

DETERMINAZIONE DELLE QUALITÀ DI MANOVRA  
DELLE NAVI IN FASE DI PROGETTO

di

*C.G. Biancardi - S. Mauro*

Estratto da « Annali » dell'Istituto Universitario Navale di Napoli  
Volume LIX



*Officine Grafiche Napolitano*  
FRANCESCO GIANNINI & FIGLI  
1993

NAPOLI, 1992

## DETERMINAZIONE DELLE QUALITÀ DI MANOVRA DELLE NAVI IN FASE DI PROGETTO

di

*C.G. Biancardi\*, S. Mauro\*\**

**Sommario** - Questo articolo dimostra che l'applicazione della teoria lineare, estesa alcuni fenomeni non lineari, fornisce risultati soddisfacenti nella previsione delle caratteristiche di manovrabilità. La valutazione di tali caratteristiche è ottenuta in funzione di alcuni parametri geometrici della carena e del timone. Vengono presentati: la teoria, il modello matematico ed i risultati per confronto con dati al vero per alcune tipologie di navi.

**Summary** - This paper demonstrates that extending the linear theory to some non-linear phenomenon gives satisfactory results in predicting some maneuvering characteristics. The evaluation method is made as a function of some geometrical parameters of hull and rudder. In this paper are presented: the theory, the mathematical model, and some results against full ship trials for different ship types.

### 1. INTRODUZIONE

La sicurezza in fase di manovra dipende dall'abilità dell'operatore della nave di conoscerne la risposta in funzione degli elementi di controllo passivi ed attivi. È importante sottolineare che la manovrabilità di una nave stabilita, anche se involontariamente, nella fase di disegno in maniera quasi irreversibile. I progettisti navali molto spesso stabiliscono la geometria della carena nella fase preliminare del progetto per ottimizzare i vantaggi commerciali quali, ad esempio, la portata di carico pagante e l'economia di carburante. Sfortunatamente, però, disegni così realizzati non posseggono quelle caratteristiche di manovrabilità talvolta richieste. In seguito, alla carena vengono aggiunte appendici per compensarne una scarsa manovrabilità o per ottenere specifiche prestazioni operative. Quando si pianificano

Manoscritto pervenuto il 18-12-91, accettato il 24-8-92.

\* Istituto di Navigazione "G. Simeon", Istituto Universitario Navale, Napoli

\*\* Dottorando in Ingegneria Navale, Università di Napoli, Napoli

vantaggi commerciali vengono spesso considerate forme di carena convenzionali e le loro dimensioni principali ( $L, B, T, \tau, C_B$ ). Non esistendo metodi ben verificati di previsione delle caratteristiche di manovra già nella fase di disegno, molto raramente i parametri vengono cambiati per ottenere una desiderata manovrabilità.

Per determinare accuratamente la risposta della nave per un dato angolo di timone è necessario svolgere un grande numero di esperienze complesse con modelli in vasca. È invece possibile giudicare l'abilità di manovra utilizzando equazioni lineari [1], ottenendo i coefficienti con semplici esperienze, [2].

Esistono, infatti, alcuni indici generalmente riconosciuti validi per la valutazione delle caratteristiche di manovrabilità delle navi. In questa ricerca lo studio è stato rivolto alla determinazione degli indici  $K, T, P, C$ , [1,3]. Questo articolo presenta i risultati ottenuti da una ricerca svolta presso l'I.U.N. negli anni 1988/89.

L'articolo è diviso in tre parti principali. La prima parte presenta l'identificazione del problema, le sue difficoltà e priorità. Nella seconda parte il modello matematico è presentato dal gruppo di equazioni del moto in forma polinomiale ed è proposto un modello ibrido per la soluzione del problema. La terza parte presenta alcuni metodi di valutazione delle caratteristiche di manovrabilità. Le conclusioni verificano che le priorità stabilite nella prima parte sono rispettate e le possibilità applicative del metodo.

## 2. MODELLISTICA MATEMATICA PER LA CONDOTTA DELLA NAVE

Per descrivere il moto della nave ci riferiamo ad una terna destrorsa ( $O_0, x_0, y_0, z_0$ ) di assi fissi [4], con l'origine sul livello del mare e l'asse  $z_0$  verticale verso il basso, e ad una terna di assi ( $O, x, y, z$ ) fissa con la nave con il centro  $O$  coincidente con il baricentro e l'asse  $x$  giacente nel piano di simmetria e parallelo alla linea di costruzione a nave dritta (figg. 1-3).

Le equazioni base di una nave che effettua una manovra nel piano  $x-y$  possono essere scritte nella seguente forma:

$$\begin{aligned} \text{a) } m(\dot{u}-v \cdot r) &= X_H + X_R + X_p && \text{(Equazione di abbrivivo)} \\ \text{b) } m(\dot{v}+u \cdot r) &= Y_H + Y_R && \text{(Equazione di deriva)} \\ \text{c) } I \dot{r} &= N_H + N_R && \text{(Equilibrio alla rotazione)} \\ \text{d) } 2\pi I_{pp} \dot{n} &= Q_E + Q_p && \text{(Equilibrio meccanico)} \end{aligned}$$

