

# Combustibili e lubrificanti per motori diesel marini: problematiche, normative, sperimentazioni

Fuels and lubricants for naval diesel engines: features, regulations, experimentations

Giuseppe Landri (\*), Antonio Paciolla (\*\*), Franco Quaranta (\*\*\*)

**Riassunto** - La crisi energetica determinata dagli eventi socio-economici succedutisi negli ultimi 15 anni ha mutato in maniera consistente il quadro dei combustibili che alimentano i vari utilizzatori. In particolare, i motori navali, che in passato funzionavano con combustibili oggi ritenuti pregiati, sono stati messi in condizione di bruciare distillati di qualità assai inferiore. A questa grossa variazione delle caratteristiche dei combustibili per uso navale non è seguito un rapido adattamento delle normative e degli standard di riferimento.

Analoga situazione per quanto riguarda gli oli lubrificanti: specialmente per quelli del circuito interno del 2T, si hanno tuttora notevoli difficoltà nella determinazione di standard di approvazione universale.

A valle delle normative e degli standard rimane comunque essenziale l'indagine sull'impatto reale che combustibili e lubrificanti hanno una volta utilizzati nei motori. In questo filone si inserisce l'attività di ricerca dell'Istituto Motori di Napoli volta a conoscere le caratteristiche di funzionamento di un motore Bolnes 3DNL fatto girare con nafte scadenti ed oli di opportuna formulazione.

**Abstract** - Due to the socio-economic events of the last 15 years, the energy crisis has changed in a very appreciable way the situation of fuels that supply various utilizers. In particular naval engines, which worked with fuels that are considered too expensive today, have been enabled to burn poor-quality fuels. This remarkable change in the characteristics of naval fuels has not been followed by a quick adjustment of related regulations and standards.

As regards the lubricants, the situation is similar: there are considerable difficulties in establishing universally accepted standards, especially for oils of internal circuit in 2-stroke low-speed engines.

Beyond regulations and standards, the research about the real impact of fuels and lubricants in the engine should be considered. The research activity of the Naples Istituto Motori takes place precisely in this trend: it investigates about characteristics of performances of a Bolnes 3DNL engine working with poor-quality fuels and lubricants opportunely prepared.

mondiale. Il settore navale risenti nel profondo dei mutamenti che questa situazione via via creava. La stessa fisionomia dei costi di gestione di una nave prese a variare risentendo del maggior peso che la spesa per i rifornimenti di combustibile andava assumendo.

La fig. 1 mostra l'evoluzione media che i costi di gestione di una nave hanno subito negli anni in questione. Si vede bene che le spese per il combustibile, che prima delle crisi non superavano il 15-20% di quelle complessive, in seguito ad esse raggiunsero anche il 50%.

La fig. 2 riporta sia l'andamento dei prezzi del petrolio negli ultimi 35 anni sia quello del tasso d'inflazione mondiale. Le discrepanze presenti tra i due andamenti sono evidente conseguenza dei fenomeni politico-economici descritti.

Inoltre la crescita della domanda di

## Introduzione storica

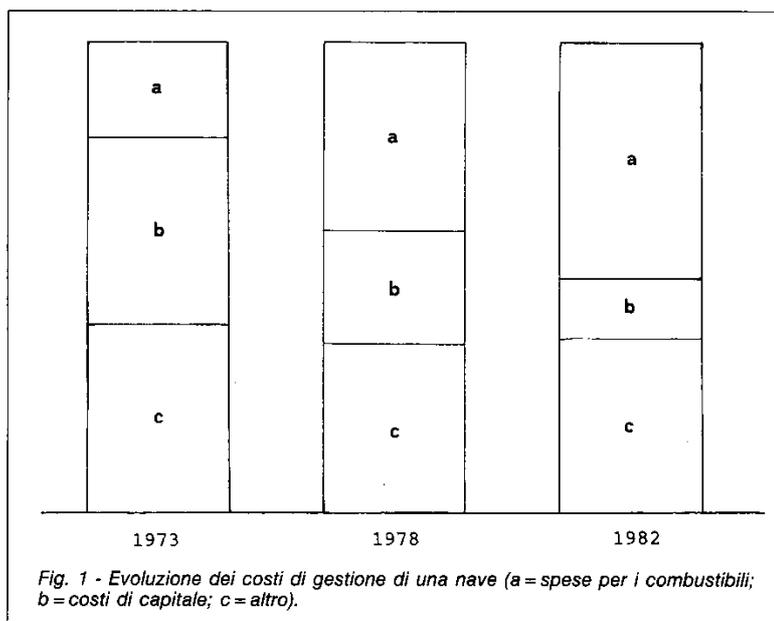
La situazione energetica mondiale ha subito due svolte radicali: la crisi del 1973, intervenuta a causa della guerra del Kippur, che concentrò nelle mani di un numero ridotto di produttori la distribuzione del petrolio; quella del 1979, a seguito della rivoluzione iraniana, che pure condusse ad una diversa dipendenza dalle fonti petrolifere. In entrambi i casi si ebbe un vertiginoso aumento del prezzo del greggio che passò dagli «storici» due dollari al barile a quasi quaranta.

Tutto ciò finì con l'avere grossa influenza su tutti i settori dell'economia

(\*) Dott. ing. G. Landri, primo ricercatore nell'Istituto Motori di Napoli del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

(\*\*) Prof. ing. A. Paciolla, professore associato di impianti di propulsione navale nell'Università degli Studi di Napoli.

(\*\*\*) Dott. ing. F. Quaranta, ingegnere navale.



distillati leggeri e l'aumento dei costi di raffinazione hanno generato da un lato differenze sempre maggiori tra i prezzi dei prodotti più raffinati e quelli più pesanti, dall'altro il desiderio da parte dei produttori di petrolio di spingere i processi di distillazione per ottenere la maggiore quantità possibile di frazioni leggere, commercialmente più redditizie ed oggetto di maggior richiesta del mercato.

Tutte queste situazioni hanno letteralmente rivoluzionato il mondo navale il quale, di fronte al crescere dei prezzi del greggio ed al conseguente aumento delle spese di combusti-

bile, ha dovuto rivedere completamente l'economia globale della nave. Sono stati presi in esame, pertanto, una serie di provvedimenti atti a ridurre le spese di gestione della nave, concedendo una maggiore concentrazione di sforzi a quelle voci che hanno maggior peso su di esse. In particolare si è cercato di ridurre le spese per i combustibili sia attraverso la riduzione dei consumi sia cercando di utilizzarne di più economici. Tra i metodi per la riduzione dei consumi possiamo ricordare la scelta della velocità economica di navigazione (all'epoca della crisi la velo-

cità media passò da 14÷17 kn a 11÷15), lo studio degli intervalli di ricovero in bacino per le operazioni di carenaggio, il miglioramento delle caratteristiche dei motori, l'installazione di sistemi di recupero dell'energia dissipata dal motore, il miglioramento delle forme di carena allo scopo di ridurre la resistenza al moto, ecc.

La misura che si iniziò ad adottare per ridurre la spesa di combustibile, fu quella di alimentare i motori marini con prodotti non più relativamente pregiati come una volta (diesel oils o addirittura gasoli) ma con combustibili assai scadenti contenenti quantità di residuo di distillazione via via crescenti.

È pur vero che, ai giorni nostri, la spinta al risparmio nata nelle epoche descritte si è decisamente ridotta a causa del nuovo ribasso dei prezzi dei prodotti petroliferi (un barile di Arabian Light costa oggi circa 18\$) ma, per alcuni motivi che si diranno, rimane attuale la tendenza ad alimentare i diesel marini con nafta pesante. L'utilizzo di combustibili di più bassa qualità è peraltro reso possibile senza grossi traumi dalla corrente tecnologia del diesel marino il quale si mostra effettivamente capace di bruciare anche nafta molto scadenti purché sottoposte ad opportuno trattamento a bordo.

La qualità dei combustibili che alimentavano le navi in circolazione è andata quindi progressivamente peggiorando fino ad arrivare agli attuali «heavy fuels» i quali sono costituiti, sostanzialmente, dal residuo che si estrae dal fondo dei recipienti di distillazione e quindi, fra tutte le frazioni ricavate dal greggio, è quella che contiene la maggior quantità di impurità e componenti indesiderabili in un combustibile.

Contemporaneamente iniziarono a diventare molto importanti gli studi sugli effetti che il funzionamento a nafta pesante produce sulle parti dei motori più esposti ad usura, corrosione, abrasione, ecc. per gli evidenti riflessi che tutti questi inconvenienti hanno sulla gestione delle navi.

