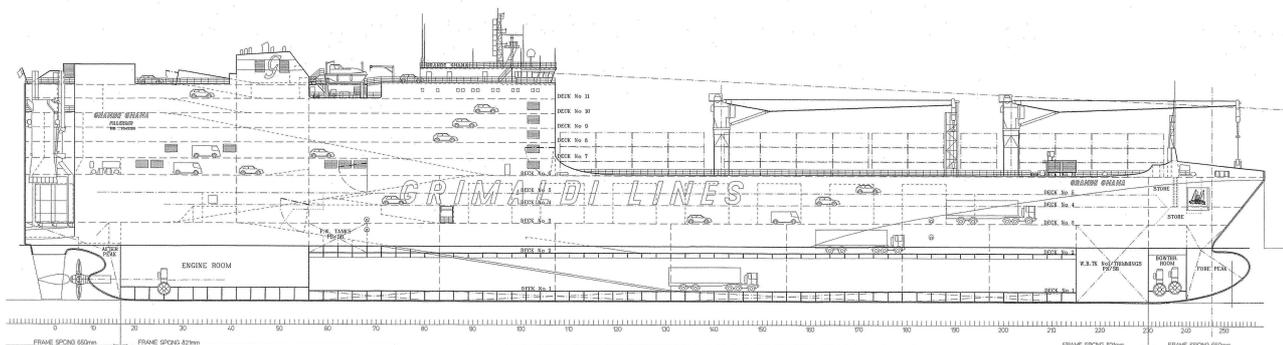
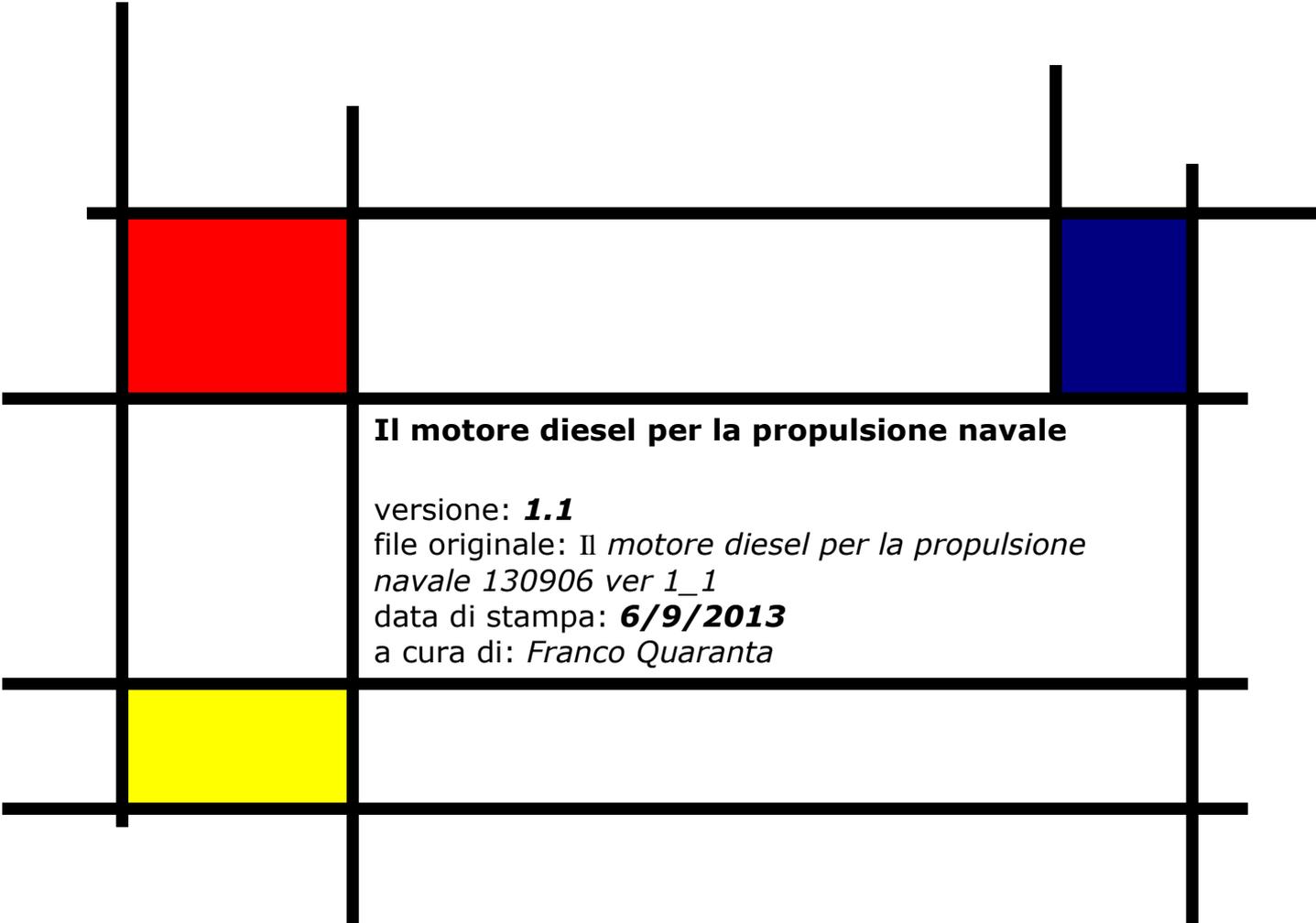




