



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

*Vittorio BUCCI*

**Progetto di impianti di propulsione navale**

## **5.2 CAMPO DI UTILIZZO**

---

Anno Accademico 2017/2018

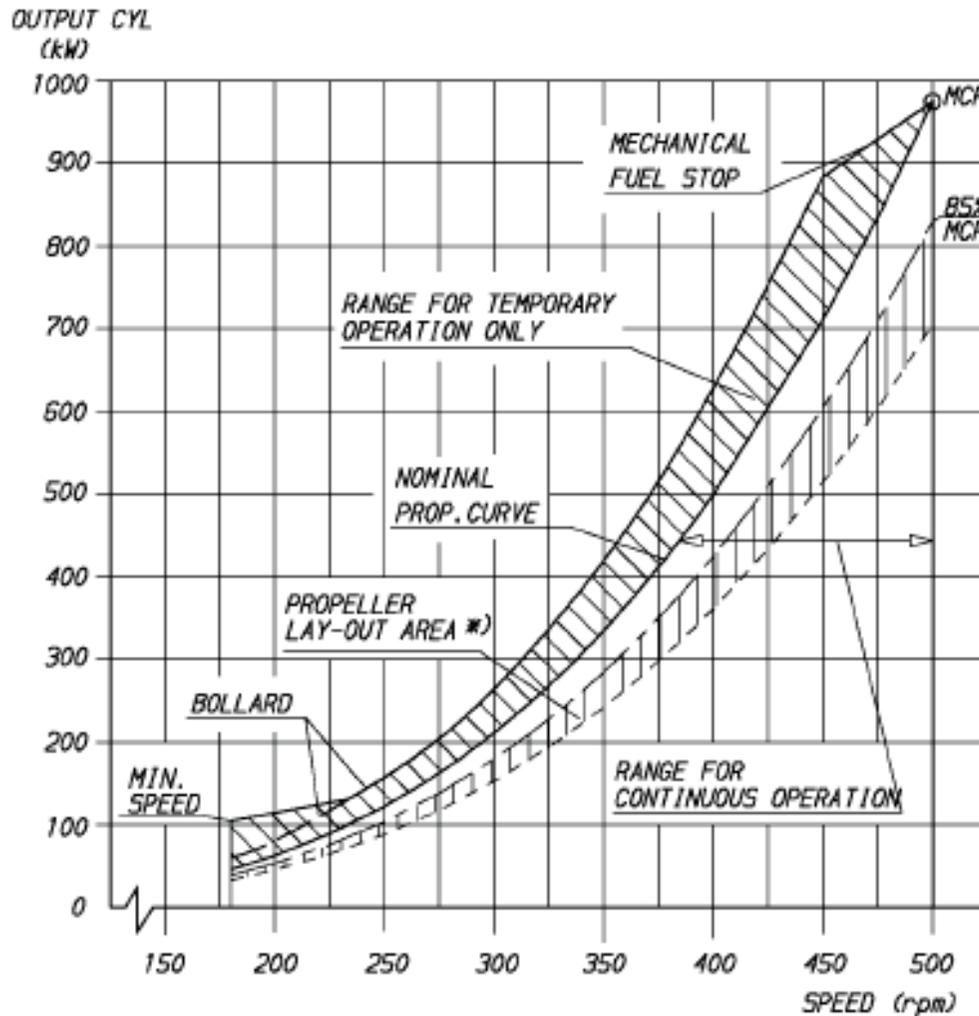
# Impianti di propulsione navale

## **Motori diesel 4T – Campi utilizzazione**

- **Definito il tipo di motore e nota la sua MCR, in termini di potenza e di velocità nominale, per un motore 4T è definito automaticamente anche il campo operativo o di funzionamento (operating field or range) che ha sempre il suo vertice superiore coincidente con la MCR;**
- **Normalmente un impianto propulsivo con motori 4T è dotato di eliche a passo variabile, che peraltro è l'unica soluzione tecnicamente possibile per impianti con due motori collegati ad un riduttore;**
- **Un impianto mono-motore, o più in generale un impianto con motore, riduttore, linea d'alberi ed elica, teoricamente può funzionare anche con un'elica a pale fisse;**
- **Il campo di funzionamento rappresenta l'area ammissibile per servizio continuativo relativa alla MCR selezionata;**
- **Il campo di funzionamento è sempre rappresentato 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) in modo da utilizzare il grafico per differenti motori, oppure con i valori effettivi se il grafico è personalizzato per un tipo di motore;**
- **Contrariamente a quanto visto per i motori 2T, per i motori 4T entrambi gli assi sono invece generalmente in scala normale, non logaritmica, in modo da avere le curve esponenziali, come la curva dell'elica (legge cubica), nella loro rappresentazione reale.**

# Impianti di propulsione navale

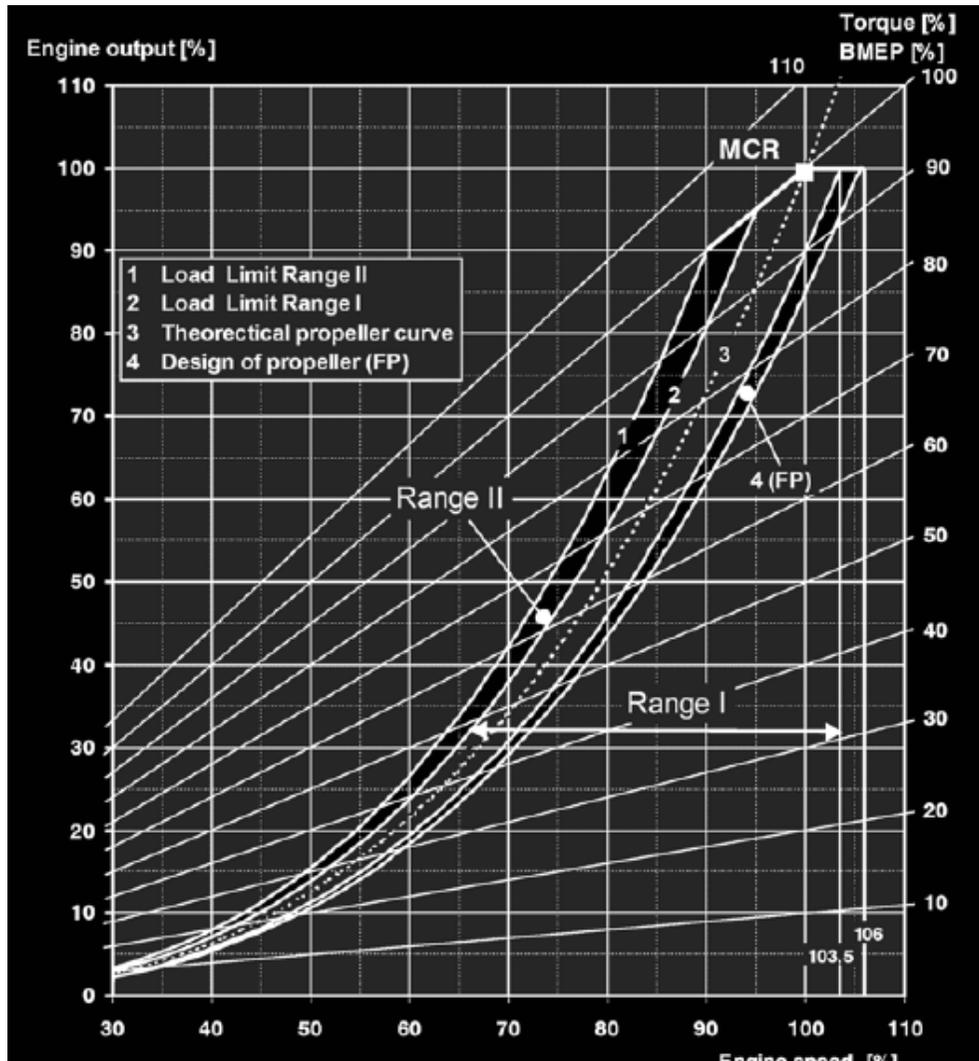
## Motori diesel 4T Wärtsilä – Campi utilizzazione – Elica a pale fisse



- Il dimensionamento di un'elica a pale fisse deve essere eseguito con molta accuratezza in quanto non è poi possibile controllare e variare la potenza assorbita;
- L'elica dovrebbe essere progettata per assorbire alla velocità nominale circa 85% della MCR meno le perdite della linea d'alberi (2÷3%);
- Il campo di funzionamento continuo è quello alla destra della curva nominale dell'elica mentre alla sinistra di tale curva è ammesso soltanto un funzionamento transitorio;
- Come già specificato, l'elica a pale fisse può essere adottata solo per impianti mono-motore.

