



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

*Vittorio BUCCI*

**Progetto di impianti di propulsione navale**

## **4.2 CAMPO DI UTILIZZO**

---

Anno Accademico 2017/2018

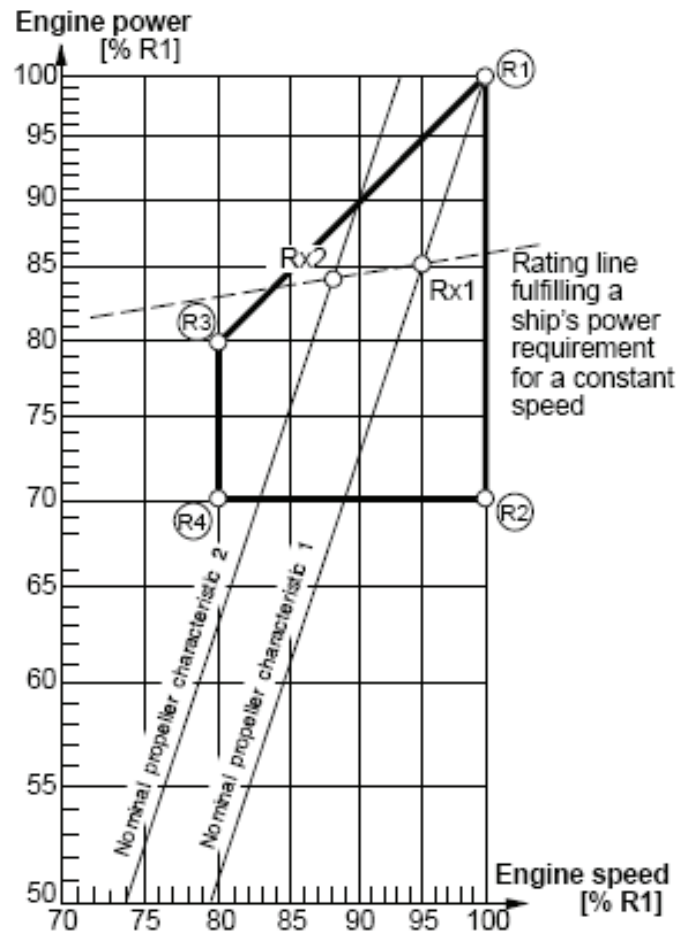
# Impianti di propulsione navale

## **Motori diesel 2T – Campi utilizzazione**

- **Il tipo di motore deve essere scelto in base al campo di progetto (layout field) e al campo di funzionamento (load range) con l'obiettivo di soddisfare la richiesta di potenza del progetto;**
- **Ogni tipo di motore ha un campo di progetto all'interno del quale può essere selezionata la potenza massima continuativa contrattuale (CMCR) e definita la velocità di rotazione;**
- **Il campo di funzionamento rappresenta l'area ammissibile per servizio continuativo relativa alla CMCR selezionata;**
- **Entrambi i campi sono sempre rappresentati con la velocità del motore sull'asse orizzontale e la potenza su quello verticale, entrambi in percentuale dei valori corrispondenti alla massima potenza continuativa del motore (MCR), oppure alla CMCR, in modo da utilizzare il grafico per differenti motori;**
- **Entrambi gli assi sono inoltre generalmente in scala logaritmica in modo da avere le curve esponenziali, come la curva dell'elica (legge cubica) e la pressione media effettiva del motore (legge quadratica), rappresentate da linee rette.**

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione



### Vertici del campo di progetto

- Punto **R1**: rappresenta la potenza massima continuativa (MCR - Maximum Continuous Rating). E' la massima combinazione potenza/velocità disponibile per ogni tipo di motore;
- Punto **R2**: rappresenta il 100% della velocità e il 70% della potenza R1;
- Punto **R3**: rappresenta l'80% della velocità e l'80% della potenza R1;
- Punto **R4**: rappresenta l'80% della velocità e il 70% della potenza R1;
- Linea **R1-R3**: è la linea della pressione media effettiva nominale corrispondente alla potenza R1;

Il punto di funzionamento Rx, potenza massima continuativa contrattuale (CMCR), può essere selezionato in ogni punto all'interno del campo di funzionamento ammissibile per soddisfare le esigenze di ogni progetto.

Per ogni punto Rx è necessaria un'opportuna regolazione del motore.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione

- Per una velocità nave costante, normalmente quella contrattuale, e per un definito tipo di elica, una diminuzione della velocità di rotazione dell'elica, combinata con un aumento del suo diametro, incrementa l'efficienza propulsiva totale. Si richiede pertanto meno potenza per la stessa velocità nave;
- La variazione di potenza in funzione della velocità di rotazione dell'elica può essere determinata con la relazione:

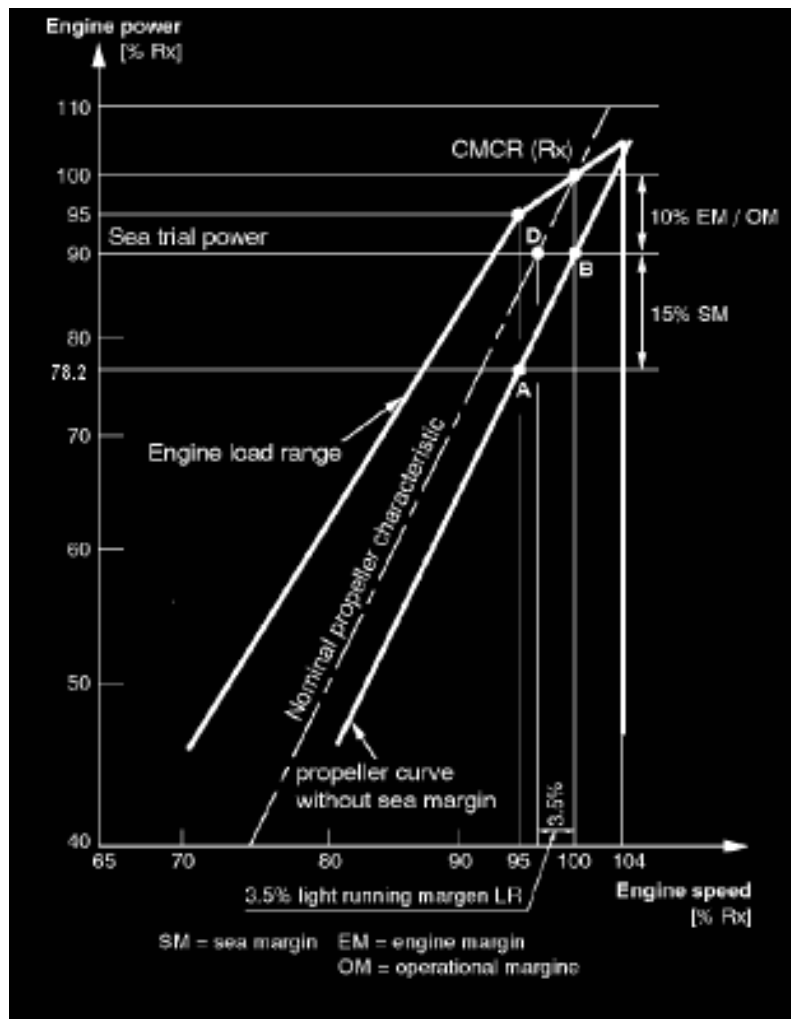
$$\frac{P_{x_2}}{P_{x_1}} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^\alpha$$

nella quale:

- ✓  $P_{x_i}$  è la potenza propulsiva alla velocità di rotazione  $N_i$ ;
  - ✓  $N_i$  è la velocità di rotazione alla potenza propulsiva  $P_{x_i}$ ;
  - ✓  $\alpha$  è un coefficiente che generalmente varia tra 0,15 e 0,25 in funzione del tipo di nave.
- La precedente relazione è utilizzata per confrontare differenti possibili alternative. Noto un punto di funzionamento potenza/velocità di rotazione, ad esempio il punto  $R_{x_1}$  sul grafico precedente, può essere tracciata una retta che definisce in funzione della velocità di rotazione la potenza necessaria per mantenere costante la velocità nave. La pendenza di tale retta dipende dal coefficiente  $\alpha$ ;
  - Ogni altro punto di tale retta, ad esempio  $R_{x_2}$ , rappresenta una nuova combinazione potenza/velocità di rotazione che richiede ovviamente una nuova definizione delle caratteristiche dell'elica.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione



### Campo di funzionamento

- Eseguito il progetto dell'elica e definito quindi il punto corrispondente alla potenza massima continuativa contrattuale (CMCR), la curva caratteristica teorica di un'elica a pale fisse, relazione tra potenza assorbita e velocità di rotazione, può essere approssimata con la seguente relazione:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

- Il campo alla destra della curva teorica dell'elica può essere utilizzato per servizio continuativo;
- Il campo compreso tra la curva teorica dell'elica e la curva limite del motore deve essere utilizzato soltanto per funzionamento in transitorio durante le variazioni di carico.

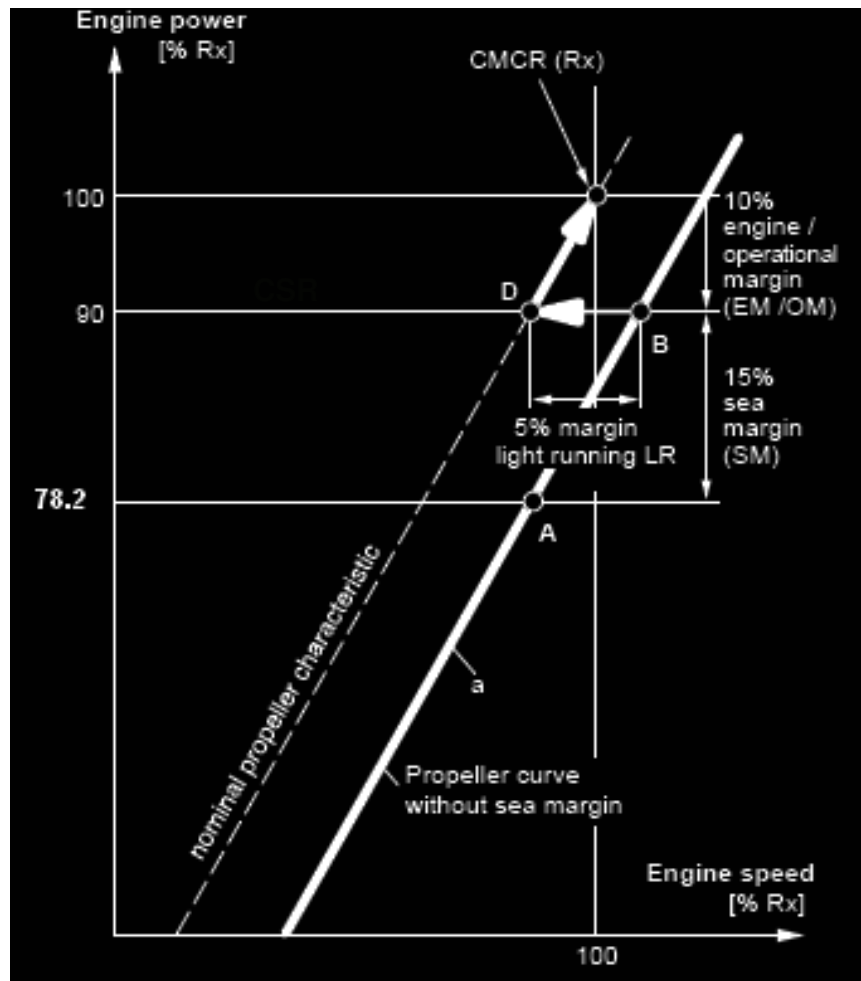
# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione

- **Margine motore o margine operativo (EM o MO):** E' un dato contrattuale richiesto dalla Società Armatrice con l'obiettivo di utilizzare il motore ad una potenza più bassa ed allungare i tempi fra le manutenzioni. E' normalmente circa il 10% della CMCR e conseguentemente la potenza utile è al massimo il 90% della CMCR;
- **Sea Margin (SM):** E' concordato in fase contrattuale ed è normalmente del 15%. Definisce l'aumento di potenza necessario per ottenere la stessa velocità nave tra le condizioni alle prove mare (punto "A"), carena pulita e mare calmo, e le condizioni effettive di servizio (punto "D");
- **Light Running Margin (LR):** E' definito dal cantiere in modo da avere sufficiente riserva di momento (potenza) e richiedere la potenza massima solo in condizioni molto sfavorevoli (carena sporca e pessime condizioni mare). La curva di LM contiene il punto di ottimizzazione dell'elica (punto "B") ed è spostata a destra tra il 3 e il 7% della velocità di rotazione rispetto alla curva teorica dell'elica.  
Come riferimento si può fissare un valore del 5-6%, somma dei seguenti fattori:
  - ✓ 1,5-2%: influenza del vento e delle condizioni metereologiche (differenza tra Beaufort 2 delle prove mare e Beaufort 4-5 delle condizioni medie di servizio);
  - ✓ 1,5-2%: Incremento medio delle resistenze della nave;
  - ✓ 1%: perdita di efficienza dell'elica per aumento della rugosità superficiale;
  - ✓ 1%: perdita di rendimento del motore diesel.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione

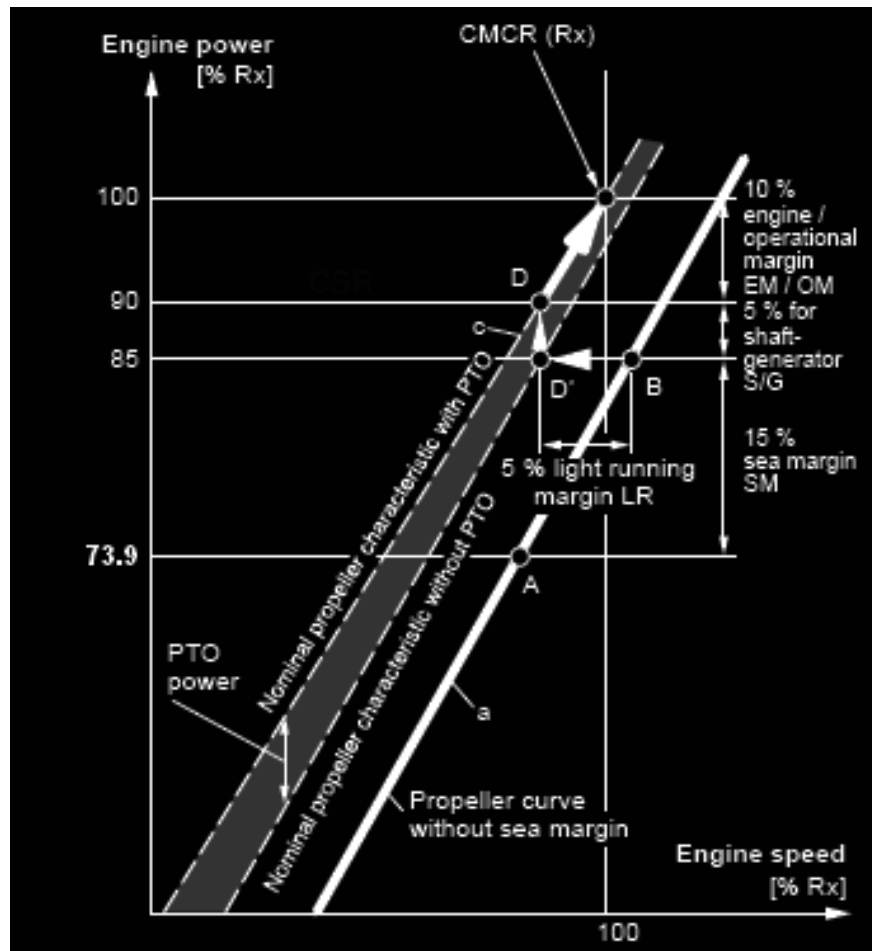


### Riepilogo campo di funzionamento

- **Punto B:** è il punto di ottimizzazione idrodinamica dell'elica deciso dal cantiere;
- **Punto A:** rappresenta la potenza e velocità di rotazione necessarie per ottenere la velocità contrattuale in mare calmo e con carena ed elica pulite. Corrisponde ad una potenza assorbita inferiore del 15% (SM) a quella del punto B;
- **Punto D:** rappresenta la potenza e velocità di rotazione necessarie per ottenere la stessa velocità contrattuale in condizioni di servizio, con condizioni medie di tempo, con carena ed elica non pulite. Definisce inoltre la potenza continuativa di servizio (CSR) ed è pari al 90% della CMCR;

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione



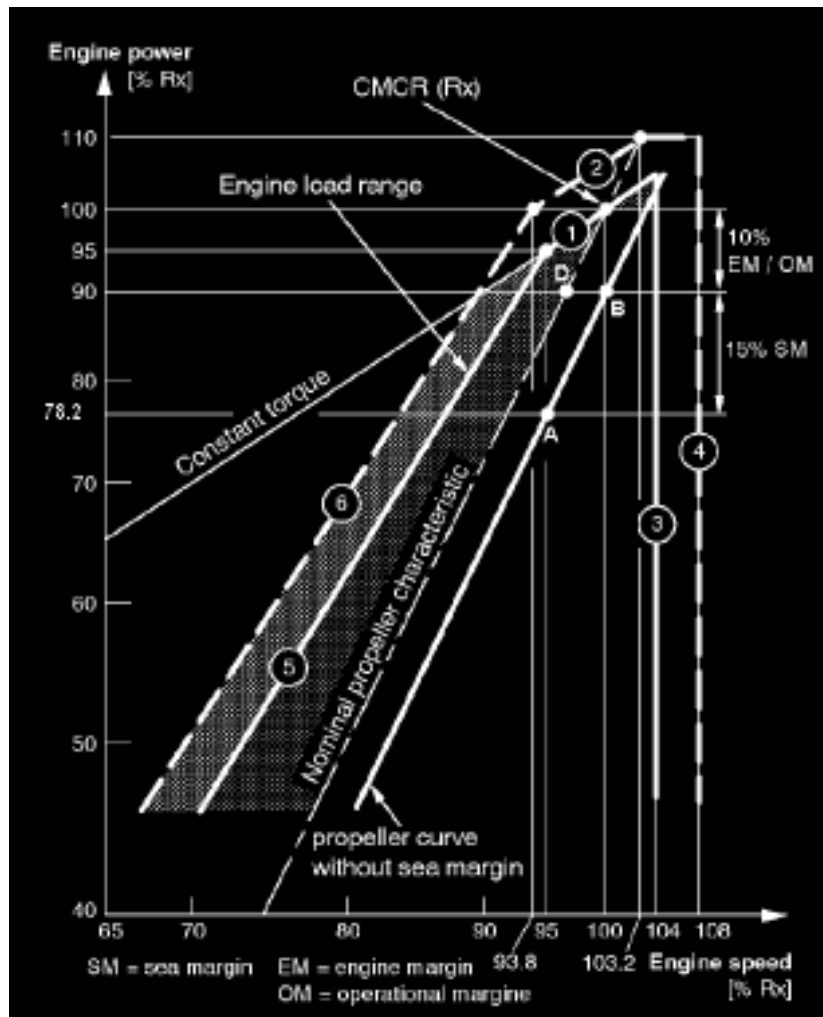
### Campo di funzionamento impianto con PTO

- In molti impianti il motore trascina anche un alternatore asse sistemato o sulla linea d'alberi o su una "Power Take Off" (PTO) di un moltiplicatore di velocità;
- La potenza assorbita da tale alternatore è pari mediamente al 5% della CSR ed è costante dal 70 al 100% della velocità di rotazione;
- Per la costanza di tale potenza, le due curve di funzionamento con alternatore a carico ed a vuoto non sono parallele;
- Per tutti i punti importanti del grafico, quali A-B e D che si trasforma in D', la potenza si riduce del 5% e si notano due aree distinte:
  - ✓ Quella relativa alla potenza assorbita dall'elica, progetto e funzionamento, che fa riferimento alla curva caratteristica dell'elica senza PTO;
  - ✓ Quella relativa alla potenza totale erogata dal motore con elica più PTO.



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione



### Limiti del campo di funzionamento

- **Linea 1**: è la p.m.e. nominale costante fino al 95% della potenza e velocità;
- **Linea 2**: è il limite di sovraccarico a p.m.e. costante dal 100% di potenza al 93,8% della velocità fino al 110% della potenza al 103.2% della velocità;
- **Linea 3**: è il limite di velocità al 104% della velocità nominale per il funzionamento continuativo del motore;
- **Linea 4**: è il limite di velocità al 108% della velocità nominale.  
Il campo di velocità dal 104 al 108% è ammissibile solo durante le prove mare per sviluppare la CMCR e dimostrare la velocità contrattuale della nave;

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex – Campi utilizzazione

- **Linea 5:** è il limite del momento torcente ammissibile del motore (Torque limit). Inizia dal punto 95% di potenza e velocità e termina al punto 45% di potenza e 70% di velocità. La linea rappresenta la curva di equazione:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^{2,45}$$

Quando il funzionamento si avvicina alla linea **5**, il motore soffre per la mancanza di aria di sovralimentazione con conseguenti possibili surriscaldamenti.

L'area formata dalle linee **1**, **3**, e **5** rappresenta il campo all'interno del quale il motore dovrebbe operare. L'area delimitata dalla curva nominale dell'elica, dal 100% della CMCR e dalla linea **3** rappresenta il campo di funzionamento continuo.

L'area delimitata dalla curva nominale dell'elica e dalla linea **5** è disponibile per navigazione in acque basse e durante le accelerate del motore.

- **Linea 6:** è il limite del massimo momento torcente in transitorio ammissibile del motore. Inizia dal punto 100% della potenza e 93,8% della velocità e segue la stessa equazione della linea **5**. Pertanto le due linee sono parallele.