Il presente lavoro è inquadrato proprio in una attività di ricerca, in corso presso l'Istituto Motori di Napoli del Consiglio Nazionale delle Ricerche, volta a stabilire le condizioni di funzionamento di un motore Bolnes - 3DNL (le cui caratteristiche saranno specificate più avanti). Tale motore è provvisto di sistema di trattamento del combustibile e può essere, pertanto, alimentato anche con nafta ad alta viscosità e contenenti notevoli quantità di impuri.

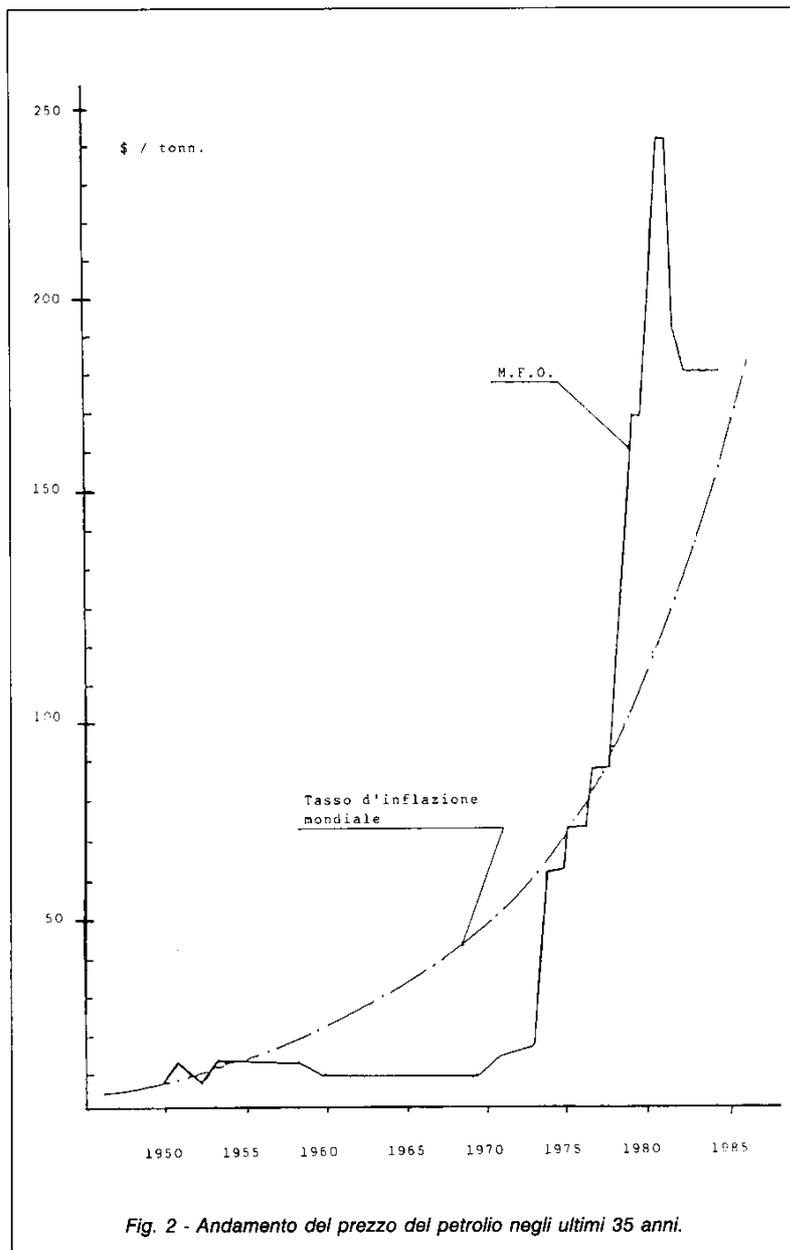


Fig. 2 - Andamento del prezzo del petrolio negli ultimi 35 anni.

### Combustibili: generalità e parametri caratterizzanti

A causa delle situazioni sopraelencate, i combustibili disponibili per gli apparati motore navali hanno dunque visto peggiorare le proprie caratteristiche ed aumentare i contenuti di elementi nocivi agli organi del motore in fase di combustione. In particolare, come già rilevato, con l'aumento del valore dei distillati, si è perfezionato il procedimento di raffinazione del crudo, nel tentativo di aumentare le quantità prodotte di frazioni leggere.

Al consueto processo atmosferico ed a quello sotto vuoto si sono aggiunti altri procedimenti (come il visbreaking ed il cracking catalitico) capaci di ottenere dai residui delle precedenti distillazioni ulteriori quantità di leggeri. Risultato di tutto ciò è stata una progressiva concentrazione nel residuo di tutte quelle impurità precedentemente diluite in una maggior quantità di fluido. È cambiato, in sostanza, il modo di frazionare i greggi: per questo motivo, cadute le pressanti esigenze di riduzione dei costi dei combustibili, è rimasta la tendenza ad utilizzare i residui nei motori diesel marini.

Nelle nafta sono aumentati i contenuti di zolfo, ceneri ed elementi incombustibili (come sodio, vanadio e residui di catalizzazione tra cui i composti di alluminio e silicio). Il residuo carbonioso è pure aumentato così come la quantità di asfalti. Vedremo in seguito qual è l'influenza sul funzionamento del motore della presenza di questi componenti nel combustibile e quali sono i rimedi generalmente adottati per ottenere una corretta combustione ed il contenimento dei danni al motore.

Si fa rilevare inoltre che il peggioramento delle caratteristiche del residuo ha anche esaltato la differenziazione tra i combustibili marini disponibili nei vari punti di bunkeraggio. Da un carico di combustibile effettuato in Medio Oriente, per esempio, c'è da aspettarsi un maggior contenuto di zolfo (di cui sono ricchi i crudi di quelle zone), mentre un bunkeraggio sudamericano conterrà probabilmente maggiori quantità di vanadio, in linea con le caratteristiche dei giacimenti locali.

Sono dunque nati, come si dirà meglio in seguito, anche problemi di miscibilità tra combustibili di diverse provenienze.

A queste difficoltà non ha ancora fatto riscontro un'opportuna normativa nel campo della classificazione

Tab. 1 - Grandezze caratteristiche dei combustibili pesanti

massa volumica	kg/dm <sup>3</sup>
viscosità <sup>1</sup>	cSt
pour point <sup>2</sup>	°C
flash point <sup>3</sup>	°C
acqua	% volume
residuo Conradson <sup>4</sup>	% massa
ceneri	% massa
zolfo	% massa
vanadio	ppm
sodio	ppm
asfalti	% massa

- 1 Una utile tabella di conversione tra le unità di misura della viscosità può essere ricavata dalle ascisse del diagramma in fig. 6.
- 2 Si dice «pour point» di un combustibile la temperatura alla quale inizia la separazione delle paraffine.
- 3 Si dice «flash point» di un combustibile la temperatura alla quale inizia la separazione delle frazioni più leggere contenute in esso.
- 4 Il residuo Conradson è la misura in percentuale massica del deposito carbonioso rilasciato dopo distillazione e pirolisi di un olio realizzate riscaldando un campione a 550 °C in condizioni normalizzate ed in assenza d'aria.

dei combustibili che, specificandone le caratteristiche, potrebbe mettere al riparo da cattive sorprese all'atto del bunkeraggio.

Sono riportati in tab. 1 i parametri che caratterizzano gli attuali combustibili pesanti con la corrispondente unità di misura nonché un elenco delle sostanze nocive più frequentemente riscontrabili in essi.

### Funzionamento dei motori diesel navali con combustibili pesanti

Esamineremo ora brevemente [1, 2, 3] quali sono i principali effetti della presenza di elementi estranei al combustibile in seno ad esso. Ne evidenzieremo l'origine, gli effetti nocivi sulle varie parti del motore ed infine indicheremo quali sono i possibili rimedi cui si ricorre solitamente per scongiurare le conseguenze negative della loro presenza in fase di combustione.

L'acqua, presente nel fluido all'origine, può aumentare di quantità per effetto di condensazione o infiltrazione durante le fasi di bunkeraggio e trasporto. Può causare danno al motore in molti modi: veicola il vanadio ed il sodio (di cui è ricca soprattutto l'acqua di mare) permettendo la formazione di composti molto aggressivi; in determinate condizioni può generare formazione di vapore nei riscaldatori ed essere causa di peggioramento della polverizzazione agli iniettori. Sono stati, inoltre, riscontrati problemi di erosione dei meccanismi

in movimento della pompa di iniezione probabilmente dovuti a cavitazione.

L'acqua favorisce la formazione di morchie le quali si diffondono così nel combustibile.

