La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Le prestazioni propulsive della nave

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Una delle fasi più importanti della progettazione navale è la definizione delle prestazioni propulsive della nave, vale a dire conoscere in funzione della velocità la necessaria potenza da fornire al propulsore

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

- *La nave, avanzando sul mare, genera una perturbazione visibile sulla superficie libera come una particolare formazione ondosa che dal corpo si propaga nel fluido a valle.*

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Per effetto di questa perturbazione, il liquido si oppone al moto di avanzamento della nave generando una forza R_{AS} *detta "**resistenza all'avanzamento**", pari alla componente nella direzione del moto della risultante degli sforzi dinamici esercitati dal fluido*

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Perché la nave avanzi alla velocità V_S *, un idoneo propulsore dovrà sviluppare una forza* T_S *, detta* ***spinta****, uguale e contraria alla resistenza* R_{AS}

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Definire le prestazioni propulsive della nave, vale a dire conoscere in funzione della velocità la necessaria potenza da fornire al propulsore, è una importante fase della progettazione navale

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

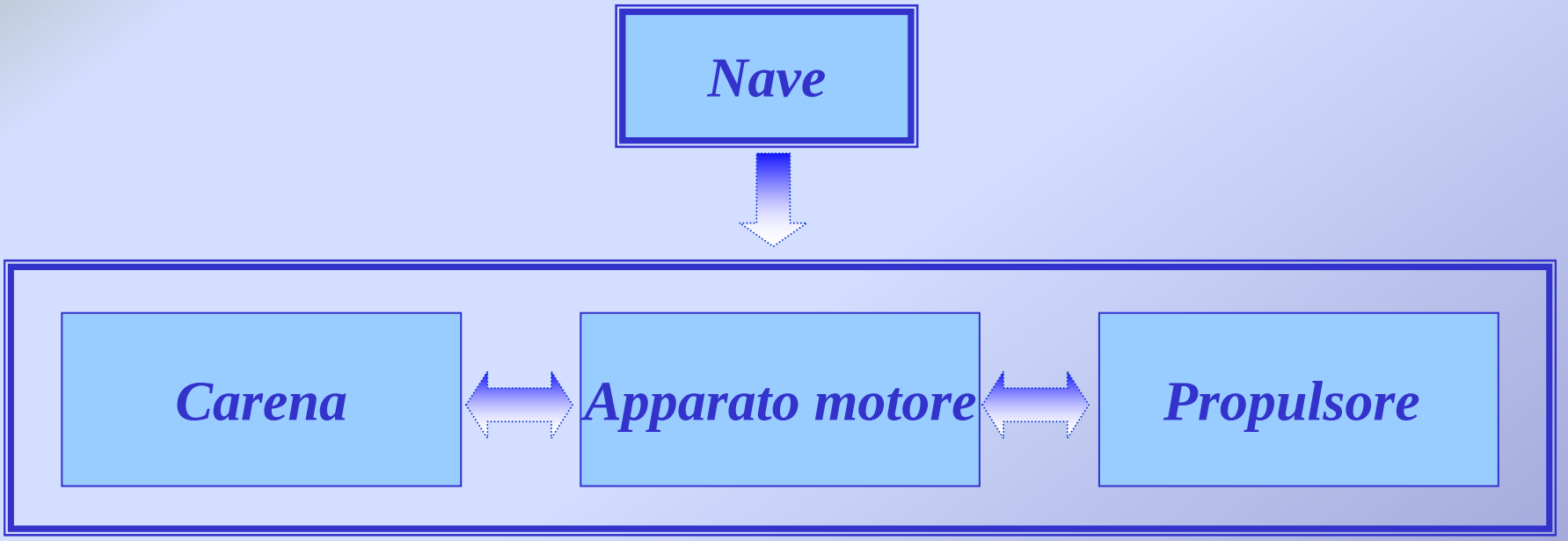
*A tale scopo, la nave può essere considerata un "**sistema dinamico**" composto dalla **carena**, dal **propulsore** e dall'**apparato motore***

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Sistema dinamico "nave"

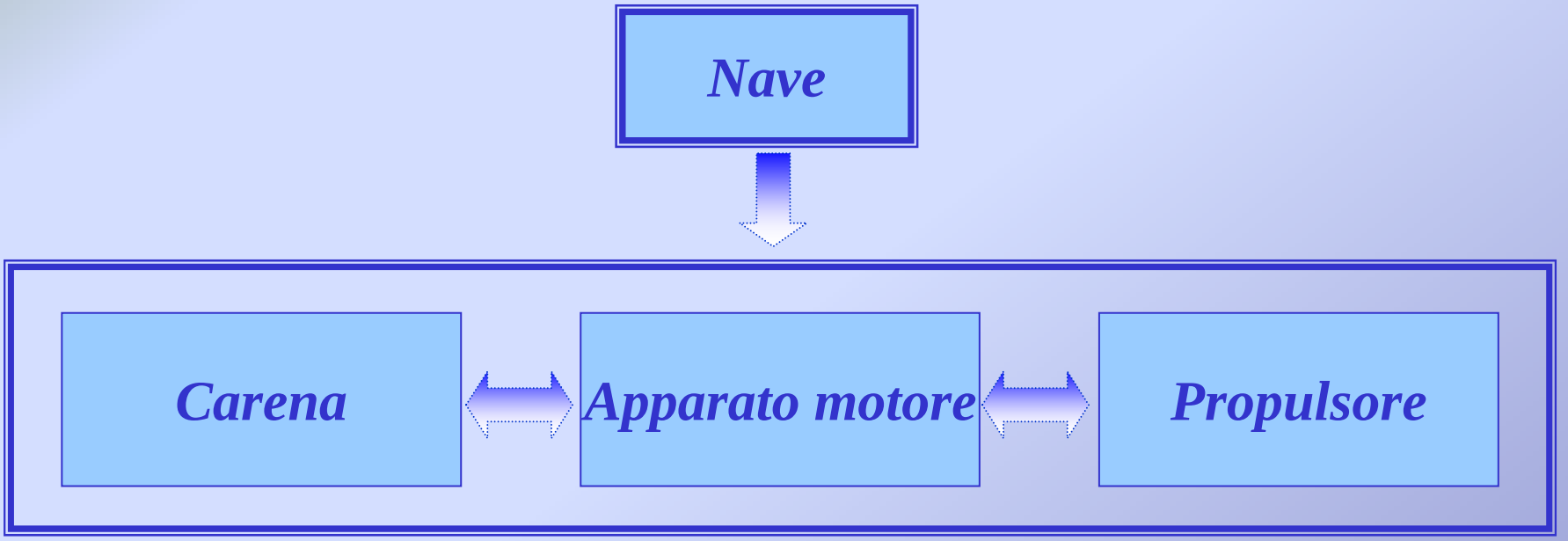
Carena ⟷ ***Propulsore*** ⟷ ***Apparto motore***

La resistenza al moto e la propulsione delle navi



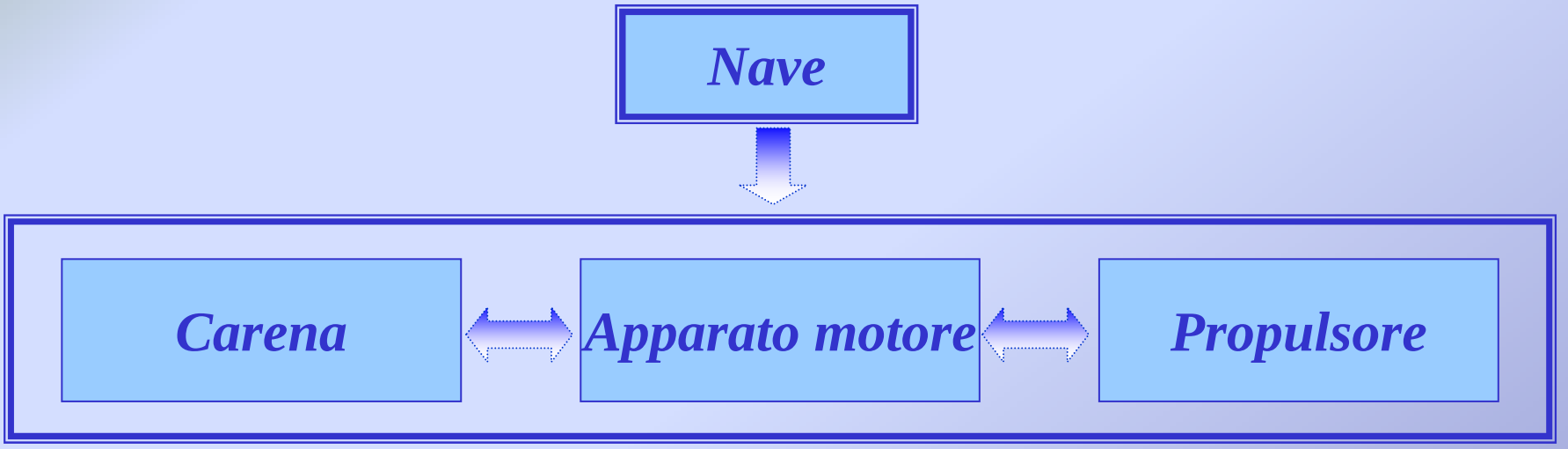
- *Ogni singolo elemento del sistema ha proprie specifiche caratteristiche di funzionamento;*
- *I tre elementi, operando insieme, danno origine a mutue interazioni che influenzano il funzionamento dell'intero sistema*.