Schede di **Impianti Navali**

Il motore diesel per la propulsione navale





Il motore diesel per la propulsione navale

versione: **1.1**

file originale: *Il motore diesel per la propulsione navale 130906 ver 1_1*

data di stampa: **6/9/2013**

a cura di: *Franco Quaranta*

1 – generalità

Il motore diesel è adottato dalla maggioranza delle navi della attuale flotta navale, a livello mondiale. Le sue caratteristiche lo hanno via via specializzato al punto che si può dire oggi che ogni tipo di nave ha il suo motore diesel d'elezione, sebbene a questa regola corrisponda il consueto buon numero di eccezioni.

Dal punto di vista dell'apparato motore, le applicazioni navali sono nettamente distinte – oltre che da altri parametri morfologici e funzionali – dalla destinazione a trasporto mercantile oppure passeggeri. In linea di massima, si può affermare che gli apparati motore di ognuno di questi due gruppi sono simili tra loro e differiscono - in maniera anche sostanziale - da quelli dell'altro gruppo. Una prima distinzione nasce dal fatto che le navi destinate al trasporto di carichi paganti (così denominati per il fatto che il trasporto rende in ragione della loro massa) devono imbarcare materiali che possono essere stoccati nelle stive, in maniera casuale (alla “rinfusa”) oppure con imballaggi eseguiti secondo gli standard di stoccaggio correnti. In generale, questo tipo di stivaggio non richiede attrezzature particolari ed ha costi relativamente contenuti.

Le navi destinate al trasporto di passeggeri hanno tutt'altre esigenze e non soltanto per il fatto che occorre sempre fornire una collocazione dignitosa alle persone: i traghetti (e le navi adibite al trasporto delle persone in genere) spesso permettono la caricazione di veicoli semoventi ed hanno, quindi, la necessità di disporre di ponti continui – da prora a poppa – che lascino loro la maggiore libertà possibile di movimento per l'imbarco, la manovra, la sistemazione nello stallo finale di viaggio. Vedremo che esigenze così contrastanti contribuiscono in maniera significativa alla differenziazione tra le tipologie classiche di apparato motore in questi tipi di navi.

2 – navi da carico

Possono essere incluse in questa categoria le navi destinate al trasporto dei vari tipi di merci come:

- *container ship* (per il trasporto di container, eventualmente raffreddati);
- *bulk carrier* (comunemente indicate come “rinfusiere” ossia che stivano merci alla rinfusa);
- *oil carrier* (petroliere, trasporto del greggio);
- *product carrier* (per il trasporto dei prodotti petroliferi);
- *ore - obo* (capaci di trasportare sia carichi liquidi sia carichi secchi);

ed altre, oltre a quelle destinate al trasporto di più materiali di diversa natura tra cui quelli compresi nell'elenco precedente.

