

Si possono ottenere così i valori modello $\eta_{int} = H_i / H_{TM}$ e nave $\eta_{INT} = H_i / H_{TS}$ del rendimento interno o idraulico e, infine, le previsioni al vero della potenza sviluppata $P_{DS} = \rho_S \cdot g \cdot Q_S \cdot H_{TS} / \eta_{PS}$, del rendimento propulsivo globale $\eta_{DS} = R_{TS} \cdot V_S / P_{DS}$ e del rendimento degli idrogetti $\eta_{WJ} = \eta_{DS} / \eta_{HS}$.

L'analisi propulsiva modello e nave è in corso e le previsioni propulsive nave saranno anche poste a confronto con quelle della *metodologia globale*, di cui al paragrafo successivo.

2.1.3.3 Approccio alternativo con metodologia globale

Nell'ambito della *metodologia globale* alternativa, dettagliatamente descritta in [1] e [2], si è resa necessaria, durante le citate prove di autopropulsione *all'inglese*, anche la misura diretta della spinta degli idrogetti, montati su una slitta mobile che scontra su una cella di misura della spinta complessiva fissata a un telaio metallico solidale al fondo del modello di carena. Particolare cura è stata posta nella realizzazione della tenuta stagna intorno alle prese dinamiche e nella taratura in aria dell'insieme slitta-trasduttore.

Per l'analisi dei risultati modello, si è resa, intanto, necessaria l'acquisizione dei dati sotto forma di campioni temporali istantanei e si renderà necessaria, nel proseguimento della ricerca, la determinazione, a mezzo di specifico *software* da sviluppare *ad hoc*, di *virtuali stati stazionari* corrispondenti ai dati modello misurati.

Anche per l'analisi e la previsione delle prestazioni propulsive al vero si dovrà sviluppare uno specifico programma *software*.

2.1.4 Collaborazioni

Nell'ambito del programma di attività indicato in precedenza sono stati attivati specifici rapporti di collaborazione e consulenza scientifica con l'ing. Giovanni Venturini, mediante convenzione Cod. 97/NR stipulata con detto professionista in data 29 Dicembre 1993.

A titolo non oneroso, hanno collaborato all'attività del presente progetto di ricerca anche il Ministero Difesa-Marina e la Fincantieri - Divisione Costruzioni Militari di Genova.

2.1.5 Stato di avanzamento e tempi di ultimazione

Lo sviluppo del programma di attività della ricerca ha raggiunto alla data del 31 Dicembre 1993 lo stato di avanzamento globale del 60% circa. In conseguenza della richiamata mancata possibilità di realizzare il modello in versione propulsiva mista, il suddetto programma di attività, alla data del 31 Marzo 1994, raggiungerà lo stato di avanzamento dell'80%.

2.1.6 Costi sostenuti

La situazione contabile relativa al PROGETTO N° 2.1, aggiornata al 31 Dicembre 1993, è riportata nell'ALLEGATO 3.

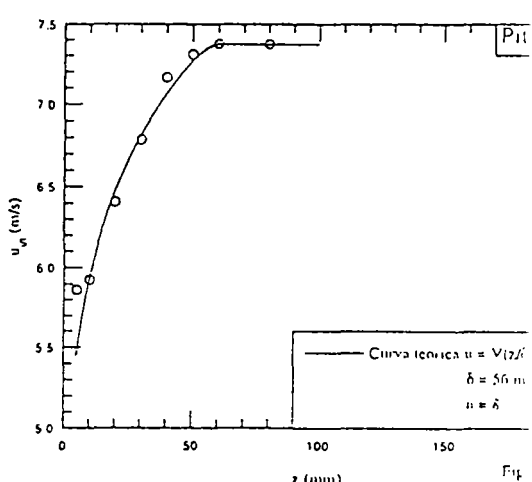
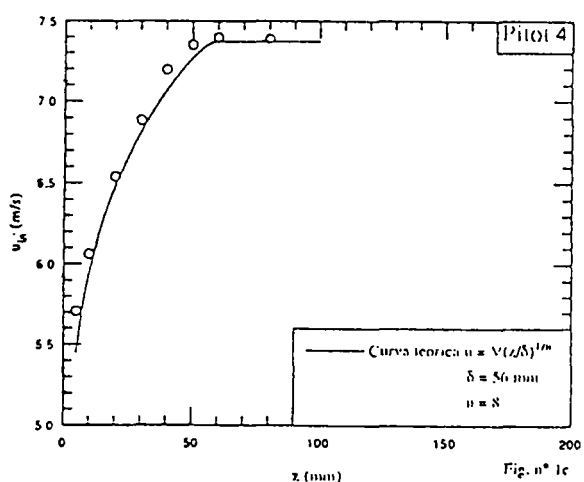
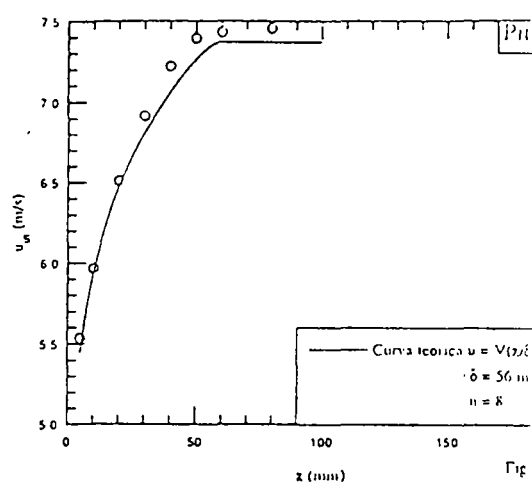
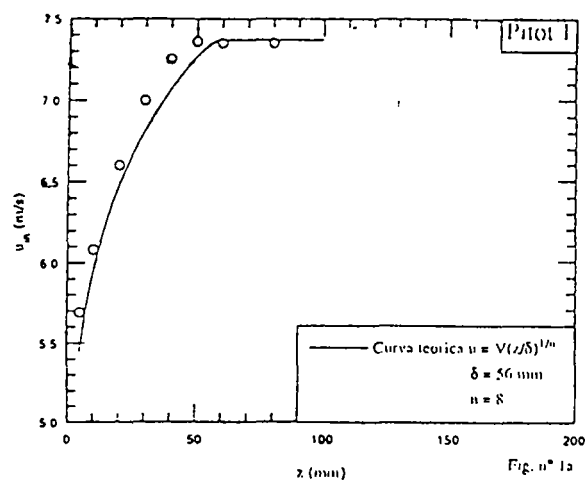


Fig. n° 1 - Velocità dello strato limite modello a monte presa dinamica a 40 nodi