La resistenza al moto e la propulsione delle navi



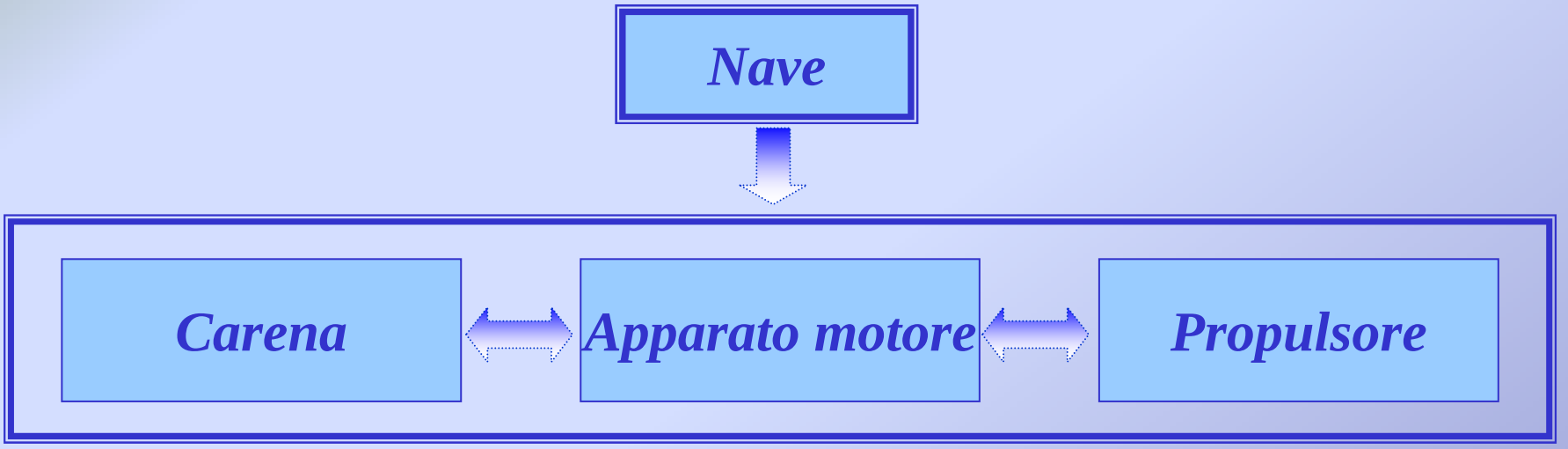
- *Fasi fondamentali del progetto:*
  - *Definizione delle caratteristiche di funzionamento dei singoli elementi del sistema;*
  - *Valutazione delle mutue interazioni tra essi e dei loro effetti;*
  - *Ottimizzazione delle condizioni di funzionamento dell'intero sistema.*

La resistenza al moto e la propulsione delle navi



- **Gli argomenti del corso di Architettura Navale riguardano:**
  - Lo studio delle caratteristiche di funzionamento della carena;
  - Lo studio delle caratteristiche di funzionamento del propulsore;
  - Lo studio dell'accoppiamento carena-propulsore.

La resistenza al moto e la propulsione delle navi



- ***Fase del progetto nella quale si richiede la definizione delle prestazioni propulsive :***
  - *Sono noti la carena e la/e velocità;*
  - *Il tipo di propulsore è stato definito;*

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Nave → **Carena** → ***Resistenza al rimorchio e potenza effettiva***

In dette ipotesi, si definisce:

- *Resistenza al rimorchio* R_{TS} *la forza necessaria per trascinare o rimorchiare la carena alla velocità* V_S *;*
- *Potenza effettiva il prodotto* $P_{ES} = R_{TS} \cdot V_S$

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

- L'impianto di propulsione fornisce la potenza P_{DS} al propulsore;
- Il propulsore trasforma la potenza ricevuta sviluppando la spinta che farà avanzare la nave

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Nave

- Potenza effettiva = potenza utile minima = $P_{ES} = R_{TS} \cdot V_S$;
- L'impianto di propulsione fornisce al propulsore la potenza P_{DS}
- Rendimento totale di propulsione $\eta_D = P_{ES}/P_{DS}$

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

➢ Le resistenza al rimorchio R_{TS}

La Nave si muove sulla superficie di separazione di due fluidi poco viscosi: l'acqua e l'aria.

Gli effetti della loro viscosità e la formazione ondosa generata determinano l'insorgere sulla superficie bagnata di azioni dinamiche che si oppongono all'avanzamento della carena.

La loro forza risultante ha una componente nella direzione del moto: la resistenza al rimorchio R_{TS}.

- *Le componenti fondamentali della resistenza al rimorchio* R_T

3. *Caso generale: corpo in superficie, aria e acqua viscosi*

$$R_T = R_V + R_W + R_A$$

- R_T = **Resistenza totale**
- R_V = **Resistenza viscosa**
- R_W = **Resistenza d'onda**
- R_A = **Resistenza d'aria**

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

La resistenza al rimorchio della nave R_{TS} dipende:

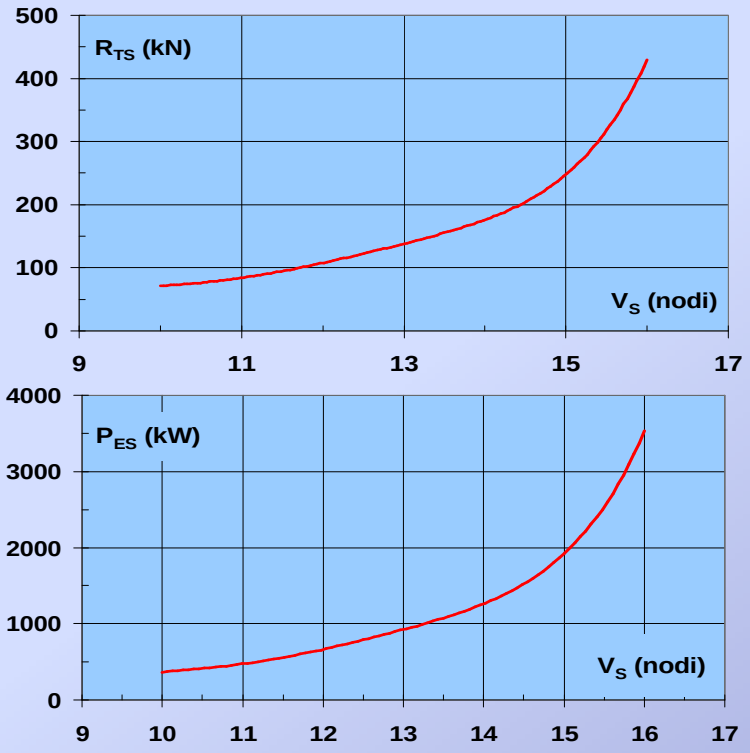
- ***Dalla geometria e forma della carena;***
- ***Dalla velocità della nave;***
- ***Dalla densità e viscosità dell'aria e dell'acqua;***
- ***Dall'accelerazione di gravità.***

