



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Corso di Propulsione

Le prove in mare

Prof. Paolo Frandoli

AA 2022-2023

Commissioning

- E' la fase conclusiva del processo di progettazione e costruzione e propedeutica alla consegna della nave. Principali attività:
- Prove e collaudi per verificare la piena funzionalità di tutti gli impianti di bordo. Accertare le prestazioni e le caratteristiche tecniche della nave. Prova di stabilità per stabilire il peso della nave scarica asciutta, la portata lorda ed i requisiti di stabilità dettati dalle norme di sicurezza
- Elaborare e siglare con il cliente i documenti che attestino la rispondenza a quanto riportato nei documenti contrattuali (specifica, contratto, piani generali, ecc.), alle norme di sicurezza e dei registri di classifica
- Stabilire eventuali penali nel caso qualche prestazione non rispetti gli impegni contrattuali
- Fornire i dati di ritorno: rappresentano le principali informazioni che il progettista ed il team di progetto devono utilizzare per aggiornare continuamente il database aziendale, indispensabile per lo sviluppo di futuri progetti e per il continuo affinamento delle metodologie progettuali



Commissioning

- Nella fase di commissioning è essenziale il ruolo del progettista la cui attività non si esaurisce alla conclusione del progetto di base, ma alla consegna della nave
- È responsabilità del progettista raccogliere i risultati delle varie attività del commissioning ed aggiornare il database storico
- In particolare deve seguire l'evoluzione dell'esponente di carico che rappresenta la storia della nave, sia dal punto di vista tecnico che economico, dal progetto di base fino alla consegna
- Il database storico aziendale è lo strumento principale in fase di progettazione, ma per garantirne l'affidabilità deve essere continuamente aggiornato con i risultati dei rilievi al vero. L'esperienza va capitalizzata altrimenti non serve a nulla!
- Alla fine del commissioning potrà dare una risposta alla domanda *“il risultato corrisponde alle mie aspettative?”*
- Se la risposta è negativa, anche solo su certi aspetti, dovrà farsene una ragione



Le prove in mare

- Le prove in mare rappresentano quella parte del commissioning che non può essere effettuato in cantiere
- Tra le altre:
 - Misura della velocità
 - Misura della potenza
 - Verifica che il motore di propulsione eroghi il 100% MCR
 - Prova di autonomia
 - Rilievi di rumore e vibrazioni
 - Misura delle pressioni indotte sulla carena
 - Visualizzazione della cavitazione (se prevista)
 - Prove di manovrabilità (contrattuali e secondo le norme IMO)
 - Prove delle eliche di manovra
 - Prova degli stabilizzatori del rollio



Prova di velocità

- Va condotta in condizioni ideali di prove mare (trial condition):
 - Carena ed eliche pulite (pulizia eseguita in bacino di carenaggio prima delle prove)
 - Mare calmo, assenza di vento
 - Acque profonde (almeno una lunghezza nave)
- La nave va zavorrata fino a raggiungere
 - Alternativa 1: immersione contrattuale
 - Alternativa 2: immersione corrispondente alla portata lorda contrattuale
 - Assetto previsto dalla specifica nave
- Nel caso il dislocamento di prova sia diverso da quello corrispondente all'immersione contrattuale, la potenza misurata deve essere corretta per riportarla alla condizione prevista dal contratto