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T MAN– Campi utilizzazione – Elica a pale fisse



- L'elica deve essere progettata in modo da assorbire alle prove mare, nelle condizioni di tempo e mare contrattuali, la MCR ad una velocità tra il 103 e il 106% della velocità nominale;
- Il campo di funzionamento continuo (Range I) si estende anche a sinistra della curva nominale dell'elica;
- Il campo di funzionamento in transitorio (Range II) è ammesso solo in accelerazione e manovra;
- Come già specificato, l'elica a pale fisse può essere adottata solo per impianti mono-motore

# Impianti di propulsione navale

## **Motori diesel 4T Mak– Campi utilizzazione – Elica a pale fisse**

- **La Mak non fornisce raccomandazioni per utilizzare il motore con un'elica a pale fisse.**

# Impianti di propulsione navale

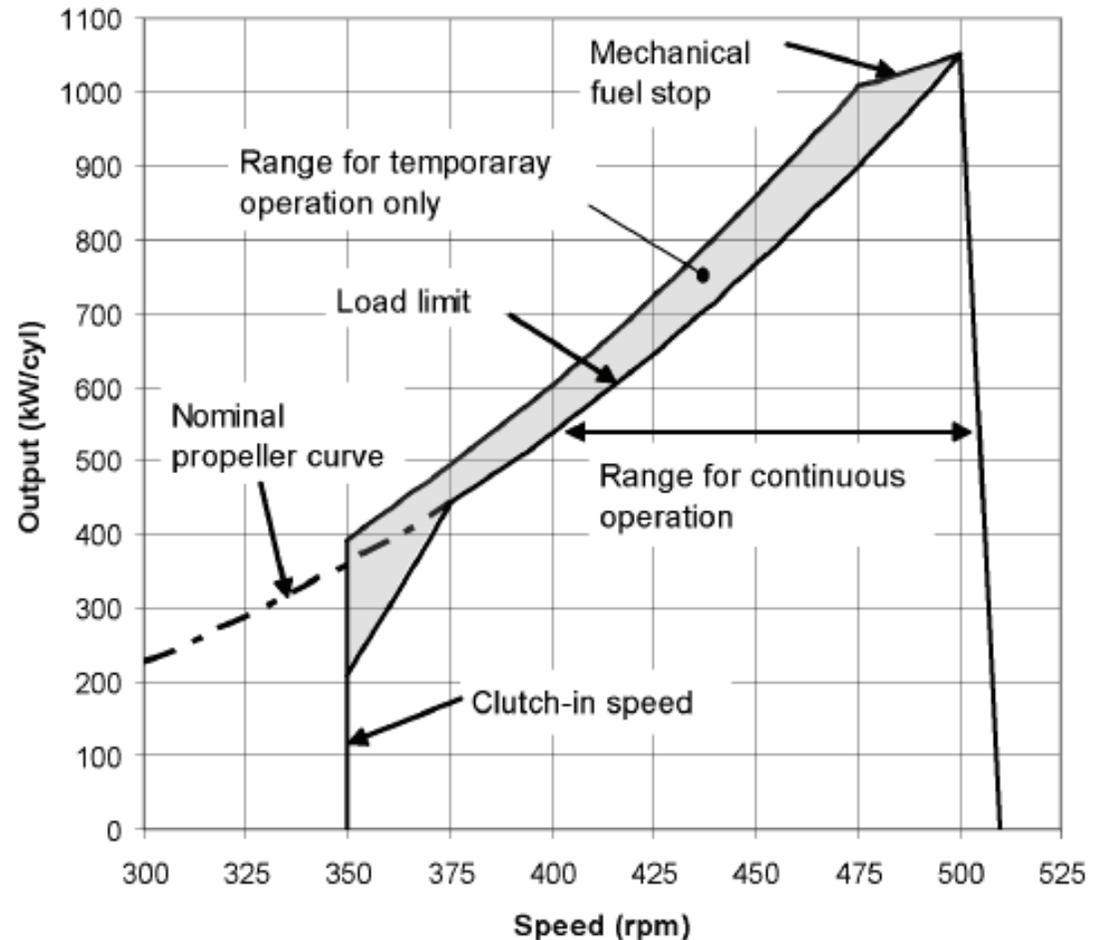
## **Motori diesel 4T Wärtsilä – Campi utilizzazione – Elica a passo variabile**

- **I motori che trascinano un'elica a passo variabile sono di norma sospesi elasticamente sulle fondazioni e quindi per motivi vibratori hanno una velocità minima di funzionamento intorno al 70% della velocità nominale;**
- **Altri fattori che limitano la velocità minima sono:**
  - ✓ **Il momento d'inerzia da accelerare durante la fase di inserzione della frizione che causa una inevitabile caduta di giri del motore;**
  - ✓ **Il limite del momento torcente che può trasmettere la frizione durante l'inserzione;**
  - ✓ **L'eventuali pompe olio e acqua trascinate dal motore, che ovviamente variano i valori di portata e prevalenza in funzione della velocità di rotazione;**
- **Deve essere adottato un sistema di controllo del carico per proteggere il motore dai sovraccarichi. Tale sistema, denominato "curva limite dell'automazione", riduce automaticamente il passo quando la potenza erogata dal motore è superiore a quella della curva limite impostata, che generalmente per velocità superiori al 75% della velocità nominale coincide con la curva nominale dell'elica;**
- **Il sistema di controllo del carico limita automaticamente anche gli "steps" o la rapidità presa del carico, specialmente nelle operazioni di manovra a bassi carichi;**
- **L'ottimizzazione idrodinamica dell'elica è normalmente eseguita per ottenere la velocità contrattuale, in condizioni di tempo e mare stabiliti, alla velocità nominale del motore, all'85% della potenza nominale e con il passo di progetto dell'elica.**

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T Wärtsilä – Campi utilizzazione – Elica a passo variabile