Resistenza al rimorchio R_{TS}: Studio e determinazione

- Metodi teorici
- Metodi numerici
- Metodi sperimentali

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}



Nave trasporto LNG

L_{WL} = 83.820 m

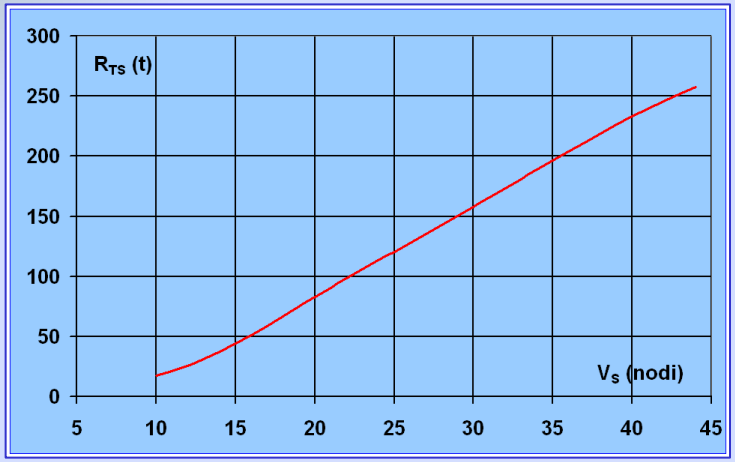
T = 6.600 m

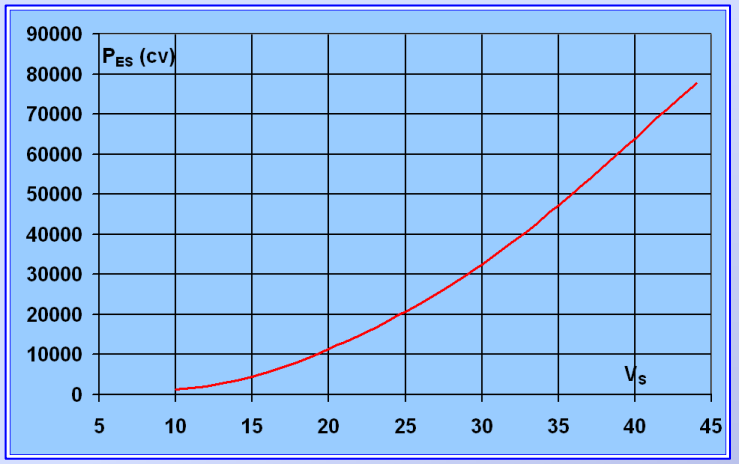
B = 14.200 m

Δ = 5767 t

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}





TRAGHETTO VELOCE

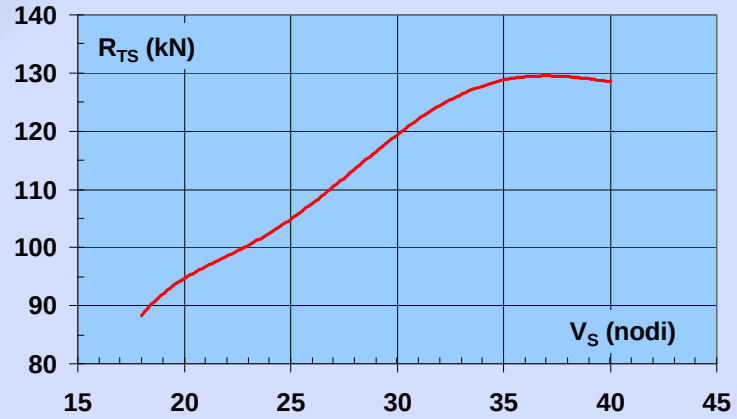
L_{WL} = 128.937 m; T = 3.898 m

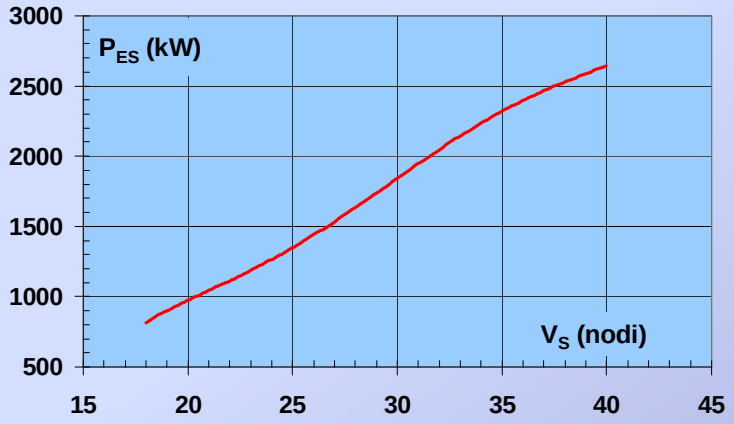
B = 22.000 m; = 3927 t; 1600 pax; 450 auto

Velocità di servizio > 36 nodi

Propulsione : idrogetti ; 4 Motori Diesel, due turbine a gas, potenza complessiva 70 MW

Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}





Nave veloce trasporto passeggeri

L_{WL} = 26.348 m

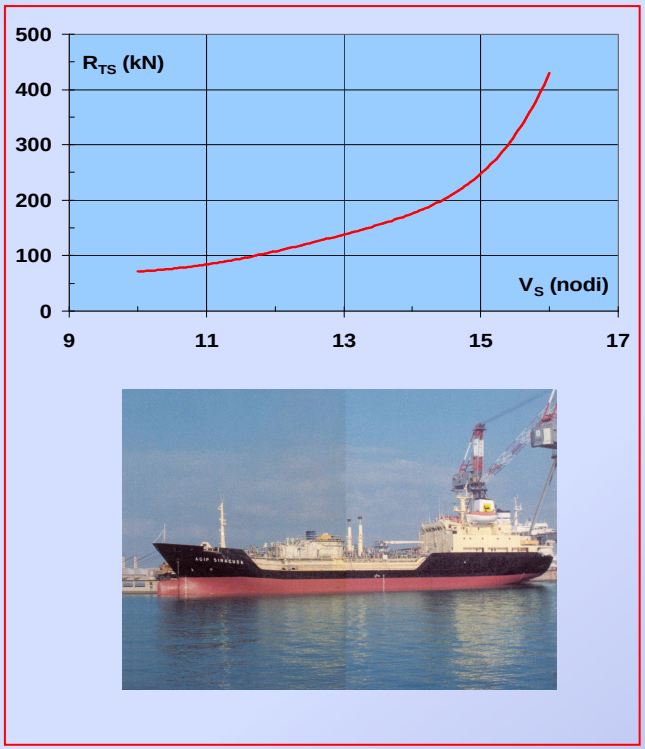
T = 1.236 m

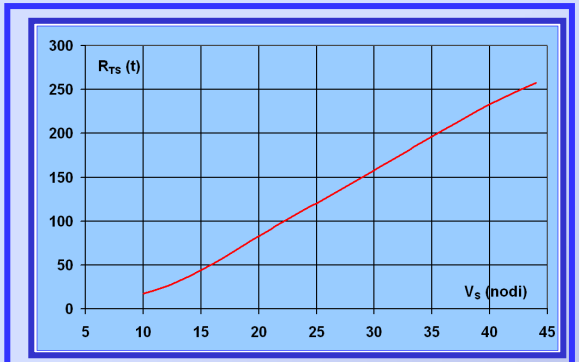
Δ = 100 t

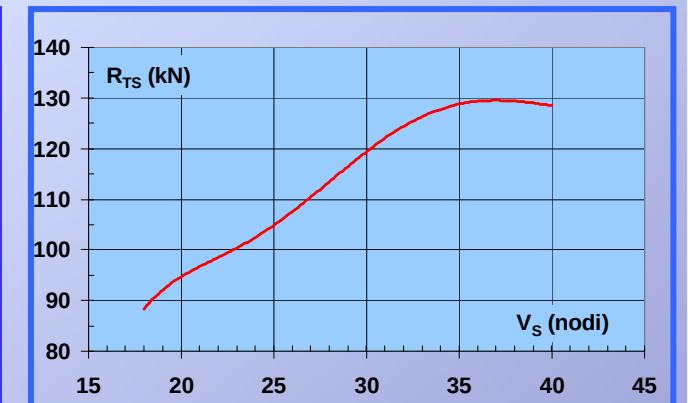
La resistenza al moto e la propulsione delle navi

