

SULLA PREVISIONE DEL PESO NAVE VUOTA

ANTONIO PACIOLLA

Professore di Macchine marine nel Politecnico di Napoli

F. QUARANTA

Nel seguente lavoro vengono proposte semplici espressioni matematiche che esprimono il peso della nave vuota in funzione di alcune grandezze della nave stessa note, in genere, nei primi stadi del progetto. Lo strumento che si è utilizzato per ottenere tali espressioni è la regressione lineare operata su di un campione di dati, di cui si dirà in seguito, ove il parametro considerato significativo della bontà della elaborazione proposta è il quadrato del COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE LINEARE o, dalla sua indicazione simbolica, ERRE QUADRO.

Le navi sono state divise in otto gruppi omogenei per

tipologia di merce trasportata e si evidenzia il fatto che solo il gruppo delle PASS si differenzia nettamente da tutti i rimanenti. Questa memoria vuole costituire l'avvio di una più ampia ricerca sul rilievo di dati statistici su navi costruite.

Scopo di tale ricerca è, in buona sostanza, fornire al progettista di navi mercantili uno strumento matematico di semplice e rapido utilizzo che suggerisca, con approssimazione accettabile, il valore del peso nave vuota in funzione di grandezze note o facilmente presumibili nella fase iniziale del progetto.

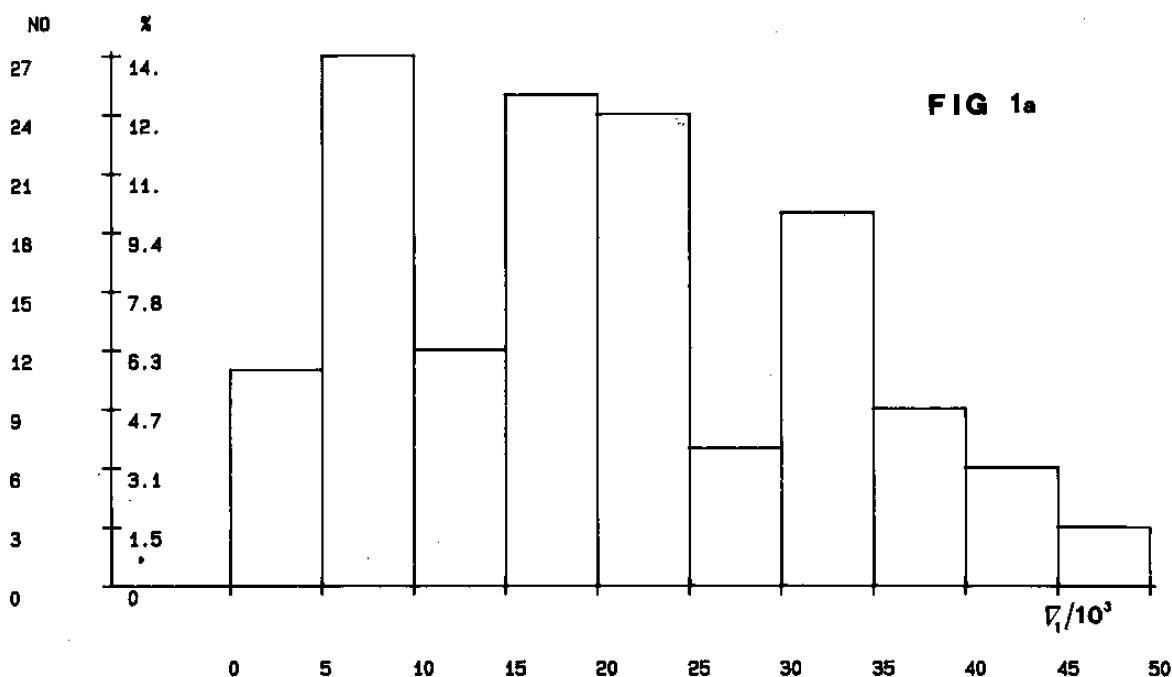


FIG 1a

* Questo lavoro è stato svolto nell'ambito della Ricerca "Rilevamento di grandezze adimensionali su navi costruite" finanziato dal Ministero della pubblica Istruzione nell'ambito del 60%.

Il campione analizzato

I dati su cui si basa la presente analisi si riferiscono a 190 navi costruite negli ultimi 25 anni e descritte nella rivista Shipping World & Shipbuilder. Tali navi appartengono a categorie anche molto diverse tra loro; il criterio seguito di considerare i dati relativi ad una sola (ed autorevole) fonte è garanzia, a parere degli autori, di maggiore omogeneità ed affidabilità.

Nelle figure 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, sono riportate nell'ordine le distribuzioni di dislocamento, deadweight, peso nave vuota, velocità assoluta, velocità relativa alla lunghezza, lunghezza tra le perpendicolari, potenza e block coefficient delle navi considerate.

Quest'ultima variabile è qui più propriamente indicata con C'_B perché relativa non alla lunghezza al galleggiamento, come sarebbe ortodosso fare, ma a quella fra le perpendicolari, standard molto più diffuso.

Tutte le navi sono state suddivise in otto gruppi che racchiudono le categorie riportate in tabella 1; la figura 9 mostra invece la distribuzione di questa tipologia; si può osservare dall'analisi delle figure proposte come il campione analizzato sia molto vario e come tipologia di navi e come valori caratteristici delle stesse.

Tabella 1

N.	Indic. Sint.	Tipi Rappresentati	Simbolo
1	BULK	BULK CARRIERS	▷
2	CARGO	CARGO, ORE CARRIERS, CARTIMB, OBO, miste PASSEGGERI-CARGO, ORE-OIL	○
3	CARGOR	CARGO REFRIGERATE, BANANA	●
4	TANKER	TANKERS	+
5	CONT	PORTACONTAINERS, miste CONTAINERS-ORE-CARRIERS	□
6	RO/RO	ROLL ON - ROLL OFF	×
7	PASS	FERRY, NAVI RICERCA LASH PASSEGGERI	■
8	LG	LPG, LNG	▶

Il peso nave vuota in funzione di C'_B e di V/\sqrt{L}

Una prima elaborazione dei dati viene effettuata operando una regressione lineare fra le variabili ∇_0/∇_1 (rapporto fra