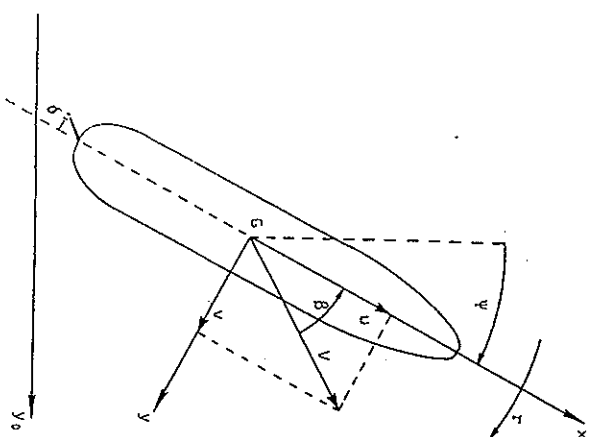


Fig. 1 - Sistemi di riferimento nel piano orizzontale

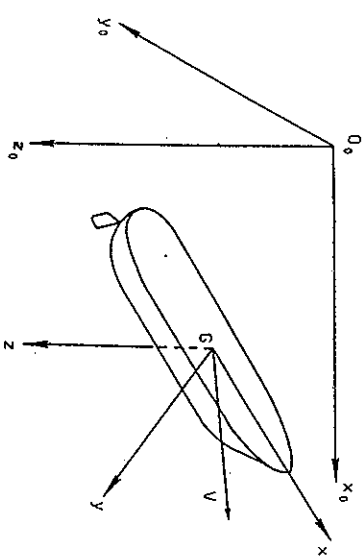


Fig. 2 - Sistemi di riferimento nel piano verticale

dove i termini con il pedice H rappresentano le forze idrodinamiche prodotte dal movimento della carena della nave (senza elica e timone)

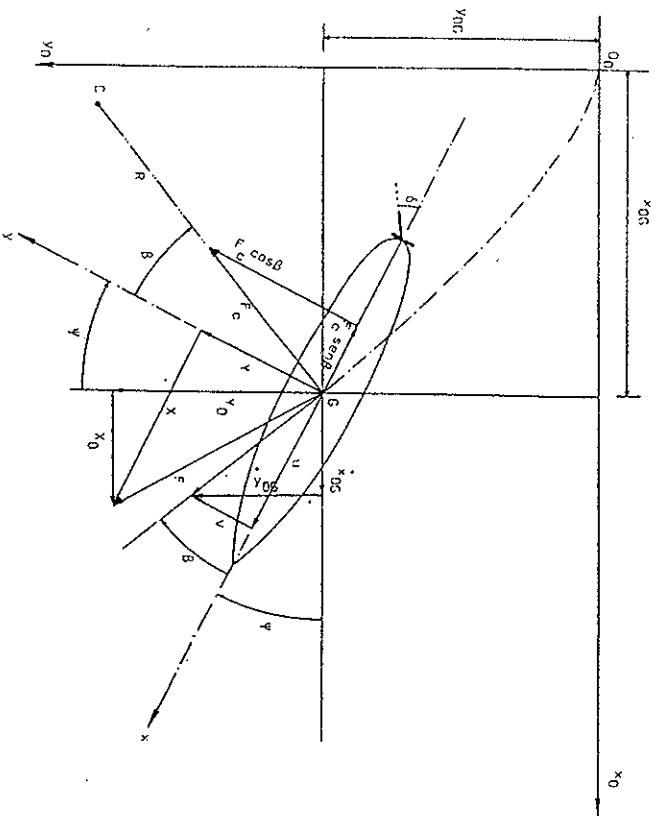


Fig. 3 - Sistemi di coordinate e parametri cinematici della nave

agenti su di essa, ed i termini con il pedice R rappresentano le forze del timone che includono le forze idrodinamiche indotte sulla carena della nave dall'azione del timone. I termini  $X_p$ ,  $Q_p$  e  $Q_E$  rappresentano rispettivamente la spinta dell'elica, la coppia dell'elica e la coppia del motore principale.

L'equazione a) che esprime il moto traslatorio si presta a determinate considerazioni: le accelerazioni indotte dalle cause perturbatrici si ripercuotono sulla velocità di avanzamento e quindi non influenzano direzionalmente il moto stesso. Per valutare le variazioni di rotta interessano le componenti laterali ed i momenti di imbardata.

La prima equazione da considerare (eq. a) per descrivere le caratteristiche di manovra di una nave è, in forma derivativa, [4]:

$$-X_u^i u^i + (m^i - X_{\dot{u}}^i) \dot{u}^i - m^i v^i r^i - X_p^i - X_r^i - X^i(u) - X_{vr}^i v^i r^i - X_{rr}^i r^i / r^i + \dots = 0$$

Mettendo in evidenza i soli termini dipendenti dalle accelerazioni resta funzione di  $u^i, v^i, r^i, \delta^i$  e si può scrivere:

$$X^i(u^i, v^i, r^i, \delta^i) + X_{\dot{u}}^i \dot{u}^i = m^i(u^i - v^i r^i)$$

od anche

$$(m^i - X_{\dot{u}}^i) \dot{u}^i = X^i(u^i, v^i, r^i, \delta^i) + m^i v^i r^i = f_1(u^i, v^i, r^i, \delta^i)$$

nella quale  $f_1(u^i, v^i, r^i, \delta^i)$  vale:

$$f_1(u^i, v^i, r^i, \delta^i) = X_u^i u^i + X_v^i v^i + X_r^i r^i + X_p^i + X_r^i + X^i(u) - X_{vr}^i v^i r^i$$

Dalla equazione 1) si ricava subito:

$$\dot{u}^i = \frac{f_1(u^i, v^i, r^i, \delta^i)}{(m^i - X_{\dot{u}}^i)}$$

Questa ultima relazione è stata risolta col metodo di integrazione passo secondo la procedura riportata in [4].

Apprestiamoci ora a studiare le ultime due equazioni del moto (eqq. b, sempre in forma derivativa:

$$-Y_v^i v^i + (m^i - Y_{\dot{v}}^i) \dot{v}^i + (m^i - Y^i) f^i - Y_r^i r^i - Y^i r^i + \dots = 0$$

$$-N_v^i v^i + N_{\dot{v}}^i \dot{v}^i - N_r^i r^i + (I^i - N^i) \dot{r}^i - N^i r^i + \dots = 0$$

In [2] vengono riportate le formule che riguardano sia i coefficienti idrodinamici calcolati in acque aperte che le correzioni da apportare loro in caso di attraversamento di canale, basso fondale ed effetto pinna.