➢ Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}

Tipologie di carene e regimi idrodinamici di funzionamento

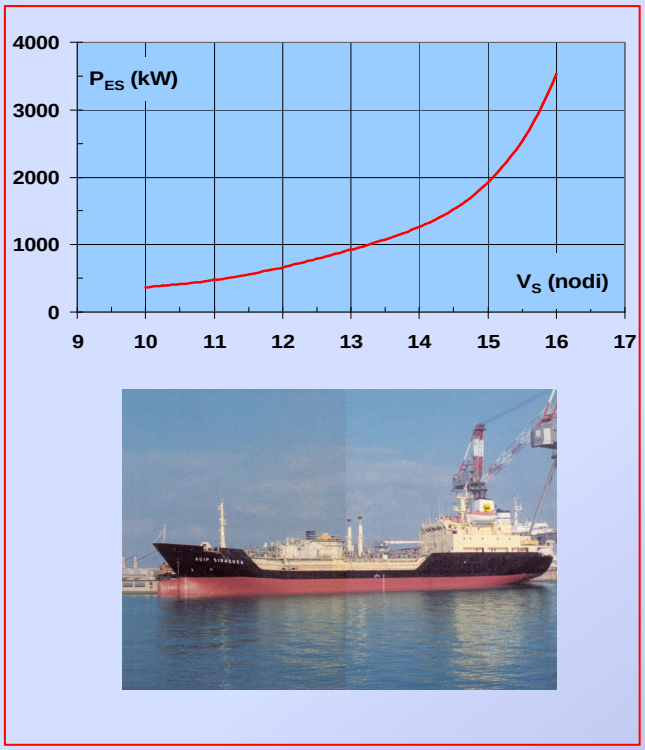


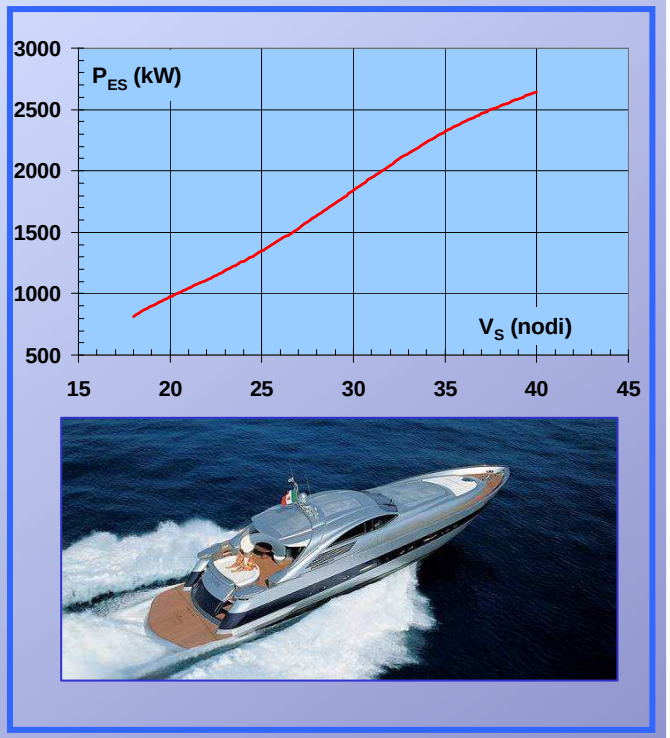




➢ Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}

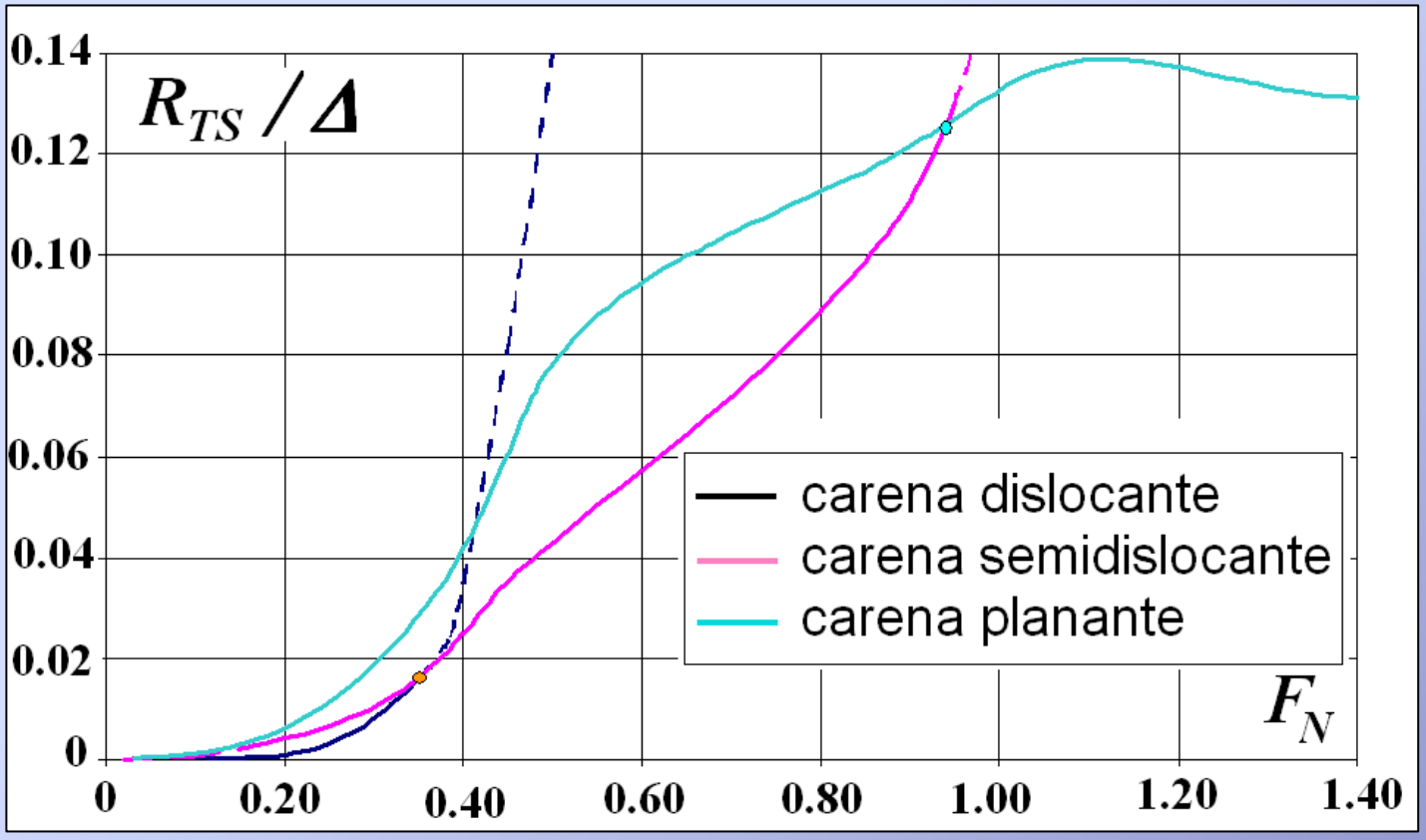
Tipologie di carene e regimi idrodinamici di funzionamento





