



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Vittorio BUCCI

Progetto di impianti di propulsione navale

5.4 SISTEMAZIONE A BORDO

Anno Accademico 2017/2018

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Interfacce con il sistema nave

- **Ogni motore installato a bordo ha sostanzialmente quattro tipologie di interfacce con la nave, precisamente:**
 - ✓ **Trasmissione potenza: collegamento meccanico diretto con la linea d'alberi;**
 - ✓ **Meccanica/elastica: con la struttura di fondazione;**
 - ✓ **Idraulica e/o pneumatica: collegamenti tubazioni di tutti i fluidi di servizio, in entrata e in uscita, e tubazioni gas di scarico;**
 - ✓ **Elettrica e/o pneumatica: connessioni con l'automazione di bordo per il completo monitoraggio, il controllo e gli allarmi relativi ai parametri di funzionamento;**

- **La trasmissione della potenza, l'interfaccia idraulica e quella elettrica saranno esaminate nei capitoli dedicati;**

- **L'interfaccia meccanica/elastica può essere divisa in due tipologie:**
 - ✓ **Collegamento rigido dell'incastellatura del motore con la struttura di fondazioni;**
 - ✓ **Collegamento elastico dell'incastellatura del motore con la struttura di fondazioni realizzato mediante l'interposizione di una sospensione elastica, normalmente costituita da supporti in gomma naturale;**

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Interfacce con il sistema nave

- **La struttura di fondazione della sala macchine (doppio fondo) deve essere sufficientemente rigida in tutte le direzioni per sopportare il peso dei macchinari, per assorbire le azioni dinamiche del motore (forze e momenti) e del riduttore, nonché per trasmettere la spinta dell'elica;**
- **La spinta dell'elica è trasmessa per mezzo del reggispinta, normalmente sistemato all'interno della cassa del riduttore, alle fondazioni attraverso i bulloni calibrati di collegamento del riduttore alle fondazioni;**
- **La linea d'alberi e tutti i macchinari sono generalmente sistemati con una inclinazione longitudinale da 1 a 3 gradi;**
- **I pozzetti olio di lubrificazione non devono essere sistemati al di sotto del riduttore, dell'eventuale alternatore asse e dei cuscinetti. Essi sono normalmente sistemati al di sotto dei motori, all'interno delle strutture longitudinali di appoggio e di sostegno dei motori;**

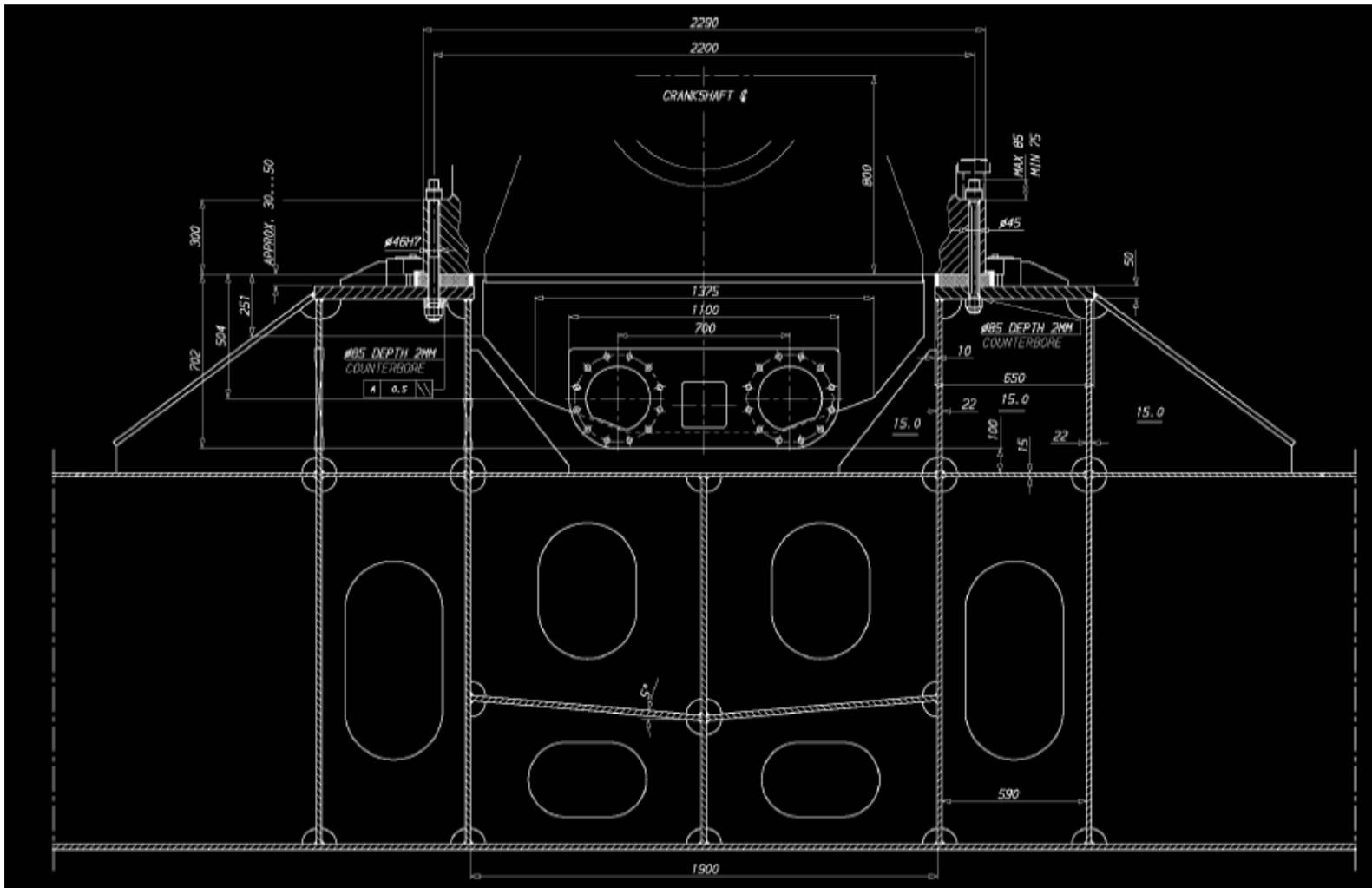
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Collegamento rigido del motore alle fondazioni

- **Il motore può essere montato o su zappoli metallici o su zappoli di resina epossidica;**
- **I bulloni di collegamento del motore alle fondazioni sono normalmente del tipo passante con un dado nella parte inferiore e un altro dado nella parte superiore, opportunamente sagomato per essere serrato con un martinetto idraulico;**
- **Due o tre bulloni per lato sono del tipo calibrato per avere un riferimento relativo tra motore e fondazioni, mentre tutti gli altri bulloni sono con gioco radiale;**
- **I bulloni sono di materiale ad alta resistenza (42CrMo4), sono normalmente serrati con una sollecitazione intorno al 60÷70% dello snervamento, che assicura un livello di deformazione idonea per aumentare la sicurezza anti-svitamento;**
- **Riscontri laterali devono essere installati su entrambi i lati del motore sia alle due estremità sia in prossimità della mezzeria. Tali riscontri sono normalmente del tipo a cunei, sono saldati alla piastra di fondazioni e i cunei sono forzati e saldati quando il motore ha raggiunto la temperatura normale di esercizio;**
- **La zappolatura metallica richiede una lavorazione della piastra di fondazione con una inclinazione di 1/100 verso l'esterno ed una lavorazione speculare di ogni zappolo;**
- **La zappolatura in resina epossidica non richiede la lavorazione della piastra di fondazione e le dimensioni degli zappoli devono avere una superficie totale in modo da avere una pressione specifica totale, dovuta al peso del motore ed al serraggio dei bulloni, compresa tra 3,5 e 5,0 N/mm²;**
- **I motori sono allineati al riduttore per mezzo di viti di livellamento sistemate ai due lati dell'incastellatura;**

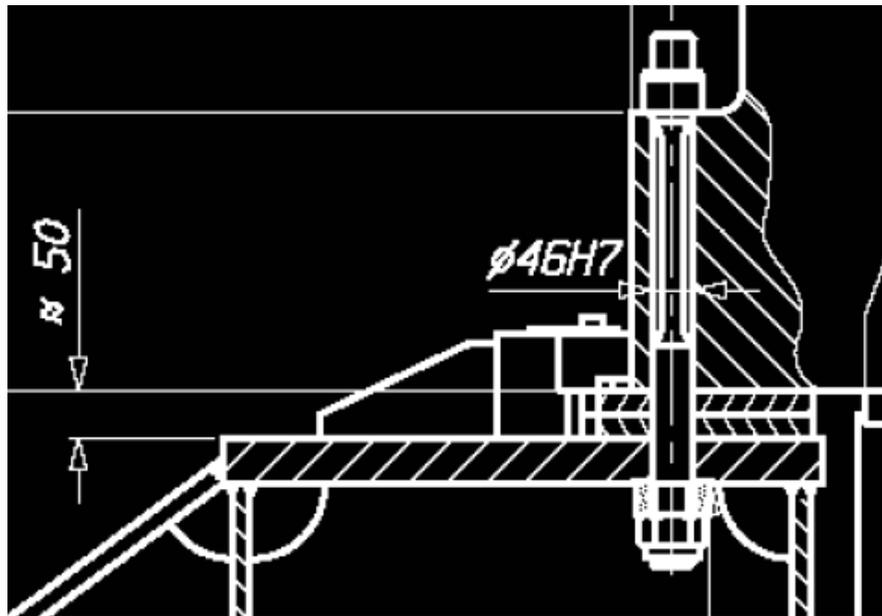
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Zappolatura in resina motore Wärtsilä V46C

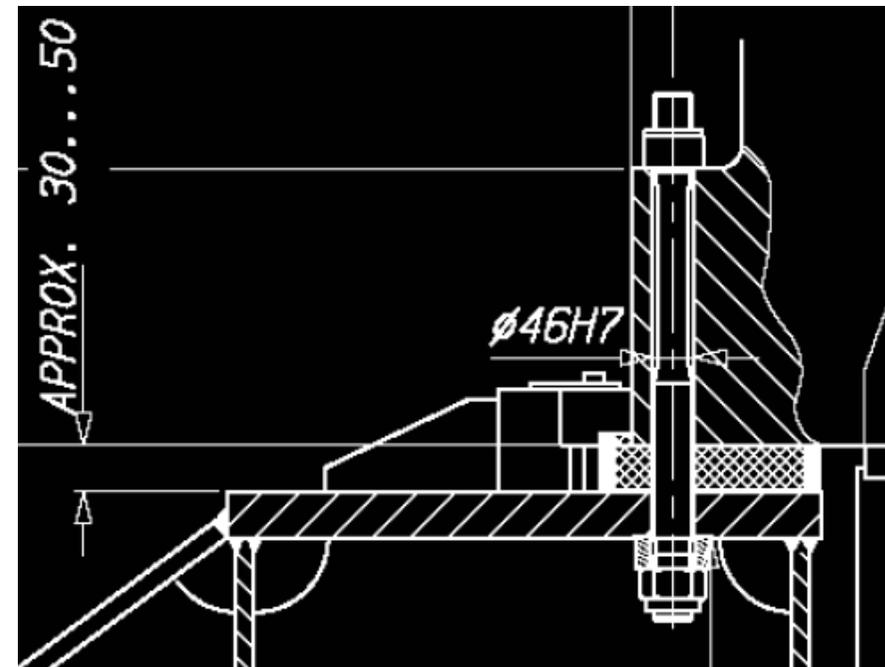


Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Confronto zappolature motore Wärtsilä V46C



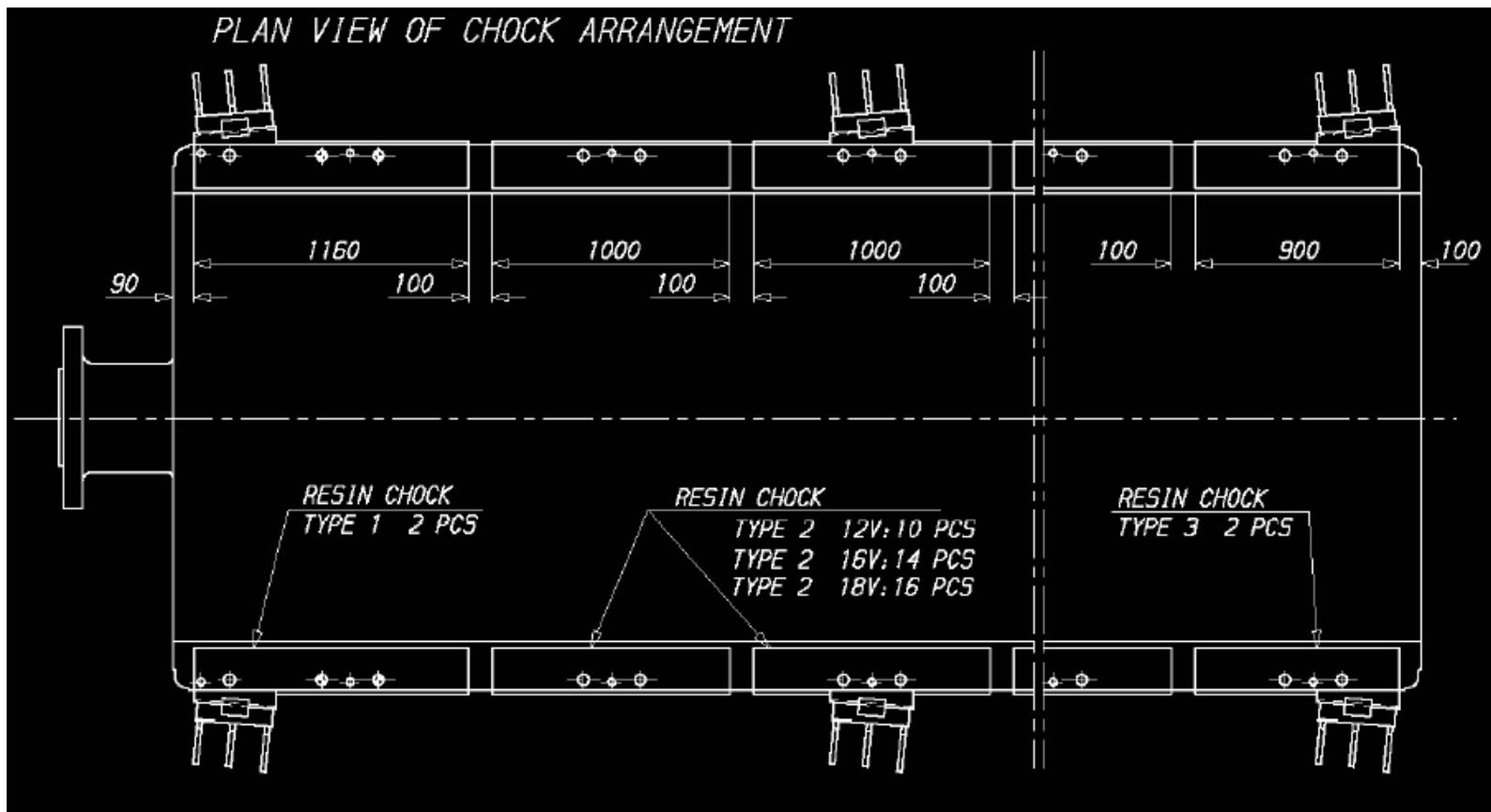
Dettaglio zappolatura metallica



Dettaglio zappolatura in resina

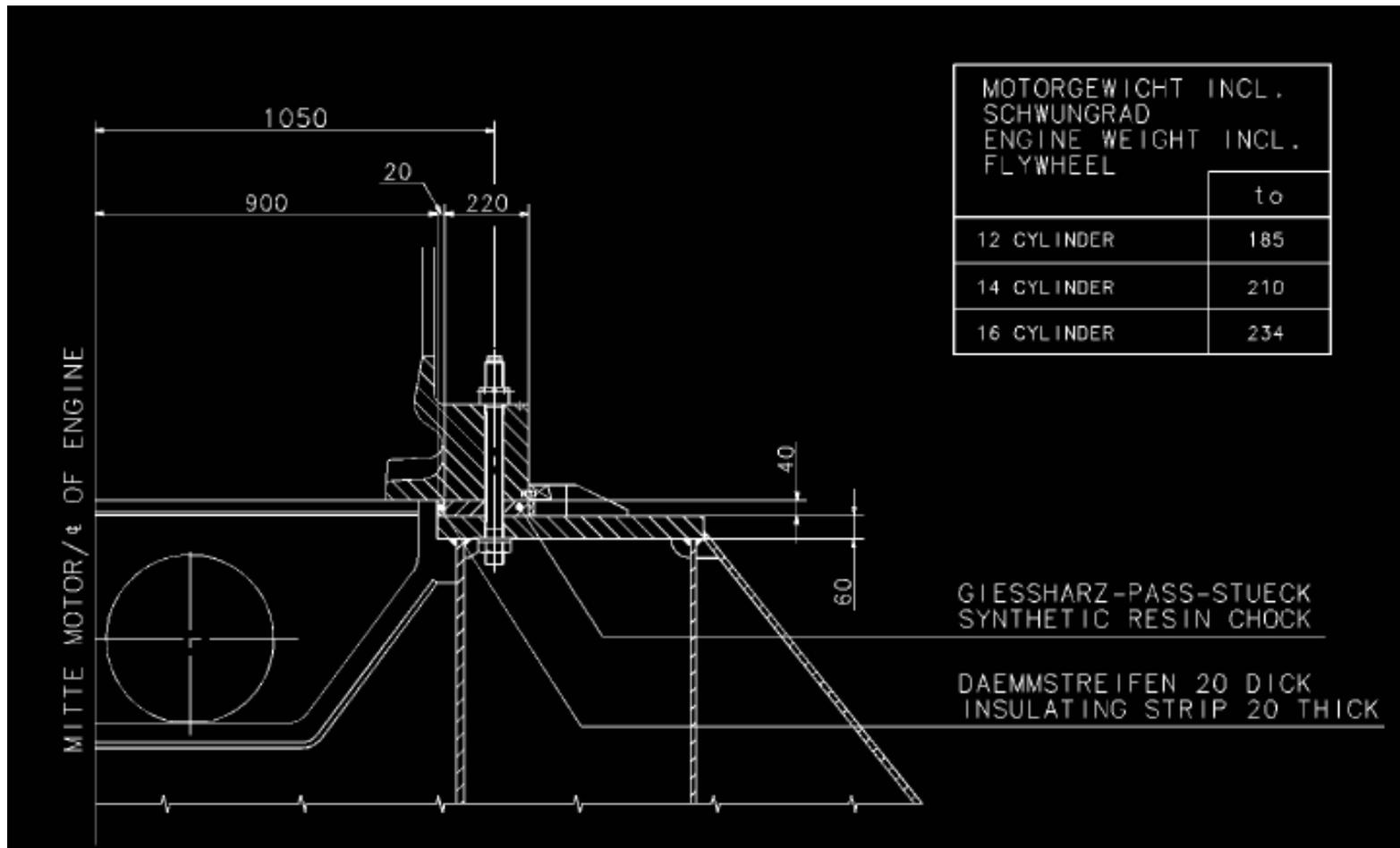
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Pianta zappolatura in resina motore Wärtsilä V46C