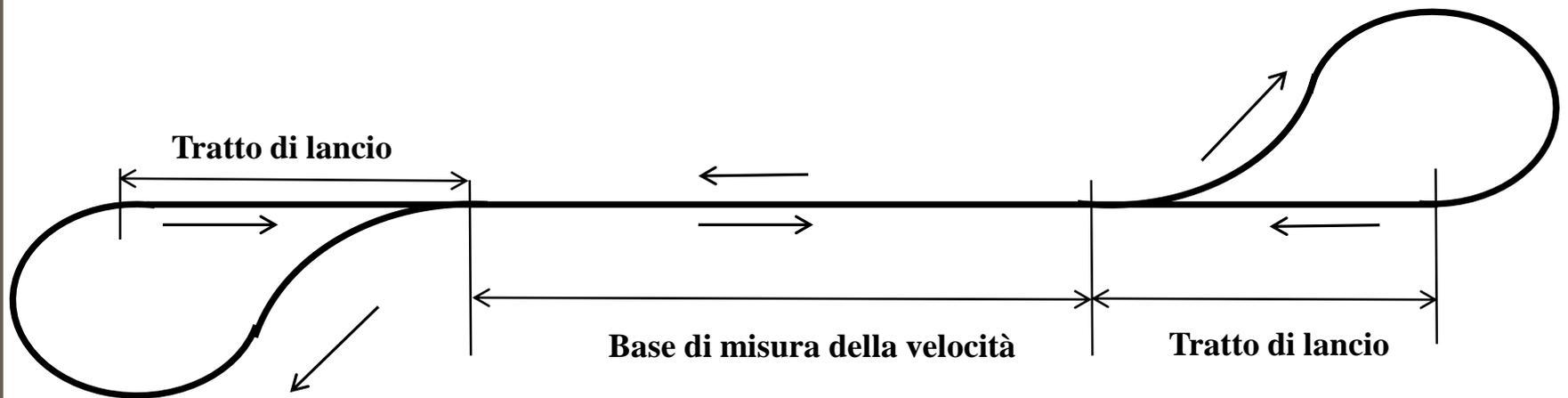


Prova di velocità

- Si stabiliscono almeno 3 valori di potenza, in percentuale di MCR, in corrispondenza ai quali si misura la velocità (solitamente 50%, 75%, 100%)
- Per ogni livello di potenza si eseguono almeno 2 corse lungo rotte rettilinee alternate di 180° (1 doppia corsa) al fine di compensare la presenza di un'eventuale corrente
- Lunghezza della corsa (base di misura): 2÷3 miglia marine
- Distanza tra il punto iniziale e finale della corsa
 - Si scelgono due punti di riferimento sulla costa la cui distanza è nota e certificata (solitamente dall' I.G.M.). In questo caso la rotta deve essere parallela alla retta congiungente i due punti
 - Si individuano i punti di inizio e fine tramite sistemi di localizzazione satellitare o radio
- Si rileva il tempo per percorrere la base di misura