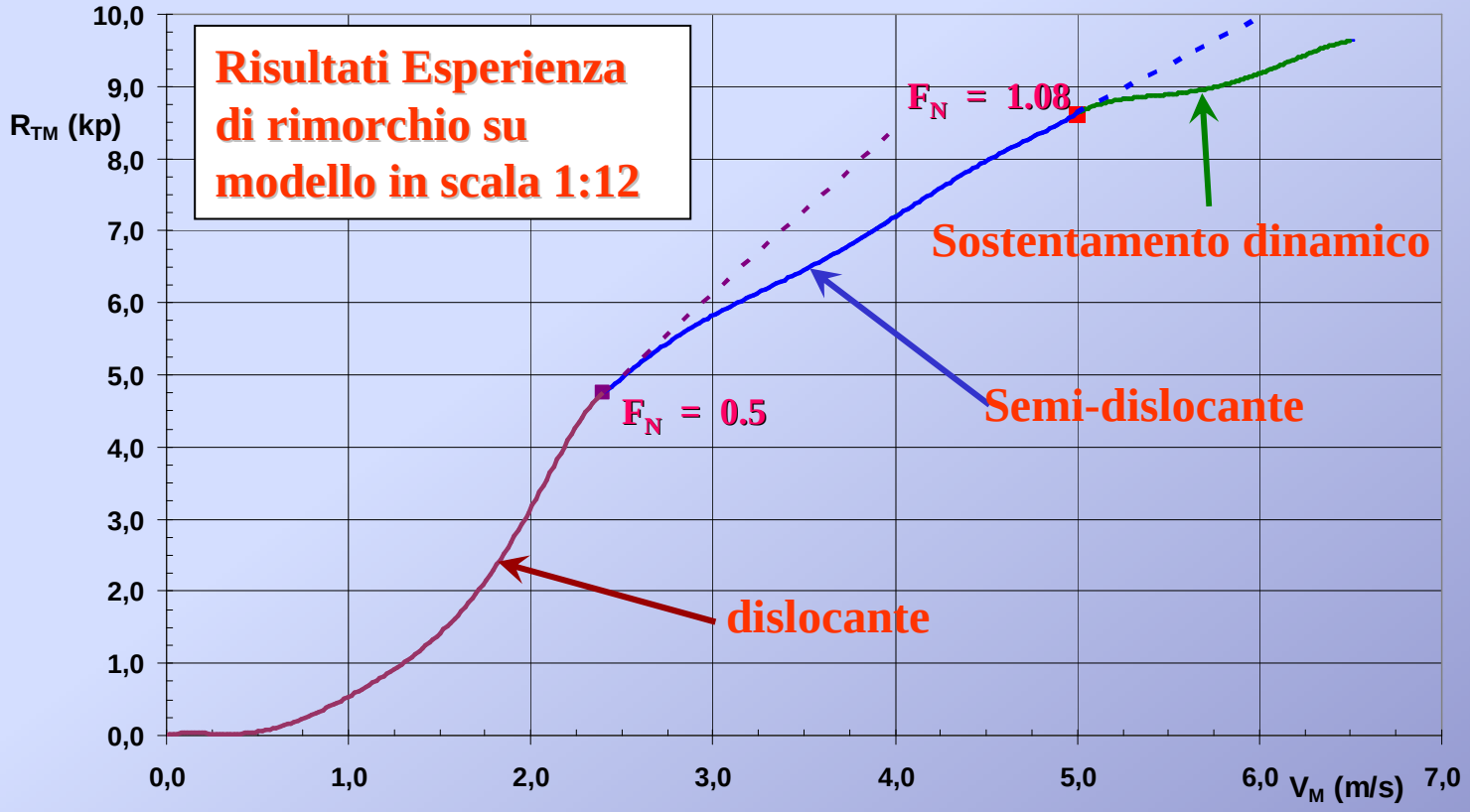
➢ Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}

Tipologie di carene e regimi idrodinamici di funzionamento



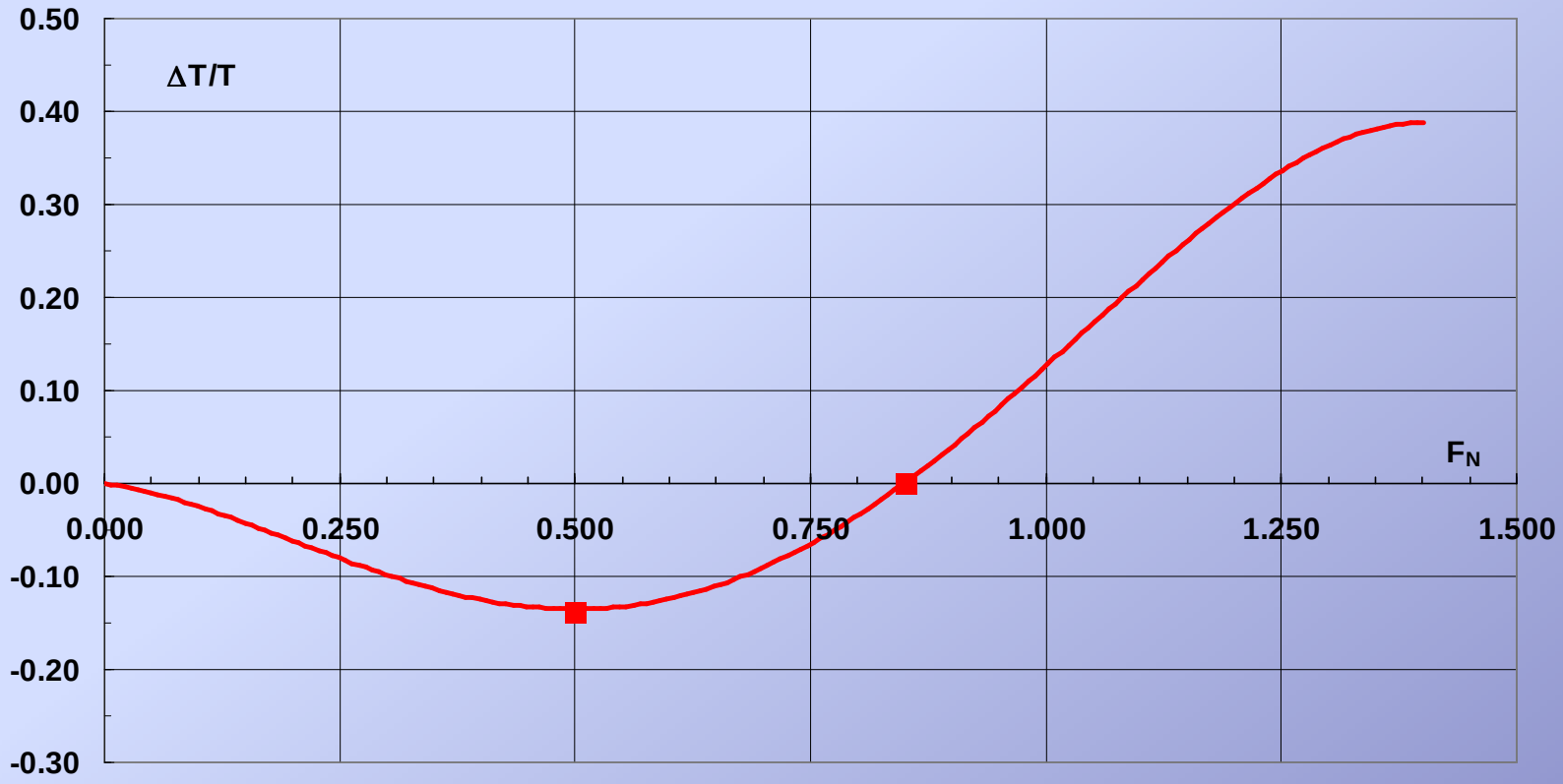
➢ Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}

Motor Yacht 27 m L_{OA} Dislocamento 95 t Velocità 40 nodi



Resistenza al rimorchio R_{TS} e potenza effettiva P_{ES}

Motor Yacht 27 m L_{OA} Dislocamento 95 t Velocità 40 nodi



La resistenza al moto e la propulsione delle navi

ESPERIENZE DI RIMORCHIO: SERIE 11 CARENA: C.1585

CONDIZIONE DI PROVA N.7

VALORI DI CALCOLO			CONDIZIONI SIMULATE		MODELLO	NAVE
RAPPORTO DI SIMILITUDINE:	LAMDA	32.000	LUNGHEZZA TRA PPAV E PPAD	LBP (M)	5.250	168.000
TEMPERATURA MARE (STANDARD):	TPS	15.0 'C	LUNGHEZZA AL GALLEGGIAMENTO	LWL (M)	5.209	166.690
TEMPERATURA VASCA:	TPM	16.1 'C	LUNGHEZZA TOTALE DI CARENA	LOS (M)	5.271	168.660
VISCOSITA' MARE (STANDARD):	NIS	1.1873E-6 M^2/S	LARGHEZZA MASSIMA DI CARENA	BM (M)	.844	27.000
VISCOSITA' VASCA:	NIM	1.1070E-6 M^2/S	LARGHEZZA AL GALLEGGIAMENTO	BWL (M)	.844	27.000
DENSITA' MARE (STANDARD):	ROS	104.61 KG*S^2/M^4	IMMERSIONE AVANTI	TF (M)	.236	7.550
DENSITA' VASCA:	ROM	101.85 KG*S^2/M^4	IMMERSIONE ADDIETRO	TA (M)	.236	7.550
ADDENDO RUVIDEZZA DI CARENA:	DCF	2.000E-4	IMMERSIONE MEDIA	TM (M)	.236	7.550
			DISLOCAMENTO F.G.	DISL(T)	.623	20930.4
			SUPERFICIE BAGNATA	SS(M^2)	4.883	5000.3

VM (M/S)	RTM (KG)	CTM *1000	CR *1000	CFS *1000	CTS *1000	FN	FNV	CTV *1000	VS (KN)	RTS (T)	PE (CV)
1.637	2.657	3.987	.853	1.480	2.333	.228	.566	16.962	18.0	56.802	7013.
1.728	2.990	4.027	.922	1.470	2.392	.240	.597	17.363	19.0	64.786	8444.
1.819	3.365	4.090	1.013	1.461	2.674	.253	.629	17.910	20.0	74.054	10160.
1.910	3.765	4.150	1.100	1.452	2.752	.266	.660	18.434	21.0	84.034	12106.
2.001	4.205	4.223	1.198	1.444	2.842	.278	.692	19.034	22.0	95.235	14373.
2.091	4.715	4.336	1.334	1.437	2.971	.291	.723	19.896	23.0	108.707	17145.
2.182	5.301	4.477	1.497	1.429	3.126	.304	.754	20.938	24.0	124.573	20502.

