da inizio alla terza fase.

Nella fase di girazione, la nave si muove di moto circolare uniforme e quindi si possono ammettere le seguenti ipotesi: l'accelerazione angolare e la decelerazione si annullano, la forza centrifuga è bilanciata dalla resistenza dell'acqua ed il raggio di curvatura descritto da G diventa costante, così che la nave ruota intorno ad un centro fisso M.

In virtù di queste considerazioni, il sistema (1) si modifica come segue:

$$\begin{cases} P \sin \alpha - S + f_c \sin \delta^* + W' \cos \beta = 0 \\ -P \cos \alpha + W_a - f_c \cos \delta^* - W_f + W' \sin \beta = 0 \\ -P \cos \alpha \cdot \overline{RG} + W_a \cdot a + W_f \cdot f - W' \sin \beta \cdot \overline{BG} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Pur semplificato, il sistema resta indeterminato per la presenza di un numero di incognite eccessivo rispetto a quello delle equazioni. Pertanto, i parametri che caratterizzano l'evoluzione della nave non sono quantificabili analiticamente. Però, questo approccio consente una interessante valutazione qualitativa sugli effetti prodotti dall'azione del timone.

In fig. 5 si riporta la soluzione del Kucharski relativa ad una nave che si muove con velocità angolare uniforme ω , su traiettoria circolare di grande raggio, intorno al centro di rotazione M'. Scelti cinque punti R, Q, G, E e D, quest'ultimo coincidente con il piede della perpendicolare condotta da M' alla traccia del piano diametrale, si considerano per essi le rispettive velocità tangenziali. Per costruzione, queste velocità risultano perpendicolari ai relativi raggi di curvatura e proporzionali ad essi:

$$V_R = \omega \cdot \overline{M'R} ; V_Q = \omega \cdot \overline{M'Q} ; V_G = \omega \cdot \overline{M'D} ; V_D = \omega \cdot \overline{M'D} ; V_E = \omega \cdot \overline{M'E}$$

Si noti che le componenti longitudinali della velocità, sono tutte uguali tra loro e risulta:

$$V_{RL} = V_R \cos \delta_R = \omega \cdot \overline{M'R} \cdot \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'R}} = \omega \cdot \overline{M'D}$$

$$V_{QL} = V_Q \cos \delta_Q = \omega \cdot \overline{M'Q} \cdot \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'Q}} = \omega \cdot \overline{M'D}$$

$$V_{GL} = V_G \cos \delta_G = \omega \cdot \overline{M'G} \cdot \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'G}} = \omega \cdot \overline{M'D}$$

$$V_{DL} = V_D \cos 0^\circ = \omega \cdot \overline{M'D}$$

$$V_{EL} = V_E \cos \delta_E = \omega \cdot \overline{M'E} \cdot \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'E}} = \omega \cdot \overline{M'D}$$

mentre le componenti trasversali variano in funzione della distanza del punto considerato da D:

$$V_{RT} = V_R \sin \delta_R = \omega \cdot \overline{M'R} \cdot \frac{\overline{DR}}{\overline{M'R}} = \omega \cdot \overline{DR}$$

$$V_{QT} = V_Q \sin \delta_Q = \omega \cdot \overline{M'Q} \cdot \frac{\overline{DQ}}{\overline{M'Q}} = \omega \cdot \overline{DQ}$$

$$V_{GT} = V_G \sin \delta_G = \omega \cdot \overline{M'G} \cdot \frac{\overline{DG}}{\overline{M'G}} = \omega \cdot \overline{DG}$$

$$V_{DT} = V_D \sin 0^\circ = 0$$

$$V_{ET} = V_E \sin \delta_E = \omega \cdot \overline{M'E} \cdot \frac{\overline{DE}}{\overline{M'E}} = \omega \cdot \overline{DE}$$

Si noti che in D, detto “punto giratorio”, non vi è componente trasversale e la velocità istantanea è costantemente diretta secondo il piano diametrale. Questo punto rappresenta quindi la posizione ideale per chi vuole apprezzare il moto effettivo della nave; infatti, i punti collocati a prora del punto giratorio derivano verso l'interno della traiettoria, mentre quelli a poppa di D derivano verso l'esterno