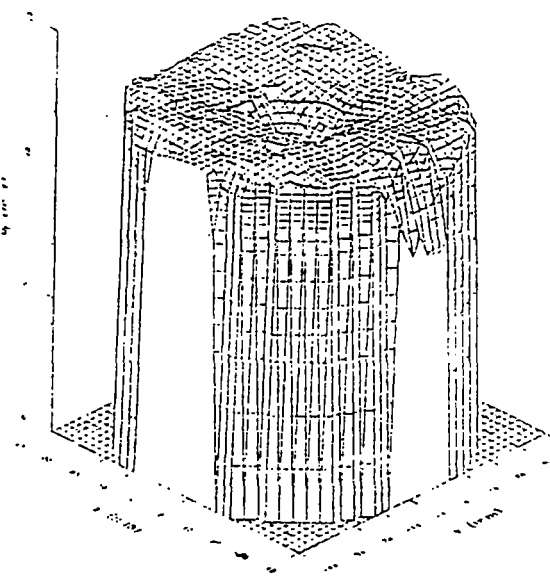
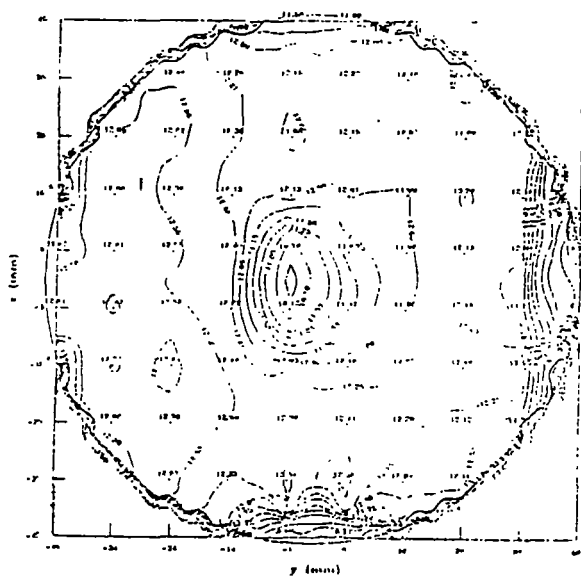


Fig. 2b - velocità del getto a 40 nodi e N 30.75 g/s

Fig. n° 2 - Velocità del getto a 40 nodi e 30.75 giri/sec

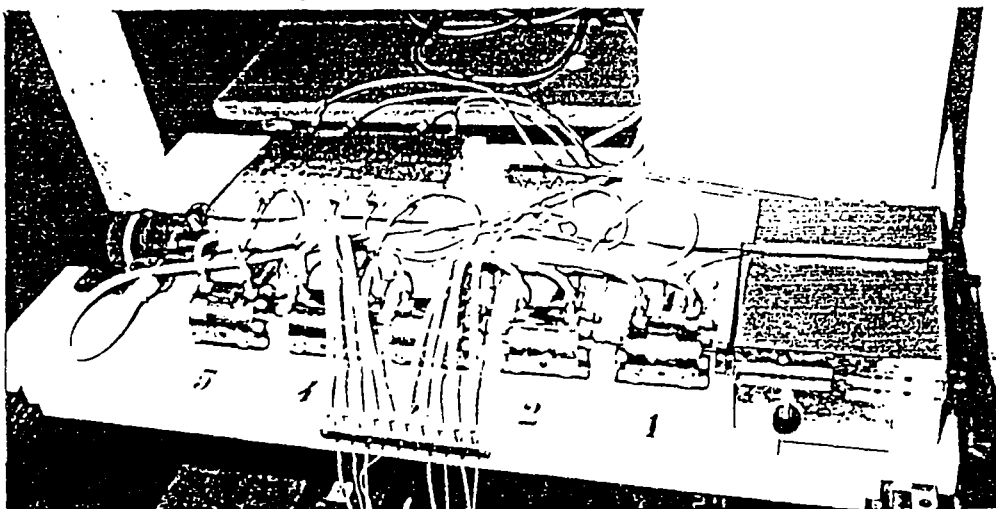


Foto n.1 - TRASDUTTORI PITOT-PRANDTL PER LA MISURA DELLO STRATO LIMITE PRESA DINAMICA



Foto n.2 - RASTRELLO DI TUBI PITOT PER LA MISURA DELLE VELOCITA' DEL GETTO



Foto n.3 - PROVA DI AUTOPROPULSIONE A 40 NODI

2.2 PROGETTO DI RICERCA N° 2.2:

INFLUENZA DEL BULBO PRODIERO E DELL'ASSETTO NAVE SULLE PRESTAZIONI PROPULSIVE

2.2.1 Obiettivi

La ricerca si propone di valutare l'influenza della variazione sistematica dei parametri geometrici e dimensionali di definizione del bulbo prodiero e dell'assetto nave sulle prestazioni propulsive, con l'obiettivo di:

- dedurre criteri guida per l'ottimizzazione delle forme del bulbo in fase di progetto, attraverso l'analisi dei dati sperimentali relativi ad una moderna carena per navi portacontenitori;
- indicare *trends* progettuali di ottimizzazione delle prestazioni attraverso l'analisi dei dati relativi a quattro carene tipo provate in diverse condizioni di carico e di assetto.

2.2.2 Programma di Attività

Le analisi vanno condotte con il ricorso alla *metodologia regressiva*, intesa anche come un tutto integrato mirante a ricavare dai dati sperimentali e dalla geometria della carena, attraverso nuovi criteri e nuovi *costrutti* desumibili dallo *screening spaziale* del piano di costruzione, sotto forma di equazioni che consentano previsioni affidabili e precise.

Concorrono allo sviluppo del programma di attività i dati relativi alle indagini sulle forme del bulbo prodiero della carena C. 2051 (serie 42 ÷ 60) e, per la parte relativa alle indagini sull'influenza dell'assetto, quelli relativi alle carene C. 2036 - C. 2047 - C. 2101 e C. 2122.

In relazione a tali presupposti, il programma di attività della ricerca, commisurato al finanziamento assegnato di lire 220 milioni, è stato articolato nelle seguenti fasi:

- FASE 1: indagine bibliografica;
- FASE 2: verifica della idoneità dell'approccio regressivo;
- FASE 3: trasferimento dei dati sperimentali dal supporto cartaceo a quello magnetico ed analogo trasferimento dei piani di costruzione delle carene prese in conto;
- FASE 4: sviluppo di *software* applicativo idoneo allo *screening spaziale* automatico;
- FASE 5: analisi di *statistica descrittiva e regressiva* mirate a determinare *equazioni regressive* per la previsione delle prestazioni propulsive;
- FASE 6: individuazione di *trends* utili nelle fasi preliminari del progetto;
- FASE 7: diffusione delle informazioni.

2.2.3 Attività svolta

Lo svolgimento del programma di attività indicato al punto 2.2.2 precedente ha avuto concreto inizio il 19 Marzo 1991 (cfr. O.d.G. N° 4662 in pari data, relativo al conferimento degli incarichi di "Direzione di Progetto" del Programma Ricerche INSEAN in argomento) ed ha finora interessato, relativamente all'indagine sull'effetto del bulbo di prora, in modo esauriente le fasi del programma stesso e, relativamente all'indagine sull'effetto dell'assetto, in modo esauriente le fasi 1 e 2 ma solo parzialmente le fasi da 3 a 7.