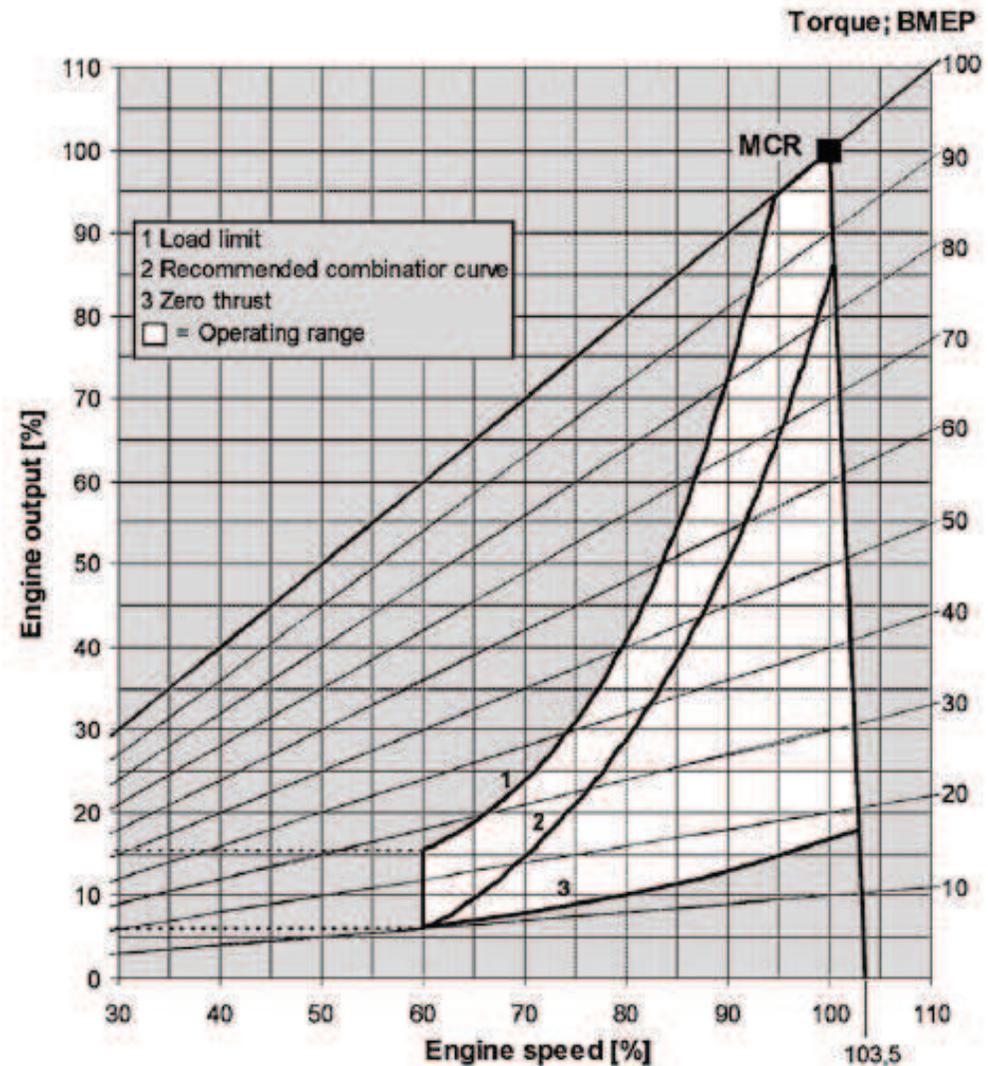
- Il grafico a lato sintetizza i suggerimenti della Wärtsilä per la definizione della curva combinata per il motore W46C con potenza di 1050 kW/cil.;
- Il campo di funzionamento continuo, all'interno del quale deve essere definita la curva combinata, è limitato dalla velocità massima, da quella minima e dalla curva nominale dell'elica che, come detto in precedenza, coincide con la curva limite dell'automazione fino alla velocità minima di 375 giri/min;
- Il campo di funzionamento in transitorio, in grigio nel grafico, è limitato dalla curva limite di momento impostata nel regolatore di governo.



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T MAN – Campi utilizzazione – Elica a passo variabile

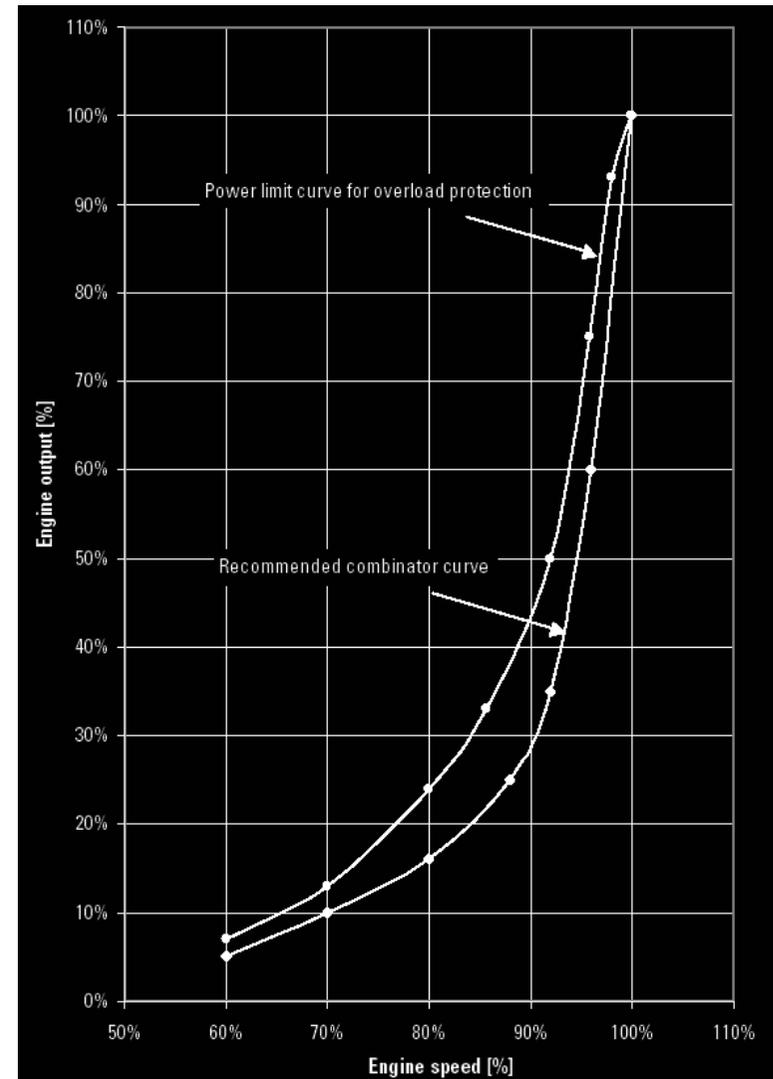
- Il grafico a lato sintetizza i suggerimenti della MAN per la definizione della curva combinata per il motore 48/60B;
- Il campo di funzionamento continuo è limitato dalla velocità massima, da quella minima, dalla curva di potenza assorbita dall'elica con passo di spinta nullo (3) e dalla curva limite del carico (1);
- E' raccomandata la definizione di una curva combinata prossima alla curva (2), con potenza dell'elica al passo di progetto pari all'85 % della MCR alla velocità nominale del motore;
- Per motori sospesi elasticamente, la velocità minima è normalmente pari al 70% di quella nominale.



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T Mak– Campi utilizzazione – Elica a passo variabile

- Le raccomandazioni della Mak per la definizione della curva combinata dell'elica sono le seguenti:
  - ✓ La curva combinata deve essere posizionata alla destra della curva nominale dell'elica e può coincidere con essa solo nel campo di velocità superiore fino alla velocità nominale;
  - ✓ Funzionamenti al di sopra della curva limite di potenza non sono consentiti;
  - ✓ Deve essere adottato un sistema di controllo del carico e di riduzione del passo per la protezione contro eventuali sovraccarichi;