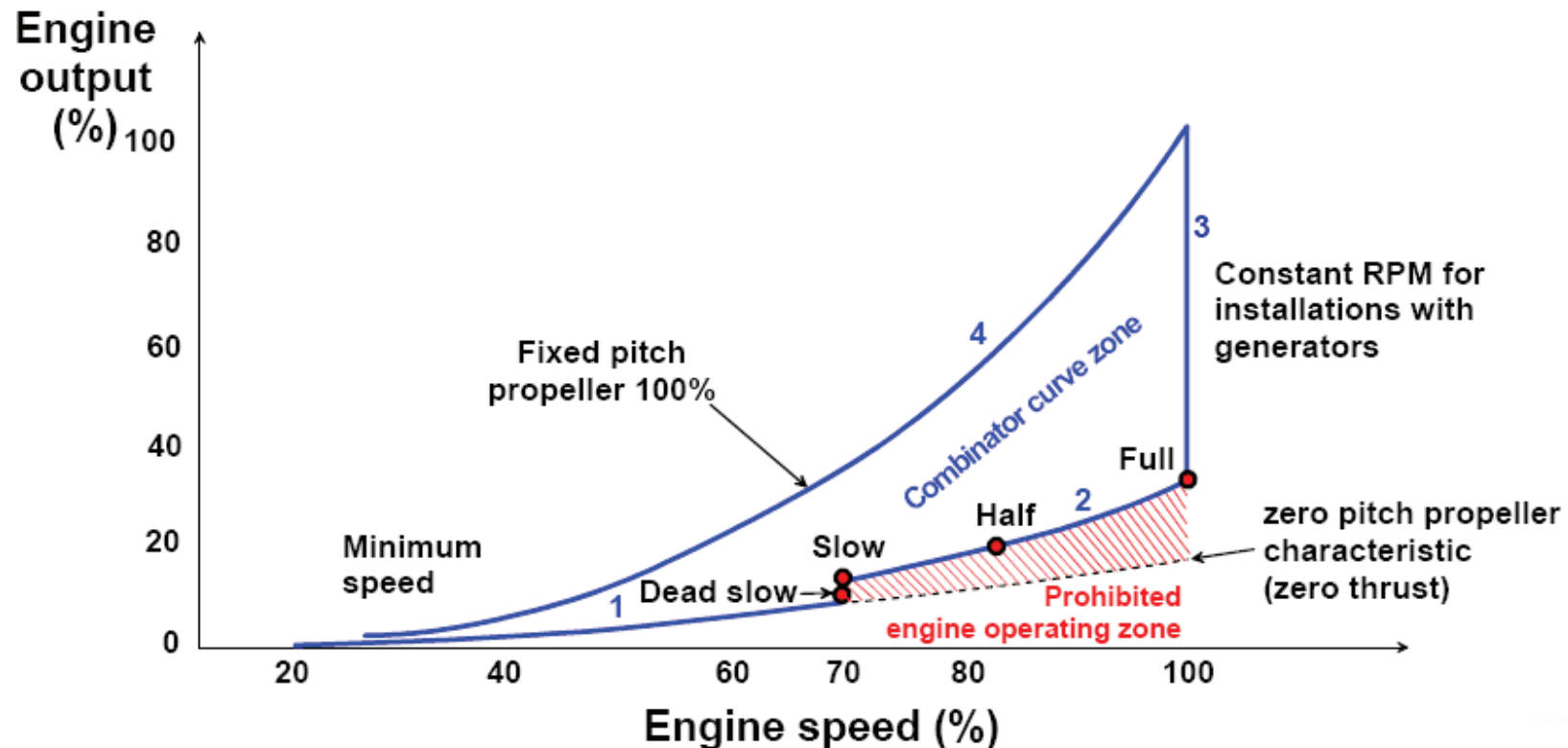
L'area al di sopra della linea **1** è il campo di sovraccarico con funzionamento ammissibile di 1 ora durante le prove mare per dimostrare la potenza di sovraccarico del motore.

L'area formata dalle linee **1**, **5**, e **6** rappresenta il campo per “funzionamento temporaneo a tempo limitato” durante le brusche accelerate del motore.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex

### Campi utilizzazione per impianti con elica a passo variabile (CPP)



# Impianti di propulsione navale

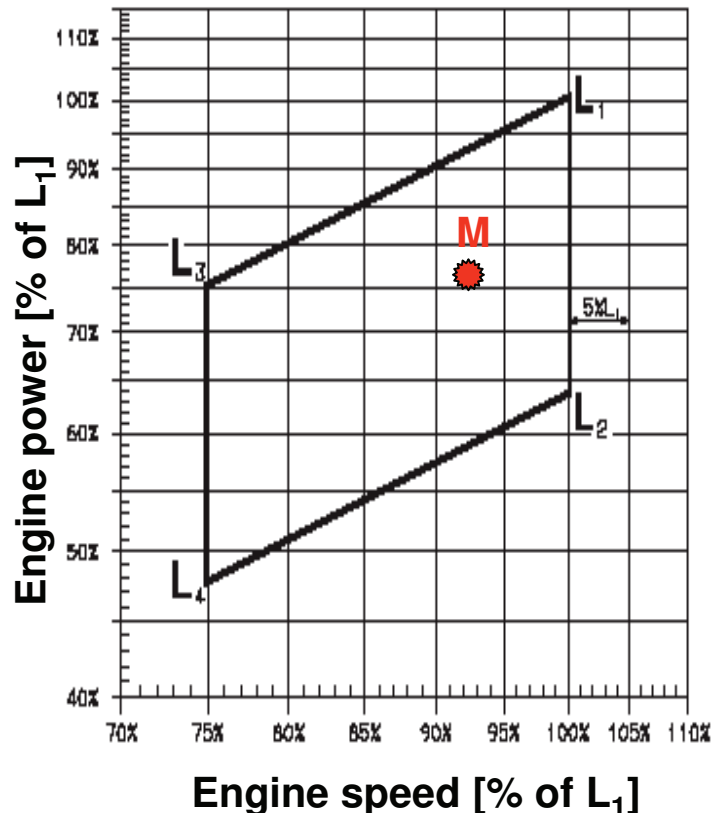
## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA/RTFlex

### Campi utilizzazione per impianti con elica a passo variabile (CPP)

- **Linea 1:** rappresenta la curva di funzionamento in legge cubica con passo di spinta nulla dalla velocità minima alla velocità pari al 70% di quella nominale;
- **Linea 2:** rappresenta la curva di funzionamento in legge cubica dalla velocità del 70% al 100% della velocità nominale. Tale curva ha un passo idoneo per assorbire una potenza minima del motore pari al 37% della CMCR alla velocità nominale;
- **Linea 3:** rappresenta il funzionamento alla velocità nominale costante e con una variazione del passo che permette di assorbire una potenza del motore dal 37 al 100% della CMCR;
- **Linea 4:** rappresenta la curva di funzionamento in legge cubica con passo nominale costante in grado di assorbire la potenza nominale (CMCR) al 100% della velocità nominale;
- L'area dal 70 al 100% della velocità nominale delimitata dalle curve **2** e **4** rappresenta il campo entro il quale un impianto con elica a passo variabile può funzionare con curve combinate, che permettono di variare in contemporanea passo e velocità, tenendo sempre presenti i concetti di OM, SM e LR.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie S60MC - Prestazioni