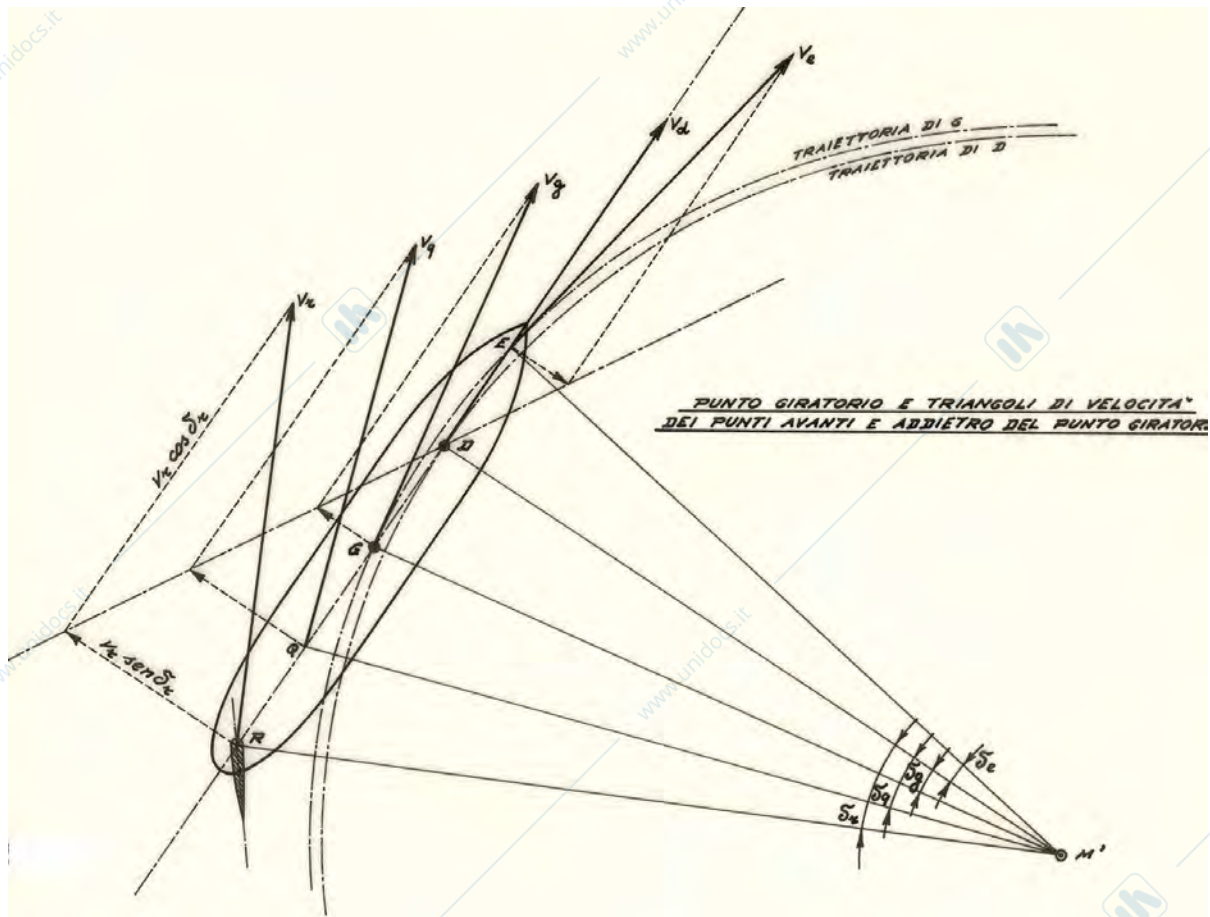


Fig. 5

1.2 Moti nel piano verticale

L'analisi delle forze che agiscono nel piano verticale, consente di valutare lo sbandamento trasversale della nave durante l'evoluzione. In particolare, si nota che nelle tre fasi, le componenti trasversali hanno punti di applicazione a quote diverse e con versi contrapposti. Pertanto la nave si inclina ora da un lato, ora dall'altro, con angoli di ampiezza variabile.