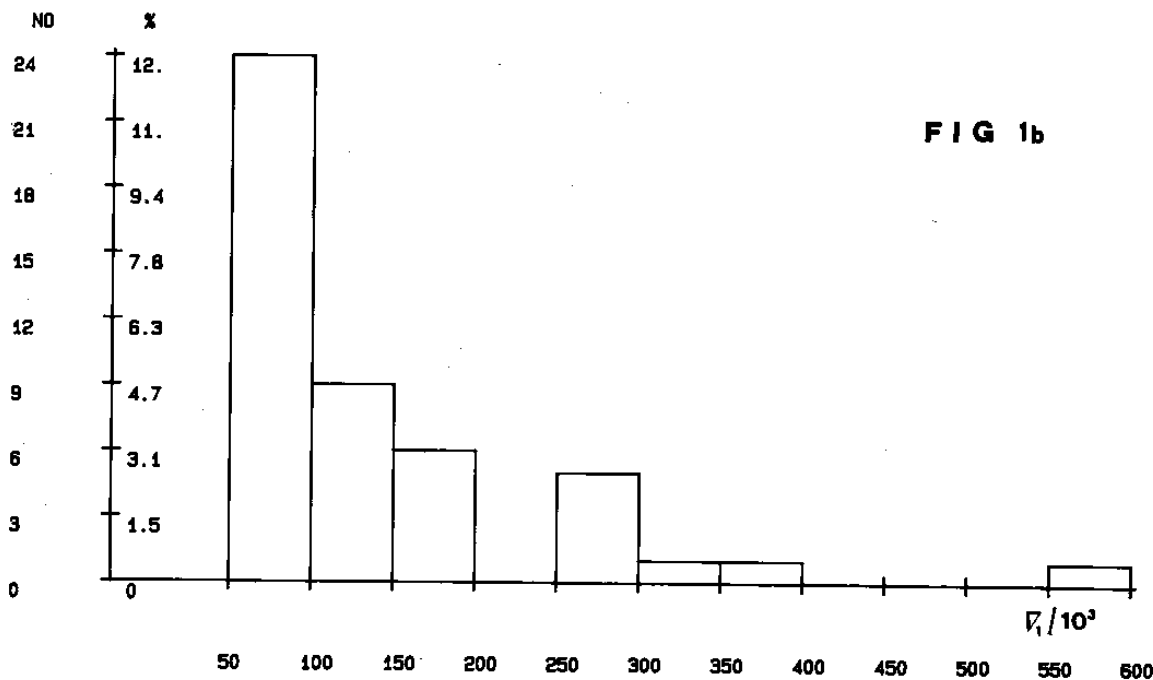
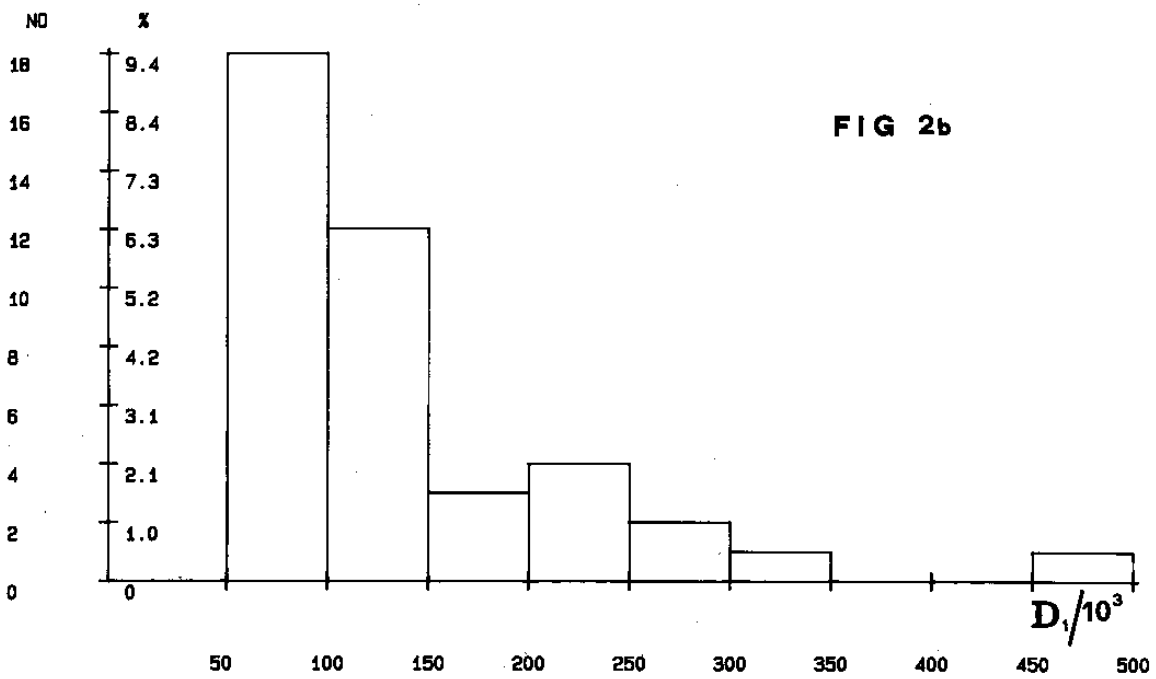
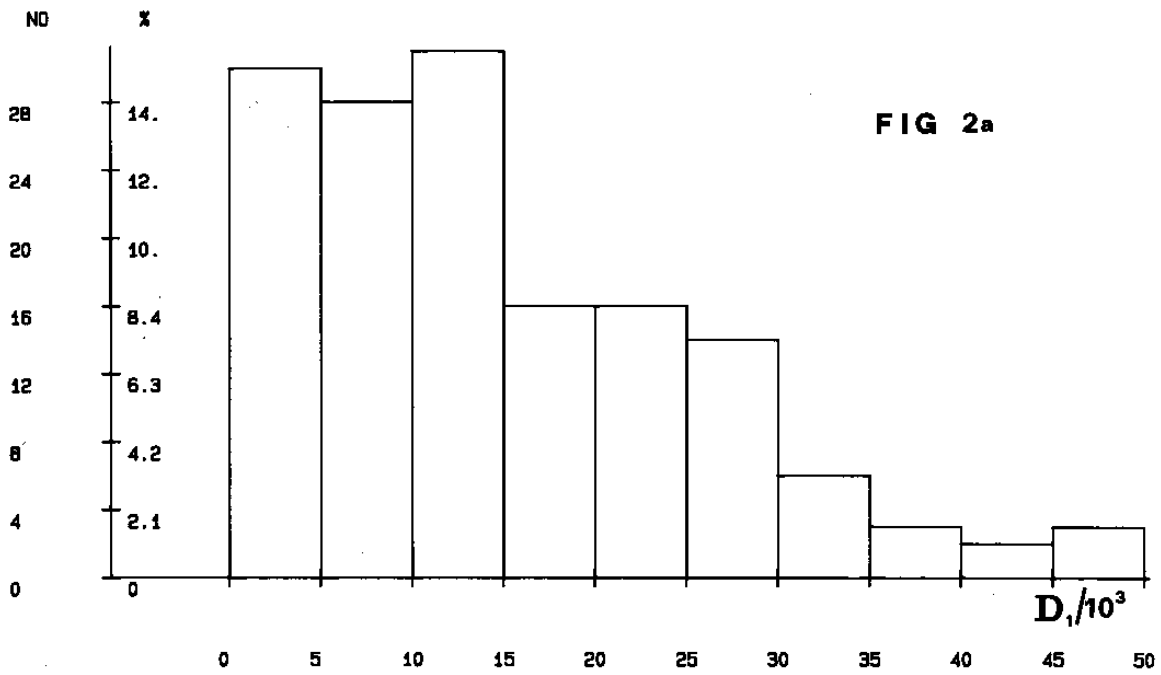
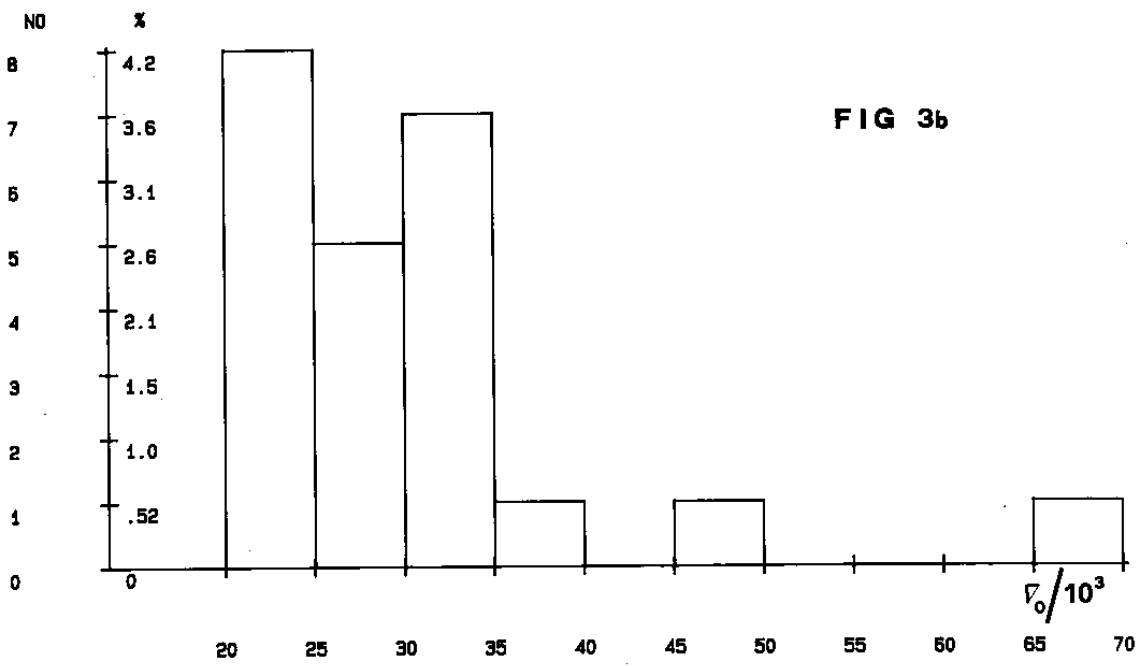
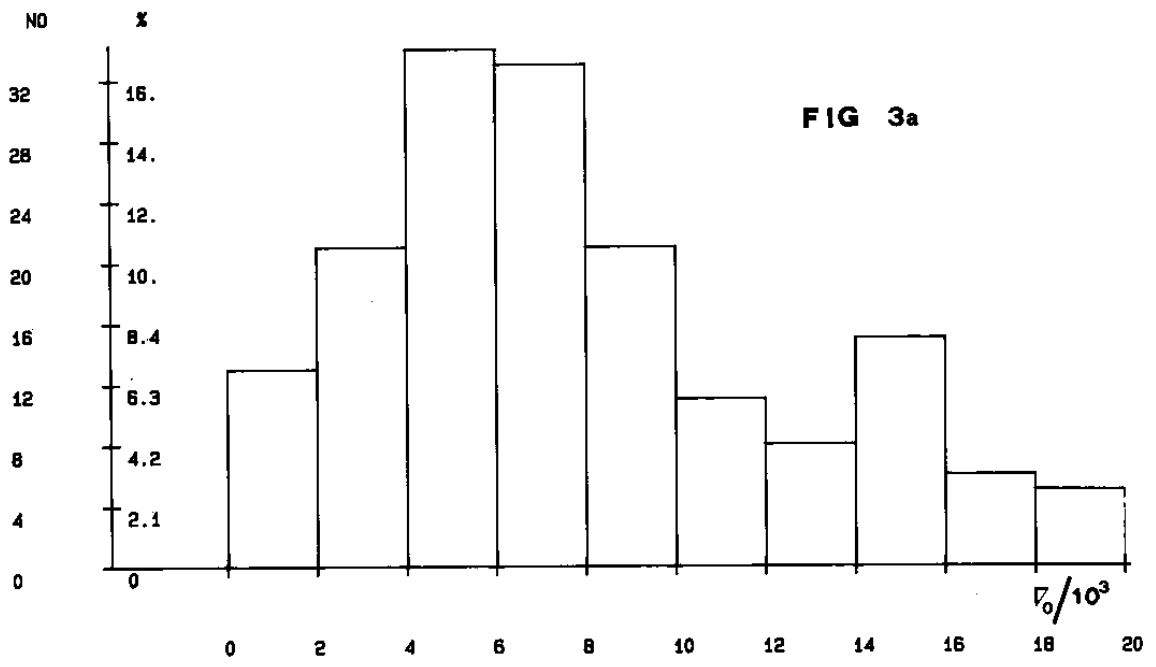
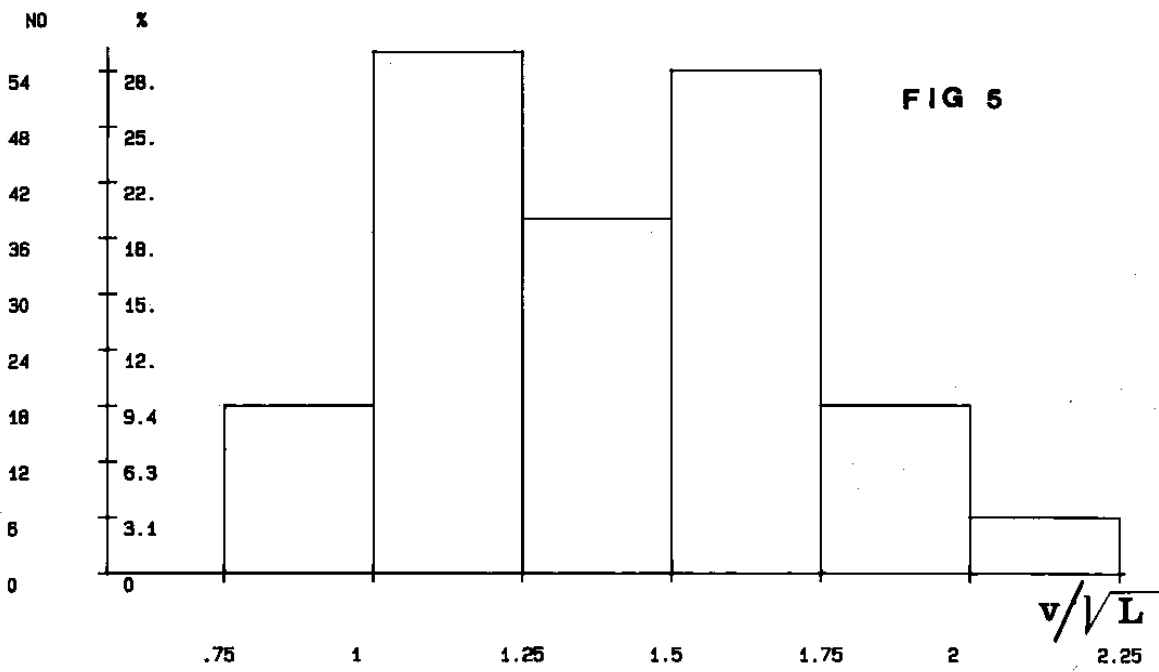
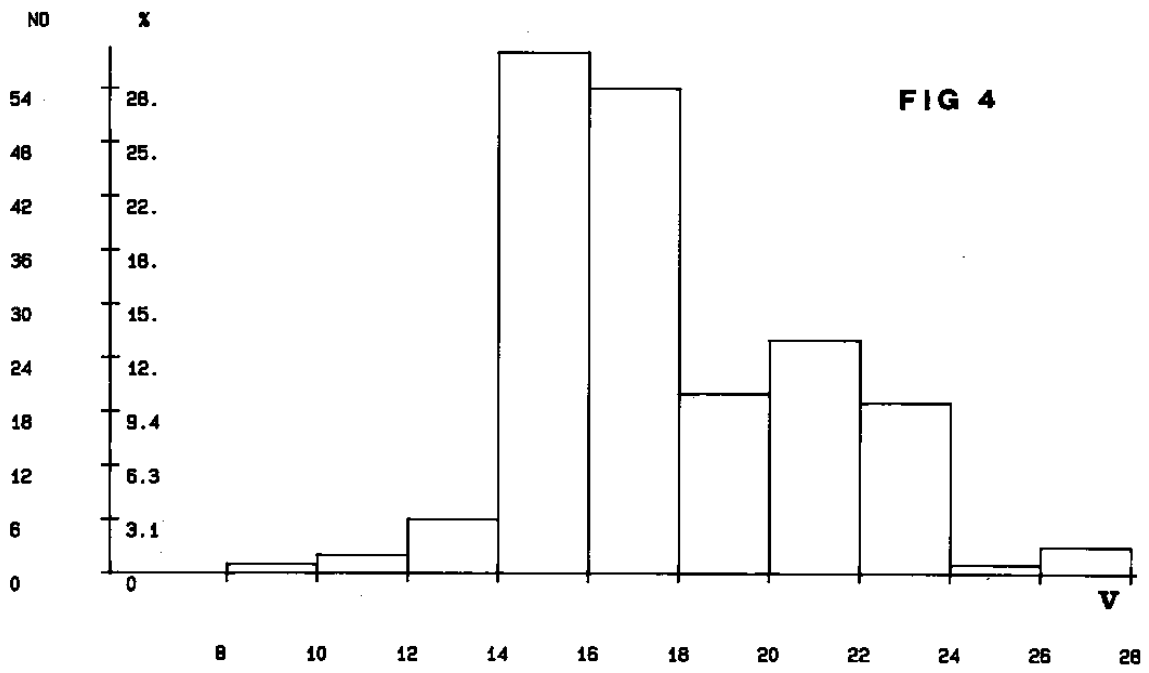
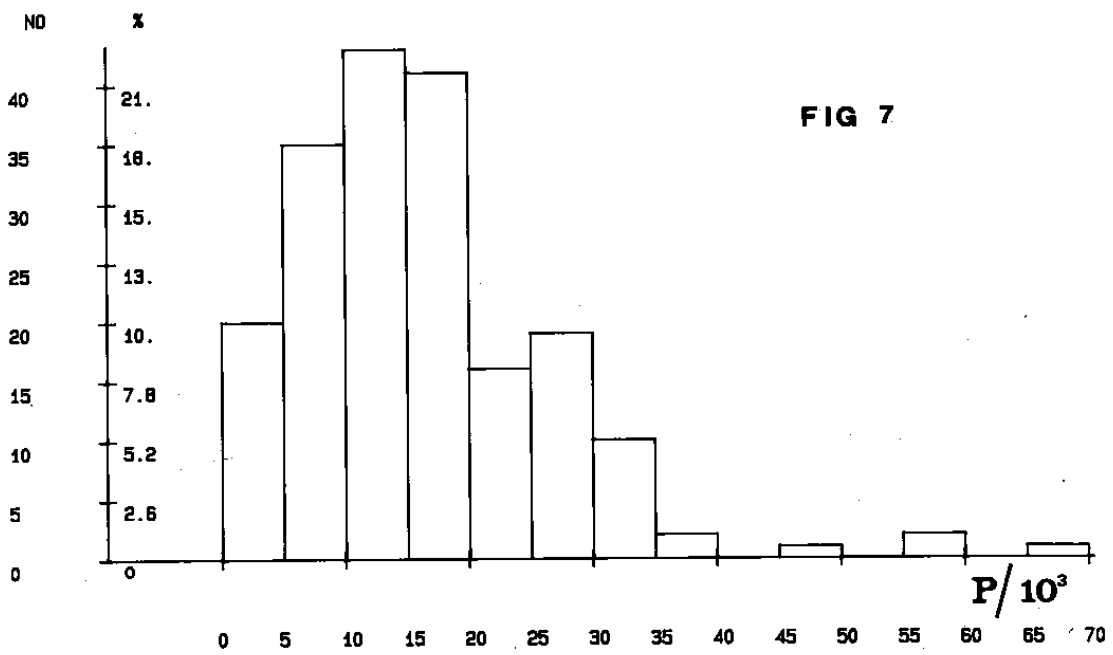
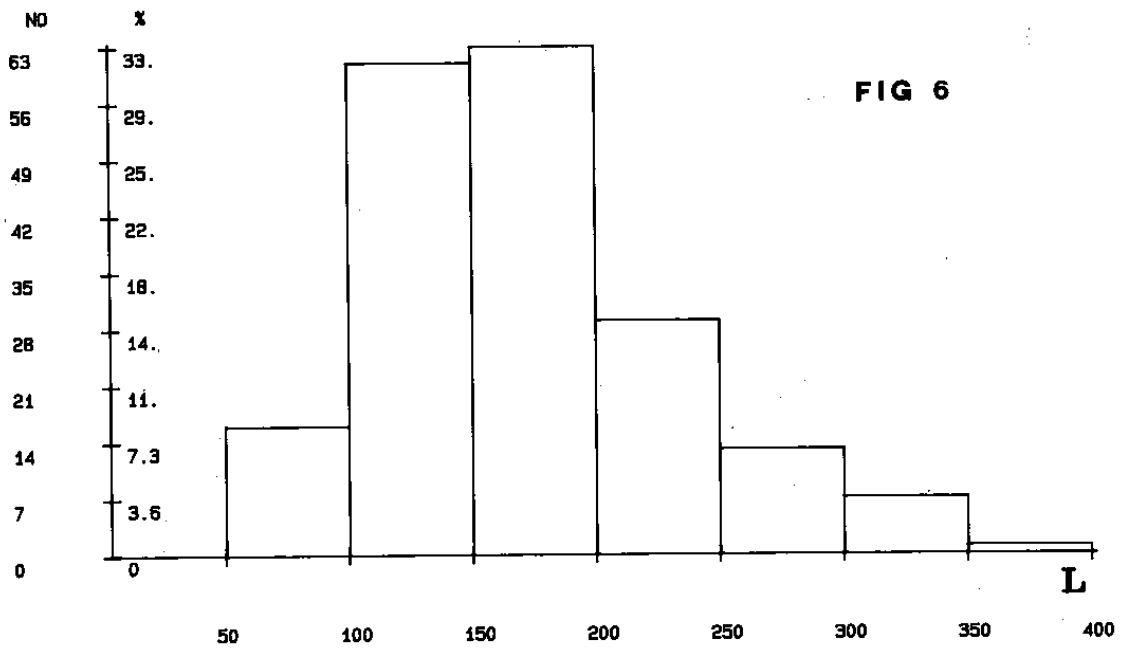