La sua rimozione dal combustibile dipende dallo stato in cui si trova in seno al fluido: in generale, se non è eccessivamente polverizzata, il sistema della centrifugazione si rivela efficiente anche se, nel caso che il combustibile abbia densità superiore a 0,991 kg/dm<sup>3</sup> (a 15 °C) la separazione viene messa in crisi e, per poterla praticare, bisogna ricorrere a sistemi di aumento della densità dell'acqua stessa attraverso l'aggiunta di sali in essa solubili come il MgSO<sub>4</sub>. Quando invece l'azione dell'acqua è desiderabile per migliorare la combustione si può ricorrere al sistema della omogeneizzazione che ne riduce le dimensioni delle particelle in seno al combustibile.

Gli *asfalti* sono composti aromatici ad alto rapporto C/H, ad alta viscosità e densità, di buona resa termica ma caratterizzati da un tempo di combustione molto lungo. Per la differenza di densità con gli altri componenti del combustibile, tendono a separarsi creando problemi di intasamenti e morchie e mettendo in crisi la stabilità del combustibile. Possono generare, specialmente ai bassi carichi, notevoli quantità di incombusti che danno luogo ad eccessiva fu-

mosità e vanno ad intasare le vie di scarico producendo usura delle valvole.

L'eccessiva presenza di asfaltini nel combustibile è sopportata abbastanza bene dal motore se si sottopone il combustibile stesso al procedimento di omogeneizzazione che li riduce in forma di particelle finissime. Così facendo, si possono contenere i rischi di danni alle parti in movimento senza eliminare una frazione la cui presenza nel combustibile ne innalza il potere calorifico.

Il residuo Conradson (o di carbonio) pone dei seri problemi al motore: è motivo di depositi carboniosi sul pistone, sulle palette delle turbosoffianti, negli ugelli degli iniettori, nelle gole delle fasce. Questi depositi, una volta staccatisi dalle pareti cui aderiscono, possono essere trascinati dal movimento del pistone e generare usura abrasiva.

L'impianto di trattamento del combustibile è chiamato a ridurre il tenore di residuo carbonioso con l'eventuale ausilio di additivi che ne facilitino la precipitazione.

In genere nei combustibili peggiori sono presenti anche grandi quantità di ceneri. Tra esse risultano particolarmente dannosi soprattutto il sodio ed il vanadio; questi elementi, presenti nel fluido sotto forma di ossidi, si combinano ad alta temperatura formando composti eutettici a punto di fusione di circa 500 °C.

Risultando questi composti particolarmente aggressivi ad alta temperatura, si può raffreddare opportunamente il seggio delle valvole in modo da evitarne l'aggressione e l'inevitabile bruciatura.

Tra le sostanze non combustibili vanno ricordati i cosiddetti «cat fines» ossia i residui dei catalizzatori che, immessi durante la raffinazione del greggio, rimangono in parte nel residuo. Trattandosi di composti particolarmente duri (silicati di alluminio), se in quantità rilevante, possono provocare usura abrasiva particolarmente energica a carico delle camicie, delle pompe di iniezione, delle sedi delle fasce.

Il sodio può essere eliminato attraverso lavaggio con acqua dolce e centrifugazione; l'eliminazione del vanadio e dei fines comporta non poche difficoltà ed è, in genere, antieconomica: si preferisce aggiungere al combustibile additivi che abbassino l'aggressività a caldo di questi contaminanti.

Ogni casa costruttrice, assieme alle specifiche tecniche del motore, fornisce in generale indicazioni circa il

trattamento cui sottoporre il combustibile prima del suo ingresso nei cilindri.

Con riferimento alla fig. 3, la Grandi Motori Trieste prescrive i seguenti trattamenti per combustibili che alimentano motori a 4 tempi semiveloci in relazione al diverso tenore di sodio e vanadio:

zona A - normale depurazione con centrifuga separatrice (a tasca d'acqua) senza trattamenti speciali;

zona B - lavaggio con singolo stadio senza additivazione;

zona C - lavaggio con doppio stadio senza additivazione;

zona D - normale depurazione con centrifuga separatrice (a tasca d'acqua) con additivazione antivanadio;

zona E - lavaggio con singolo stadio con additivazione antivanadio;

zona F - lavaggio con doppio stadio con additivazione antivanadio;

zona G - i combustibili di tale zona, con tenori di sodio e vanadio elevati, sono estremamente rari; pertanto le prescrizioni per il loro trattamento devono essere definite caso per caso.

Un discorso a parte va fatto per lo zolfo che è da considerare il componente più dannoso nell'ambito di quelli presenti nel combustibile pesante. Le sue anidridi, prodotte nel cilindro, tendono a formare l'acido solforico  $H_2SO_4$  che ha punto di rugiada di circa 150 °C. Quando il motore funziona a bassi carichi, se la temperatura scende al di sotto di questo valore, si inizieranno a depositare brine acide le quali, in questa fase, provocano una energica azione corrosiva in particolare su camicie, pistoni e luci di ammissione.

Non essendo praticamente possibile abbassarne il tenore nel combustibile, la via da praticarsi per limitare gli effetti negativi descritti dell'ingresso dello zolfo in camera di combustione è quella di utilizzare, specie nel 2T, oli lubrificanti ad appropriato TBN (Total Base Number) in modo che la tendenza del combustibile a generare un ambiente acido venga tamponata dalle caratteristiche basiche del lubrificante. Un adeguamento dell'olio lubrificante al contenuto di zolfo nel combustibile è comunque praticabile solo avendo a disposizione dati esatti sulla composizione del combustibile bunkerato. Quando questo non fosse possibile, il rimedio potrebbe rivelarsi peggiore del male: sono stati rilevati casi in cui l'utilizzo di oli lubrificanti di basicità eccessiva rispetto a quella richiesta per neutralizzare l'acidità da zolfo, ha provocato la formazione di carbonato di

calcio  $CaCO_3$ . Questo, essendo in fase solida in tutto l'intervallo di temperature del motore, genera usura abrasiva di parecchi ordini superiore a quella corrosiva generata da un ambiente acido.

In fig. 4 [6] è riportato un diagramma in cui è indicata una zona (tratteggiata) che dà indicazioni sulla basicità da impartire al lubrificante in funzione dei contenuti di zolfo del combustibile per evitare problemi derivanti da eccesso di acidità o di basicità dell'ambiente di combustione.

Nella parte inferiore un piccolo diagramma indica la probabile presenza di zolfo in percentuale negli attuali oli combustibili.

Da un punto di vista macroscopico due sono le grandezze fisiche d'interesse per un combustibile: la densità e la viscosità.

La densità non costituisce problema per la combustione ma piuttosto per la depurazione del combustibile; di fatto negli ultimi anni il suo valore si è avvicinato all'unità (valore che ha, in qualche caso, superato) con conseguente messa in crisi dell'apparato di centrifugazione.