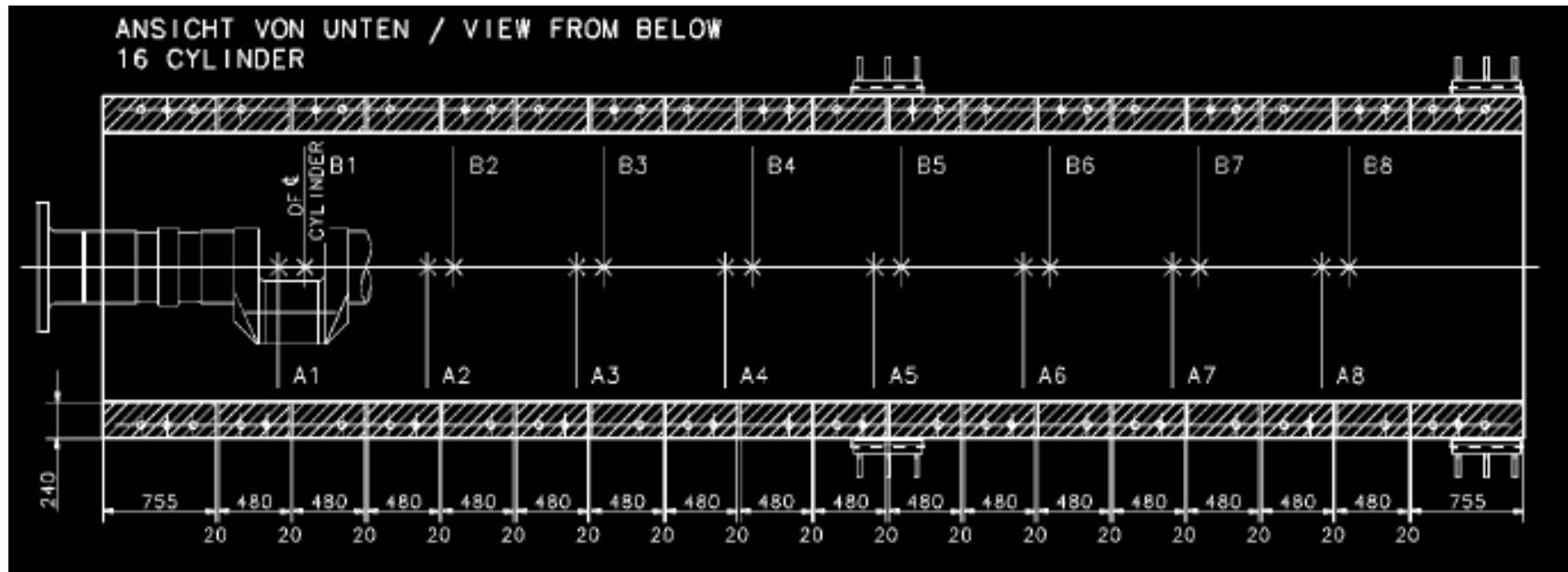
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Zappolatura in resina motore MAN B&W V48/60B



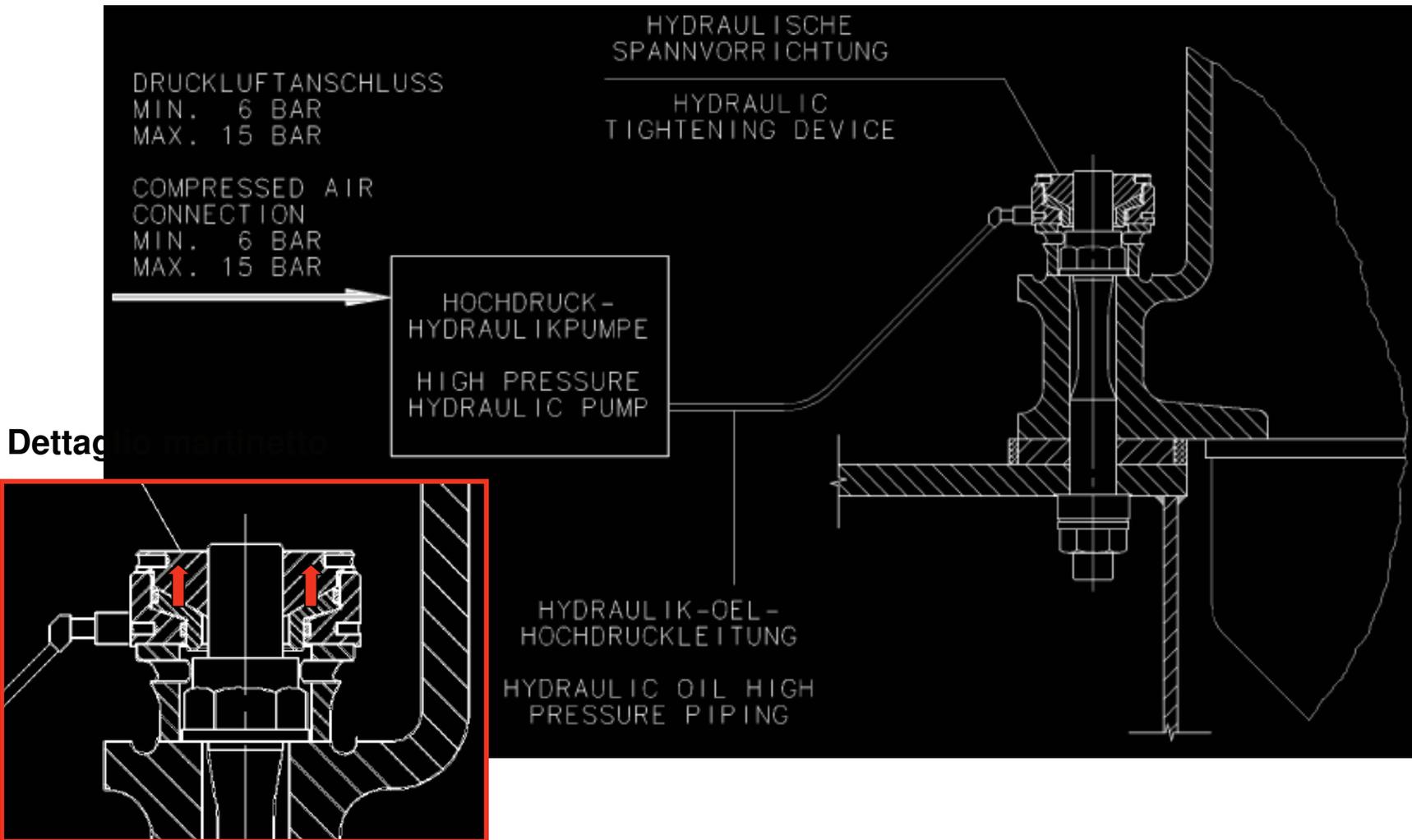
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Pianta zappolatura in resina motore MAN B&W V48/60B



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Martinetto idraulico serraggio bulloni MAN B&W



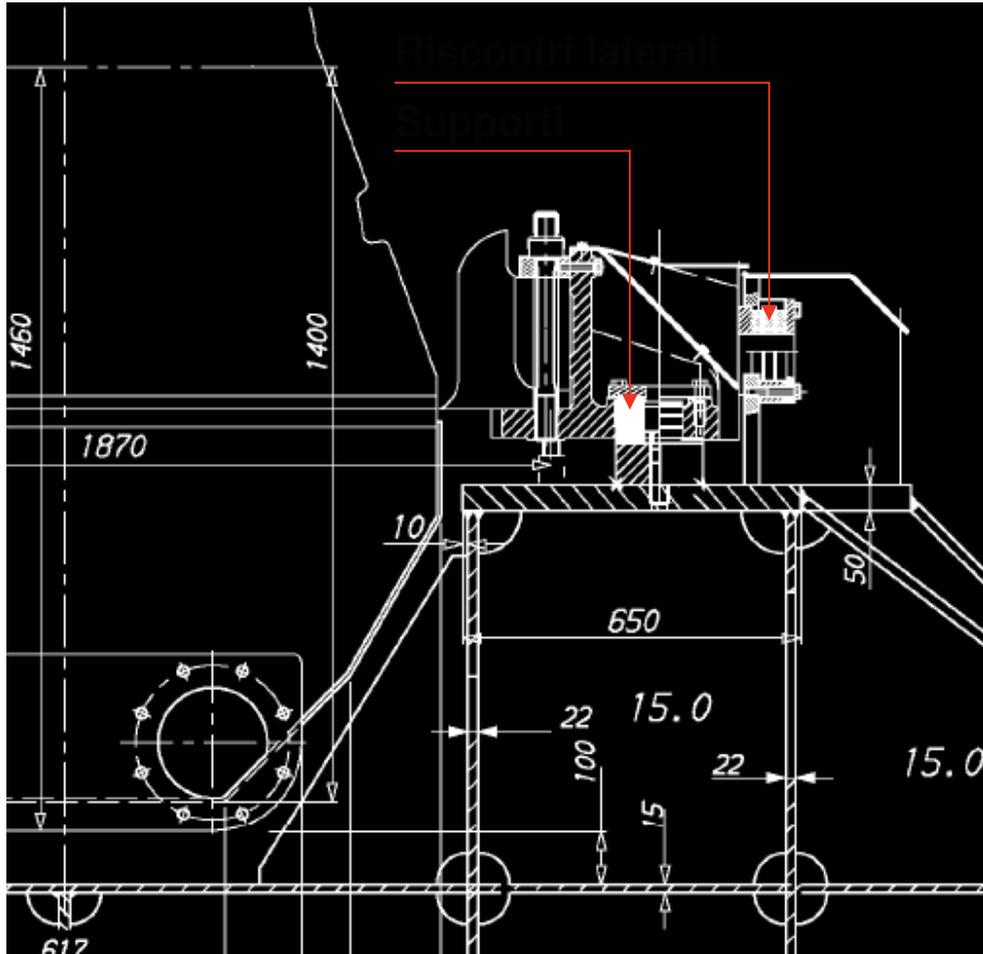
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Collegamento elastico del motore alle fondazioni

- Il motore è montato su una sospensione elastica quando è necessario attenuare le vibrazioni e la rumorosità strutturale trasmesse alle fondazioni di scafo e quindi a tutta la struttura della nave;
- Tale soluzione è sempre adottata per navi passeggeri, navi crociera e traghetti, per rispettare i limiti di rumorosità prescritti per le cabine e le aree pubbliche,
- La sospensione elastica nella quasi totalità di applicazioni è realizzata con supporti in gomma naturale e, molto raramente e per applicazioni speciali, con supporti metallici;
- I supporti elastici in gomma sono essenzialmente di tre tipologie, precisamente:
 - ✓ Cilindrici sistemati con l'asse del cilindro verticale;
 - ✓ Parallelepipedi sistemati inclinati per formare il montaggio “tipo-V”;
 - ✓ Conici sistemati con l'asse del cono verticale;
- In genere, i supporti cilindrici e quelli “tipo-V” hanno una migliore attenuazione delle vibrazioni e della rumorosità strutturale di quelli conici;
- Inoltre, i supporti cilindrici e conici permettono un allineamento del motore all'utilizzatore, riduttore o alternatore, molto più semplice, rapido e stabile nel tempo di quelli “tipo-V”;
- I supporti elastici possono essere zappolati, dopo l'allineamento del motore, o con zappoli metallici o con zappoli in resina, come già esaminato per il motore;
- I movimenti verticali, trasversali e longitudinali del motore sono sempre limitati da riscontri elastici in gomma aggiuntivi o interni ai supporti elastici;

Impianti di propulsione navale

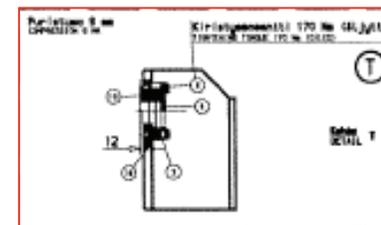
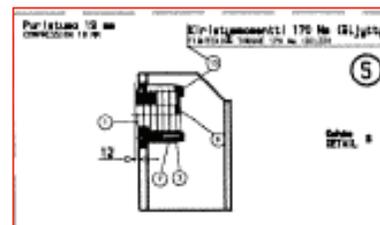
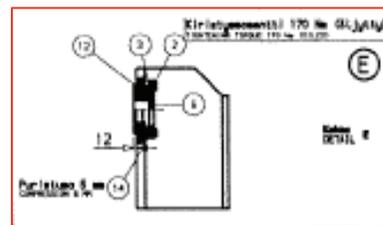
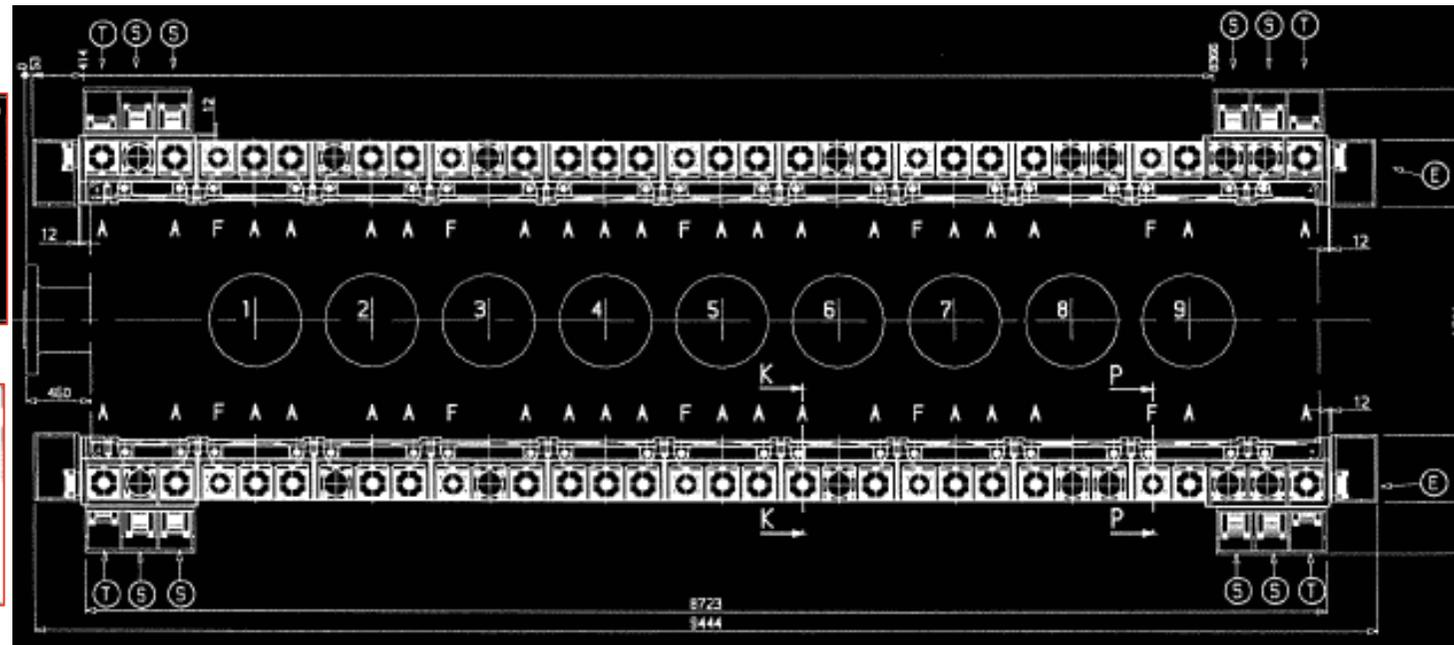
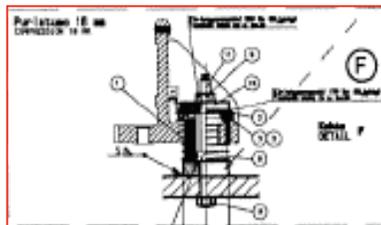
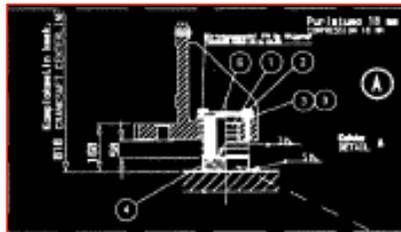
Motori diesel 4T – Supporti cilindrici per motori Wärtsilä V46C



- I supporti sono dei semplici cilindri con tre parti in gomma e due lamine metalliche interposte;
- Per applicazioni con maggiori requisiti di attenuazione, il supporto è di altezza doppia con sei parti in gomma e cinque lamine metalliche interposte;
- Il cedimento statico medio è di circa 16 mm;
- I riscontri elastici sono esterni, sistemati ai quattro angoli del motore e nella sua mezzeria;

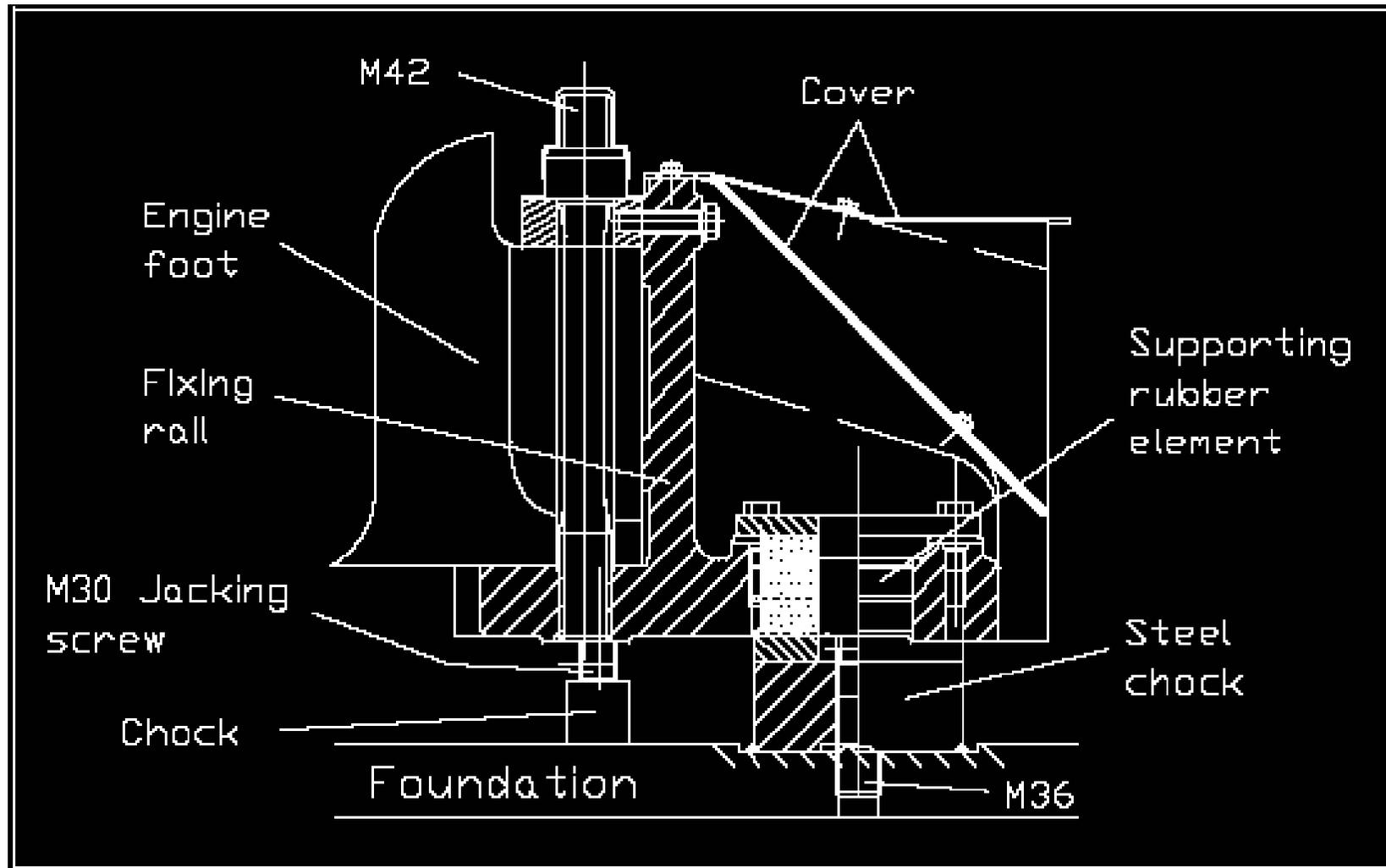
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Pianta fondazioni motore Wärtsilä 9L46C