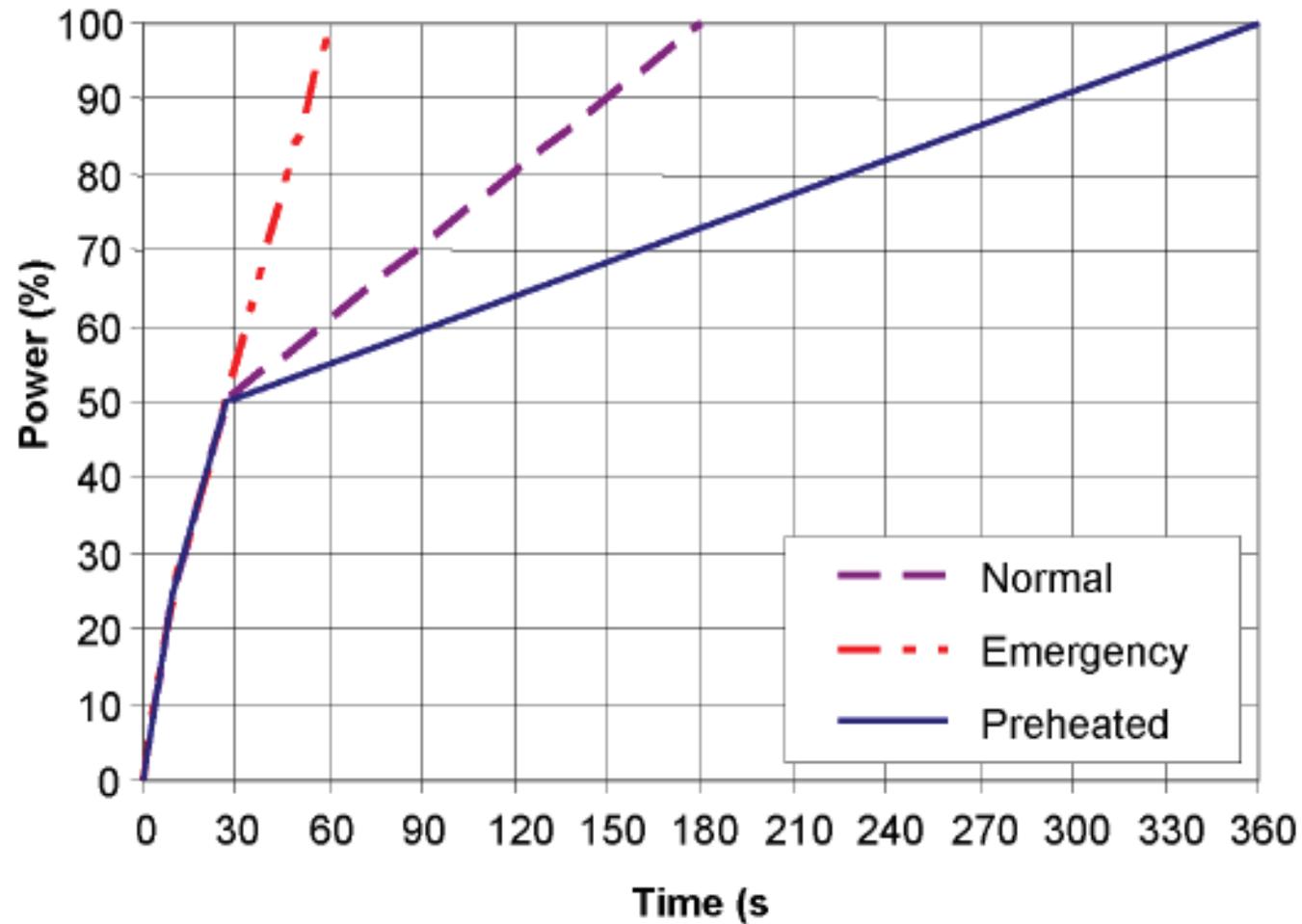
# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Rapidità incrementi di carico

- Per tutti i motori con alto grado di sovralimentazione, è essenziale controllare il valore degli incrementi di carico in quanto la turbosoffiante richiede tempo per accelerare e fornire la quantità di aria richiesta dalle nuove condizioni di carico. Il problema è molto importante durante le fasi di manovra in quanto influenza la rapidità di esecuzione della manovra stessa;
- Per impianti con la sala macchine non presidiata e con il controllo automatico del funzionamento dell'impianto propulsivo, il programma di carico del motore durante le fasi di manovra e in navigazione libera deve essere impostato nel sistema di controllo;
- Tale programma, se adeguatamente ottimizzato, permette manovre relativamente veloci, evita sovraccarichi del motore e possibili improvvisi “shut down”;
- Per impianti senza tale sistema di controllo automatico, oppure nel caso di manovre volutamente in manuale, il personale di sala macchine è responsabile dell'esecuzione di sequenze di variazioni di carico sufficientemente graduali;
- Normalmente, le case costruttrici dei motori diesel prevedono tre curve di incremento del carico, precisamente:
  - ✓ Con motore preriscaldato;
  - ✓ Con motore in condizioni operative normali di temperatura;
  - ✓ In condizioni di emergenza.
- In condizioni normali, la riduzione del carico dal 100% a 0% dovrebbe essere eseguita in un tempo maggiore di 15 s.

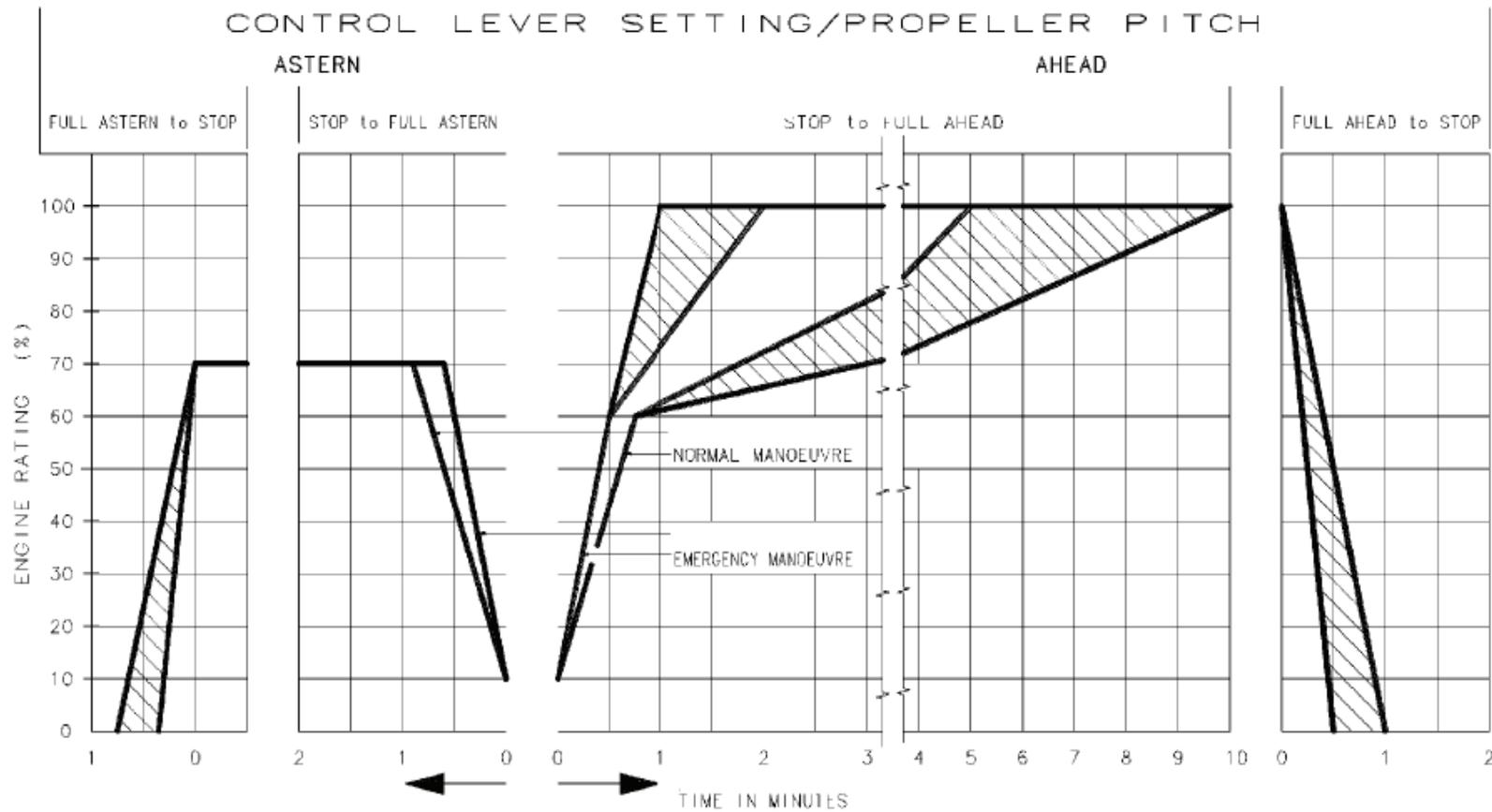
# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Rapidità incrementi di carico Raccomandazioni Wärtsilä