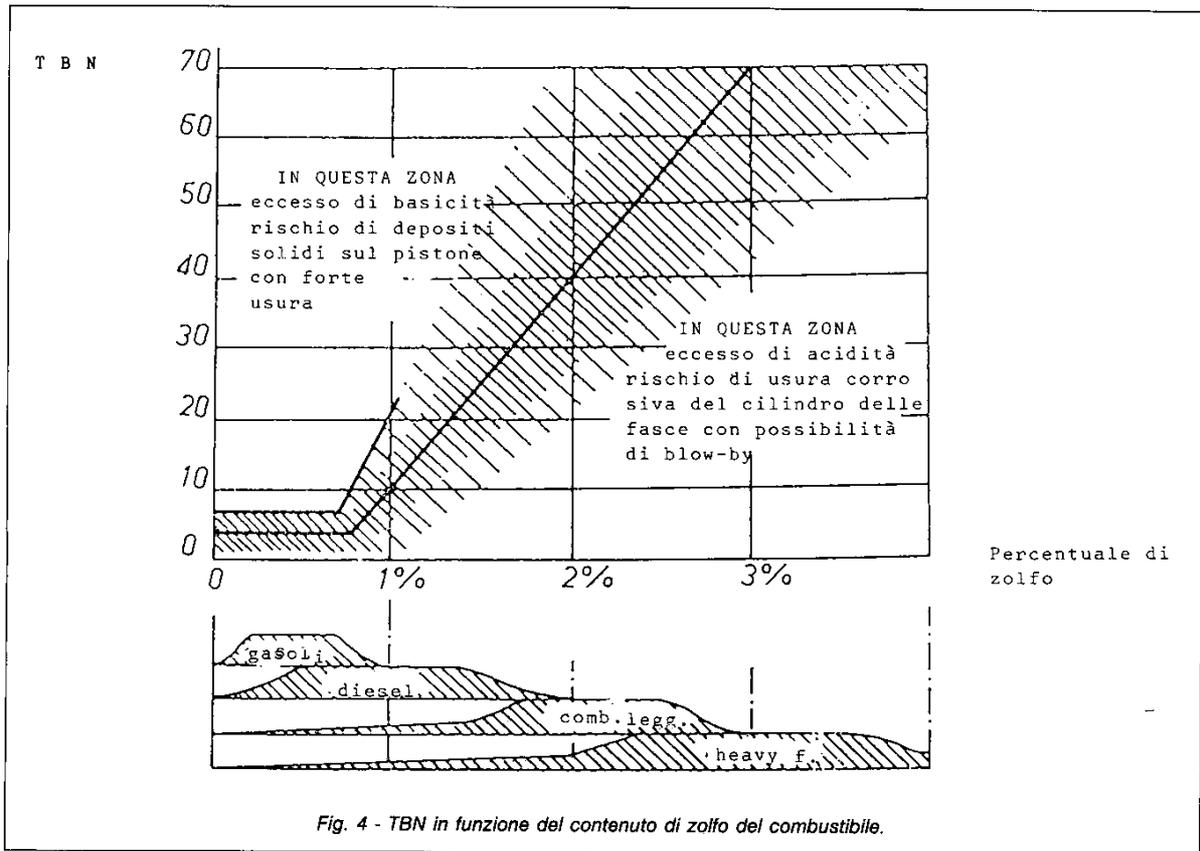
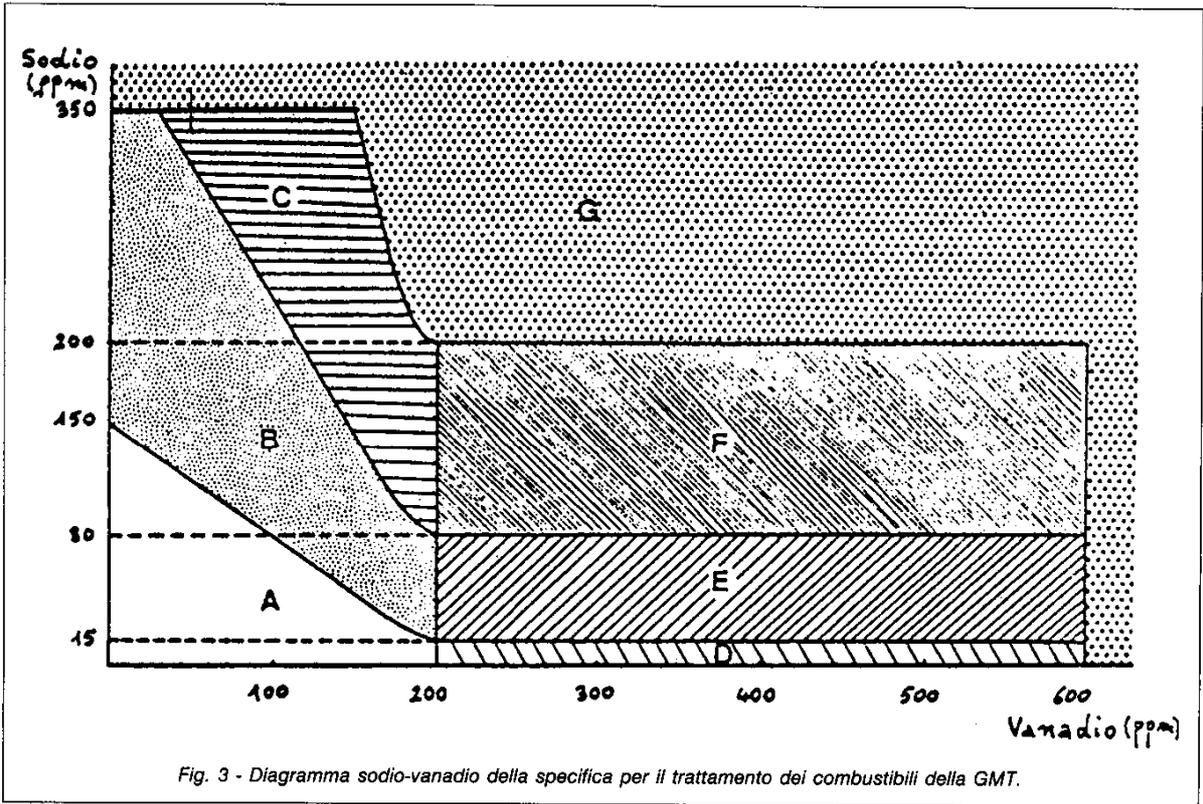
La viscosità è anch'essa, in linea di principio, ininfluenza ai fini della resa del combustibile. Pone però due ostacoli funzionali: rende difficile il passaggio nei tubi del combustibile e la sua polverizzazione al momento dell'iniezione.

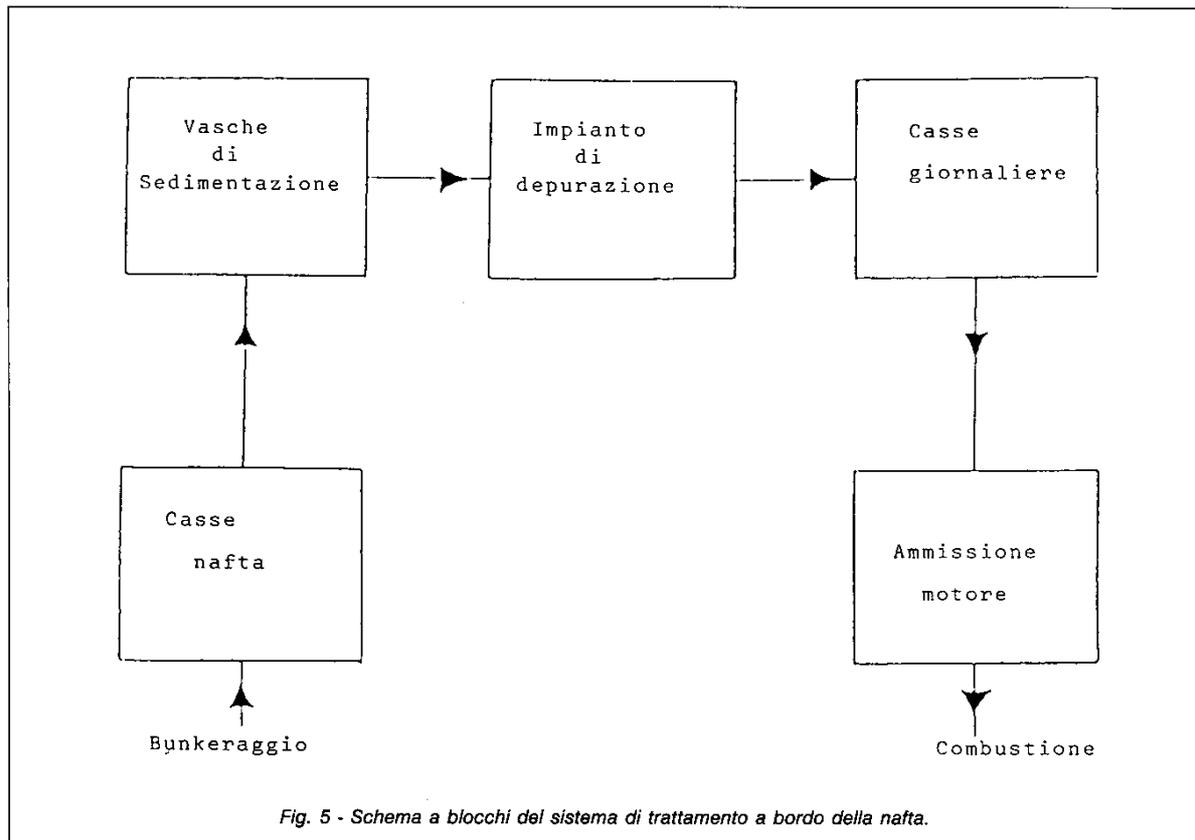
Entrambi questi problemi possono essere risolti riscaldando opportunamente il fluido ed abbattendone in tal modo la viscosità. In particolare, immediatamente a monte dell'iniezione tale grandezza non deve superare il valore di 2÷3 °E.

Per conoscere la temperatura cui si deve portare il fluido basta riferirsi al diagramma di fig. 6 che riporta i valori della temperatura di preriscaldamento del combustibile per ottenere una viscosità di 1,8 °E.

Un cenno va fatto anche a proposito della stabilità e compatibilità dei combustibili. La prima proprietà designa l'attitudine di un combustibile a conservare nel tempo la sua omogeneità di fase in modo da evitare separazione e precipitazione di sedimenti (principalmente per flocculazione); la seconda indica l'attitudine ad evitare che la miscelazione di due combustibili, ciascuno dei quali stabile di per sé, possa dar luogo alla produzione di precipitati.