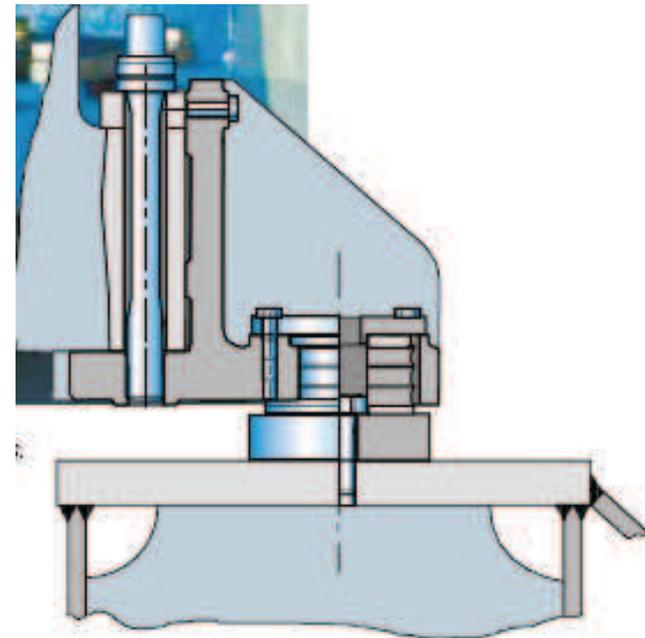
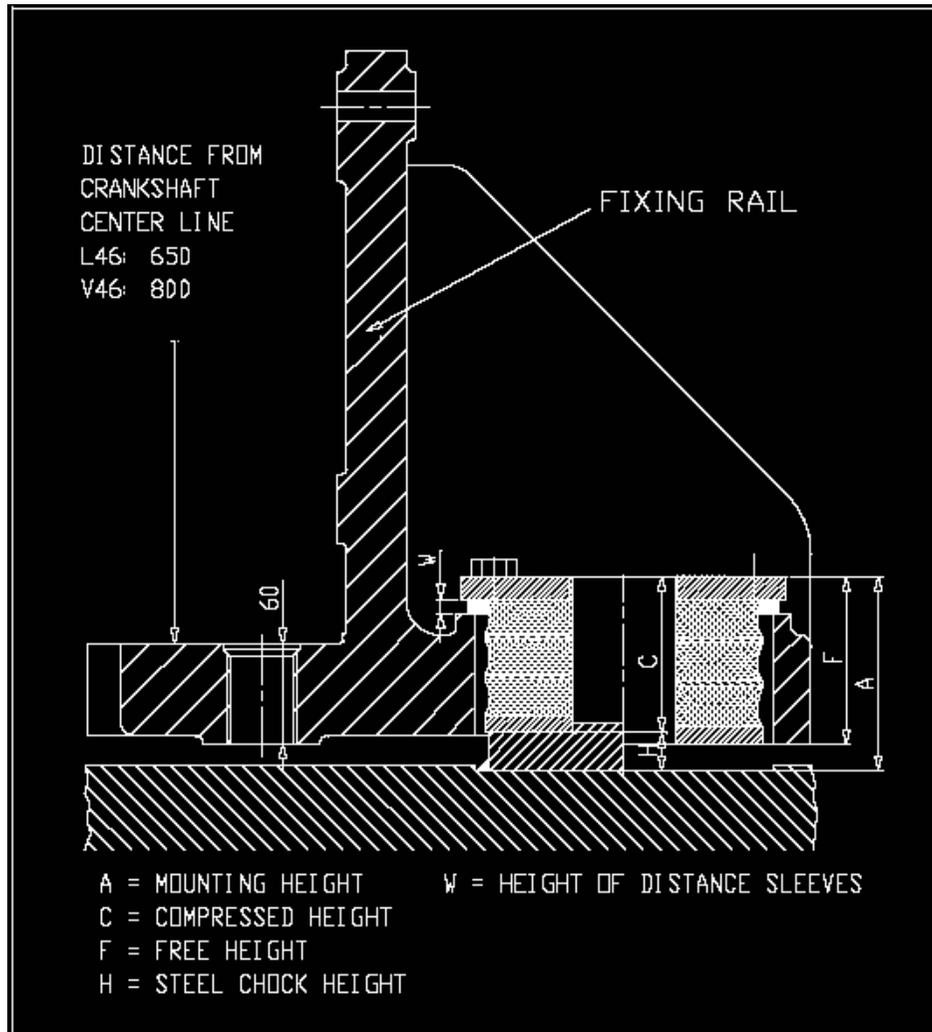
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Dettaglio supporti cilindrici per motori Wärtsilä 46C



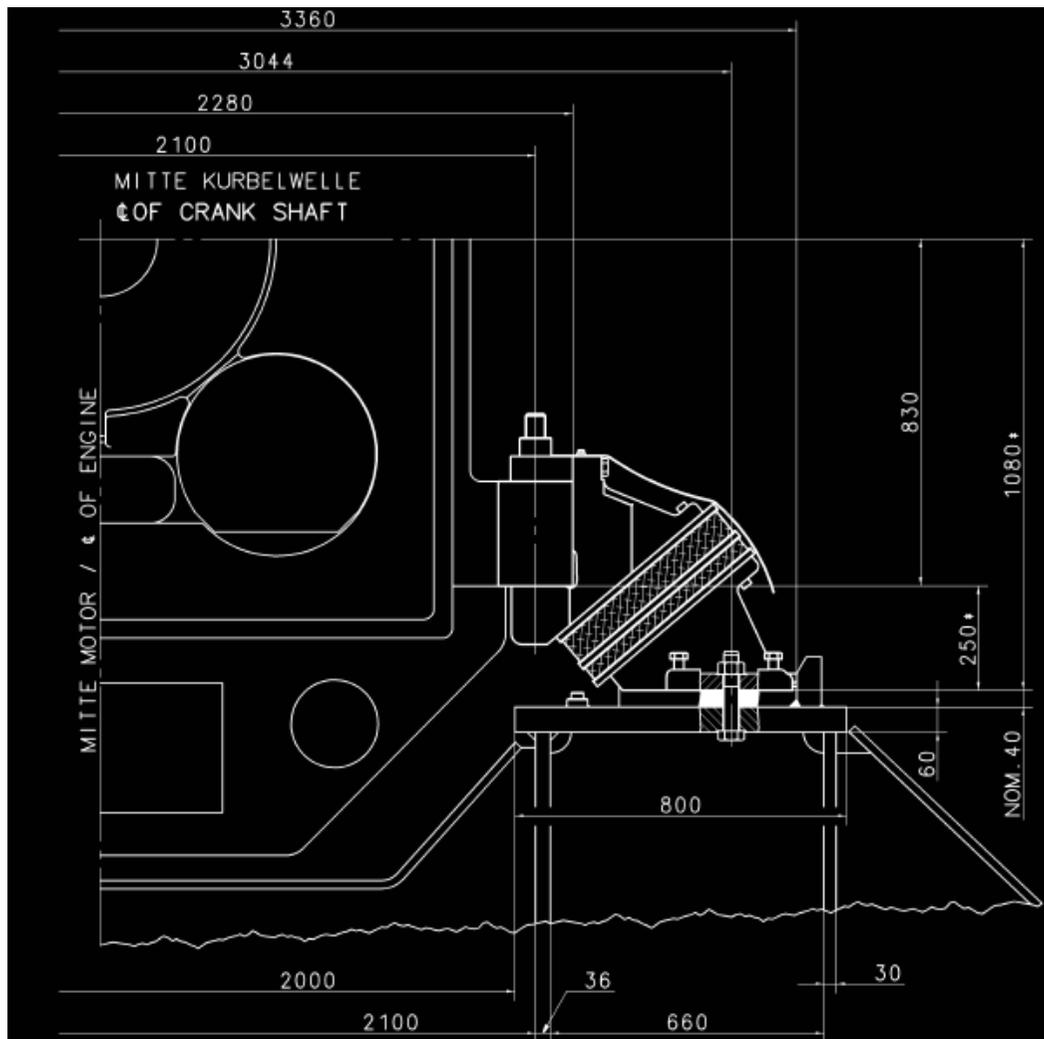
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Dettaglio supporti cilindrici per motori Wärtsilä 46C



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Supporti “tipo-V” per motore MAN B&W V48/60B



- I supporti sono delle semplici “mattonelle” o completamente in gomma o in più parti in gomma con interposte lamine metalliche;
- Il supporto della figura a lato è costituito da due parti in gomma con interposta una lamina metallica;
- Il cedimento statico medio è di circa 12 mm;
- I riscontri elastici sono esterni, sistemati tra i supporti elastici e limitano i movimenti nelle due direzioni verticale e longitudinale;

Impianti di propulsione navale

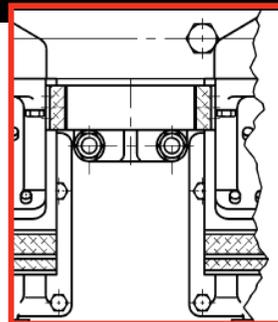
Motori diesel 4T – Pianta sospensione elastica motore MAN B&W V48/60B

Riscontri verticali

Supporti elastici



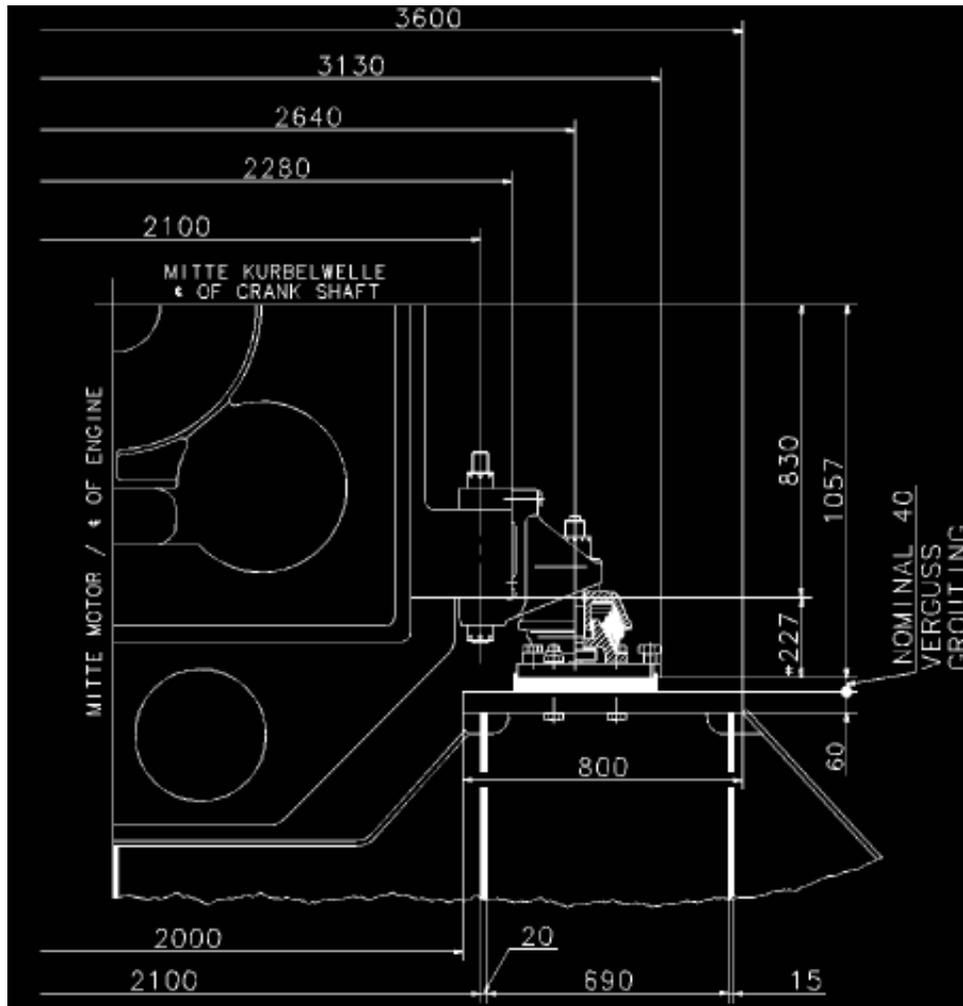
Riscontri longitudinali



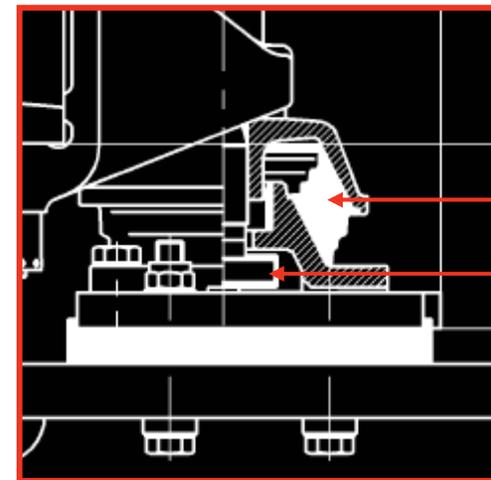
Dettaglio riscontro longitudinale

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Supporti conici per motore MAN B&W V48/60B



- I supporti sono costituiti da una parte in gomma interposta tra due parti metalliche coniche;
- La gomma può avere una o più lamine metalliche interposte;
- Il cedimento statico medio è di circa 10 mm;
- I riscontri elastici sono interni ai supporti elastici e limitano i movimenti nelle tre direzioni;



Gomma

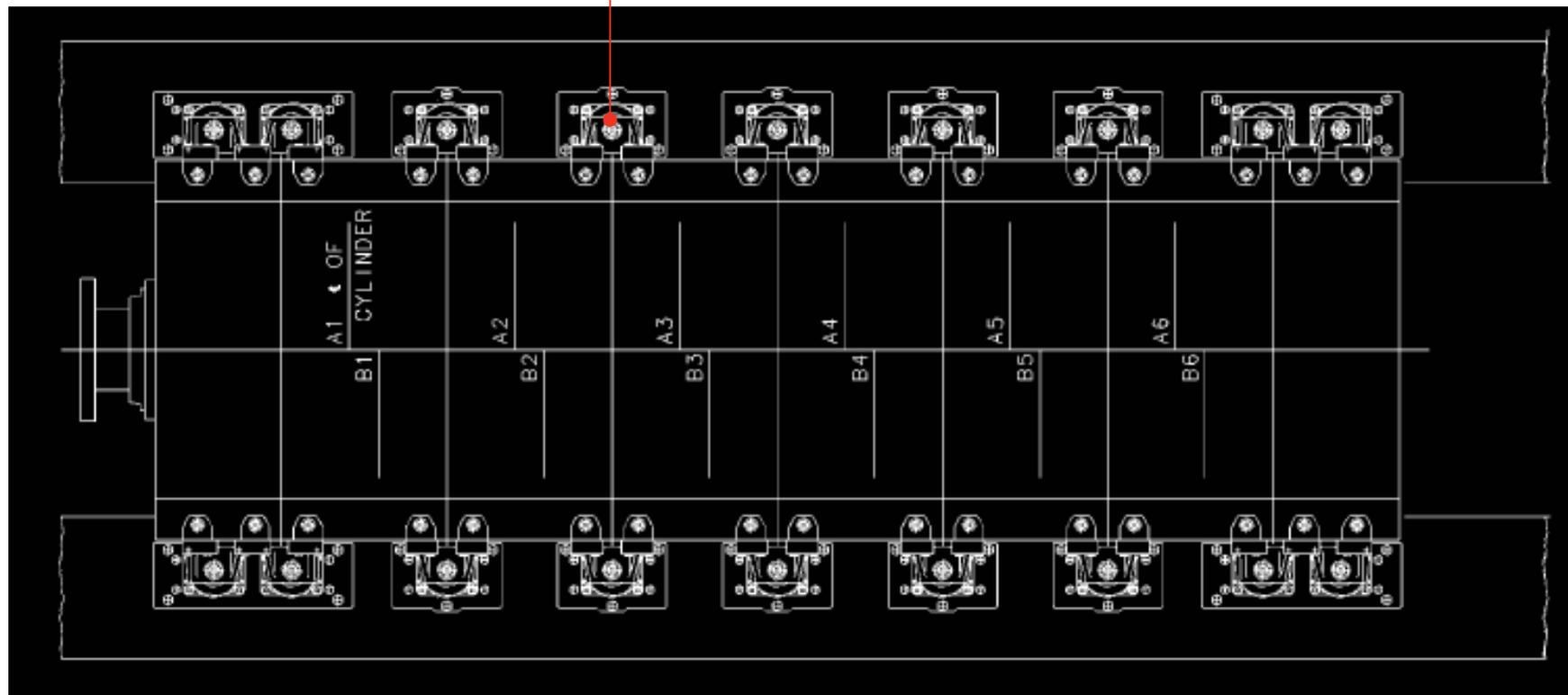
Riscontro

Dettaglio del supporto

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Pianta sospensione elastica motore MAN B&W V48/60B

Supporti elastici con riscontri incorporati



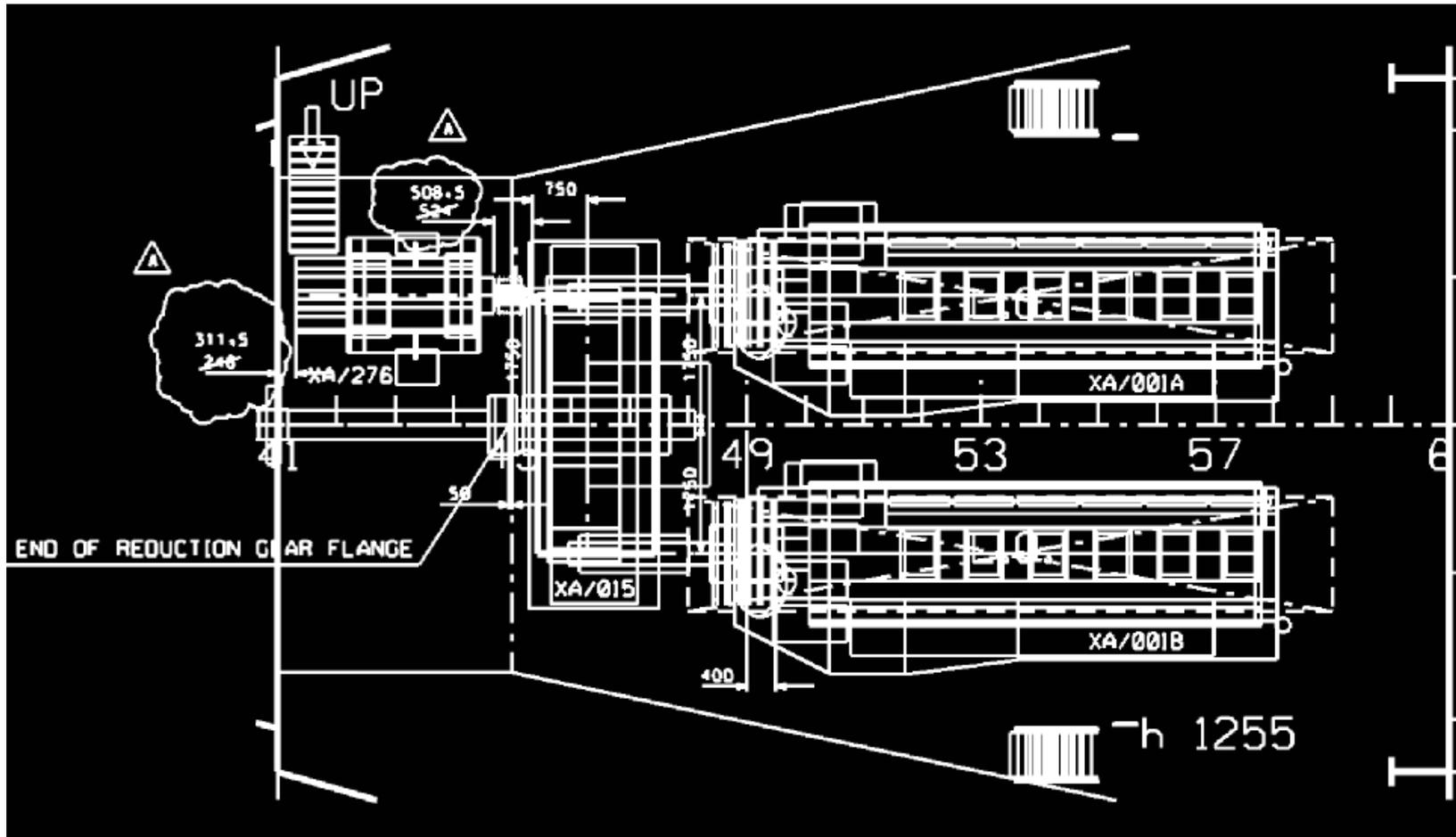
Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T- Sistemazioni – Interfacce con lo scafo