L'economia della gestione delle navi da carico si regge sulla competizione nel trasporto delle merci ai prezzi più contenuti possibile; ciò si traduce nell'esigenza di rendere massima la massa che è produttivo trasportare (il *carico pagante*, appunto) rispetto a quella che è indispensabile portarsi appresso (la nave con le sue strutture, le macchine, ecc.). Infatti, le navi da carico hanno rapporti tra DWT e dislocamento a pieno carico piuttosto elevato il che vuol dire che della massa complessivamente spostata per effettuare il trasporto, buona parte è merce il cui trasporto è redditizio.

La notevole incidenza del carico pagante sul peso della nave a pieno carico genera un'escursione significativa dell'immersione tra le condizioni di carico estreme.

Nelle immagini che seguono, una stessa nave viene ritratta quando ha poco carico pagante (o, più probabilmente, viaggia in condizioni di zavorra) e quando è a pieno carico.



Figura 1 – differenza di immersione a nave scarica ed a pieno carico

Generalmente, nelle navi da carico la merce viene caricata dall'alto attraverso le boccaporte ed è stoccata nelle stive che occupano, in pratica, tutto lo spazio disponibile tra la paratia di collisione e quella a prua dell'apparato motore; sotto le stive vi sono i doppi fondi tipicamente adibiti a contenere l'acqua di zavorra quando la nave naviga in quelle condizioni.

Nelle immagini che seguono, la sistemazione in una generica nave da carico e lo spazio disponibile per l'apparato motore ed i suoi ausiliari.

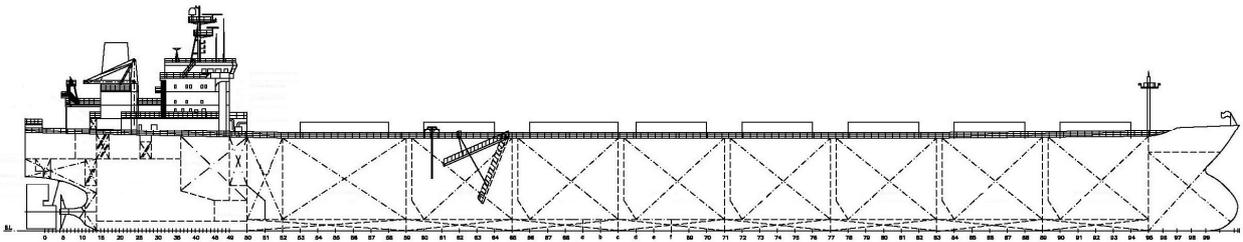


Figura 2 – sistemazione longitudinale in una nave da carico

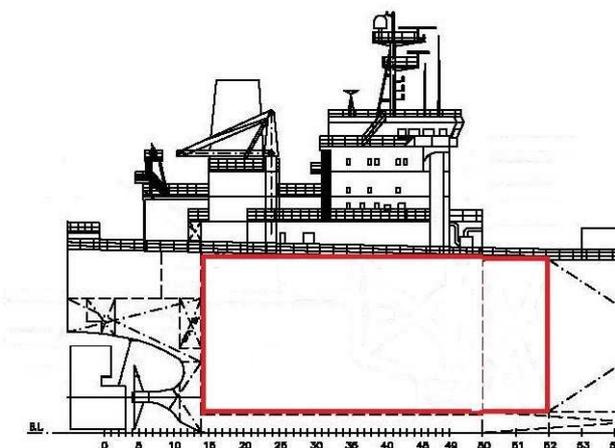


Figura 3 – spazio utile per la sistemazione dell'apparato motore e degli ausiliari