In conseguenza di quanto finora descritto, le nafta, prima di accedere alle pompe di iniezione, vengono trattate in appositi sistemi a bordo che hanno lo scopo di eliminare, nei





limiti del possibile, le particelle dannose al motore e rendere il combustibile stesso sufficientemente fluido da poter scorrere nei condotti senza intasarli. Si espongono ora brevemente le caratteristiche fondamentali di un sistema di trattamento della nafta a bordo di cui in fig. 5 si dà un tipico schema a blocchi.

La nafta, che viene bunkerata in apposite casse riscaldate per mantenere la sua viscosità a livelli accettabili ai fini della pompabilità, passa, attraverso tubi scaldanti, alle vasche di decantazione ove viene abbandonata dalle sue frazioni più pesanti. Poi avviene l'ingresso nell'impianto di trattamento vero e proprio: si hanno in genere uno o più stadi di depurazione centrifuga in cui si cerca di separare l'acqua ed i contaminanti di dimensioni maggiori. In alcuni casi, dopo la centrifugazione, si esegue una omogeneizzazione del combustibile allo scopo di ridurre le dimensioni medie delle particelle rimaste in seno ad esso.

Completano l'impianto un miscelatore ove confluiscono i ritorni di combustibile dai vari punti dell'impianto, le pompe di movimentazione del fluid

do ed i filtri messi a protezione degli elementi in cui il combustibile fa il suo ingresso.

Alla fine del trattamento, il fluido viene riportato in casse giornaliere da dove sarà prelevato per l'invio all'apparato di iniezione. Immediatamente prima di questa fase, il combustibile viene fatto passare attraverso un viscosimetro il quale, in funzione della viscosità misurata, invia un segnale che regola il funzionamento di alcuni riscaldatori presenti sulla linea della nafta. Se il valore letto è troppo basso, i riscaldatori aumentano la propria temperatura per rendere la nafta meno viscosa e viceversa.

Diagrammi del tipo di quello in fig. 6 permettono di stabilire la temperatura cui si deve portare il combustibile per ottenerne la viscosità desiderata. In fig. 7 [8] si riporta lo schema di un impianto di trattamento a bordo della nafta.

#### Classificazioni e normativa: i combustibili

Quanto detto finora ha fatto sorgere la necessità, già altrove accennata, di realizzare una classificazione dei combustibili; gli standard introdotti

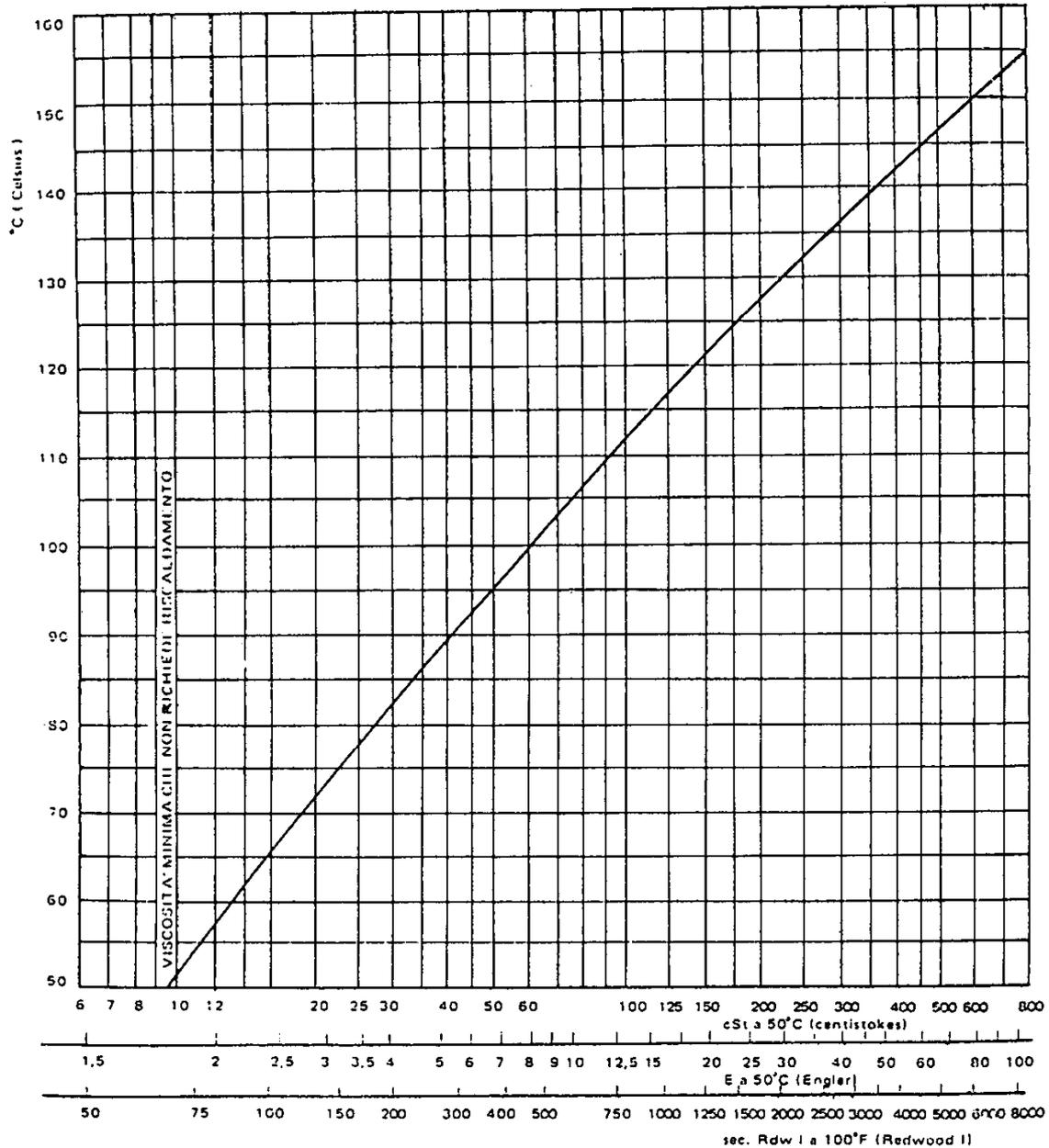
in tal senso dalla BSI <sup>(1)</sup> riflettevano soprattutto la preoccupazione di unificare a livello mondiale le disponibilità di mercato dei combustibili marini e di costituire un punto di riferimento per le parti interessate: armatori, costruttori di motori, compagnie petrolifere e di assicurazione, in vista delle rispettive responsabilità [7].

In seguito, nel riconoscere che i costruttori dei motori sono gli unici a poter valutare e stabilire i limiti di impiego dei combustibili nei propri tipi di motore, il CIMAC <sup>(2)</sup> si è fatto carico di promuovere, sotto la spinta delle parti in causa (tra cui la ICS <sup>(3)</sup> che sostiene gli interessi del mondo armatoriale), indicazioni per l'istituzione e l'aggiornamento della classificazione dei combustibili per uso marino. Tali indicazioni hanno valore di

<sup>(1)</sup> British Standard Institution.

<sup>(2)</sup> Conseil International des Machines A Combustion - È un'associazione formata da esponenti dei più importanti costruttori di motori marini fra tutti i paesi del mondo; è assistita da rappresentanti di alcune compagnie petrolifere in qualità di ospiti permanenti con funzione consultiva.

<sup>(3)</sup> International Chamber of Shipping.



Nel grafico sono riportate le temperature a cui si deve riscaldare il combustibile, prima delle pompe di iniezione, per portare la sua viscosità a 9,65 cSt (1,8 °E, 52 sec. Rdw. 1); i valori di viscosità in parentesi sono stati ottenuti per conversione di quello in centistokes alla stessa temperatura. Questo valore è stato definito per ottenere una viscosità del combustibile, ai polverizzatori, di 21÷29 cSt (3÷4 °E, 90÷120 sec. Rdw. 1), con una pressione di iniezione di 900 kg/cm<sup>2</sup>; i valori di conversione in parentesi sono equivalenti a quello in centistokes alla stessa temperatura. La tolleranza massima, ammessa nella regolazione della temperatura è di ±5 °C. Tenendo conto della coibentazione dei tubi e del lavoro di compressione, si ammette che la temperatura del combustibile non vari dalla pompa al polverizzatore. Qualora non si conosca la viscosità del combustibile, è possibile determinarla in modo semplice, anche se approssimato, utilizzando la coppa Ford; oppure, in modo più preciso, impiegando un viscosimetro dinamico tipo Brookfield.