- 1. Superfici al contorno: doppio fondo, fasciame, ponte superiore, paratie poppiera e prodiera, cofano e fumaiolo;**
- 2. Piano di costruzione;**
- 3. Geometrie fondamentali: campi ossature trasversali e longitudinali, ordinate rinforzate ecc.;**
- 4. Strutture speciali: rampe, portelloni ecc.;**
- 5. Continuità strutture provenienti dalla zona carico, sovrastrutture, zona poppiera: puntellature, copertini, correnti, pareti longitudinali ecc.;**
- 6. Cielo del doppiofondo e posizione dell'elica o delle eliche, configurazione dell'astuccio;**
- 7. Condotte scarichi gas, prese e scarichi ventilazione locale apparato motore (LAM);**
- 8. Locale diesel alternatore di emergenza (DAE);**
- 9. Ingresso in apparato motore da zona alloggi;**
- 10. Ascensore e montacarichi;**
- 11. Sfuggite tagliafuoco e poppiera;**
- 12. Garitta e locale pompa emergenza;**
- 13. Osteriggio imbarco/sbarco e relativo mezzo di sollevamento fuori apparato motore;**
- 14. Trunk tubazioni e cavi elettrici;**
- 15. Pompe della zavorra e del sistema anti-heeling (per traghetti);**

Impianti di propulsione navale

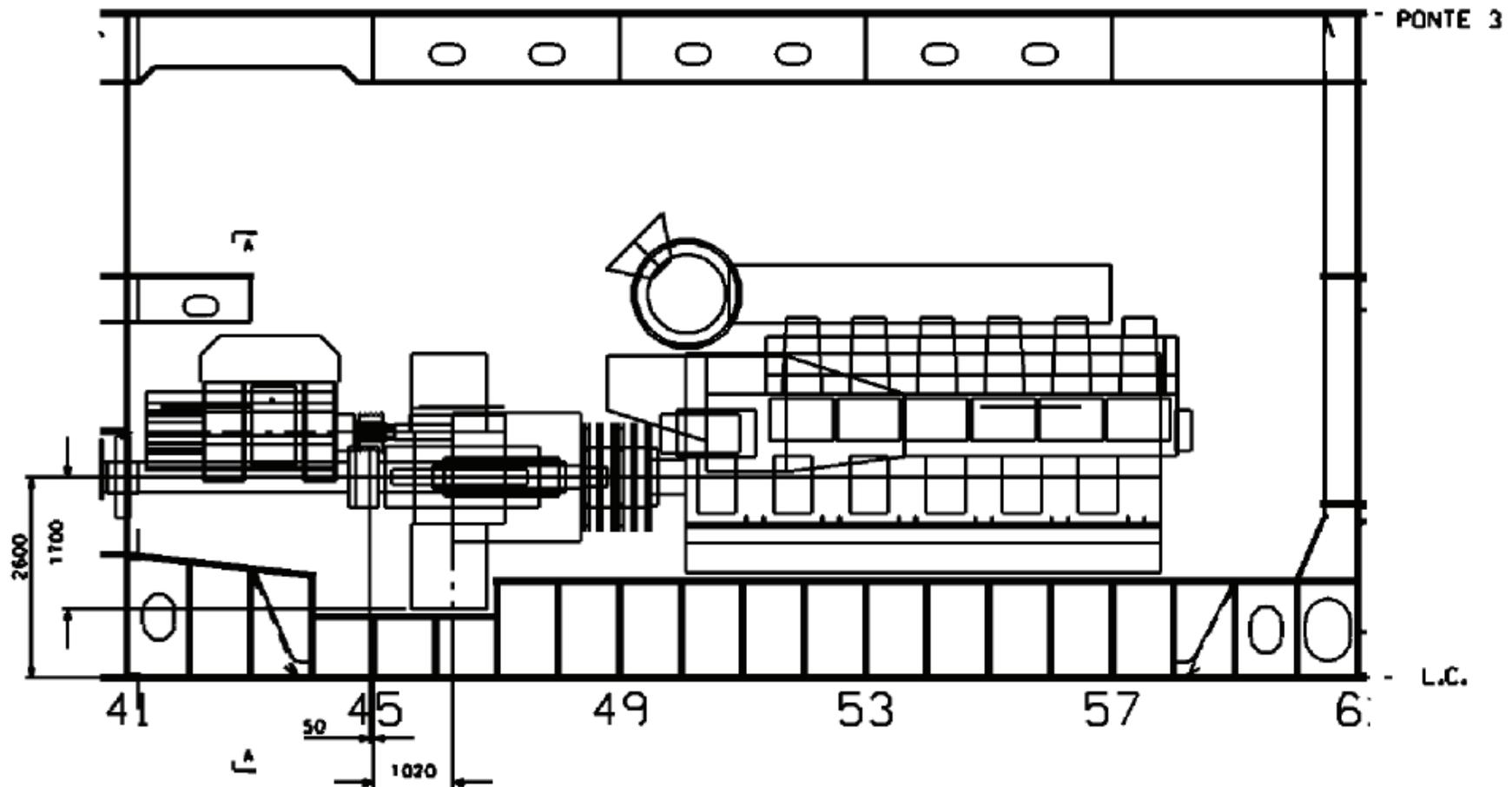
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di una Car Carrier
Motori Wärtsilä 2x6L46C



Pianta

Impianti di propulsione navale

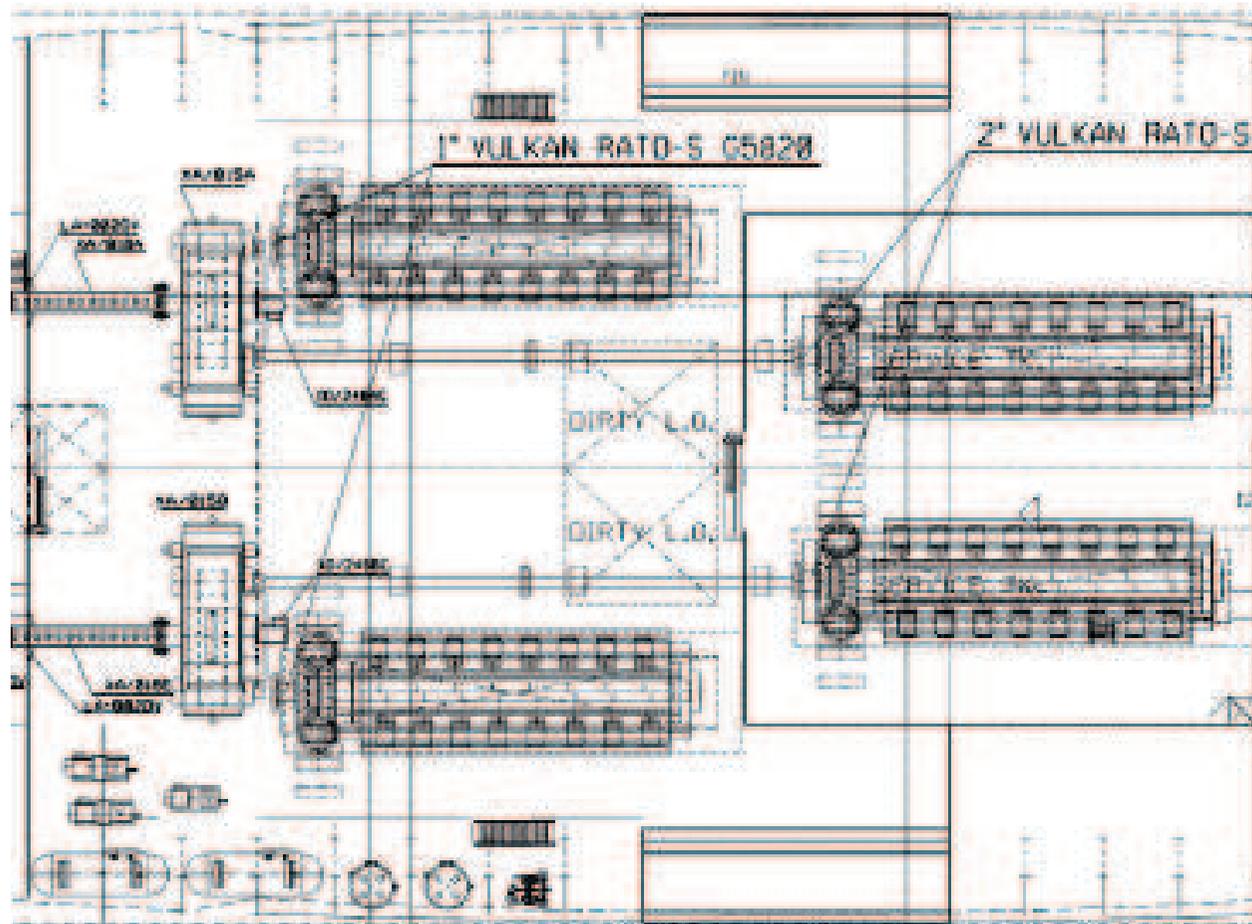
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di una Car Carrier
Motori Wärtsilä 2x6L46C



Sezione longitudinale

Impianti di propulsione navale

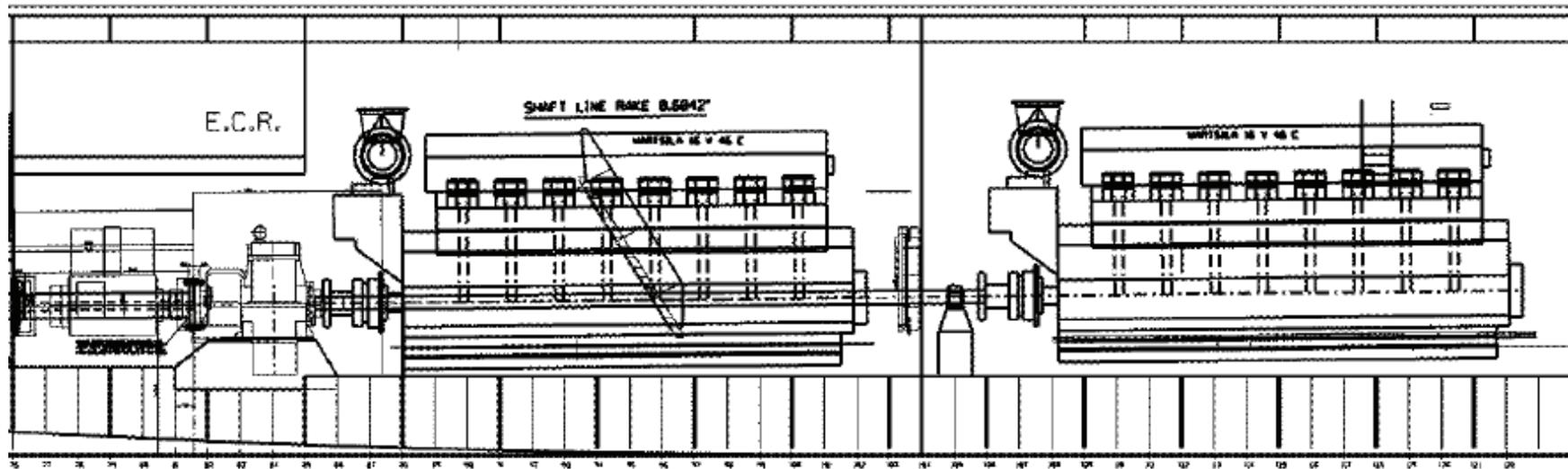
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x16V46C



Pianta

Impianti di propulsione navale

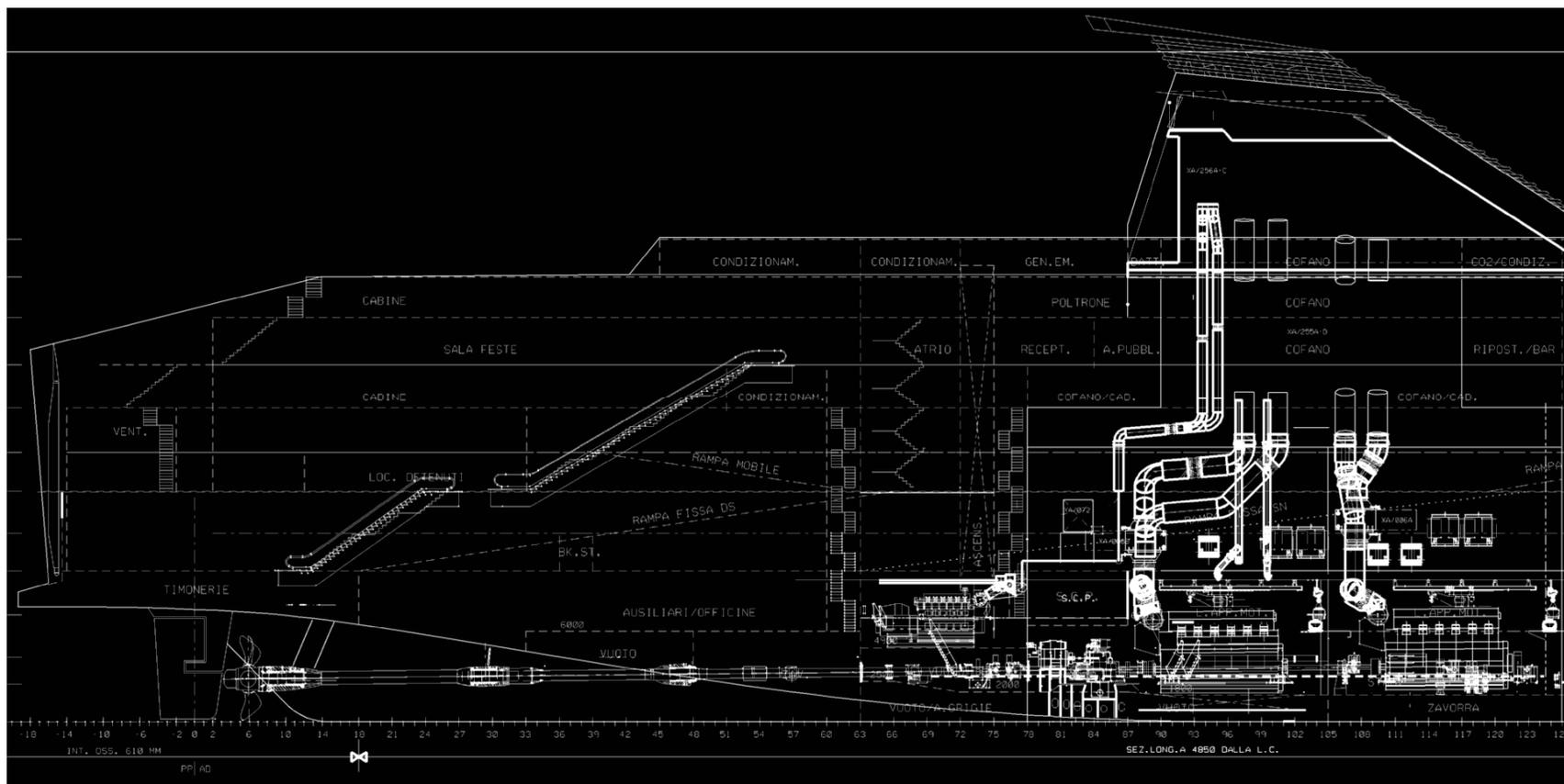
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x16V46C



Sezione longitudinale

Impianti di propulsione navale

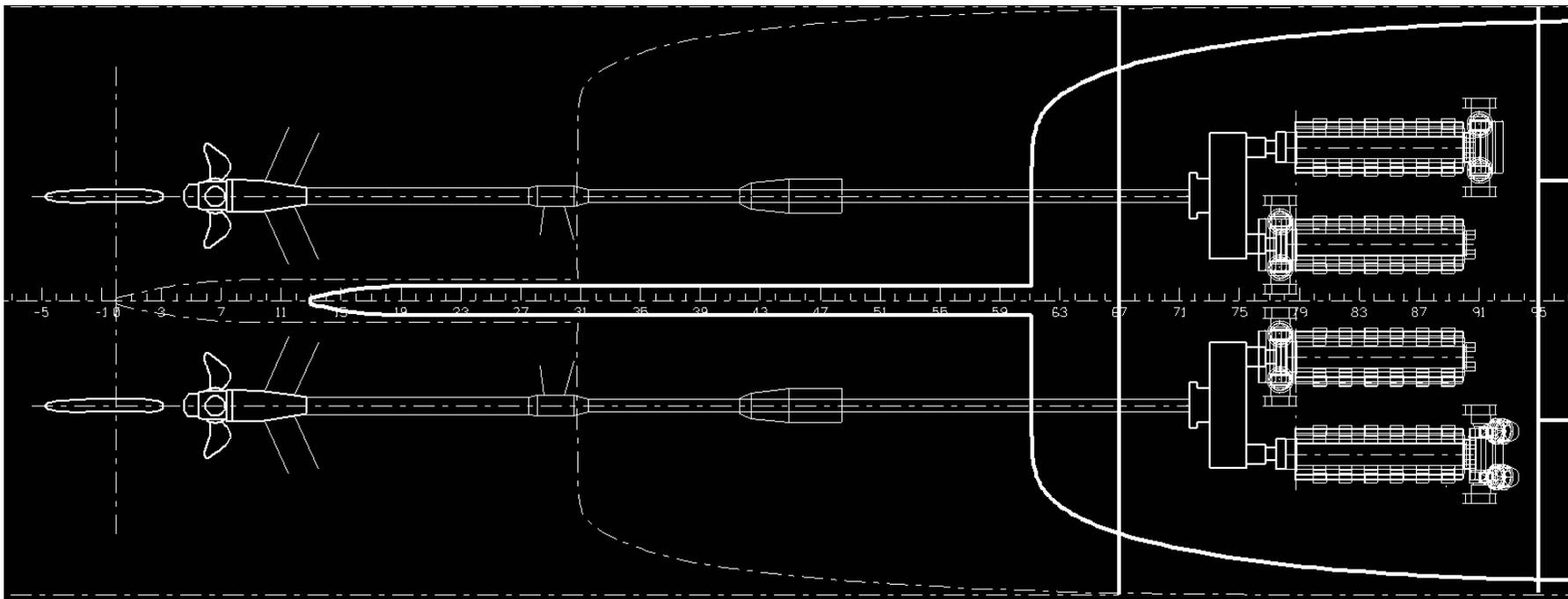
Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x12V46C



Sezione longitudinale

Impianti di propulsione navale

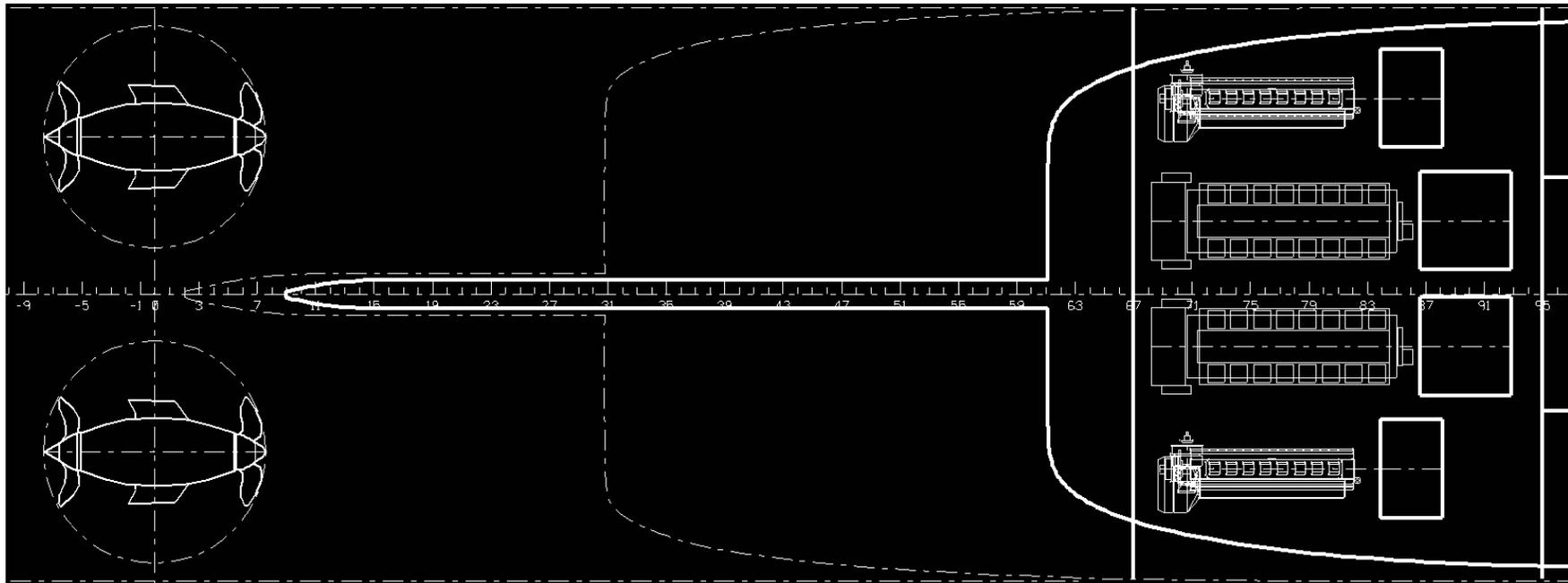
Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x12V46C