Malgrado che le 4) esprimano le equazioni lineari del moto come un coppia di equazioni differenziali del primo ordine, dove i coefficienti costanti sono le derivate adimensionali delle accelerazioni e delle velocità è possibile esprimere queste equazioni in una forma alternativa. Nomoto [1] per primo ha dimostrato che queste equazioni possono essere scritte con una coppia di equazioni differenziali del secondo ordine come segue:

$$T_1^i T_2^i \ddot{v}^i + (T_1^i + T_2^i) \dot{v}^i + v^i = K^i \delta^i + K^i T_3^i \dot{\delta}^i$$

$$T_1^i T_2^i \ddot{r}^i + (T_1^i + T_2^i) \dot{r}^i + r^i = K^i \delta^i + K^i T_3^i \dot{\delta}^i$$

5

I termini delle precedenti equazioni e la loro relazione algebrica con i

derivate adimensionali delle accelerazioni e velocità sono riportate in [6].

Il motivo originale per questa forma alternativa delle equazioni è stato l'analisi dei risultati delle prove al vero, dove risulta estremamente difficile ottenere la misurazione della velocità di deriva  $v$ . È stato trovato che la prima equazione in termini della velocità di imbardata  $r$  può essere usata per descrivere un gran numero di situazioni incontrate nella manovra di una nave ed in seguito anche in questo lavoro sarà usata a tale scopo.

È d'uso comune nelle prove di manovrabilità, sia in piena scala che con modello in corsa libera, usare una espressione più semplice che non le espressioni 5). Nomoto [1] per primo ha proposto questa equazione del primo ordine:

$$T \dot{r}' + r' = K' \delta \quad (6)$$

che può essere usata al posto della prima equazione delle 5), dove  $T = T_1' + T_2' - T_3'$ . Questa semplificazione è estremamente utile, però ha dei limiti di applicabilità, [5], e la sua soluzione è:

$$r' = r_1 e^{t/T'}$$

Per analogia alla equazione 6) si è coniata la seguente formula per il calcolo della componente trasversale della velocità:

$$T' \dot{v}' + v' = K' \delta \quad (7)$$

la cui soluzione è del tipo:

$$v = v_1 e^{-t/T'}$$

Le equazioni 1), 6) ed 7) rappresentano il gruppo di equazioni del moto utilizzate per la valutazione delle caratteristiche di manovrabilità.

### 3. CARATTERISTICHE DI MANOVRAABILITÀ

#### 3.1 Capacità di manovra

Quando si parla della capacità di manovra di una nave, la si descrive spesso attraverso la sua curva di evoluzione. In questa trattazione sarà esaminata la possibilità iniziale di manovra appena applicato un certo angolo di timone mentre la nave è in rotta rettilinea. In questo modo le

equazioni lineari sviluppate precedentemente possono essere legittimamente usate, dato che le variazioni dallo stato di stabilità iniziale alla rettilinea sono ancora irrilevanti.

La variazione dell'angolo di prora per unità di angolo di barra deflè soddisfacentemente la capacità di manovra quando la nave abbia per una distanza almeno equivalente alla sua lunghezza.

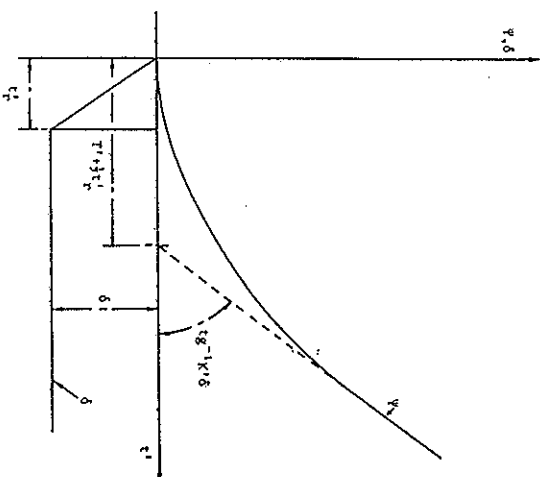


Fig. 4 - Definizione degli indici di manovrabilità  $K'$  e  $T'$

Questa situazione è illustrata nella fig.4 dove si mostra la variazione di prora corrispondente alla applicazione di un angolo di barra  $\delta$  in un tempo  $t'$ , dopo il quale l'angolo di timone resta costante. La risposta della  $r$  può essere ottenuta risolvendo la prima parte della equazione 5) per cui variazione di timone, insieme alla condizione iniziale  $[\psi(t')]_{t=0} = 0$ , c segue, [6]:

$$\psi(t) = \frac{(T_1' - T_3')}{\delta} K' [1 - (T_1' + T_2' - T_3') e^{-t/T'}] + \frac{(T_1' - T_3')}{(T_1' - T_2')} e^{-t/T_1'} - \frac{(T_2' - T_3')}{(T_1' - T_2')} T_2' e^{-t/T_2'}$$

$$\frac{\psi(t)}{\delta} = k' [1 - T' + T'^2 e^{-1/T'}] \quad (9)$$

Norrbín, [3], per primo introdusse il concetto di indice di evoluzione. L'equazione 9) definisce analiticamente l'indice di Norrbín, generalmente indicato con la lettera "P". L'indice rappresenta la variazione di prora per unità di angolo di timone in una lunghezza di nave percorsa, descritto in termini degli indici di Nomoto K' e T' (vedi paragrafo successivo). Norrbín suggerì un valore sperimentale di P > 0.3, ma più tardi Norrbín e Nomoto, [3], dimostrarono che nel caso di grandi petroliere il valore poteva essere ridotto a P > 0.2. Un valore di P = 0.3 è equivalente a 10° di variazione di prora in una lunghezza di nave percorsa, quando il timone è posto al massimo, con un eccesso di 30°.