Nella fase di manovra, l'unica forza trasversale è la componente dell'azione della corrente sulla pala del timone ($P \cos \alpha$), applicata in R (fig. 6).

Nell'ipotesi di piccoli angoli di sbandamento, si può ammettere che l'asse intorno al quale ruota la nave coincida con l'intersezione del piano trasversale con il galleggiamento. Allora la coppia ($P \cos \alpha \cdot RO$) tende a sbandare la nave all'interno della traiettoria evolutiva. Ad essa si oppone la coppia di stabilità trasversale che nasce in conseguenza dello sbandamento della nave, per effetto dello spostamento del centro di carena.

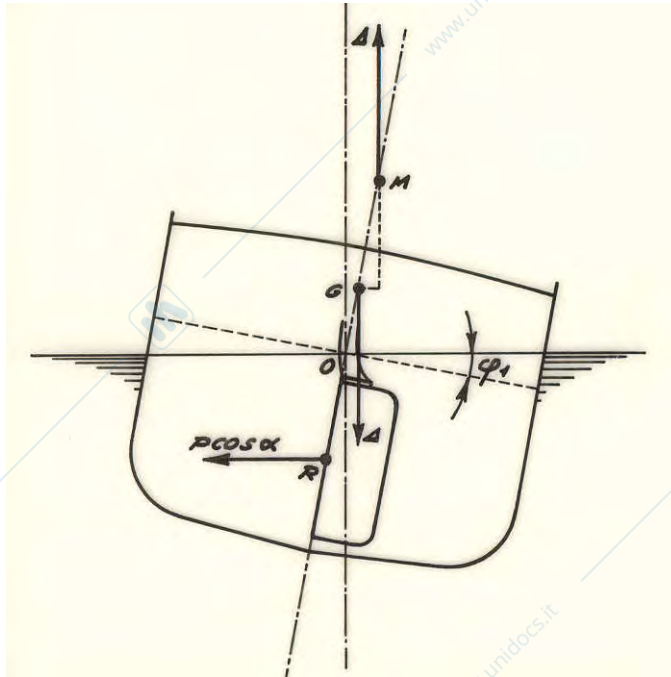


Fig. 6

L'equilibrio dei momenti intorno all'asse di oscillazione di traccia O, consente di valutare l'ampiezza dell'angolo di sbandamento φ_1 , noto con il nome di "inclinazione di saluto":

$$P \cos \alpha \cdot \overline{RO} \cos \varphi_1 = \Delta (r - a) \sin \varphi_1$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{P \cos \alpha \cdot \overline{RO}}{\Delta (r - a)}$$

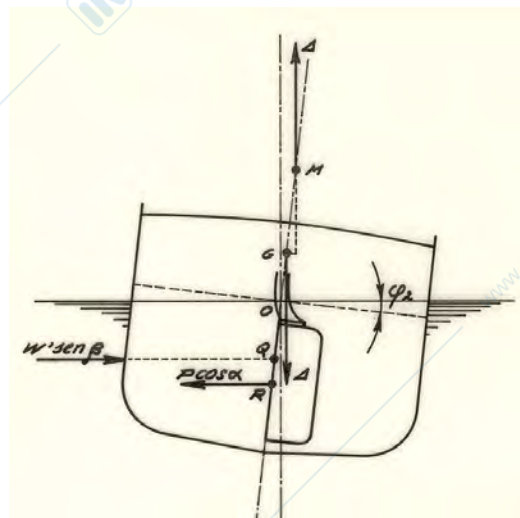


Fig. 7

Con l'inizio della rotazione della nave intorno all'asse z, nasce la componente trasversale $W' \sin \beta$, il cui punto di applicazione giace superiormente ad R (fig. 7). Questa forza genera una coppia di senso contrario alla precedente. Di conseguenza la nave riduce lo sbandamento di saluto, inclinandosi di un angolo $\varphi_2 < \varphi_1$.