Fig. 6 - Temperatura di riscaldamento degli oli combustibili.

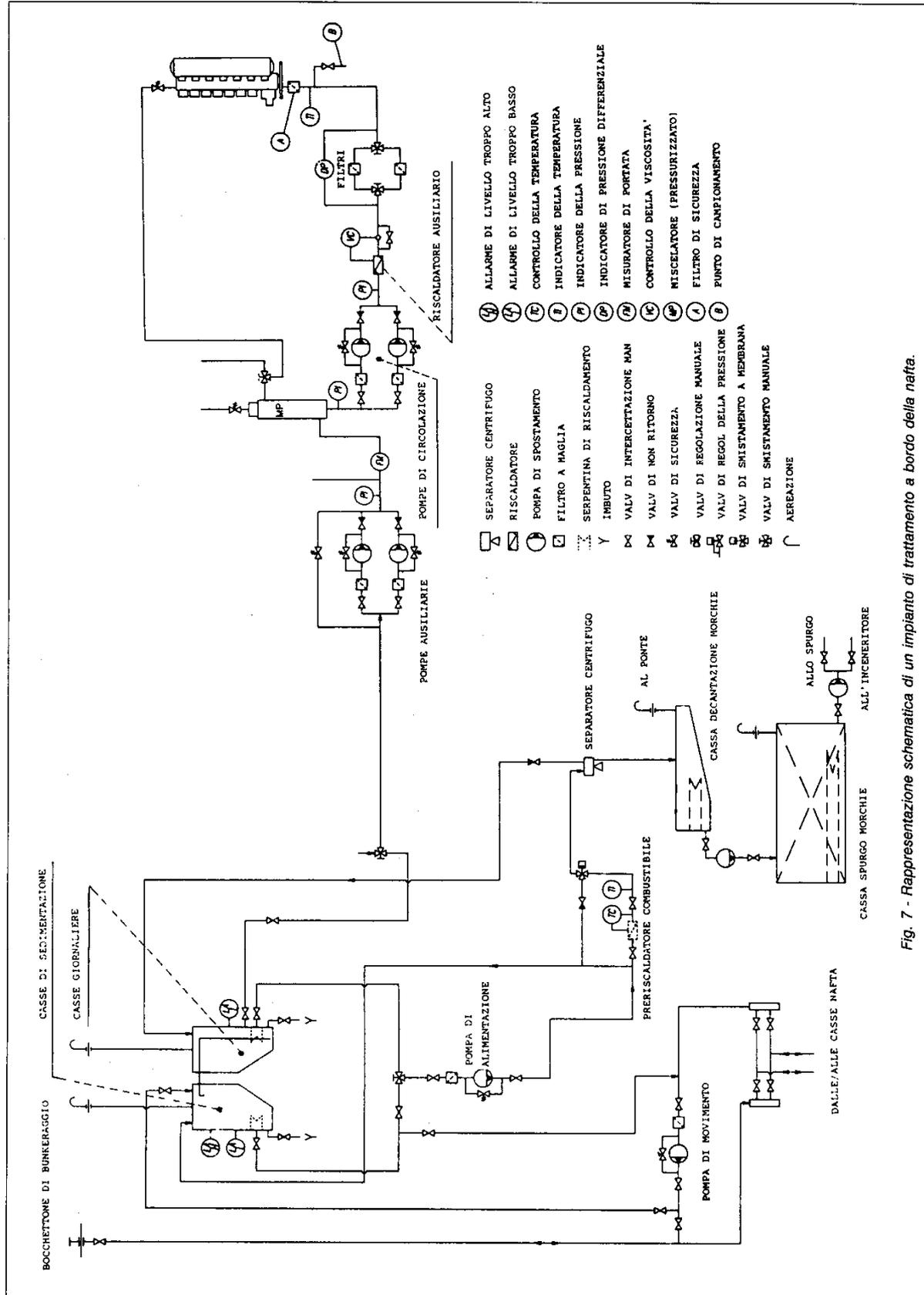


Fig. 7 - Rappresentazione schematica di un impianto di trattamento a bordo della nafta.

Tab. 2 - Standard ISO per distillati marini

Denominazione						
ISO standards DIS 8217	DMX	DMA	DMB	DMC		
Caratteristica	Limiti				Test Method	
Densità a 15 °C [g/mL]	max	(a)	0,890	0,900	0,920	3675
Viscosità, cinematica a 40 °C [cSt]	min	1,4 (b)	1,5	—	—	3104
	max	5,5	6,0	11,0	14,0	
Flash point, [°C]	min	43	60	60	60	2719
Pour point (superiore) [°C] 1 Dic - 31 Mar (c) 1 Apr - 30 Nov	—	—	-6	0	0	3016
	max	—	0	6	6	
Cloud point, [°C]	max	-16 (d)	—	—	—	3015
Residui carboniosi, Ramsbottom: sul 10% del residuo [% m/m] sull'intero campione [% m/m]	max	0,20	—	—	—	4262
	max	—	0,20	0,25	2,5	
Ceneri, [% m/m]	max	0,01	0,01	0,01	0,05	6245
Sedimenti [% m/m]	max	—	—	0,07	—	3735
Acqua [% V/V]	max	—	—	0,30	0,30	3733
Indice di cetano	min	45	40	35	—	5165
Zolfo, [% m/m]	max	1,0	1,5	2,0	2,0	
Vanadio [mg/kg]	max	—	—	—	100	

NOTE: fattore di conversione 1 cSt = 1 μm<sup>2</sup>/s  
 (a) In taluni paesi è fissato un limite massimo.  
 (b) BSI richiede min 1,5 cSt a 40 °C.  
 (c) Il cliente deve assicurarsi che il pour point sia idoneo alle attrezzature di bordo.  
 (d) Questo combustibile non è accettabile per temperature al di sotto dei -15 °C senza riscaldamento.

mera raccomandazione, spettando alla ISO (\*) il compito di rendere ufficiali le classificazioni proposte.

Non è un caso, infatti, [13] che le specifiche CIMAC ed ISO sono pressoché coincidenti: la differenza consiste nella natura delle due organizzazioni. La ISO è una organizzazione internazionale di unificazione per cui deve, nel proporre specifiche unificate, indicare il «testmethod» di riferimento per le indagini su ogni parametro caratteristico del combustibile. Ciò spiega perché nelle tabelle ISO non sono riportate alcune indicazioni CIMAC (come i contenuti di alluminio e sedimenti nonché le specifiche di combustibili di densità superiore ad 1 kg/dm<sup>3</sup>) per la cui indagine non esistono ancora test di laboratorio approvati dall'ISO medesima.

Nelle tab. 2 e 3 sono riportati gli standard ISO relativi rispettivamente a distillati residui per uso marino. In entrambe sono indicati i test norma-

lizzati da effettuare per la determinazione di ciascuna delle caratteristiche e per il rilievo della quantità di ognuna delle sostanze contenute nel combustibile da analizzare.

Allo stato, non sono ancora contemplati dalla classificazione ISO alcuni parametri, come contenuti di *alluminio* e *sedimenti*, i quali possono influenzare notevolmente il comportamento dei motori. Per essi esistono specifiche di enti nazionali di unificazione che possono, all'occorrenza, essere presi a riferimento.

Per quanto riguarda la *stabilità*, c'è da ricordare che esistono metodi di valutazione da laboratorio non ancora recepiti negli standard internazionali e quindi non ancora in grado di offrire una protezione formale; tuttavia alcuni produttori di petrolio assicurano che le proprie forniture, effettuate in base alle raccomandazioni CIMAC, evitano eccessiva formazione di morchie [8]. Per la valutazione della *compatibilità* esiste un metodo di prova ASTM (8) che dà indicazioni approssimate.

La *qualità dell'accensione* viene valutata mediante il numero di cetano (NC) che è un indice del ritardo con

cui il combustibile inizia a bruciare. Non è ancora disponibile una procedura di prova ufficiale per la misura di questo parametro; tuttavia sono stati effettuati tentativi di correlazione fra qualità della combustione e qualità dei «residuals» (fino a circa 500 cSt a 50 °C), utilizzando un motore ASTM - CFR modificato [9].

In questo quadro, indubbiamente incompleto sotto il profilo della normativa, non mancano iniziative volte ad indagare sulla qualità dei combustibili disponibili nei vari porti mondiali. Il VPS (9), per esempio, ha iniziato nel 1980, in collaborazione con il Norske Veritas, un lavoro di analisi sulla qualità degli oli in commercio. Questa attività ha portato all'istituzione di un database in cui sono registrate tutte le informazioni disponibili sul bunkerato; la fonte di tali informazioni è costituita dai laboratori in cui il combustibile è analizzato per cui si tratta di un archivio in possesso di dati assai credibili ed aggiornati [10].