L'equazione 9) può essere espansa in serie nella forma:

$$P = \frac{\psi(t)}{\delta} = 1/2 \frac{K'}{T'} \left[ 1 - \frac{1}{3T'} + \frac{1}{12T'^2} - \frac{1}{60T'^3} + \dots \right]$$

e per valori di T' > 10 si riduce alla seguente espressione:

$$P \approx 1/2 \frac{K'}{T'} \quad (14)$$

In questa trattazione ci si propone di utilizzare l'equazione 8) nell'analisi di alcuni dati di prove in piena scala.

### 3.2 Indici di Nomoto

I due coefficienti adimensionali K' e T', [1], sono detti "Indici di Nomoto" ed il loro valore definisce le caratteristiche di manovrabilità delle navi nella fase stabilizzata (V = 0, f = 0, u = 0).

Il coefficiente K' dell'equazione 8) rappresenta la variazione dell'angolo di rotta per unità di angolo di barra e per lunghezza di nave percorsa. Il coefficiente K' così definito può essere indicato come indice di manovrabilità.

È lecito attribuire al reciproco dell'indice T' il significato di indice di rapidità di risposta al timone: maggiore è il decadimento della funzione esponenziale e più rapido sarà il raggiungimento della fase stabilizzata della evoluzione. In altre parole il termine 1/T' fornisce la velocità angolare

acquisita nei primi istanti di evoluzione per lunghezza di scafo percorsi: unità di momento evolutivo, esprimendo quindi la rapidità di risposta di nave agli organi di governo. Questa capacità, insieme ad un piccolo dia metro evolutivo, rappresentano due importanti caratteristiche della manovrabilità delle navi.

Da questa prima analisi degli indici di Nomoto si può dedurre che importante avere un alto valore di K' o T' in funzione dell'impiego operativo della nave stessa. Per le navi mercantili, in generale, è preferibile avere il più alto valore di 1/T', mentre per quelle navi che devono giocare di una pronta risposta che di una buona abilità evolutiva, è indispensabile che entrambi gli indici K' ed 1/T' abbiano i più alti valori numerici.

### 3.3 Stabilità dinamica

Affinchè un sistema lineare sia stabile è necessario che la parte reale delle radici dell'equazione caratteristica sia negativa. In molti problemi di manovrabilità di una nave queste radici sono reali e questa condizione vi soddisfa quando le due costanti di tempo T'1 e T'2 sono positive, ulteriore esame delle espressioni differenziali che forniscono le sopraccostanti di tempo mostra che T'1 e T'2 sono positive se i termini denominatore sono positivi. È stato mostrato da Abkowitz [6] che condizione di stabilità è quindi:

$$C = Y'_v * N'_r - N'_v * (Y'_r - m) > 0$$

dove C rappresenta l'indice di stabilità alla rotta rettilinea.

### DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nella realizzazione di questo studio sono state seguite due filosofie essenziali. La prima è che la semplicità e la chiarezza dei metodi di valutazione sia applicabile già nella fase di progetto. La seconda è questi metodi possano essere verificati anche al vero con una rappresentazione discreta del fenomeno.

In questa ricerca si è utilizzato un modello lineare nel quale, però variazione di velocità di abbrivio è determinata con una equazione lineare. I coefficienti richiesti sono stati ottenuti con le formule contenute [2], rendendo quindi possibile la determinazione dell'abilità di manovra di una nave già in fase di disegno.

Le figg. 5-7 rappresentano il confronto tra i valori veri e calcolati di P in funzione di alcuni parametri geometrici di diversi tipi di nave. Nella fig. 5 si nota che per navi con  $0.6 < C_g < 0.7$  i valori di P veri e calcolati sono quasi uguali. La fig.6 presenta un confronto per diversi tipi di navi con  $C_g = 0.76$ , mostra che la differenza tra i valori veri e calcolati di P si mantiene nell'ordine del 12%. Questi grafici, insieme ai valori riportati nelle tabelle 2-5 e la fig.7 che ne visualizza la distribuzione, danno una verifica al vero delle caratteristiche di manovrabilità. Le tabelle 2-5 verificano anche numericamente la validità del modello per il calcolo degli indici di Nomoto K e T.

Legenda da utilizzare nella consultazione delle Tabelle 2-5

Tipo di NAVE:

C Nave da carico zavorrata;  
 B Nave scuola a vela  
 F Nave traghetto  
 O Nave petroliera  
 T Nave cisterna  
 W Nave baleniera

PARAMETRI TABULATI

L Lunghezza della nave  
 B Larghezza della nave  
 d Immersione media  
 C<sub>g</sub> Coefficiente di finezza totale  
 V<sub>m</sub> Velocità della nave in nodi  
 K<sub>n</sub> Indice adimensionalizzato di Nomoto al vero  
 T Indice adimensionalizzato di Nomoto al vero  
 P Indice di Norbin al vero  
 K<sub>e</sub> Indice adimensionalizzato di Nomoto calcolato  
 T<sub>e</sub> Indice adimensionalizzato di Nomoto calcolato  
 P<sub>e</sub> Indice di Norbin calcolato

Da un'esamina delle figg. 8-14 (questi grafici sono stati realizzati facendo variare solo i parametri geometrici riportati in ascissa e mantenendo fissi tutti gli altri parametri) si possono trarre le seguenti conclusioni:

- a) un aumento di B/L rende la nave meno stabile alla rotta rettilinea (fig.8);
- b) una variazione di B/L ha un piccolo effetto sulla abilità iniziale all'evoluzione (fig.9);
- c) un aumento del pescaggio a poppa rende la nave più stabile alla rotta rettilinea, mentre l'aumento di pescaggio a prua sortisce l'effetto opposto (fig.10 nella quale i valori positivi si riferiscono a nave appoppata);
- d) un aumento del pescaggio a poppa determina una lieve diminuzione dell'abilità iniziale all'evoluzione che, comunque, è poco sensibile alle variazioni di pescaggio (fig.11);
- e) un aumento di C<sub>g</sub> causa una riduzione dell'abilità alla rotta rettilinea (fig.12);

Determinazione delle qualità di manovra delle navi in fase di progetto

TABELLA 2  
 Confronto tra dati al vero e calcolati per alcune classi di navi

Tipo Nave	L*B*d	C <sub>g</sub>	Angolo di timone → + 10°						
			V <sub>m</sub>	K'	T'	P	K' <sub>e</sub>	T' <sub>e</sub>	P <sub>e</sub>
C	137*18.5*3.61	.69	16.8	.067	10	.8492	.062	8.7	.61
C	144*19.3*8.26	.66	17.1	.088	54.8	.2164	.075	48.2	.22
C	157*19.6*8.25	.62	17.1	.071	26.2	.4320	.058	18.5	.45
C	133*18.6*8.10	.74	14.3	.102	53.2	.3129	.091	46.2	.20
C	138*18.8*3.96	.66	17.0	.061	11.3	.6736	.083	10.9	.76
C	123*16.7*6.65	.77	9.4	.080	85.2	.3730	.128	65.1	.28
C	129*18.2*8.43	.67	8.8	.042	50.0	.3429	.063	35.1	.29
C	140*19.0*3.35	.71	15.0	0.94	35.0	.4404	.078	26.5	.33
C	106*15.6*8.10	.64	13.0	.067	8.3	1.000	0.72	7.9	.73
C	128*17.8*3.94	.91	13.0	.058	11.6	.9098	.052	12.1	.61
C	122*15.9*7.62	.76	9.5	.081	71.0	.2666	.037	50.1	.20
C	122*15.9*8.2	.76	9.8	.056	73.6	.2244	.067	54.9	.19
T	185*25.2*10.3	.76	15.5	.086	95.0	.2445	.060	73.9	.18
T	192*26.5*10.4	.79	16.0	.073	80.5	.2471	.065	67.3	.12
T	106*16.2*5.27	.75	14.0	.110	41.6	.2862	.088	35.8	.24
T	154*20.0*9.02	.72	12.3	.094	72.5	.3902	.087	61.2	.31
T	192*26.8*10.4	.59	15.0	.063	83.8	.2351	.089	63.5	.15
C	75*11.9*4.79	.74	10.0	.077	25.4	.3143	.065	15.0	.21
O	216*30.6*10.3	.81	17.6	.171	215	.2264	.087	193.2	.19

TABELLA 3  
 Confronto tra dati al vero e calcolati per alcune classi di navi

Tipo Nave	L*B*d	C <sub>g</sub>	Angolo di timone → - 10°						
			V <sub>m</sub>	K'	T'	P	K' <sub>e</sub>	T' <sub>e</sub>	P <sub>e</sub>
C	144*19.3*8.26	.66	17.1	.084	47.6	.2354	.072	37.4	.19
C	157*19.6*8.25	.62	17.1	.073	26.7	.4333	.074	18.2	.59
C	133*18.6*8.10	.74	14.3	.085	46.9	.2973	.073	38.4	.19
C	148*19.4*7.94	.35	17.5	.070	21.1	.4457	.061	22.5	.41
C	129*18.2*8.43	.67	8.8	.040	42.0	.3878	.033	38.9	.29
C	140*19.0*8.35	.71	15.0	.094	35.0	.4404	.078	29.1	.30
C	115*16.3*4.95	.68	12.0	.084	30.4	.4785	.081	22.3	.26
C	86*12.5*5.66	.73	8.5	.109	44.2	.4735	.088	33.8	.35
C	94*13.7*4.15	.69	10.3	.059	19.0	.4815	.078	16.2	.25
C	161*20.4*9.02	.69	12.8	.053	47.1	.3385	.071	40.0	.21
C	122*15.9*7.62	.76	9.5	.077	73.0	.3322	.065	64.2	.28
C	122*15.9*8.2	.76	9.8	.061	81.2	.2231	.044	72.5	.19
T	185*25.2*10.3	.76	15.5	.063	42.4	.3989	.055	38.1	.30
T	106*16.2*5.27	.75	14.0	.103	34.6	.3234	.093	28.5	.31
T	154*20.0*9.02	.72	12.3	.091	72.4	.3750	.083	63.1	.34
T	192*26.8*10.4	.59	16.0	.044	10.6	1.133	.058	9.8	.75
C	75*11.9*4.79	.74	10.0	.093	22.9	.4430	.081	14.8	.34

TABELLA 4  
Confronto tra dati al vero e calcolati per alcune classi di navi

Tipo Nave	L*B*d	C <sub>B</sub>	Angolo di timone → + 15°						
			V <sub>u</sub>	K'	T'	P	K <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>
C	152*20,6*4,02	.68	17.2	.043	11	.5781	.055	9.3	.5880
C	114*16,4*3,27	.67	15.7	.054	6.9	.7755	.073	6.4	.6846
C	115*16,3*9,25	.74	16.1	.053	5.4	.9487	.096	7.1	.8804
C	148*19,4*8,40	.38	17.5	.063	22.5	.3759	.082	18.9	.6644
B	85*13,4*4,78	.55	9.0	.039	18.6	.3615	.053	15.8	.5802
C	156*19,5*7,18	.62	16.5	.062	25.0	.4191	.055	18.6	.4025
C	134*18,4*3,96	.66	15.3	.051	8.8	.8365	.067	9.2	.7219
C	140*18,2*7,82	.68	12.0	.085	76.0	.2692	.094	62.8	.1078
O	216*30,6*5,27	.76	18.0	.027	11.4	.6429	.56	28.4	.5700
T	201*28,2*4,89	.74	18.9	.038	10.6	.7745	.074	29.3	.6078
T	192*26,5*10,6	.80	16.1	.060	56.5	.2848	.045	44.5	.1311
T	167*22,0*12,2	.74	16.0	.040	10.0	.8163	.025	3.1	.7447
T	162*21,4*5,94	.70	15.3	.057	12.6	.5171	.014	15.6	.9157
E	111*17,4*6,80	.57	14.4	.096	22.6	.4768	.085	15.8	.5578
F	113*15,9*6,80	.56	15.0	.305	107	.3062	.278	99.0	.3159