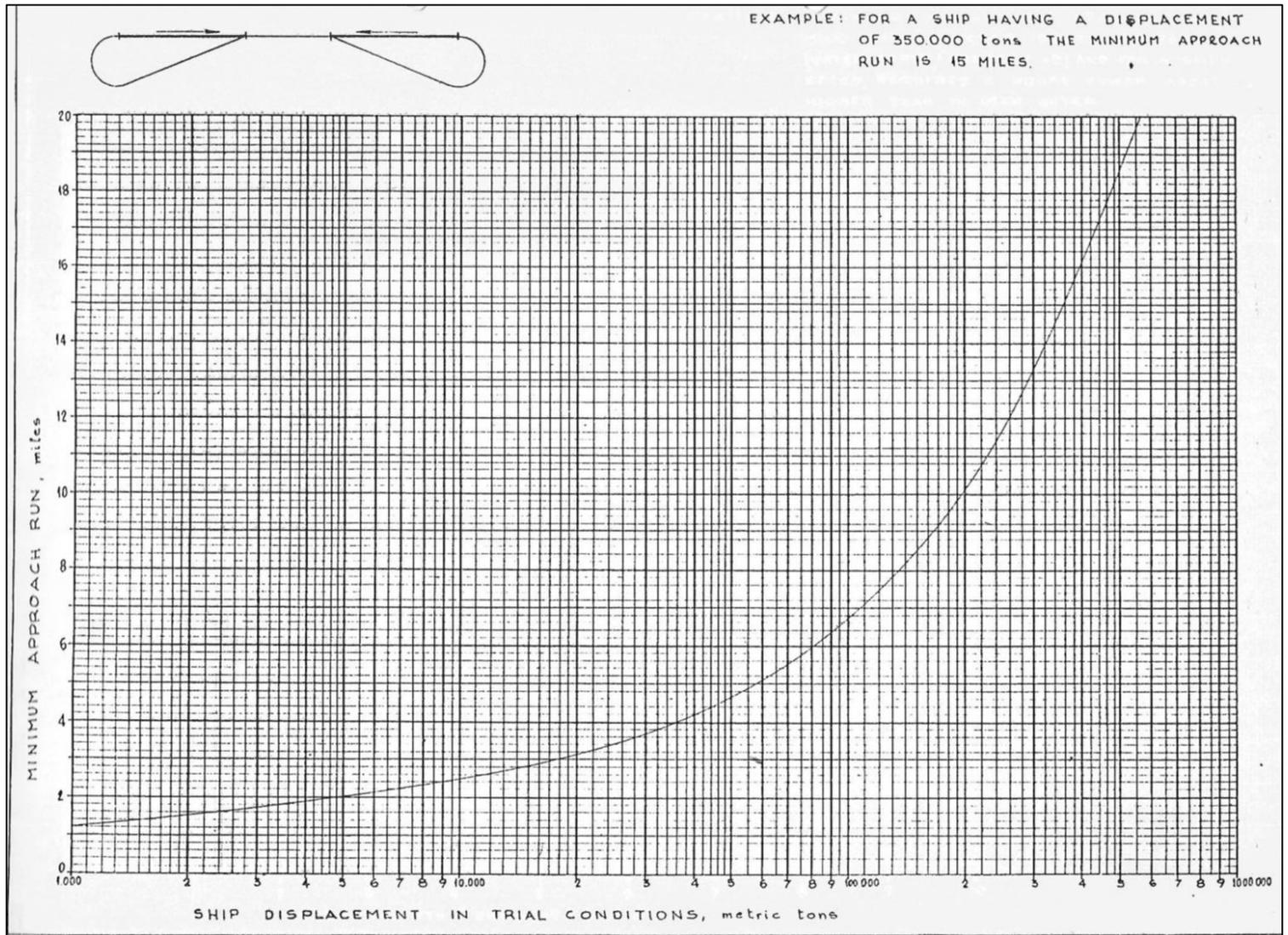


Prova di velocità



Tratto di lancio: adeguato a garantire un moto stabile ed uniforme all'inizio della misura

Tratto di lancio minimo



Rilievo della velocità

Condizioni meteomarine

% Potenza motore	Corsa	Ora inizio (h.m.s)	Rotta (gr.)	Vel. vento	Direz. vento	Stato di mare	Fondale (m)	Timone (gr.)	Passo elica (gr.) (*)	Lunghezza base (miglia marine)	Tempo impiegato (m.s)	V (nodi)
	1											
	2											
	3											
	4											
	Media											

Immersione AV (m)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Rilevate al momento della prova 2. Rilevate in cantiere: correggere il dislocamento in base ai consumi tra la lettura ed il momento della prova
Immersione al centro (m)		
Immersione AD (m)		
Densità acqua di mare (t/m^3)		
Temperatura acqua di mare ($^{\circ}$)		
Dislocamento alla prova D_p (t)		Da calcoli idrostatici in base alla lettura delle immersioni e densità acqua di mare
(*) Nel caso di elica a pale orientabili		



Rilievo della potenza

Rilievo della potenza con torsionometro

% Potenza motore	Corsa	RPM	Pot. Torsionometro (kW)
	1		
	2		
	3		
	4		
	Media		

Rilievo della potenza con consumi di combustibile

Consumo combustibile (C)		Consumo specifico (CS) (**)	
l/h	kg/h	kg/(kWh)	Pot. Consumi (kW)

$$P_S = RPM * Q * 2\pi$$

Densità combustibile (t/m ³)	
Potere calorifico combustibile (kCal/kg)	
Potere calorifico combustibile utilizzato alle prove al banco del motore (kCal/kg)	
Consumo specifico rilevato alle prove al banco del motore (kg/kWh)	
CS = 0,170 ÷ 0,175 kg/kWh	

(**) Corretto per la differenza tra il combustibile usato alle prove mare e quello alle prove al banco del motore

$$P_B = \frac{C \left(\frac{kg}{h} \right)}{CS \left(\frac{kg}{kWh} \right)}$$



Correzione della potenza misurata per differenze rispetto alle condizioni contrattuali