#### Lubrificanti

I danni al motore derivanti dall'uso delle nafte di scadente qualità pos-

(\*) International Standard Organization.

(8) American Society for Testing and Materials.

(9) Veritas Petroleum Services.

Tab. 3 - Standard ISO per residui marini

		DENOMINAZIONE														
Caratteristica	Dim.	Lim.	T.M.	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMK 45	RMK 45	RMH 55	
Densità (a)	kg/m <sup>3</sup>	max	3675	975	991	991	991	991	991	991	991	—	991	—	991	—
Viscosità cinematica	cSt	max	3104	10	10	15	25	25	35	35	35	35	45	45	55	55
Flash point	°C	min	2719	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Pour point (b)	°C	max	3016	0 6	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Residuo Conradson	% (m/m)	max	6615	10	14	14	15	20	18	22	22	22	22	22	22	22
Generi	% (m/m)	max	6245	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Acqua	% (V/V)	max	3733	0,50	0,50	0,80	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Zolfo	% (m/m)	max		3,5	3,5	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Vanadio	mg/kg	max		150	300	350	200	500	300	600	600	600	600	600	600	600

NOTE: I valori in questa tabella sono massimi o minimi per ogni proprietà: i valori effettivi per ogni singolo lotto di combustibile possono variare in questi limiti.

(a) La densità a 15 °C in chilogrammi per litro deve essere moltiplicata per 1000 prima del confronto con i valori dati.

(b) Il cliente deve assicurarsi che il pour point indicato sia idoneo alle attrezzature di bordo specie se la nave è destinata alla navigazione in entrambi gli emisferi.

sono essere limitati, oltre che dal trattamento a bordo e con un disegno mirato degli organi del motore, anche con opportuni schemi di condotta dell'apparato di propulsione e con l'impiego di lubrificanti opportunamente additivati.

Naturalmente la scelta del lubrificante dipenderà dal tipo di motore oltre che dalla qualità del combustibile col quale inevitabilmente interferisce durante il funzionamento. Si rammentano le esigenze da soddisfare e le protezioni che devono essere esercitate da parte del lubrificante, distinguendo innanzitutto tra le due fondamentali categorie di motore diesel navale: il 2 tempi «low speed» con testacrocce e carter diaframmato ed il 4 tempi «medium speed» a stantuffo tuffante.

Il motore 2T lento ha normalmente due circuiti di lubrificazione: un circuito aperto per la sola coppia cinematica cilindro-pistone, che introduce l'olio «a perdere» nei cilindri; l'altro, chiuso, per la lubrificazione di tutti gli altri organi in movimento, testacrocce comprese, contenuti nel basamento e per la refrigerazione del manovellismo, pistone compreso. La presenza di un diaframma attraversato dall'asta stantuffo impedisce l'inquinamento dell'olio di un circuito da parte dell'altro; tale circostanza permette la preparazione di lubrificanti specificamente dedicati a ciascuno di essi.

*Olio cilindri (per motori 2T a lubrificazione separata):* la sua formulazione rappresenta, forse, il problema più impegnativo in materia di lubrificanti per motore. Esso è esposto all'azione fisico-chimica dei prodotti della combustione e per tempi abbastanza lunghi a causa delle basse velocità di rotazione, specie nei motori «long stroke». Nei motori più recenti l'olio cilindri è altresì sottoposto a stress ancora più gravosi a causa degli incrementi subiti dalla pressione media effettiva che oggi nei motori in questione raggiunge e tende a superare i 14 bar.

Inoltre, la presenza di una corsa attiva per ogni giro nel ciclo 2T rende precaria la formazione del film di lubrificante sulla parete del cilindro, problema ancora più sentito a causa della distribuzione delle temperature lungo la camicia; questa è infatti più alta nell'intorno del PMS, il che, nella zona, abbassa la viscosità dell'olio con rischio di lacerazione del film proprio dove l'esigenza di lubrificazione è più pressante. Pertanto, gli oli per cilindro devono poter offrire le seguenti prestazioni:

- soddisfacente viscosità alle temperature di lavoro;
- rapida spandibilità lungo la parete del cilindro;
- buona untuosità onde poter assicurare conveniente tenuta dell'accoppiamento cilindro-pistone e drastica riduzione dei rischi di usura d'attrito fasce-camicia;
- buone proprietà detergenti-disperdenti tali da consentire la formazione di pochi e poco compatti depositi carboniosi e da mantenerli in sospensione una volta formati; ciò al fine di prevenire l'accumulo nelle gole delle fasce e sulle luci dell'aria di lavaggio nonché l'incollamento delle fasce stesse; tutte cause, queste, di usura meccanica anche severa;
- sufficiente alcalinità per il controllo dell'usura corrosiva mediante la neutralizzazione dell'acidità da zolfo.

*Olio carter (per motori 2T a lubrificazione separata):* la preparazione di questo tipo di olio non pone gravosi problemi, quale quello della corrosione da zolfo per l'olio cilindri. Esso deve comunque possedere, oltre ad una buona viscosità per la lubrificazione dei cuscinetti del manovellismo e del pattino del testacroce, anche la capacità di proteggere gli organi cinematici dalla ruggine per acqua di condensazione e/o trafileamento nonché dalla corrosione dovuta agli acidi deboli provenienti da processi ossidativi subiti dall'olio stesso nelle zone sottoposte ad alta temperatura quali i pistoni. Deve possedere proprietà demulsive ed antischiuma ed adeguate caratteristiche detergenti-disperdenti nei confronti di sostanze contaminanti e prevenire la formazione di morchie e vernici.

Riassumendo, le proprietà e le funzioni di un olio carter debbono essere:

- adeguata viscosità per un'efficiente lubrificazione di cuscinetti e testacroce;
- resistenza all'ossidazione;
- controllo della corrosione di cuscinetti e perni dell'albero a manovelle;
- prevenzione della formazione di ruggine;

(?) Coordinating European Council for the development of performance tests for lubricants and engine fuels - Ha per obiettivo fondamentale la standardizzazione di metodi e prove di prestazione per la valutazione di combustibili e lubrificanti per autotrazione.

(\*) Engine Lubrication Technical Committee.

- controllo della formazione di morchie e vernici;
- neutralizzazione dell'acidità debole;
- capacità antischiuma;
- elevati livelli di detergenza-disperdenza.

*Olio per motori semiveloci a 4 tempi:* l'adozione del 4T medium speed come motore principale di propulsione (più recente rispetto a quella del 2T) e la sua alimentazione con combustibili di scadente qualità hanno provocato, nella formulazione dell'olio lubrificante (unico, questa volta) l'insorgere di problemi in qualche misura analoghi a quelli affrontati per l'olio cilindri e provocati, nel caso del 4T, da fenomeni di blow-by di gas combustibili ricchi di anidridi dello zolfo. Inoltre l'olio per i motori 4T deve poter fornire le prestazioni richieste all'olio carter di cui si è precedentemente detto.

In definitiva, le prestazioni richieste all'olio per motori 4T semiveloci sono:

- possesso di adeguata viscosità per la lubrificazione dei cuscinetti, della coppia pistone-camicia e di tutti i cinematici associati;
- controllo delle usure corrosive e meccaniche di segmenti e camicie;
- controllo della corrosione cuscinetti;
- prevenzione della formazione di ruggine;
- controllo dei depositi carboniosi su pistone e gole e prevenzione dell'incollamento delle fasce;
- controllo della formazione di morchie e vernici;
- proprietà antischiuma;
- resistenza all'ossidazione;
- alcalinità per la neutralizzazione degli acidi.

Dalle considerazioni precedenti si arguisce facilmente come la preparazione mirata di lubrificanti marini sia condizionata dalla necessità di soddisfare numerose e talvolta contrastanti esigenze, specialmente nel caso dei medium speed 4T; infatti, poiché in quest'ultimo caso un unico olio è chiamato a svolgere entrambe le funzioni disimpegnate separatamente da due oli diversi nel 2T, si dovrà, nella formulazione di questo tipo di lubrificante, adottare delle scelte di compromesso che evidentemente non renderanno l'olio ottimale nei confronti di ciascuna delle prestazioni richieste.

## La sperimentazione sugli oli lubrificanti

La commercializzazione di un lubrificante è generalmente preceduta da tre fasi di sperimentazione. Pur spettando alle prove di funzionamento sul campo (in genere lunghe e costose) l'ultima parola sull'efficacia del prodotto, queste saranno precedute da una prima fase di prove fisico-chimiche di laboratorio, seguite da una fase di prove sul motore al banco.