TABELLA 5  
Confronto tra dati al vero e calcolati per alcune classi di navi

Tipo Nave	L*B*d	C <sub>B</sub>	Angolo di timone → - 15°						
			V <sub>u</sub>	K'	T'	P	K <sub>c</sub>	T <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>
C	115*16,3*3,02	.74	16.1	.061	6.3	.9239	.096	7.1	.8805
C	148*19,4*8,40	.38	17.5	.060	22.6	.3551	.040	15.5	.3952
C	137*18,5*8,07	.70	16.0	.073	30.9	.3226	.047	23.8	.2528
B	85*13,4*4,78	.55	9.0	.041	19.6	.3585	.037	9.4	.1594
C	156*19,5*7,18	.62	16.5	.070	27.0	.4354	.058	16.8	.4701
C	134*18,4*3,96	.66	15.3	.049	8.1	.8750	.67	9.2	.7219
T	192*26,5*10,6	.80	16.1	.051	47.1	.2882	.042	35.8	.1521
T	167*22,0*5,43	.74	16.0	.039	10.0	.7959	.025	3.1	.7447
T	162*21,4*9,78	.70	14.0	.086	75.3	.2896	.075	48.2	.1525
C	41*8,2*1,42	.56	11.1	.091	3.8	.6226	.045	5.5	.5040
C	112*15,8*7,32	.73	11.5	.071	50.8	.2500	.055	35.8	.1016
W	42*8,2*4,23	.56	15.5	.185	7.6	.3852	.098	20.4	.5771
W	57*9,7*3,45	.48	17.4	.155	4.1	.7734	.062	5.2	.8040
W	57*9,5*3,52	.46	17.7	.269	8.6	.6168	.064	5.0	.5916

Determinazione delle qualità di manovra delle navi in fase di progetto

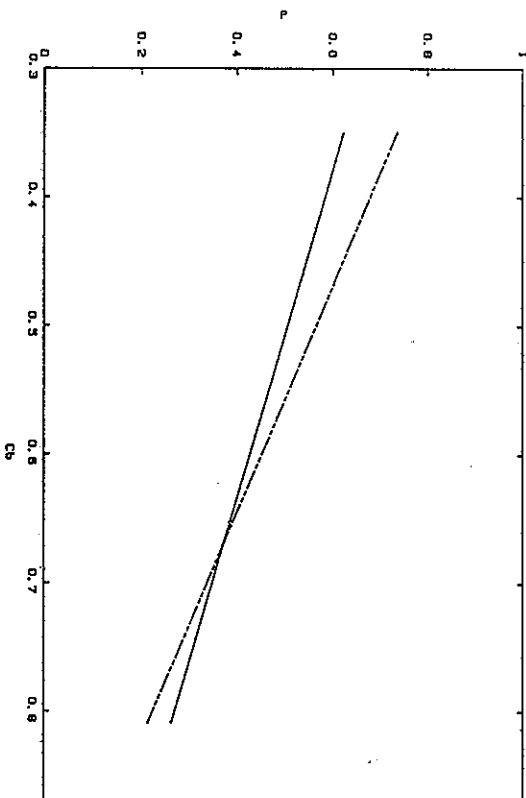


Fig. 5 - Valori di P in funzione di C<sub>B</sub> per diversi tipi di navi — veri — — calco

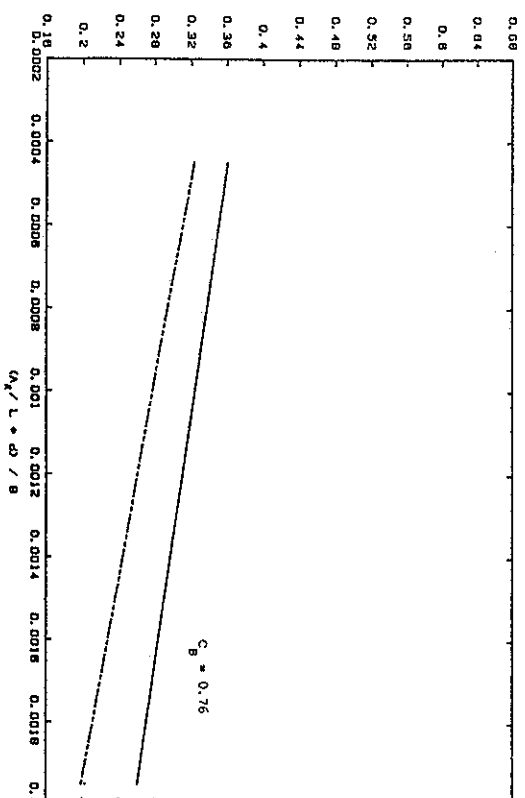


Fig. 6 - Valori di P in funzione di A<sub>R</sub>/L\*d) Bper diversi tipi di nave — veri — — calcolati