Studio di una possibile sistemazione con quattro motori sistemati in linea nella stessa sala macchine

Impianti di propulsione navale

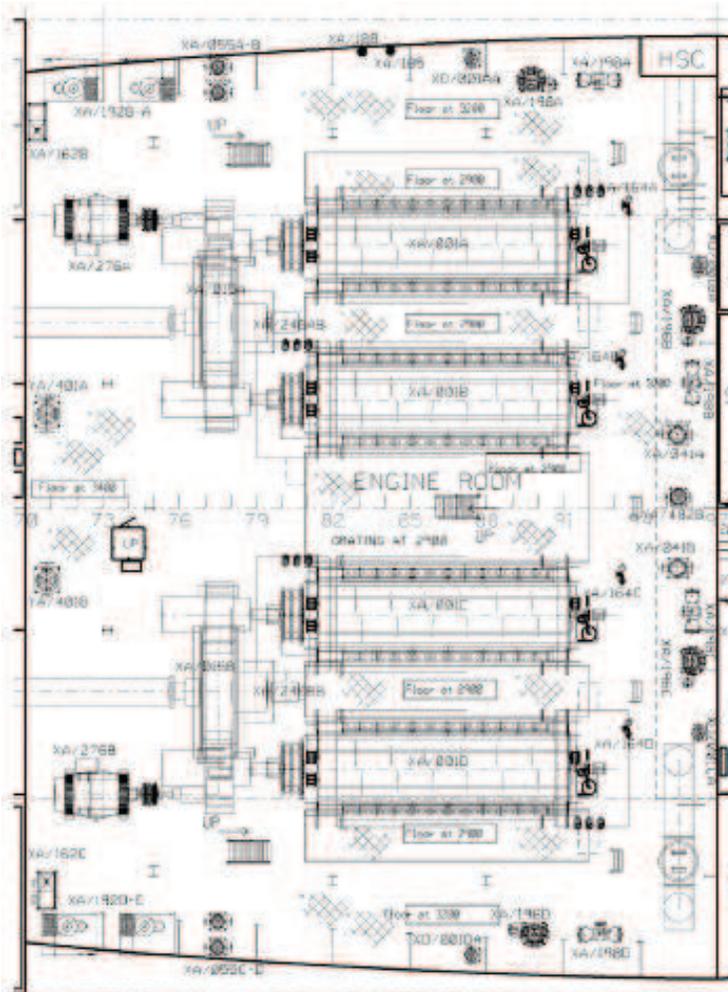
Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di una propulsione diesel-elettrica con due PODS bi-elica



Studio di una possibile sistemazione di una propulsione diesel-elettrica con quattro gruppi elettrogeni sistemati in linea nella stessa sala macchine

Impianti di propulsione navale

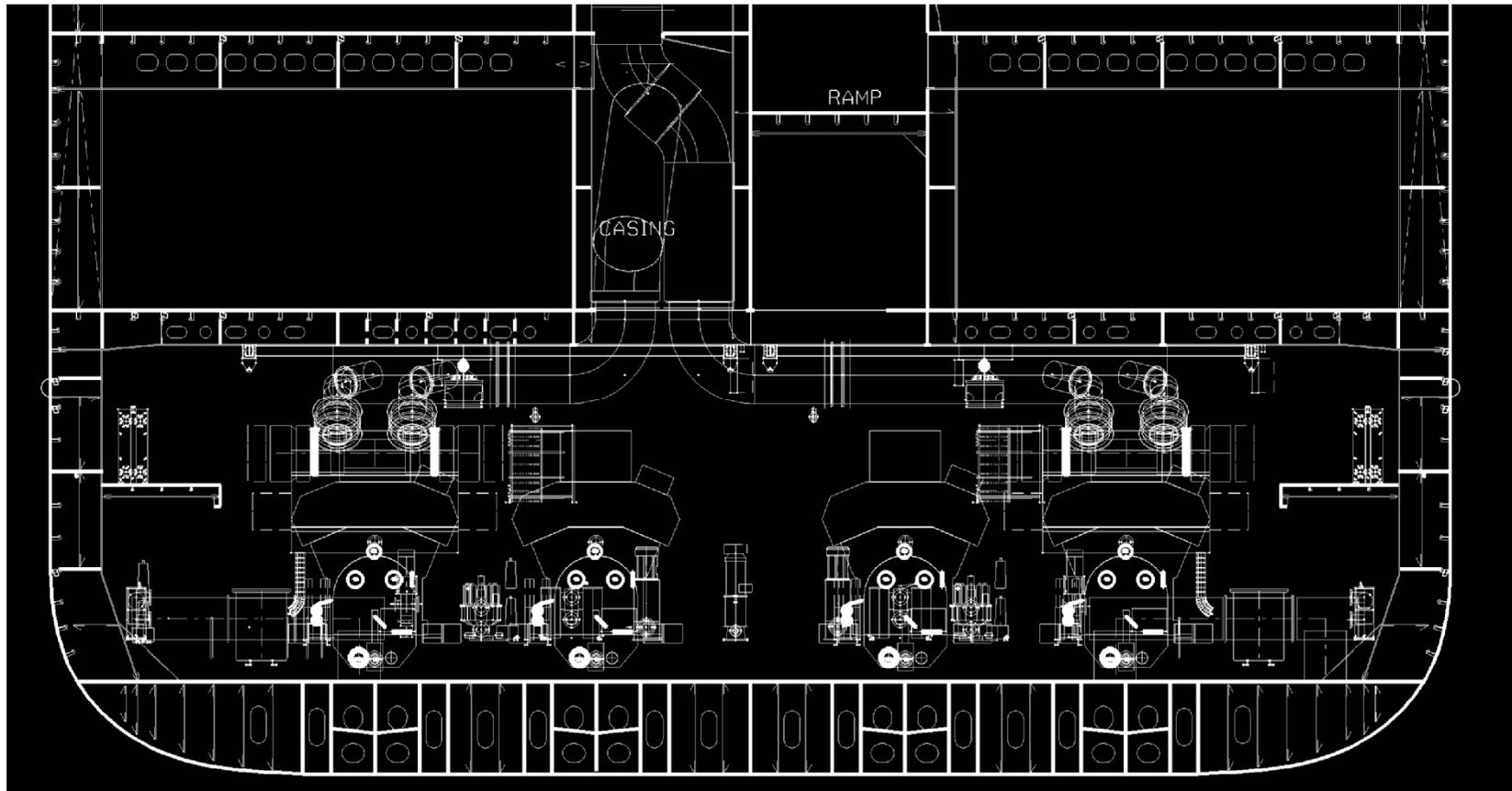
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x12V46C



- La sistemazione con quattro motori in linea, indipendentemente dal tipo di motori e numero di cilindri, è la più classica e la più applicata;
- Ogni impianto è costituito da due motori collegati per mezzo di giunti elastici a riduttori di velocità a doppio ingresso. L'unica uscita del riduttore è collegata alla linea d'alberi;
- I riduttori in molte applicazioni, come nel caso rappresentato, sono con P.T.O. integrata che trascina un alternatore asse per mezzo di un giunto elastico;

Impianti di propulsione navale

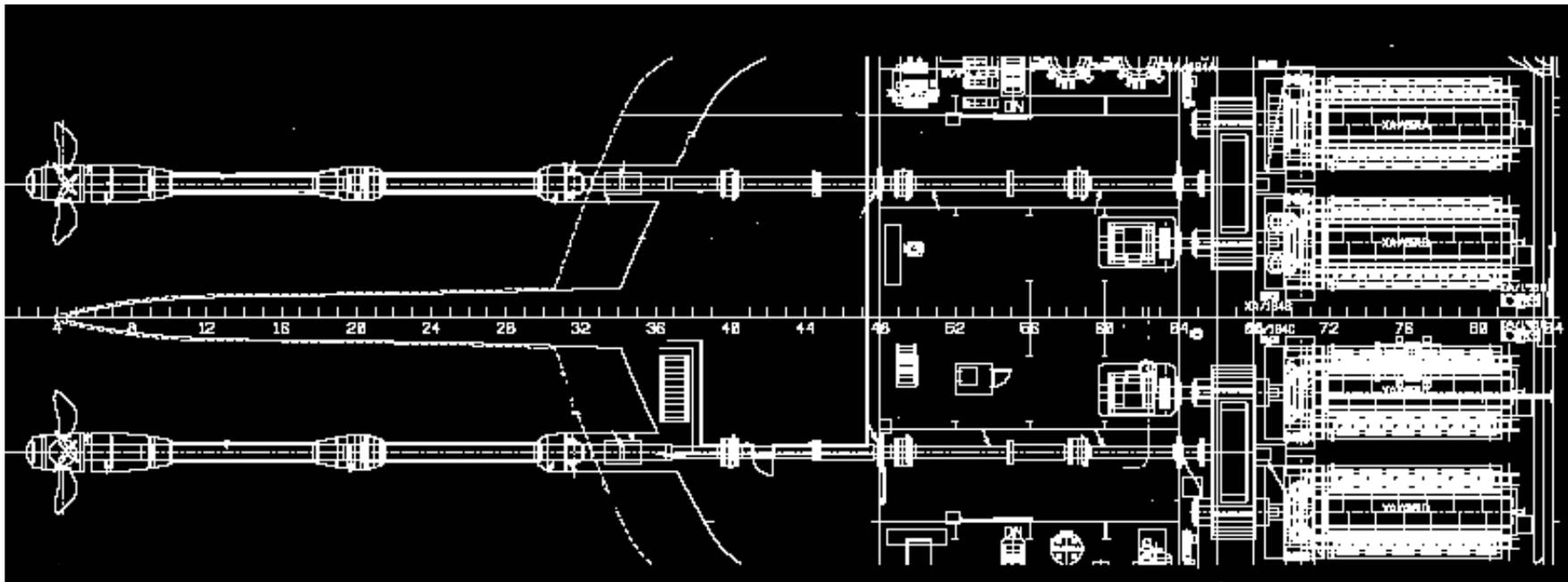
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x12V46C



Sezione trasversale

Impianti di propulsione navale

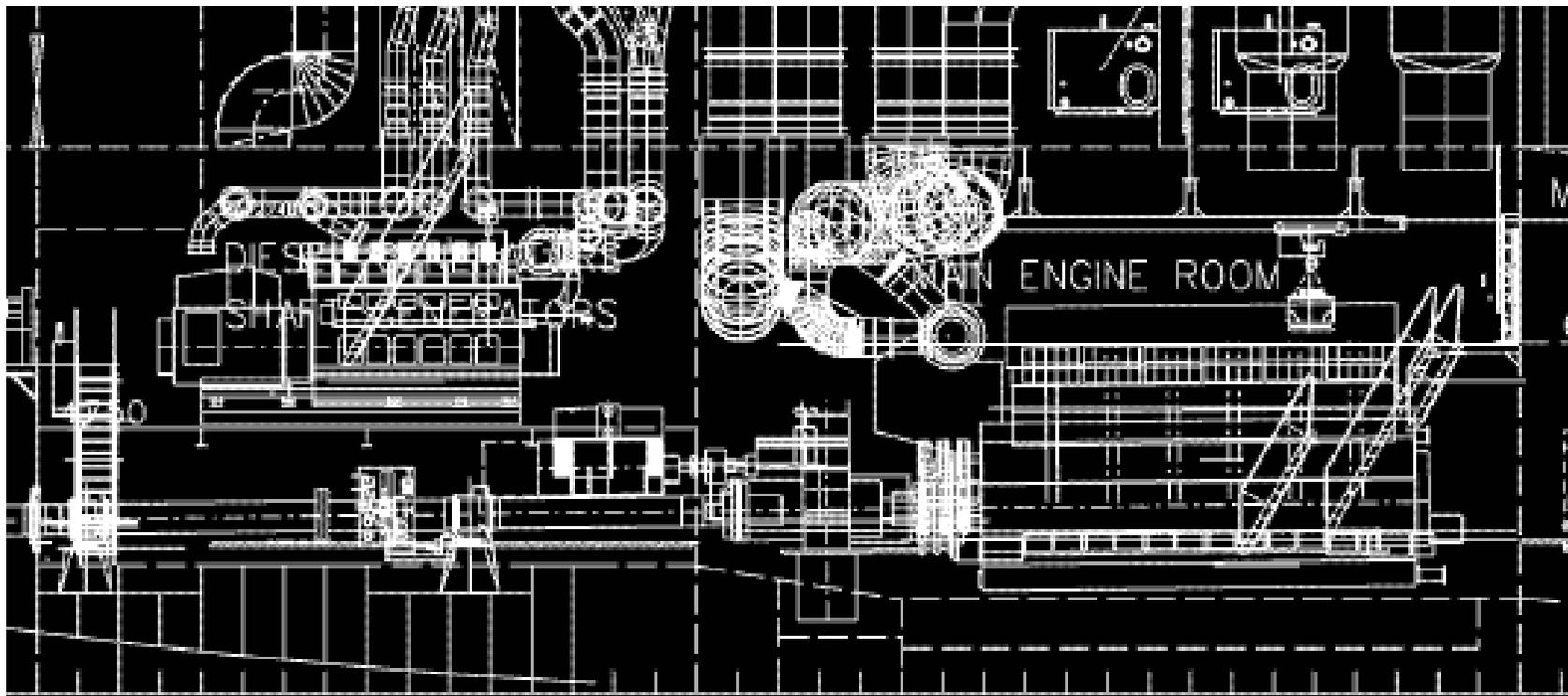
Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di un Ro-Ro Ferry
Motori Wärtsilä 4x12V46C



Pianta

Impianti di propulsione navale

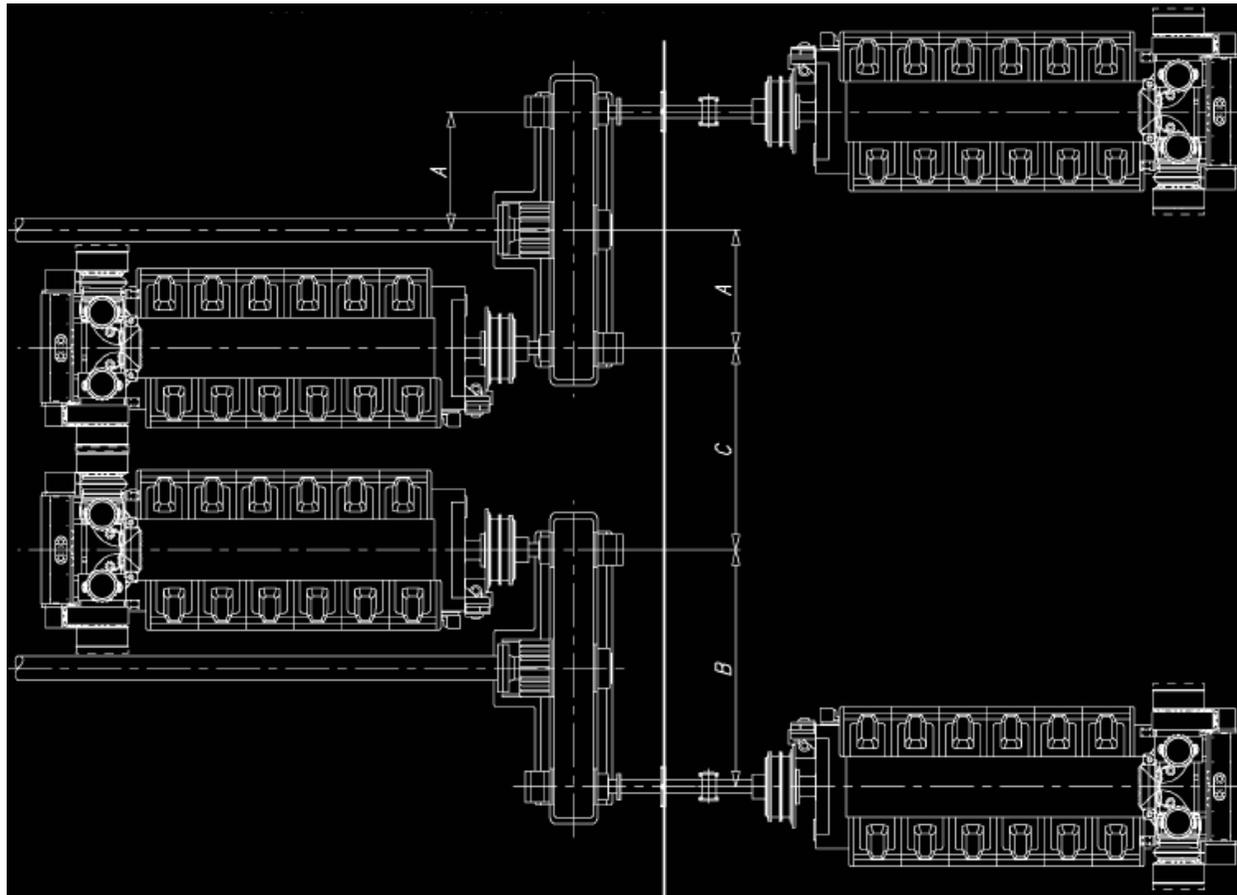
**Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry
Motori Wärtsilä 4x12V46C**



Dettaglio sezione longitudinale

Impianti di propulsione navale

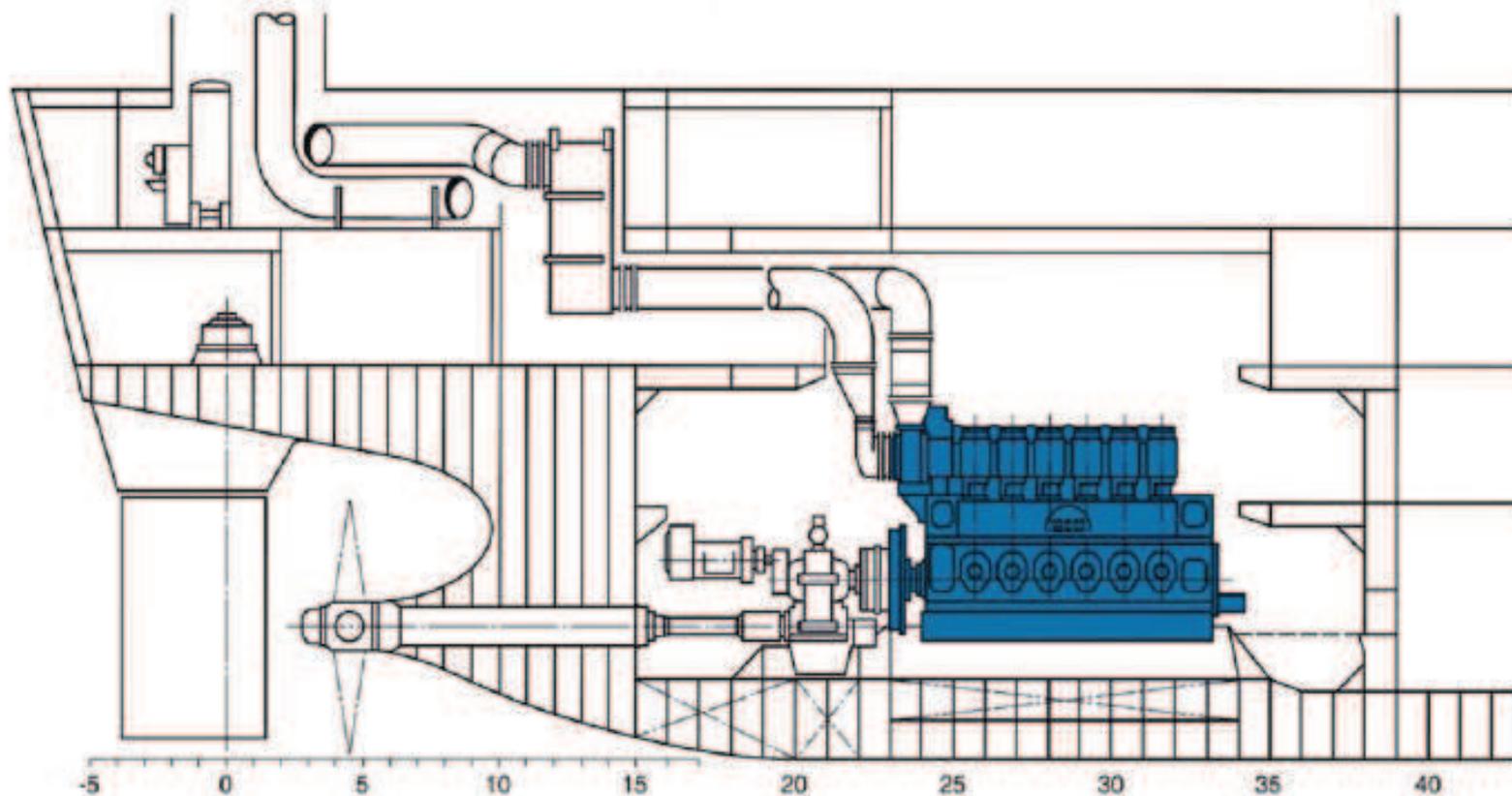
Motori diesel 4T- Sistemazione sala macchine di un Ro-Ro Ferry Motori Wärtsilä 4x12V46C