L'attività svolta è documentata nel seguente lavoro:

- [1] R. ROCCHI, "Bow Bulb Form and Delivered Power Reduction: a Recent Experience with a New Pc-Interactive Procedure as Applied in the Optimization Design Process of the Bulbous Bow of a 2500 Teu Container Ship", Simposio NEVA'93, San Pietroburgo, Settembre 1993.

In base ai risultati delle fasi 1, 2 e 3 del programma di attività, è stato parzialmente esteso il gruppo dei dati originari al fine di offrire un più ampio campo di applicabilità dei risultati.

L'occasione di poter disporre di una messe omogenea di dati ha consentito di arricchire parzialmente gli *outputs* del progetto di ricerca con costi contenuti, dando nel contempo la possibilità di un contributo nuovo ed importante nel confronto dell'ottimizzazione di un progetto in termini di resistenza con quella in termini di potenza e fattori della propulsione.

A tal fine, si è ampliato il campo dei valori dei coefficienti CB da $.56 \div .63$ a $.54 \div .68$ ed LV da $5.6 \div 6.97$ a $5.25 \div 7.05$, considerando anche i dati delle serie di rimorchio e di autopropulsione delle carene C. 2123, C. 2116, C. 2041, C. 2065, C. 2077, C. 2015, C. 1974, C. 1964, C. 1958, C. 1917 e C. 1616.

2.2.3.1 Analisi delle Prestazioni al variare delle forme del bulbo prodiero

Le analisi eseguite ricorrendo allo *screening spaziale* sul campione di dati relativo alle prove di autopropulsione della carena C. 2051 (serie 42 $\div$ 60), hanno dimostrato l'idoneità dell'approccio regressivo nell'individuazione delle relazioni esistenti tra variazioni delle forme di bulbo prodiero e corrispondenti variazioni di prestazioni.

Così come stabilito negli obiettivi del presente progetto di ricerca, dai risultati conseguiti si possono derivare strumenti per l'individuazione di *trends*. Gli stessi modelli regressivi consentono di individuare linee di variazione *crescenti* e *decrescenti* in corrispondenza di variazioni definite di specifiche variabili di forma desunte direttamente dal piano di costruzione.

Le analisi condotte hanno consentito di ricavare un'equazione regressiva per ogni velocità, con errori di stima tanto contenuti da consentire di instaurare una *graduatoria di merito* tra le diverse forme di bulbo che individua, senza errore, le tre configurazioni di bulbi che richiedono minor P_D ed i tre bulbi che richiedono la P_D più elevata. Nelle figure 1, 2 e 3 sono mostrati i dati relativi alle configurazioni peggiori (bulbi 1 e 5) e migliori (bulbo 18).

In sintesi, i *coefficienti di determinazione* CD delle equazioni di regressione e gli errori di stima di P_D assumono, in funzione della velocità, i valori della seguente tabella:

Velocità (nodi)	19	20	20.5	21	22	23
CD	0.964	0.982	0.995	0.965	0.887	0.964
Errore % Max / Min su P_D	-1.4 / + 0.86	-0.7 / +1.13	-0.4 / + 0.65	-1.7 / + 1.40	-2.1 / +2.35	-2.3 / + 1.75

2.2.3.1.1 Successive Implementazioni

Dopo aver proceduto all'acquisizione della geometria delle carene secondo la procedura di digitizzazione sotto ambiente *AUTOCAD*, il contributo di ulteriori variabili dedotte da uno *screening* più completo hanno consentito di ridurre ulteriormente gli scarti delle stime: alla velocità di 23 nodi, ad esempio, gli errori delle stime sono passati da un massimo del 2.3% (cfr. tabella precedente) ad un massimo dello 0.65%.

Particolare attenzione è stata dedicata al contributo della influenza dell'*assetto in corsa* e del *sinkage*, che comportano variazioni significative dei *diagrammi delle aree* e delle *figura di galleggiamento* (cfr. figura 4).

I risultati della attività svolta sono stati presentati in [1].

2.2.3.2 Analisi delle Prestazioni al variare dell'assetto

2.2.3.2.1 Campioni di Dati ed Analisi svolte

In base al programma di attività, sono state considerate, complessivamente, 60 serie sperimentali di autopropulsione eseguite sui modelli di carene C. 2036, C. 2047, C. 2101 e C. 2122, come risulta dalla seguente tabella:

CARENA	SERIE DI AP	CONFIGURAZIONE DELLA CARENA SECONDO MODIFICHE
C. 2036	53 ÷ 68	2 - 3 - 4 - 6 - 11 - 12 - 13
C. 2047	40 ÷ 55	1 - 2 - 5 - 8 - 9 - 10
C. 2101	30 ÷ 41	2 - 3 - 4 - 5 - 7
C. 2122	7 ÷ 22	nessuna

I dati dimensionali tipici della carena e dell'elica e quelli delle condizioni sperimentali, nonché i valori VM, TM, QM ed NM sono stati trasferiti dal supporto cartaceo ad un opportuno archivio magnetico allo scopo di poter impostare analisi preliminari di *statistica descrittiva* ed organizzare in modo idoneo gli *outputs* di elaborazione secondo procedure di calcolo che consentono di derivare variabili indipendenti per il criterio di potenza, o per le altre variabili da stimare, più mirate al tipo di prestazioni idrodinamiche (resistenza, potenza, fattori propulsivi, scia, ecc.) che si vogliono indagare.

Un'idea generale delle carene considerate si ha dalla seguente tabella:

CARENA	LPP	BWL	SCALA	ΔT	DISLOCAMENTO	SUPERFICIE BAGNATA
	<i>m</i>	<i>m</i>	-	<i>m</i>	<i>l</i>	<i>m</i> ²
C. 2036	192	32.25	42	1 / 3	31700 / 41300	6819 / 8655
C. 2047	174	30.50	34	1 / 2	24770 / 38240	5709 / 7342
C. 2101	149	26.20	26	1 / 3	16600 / 22900	4299 / 5294
C. 2122	217	32.25	31.9	1 / 3	31230 / 56950	6844 / 9668

Le analisi condotte ricorrendo a parametri e coefficienti di forma classici mostrano che, anche se questi ultimi conducono a *modelli regressivi* accettabili per gruppi di dati di una stessa carena, si conseguono buone rappresentazioni matematiche per tutte le carene di una stessa tipologia, con modelli in cui figurano altre variabili di forma quali DIAMTAF, DIAMLOS, DELTAT, LV, TV, CB.