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

ESPERIENZE DI AUTOPROPULSIONE: SERIE 12 CARENA: C.1585

CONDIZIONE DI PROVA N.7

SERIE DI RIMORCHIO DI RIFERIMENTO: 11
ELICA: E.899AD (SE.1)

VALORI DI CALCOLO				CONDIZIONI SIMULATE			MODELLO	NAVE
RAPPORTO DI SIMILITUDINE:	LAMDA	32.000		LUNGHEZZA TRA PPAV E PPAD	LBP	(M)	5.250	168.000
TEMPERATURA MARE (STANDARD):	TPS	15.0 'C		LUNGHEZZA AL GALLEGGIAMENTO	LWL	(M)	5.209	166.690
TEMPERATURA VASCA:	TPM	15.7 'C		LUNGHEZZA TOTALE DI CARENA	LOS	(M)	5.271	168.660
VISCOSITA' MARE (STANDARD):	NIS	1.1873E-6	M^2/S	LARGHEZZA MASSIMA DI CARENA	BM	(M)	.844	27.000
VISCOSITA' VASCA:	NIM	1.1187E-6	M^2/S	LARGHEZZA AL GALLEGGIAMENTO	BWL	(M)	.844	27.000
DENSITA' MARE (STANDARD):	ROS	104.61	KG*S^2/M^4	IMMERSIONE AVANTI	TF	(M)	.236	7.550
DENSITA' VASCA:	ROM	101.86	KG*S^2/M^4	IMMERSIONE ADDIETRO	TA	(M)	.236	7.550
ADDENDO RUVIDEZZA DI CARENA:	DCF	2.000E-4		IMMERSIONE MEDIA	TM	(M)	.236	7.550
				DISLOCAMENTO F.G.	DISL	(T)	.623	20930.4
				SUPERFICIE BAGNATA	SS	(M^2)	4.883	5000.3

VM (M/S)	FD (KG)	TM (KG)	NM (RPS)	GM (KG*CM)	VS (KN)	TS (T)	NS (RPM)	PD (CV)	PE (CV)
1.637	.973	2.193	9.240	6.746	18.0	73.717	98.01	9932.	7013.
1.728	1.069	2.531	9.860	7.763	19.0	85.097	104.58	12196.	8444.
1.819	1.169	2.851	10.430	8.722	20.0	95.846	110.63	14494.	10160.
1.910	1.273	3.227	11.070	9.849	21.0	108.494	117.42	17372.	12106.
2.001	1.381	3.669	11.770	11.175	22.0	123.357	124.84	20956.	14373.
2.091	1.491	4.279	12.640	13.009	23.0	143.869	134.07	26200.	17145.
2.182	1.606	4.816	13.320	14.628	24.0	161.907	141.28	31044.	20502.

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

ESPERIENZE DI ELICA ISOLATA: SERIE 1 ELICA: E.899A

ROTAZIONE DESTRA

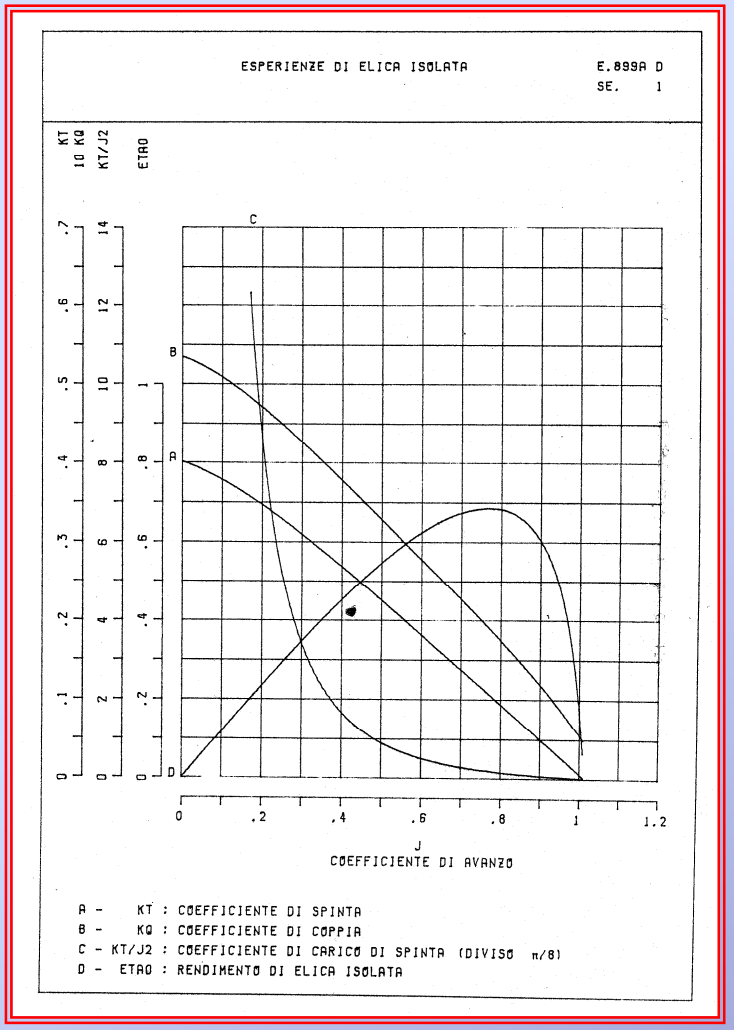
NUMERO DELLE PALE:	Z		4	GIRI MEDI DELLA PROVA:	N	17.000	RPS	
DIAMETRO:	D	(MM)	193.750	TEMPERATURA VASCA:	TPM	15.0	'C	
DIAMETRO MEDIO DEL MOZZO:	DMOZ	(MM)	43.440	VISCOSITA' VASCA:	NIM	1.1394E-6	M^2/S	
PASSO A .7R:	P.7	(MM)	185.940	DENSITA' VASCA:	ROM	101.87	KG*S^2/M^4	
LUNGHEZZA CORDA A .7R:	C.7	(MM)	65.000	NUMERO DI REYNOLDS MEDIO:	RN.7	4.2476E+5		
SPESSORE CORDA A .7R:	SC.7	(MM)	3.300					
INCLINAZIONE GENERATRICE:	IG	(DEG)	6.500					
AREA PROIETTATA:	AP	(MM^2)	15280.0					
AREA SVILUPPATA:	AS	(MM^2)	17715.0					
PASSO A .7R / DIAMETRO:			.960					
AREA SVILUPPATA / AREA DISCO:			.601					
DIAMETRO MEDIO MOZZO / DIAMETRO:			.224					

POLINOMI DI 4' GRADO DEI COEFFICIENTI DI SPINTA E COPPIA:

KT(0)	= .401768	KT(1)	= -.183355	KT(2)	= -.542858	KT(3)	= .497987	KT(4)	= -.166953
KQ(0)	= .053515	KQ(1)	= -.019014	KQ(2)	= -.082760	KQ(3)	= .098803	KQ(4)	= -.044941

VA (M/S)	T (KG)	Q (KG*CM)	J	KT	10*KQ	ETA0	KT/J^2
.000	16.668	43.016	.0000	.4018	.5352	.0000	
.200	16.127	41.860	.1000	.3785	.5088	.1184	37.8465
.400	15.447	40.313	.2000	.3471	.4712	.2344	8.6765
.600	14.651	38.465	.3000	.3099	.4267	.3468	3.4438
.800	13.762	36.392	.4000	.2691	.3784	.4527	1.6818
1.000	12.800	34.160	.5000	.2261	.3286	.5475	.9044
1.200	11.782	31.822	.6000	.1821	.2783	.6249	.5059
1.400	10.723	29.421	.7000	.1380	.2275	.6757	.2816
1.600	9.637	26.987	.8000	.0941	.1752	.6838	.1470
1.800	8.535	24.537	.9000	.0503	.1191	.6055	.0622
2.000	7.424	22.078	1.0000	.0064	.0561	.1814	.0064
2.200	6.312	19.606	1.0144	-.0000	.0462	-.0000	-.0000
2.400	5.202	17.102					
2.600	4.096	14.539					
2.800	2.994	11.875					
3.000	1.892	9.058					
3.200	.787	6.024					
3.341	-.000	3.711					