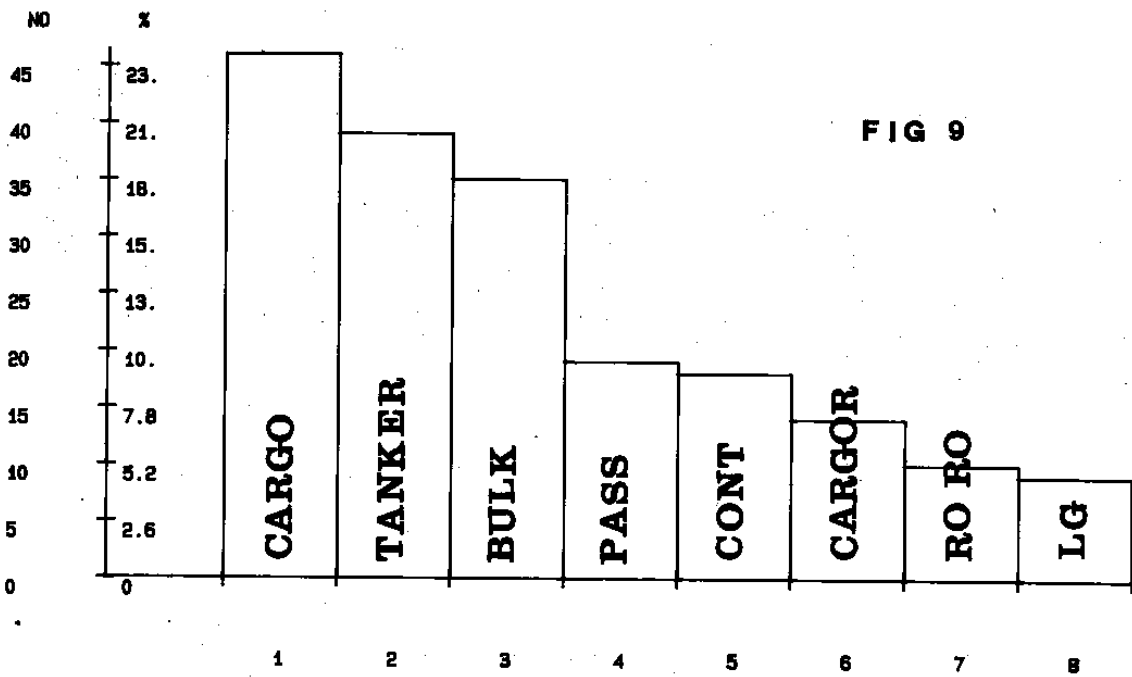
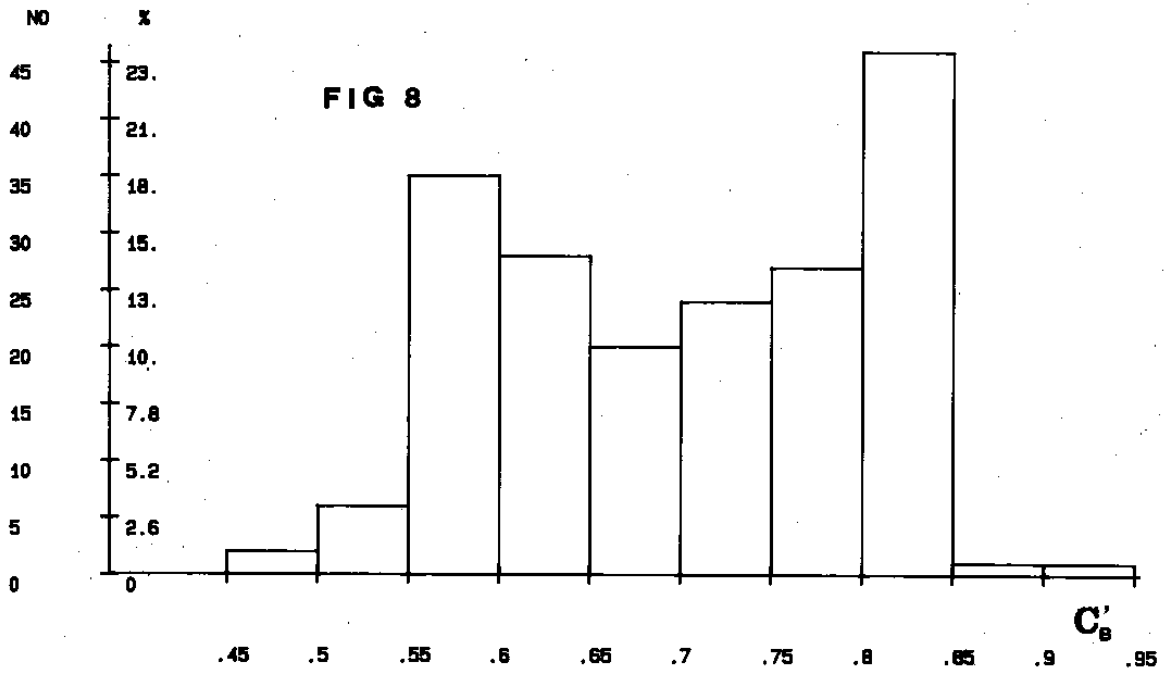
FIG 1b











peso nave vuota e peso nave a pieno carico) in funzione di C'_B e di V/\sqrt{L} .

In effetti queste due variabili sono, con buona approssimazione, note fin dal primo approccio progettuale e quindi l'espressione che tale regressione fornisce è utilizzabile fin dai primi passi del progetto.