Nel caso di raggruppamento di dati in campioni via via più numerosi e, quindi, più validi dal punto di vista applicativo, dette analisi non consentono, tuttavia, di conseguire modelli dello stesso grado di bontà. In questi casi i modelli non hanno consentito di ottenere stime con scarti massimi inferiori al 5%, come per il campione N = 48 alla velocità di 19 nodi.

Si nota che variabili di semplice determinazione, quali DELTAT, DIAMBT e DIAMTAF sono risultate idonee a correlare il variare della P_D al variare delle condizioni di carico.

Qui di seguito si riportano le percentuali degli scarti delle stime per i tre modelli considerati; le principali statistiche del modello MOD XC. sono riportate nella terza riga (per valore K=2).

MODELLO	% ERRORI < 1%	% ERRORI > 2%
XA	13 / 16	1 / 16
XB	16 / 16	0 / 16
XC	3 / 16	4 / 16

2.2.3.2.2 I Trends Progettuali di Ottimizzazione

Per quanto riguarda la possibilità di offrire uno strumento che consenta, per una carena della tipologia *portacontainer*, di valutare le prestazioni in termini di P_D al variare della condizione di carico, si è tentato di dedurre *modelli regressivi* da una casistica più ampia, costituita da dati relativi a sole indagini sperimentali di *ottimizzazione di assetto*. Si sono considerati i campioni dei dati relativi alle carene C. 2036, C. 2047, C. 2122 e C. 2101 presi a parità di velocità nave.

Le analisi condotte su un campione di 44 casi comprendente i risultati delle carene C. 2036, C. 2101 e C. 2047, alla velocità di 16 nodi, indicano, come variabili molto correlate alla P_D , il rapporto diametro/immersione, la lunghezza bagnata totale, TV, CB, BT, l'immersione addietro, il rapporto diametro/B-T ed il coefficiente SV: il modello regressivo consente stime sul campione affette da errori percentuali non superiori al 4.5%.

Questo risultato è certamente accettabile, ma non ancora di piena soddisfazione se si tiene conto che le variazioni di potenza per 16 condizioni relative ad una sola carena, con dislocamento variabile entro un 80%, è intorno al 35%, mentre per un solo dislocamento la variazione di potenza dovuta alla variazione di assetto è contenuta entro il 14 ÷ 18%, ai dislocamenti intermedi, ed entro il 9 ÷ 12%, per i valori estremi di massimo carico e di zavorra.

2.2.3.2.3 Il Contributo dei Costrutti derivati dallo "screening" del "bopy plan" nel caso delle Analisi dei dati in Assetto

In analogia ai risultati conseguiti nelle analisi dei dati relativi all'indagine svolta sui bulbi di prua, si è impostato uno studio mirante alla verifica dell'idoneità di variabili deducibili dallo *screening spaziale* anche nel caso delle indagini in *assetto variabile*.

Per poter conseguire le variabili di *screening* si è dovuto procedere in via preliminare all'acquisizione, al momento non completata, dei piani di costruzione e poi al suo aggiornamento con le varie modifiche successivamente apportategli.

Questa fase dello svolgimento della ricerca, del tutto impreveduta in sede di stesura del programma dettagliato, si è dimostrata la più ardua in quanto le tavole relative alle modifiche di carena sono separate dai piani di costruzione originali: d'altra parte la determinazione di parametri quali CW, LCF ed LCB con le consuete tecniche grafico-analitiche avrebbe rappresentato uno scoglio temporale insormontabile nel prosieguo dello sviluppo della ricerca.

Il ricorso alle risorse informatiche già disponibili presso l'INSEAN (*tavolo a digitare* e *software AUTOCAD*) ha consentito, al momento solo parzialmente, di acquisire le varie tavole in maniera tale da poterle elaborare sia in *formato DWG*, sia in *formato DXF*.

In questa fase di attività si sono trasferiti dal supporto cartaceo a quello magnetico i piani verticali e i profili longitudinali delle quattro carene C. 2036, C. 2047, C. 2101 e C. 2122 nelle configurazioni originali considerate per lo svolgimento del progetto, per complessivi 4 piani di costruzione completi. Sono stati determinati, inoltre, con procedura tradizionale i diagrammi delle aree e le figure di galleggiamento di un cospicuo numero di condizioni di carico: in particolare, 16 condizioni di carico della C. 2047, al fine di poter controllare l'idoneità delle implementande procedure informatizzate.

Per le carene C. 2051, C. 2047, C2065 e C. 2015 si è fatta, all'interno dell'INSEAN, l'acquisizione *via digitiser*. Al fine di verificare l'idoneità di strumenti quali gli *scanner a grande formato* ed i relativi prodotti *software* per la *vettorializzazione* delle immagini acquisite (*rasterizzate* in *formato PCX*), si è verificato la fattibilità della collaborazione di una ditta esterna al fine di conseguire in questo modo le necessarie informazioni in tempi molto più ridotti.

2.2.4 Collaborazioni

Nell'ambito del programma di attività indicato in precedenza sono stati attivati specifici rapporti di collaborazione, a titolo non oneroso, con la Fincantieri - Divisione Costruzioni Mercantili di Trieste, che ha gentilmente reso disponibili i dati relativi alle carene C. 2036, C. 2047, C. 2101 e C. 2122.

2.2.5. Stato di avanzamento e tempi di ultimazione

Lo sviluppo del programma di attività della ricerca ha raggiunto alla data del 31 Dicembre 1993 lo stato di avanzamento globale del 75%. Questo progetto sarà terminato entro il 31 Marzo 1994.

2.2.6 Costi sostenuti

La situazione contabile relativa al PROGETTO N° 2.2, aggiornata al 31 Dicembre 1993, è riportata nell'ALLEGATO 3.