La resistenza al moto e la propulsione delle navi



➢ Classificazione delle nave in base al sostentamento

- *Navi a sostentamento idrostatico o a dislocamento;*
- *Navi a sostentamento dinamico;*
- *Navi a parziale sostentamento idrostatico o semidislocanti;*

Classificazione delle nave in base al sostentamento

Triangolo di Jewell

100% idrostatico

50%

50%

100% idrodinamico

100% pneumatico

➢ Il sostentamento dei mezzi navali

- *Condizioni statiche* ⇒ $S = \Delta = w \nabla_s$

- *Condizioni dinamiche*

Risultante delle azioni dell'acqua → R → R_a *Componente orizzontale*

R → R_l *Componente verticale*

Il sostentamento dei mezzi navali

- Condizioni dinamiche

$$R = R_a + R_l$$

R_a Componente orizzontale o resistenza al moto

R_l Componente verticale o forza di sostentamento

Il sostentamento dei mezzi navali

- *Componente verticale delle azioni dell'acqua*

$$R_l = R_{ls} + R_{ld}$$

R_{ls} : *componente statica*

R_{ld} : *componente dinamica*

Il sostentamento dei mezzi navali

- *Sostentamento completamente statico*

$$R_{ld} = 0 \Rightarrow R_l = R_{ls} = S = \Delta = w\nabla$$

- *Sostentamento completamente dinamico*

$$R_{ls} = 0 \Rightarrow R_l = R_{ld} \Rightarrow S = 0 \Rightarrow \nabla = 0$$

Il sostentamento dei mezzi navali

- *Sostentamento misto*

$$R_l = R_{ls} + R_{ld} = R_{ld} + w\nabla_s$$

$$\nabla_s < \nabla = \frac{\Delta}{w}$$

Propulsione navale

*Il "**propulsore navale**" è il dispositivo che produce la spinta necessaria a vincere la resistenza al moto incontrata dalla nave.*

A tale scopo, il propulsore trasforma la potenza ricevuta da un idoneo motore sviluppando la spinta che farà avanzare la nave.

Propulsione navale

I propulsori navali

Sono propulsori navali:

- *i remi*
- *le vele*
- *le ruote a pale*
- ***l'elica***
- ***l'idrogetto***

Introduzione e generalità

I propulsori navali

*L'**elica** è il propulsore navale più diffuso. Sistemata nella parte poppiera della nave, si compone di un mozzo sul quale sono poste ad eguali intervalli angolari due o più pale.*

➢ Propulsione navale: l'elica

➢ Propulsione navale: l'elica

SMM
Stone Manganese Marine Ltd
The Propeller Specialists

➢Propulsione navale: l'elica

SMM Stone Manganese Marine Ltd
The Propeller Specialists

➢ Propulsione navale: l'elica

SMM

Stone Manganese Marine Ltd

The Propeller Specialists

➢Propulsione navale: l'elica

➢Da un punto di vista costruttivo le eliche si dicono:

- *Fuse intere quando pale e mozzo sono fuse insieme*
- *A pale riportate se pale e mozzo sono fuse separatamente*

➢Materiale:

- *Deve avere buone caratteristiche meccaniche*
- *Deve permettere un buon grado di finitura della superficie*
- *Deve resistere alla corrosione e ad eventuali fenomeni di cavitazione*

➢Propulsione navale: l'elica

➢M a t e r i a l i

- ➢Ottone (lega rame-zinco) ad elevata resistenza;
- ➢Bronzo (lega rame-stagno) al Nichel-Manganese
- ➢Bronzo (lega rame-stagno) al Nichel-Alluminio
- ➢Acciaio inossidabile;

➢Propulsione navale: l'elica

➢M a t e r i a l i

➢*Altri materiali:*

- *Ghisa;*
- *Acciaio;*
- *Alluminio, Duralluminio (lega di alluminio, rame, magnesio, manganese e silicio)*
- *Polimeri*

➢Propulsione navale: l'elica

➢M a t e r i a l i

Esempio: ***La Lips realizza:***

- ***Eliche in CUNIAL (principalmente 80% Cu, 10% Al, 5% Ni), lega che presenta eccellenti proprietà;***
- ***Le dimensioni delle eliche variano da un diametro minimo di 500 mm fino a 12 m;***
- ***D = 12 m; Peso Finito di 100 t circa;***
- ***D = 9 m; Peso Finito di 60 t circa;***

➢ Propulsione navale: l'idrogetto

HSC Passenger Ro/Ro Cargo Ship "SCORPIO"

➢Propulsione navale: l'idrogetto

HSC Passenger Ro/Ro Cargo Ship "SCORPIO"

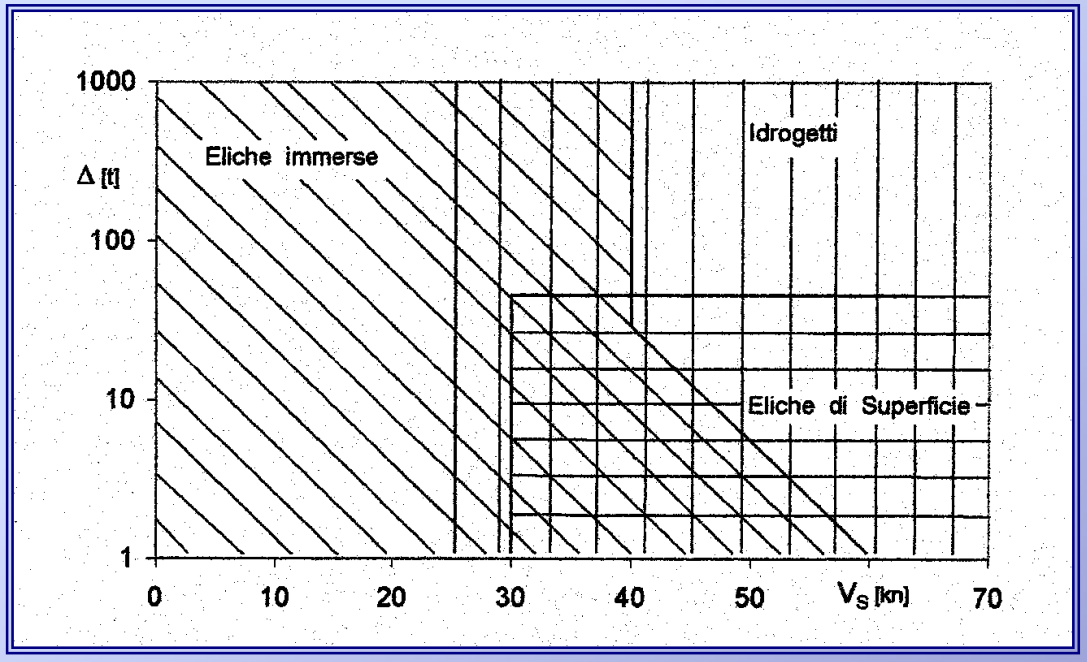
Classe	Jupiter MDV 3000	Lunghezza	145,60
Costruttori	Fincantieri	Larghezza	22 m
Cantiere	Riva Trigoso, (GE) Italia	Pescaggio	3,99 m
Varo	dal 10 gennaio 1998	Propulsione	4 Motori MTU 20V diesel (tot. 26.000 kW) e 2 turbine a gas (tot. 42.000 kW)
Entrata in servizio	29 maggio 1998	Velocità	max. 42 nodi
Proprietario	Tirrenia di Navigazione S.p.A.	Capacità di carico	450 auto o 350 m.l. carico merci
Stazza lorda	11.347 t	Passeggeri	1.784

I propulsori navali : L'idrogetto

All'aumentare della velocità e soprattutto per gli scafi plananti , l'elica navale può non essere il mezzo più efficace di propulsione e l'idrogetto è da prendere in seria considerazione. Questo sistema di propulsione trova, fra l'altro, un favorevole impiego nell'applicazione sui mezzi da diporto, per l'assenza di appendici delicate e pericolose, quali la stessa elica e il timone.