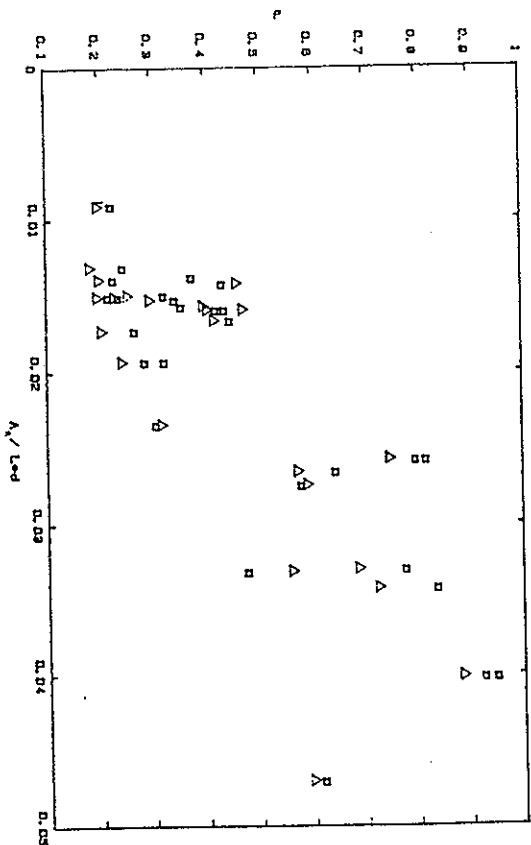


Fig. 7 - Confronto fra gli indici di evoluzione  $\square$  VERI  $\Delta$  CALCOLATI

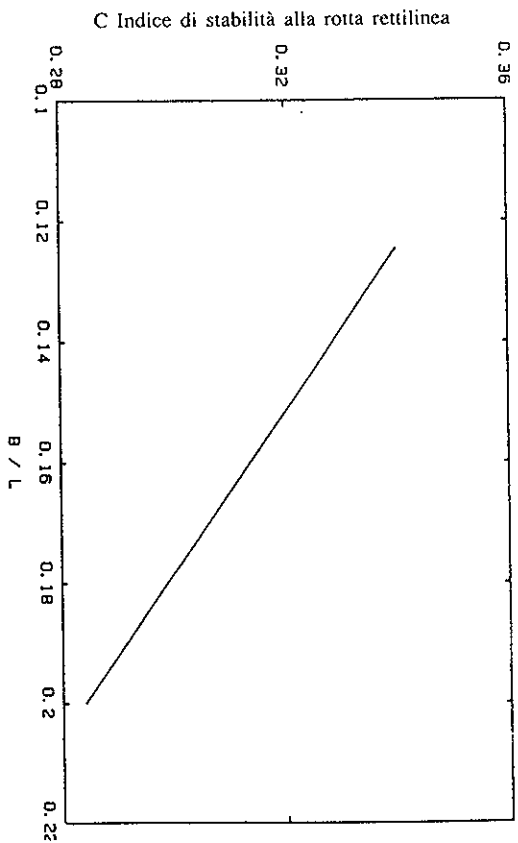


Fig. 8 - Variazione di C in funzione di B/L

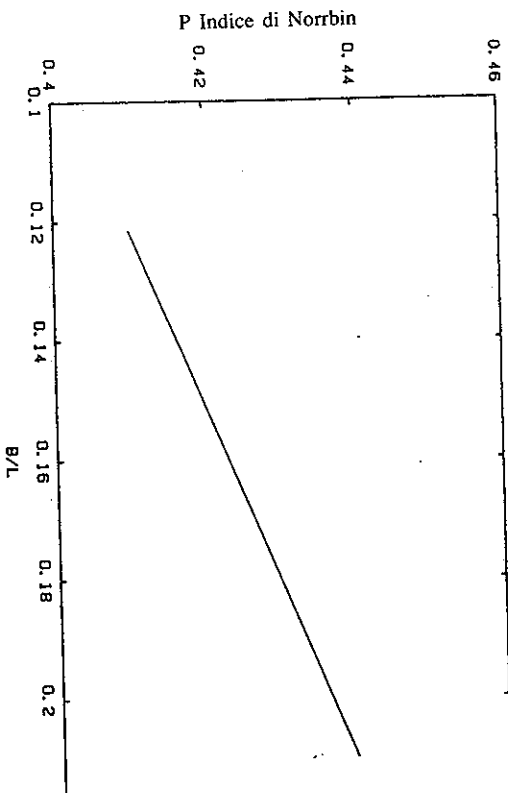


Fig. 9 - Variazione di P in funzione di B/L

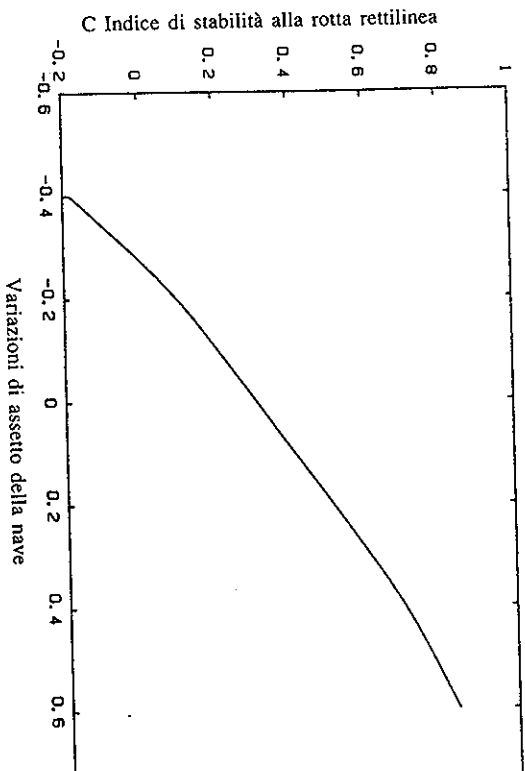


Fig. 10 - Variazione di C in funzione dell'assetto della nave + Variazioni poppi.