XIII LEGISLATURA - DISEGNI DI LEGGE E RELAZIONI - DOCUMENTI

C-205142 DOW BULB II. 1

Experimental curve..... Solid line

Predicted curve

by SJ-ER/124 method .. Dashed line

VS = 19.0 Knots .. % error = - 0.09

VS = 20.0 " .. % " = - 0.17

VS = 20.5 " .. % " = - 0.11

VS = 21.0 " .. % " = - 0.40

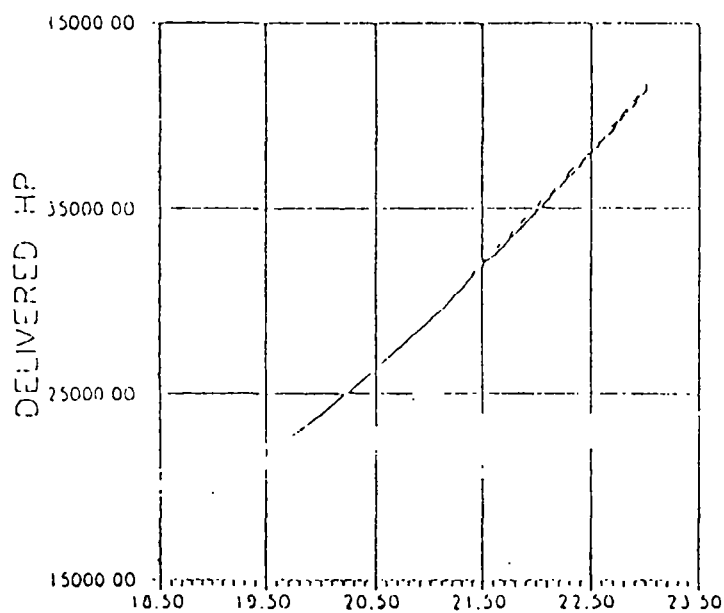
VS = 22.0 " .. % " = - 0.08

VS = 23.0 " .. % " = - 0.60

I I S E A II

1988-90 Research Program

Research Project II 22

DOW-BULB & TRIM INFLUENCE ON
DELIVERED POWER PERFORMANCE
Container Ships Data

rr. FIGURE N. 1

DELIVERED HP VALUES

Speed (Knots)	Test data	Predicted
19.0	19725	19707
20.0	23954	23912
20.5	26353	26323
21.0	28952	29067
22.0	34773	34802
23.0	41435	41684

DOW - BULB KRACHES COEFFICIENTS

CDD CLPR C2D C4D1 C4D2 C4D3

11.2 3.6 40.1 7.84 17.0 2.83

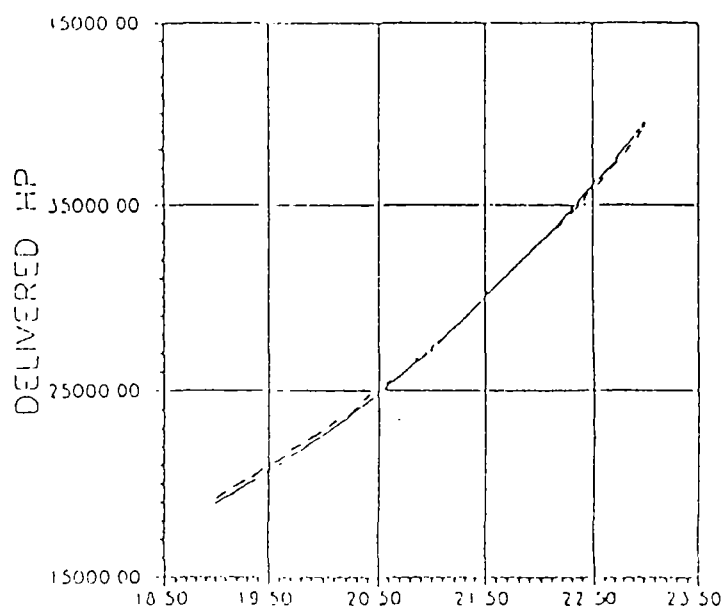
XIII LEGISLATURA - DISEGNI DI LEGGE E RELAZIONI - DOCUMENTI

C-2051.46 BOW BULB N. 5
 Experimental curve..... Solid Line
 Predicted curve
 by SJ-ER/124 method.....Dashed Line
 VS = 19.0 Knots error = + 0.11
 VS = 20.0 " " = + 0.06
 VS = 20.5 " " = + 0.09
 VS = 21.0 " " = - 0.71
 VS = 22.0 " " = + 0.03
 VS = 23.0 " " = - 0.59

I. N. S. E. A. N

1988-90 Research Program
 Research Project N. 22

BOW-BULBS & TRIM INFLUENCE ON
 DELIVERED POWER PERFORMANCE
 Container Ship's Data



rr. FIGURE N.2

DELIVERED HP VALUES

Speed (Knots)	Test data	Predicted
19.0	18919	18940
20.0	22661	22673
20.5	24878	24901
21.0	27313	27110
22.0	32987	32996
23.0	39493	39261

BOW - BULB KRACHTS COEFFICIENTS

CBB	CLPR	CZB	CAD1	CADL	CVPR
18.8	3.0	51.4	11.61	12.1	3.88

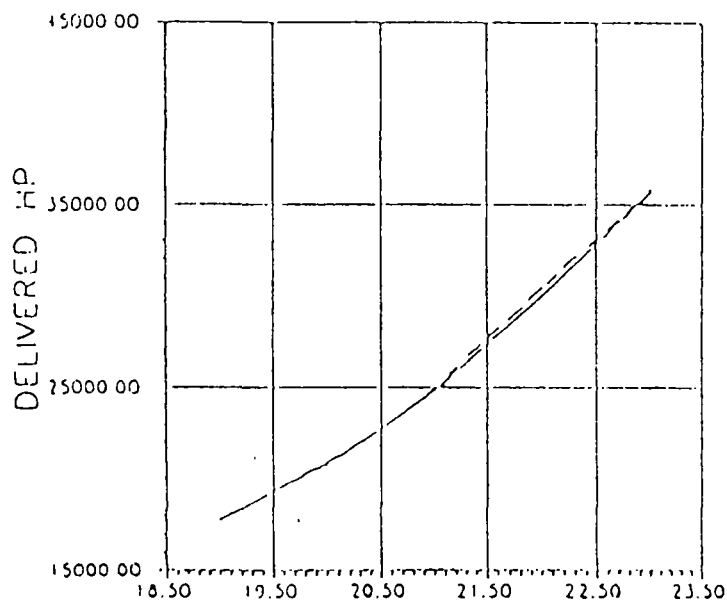
XIII LEGISLATURA - DISEGNI DI LEGGE E RELAZIONI - DOCUMENTI

C-2051.59 BOW BULB H. 10
 Experimental curve.....Solid line
 Predicted curve
 by SJ-ER/124 method.....Dashed line
 VS = 19.0 Knots ..% error = 1 0.50
 VS = 20.0 " " " = - 0.73
 VS = 20.5 " " " = - 0.06
 VS = 21.0 " " " = 1 0.43
 VS = 22.0 " " " = 1 1.66
 VS = 23.0 " " " = 1 0.29

I. H. S. E. A. II

1988-90 Research Program
 Research Project N. 2.2

BOW-BULBS & TRIM INFLUENCE ON
 DELIVERED POWER PERFORMANCE
 Container Ship's Data