### Vertici del campo di progetto

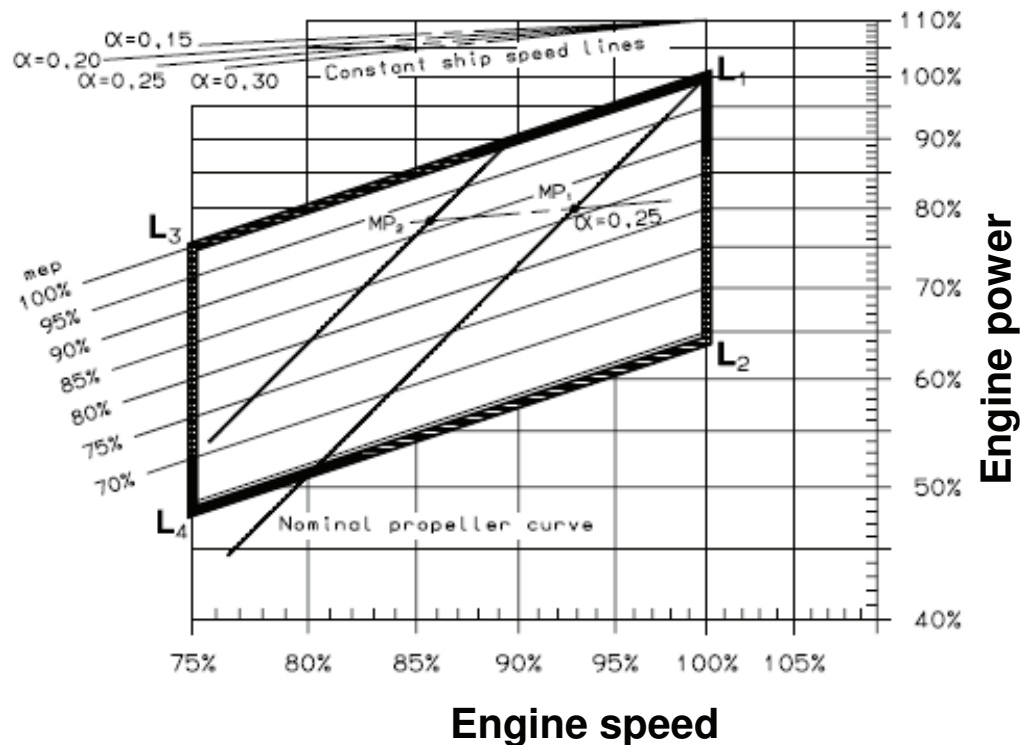
- Punto **L<sub>1</sub>**: rappresenta la potenza massima continuativa (MCR - Maximum Continuous Rating). E' la massima combinazione potenza/velocità disponibile per ogni tipo di motore;
- Punto **L<sub>2</sub>**: rappresenta il 100% della velocità e il 64% della potenza L<sub>1</sub>;
- Punto **L<sub>3</sub>**: rappresenta il 75% della velocità e il 75% della potenza L<sub>1</sub>;
- Punto **L<sub>4</sub>**: rappresenta il 48% della velocità e il 75% della potenza L<sub>1</sub>;
- Linee L<sub>1</sub>-L<sub>3</sub> e L<sub>2</sub>-L<sub>4</sub>: sono linee a pressione media effettiva costante;

Il punto di funzionamento **M**, potenza massima continuativa (MCR), può essere selezionato in ogni punto all'interno del campo di funzionamento per soddisfare le esigenze di ogni progetto (richiesta di potenza all'elica e velocità nave).

Per ogni punto **M** è necessaria un'opportuna regolazione del motore.

# Impianti di propulsione navale

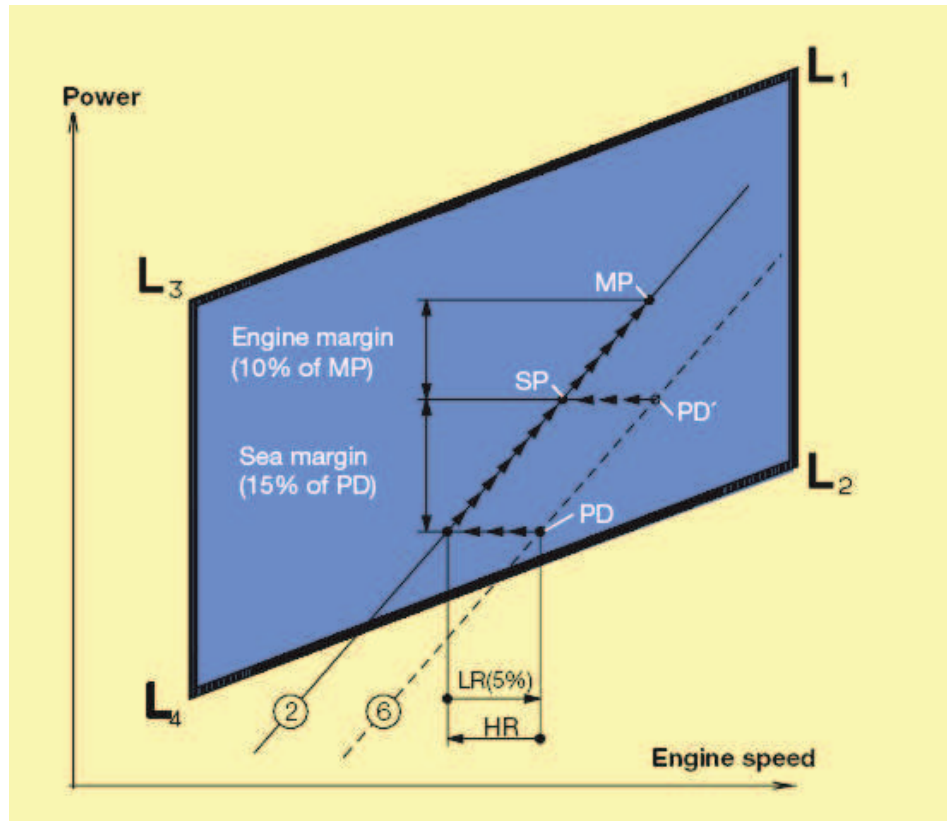
## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie MC/ME – Campi utilizzazione



- Analogamente a quanto già visto per i precedenti motori, per la velocità nave di progetto l'elica può essere ottimizzata scegliendo opportunamente la combinazione potenza/velocità di rotazione tra le varie alternative progettuali possibili;
- L'obiettivo è sempre quello di aumentare l'efficienza propulsiva totale e ridurre quindi i consumi di combustibile a parità di velocità nave;
- In alto a sinistra sul grafico sono riportate le curve a velocità nave costante per differenti valori del coefficiente  $\alpha$ .

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie MC/ME – Campi utilizzazione