La disposizione ed il modo di caricazione delle stive, l'assenza di necessità di strutture continue al di sotto del ponte delle paratie nonché la buona disponibilità di spazio nel senso dell'altezza nel corpo di poppa, rendono particolarmente adeguata la sistemazione di motori principali di grandi

dimensioni (o dei motori, se più d'uno) a poppa dell'ultima stiva in quanto è possibile occupare tutto lo spazio che resta (indicato - a titolo di esempio - nel rettangolo rosso, in fig. 3) per alloggiare la macchina ed i suoi molti ausiliari (pompe, scambiatori di calore, casse per lo stoccaggio dei fluidi di servizio, compressori, sistemi di trattamento di oli, combustibili, ecc.).

Si è così affermata, nel tempo, la tendenza che vede oggi a bordo di quasi tutte le navi di questo tipo motori diesel 2T con rapporto corsa/diametro molto alto (già da qualche tempo questo parametro ha superato il valore di 4); tutto ciò va incontro alle esigenze di contenimento della spesa per il combustibile nell'esercizio mercantile.

Occorre ricordare, infatti, che il costo del trasporto mercantile ricomprende le spese dovute al combustibile per oltre la metà della quota totale; ciò significa che, per rendere economica la gestione di un trasporto, occorre disporre di un sistema di propulsione efficiente e capace di consumi specifici di combustibile il più ridotti possibile.

Un esempio di quanto la gestione risulti sensibile al risparmio di combustibile, può tornare utile a chiarire questa asserzione.

Si supponga che un'unità da carico – destinata al trasporto marittimo di merci a velocità di 12 kn con potenza installata di 15000 kW, impiegata per 8000 ore all'anno – disponga di un motore che fornisce la potenza richiesta con un consumo specifico di 170 g/kWh.

La quantità di combustibile bruciata in un anno sarà: $15000 \times 170 \times 8000 = 20400 \text{ t}$.

Supponendo per il combustibile un costo di 500 \$/t, si avrà una spesa annua di circa 10'200'000 \$.

Se il motore installato avesse invece un consumo specifico di 165 g/kWh (solo 5 g/kWh in meno), la spesa annua si sarebbe ridotta a circa 9'900'000 \$. Quindi, con una riduzione di soli 5 grammi (meno del 3%) si sarebbe conseguito un risparmio di spesa per il combustibile di 300'000 \$.

Ciò fa intendere il perché della corsa alla riduzione dei consumi di energia per la propulsione: i risparmi che possono essere conseguiti sono significativi rispetto ai costi delle operazioni mercantili. E spiega anche perché pressoché tutti gli apparati motore delle navi destinate al trasporto mercantile sono del tipo visto prima: motori diesel 2T a poppavia della nave, elica collegata direttamente (senza riduttore), alto rapporto corsa/diametro, basso consumo specifico di combustibile.

In realtà, per ottenere il contenimento dei consumi di combustibile occorre elevare il più possibile tutti i rendimenti coinvolti nella catena di trasformazione dell'energia il cui primo anello consiste nello sfruttamento del potere calorifico del combustibile, l'ultimo nella spinta con cui viene superata la resistenza al moto che lo scafo oppone durante il suo avanzamento nell'acqua.

In linea di principio, il rendimento globale con cui si realizzano le trasformazioni energetiche che generano la propulsione, è composto da più fattori che possono essere sintetizzati come segue:

$$\eta_{glob} = \eta_g \cdot \eta_{axle} \cdot \eta_D$$

Dove:

η_{glob} è il rendimento complessivo di tutte le trasformazioni energetiche che concorrono a generare sullo scafo la spinta necessaria all'avanzamento;

η_g è il rendimento globale del motore (a sua volta scindibile in vari altri rendimenti come η_b , η_i , η_l e η_m);

η_{axle} è il rendimento della linea d'assi (insieme degli elementi che collegano la macchina principale con il propulsore permettendo il trasferimento ad esso della coppia motrice);

η_D è il rendimento di propulsione visto come rapporto tra la potenza effettiva (che genera la spinta sullo scafo alla velocità d'avanzamento) e la potenza realmente disponibile al disco dell'elica.