DELIVERED H.P. VALUES

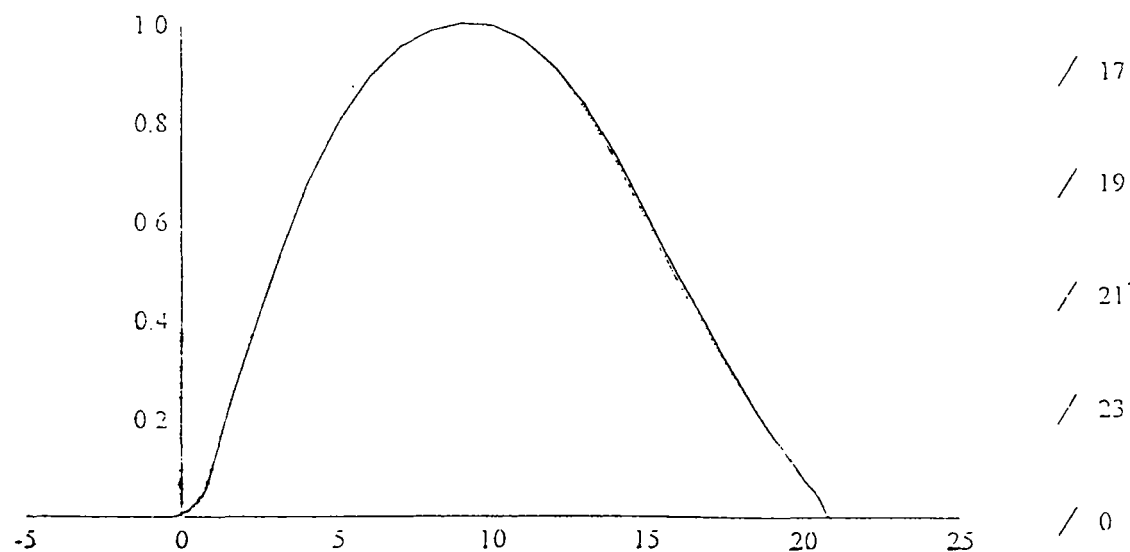
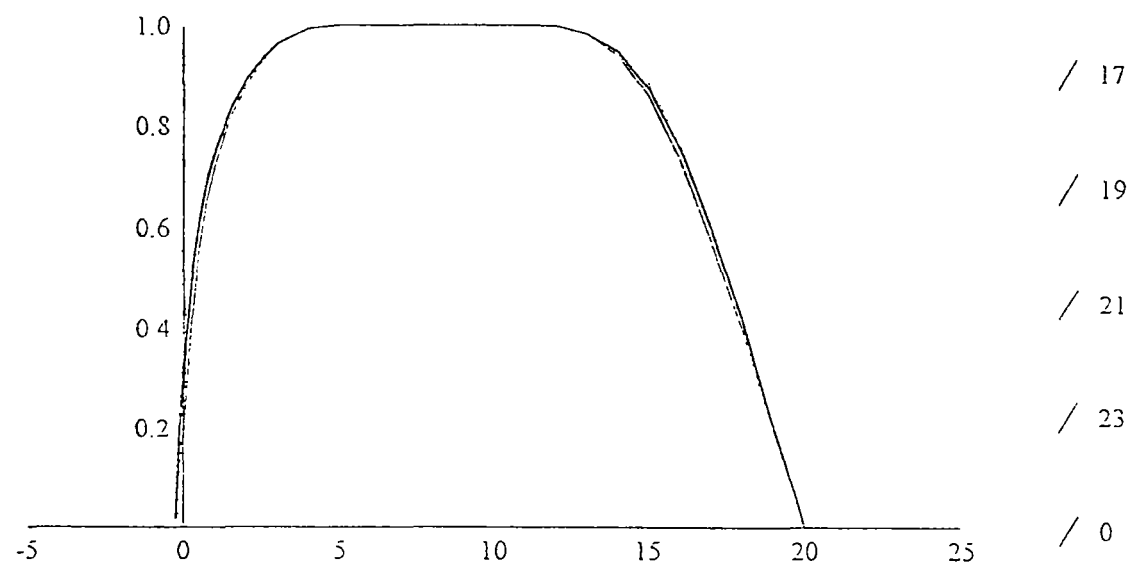
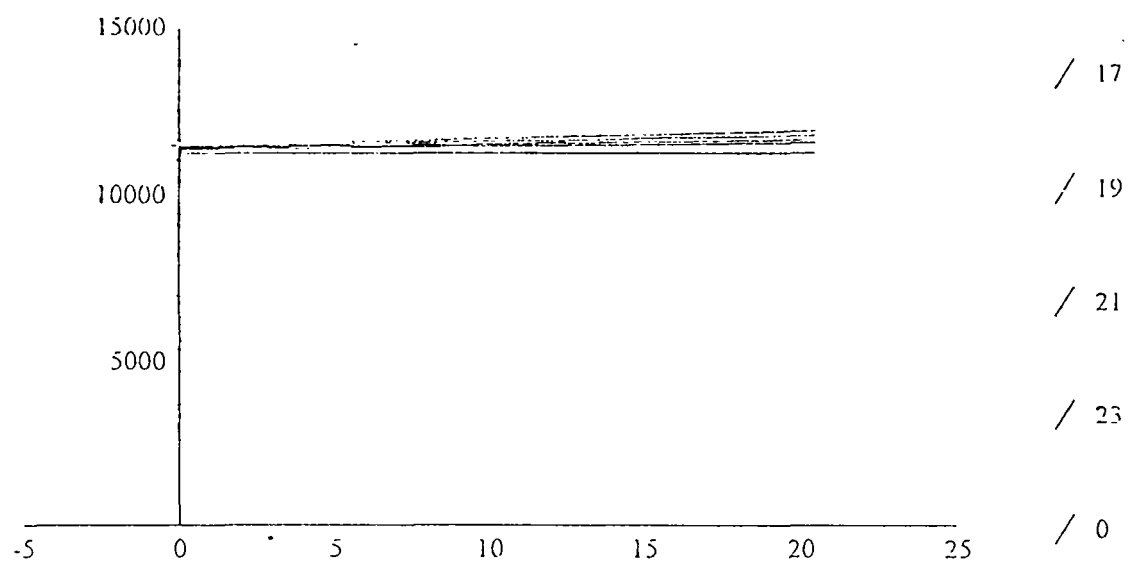
Speed (Knots)	Test data	Predicted
19.0	17732	17836
20.0	20903	20751
20.5	22754	22740
21.0	24879	24986
22.0	29889	30386
23.0	35733	35838

BOW - BULB KRACHITS COEFFICIENTS

COB	CLPR	CZB	CAD1	CABL	CYPR
19.7	4.5	67.1	12.35	19.5	5.86

FIGURE N. 3

XIII LEGISLATURA - DISEGNI DI LEGGE E RELAZIONI - DOCUMENTI



Ai - 51s42

FIG. N. 4

2.3 PROGETTO DI RICERCA N° 2.3: ELICHE IN FLUSSO INCLINATO

2.3.1 Obiettivi

La ricerca si propone la conduzione di indagini sperimentali sistematiche che consentano, entro limiti accettabili di affidabilità, di prevedere le variazioni, a flusso inclinato, dei principali parametri caratteristici del funzionamento dell'elica al limite di cavitazione, con l'obiettivo di pervenire a formulazioni matematiche delle variazioni delle prestazioni in funzione dei parametri geometrici e cinematici dell'elica.