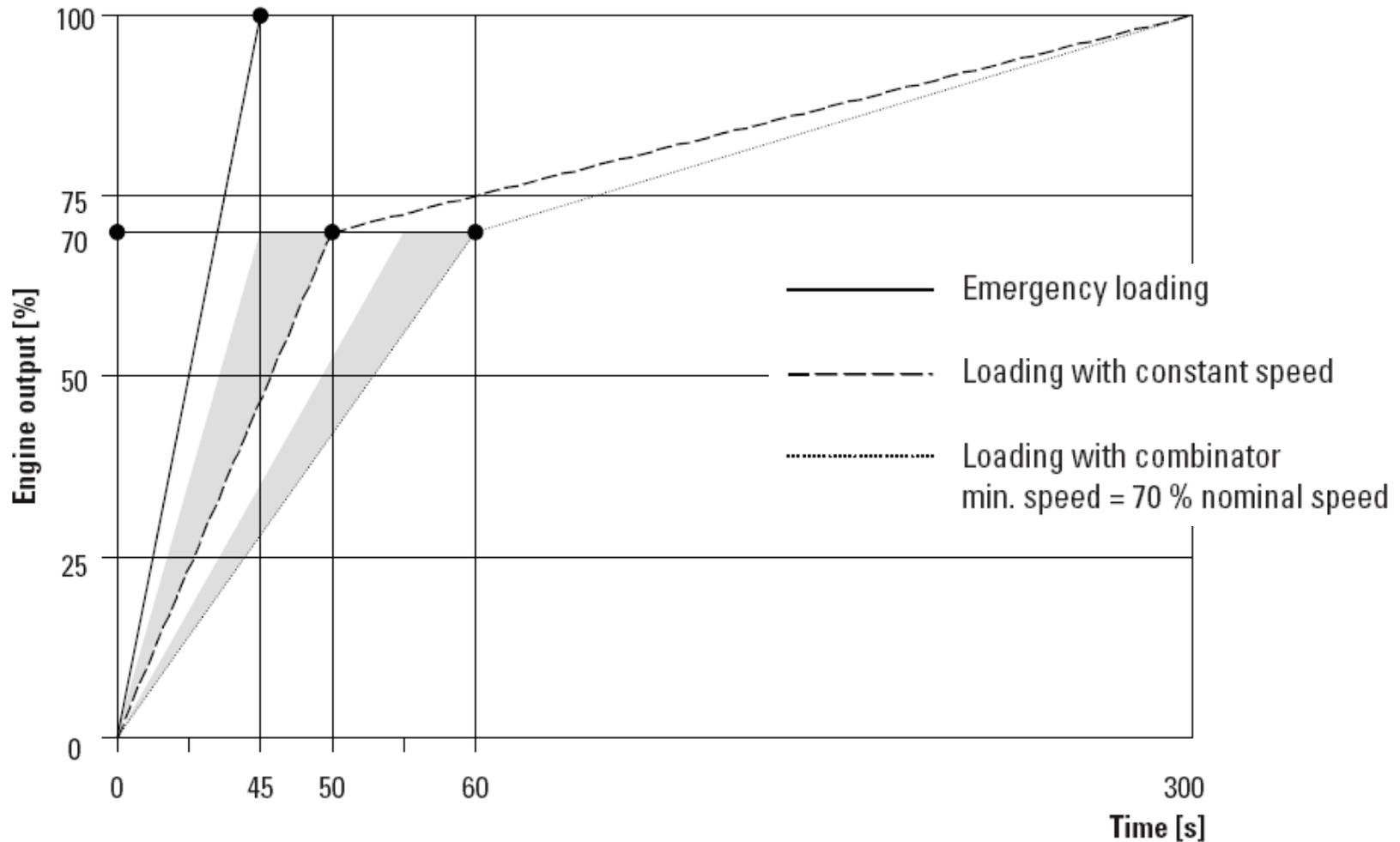
# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Rapidità incrementi di carico Raccomandazioni MAN



# Impianti di propulsione navale

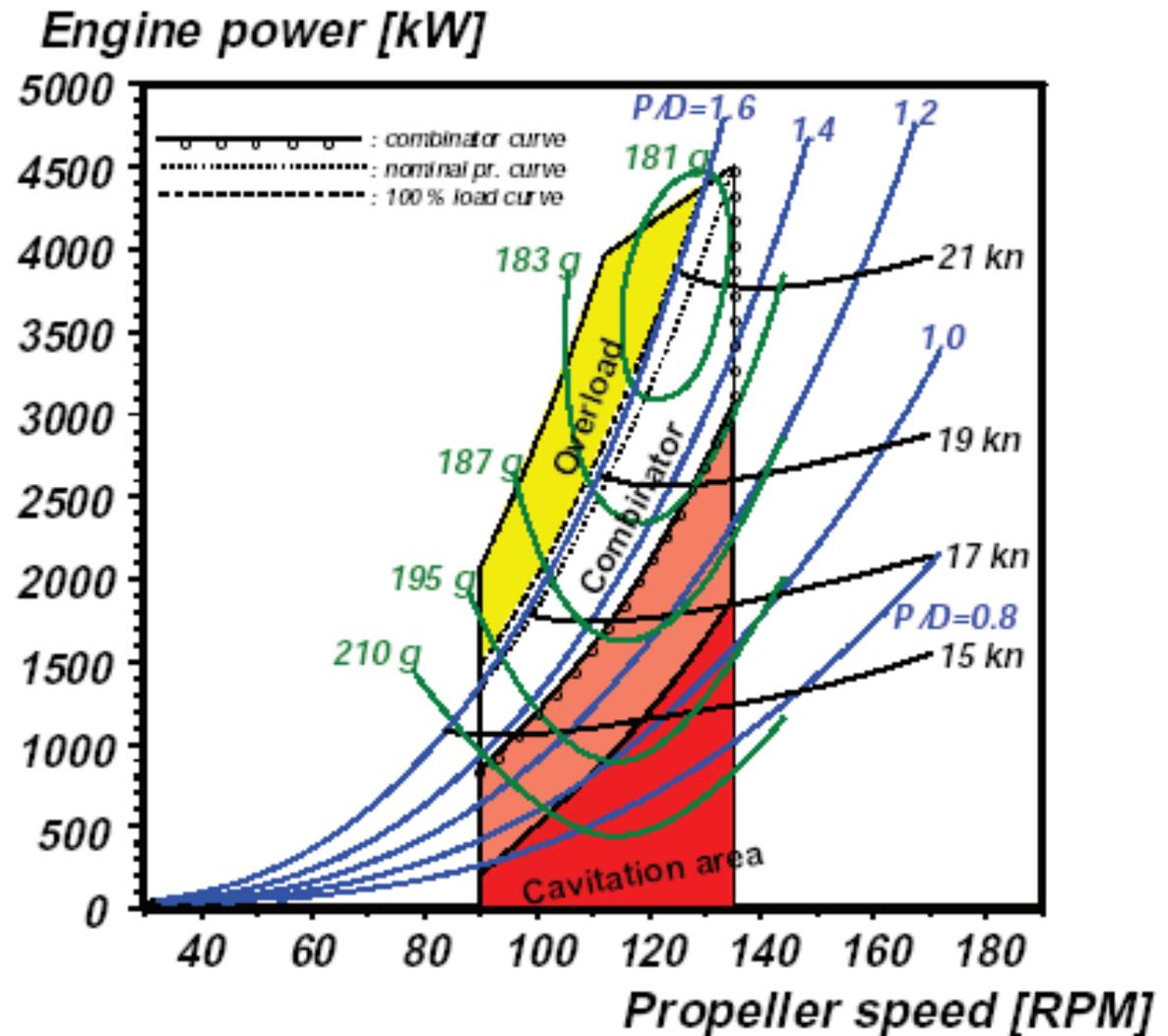
## Motori diesel 4T – Rapidità incrementi di carico Raccomandazioni Mak



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Esempio campo di utilizzazione

- Il campo rosso delimita l'area di possibile cavitazione dell'elica all'interno del quale è normalmente consentito solo un funzionamento saltuario;
- A livello previsionale tale campo è di solito definito dal segmento con i seguenti punti estremi:
  - ✓ Potenza 0/Velocità 80%;
  - ✓ Potenza 40%/Velocità nominale;
- Di norma, nel grafico definitivo è riportato il campo di possibile cavitazione verificato sperimentalmente.