- I valori di potenza rilevati alle prove devono essere riportati alle condizioni contrattuali ed a quelle delle prove in vasca per:
 - Verificare l'adempimento degli obblighi contrattuali
 - Confrontare il risultato con le previsioni teoriche e sperimentali
- Si può fare riferimento alle norme ISO 15016 oppure alla procedura raccomandata dall' ITTC
- Generalmente si applicano coefficienti correttivi stabiliti dall'esperienza del cantiere o da quelle vasche che dispongano dei dati delle prove mare. Sono di solito dati riservati e non divulgati
- I coefficienti correttivi vanno concordati con armatore e registri prima delle prove



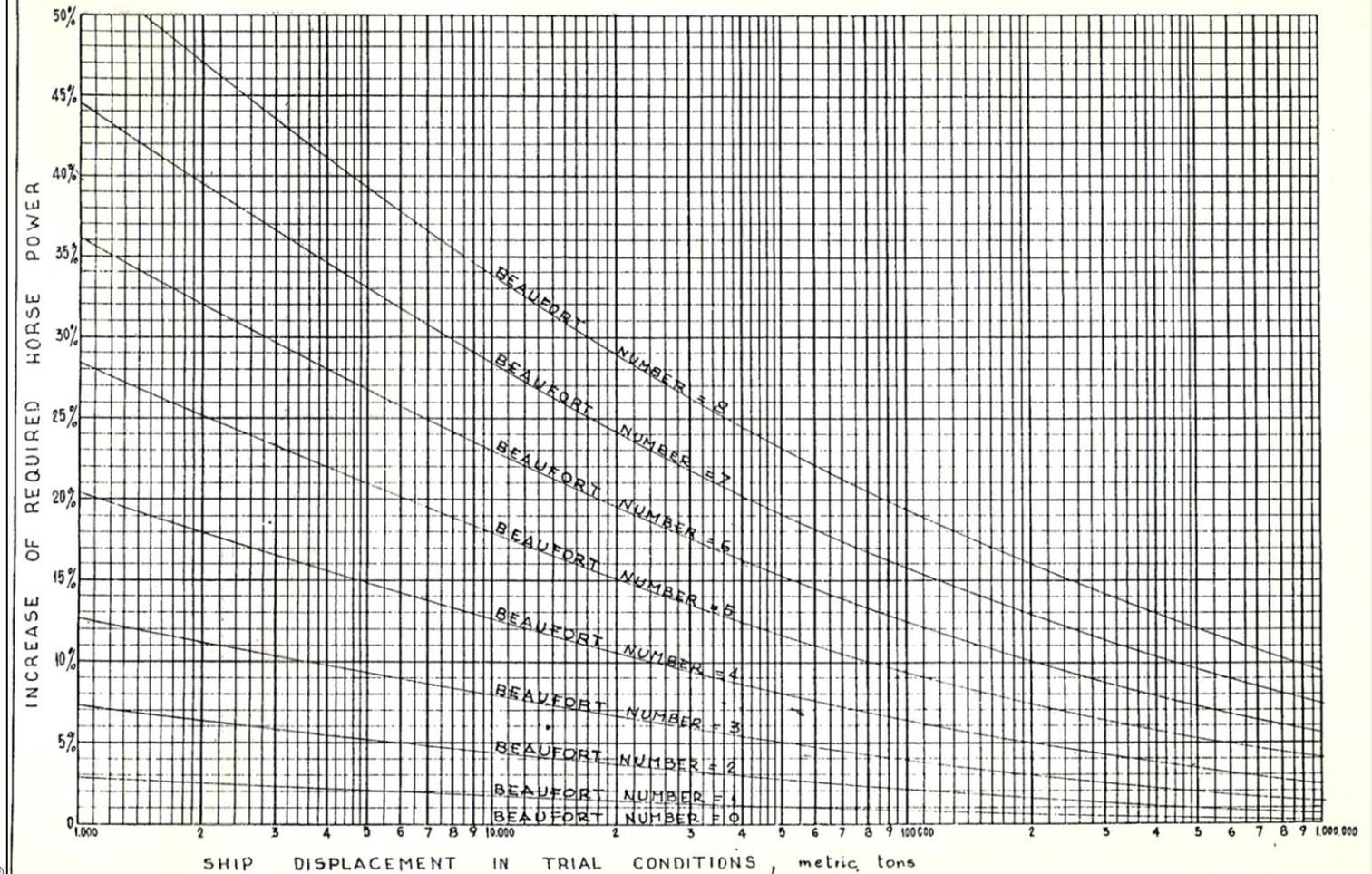
Correzione della potenza misurata per differenze rispetto alle condizioni contrattuali