2.3.2 Programma di Attività

La ricerca si colloca nel filone di attività scientifica sulle eliche svolta dal *Dipartimento di Ingegneria Navale (DIN)* dell'Università di Napoli, che ha reso disponibili, tra l'altro, i dati sperimentali modello d. una serie sistematica di 21 eliche subcavitanti a 3 pale, provate presso il *LEIN (Laboratorio d'Esperienze Idrodinamiche di Napoli)*, con una speciale apparecchiatura *Kempf&Remmers* per prove di elica isolata, a 5 valori dell'angolo di inclinazione dell'asse ($0^\circ - 5^\circ - 10^\circ - 15^\circ - 20^\circ$) ed al limite di cavitazione (indice di cavitazione atmosferico).

L'indagine della presente ricerca è rivolta, perciò, a una serie di eliche subcavitanti a 4 pale, selezionate, per ovvi limiti di costi e di tempi, fra i modelli di *eliche di stock* disponibili presso l'*INSEAN*.

I limiti di finanziamento non hanno permesso di inserire esplicitamente fra gli obiettivi della ricerca l'individuazione delle condizioni limite di *incipiente cavitazione*, che è uno degli aspetti fondamentali delle eliche subcavitanti operanti in flusso inclinato.

Ciononostante, è stata programmata anche l'estensione dell'indagine alle condizioni di *incipiente cavitazione*: in particolare si perverrà all'individuazione ed allo sviluppo di un modello matematico per la previsione del comportamento idrodinamico di un'elica in flusso inclinato ed in regime di cavitazione, sulla base di dati sperimentali acquisiti in flusso assiale ed in regime di cavitazione, e si testerà, se pur limitatamente a tre soli modelli di eliche, tale modello teorico con i risultati effettivamente acquisiti presso il *CEIMM*, in regime di cavitazione ed in flusso inclinato.

In relazione a tali presupposti, il programma di attività della ricerca, commisurato al finanziamento assegnato di lire 370 milioni, è stato articolato nelle seguenti fasi:

- 1) scelta di un adeguato campione di 20 eliche a 4 pale fra tutte quelle attualmente esistenti presso l'*INSEAN*;
- 2) elaborazione di una adeguata metodologia di prova in *Vasca* per eliche a 4 pale in flusso inclinato;
- 3) prove sperimentali di elica isolata presso la *Vasca LEIN* del *DIN* di 23 eliche (3 in più delle 20 inizialmente previste), ciascuna provata con tre angoli di inclinazione dell'asse (0° , 10° , 20°);
- 4) elaborazione dei risultati sperimentali di cui al punto precedente e loro analisi preliminare;

- 5) individuazione e sviluppo preliminari di un modello matematico per la previsione del comportamento idrodinamico al *limite di cavitazione* di un'elica a 4 pale in flusso inclinato;
- 6) scelta di un campione significativo di tre modelli di eliche da provare, presso il *tunnel di cavitazione* del CEIMM, in regime di cavitazione e a più angoli di inclinazione dell'asse;
- 7) elaborazione di una adeguata metodologia di prova al tunnel del CEIMM per le *prove di cavitazione* di cui al punto successivo;
- 8) rilievi sperimentali, al tunnel del CEIMM, dei *buckets di cavitazione*, a tre angoli di inclinazione dell'asse (0° , 10° , 20°), dei 3 modelli di eliche di cui al precedente punto 6), al fine di testare il modello teorico di previsione delle condizioni di *incipiente cavitazione* di cui al punto successivo;
- 9) sviluppo di un modello matematico per la previsione delle condizioni di *incipiente cavitazione* per eliche a 4 pale e in flusso inclinato, basato su dati, sperimentali o comunque noti, di *incipiente cavitazione* in flusso assiale.

Le fasi 6), 7), 8) e 9), non previste fra gli obiettivi iniziali, sono da considerare un utile ed interessante arricchimento del presente progetto di ricerca.

2.3.3 Attività svolta

Lo svolgimento del programma di attività indicato al paragrafo 2.3.2 precedente ha avuto concreto inizio il 19 Marzo 1991 (cfr. O.d.G. N° 4662 in pari data, relativo al conferimento degli incarichi di "Direzione di Progetto" del Programma Ricerche INSEAN in argomento) ed ha finora interessato in modo esauriente le fasi 1) ÷ 7) del programma stesso.

L'attività svolta è documentata nel seguente lavoro:

- [1] P. CASSELLA, L. IANNONE, "Consulenza e Collaborazione Operativa per un'Indagine Numerica Sperimentale sul Comportamento Idrodinamico di Eliche in Flusso Libero Non Assiale", Relazione e documentazione dell'attività svolta nel primo semestre, Dipartimento di Ingegneria Navale dell'Università di Napoli, Napoli, 1 Settembre 1993.

Dopo aver eseguito, per ciascuna elica del campione, le prove di elica isolata in flusso assiale, sono state ottenute, in funzione del coefficiente di avanzo J :

- le curve $K(J) = a_0 + a_1 \cdot J + a_2 \cdot J^2 + a_3 \cdot J^3 + a_4 \cdot J^4$ delle costanti di spinta T e di coppia Q , a mezzo di *regressione polinomiale del quarto ordine* applicata ai risultati sperimentali;
- le curve di rendimento calcolate con la formula $\eta_0(J) = (J/2\pi) \cdot (K_T/K_Q)$

Dopo aver eseguito, per ciascuna elica del campione, le prove di elica isolata in flusso inclinato, sono state ottenute, in funzione del coefficiente di avanzo J e dell'angolo di inclinazione dell'asse γ (cfr. figure 1 e 2):

- le curve $K(J, \gamma) = a_0 + a_1 \cdot J + a_2 \cdot J^2 + a_3 \cdot J^3 + a_4 \cdot J^4$ delle costanti di spinta T (nella direzione dell'asse elica), di coppia Q e di forza verticale F , a mezzo di *regressione polinomiale del quarto ordine* applicata, con γ costante, ai risultati sperimentali;

- le curve $K_{T0}(J, \gamma)$ delle costanti di spinta orizzontale T_0 , a mezzo della formula $K_{T0}(J, \gamma) = K_T(J, \gamma) \cos \gamma - K_P(J, \gamma) \sin \gamma$;
- le curve di rendimento calcolate con la formula $\eta_0(J, \gamma) = (J/2\pi) \cdot (K_{T0}/K_Q)$.

Risultando presumibilmente assai difficile l'individuazione di modelli deterministici validi per le funzioni regressive $K_{T0}(\phi, J, \gamma)$ e $K_Q(\phi, J, \gamma)$ di spinta orizzontale e coppia, l'analisi di regressione polinomiale sarà applicata alle corrispondenti funzioni differenza $\Delta K_{T0}(\phi, J, \gamma)$ e $\Delta K_Q(\phi, J, \gamma)$ fra flusso inclinato e flusso assiale.