I propulsori navali : L'idrogetto

Campi di applicazione

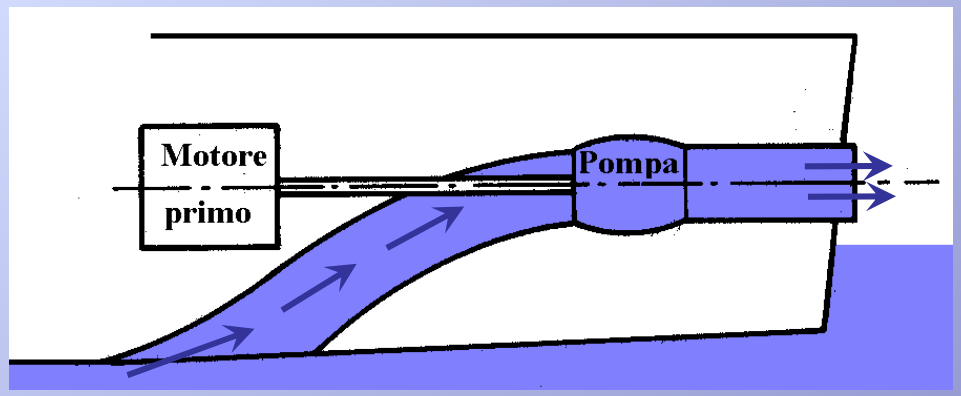


- ***I propulsori navali : L'idrogetto***
- ***Campi di applicazione***

L'idrogetto trova naturale e vantaggiosa applicazione nelle unità destinate all'alta velocità, ad operare su fondali poco profondi, a servizi per i quali sono necessarie ottime capacità evolutive

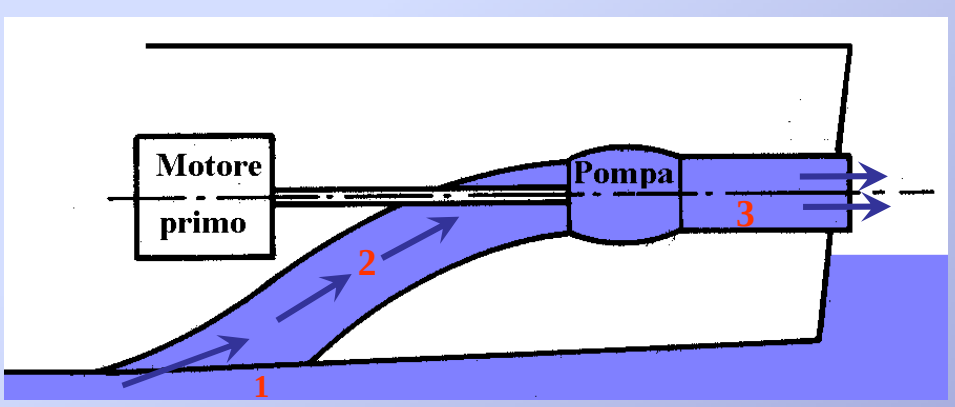
➢ I propulsori navali : L'idrogetto

La propulsione a idrogetto si basa sul principio di azione e reazione: una massa d'acqua accelerata crea per reazione una spinta propulsiva.

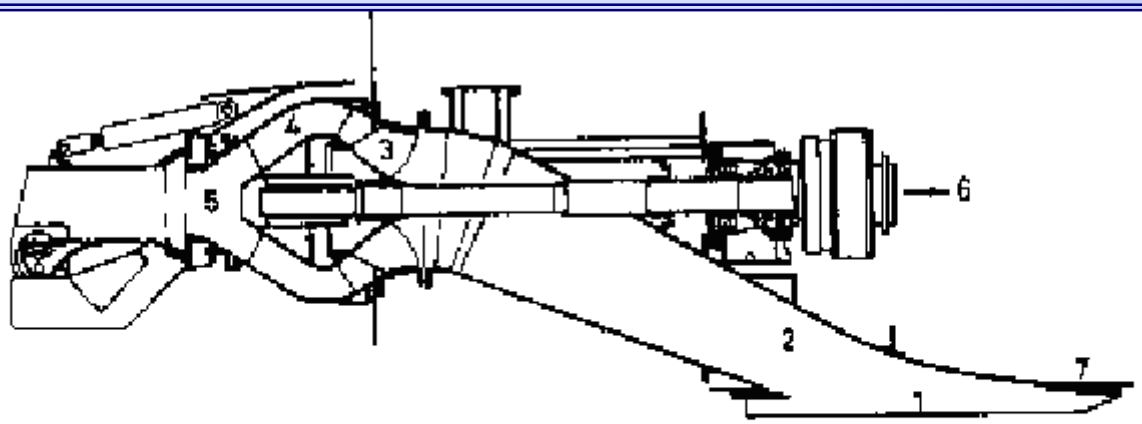


➢ I propulsori navali : L'idrogetto

L'acqua attraverso la presa dinamica 1 , aperta sul fondo della carena, viene aspirata nel condotto di adduzione 2 (inlet) da una pompa che la espelle ad alta velocità attraverso il condotto di scarico 2 (outlet), provvista all'uscita di un ugello orientabile; il getto d'acqua può essere invertito da un cucchiaio che permette l'inversione di marcia e la posizione "a zero"



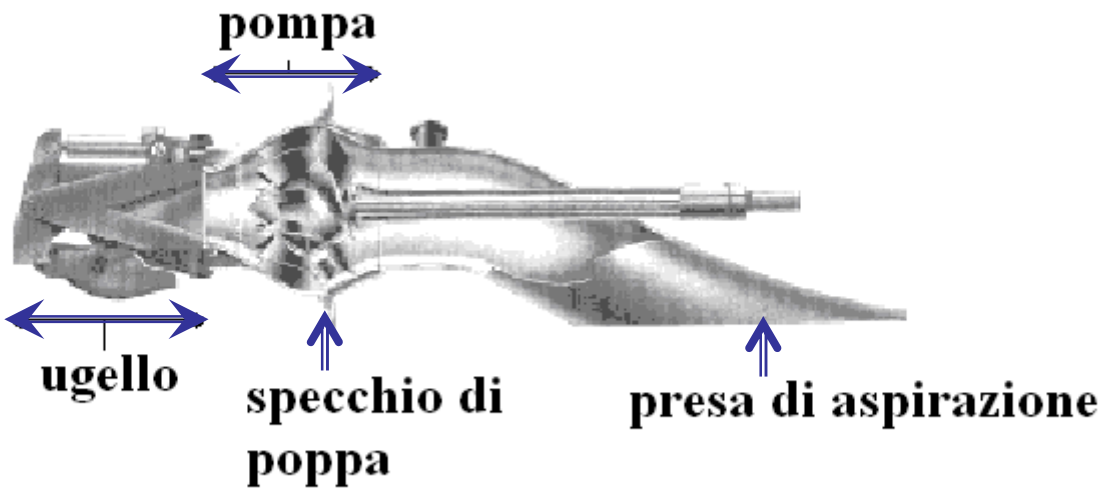
➢ I propulsori navali : L'idrogetto



1. Presa dinamica; 2. Condotta di adduzione. 3. Pompa; 4. Condotta di mandata; 5. Ugello; 6. Motore azionamento pompa; 7. Scafo.

Schema semplificato di funzionamento di un idrogetto

I propulsori navali : L'idrogetto



Schema semplificato di funzionamento di un idrogetto

La resistenza al moto e la propulsione delle navi

➢ I propulsori navali : L'idrogetto

A : presa dinamica; B, C : rotore (impeller) e statore della pompa; D : ugello; E : cucchiaio; F : flangia di accoppiamento al motore (motore diesel o turbina a gas)

➢ I propulsori navali : L'idrogetto

La propulsione idrogetto presenta i seguenti vantaggi:

- *Sicurezza di funzionamento;*
- *Riduzione rumori e vibrazioni;*
- *Semplicità costruttiva;*
- *Ottimi rendimenti ad elevate velocità (0.68);*
- *Eccellente manovrabilità;*
- *Bassi costi di manutenzione;*

➢ I propulsori navali : L'idrogetto

*La propulsione idrogetto presenta i seguenti **svantaggi**:*

- *Maggior costo di installazione;*
- *Minori rendimenti alle basse velocità;*
- *Difficoltà progettuali nelle previsioni delle prestazioni propulsive;*
- *Difficoltà nella verifica delle prestazioni propulsive.*