Alternativa di sistemazione dei motori in due sale macchine

Impianti di propulsione navale

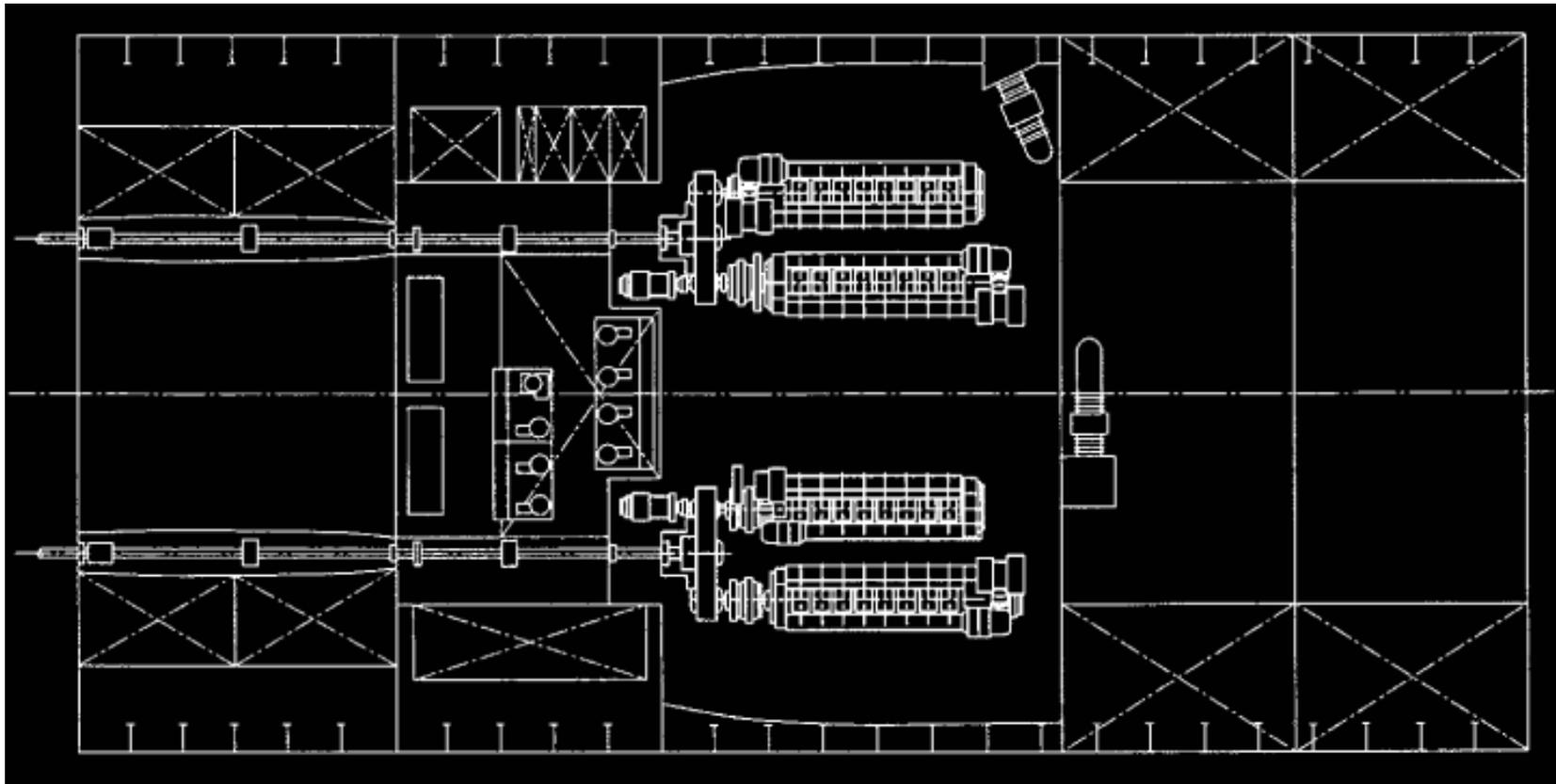
**Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di una nave mercantile
Motore MAN B&W 6L48/60B**



Sezione longitudinale

Impianti di propulsione navale

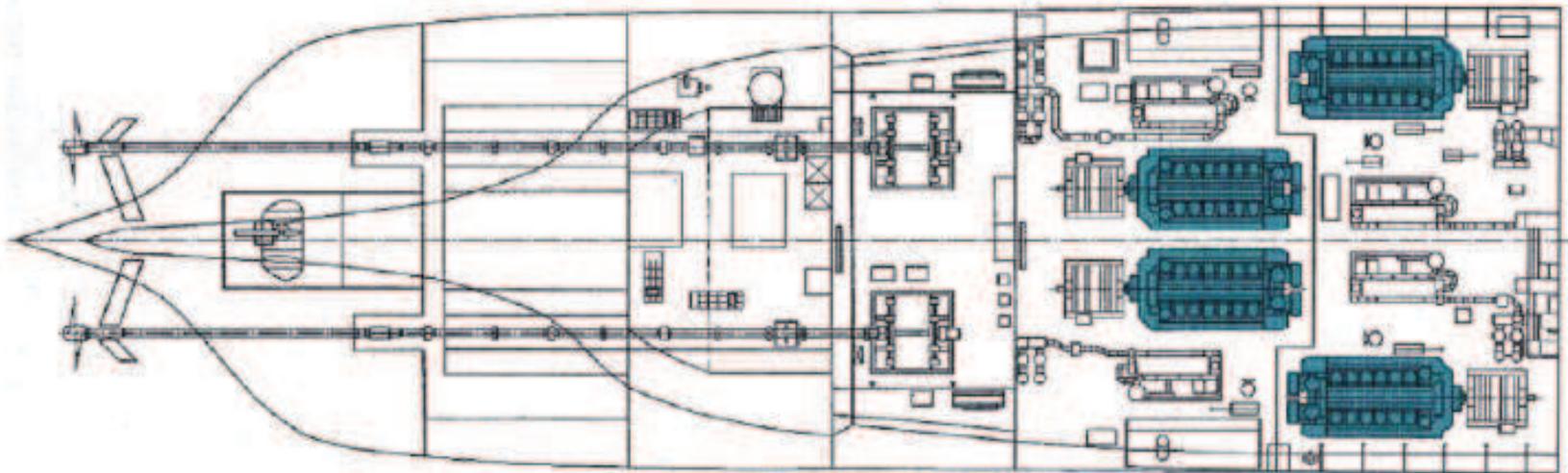
**Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di un Ro-Ro Pax
Motori MAN B&W 4x8L48/60B**



Pianta

Impianti di propulsione navale

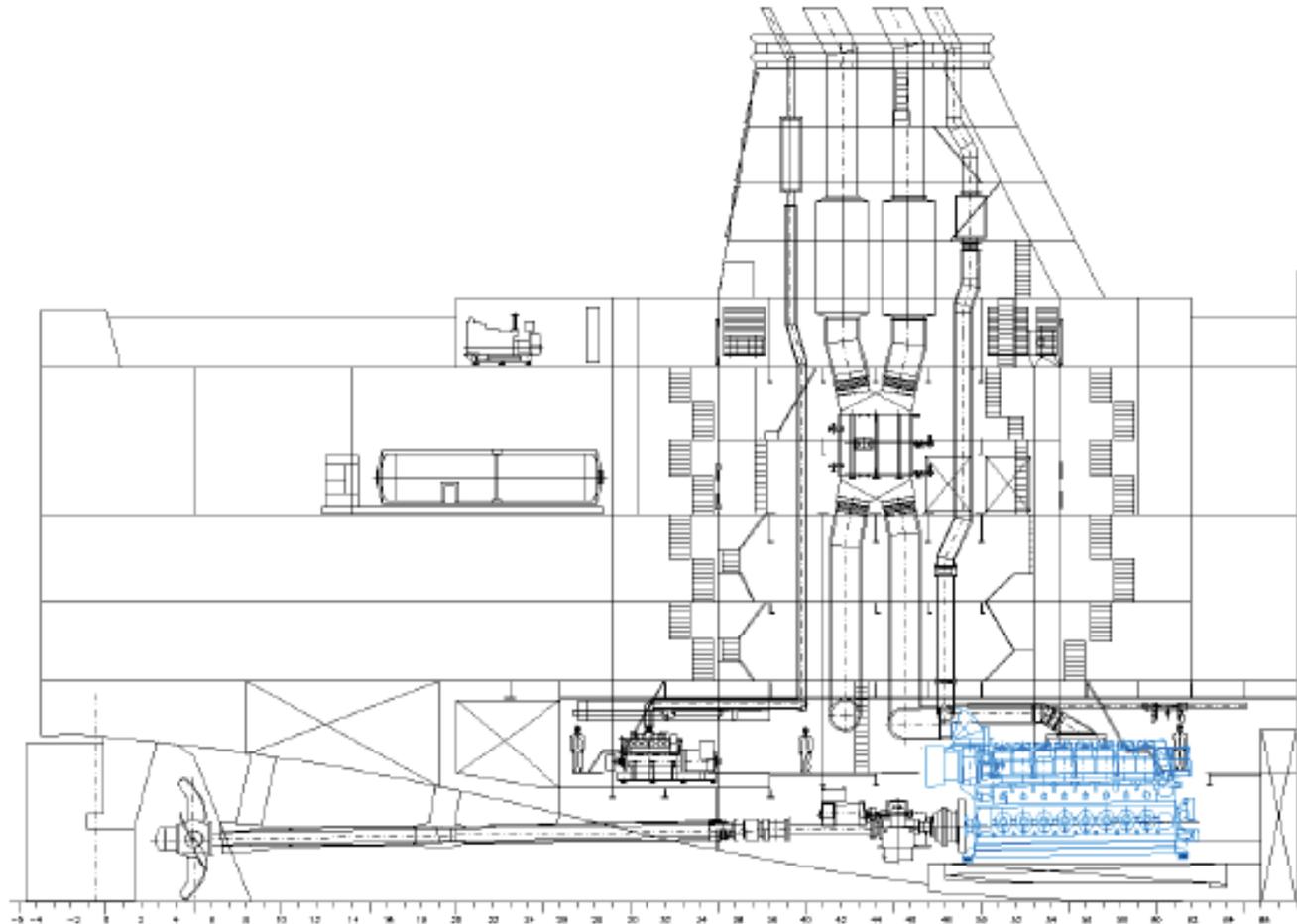
Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo di una diesel-elettrica
Motori MAN B&W 4x14V48/60B



Pianta

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T- Sistemazione impianto propulsivo Motori MAN B&W 48/60B



Sistemazione impianto propulsivo con caldaia gas di scarico a doppio corpo

Data: 15/01/2007

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Generazione di potenza elettrica ausiliaria

- **La potenza elettrica è normalmente generata a bordo da uno o più dei seguenti sistemi che possono funzionare isolati o in parallelo tra loro:**
 - ✓ **Gruppi diesel-alternatori ;**
 - ✓ **Alternatori asse trascinati dal riduttore di velocità per mezzo di P.T.O. (Power Take Off);**
 - ✓ **Gruppi diesel-alternatori di emergenza:**
- **Le navi più semplici, con servizio su rotte brevi e senza particolari esigenze energetiche hanno almeno un gruppo diesel-alternatore di emergenza, che volge la sua funzione di alimentare le utenze per la sicurezza nave e gli ausiliari necessari per far ripartire i motori in caso di black-out, e due o più gruppi diesel-alternatori per alimentare i servizi di bordo;**
- **L'installazione a bordo di navi con un impianto propulsivo convenzionale con trasmissione meccanica di uno o più alternatori asse, che funzionano o su una rete dedicata o in parallelo con i diesel-alternatori, è dettata sostanzialmente:**
 - ✓ **Da particolari richieste di energia necessaria per alimentare le eliche trasversali durante le fasi di manovra;**
 - ✓ **Da scelte tecniche contrattuali che prevedono di mantenere in navigazione i gruppi elettrogeni fermi o in stand-by;**
- **In entrambi i succitati casi, l'alternatore può funzionare o a velocità costante, pari a quella nominale dei motori o ad altra velocità di sincronismo con le rete delle eliche trasversali, oppure a velocità variabile con controllo elettronico della frequenza;**

Impianti di propulsione navale

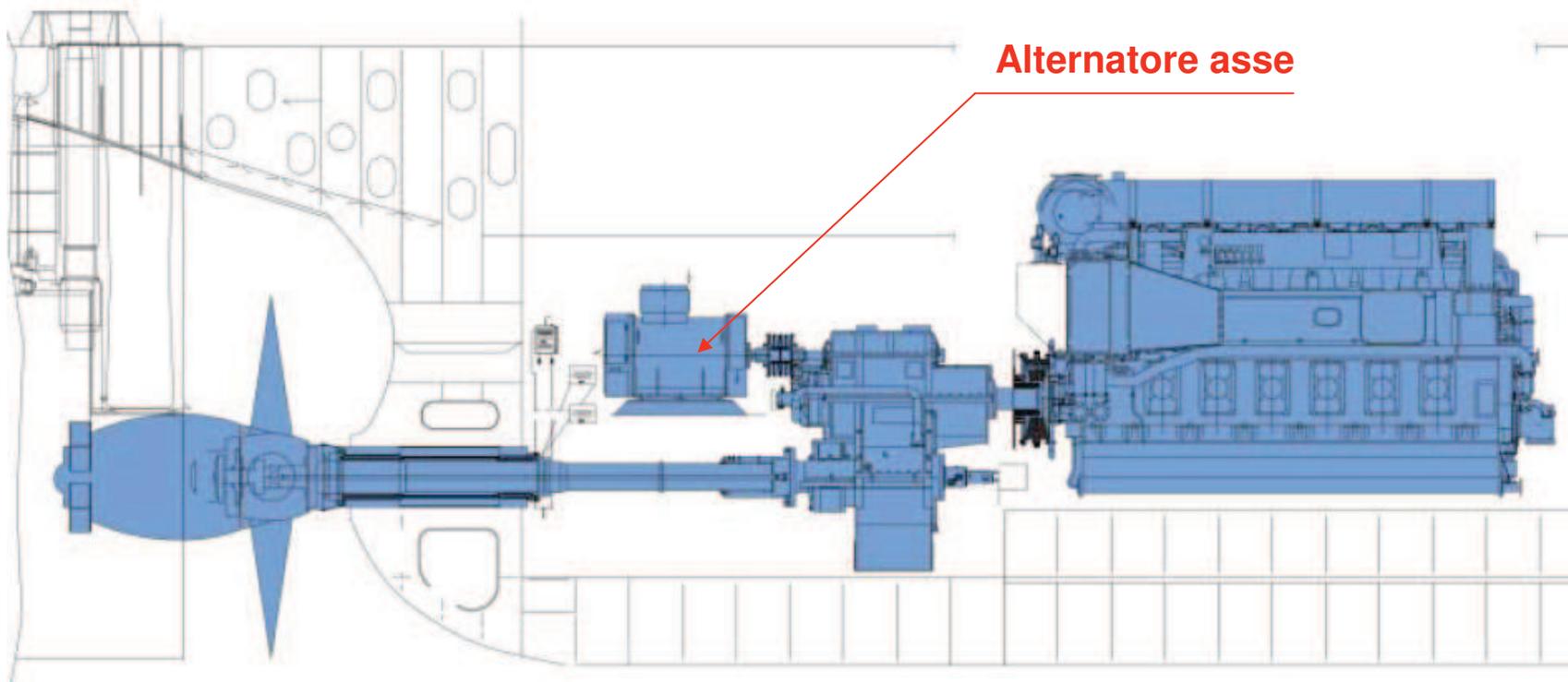
Motori diesel 4T – Generazione di potenza elettrica ausiliaria

- Gli alternatori asse, salvo applicazioni molto particolari, sono sempre trascinati da una P.T.O. installata sul riduttore di velocità e normalmente dotata anche di frizione a dischi. Tale P.T.O. può essere configurata in una delle due seguenti tipologie.
 - ✓ **Secondaria**: è una P.T.O. trascinata da ingranaggi sistemati a valle delle frizioni principali. E' pertanto sempre trascinata solo se l'impianto propulsivo è in funzione ed ha il vantaggio di poter funzionare anche con uno solo dei due motori in servizio
E' la P.T.O. utilizzata sulla maggior parte degli impianti con due e quattro motori propulsivi;
 - ✓ **Primaria**: è una P.T.O. trascinata da ingranaggi sistemati a monte di una delle frizioni principali. E' pertanto trascinata solo se il motore che trascina tali ingranaggi è in servizio. Ha il vantaggio di poter funzionare come gruppo elettrogeno a velocità costante isolata dal resto dell'impianto, ma ha lo svantaggio di essere strettamente dipendente dal funzionamento del motore corrispondente.
E' la P.T.O. utilizzata normalmente su impianti che hanno un profilo operativo in manovra con uno dei motori funzionante in combinata, variazione di potenza e velocità di rotazione, e con l'altro motore funzionante con l'alternatore asse a velocità costante come gruppo elettrogeno;

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Generazione di potenza elettrica ausiliaria

- La figura mostra un impianto propulsivo con il riduttore dotato di una P.T.O e l'alternatore asse sistemato nella posizione usuale a poppavia del riduttore:



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistemi per ridurre la fumosità e le emissioni

- **La sempre più continua attenzione alle problematiche ambientali e l'inasprirsi di alcune normative regionali in tema di fumosità ed emissioni, hanno spinto i costruttori di motori diesel a studiare, sperimentare e ad adottare nuove soluzioni tecniche per soddisfare tali richieste di mercato;**
- **Inizialmente erano state fatte alcune scelte progettuali, di gestione dei carichi e di manutenzione per ridurre la fumosità, precisamente:**
 - ✓ **Adozione di regolatori di velocità elettronici dotati di algoritmi per limitare il combustibile (Fuel limiter) durante la fase di avviamento e di aumenti di carico;**
 - ✓ **Funzionamento con elevato eccesso di aria ed efficiente omogeneizzazione dell'aria e del combustibile all'interno della camera di combustione;**
 - ✓ **Funzionamento con elevate pressioni di iniezione per assicurare un'azione di "spray" con goccioline di combustibile molto piccole;**
 - ✓ **Ottimizzazione della ripartizione del carico di gruppi di gruppi elettrogeni nel campo di potenza 60-85 % della potenza nominale;**
 - ✓ **Regolare manutenzione/sostituzione del sistema di iniezione (iniettore-pompa);**
 - ✓ **Possibilità di convertire rapidamente da alimentazione a combustibile pesante, tipo IFO 380 normalmente utilizzato a bordo, a combustibile leggero, MDO o gasolio, in casi di transito in aree regolate da normative particolari;**