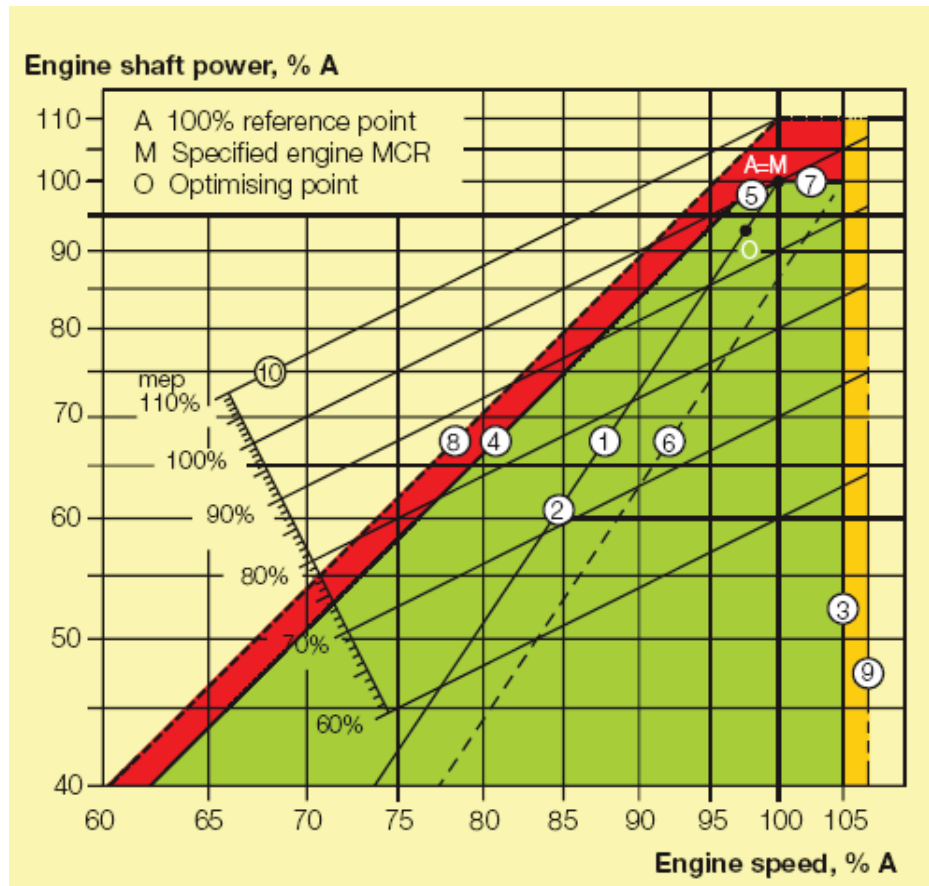


### Modalità di funzionamento

- **Linea 2** : è la curva teorica dell'elica coincidente con la curva di funzionamento con carena sporca e pessime condizioni mare;
- **Linea 6** : è la curva di funzionamento dell'elica con carena pulita e mare calmo;
- **Punto MP**: è la potenza massima continuativa (MCR);
- **Punto SP**: è la potenza continuativa di servizio (CSR);
- **Punto PD**: è il punto di progetto dell'elica deciso dal cantiere;
- **Punto PD'**: è un punto alternativo per il progetto dell'elica;
- **Engine Margin (MP)**, **Sea Margin (SM)** e **Light Running (LR)**, hanno gli stessi significati definiti in precedenza.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie MC/ME – Campi utilizzazione



- ### Limiti del campo di funzionamento
- Punto **O**: è il punto di regolazione del rapporto di compressione del motore per ottimizzare l'aria di sovralimentazione;
  - Punto **A**: è il riferimento al 100% della velocità e della potenza: E' il punto sulla curva **1** attraverso il punto di ottimizzazione **O** che ha la potenza pari alla MCR;
  - Punto **M**: Coincide con il punto **A** per impianti senza alternatore asse;
  - Linea **1**: è la curva teorica dell'elica che passa per il punto di ottimizzazione **O**;
  - Linea **2**: è la curva di funzionamento con carena sporca e pessime condizioni mare;
  - Linea **3**: è il limite di velocità al 105% della velocità nominale per il funzionamento continuativo del motore;



# Impianti di propulsione navale

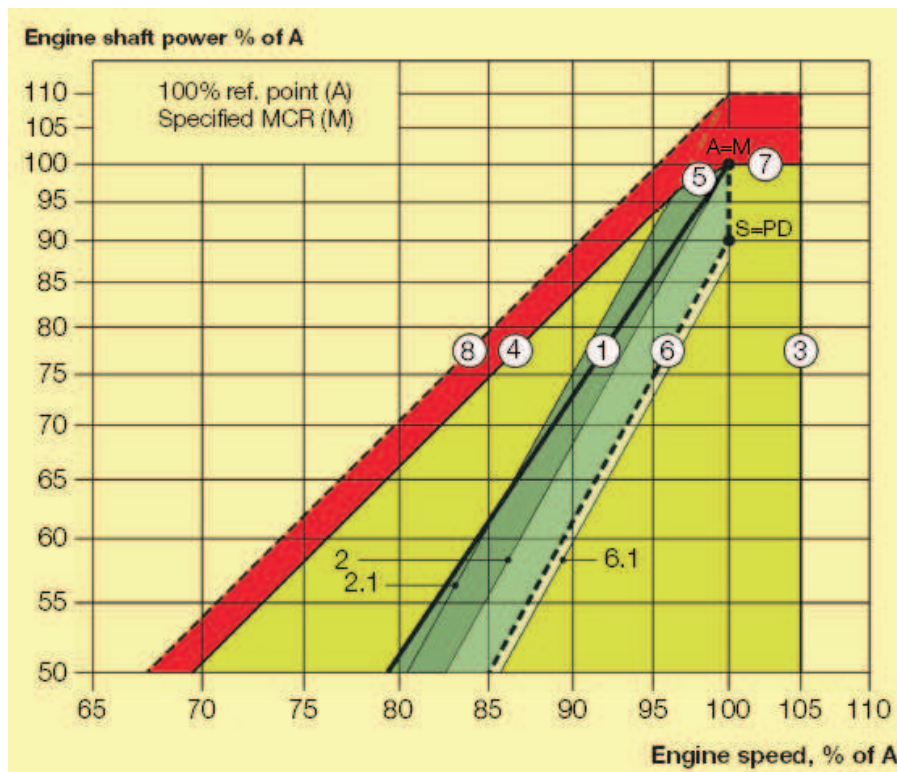
## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie MC/ME – Campi utilizzazione

- **Linea 4:** è il limite della combinazione massima momento torcente/velocità di rotazione ammissibile del motore a causa dell'eccessiva aria disponibile per la combustione;
- **Linea 5:** è la massima p.m.e. che può essere accettata per servizio continuativo;
- **Linea 6:** è la curva di funzionamento dell'elica con carena pulita e mare calmo;
- **Linea 7:** è la potenza massima per servizio continuativo (MCR);
- **Linea 8:** è il limite di funzionamento in sovraccarico;
- **Linea 9:** è il limite di velocità al 107% della velocità nominale per il funzionamento del motore soltanto durante le prove mare;
- **Linee 10:** sono linee a p.m.e. costante;
- L'area formata dalle linee **4,5,7** e **3** è il campo per servizio continuativo;
- L'area formata dalle linee **4,5,7** e **8** è disponibile per funzionamento in sovraccarico per un periodo limitato (1 ora ogni 12 ore)
- L'area formata tra le linee **1** e **4** è disponibile per navigazione in acque basse, con condizioni metereologiche avverse e durante le brusche accelerate del motore, cioè in condizioni non stazionarie di funzionamento senza limitazioni di tempo.



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore MAN B&W serie MC/ME - Campo utilizzazione Impianti con elica a passo variabile (CPP) con e senza PTO



### Elica a passo variabile

L'elica a passo variabile, o a pale orientabili, lavora sempre su una curva combinata ben definita, che per ogni velocità di rotazione imposta il valore di passo previsto.

#### Influenza variazioni resistenze nave

- Punto **S=PD**: è il punto di progetto dell'elica coincidente con la potenza continuativa di servizio;
- Linea **1**: è la curva teorica dell'elica;
- Linea **2**: è la curva di funzionamento con carena sporca e pessime condizioni mare;
- Linea **6**: è la curva combinata per il progetto dell'elica con carena pulita, mare calmo, 15% di sea margin e nave a carico;
- Linea **2.1**: è la curva di funzionamento con carena sporca, veramente pessime condizioni del tempo e del mare, con forti onde resistenti;
- Linea **6.1**: è la curva combinata più "leggera" con carena pulita e mare calmo;