In figura 10 vengono riportati i punti $\nabla_0/\nabla_1 = f(C'_B)$ per tutte le 190 navi comprese nel campione indicando con simboli diversi le varie categorie, così come indicato in tabella 1, e viene anche riportata la retta di regressione totale avente l'espressione:

$$\nabla_0/\nabla_1 = 1.313 - 1.412 C'_B \quad (1)$$

$$\text{con } r^2 = 0.684 \quad (2)$$

Parimenti in figura 11 vengono riportati i punti $\nabla_0/\nabla_1 = f(V/\sqrt{L})$ e la retta di regressione totale di espressione:

$$\nabla_0/\nabla_1 = -0.335 + 0.472 V/\sqrt{L} \quad (3)$$

$$\text{con } r^2 = 0.698 \quad (4)$$

Dall'esame delle figure 10 ed 11 risulta evidente che una sola categoria di navi (quella indicata convenzionalmente come PASS) presenta valori nettamente più elevati di ∇_0/∇_1 mentre tutte le altre giacciono in una stessa fascia di valori dello stesso parametro.

Al fine, quindi, di migliorare l'approssimazione della elaborazione proposta si pongono le espressioni equivalenti alle (1) e (3) ma relative alle sole PASS ed alle rimanenti.

La figura 12 mostra la distribuzione dei punti $\nabla_0/\nabla_1 = f(C'_B)$ per le sole PASS e riporta la retta di regressione.

L'espressione che ne risulta è la seguente:

$$\nabla_0/\nabla_1 = 1.106 - 0.637 C'_B \quad (5)$$

$$\text{con } r^2 = 0.376 \quad (6)$$

La figura 13 riporta invece i punti $\nabla_0/\nabla_1 = f(C'_B)$ per le rimanenti navi (indicate, questa volta, tutte con lo stesso simbolo) e fornisce l'equazione:

$$\nabla_0/\nabla_1 = 0.972 - 0.970 C'_B \quad (7)$$

$$\text{con: } r^2 = 0.792 \quad (8)$$

migliorativo rispetto a quello proposto in (2) e relativo ad (1).

Si fa presente, inoltre, che la fascia di valori di ∇_0/∇_1 compresi fra le due rette parallele a quella d'equazione (7) ed aventi equazioni:

$$\nabla_0/\nabla_1 = 1.05 - 0.970 C'_B \quad (9)$$

$$\nabla_0/\nabla_1 = 0.894 - 0.970 C'_B$$

racchiude il 90% delle osservazioni come illustrato dalla figura 13.

Tali espressioni possono quindi suggerire al progettista i valori max e min di ∇_0/∇_1 adottabili per un certo valore di C'_B . Tutto ciò viene ripetuto in funzione della variabile V/\sqrt{L} per le sole PASS (fig. 14) e per i rimanenti tipi di navi (fig. 15) Per le PASS l'equazione è:

$$\nabla_0/\nabla_1 = 0.522 + 0.120 V/\sqrt{L} \quad (10)$$

$$\text{con: } r^2 = 0.296 \quad (11)$$

mentre per i rimanenti tipi di navi, le equazioni della retta di regressione e di quelle delimitanti la fascia comprendente più del 90% delle osservazioni sono:

$$\nabla_0/\nabla_1 = -0.173 + 0.334 V/\sqrt{L}$$

$$\nabla_0/\nabla_1 = -0.092 + 0.334 V/\sqrt{L} \quad (12)$$

$$\nabla_0/\nabla_1 = -0.245 + 0.344 V/\sqrt{L}$$

Il valore di erre quadro è in questo caso:

$$r^2 = 0.799 \quad (13)$$

La ricerca di espressioni particolarizzate per tipo di nave

Le figure 10 e 11 mostrano come soltanto alcuni tipi di nave hanno un numero di dati tale da poter permettere di elaborare regressioni particolarizzate.

La limitazione del numero di dati spiega la notevole differenza fra i valori di r^2 relativo alle sole PASS (6) e (11) e quelli relativi a tutti i rimanenti tipi di navi (8) e (13).

Gli autori si auspicano di poter incrementare in futuro il numero di dati e di poter quindi fornire tali tipi di elaborazioni.

Per il momento vengono prese in considerazione soltanto le categorie CARGO e TANKER. Le figure 16 e 17 mostrano le risultanze di detta elaborazione relativamente alle navi delle due categorie in funzione di C'_B , mentre le figure 18 e 19 sono riferite alla variabile V/\sqrt{L} . La tabella 2 mostra i valori di erre quadro e le equazioni di regressione.

Tabella 2

Tipo	Var	Equazione	r^2	Fig.
CARGO	C'_B	$Y = .889 - .860 X$.656	16
	V/\sqrt{L}	$Y = -.185 + .336 X$.690	18
TANKER	C'_B	$Y = .778 - .769 X$.665	17
	V/\sqrt{L}	$Y = -.106 + .226 X$.836	19

L'espressione del peso nave vuota in rapporto alla superficie della nave

Con l'intento di migliorare l'approssimazione nel determinare il peso nave vuota, si propone una formula che esprima, sempre in funzione di C'_B e di V/\sqrt{L} , una variabile che, a sua volta, rapporti tale peso alla superficie della nave, cui esso, supponendo costanti gli spessori, è evidentemente proporzionale.

Indicata con S la superficie costituita dalle murate della nave e dal ponte principale; con B, D ed L rispettivamente la larghezza massima, l'altezza di costruzione e la lunghezza fra le perpendicolari, l'espressione della variabile considerata è:

$$\frac{\nabla_0/\nabla_1}{S/2L (B+D)} \quad (14)$$

Naturalmente in nessun caso è noto il valore di S per cui, per determinarlo con buona approssimazione, ci si è riferiti a formule di comprovata efficacia.

In effetti si può dire che S è la somma di tre superfici:

- S_v = Superficie dell'opera viva
- S_m = Superficie dell'opera morta
- S_p = Superficie del ponte principale

La prima superficie può determinarsi con buona approssimazione mediante la formula di DENNY:

$$S_v = L (1.7 T + C'_B B) \quad (15)$$

Per la seconda gli autori propongono la seguente:

$$S_m = 2L (D - T) \quad (16)$$

La superficie S_p si può, con buona approssimazione, ritenere uguale alla superficie corrispondente alla linea di galleggiamento (considerato che per gran parte della lunghezza della nave le murate sono, a quella altezza, verticali), ed espressa quindi sotto la forma:

$$S_p = C_w B L_{wl} \quad (17)$$

Per evitare però di introdurre l'ulteriore grandezza L_{wl} , essa viene espressa qui mediante la lunghezza fra le perpendicolari L

$$S_p = C_w B L \quad (18)$$

La superficie S (assumendo $C_w = 0.3 + 0.7 C'_B$) può dunque essere data dalla espressione:

$$S = S_v + S_m + S_p = L [2D - 0.3T + B (0.3 + 1.7 C'_B)] \quad (19)$$

che viene adimensionalizzata dividendola per la superficie del parallelepipedo circoscritto alla porzione di nave com-

presa fra le due perpendicolari limitatamente alle facce aventi una delle dimensioni uguale ad L:

$$S' = S/2L (B+D) \quad (20)$$

Indicando con ∇'_0 la quantità adimensionale:

$$\nabla'_0 = \nabla_0/\nabla_1 \quad (21)$$

si è quindi proceduto a sottoporre ad analisi di regressione i punti $\nabla'_0/S' = f(C'_B)$ e poi i punti $\nabla'_0/S' = f(V/\sqrt{L})$.

I risultati sono riportati rispettivamente in fig. 20 e 21. La prima elaborazione fornisce la relazione:

$$\nabla'_0/S' = 1.847 - 2.043 C'_B \quad (22)$$

$$\text{con: } r^2 = 0.725 \quad (23)$$

La seconda fornisce invece:

$$\nabla'_0 / S' = - 0.524 + 0.674 V/\sqrt{L} \quad (24)$$

$$\text{con } r^2 = 0.719 \quad (25)$$

Il miglioramento rispetto alle formule precedentemente proposte, e relative alla totalità delle navi, è evidente; tuttavia dalle figure 20 e 21 si può notare come anche in questo caso le PASS si discostino, anche se in minor misura, dalle altre.

Ciò è dovuto al fatto che il peso di una nave vuota è proporzionale alla totalità delle superfici della nave stessa mentre la variabile proposta S' si limita ad alcune di queste, tralasciando (nel caso delle PASS) i numerosi interposti ed il consistente valore in peso (o superficie) delle sovrastrutture.

Si è dunque pensato di ottimizzare la distribuzione dei punti (∇'_0/S' , C'_B) e (∇'_0/S' , V/\sqrt{L}) pesando diversamente la superficie relativa alle PASS e rifacendosi quindi ad una variabile S'' così definita:

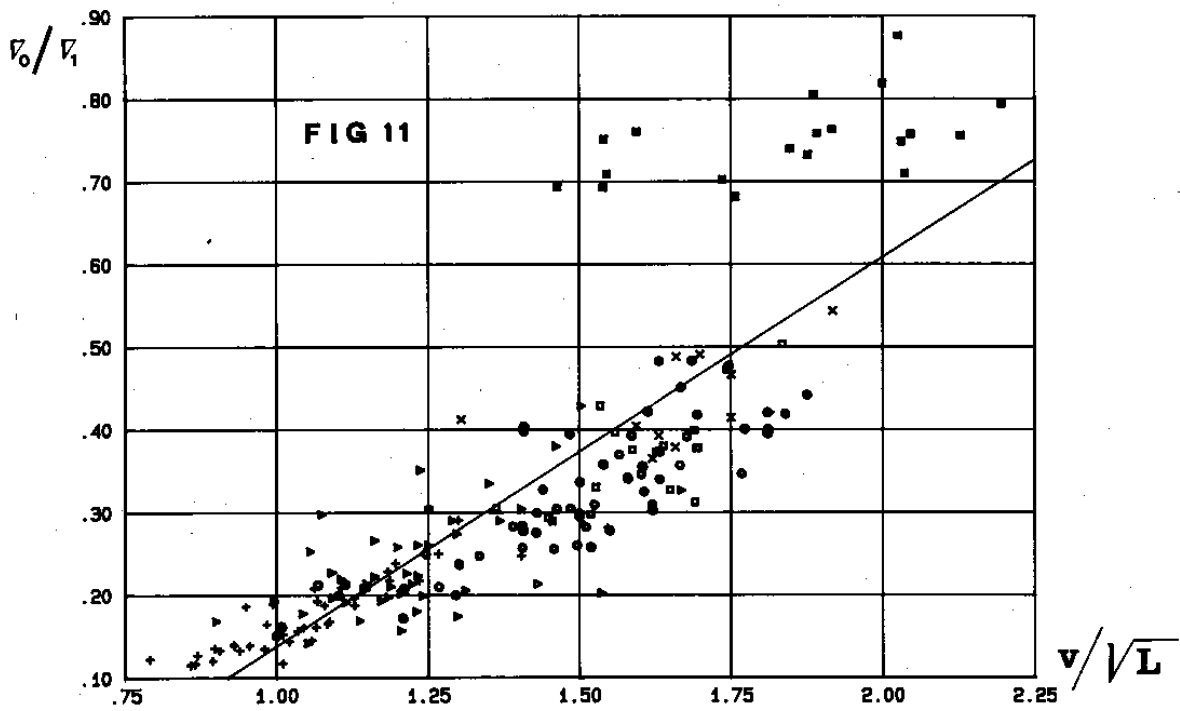
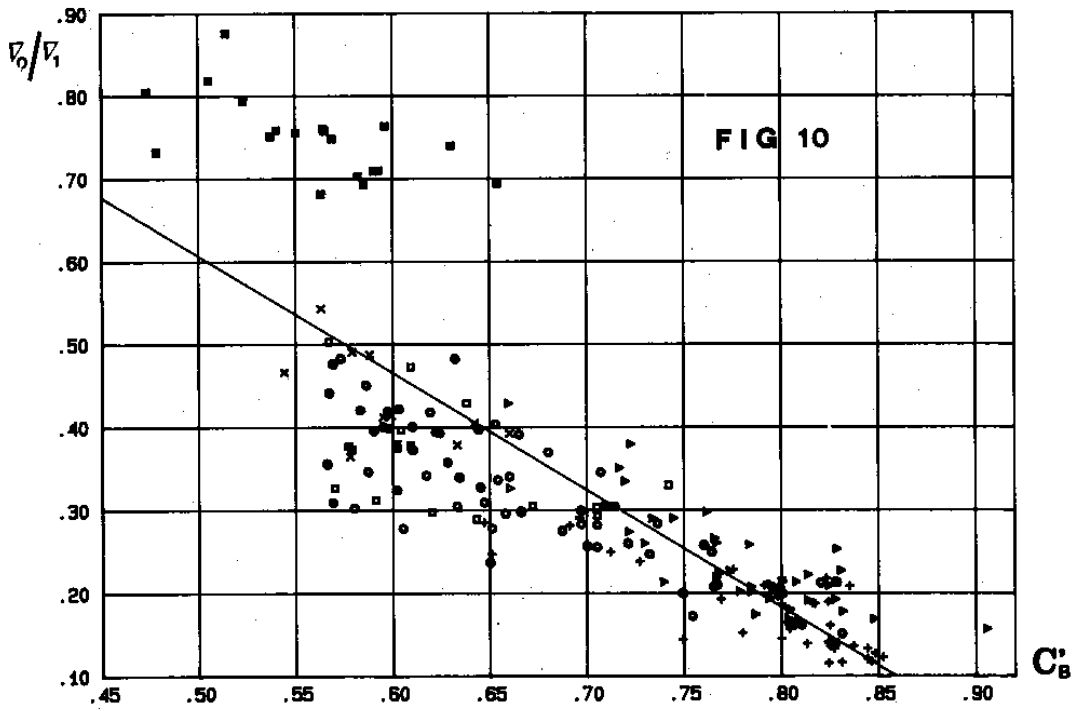
$$S'' = \begin{cases} S' + K & \text{per le PASS} \\ S' & \text{per le navi di altro tipo} \end{cases} \quad (26)$$

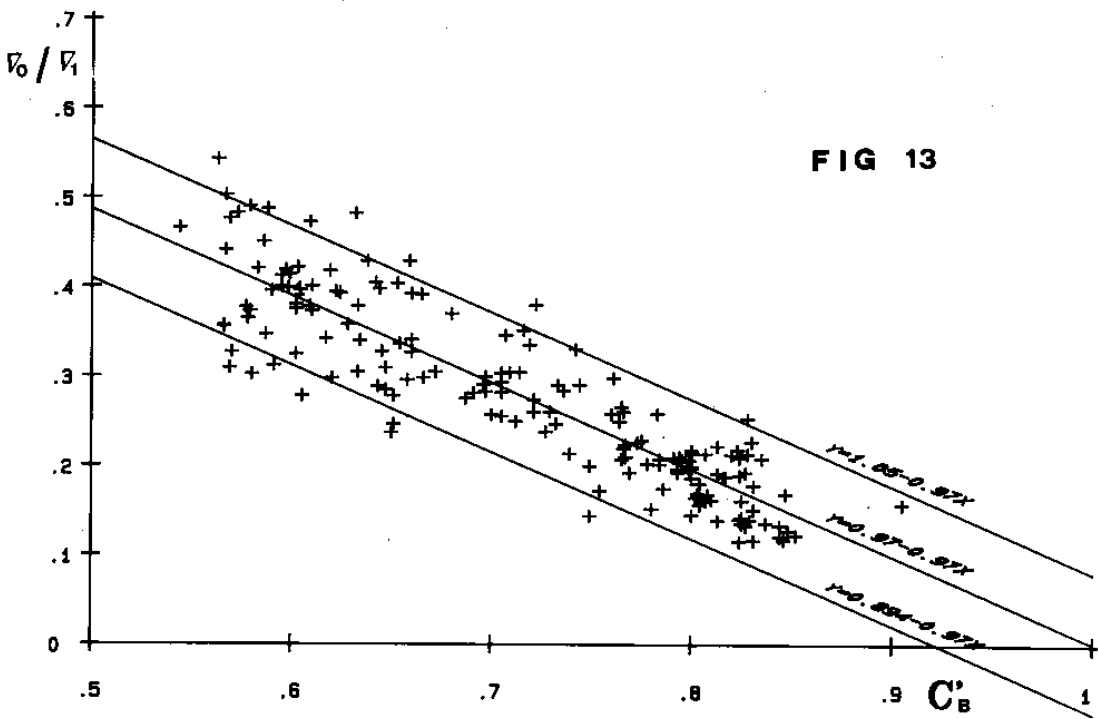
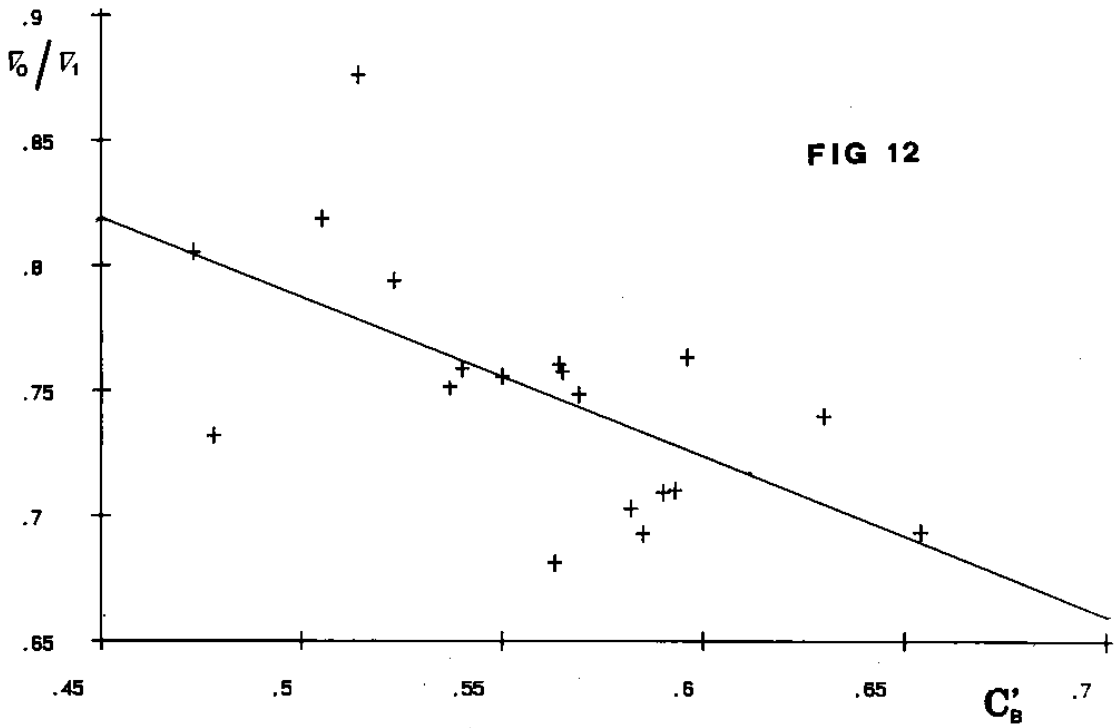
Il valore ottimale di K per ambedue le rappresentazioni è risultato essere:

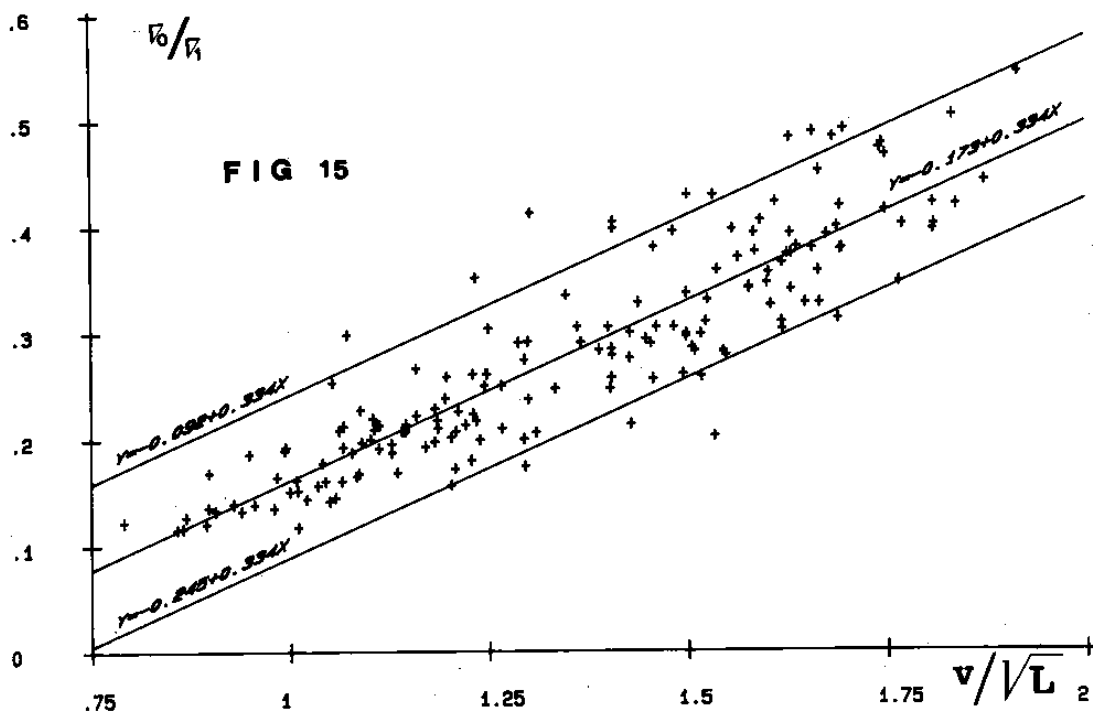
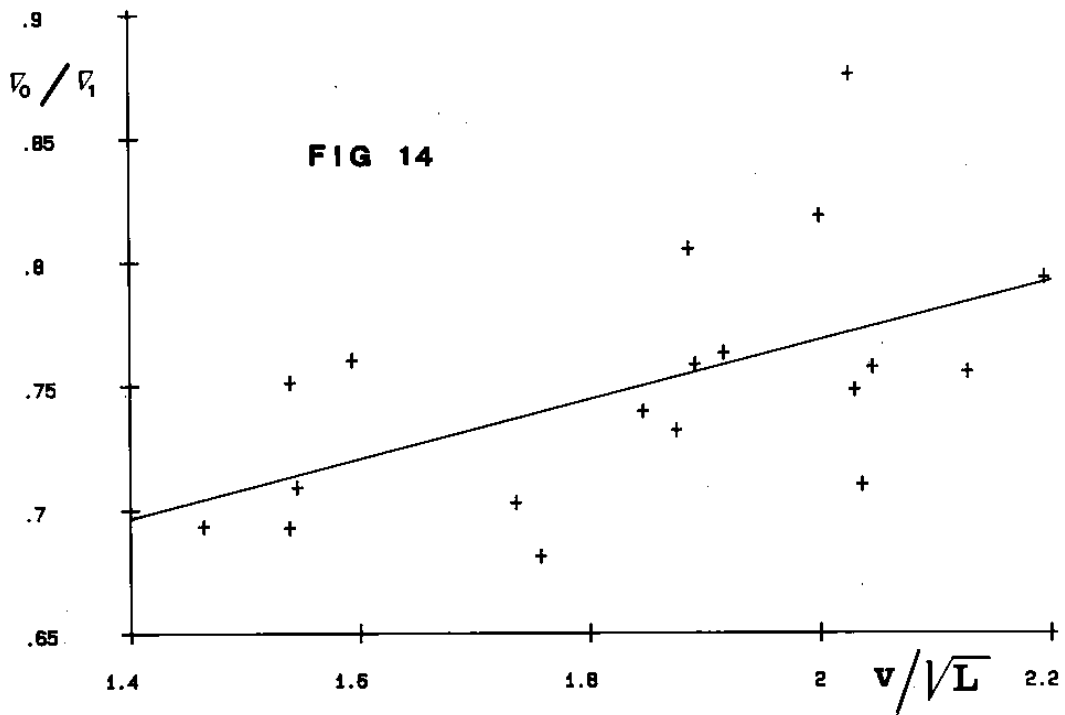
$$K = 0.45 \quad (27)$$