- Correzione per vento e mare
- Correzione per fondale
- Correzione per densità acqua di mare
 - Valori standard vasca: $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $t = 15^\circ$
 - Potenza corretta nel rapporto $\rho_{\text{mare}} / \rho_{\text{vasca}}$
- Correzione per temperatura acqua di mare

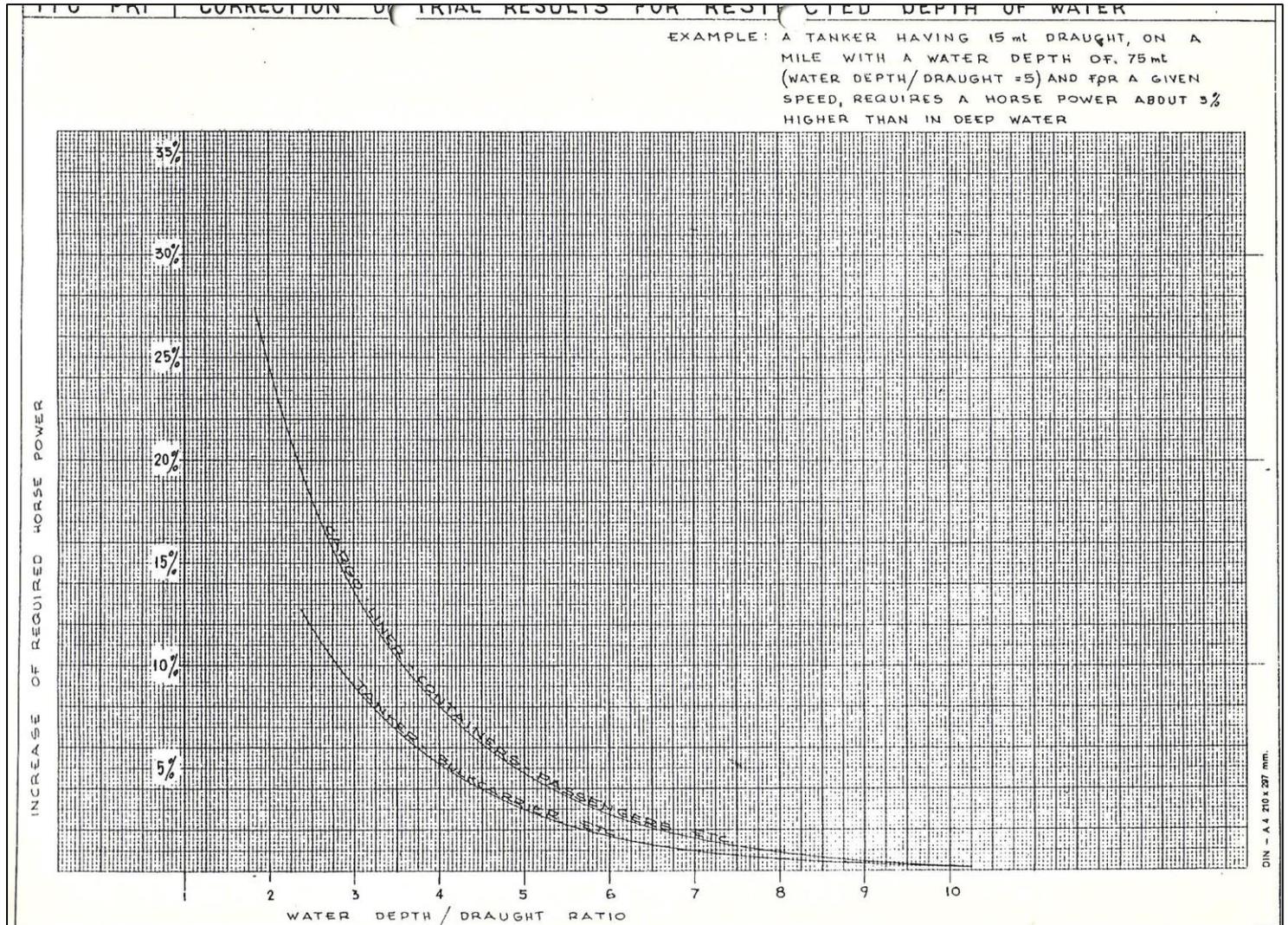


Correzioni per vento e mare

EXAMPLE: A SHIP HAVING 200,000 tons OF DISPLACEMENT, WITH WIND AND WAVES CORRESPONDING TO BEAUFORT NUMBER = 4, REQUIRES FOR A GIVEN SPEED A HORSE POWER 5% HIGHER THAN IN CALM SEA AND NO WIND.