# Impianti di propulsione navale

## **Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione**

- **I concetti e le raccomandazioni dei due principali costruttori di motori diesel 2T, Wärtsilä e MAN B&W, esposti in precedenza, sono applicati nella fase di progettazione di tutti gli impianti, con qualche piccola variazione;**
- **La curva di utilizzazione del motore è definita dal progettista navale ed inviata sempre all'approvazione del fornitore del motore prima di essere inoltrata alla SA, al fornitore del sistema di controllo della regolazione del passo dell'elica, che generalmente è il fornitore dell'elica, ed al fornitore dell'automazione nave;**
- **A titolo di esempio, sono illustrati due ipotetici impianti che rappresentano le due condizioni applicative più differenti come configurazione:**
  - ✓ **Esempio 1: Motore 5RTA62U, elica a pale fisse, alternatore asse sistemato sulla linea d'alberi e sistema elettrico dotato di convertitore di frequenza;**
  - ✓ **Esempio 2: Motore 8RTA62U-B, elica a passo variabile, alternatore asse sistemato sulla linea d'alberi e sistema elettrico dotato di convertitore di frequenza;**



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 1: Dati dell'impianto

Fincantieri - Direzione Navi Mercantili		GAM	23/2/07
<b>ENGINE:</b>	<b>5RTA62U</b>	<b>Hull No.:</b>	<b>-----</b>
NUMBER OF CYLINDERS	5	Project:	Esempio 1
SPEC. CYLINDER POWER	2285 kW	Sister Hull No.:	-----
TOTAL POWER - MCR	11425 kW	Yard:	-----
ENGINE SPEED	115 RPM		
P.T.O	1200 kW		

### FIXED PITCH PROPELLER

#### INPUT

SEA MARGIN

23,3%

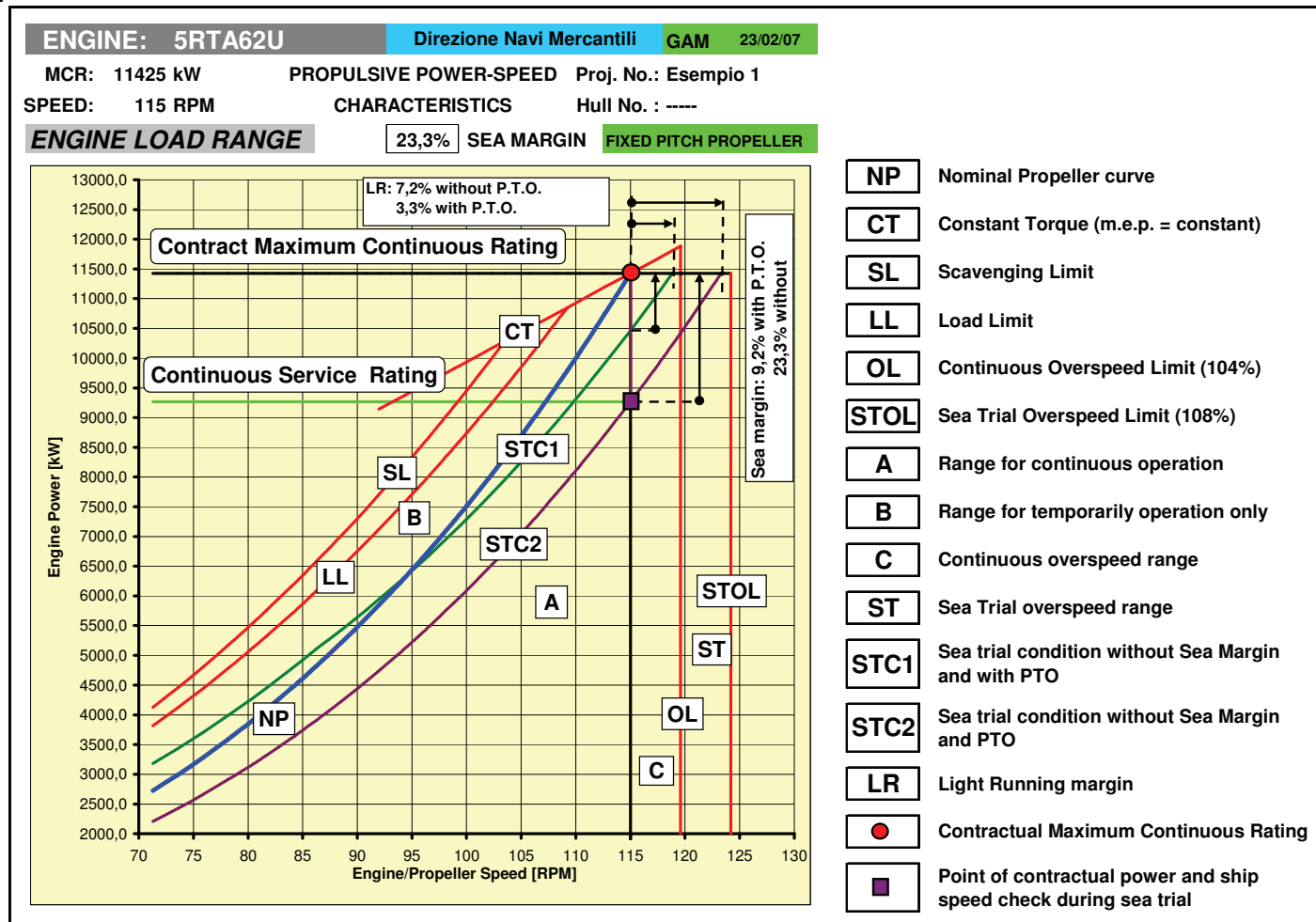
**STC1** LIGHT PROPELLER CURVE **WITHOUT** SEA MARGIN AND **WITH** PTO

**STC2** PROPELLER CURVE **WITHOUT** SEA MARGIN AND P.T.O.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 1: Curva di utilizzazione

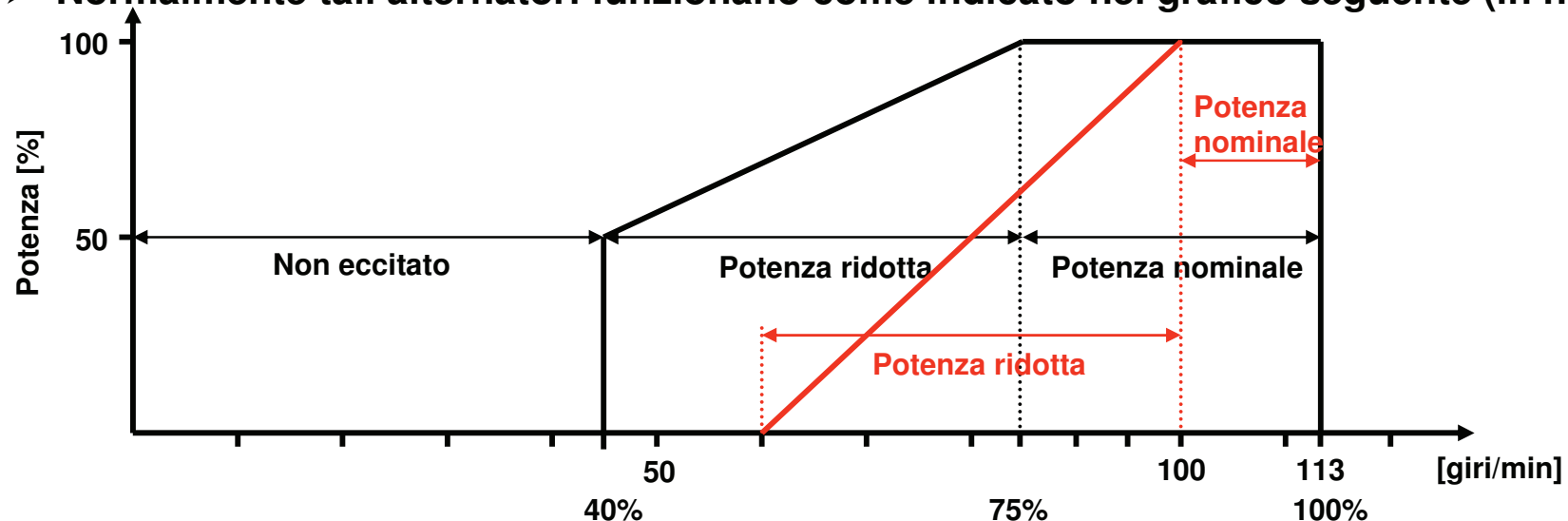


Data: 15/02/2007

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

- Nel precedente grafico si nota che la curva di potenza totale del motore prevista alle prove mare senza Sea Margin e con PTO (STC1) è superiore alla curva nominale dell'elica (NP), potenza massima erogabile dal motore, nel campo di velocità da circa 70 a 95 giri/min;
- L'impianto in tali condizioni non può funzionare in modo continuo e pertanto occorre ridurre la potenza assorbita dell'alternatore asse in tale campo di velocità;
- Normalmente tali alternatori funzionano come indicato nel grafico seguente (in nero):