Impianti di propulsione navale

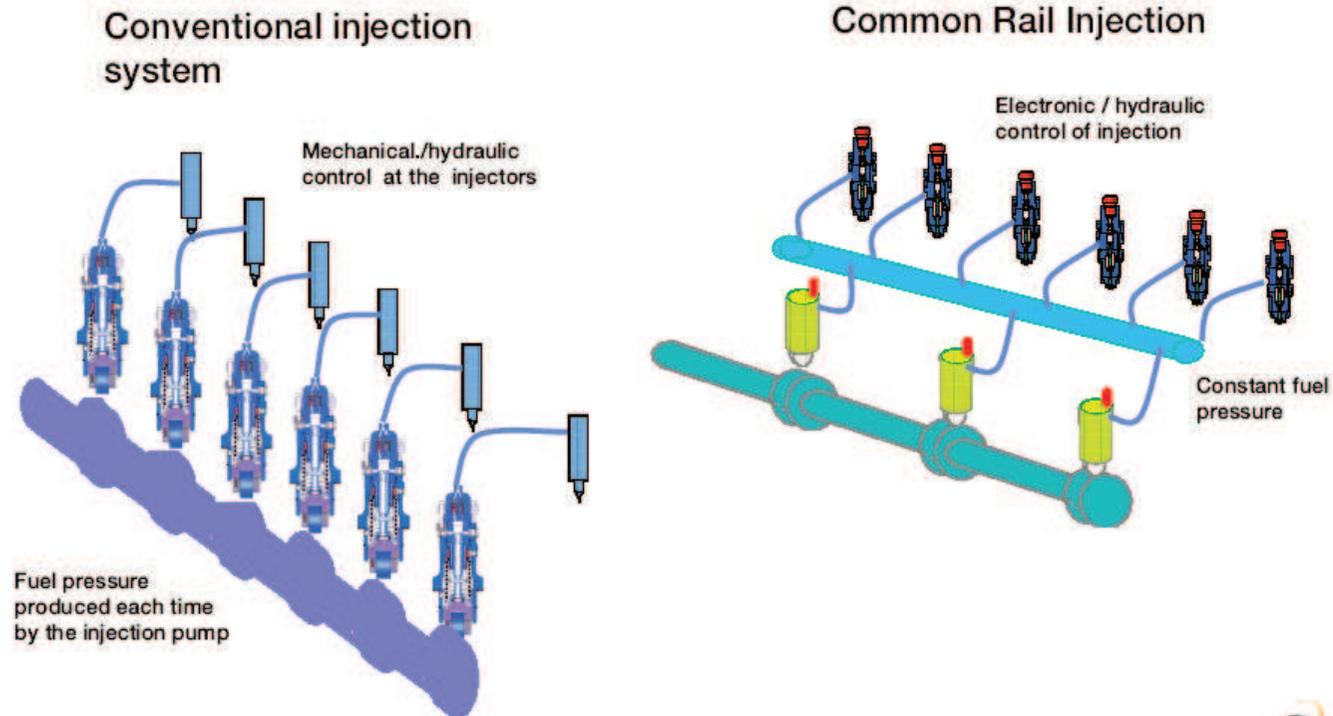
Motori diesel 4T – Sistemi per ridurre la fumosità e le emissioni

- **Tutte le scelte tecniche elencate limitavano però la fumosità a valori che non erano più accettati in alcune aree, come ad esempio in Alaska ed in altre regioni. Questo dato di fatto e l'ulteriore aumento della sensibilità delle istituzioni pubbliche e dei cittadini verso le problematiche ambientali, hanno accelerato la decisione dei costruttori di motori ad introdurre soluzioni più efficaci per la riduzione della fumosità, dei particolati e delle emissioni NO_x, specialmente a bassi carichi;**
- **Negli ultimi anni i principali costruttori di motori diesel hanno pertanto sperimentato ed adottato vari sistemi tra i quali i due più importanti sono:**
 - ✓ **La Wärtsilä e la MAN hanno adottato il sistema di iniezione “Common Rail” (CR), costituito da un collettore ad alta pressione, volume comune a tutti gli iniettori ed alimentato da più pompe di iniezione in funzione del numero di cilindri. Tale sistema permette anche di ottimizzare la combustione ed i consumi a tutti i livelli di carico mediante la definizione dell'inizio dell'iniezione, della quantità di combustibile iniettato e della pressione di iniezione;**
 - ✓ **La MAK ha adottato invece il sistema “Flexible Camshaft Technology” (FCT), che attua o una variazione meccanica dell'anticipo di iniezione per ridurre la fumosità o una variazione della fasatura delle valvole di aspirazione e di scarico per diminuire le emissioni di NO_x;**
- **E' interessante notare che l'adozione di tali sistemi non ha avuto come obiettivo anche l'eliminazione dell'asse a camme, come invece realizzato per i motori 2T.**

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla Wärtsilä

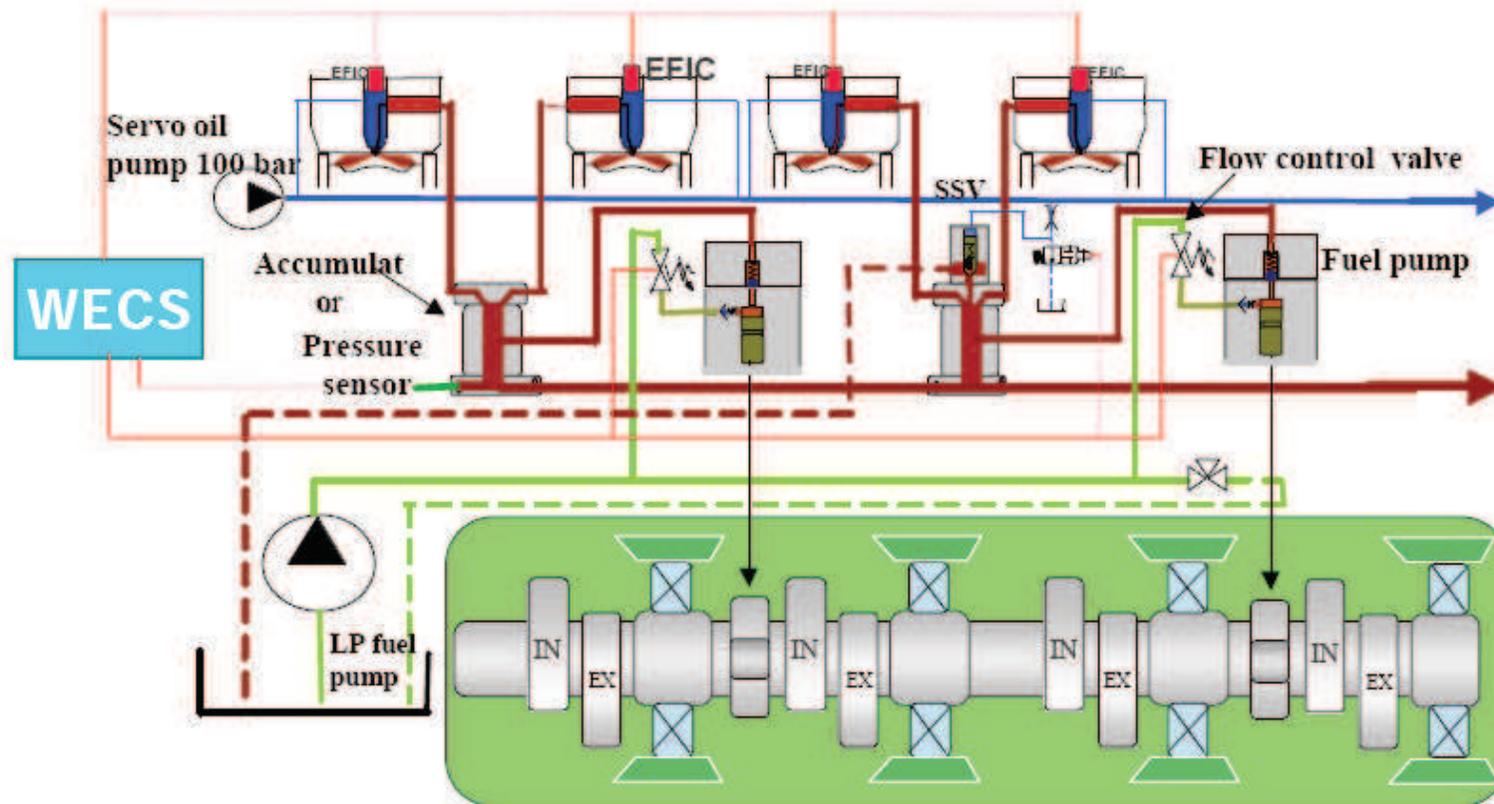
- La figura seguente illustra schematicamente la differenza tra l’iniezione tradizionale, costituita da un sistema pompa-iniettore per ogni cilindro, con l’apertura dell’iniettore comandata dalla pressione del combustibile, ed il CR adottato dalla Wärtsilä che ha un collettore comune a tutti gli iniettori alimentato da una pompa combustibile ogni due cilindri, con il controllo elettronico dell’apertura dell’iniettore:



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla MAN

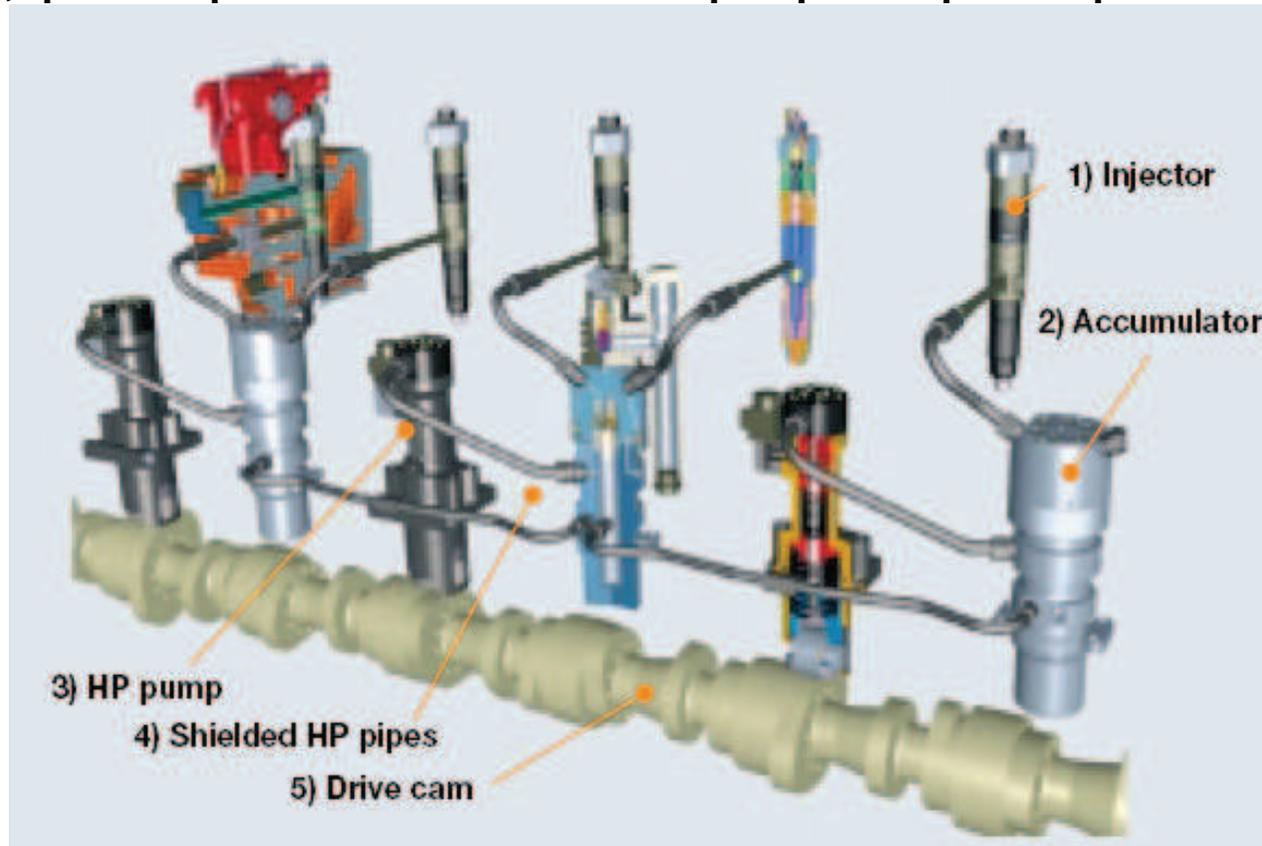
- La figura illustra lo schema del sistema CR adottato dalla Wärtsilä: come si può vedere, l'asse a camme aziona una pompa di iniezione ogni due cilindri. Le pompe alimentano gli accumulatori, sempre uno ogni due cilindri, che sono collegati tra loro da un tubo che bilancia e mantiene circa costante la pressione del sistema;



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla Wärtsilä

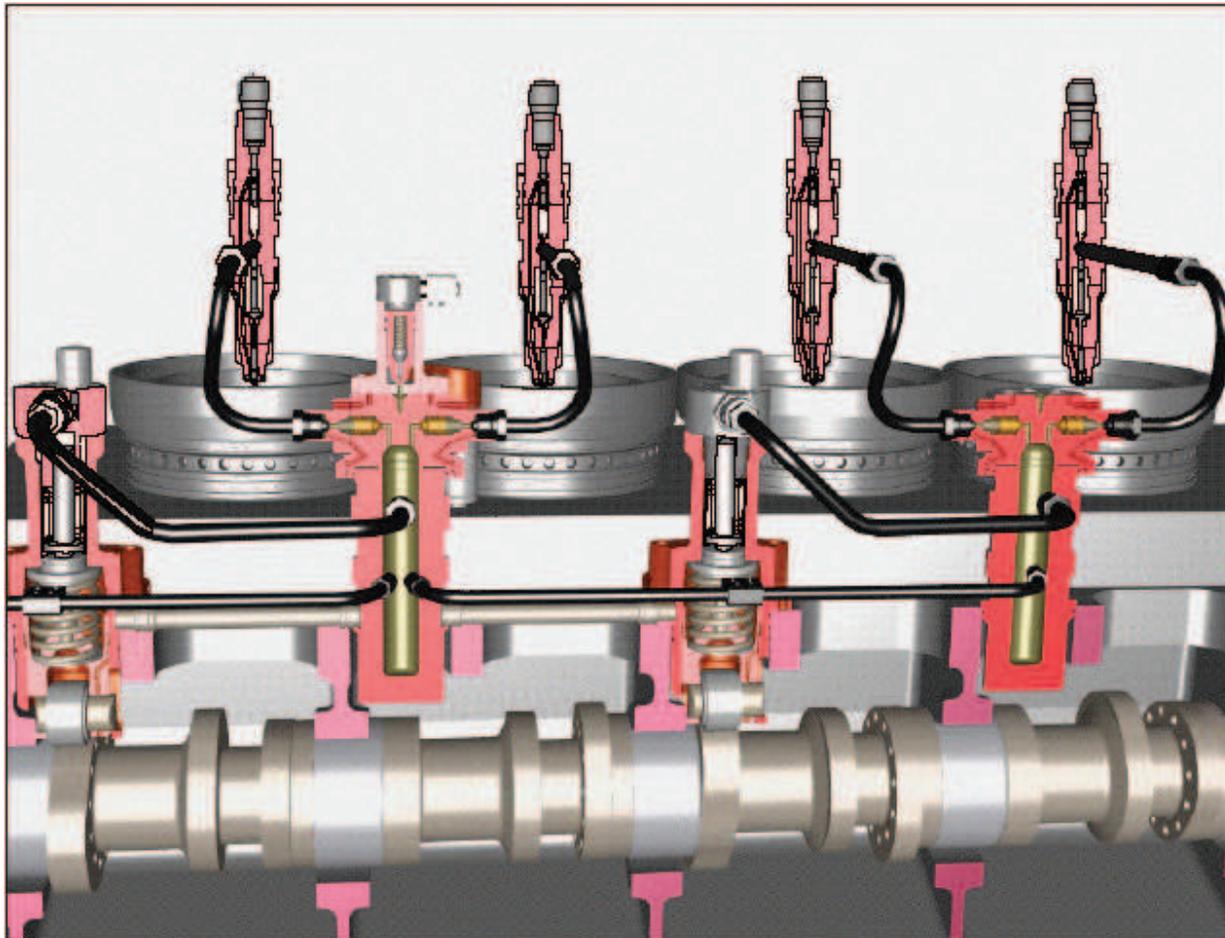
- La figura mostra la realizzazione effettiva del sistema CR. In pratica sono montati una pompa (3) e un accumulatore (2) ogni due cilindri. La mandata della pompa non è più legata alla fase dell'iniezione del singolo cilindro, come nel sistema “pompa-iniettore”, quindi si possono installare meno pompe con portata più continua;



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla Wärtsilä

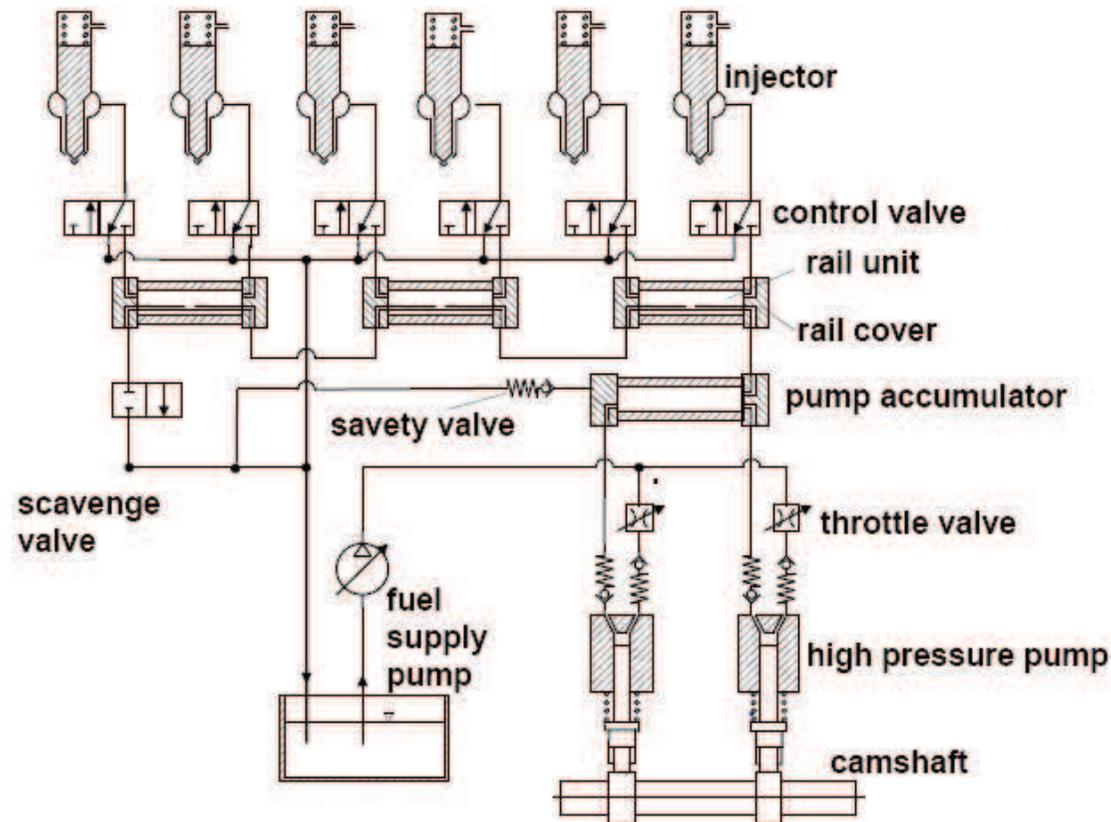
- La figura mostra un'altra vista della realizzazione effettiva del sistema CR. Tale sistema è costituito dagli accumulatori e dai tubi che li collegano, i quali bilanciano e mantengono costante la pressione del combustibile;