Correzioni per fondale

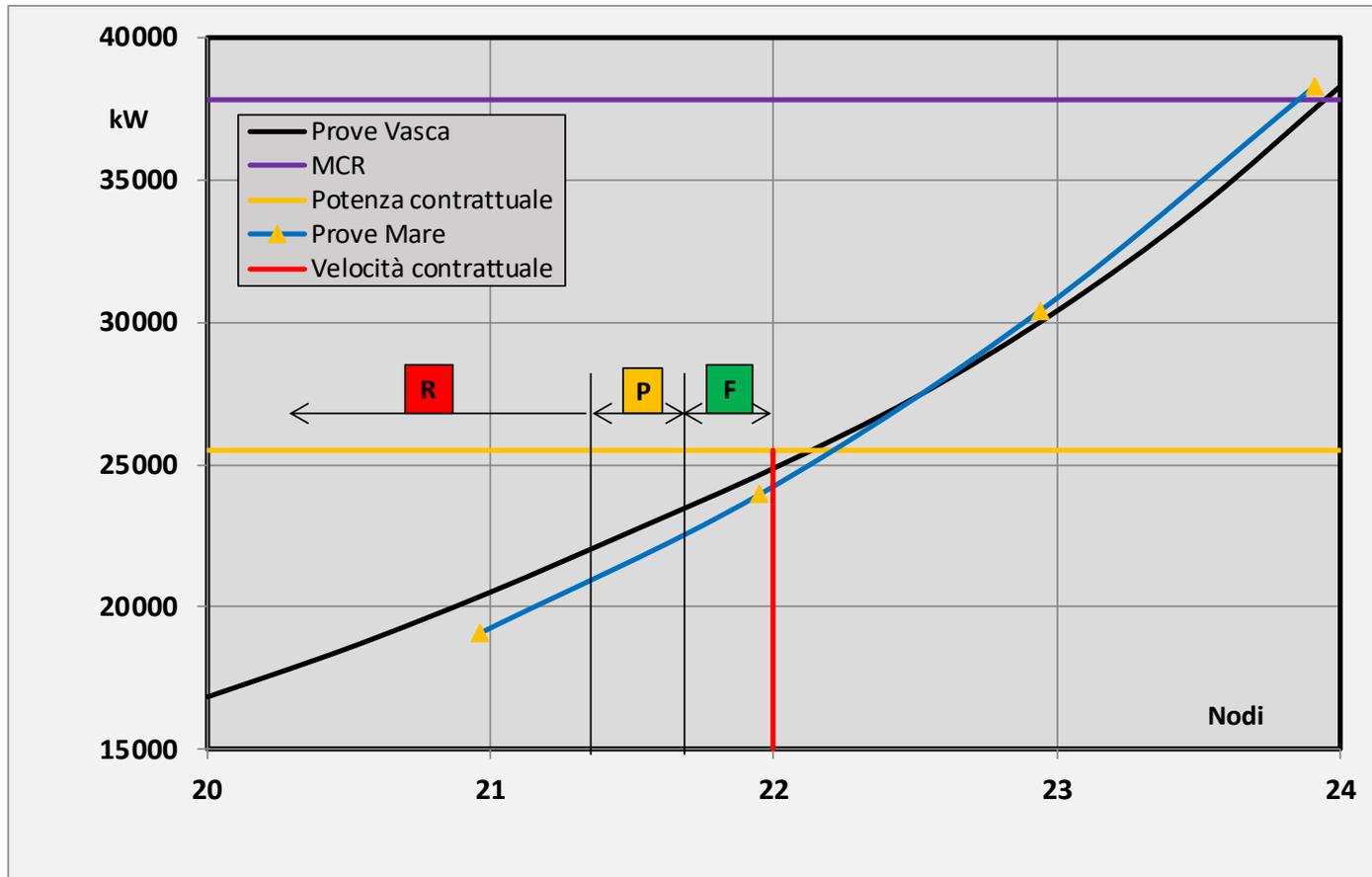


Correzione per dislocamento

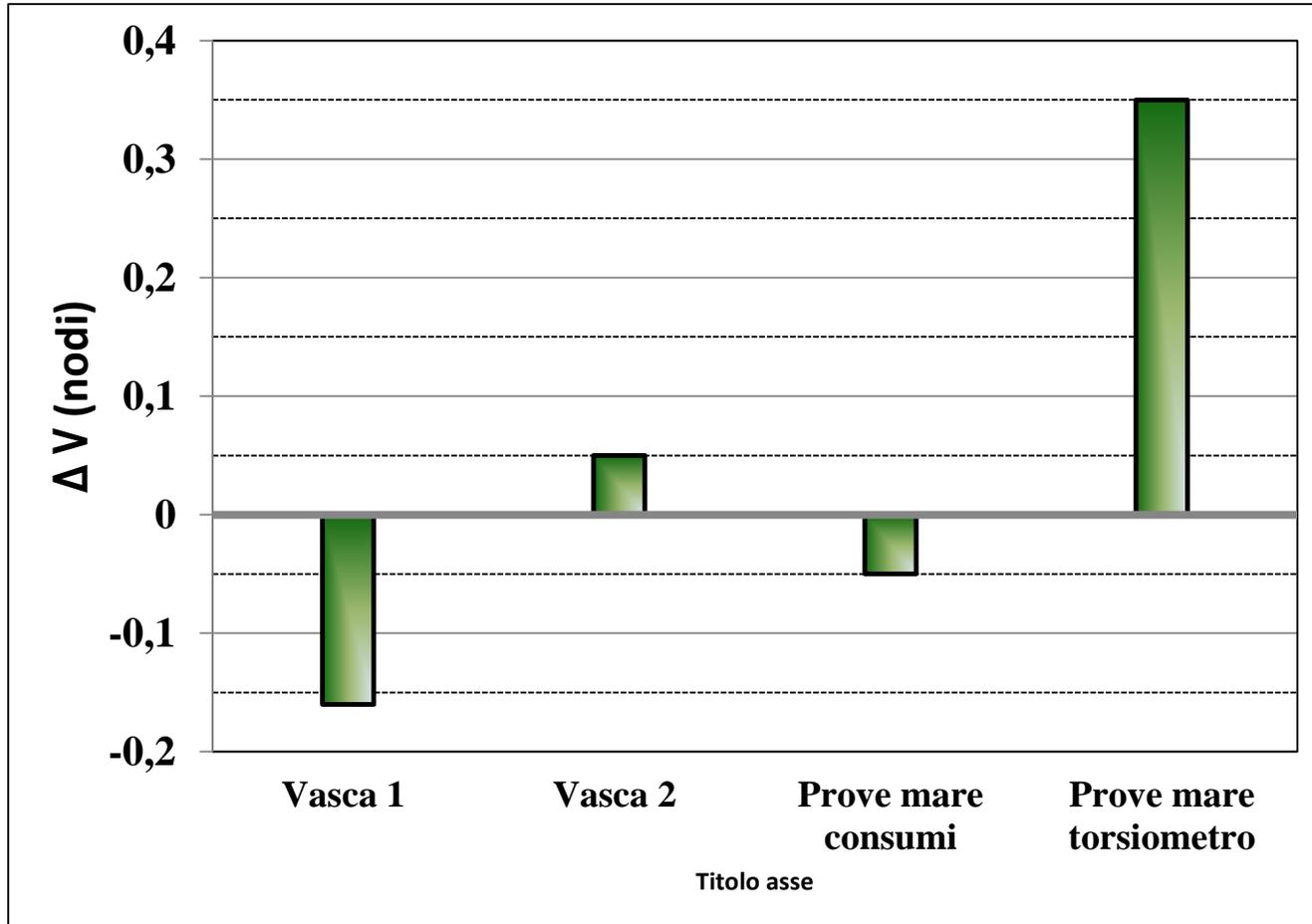
1. Nel caso il dislocamento di prova D_p differisca da quello contrattuale D_c non più del $2 \div 3 \%$ si può usare la seguente correzione:
 - Potenza Contrattuale = Potenza alla prova $\cdot (D_c/D_p)^{2/3}$
2. Per differenze superiori si fa riferimento alla prova vasca effettuata al dislocamento contrattuale ed a quello di prova:
 - Potenza Contrattuale = Potenza alla prova $\cdot (P_{VC}/P_{VP})$
 - P_{VC} : Potenza vasca al dislocamento contrattuale D_c
 - P_{VP} : Potenza vasca al dislocamento di prova D_p