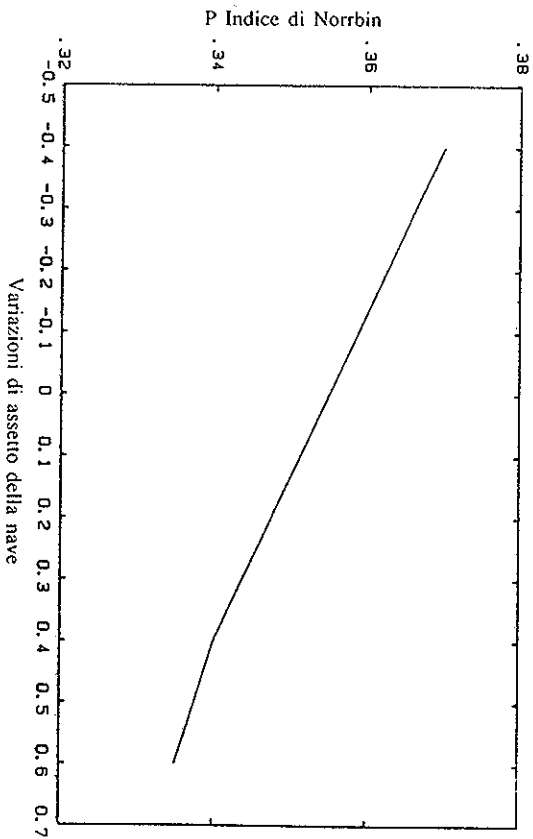


Fig. 11 - Variazione di P in funzione dell'assetto + Variazioni poppiere

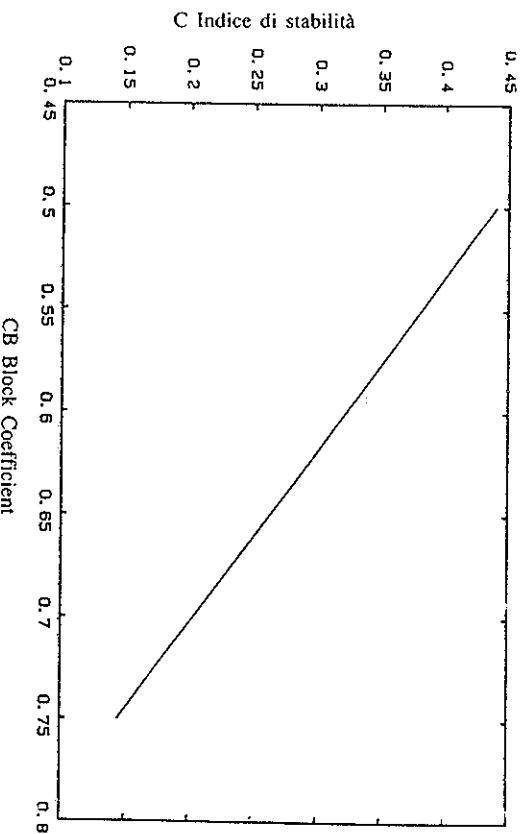


Fig. 12 - Variazione di C in funzione di CB

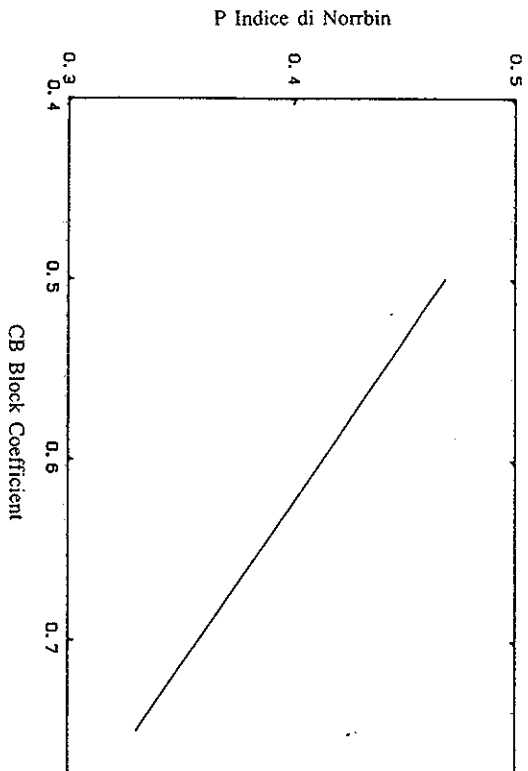


Fig. 13 - Variazione di P in funzione di Cb

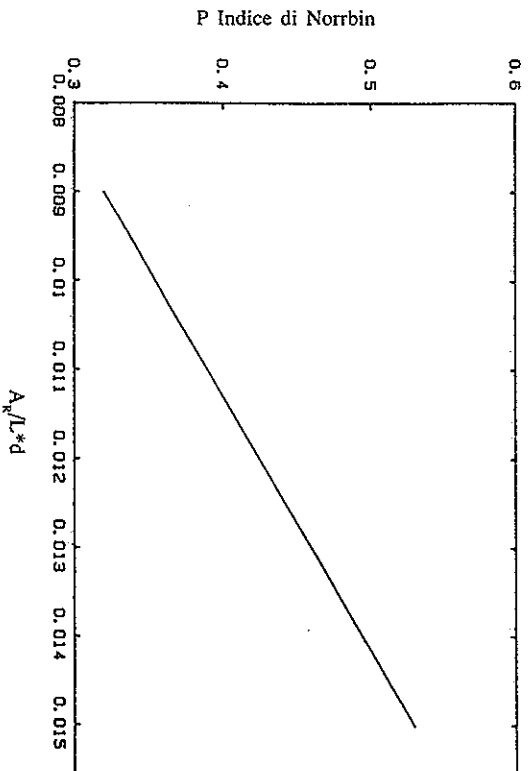


Fig. 14 - Variazione di P in funzione di  $A_R/L*d$