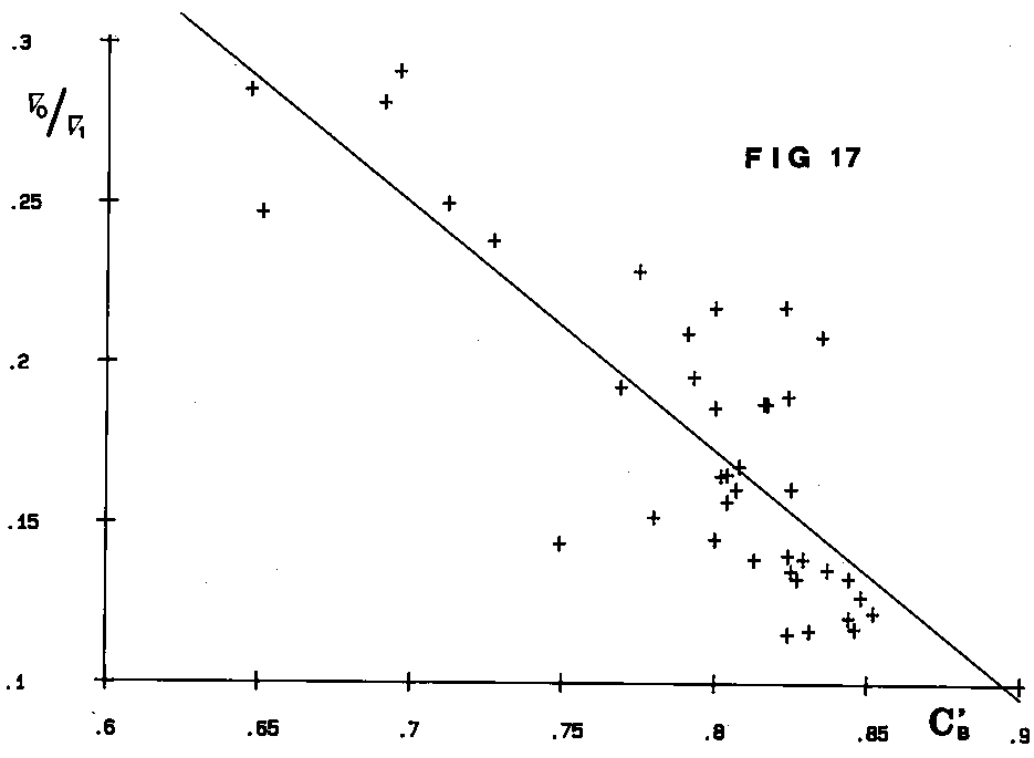
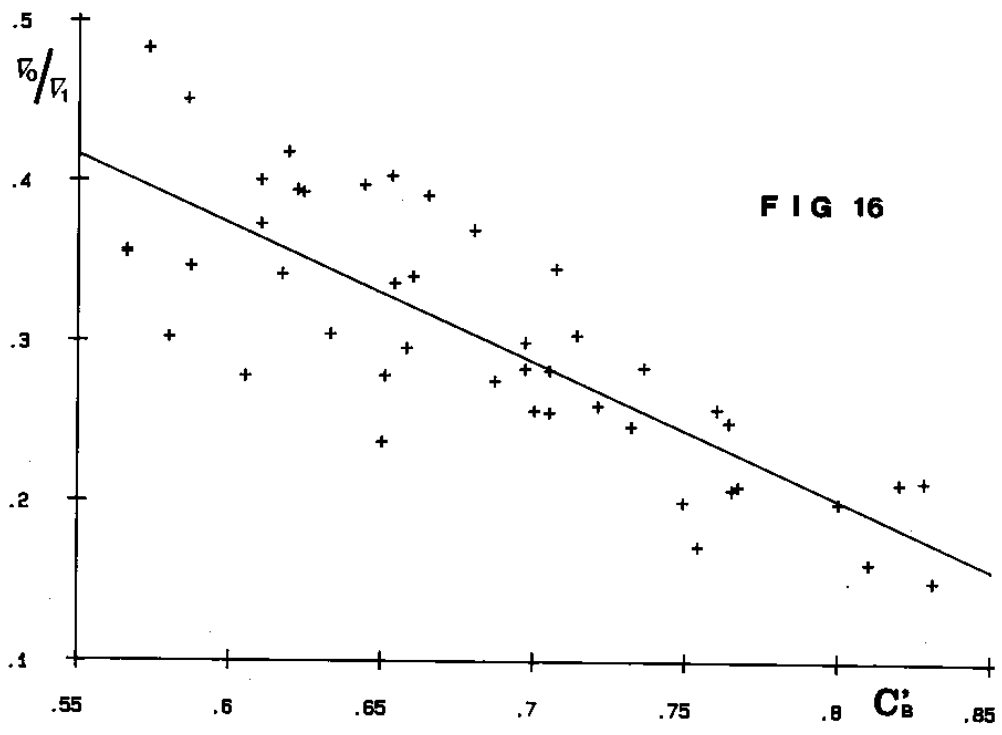
La figura 22 riporta la rappresentazione della regressione di $\nabla'_0/S'' = f(C'_B)$ che fornisce le equazioni: per la retta di regressione

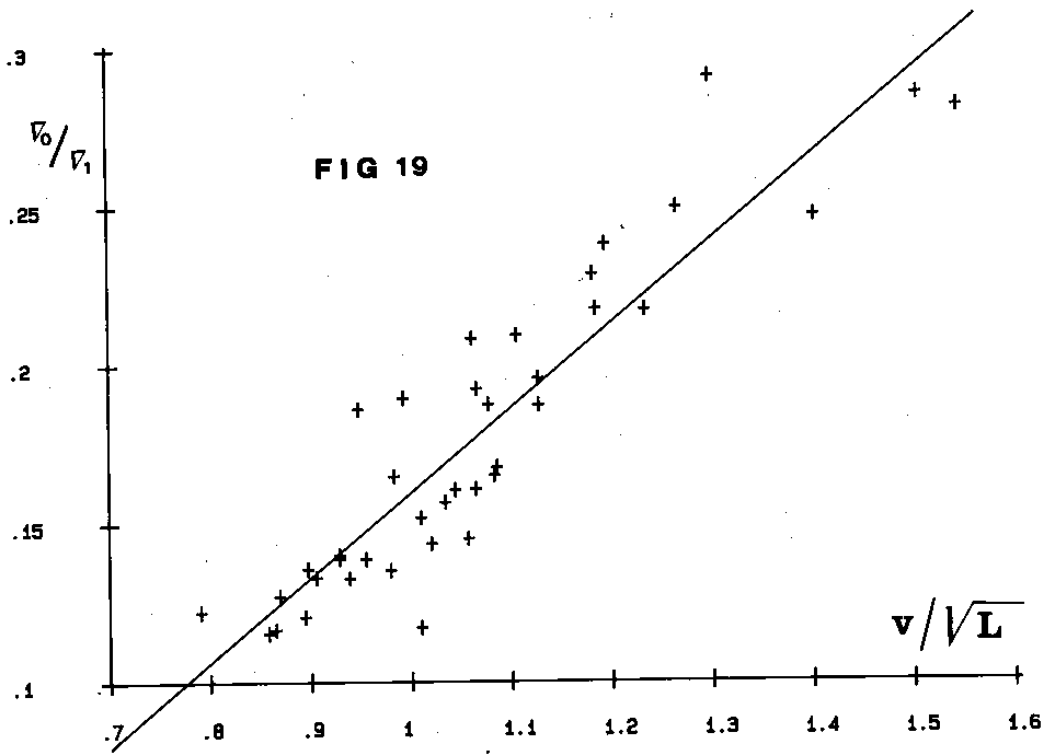
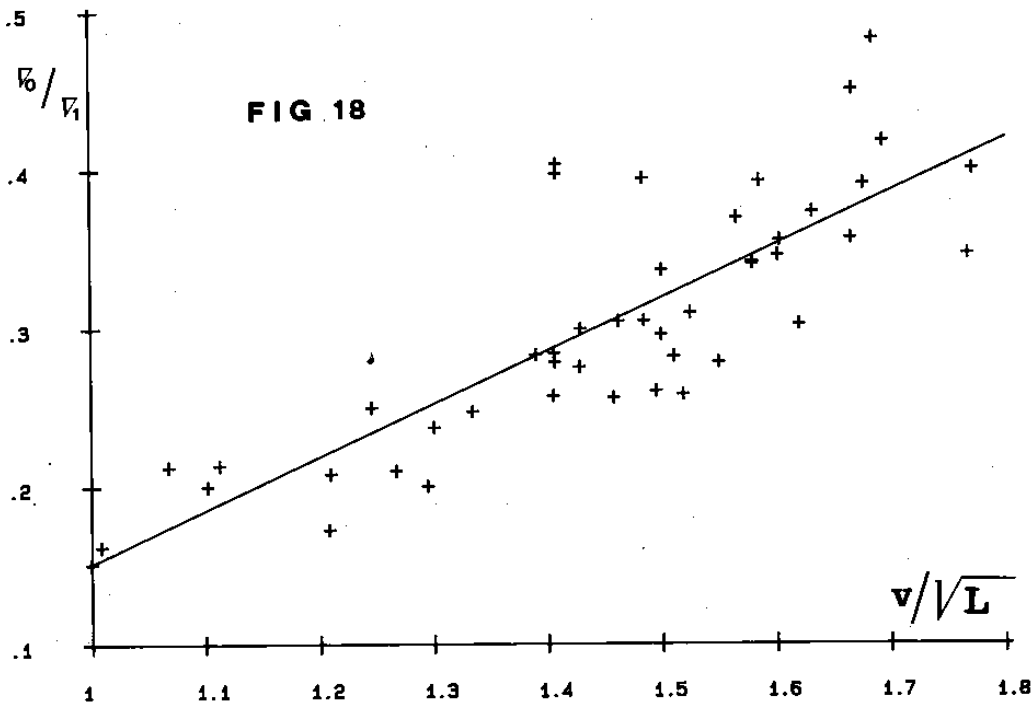
$$\nabla'_0/S'' = 1.425 - 1.425 C'_B \quad (28)$$