Si utilizzerà la routine *RLSEP* della libreria *STAT* del *SAS SYSTEM* implementata su un computer *MicroVax II* della *DIGITAL*: essendo fortemente vincolate alla dimensione del campione sperimentale, le tecniche di ottimizzazione consentiranno considerazioni di carattere conclusivo soltanto su un campione sufficientemente ampio.

Essendo costante il numero $Z = 4$ di pale, la forma ϕ delle eliche è rappresentata solo dai rapporti passo/diametro P/D e area espansa/area disco A_E/A_0 .

Essendo ovviamente nulla la forza verticale in flusso assiale, la funzione regressiva usata per F è stata $K_F(P/D, A_E/A_0, J, \gamma)$.

Giova precisare che, al variare dell'angolo di inclinazione di prova dell'asse elica, le differenze di spinta e coppia e le forze verticali misurate sono risultate, a partire dagli avanzi di pratico utilizzo, di almeno un ordine di grandezza superiore all'incertezza sperimentale connessa all'intera catena di misura e che tale ordine di grandezza cresce con l'avanzo; inoltre, agli avanzi più bassi, le differenze di spinta e coppia e le forze verticali misurate tendono fisicamente a zero, annullandosi all'avanzo nullo.

Per verificare la validità e l'applicabilità delle espressioni regressive che si otterranno, sono state eseguite prove di elica isolata, in flusso assiale e in flusso inclinato, su un campione aggiuntivo di tre modelli di eliche (E. 1520, ad elevato *skew*, E. 1318 ed E. 1365) aventi quattro pale e rapporti P/D e A_E/A_0 compresi nel campo coperto dalle eliche del campione originario di 20 eliche.

2.3.4 Collaborazioni

Nell'ambito del programma di attività indicato in precedenza sono stati attivati specifici rapporti di collaborazione e consulenza scientifica con il *Dipartimento di Ingegneria Navale (DIN)* dell'Università degli Studi di Napoli mediante convenzione Cod. 69/NR stipulata con detto *Dipartimento* in data 26 Febbraio 1993, e con il *Centro di Esperienze Idrodinamiche della Marina Militare Italiana (CEIMM)*, mediante ordinativo a detto *Centro* in data 26 Novembre 1993, prot. N. 4012 (Cod. 95/NR).

2.3.5 Stato di avanzamento e tempi di ultimazione

Lo sviluppo del programma di attività della ricerca ha raggiunto alla data del 31 Dicembre 1993 lo stato di avanzamento globale dell'80%. Questo progetto sarà terminato entro il 31 Marzo 1994.

2.3.6 Costi sostenuti

La situazione contabile relativa al PROGETTO N° 2.3, aggiornata al 31 Dicembre 1993, è riportata nell'ALLEGATO 3.

XIII LEGISLATURA - DISEGNI DI LEGGE E RELAZIONI - DOCUMENTI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE
UNIVERSITA' DI NAPOLI FEDERICO II

ESPERIENZE ELICA ISOLATA
ELICA E1472 SERIE H3
INCLINAZIONE ASSE 20 GRADI

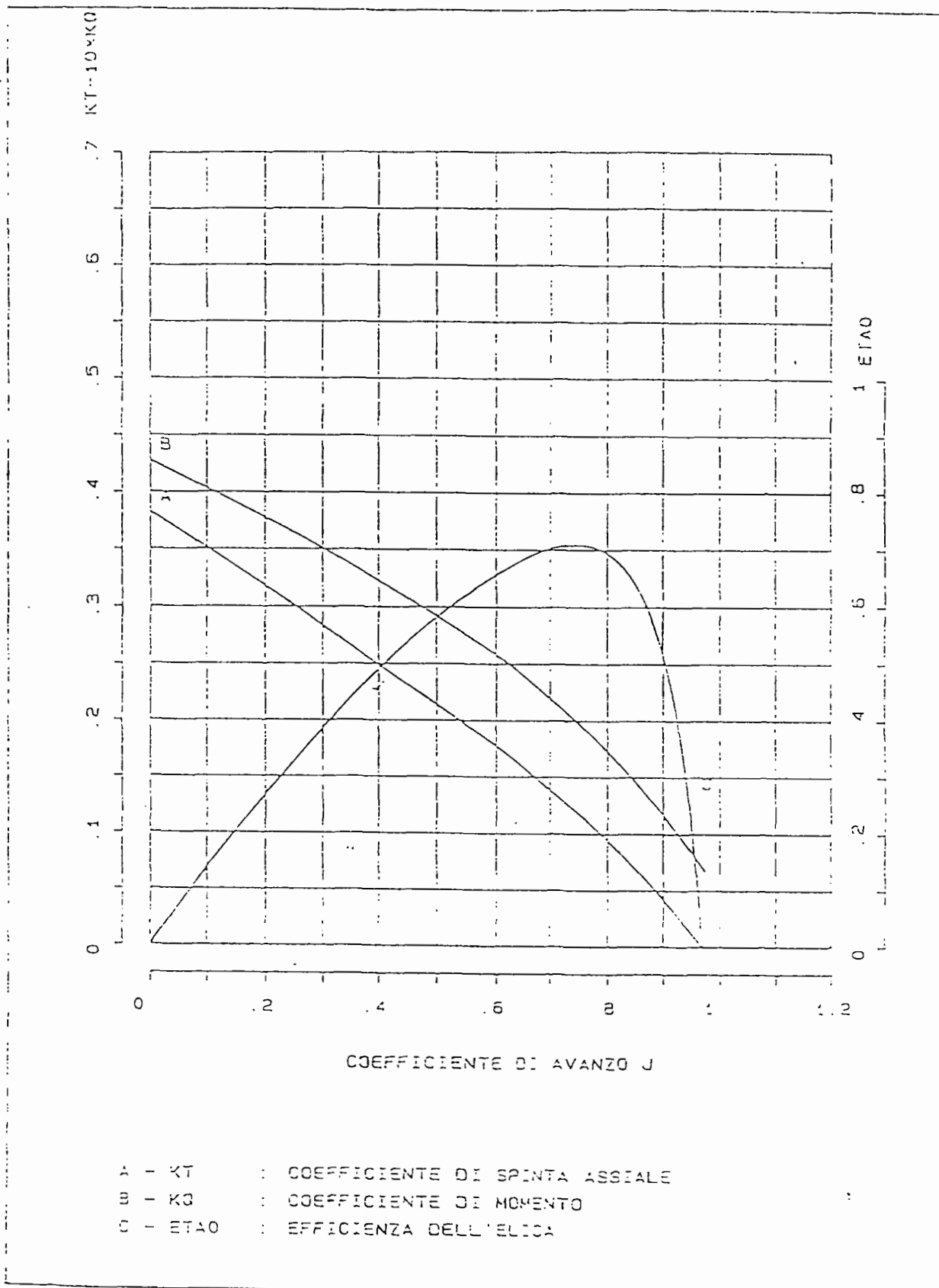


Figura N. 1