# Impianti di propulsione navale

## **Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Concetti generali**

- **I concetti e le raccomandazioni dei principali costruttori di motori diesel 4T, Wärtsilä, MAN e Mak, 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;**
- **Il campo di utilizzazione del motore è definito con le seguenti assunzioni di base:**
  - ✓ **Margine operativo nullo in quanto in caso di necessità o si riduce la potenza erogata dall'alternatore asse o si riduce il passo dell'elica per avere il punto di funzionamento sempre alla destra della curva nominale dell'elica;**
  - ✓ **Sea Margin del 15% ( $SM_1$ ) con alternatore asse senza carico (curva PSM), con il punto di funzionamento alla velocità nominale corrispondente circa alla tacca 9 del telegrafo;**
  - ✓ **Sea Margin residuo di circa il 3% ( $SM_2$ ) con alternatore a carico nominale.**

# Impianti di propulsione navale

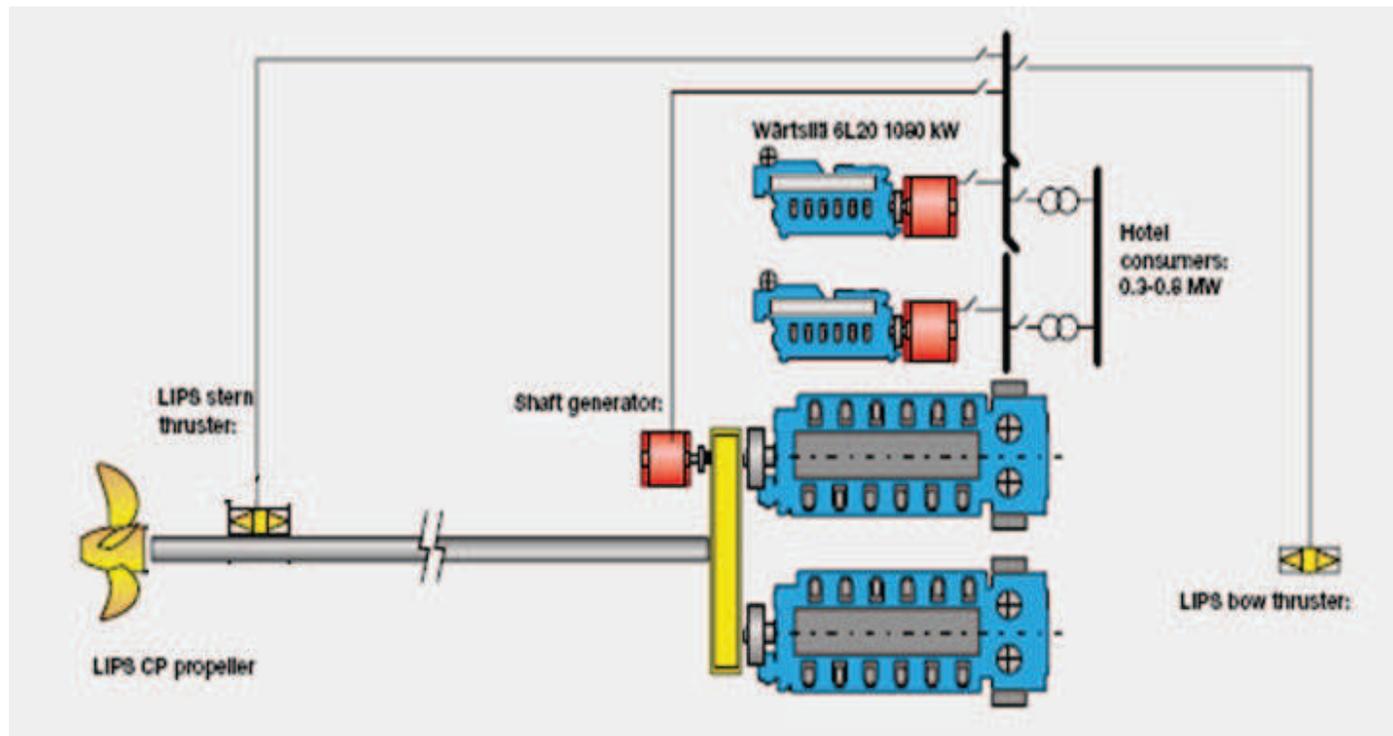
## **Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Concetti generali**

- **A titolo di esempio, sono illustrate le curve di funzionamento in combinata con uno o due motori di uno dei due impianti di un traghetto quadri-motore, che rappresenta la condizione applicativa più comune, costituito da:**
  - ✓ **Due motori tipo 12V46C, eroganti una potenza di 12600 kW ciascuno;**
  - ✓ **Un riduttore di velocità;**
  - ✓ **Una linea d'alberi ed elica;**
  - ✓ **Un alternatore asse sistemato sulla P.T.O. del riduttore funzionante al carico nominale di 1600 kW solo in manovra alla velocità costante di 430,0 giri/min per alimentare le eliche di manovra;**
  - ✓ **Rendimento totale dell'impianto propulsivo:**
    - **Circa 97,48% per funzionamento con 2 motori;**
    - **Circa 95,6% per funzionamento con 1 motore.**

# Impianti di propulsione navale

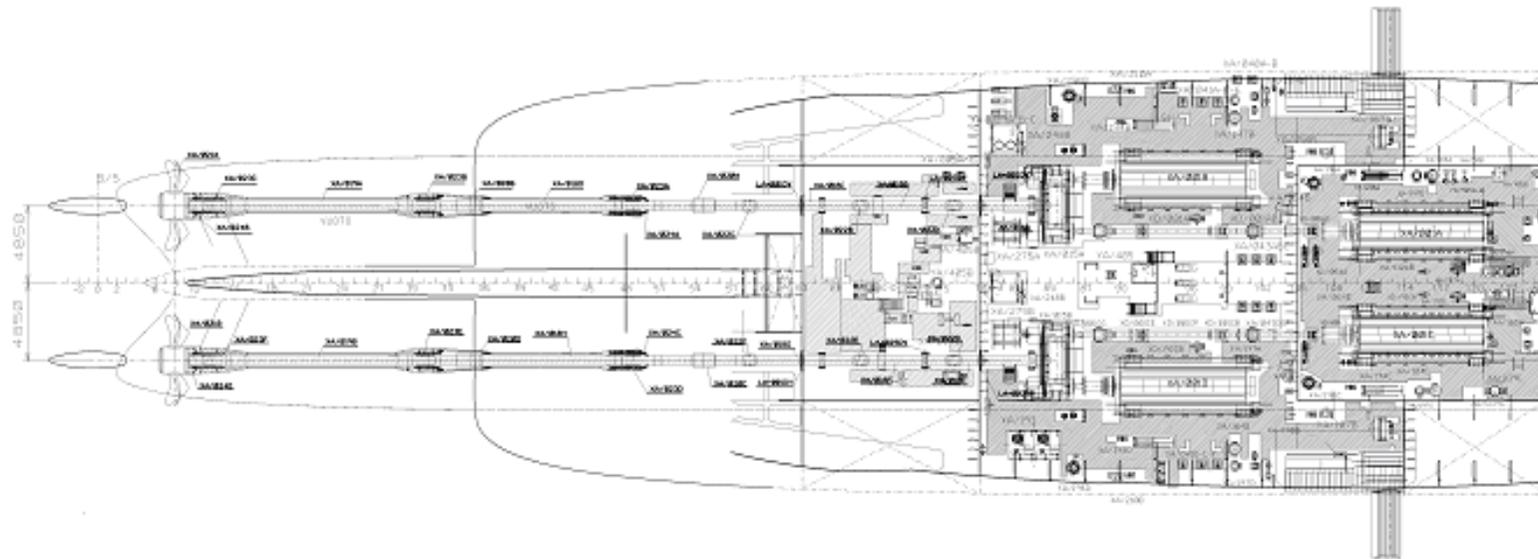
## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Schema dell'impianto propulsivo