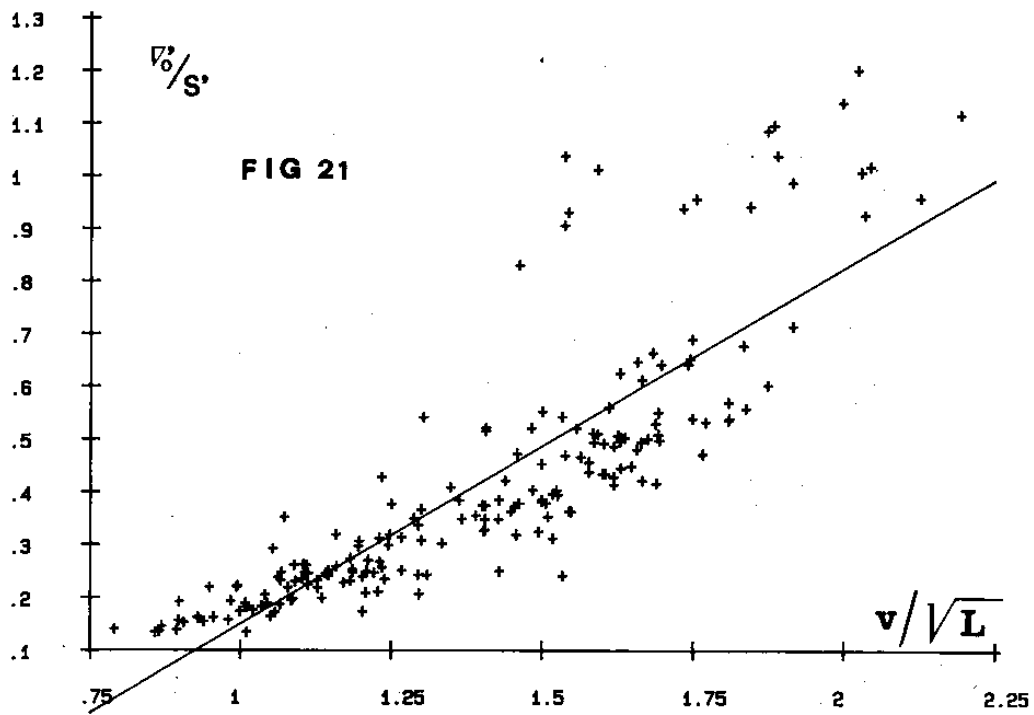
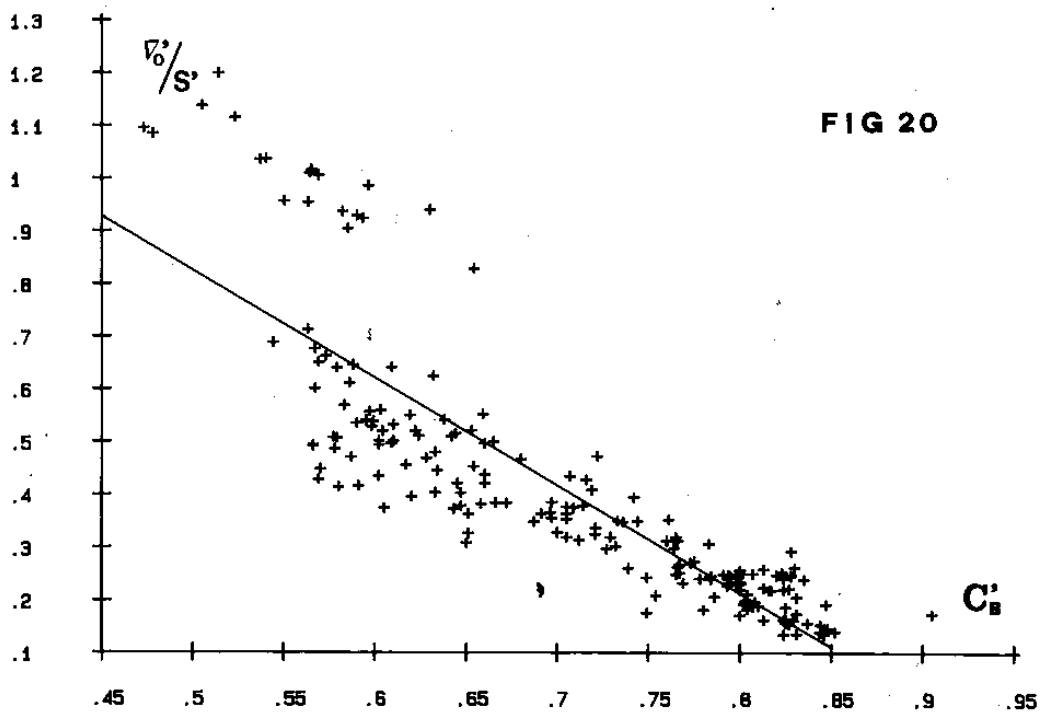


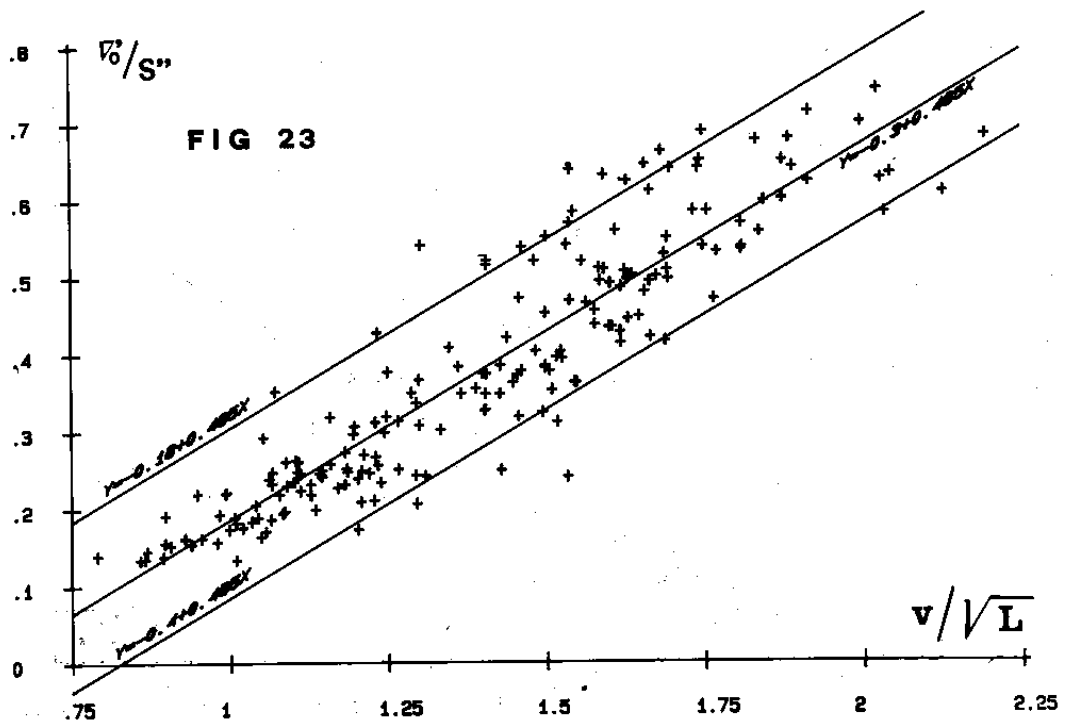
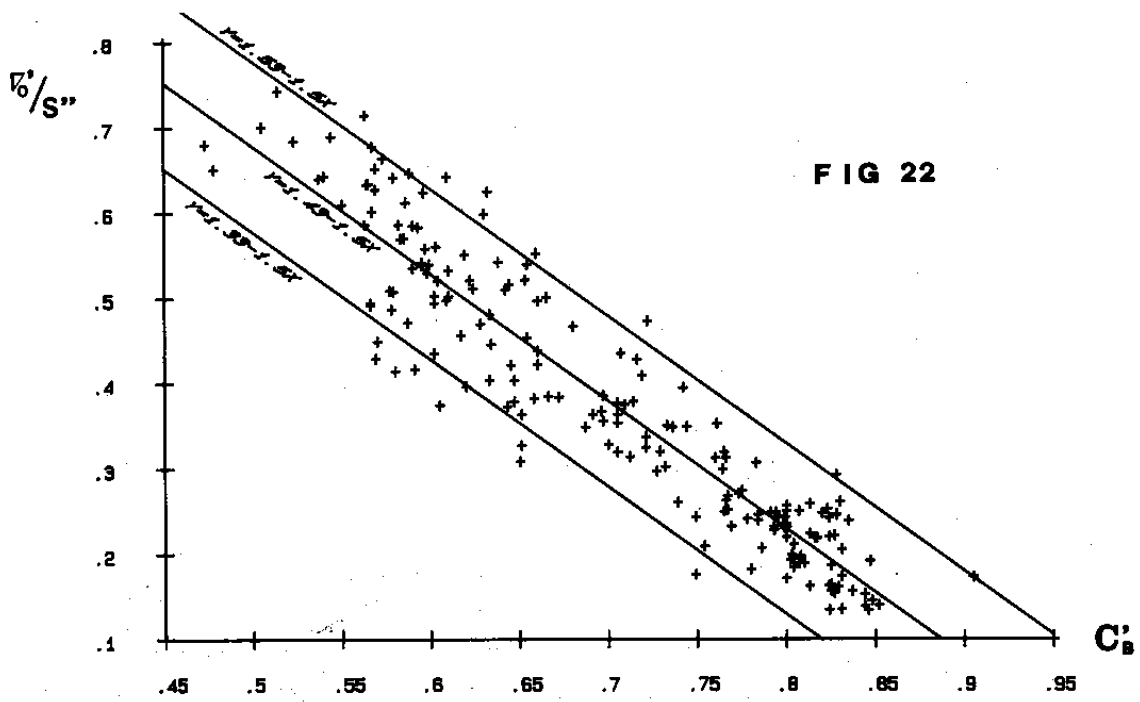