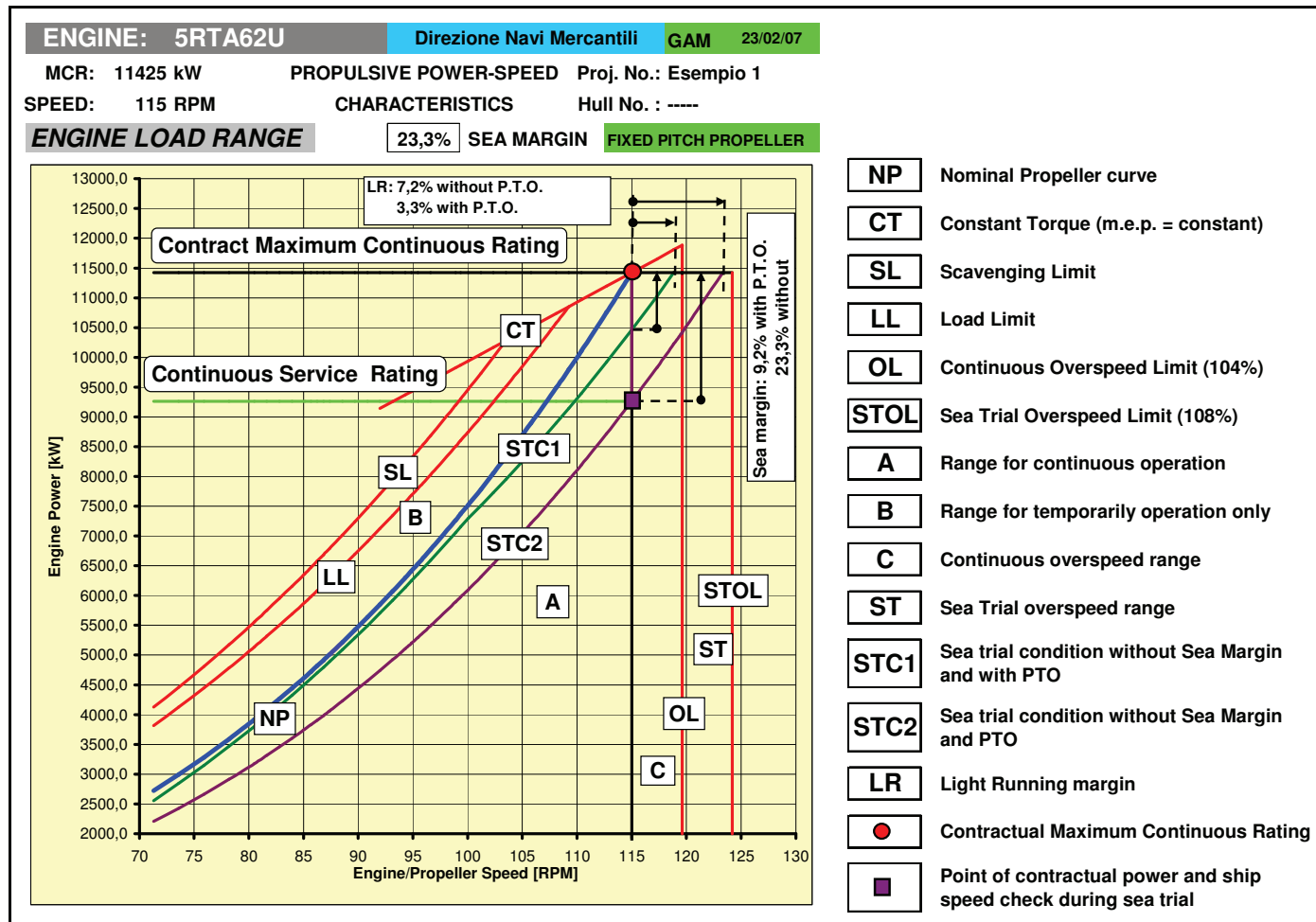
- Per l'applicazione in oggetto sarebbe pertanto necessario modificare la curva di potenza dell'alternatore (in rosso) in modo da avere la curva della potenza totale del motore (STC1) a destra della curva nominale dell'elica (NP) in tutto il campo di funzionamento. In definitiva non si utilizza in pieno la potenzialità dell'alternatore asse;



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 1: Curva di utilizzazione modificata



Data: 15/02/2007



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 2: Dati dell'impianto

Fincantieri - Direzione Navi Mercantili		GAM	23/2/07
<b>ENGINE:</b> 8RTA62U-B		<b>Hull No.:</b> -----	
NUMBER OF CYLINDERS	8	<b>Project:</b>	<b>Esempio 2</b>
SPEC. CYLINDER POWER	2285 kW	<b>Sister Hull No.:</b>	-----
TOTAL POWER - MCR	18280 kW	<b>Yard:</b>	-----
ENGINE SPEED	115 RPM		
P.T.O	1625 kW		

### CONTR. PITCH PROPELLER ( C P P ) OPERATION

#### INPUT

#### SEA MARGIN

13,6%

#### CC1

PROPELLER CURVE **WITHOUT** SEA MARGIN AND **WITH** PTO

#### CC2

PROPELLER CURVE **WITHOUT** SEA MARGIN AND P.T.O.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 2: Dati dell'impianto

Fincantieri - Direzione Navi Mercantili

GAM 23/2/07

COMBINATOR CURVE WITH AND WITHOUT PTO

DESIGN PROPOSAL								
Telegraph		Power without shaft generator			Power with shaft generator			
Position	Number	Pitch [%]	Speed [rpm]	Engine Power [kW]	Pitch [%]	Speed [rpm]	Generator Power [kW]	Engine Power [kW]
Dead	0	0	66,0	725	0	66,0	750,0	1475,0
Dead Slow	1	26,5	66,0	1.000	26,5	66,0	1625,0	2625,0
	2	50,4	73,0	1.950	50,4	73,0	1625,0	3575,0
Slow	3	66,0	81,0	3.300	66,0	81,0	1625,0	4925,0
	4	76,2	88,0	5.100	76,2	88,0	1625,0	6725,0
Half	5	85,2	94,8	7.650	85,2	94,8	1625,0	9275,0
	6	89,3	98,3	9.380	89,3	98,3	1625,0	11005,0
Full	7	89,3	101,2	10.235	89,3	101,2	1625,0	11860,0
	8	89,3	109,7	13.036	89,3	109,7	1625,0	14661,0
Navigation Full	9	89,3	115,0	15.020	89,3	115,0	1625,0	16645,0
	10	98,0	115,0	17.100				

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 2T – Motore Wärtsilä RTA– Esempio campo utilizzazione

### ➤ Esempio 1: Curva di utilizzazione