- Schema di uno dei due impianti propulsivi del traghetto, di due gruppi elettrogeni e dei collegamenti elettrici unifilari con le eliche di manovra.



# Impianti di propulsione navale

**Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione**  
**Pianta della sistemazione dell'impianto propulsivo**



# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Riepilogo dei dati di input

### ➤ Funzionamento con due motori:

- ✓ Potenza totale dei motori:  $P_{tot} = 2 \times 12600 =$  25200 kW;
- ✓ Potenza totale disponibile all'elica:  $P_{el} = 0,975 \times 25200 =$  24565 kW;
- ✓ Sea Margin curva combinata con alternatore senza carico:  $SM_1 =$  15%
- ✓ Potenza prevista in combinata in tacca 9:  $P_9 = 25200 / 1,15 =$  21913 kW;
- ✓ Potenza prevista in combinata a 430,0 giri/min in tacca 6 con alternatore asse senza carico:  $P_6 = P_9 \cdot (V_6/V_9)^3 = 21913 \times (430,0/500)^3 =$  13938 kW;
- ✓ Potenza prevista in combinata a 430,0 giri/min con alternatore asse al carico nominale di 1600 kW:  $P_{tot6} = P_6 + 1600 =$  15538 kW;
- ✓ Potenza curva nominale dell'elica a 430,0 giri/min  
 $P_{c6} = P_{tot} \cdot (430,0/500)^3 = 25200 \times (430,0/500)^3 =$  16029 kW;
- ✓ Sea Margin residuo per funzionamento a 430,0 giri/min e alternatore a carico nominale:  $SM_2 = 100 \cdot P_{c6} / P_{tot6} = 100 \times 16029 / 15538 =$  3,16%

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con due motori

### ➤ Dati dell'impianto:

Fincantieri - Direzione Navi da Trasporto		AMV	27/1/05
<b>ENGINE:</b> 2X12V46C		<b>Hull No.:</b> -----	
NUMBER OF CYLINDERS	24	Project:	Esempio
SPEC. CYLINDER POWER	1050 kW	Sister Hull No.:	----
TOTAL POWER - MCR	25200 kW	Yard:	----
ENGINE SPEED	500 RPM		
REDUCTION GEAR RATIO	3,2500		
P.T.O (Manoeuvring)	1600 kW		

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

#### INPUT

GEAR AND SHAFTLINE EFFICIENCY

97,48%

SEA MARGIN

15,0%

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con due motori

➤ Dati curve combinate:

Fincantieri - Direzione Navi da Trasporto

AMV 27/1/05

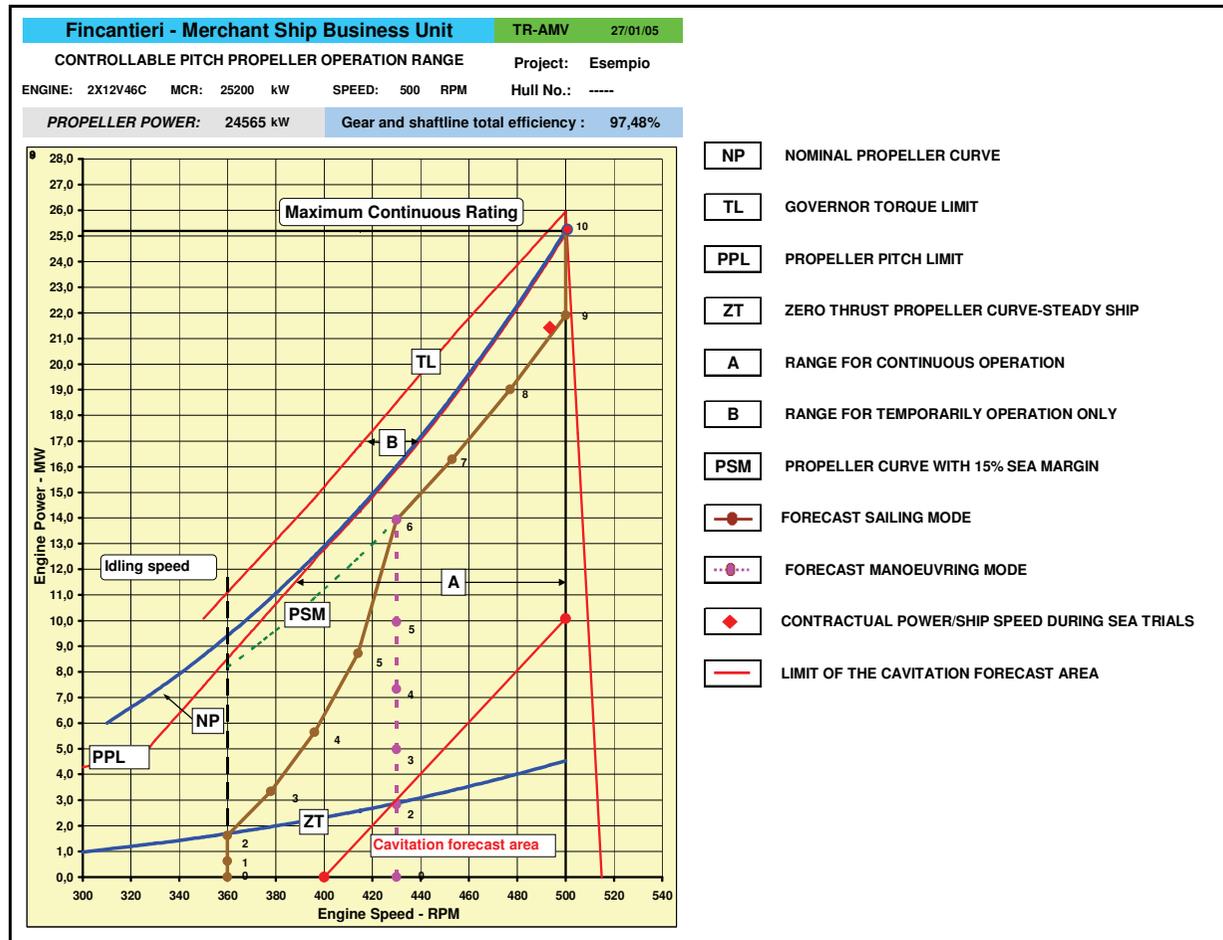
### COMBINATOR CURVES

Telegraph		Sailing Mode			Manoeuvring Mode			Note
Telegraph		Pitch [P/D]	Speed [rpm]	Power [MW]	Pitch [P/D]	Speed [rpm]	Power [MW]	
Position	Number							
Dead	0	Zero Thrust	360,0	0,000	Zero Thrus	430,0	0,000	
Dead Slow	1	0,370	360,0	0,616	0,370	430,0	1,077	
	2	0,600	360,0	1,616	0,600	430,0	2,821	
Slow	3	0,800	378,0	3,334	0,800	430,0	4,975	
	4	0,970	396,0	5,642	0,970	430,0	7,335	
Half	5	1,130	414,0	8,720	1,130	430,0	9,951	
	6	1,350	430,0	13,931	1,350	430,0	13,931	
Full	7	1,350	453,0	16,288				
	8	1,350	477,0	19,016				
Navigation Full	9	1,350	500,0	21,902				
	10	1,465	500,0	25,200				