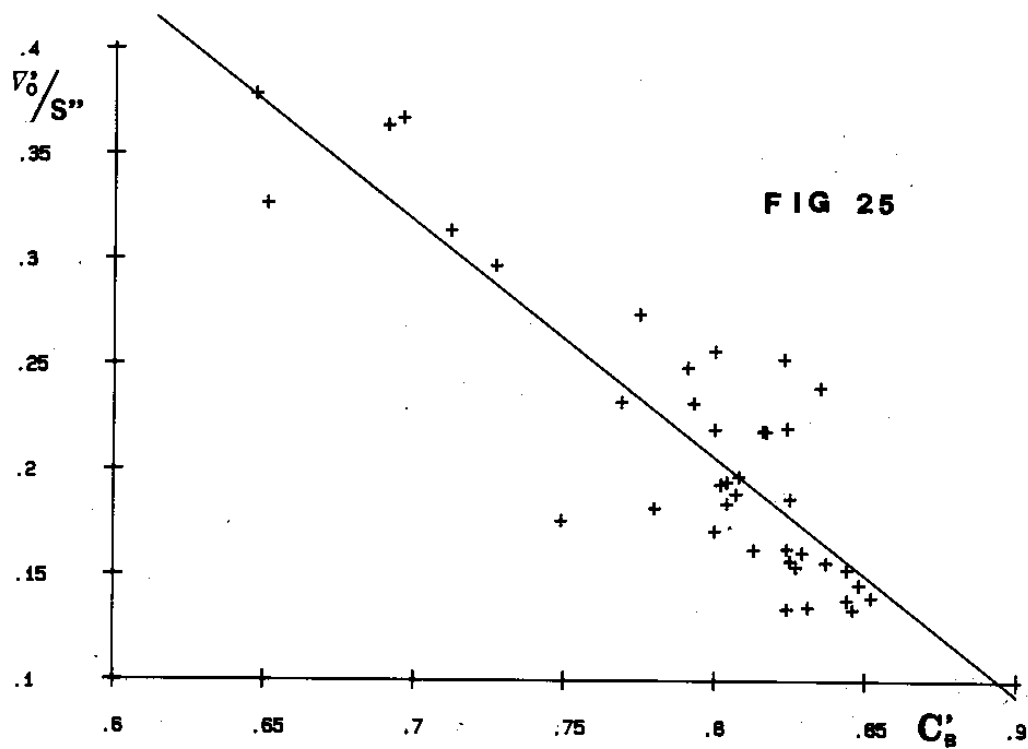
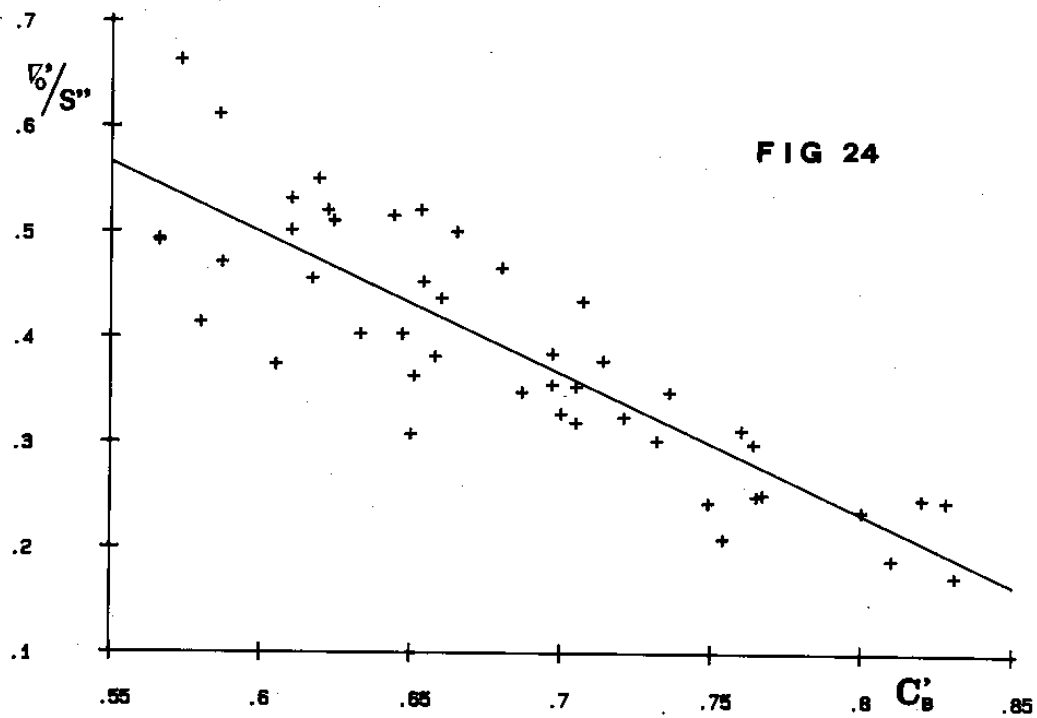


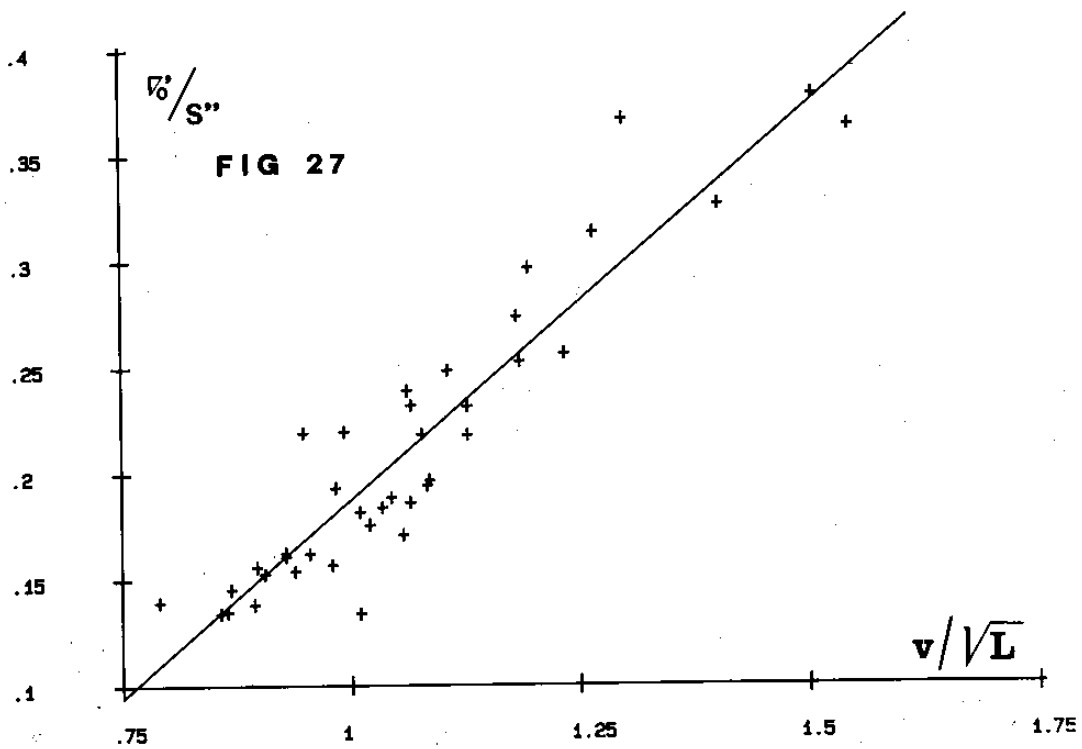
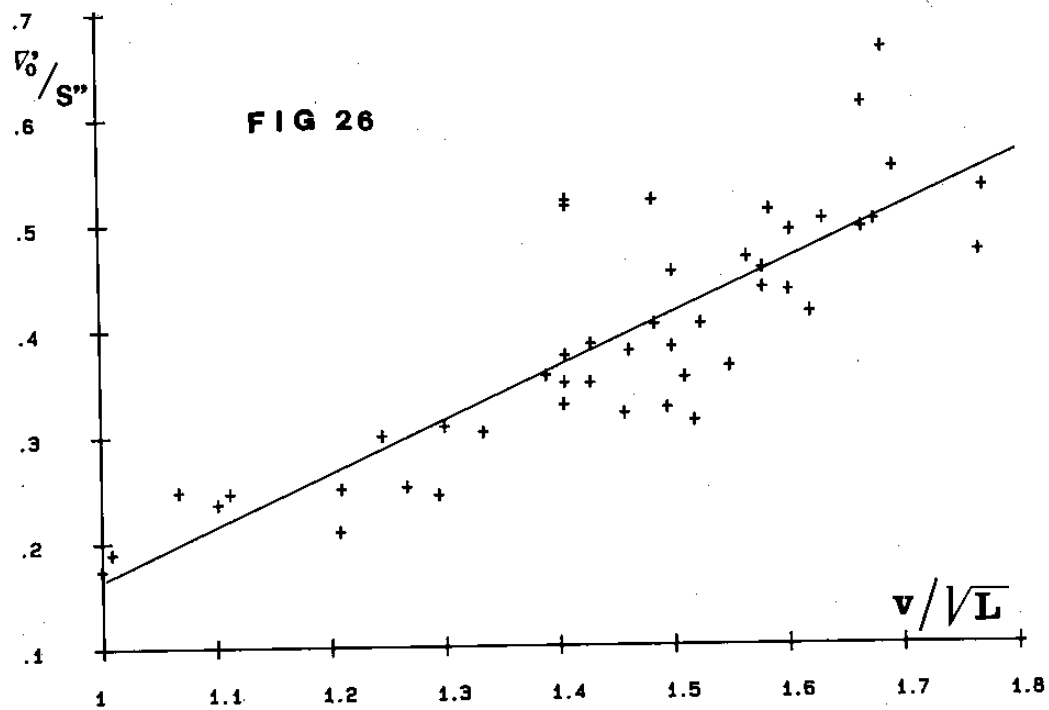












per le rette delimitanti la fascia

$$\nabla'_{10}/S'' = 1.53 - 1.495 C'_B$$

$$\nabla'_{10}/S'' = 1.33 - 1.495 C'_B$$

ove l'impostazione è analoga a quella delle (9).

Il valore di erre quadro è in tal caso:

$$r^2 = 0.873 \quad (29)$$

Analogamente la figura 23 si riferisce alla regressione dei punti $\nabla'_{10}/S'' = f(V/\sqrt{L})$ e fornisce le equazioni:

per la retta di regressione

$$\nabla'_{10}/S'' = -0.298 + 0.485 V/\sqrt{L}$$

per le rette delimitanti la fascia

$$\nabla'_{10}/S'' = -0.18 + 0.485 V/\sqrt{L}$$

$$\nabla'_{10}/S'' = -0.4 + 0.485 V/\sqrt{L}$$

$$\text{con: } r^2 = 0.836 \quad (31)$$

valore anch'esso piuttosto alto.

Naturalmente, l'uso delle (28) e (30) (che costituiscono quanto di meglio gli autori riescono a proporre sulla base del campione analizzato) è possibile in uno stadio del progetto più avanzato, quando cioè siano note le grandezze B, D ed L oppure, quanto meno, quando sia possibile una valutazione sufficientemente approssimata dei valori che si presume assumeranno queste variabili.

La particolarizzazione delle formule relative alla superficie per tipo di nave

Valgono per questo capitolo le stesse considerazioni fatte precedentemente per cui vengono proposte le formule di ∇'_{10}/S'' relative alle sole CARGO ed alle sole TANKER. Le espressioni in tabella 3 si riferiscono alle figure 24 e 25 (per entrambe le categorie in funzione di C'_B) ed alle 26 e 27 (in funzione di V/\sqrt{L}).

Tabella 3

Tipo	Var	Equazione	r ²	Fig.
CARGO	C' _B	Y = 1.3 - 1.35 X	.737	24
	V/√L	Y = -.337 + .501 X	.716	26
TANKER	C' _B	Y = 1.10 - 1.12 X	.754	25
	V/√L	Y = -.184 + .372 X	.868	27

N.B. Nel presente lavoro le grandezze date sono espresse nelle seguenti unità di misura:

v	kn
L,B,D,T	m
S	m ²
P	CV
∇ ₀ , ∇ ₁ , D ₁	T

Antonio Paolola
F. Quaranta