Contenere i costi d'esercizio vuol dire elevare il più possibile questi rendimenti.

η_g è il rendimento con cui il potere calorifico del combustibile viene trasformato in potenza all'asse del motore; aumentarlo significa rendere migliore la resa di ogni sezione attiva negli scambi e nelle

trasformazioni che coinvolgono l'energia fluente all'interno del motore. Il progressivo abbassamento del numero di giri perseguito nel motore 2T - fino a ridurlo a valori inferiori ai 100 giri/min - gioca in questa direzione in quanto i tempi disponibili alla combustione sono inversamente proporzionali al numero di giri del motore. Con velocità angolari basse, i tempi disponibili per la combustione sono più lunghi ed è possibile ottenere condizioni di combustione molto migliori di quelle realizzabili in motori più veloci dove la combustione è "costretta" in tempi molto limitati¹; i settaggi e le ottimizzazioni possono essere eseguiti con maggiore libertà e la resa energetica ne risente positivamente. Le resistenze meccaniche sono minori a causa della minore velocità relativa delle parti, la lubrificazione è più agevole e tutte queste condizioni favorevoli giocano a vantaggio del rendimento η_g .

η_{axle} è il rendimento complessivo della linea d'assi; anche su di esso gioca favorevolmente la tipologia di apparato motore tipico delle navi da carico. Il numero di giri molto basso del motore, infatti, permette di collegare l'elica in modo diretto, senza l'interposizione di un riduttore. Evidentemente ciò eleva il valore del rendimento della linea d'assi in quanto esclude il rendimento di riduzione; non si tratta di grandissimi valori ma si è già verificato quanto influisca sulla gestione del trasporto mercantile una diminuzione del consumo specifico anche soltanto di pochi percento. η_D , infine, è il rendimento globale di propulsione e, in generale, cresce con la diminuzione del numero di giri dell'elica; il motore 2T, con il suo elevato rapporto corsa/diametro, può raggiungere numeri di giri molto bassi il che permette l'adozione di eliche grandi e lente, capaci di alti rendimenti propulsivi.

Si capisce quindi come e perché il motore diesel 2T ha pressoché monopolizzato le navi da trasporto generale: il basso numero di giri di rotazione permette elevati valori dei rendimenti del motore, della linea d'assi e quello propulsivo globale, attraverso l'eliminazione del riduttore e con l'adozione di eliche a maggior rendimento. Per ottenere tutto ciò occorre installare motori di dimensioni notevoli (specialmente in altezza); e si è visto come le navi da carico, grazie alle tipiche sistemazioni adottate, possano ospitare senza particolari problemi macchine così ingombranti.

3 – traghetti, navi ro-ro (roll on – roll off)

Questo tipo di nave ha esigenze molto diverse dalle precedenti e, per certi versi, opposte.

A differenza di quanto avviene nelle normali navi da carico, un tipico traghetto (adibito ad es. a rotte di qualche centinaio di miglia con trasporto di passeggeri e veicoli - personali o aziendali - al seguito) possiede una sovrastruttura molto estesa, destinata principalmente alla sistemazione dei passeggeri e dei servizi ad essi dedicati.

Ciò influisce sul peso dello scafo mentre quello del carico (persone + veicoli) è relativamente modesto visti gli spazi che occorre lasciar vuoti per ospitare le persone e stivare i veicoli; in conseguenza le immersioni sono generalmente poco variabili tale essendo il carico pagante. Per facilitare gli imbarchi, spesso all'estrema poppa si dispone un portellone mobile che quando aperto permette l'ingresso di persone e veicoli, quando chiuso costituisce parte integrante del corpo di poppa della nave. Tale portellone è incernierato sullo scafo e la sua estremità libera, quando è ammainato, si appoggia sulla banchina per permettere imbarchi e sbarchi; ciò è evidentemente reso possibile dalla limitata escursione dell'altezza sull'acqua della cerniera (in definitiva: dalla limitata variazione di immersione della nave) che permette di contenere l'angolo tra la poppa e portellone quando quest'ultimo è a terra. Se le cose non stessero così, è facile immaginare quanto diventerebbe difficoltoso (o impossibile) far salire o scendere veicoli (ma anche passeggeri) in condizioni di immersioni estreme. In realtà, l'adozione di un portellone, che per il corretto funzionamento richiede limitate variazioni di immersione durante il carico, è possibile proprio a causa del basso rapporto tra carico pagante e dislocamento della nave a pieno carico: se le immersioni variassero