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con due motori

➤ Grafico curve combinate:



Data: 15/01/2007

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Riepilogo dei dati di input

### ➤ Funzionamento con un motore:

- ✓ Potenza totale del motore:  $P_{tot} =$  12600 kW;
- ✓ Potenza totale disponibile all'elica:  $P_{el} = 0,9564 \times 12600 =$  12050 kW;
- ✓ Sea Margin curva combinata con alternatore senza carico:  $SM_1 =$  15%
- ✓ Potenza prevista in combinata in tacca 9:  $P_9 = 12600 / 1,15 =$  10956 kW;
- ✓ Potenza prevista in combinata a 430,0 giri/min in tacca 6 con alternatore asse senza carico:  $P_6 =$  6160 kW;
- ✓ Potenza prevista in combinata a 430,6 giri/min con alternatore asse al carico nominale di 1600 kW:  $P_{tot6} = P_6 + 1600 =$  7770 kW;
- ✓ Potenza curva nominale dell'elica a 430,0 giri/min  
 $P_{c6} = P_{tot} \cdot (430,0/500)^3 = 12600 \cdot (430,0/500)^3 =$  8014 kW;
- ✓ Sea Margin residuo per funzionamento a 430,0 giri/min e alternatore a carico nominale:  $SM_2 = 100 \cdot P_{c6} / P_{tot6} = 100 \cdot 8014 / 7770 =$  3,15%

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con un motore

### ➤ Dati dell'impianto:

Fincantieri - Direzione Navi da Trasporto		AMV	27/1/05
<b>ENGINE:</b> 1X12V46C		<b>Hull No.:</b> -----	
NUMBER OF CYLINDERS	12	Project:	Esempio
SPEC. CYLINDER POWER	1050 kW	Sister Hull No.:	----
TOTAL POWER - MCR	12600 kW	Yard:	----
ENGINE SPEED	500 RPM		
REDUCTION GEAR RATIO	3,25		
P.T.O (Manoeuvring)	1600 kW		

CONTR. PITCH PROPELLER ( C P P ) OPERATION

I N P U T	
GEAR AND SHAFTLINE EFFICIENCY	95,64%
SEA MARGIN	15,0%

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con un motore

➤ Dati curve combinate:

Fincantieri - Direzione Navi da Trasporto

AMV 27/1/05

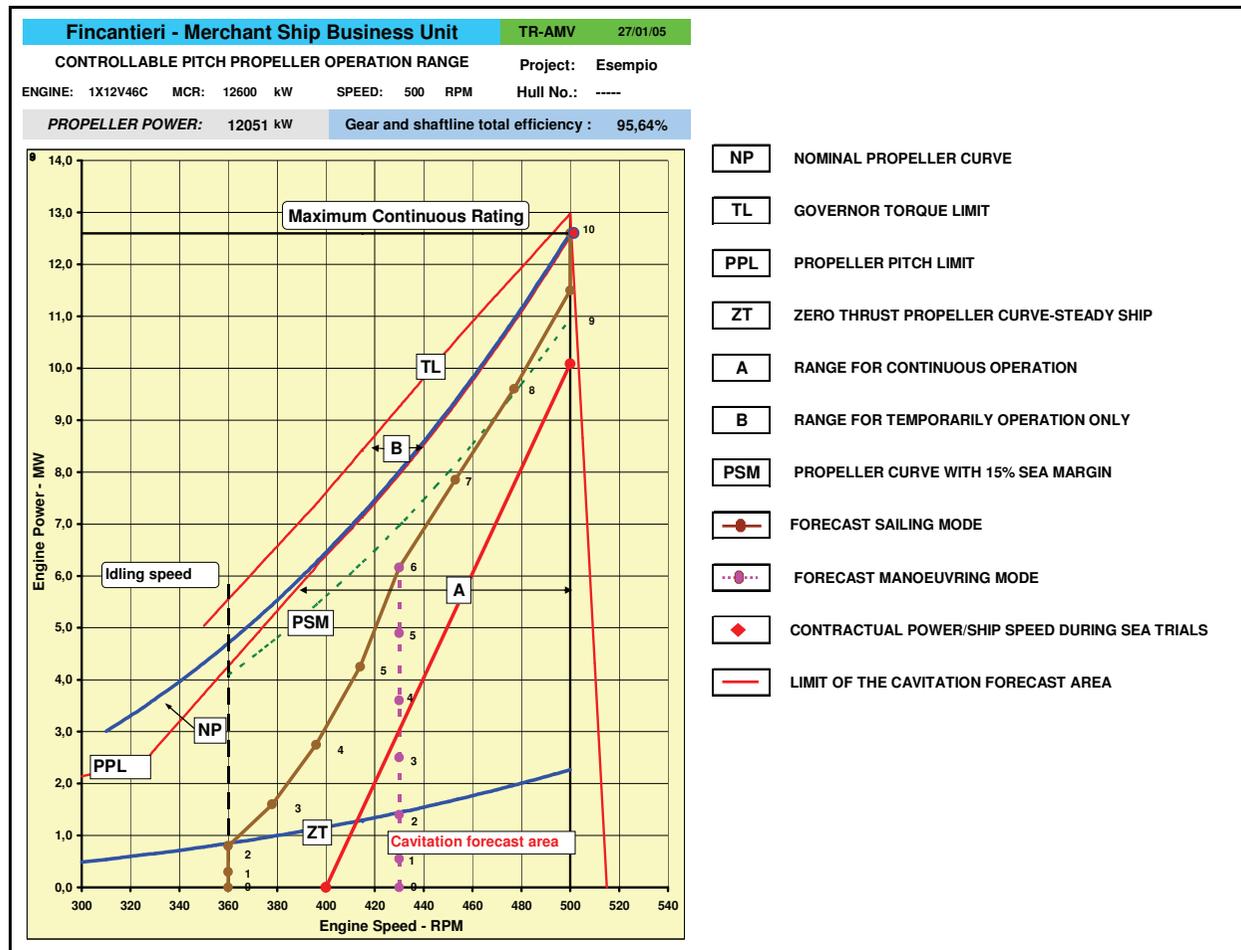
### COMBINATOR CURVES

Telegraph		Sailing Mode			Manoeuvring Mode			Note
Position	Number	Pitch [P/D]	Speed [rpm]	Power [MW]	Pitch [P/D]	Speed [rpm]	Power [MW]	
Dead	0	Zero Thrust	360,0	0,000		430,0	0,000	
Dead Slow	1		360,0	0,300		430,0	0,550	
	2		360,0	0,800		430,0	1,400	
Slow	3		378,0	1,600		430,0	2,500	
	4		396,0	2,750		430,0	3,600	
Half	5		414,0	4,250		430,0	4,900	
	6		430,0	6,160		430,0	6,160	
Full	7		453,0	7,850				
	8		477,0	9,600				
Navigation Full	9		500,0	11,500				
	10		500,0	12,600				

# Impianti di propulsione navale

## Motori diesel 4T – Motore Wärtsilä W46C– Esempio campo utilizzazione Curva combinata con un motore

➤ Grafico curve combinate:



Data: 15/01/2007