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla MAN

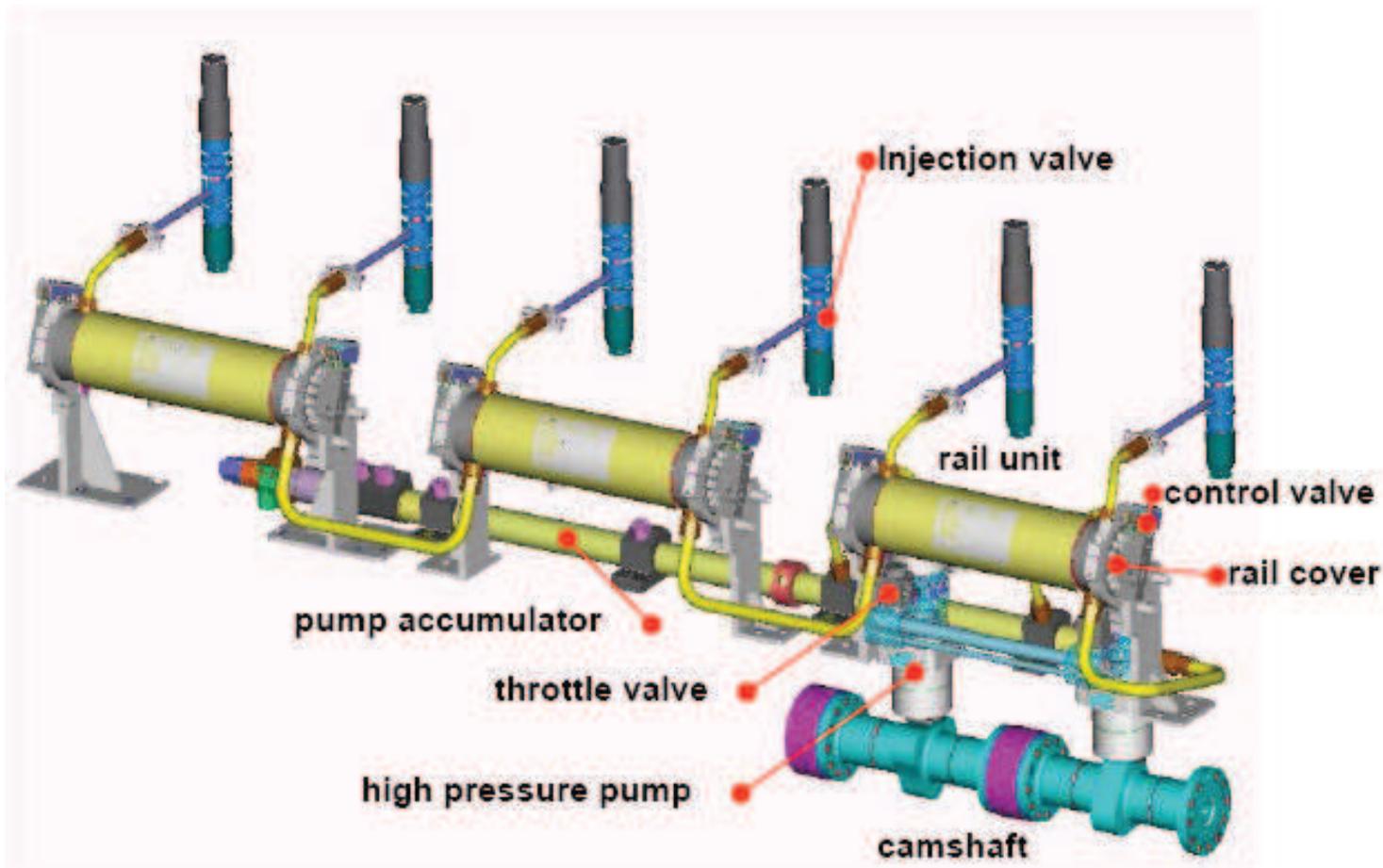
- La figura illustra invece lo schema del sistema adottato dalla MAN: come si può vedere, l'asse a camme aziona due pompe di iniezione che alimentano un accumulatore, il quale a sua volta alimenta il collettore comune. Quest'ultimo è realizzato da collettori grandi comuni a due iniettori collegati da tubi più piccoli per bilanciare e mantenere costante la pressione;



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “Common Rail” adottato dalla MAN

- La figura seguente illustra il sistema come realizzato effettivamente dalla MAN;



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Riepilogo caratteristiche dei sistemi “Common Rail”

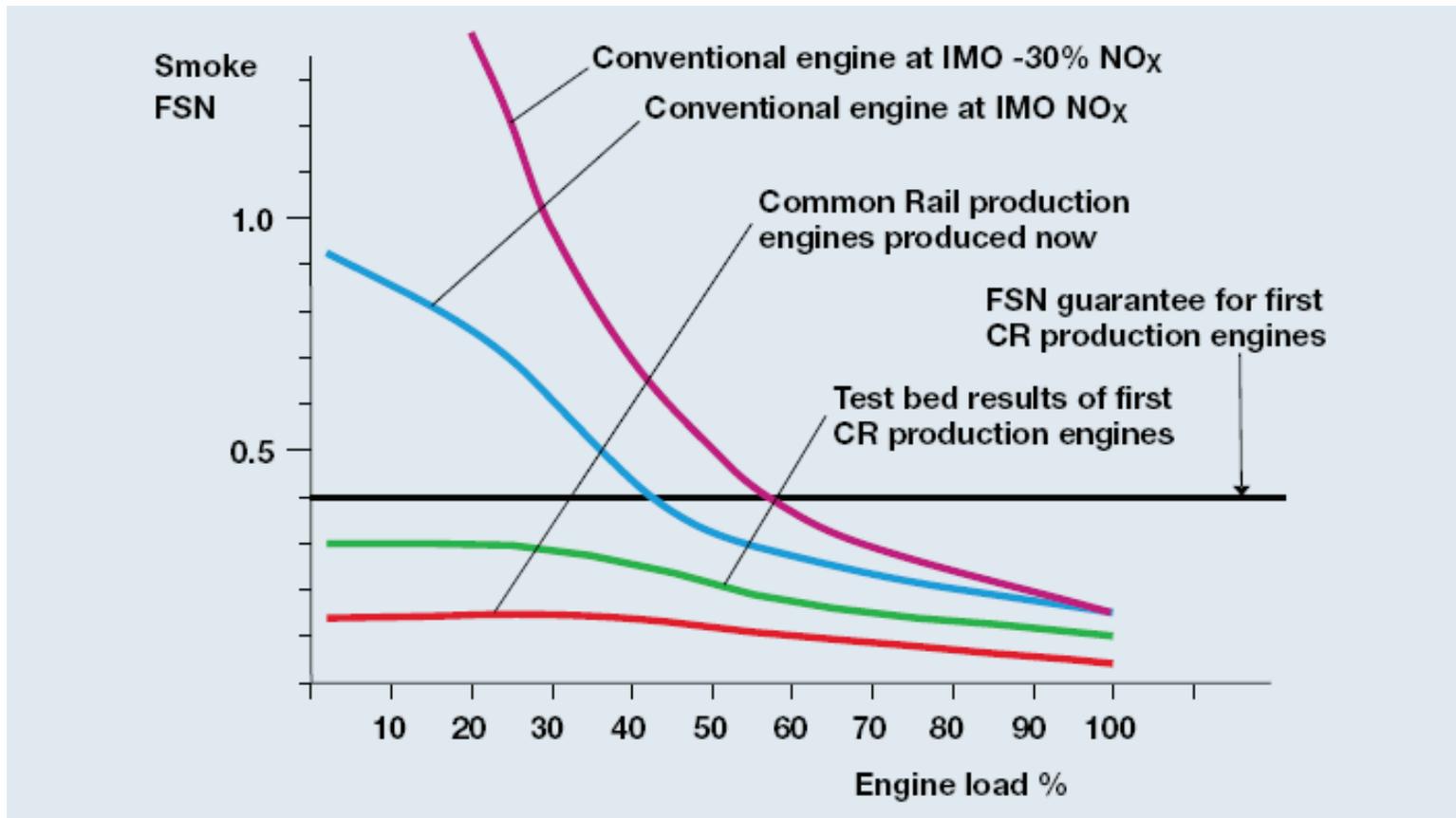
➤ **Indipendentemente dal tipo di realizzazione pratica, entrambi i sistemi CR esaminati hanno i seguenti vantaggi:**

- ✓ **Possibilità di ottimizzare la prestazione ed i consumi del motore regolando in funzione del carico/giri la pressione di iniezione, l’anticipo e la durata dell’iniezione, iniettando quindi la quantità predefinita di combustibile. Tale regolazione avviene in modo indipendente, cioè svincolata dalla posizione dell’asse a camme;**
- ✓ **Ottenere un momento torcente sull’asse a camme più continuo, cioè senza picchi , e quindi poter realizzare l’asse di diametro più piccolo;**
- ✓ **Aumento dell’efficienza della combustione e quindi del rendimento del motore;**
- ✓ **Pompaggio ad alta pressione della sola quantità di combustibile iniettato e quindi aumento del rendimento;**
- ✓ **Riduzione sensibile della fumosità ai bassi carichi e durante i transitori di presa del carico del motore;**
- ✓ **Riduzione anche delle emissioni NO_x , specialmente ai carichi intermedi.**

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Riepilogo caratteristiche dei sistemi “Common Rail”

- Il grafico mostra la riduzione di fumosità ottenuta con il CR adottato dalla Wärtsilä. Come si può vedere, la riduzione di fumosità è sensibile al di sotto del 60% del carico;



Impianti di propulsione navale

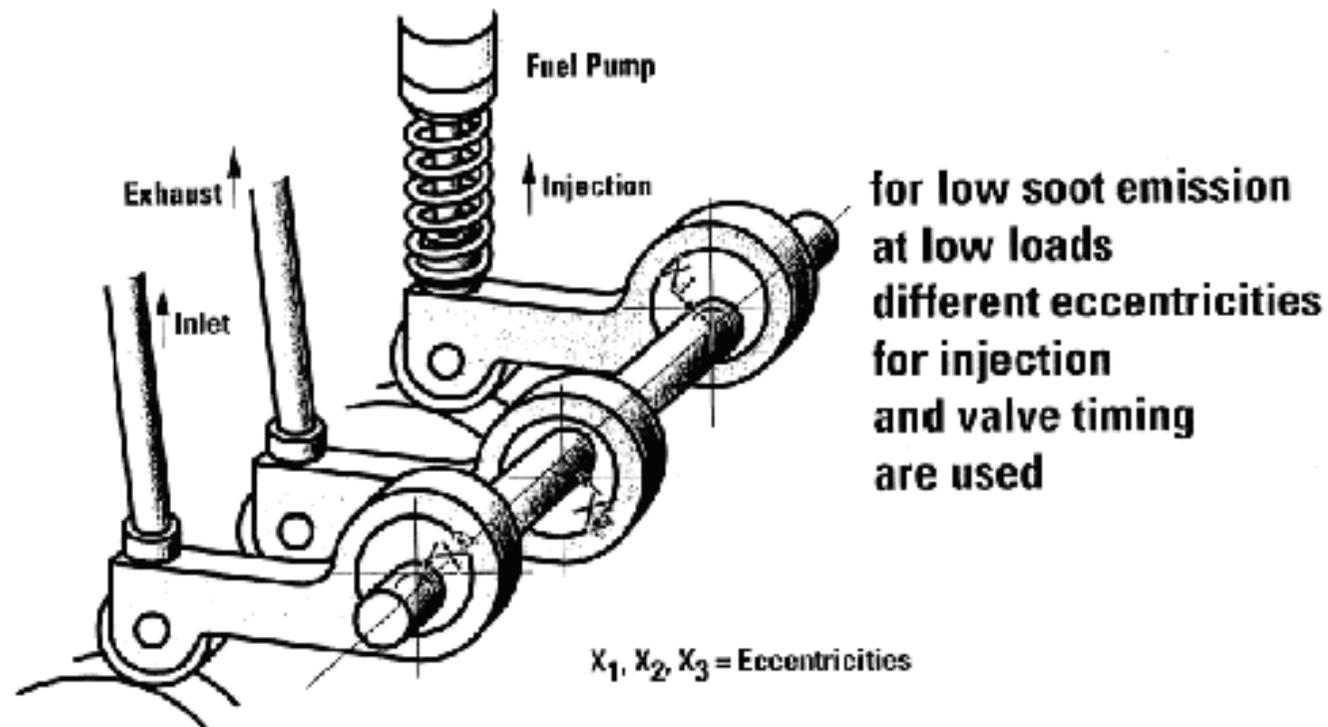
Motori diesel 4T – Sistema “FCT” adottato dalla MAK

- **La MAK, terzo costruttore importante di motori diesel medium speed di grande potenza (maggiore di 700 kW/cil.), non ha adottato un sistema CR del tipo illustrato in precedenza per la riduzione della fumosità a bassi carichi e durante i transitori di presa del carico;**
- **La MAK ha sviluppato un sistema meccanico/idraulico per variare in funzionamento sia l'anticipo di iniezione sia la fasatura delle valvole di aspirazione e di scarico. Questa duplice possibilità di regolazione permette una flessibilità di intervento per adattare le emissioni/fumosità del motore alle esigenze contingenti del momento;**
- **Il sistema di regolazione è costituito da un albero, fatto ruotare da un pistone idraulico, che per mezzo di eccentrici sposta la posizione dei tre rulli dell'asse a camme che azionano la pompa di iniezione, le valvole di scarico e di aspirazione, come rappresentato nella figura della pagina seguente;**

Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “FCT” adottato dalla MAK

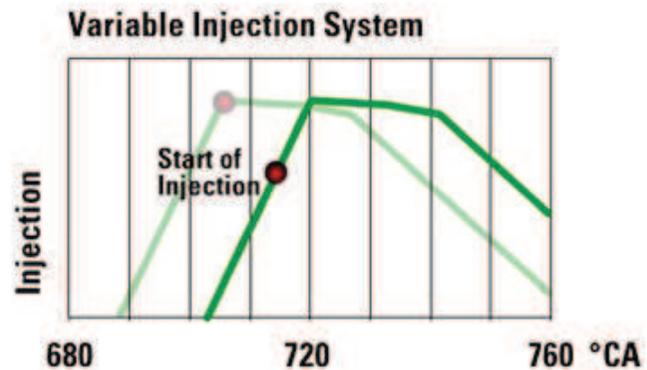
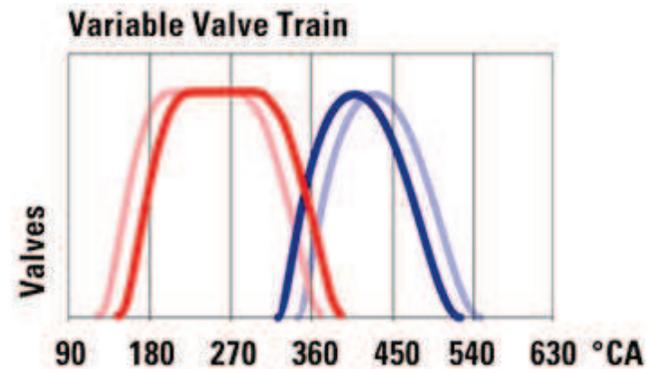
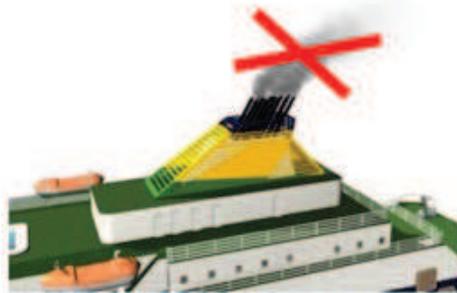
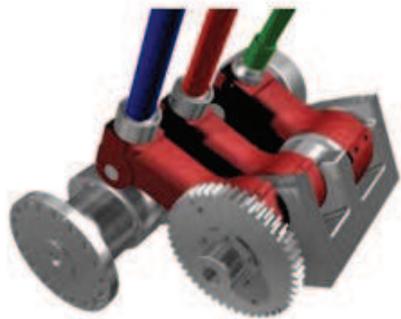
The FCT[®] (Flex Camshaft Technology) System for MaK Engines



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “FCT” adottato dalla MAK

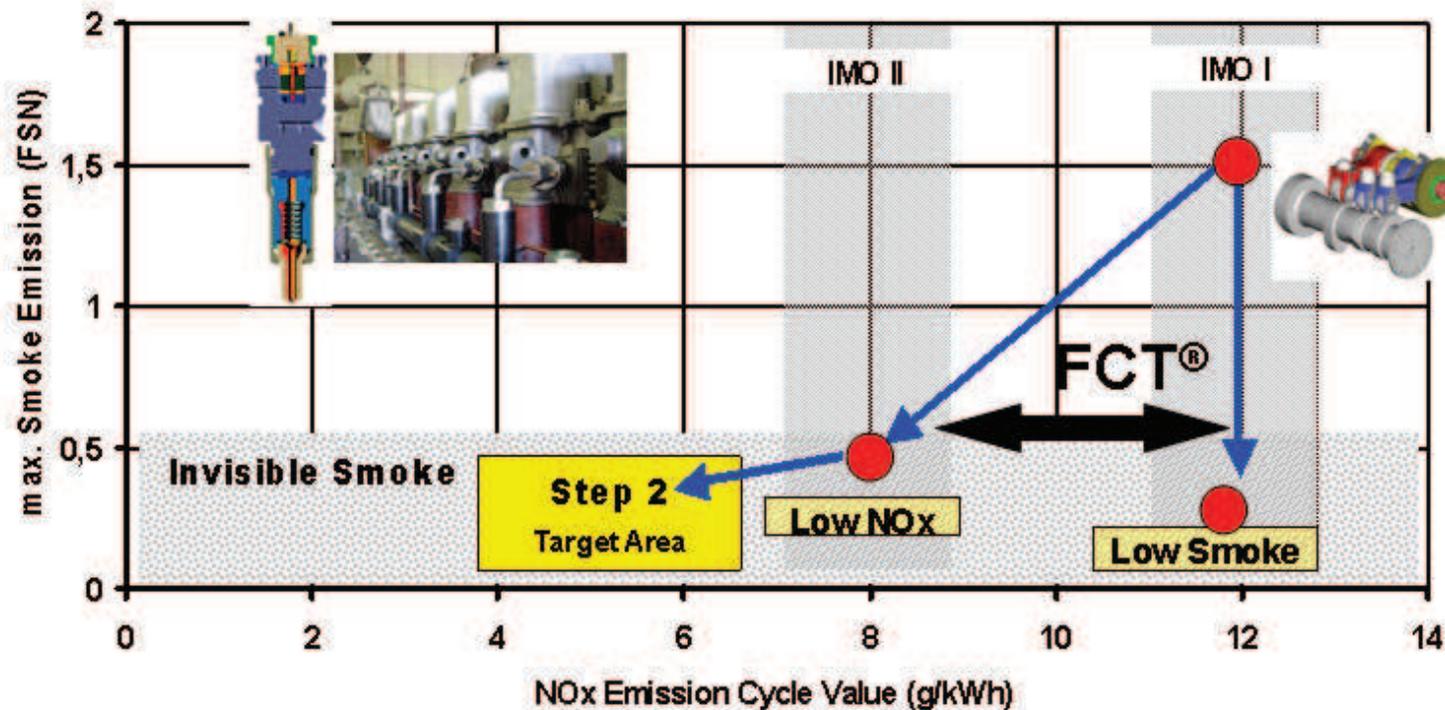
- Il dispositivo può variare la fasatura di entrambe le valvole per diminuire le emissioni NO_x o/e l'anticipo di iniezione per diminuire la fumosità, come illustrato nella figura seguente:



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistema “FCT” adottato dalla MAK

- Riepilogando, il sistema MAK permette di ridurre o la fumosità oppure l'emissione NO_x e la fumosità come illustrato nella figura seguente:



Impianti di propulsione navale

Motori diesel 4T – Sistemi “Common Rail” e “FCT” - Conclusioni

- **I sistemi “Common Rail” (CR), studiati e sperimentati da MAN e Wärtsilä, permettono di raggiungere i seguenti obiettivi:**
 - ✓ **Controllo della quantità di combustibile iniettato con conseguente ottimizzazione della combustione e riduzione dei consumi in tutto il campo di funzionamento;**
 - ✓ **Controllo della fase di iniezione indipendente da quella di pompaggio;**
 - ✓ **Riduzione della fumosità a bassi carichi e durante i transitori di presa del carico;**
 - ✓ **Miglioramento del funzionamento specialmente ai bassi carichi;**
 - ✓ **Riduzione delle emissioni NO_x;**

- **Il variatore di anticipo iniezione e fasatura valvole (FCT) proposto dalla MAK permette di adattare con tempestività le emissioni e la fumosità del motore in funzione del carico e alle esigenze del momento;**