¹ in un motore 2T che ruota a 90 giri/min il ciclo lavaggio - iniezione - combustione - scarico ha a disposizione poco meno di un secondo per compiersi completamente; un motore che ruota a 1000 giri per compiere le stesse fasi ha a disposizione meno di 50 millisecondi

come mostrato per il caso della nave in figura 1, è facile immaginare quanto l'imbarco attraverso un varco di poppa servito da un portellone incernierato allo scafo risulterebbe del tutto impensabile. Le navi per il trasporto di passeggeri e veicoli al seguito ha generalmente bisogno di molti ponti, sopra e sotto il ponte delle paratie e ciò sia per accogliere i passeggeri sia per stivare correttamente i veicoli. In figura 4 una tipica sistemazione longitudinale in una nave roll on - roll off.

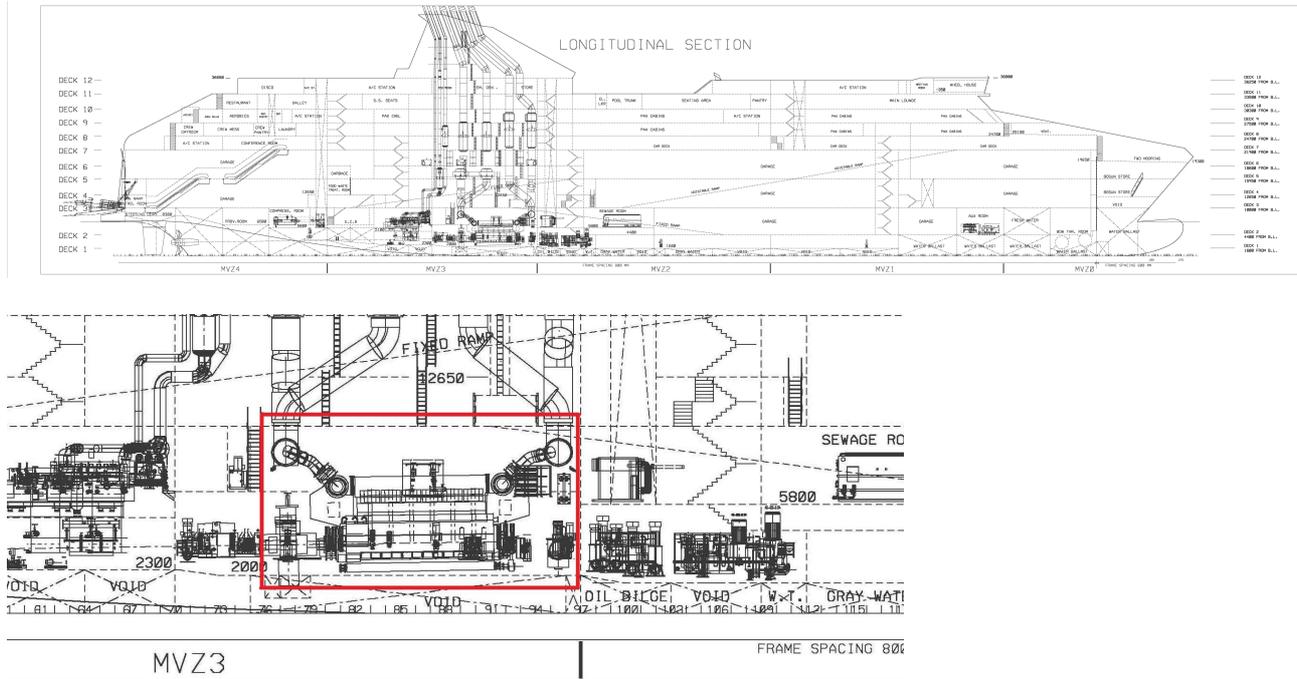


Figura 4 – sistemazione longitudinale in una ro-ro e spazio destinato all'apparato motore