Risultato della prova di velocità



Esempio



Analisi dei risultati

- I risultati della prova vanno analizzati per verificare le ipotesi di progetto e la correlazione vasca – mare
- Passaggio vasca – mare

$$k_p = P_{d \text{ trial}} / P_{d \text{ vasca}}$$

$$k_n = \text{RPM}_{\text{trial}} / \text{RPM}_{\text{vasca}}$$



Analisi dei risultati

C_A : correlazione modello-nave (correlation allowance)

- Ipotesi 1: il rendimento propulsivo è uguale per modello e nave
 - $P_{d \text{ trial}} / P_{d \text{ vasca}} = P_{e \text{ trial}} / \eta_{d \text{ trial}} * \eta_{d \text{ vasca}} / P_{d \text{ vasca}} = P_{e \text{ trial}} / P_{e \text{ vasca}}$
 - $P_{e \text{ trial}} = P_{e \text{ vasca}} * (P_{d \text{ trial}} / P_{d \text{ vasca}})$
 - $P_{e \text{ vasca}} = (C_{T \text{ vasca}}) * (\rho/2 * S * V^3)$
 - $P_{e \text{ trial}} = (C_{T \text{ vasca}} + \Delta C_A) * (\rho/2 * S * V^3)$
 - $P_{e \text{ trial}} - P_{e \text{ vasca}} = ((C_{T \text{ vasca}} + \Delta C_A) - (C_{T \text{ vasca}})) * (\rho/2 * S * V^3)$
 - $\Delta C_A = (P_{e \text{ trial}} - P_{e \text{ vasca}}) / (\rho/2 * S * V^3)$
 - **$C_{A \text{ trial}} = C_{A \text{ vasca}} + \Delta C_A$**



Analisi dei risultati

C_A : correlazione modello-nave (correlation allowance)

- Ipotesi 2: il coefficiente $(1-t)$ è uguale per modello e nave
 - T_{trial} : dal diagramma di elica isolata in funzione di $K_{Q \text{ trial}}$
 - $R_{\text{trial}} = (1-t) * T_{\text{trial}}$
 - $P_{e \text{ trial}} = V * R_{\text{trial}}$
 - $\Delta C_A = (P_{e \text{ trial}} - P_{e \text{ vasca}}) / (\rho/2 * S * V^3)$
 - $C_{A \text{ trial}} = C_{A \text{ vasca}} + \Delta C_A$