È facile notare quanto l'esigenza di imbarco dei veicoli con mezzi propri e del loro stivaggio a bordo richieda la presenza di ponti continui e, conseguenza di ciò, l'apparato motore non possa contare su uno spazio molto grande ed esclusivo come accade quando l'imbarco del carico pagante avviene dall'alto attraverso le boccaporte ed il suo stivaggio è confinato a prora della paratia di apparato motore.

Il limitato spazio disponibile non consente l'adozione di motori molto grandi come i 2T che, per questo come per altri motivi, non viene adottato sui traghetti e sulle navi consimili.

La scelta ricade sui motori 4T semiveloci che a parità di potenza erogabile, hanno pesi ed ingombri assai più limitati e si riescono a sistemare negli spazi condizionati tipici delle navi per il trasporto di passeggeri e veicoli. Normalmente (e se non per potenze limitate) su queste navi non viene installato un solo motore primo di propulsione; a seconda della potenza necessaria per raggiungere la velocità di progetto, si adottano due o quattro motori semiveloci asserviti a due eliche, una per lato della nave.

Se i motori sono due, vengono installati due riduttori, ognuno asservito ad un motore; se ci sono quattro motori, i due riduttori installati sono del tipo *2 in 1*, ognuno asservito a due motori e con asse lento collegato ad un'elica.

La presenza di più motori ha anche una certa influenza sulla sicurezza della navigazione: considerando, infatti, che un traghetto può trasportare migliaia di passeggeri (oltre agli equipaggi), l'esigenza di sicurezza della navigazione è molto più sentita rispetto al caso delle navi da carico in cui non vi sono passeggeri e la conduzione è affidata a personale specializzato in grado di risolvere i problemi che si dovessero manifestare nel corso della navigazione.

L'avaria, infatti, nel caso delle navi passeggeri diviene fattore di maggior preoccupazione per la presenza a bordo di molte vite umane messe in pericolo dall'evento critico; la presenza di più motori a bordo è di conforto in caso di avaria ad uno di essi e consente il *take home* in sicurezza

oltre che un approccio al guasto in condizioni di maggior serenità derivante dall'aver macchine ancora funzionanti almeno per portare la nave in luogo sicuro dove i soccorsi possono gestire l'emergenza efficacemente.

Naturalmente, queste opzioni hanno un costo; il motore 4T semiveloce non ha consumi bassi quanto il 2T; e tutta la catena di propulsione agisce con rendimenti peggiori rispetto al caso precedente.

Riguardando - nel caso delle navi passeggeri - il rendimento complessivo di propulsione η_{glob} , si constata che tutti i suoi fattori sono peggiori rispetto al caso dell'apparato motore costituito dal motore 2T collegato direttamente al propulsore.

Detto di η_g che nel motore 4T è peggiore rispetto al caso del 2T a causa della peggiore combustione (costretta in tempi più ridotti), del peggiore rendimento meccanico dovuto al più alto numero di giri ed ad una serie di altre cause concomitanti che penalizzano il 4T, anche il rendimento η_{axle} è più basso a causa della presenza di una linea d'assi generalmente più articolata e (sempre) provvista di riduttore.

Infine, anche il rendimento propulsivo η_D è inferiore rispetto al caso del sistema con motore 2T a causa della presenza di due eliche di dimensioni limitate dalle forme di poppa in cui sono inserite e dal numero di giri più alto che genera maggiori perdite di energia.