Le prove di laboratorio dovrebbero essere semplici ed affidabili e dovrebbero giovare di metodi di valutazione ed apparecchiature standardizzate, sì da averne risposte attendibili e confrontabili in tempi brevi. Per mezzo delle prove di laboratorio vengono misurati alcuni parametri di un olio quali viscosità termica, spandibilità. Ove non disponibili gli standard ISO, si farà riferimento ad autorevoli standard nazionali, quali ASTM, DIN, IP, AFNOR ed altri.

Una volta in possesso di risultati soddisfacenti dalle prove di laboratorio, si passa alla sperimentazione di secondo stadio su motore al banco la quale rappresenta il primo impatto dell'olio con il motore ed il «ponte sperimentale» con le prove di navigazione.

In merito a tale fase occorrono alcune considerazioni: a differenza dei motori per autotrazione stradale per cui è quasi esclusivamente impiegato il ciclo 4T, il campo dei motori marini non dispone di procedure motoristiche da laboratorio standardizzate per la valutazione degli oli. In quei motori, sia l'evolversi del ciclo stesso (a 4T), sia l'impiego di combustibili più pregiati ed abbastanza costantemente caratterizzati, hanno consentito lo sviluppo e l'affermarsi di numerose procedure di prova normalizzate, peraltro con uso di prescelti motori standard, atte appunto a discriminare gli oli di lubrificazione per ciascuno dei più importanti requisiti, prima del trasferimento alle prove «su flotta»; procedure proposte, studiate e definite da gruppi di investigazione di organismi sovranazionali, quali per esempio il CEC (\*), operanti a livello europeo.

In seno alla ELTC (\*\*), dipendente dal CEC medesimo, sono nati gruppi di lavoro mirati al tentativo di sviluppare procedure di prova normalizzate per i lubrificanti impiegati nei grandi motori marini; gruppi di lavoro formati appunto da costruttori di motori, industrie petrolifere, armatori. Al momento, comunque, non si è

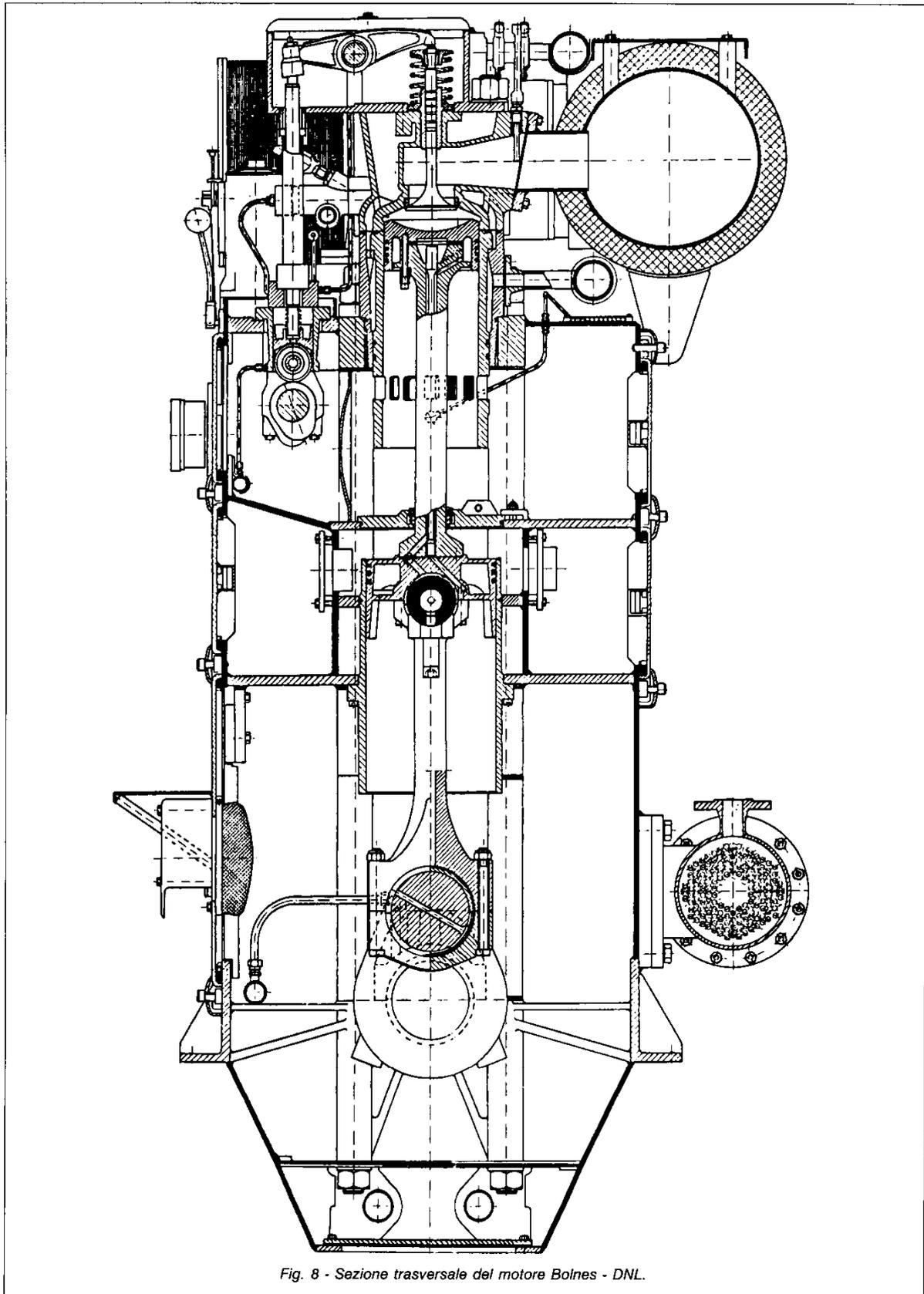


Fig. 8 - Sezione trasversale del motore Bolnes - DNL.

ancora pervenuti alla normalizzazione di prove motoristiche sugli oli lubrificanti; ciò perché, nel tentativo di formulare le indicazioni necessarie alla definizione della normativa, le parti interessate si sono imbattute in notevoli difficoltà, tra cui quella di trovare l'accordo sull'individuazione di un motore da utilizzare come strumento standard: in effetti il funzionamento di un motore marino è governato da un numero notevole di parametri molti dei quali sono fra loro interdipendenti. Inoltre una procedura motoristica di prova al banco presuppone la precisazione di un combustibile di riferimento il che, nell'attuale panorama, sembra un obiettivo irraggiungibile.

Nel frattempo, i produttori di lubrificanti, chiamati a rifornire l'utenza mondiale di prodotti di prestazioni soddisfacenti, hanno provveduto a mettere a punto proprie specifiche di prova utilizzando motori da laboratorio che a loro volta vengono continuamente aggiornati per essere al passo con l'evoluzione della tecnologia motoristica.

Comunque, lo scambio di esperienze, la discussione dei problemi comuni, la promozione di indagini all'interno dei gruppi di lavoro come il CEC, hanno offerto contributi significativi allo sviluppo delle singole attività sperimentali.

#### L'impianto sperimentale

Criterio fondamentale da seguire nell'impostazione di una indagine normalizzata è quello di operare su motori al banco, preferibilmente piccoli, secondo procedure che esasperino convenientemente le condizioni di funzionamento; sicché gli oli sotto esame possano essere cimentati in tempi ragionevolmente brevi e con la stessa severità dell'esercizio in vera scala benché con tempi molto maggiori. I motori di cui sono dotati i laboratori sono di vario tipo, ciascuno atto a saggiare una o più proprietà caratterizzanti il comportamento di un olio.

Mentre per gli oli carter vengono usati nei laboratori vari tipi di motori (tutti a pistone tuffante), per gli oli cilindro il motore più largamente usato in Europa (e non solo), in prove di «screening», è il BOLNES prodotto dalla olandese Bolnes Motoren Fabriek. Per tale motivo, oltre che per la rilevante dimensione del problema degli oli cilindro, si daranno qui di seguito cenni più estesi.

Tab. 4 - Caratteristiche dei modelli old engine e new engine

Modello	Old engine		New engine	
	DNL-120/500		DNL-190/600	
Alesaggio (mm)		190		
Corsa (mm)		350		
Rapporto C/D		1,842		
Cilindrata unitaria (dm <sup>3</sup> )		9,92		
Velocità di rotazione (giri/min)	500		600	
Potenza max per cilindro (kW/CV)	88/120		140/190	
p.m.e. (bar)	9,7		14,1	
Pressione aria lavaggio (bar)	1,11		2,1	

Il motore Bolnes-DNL (di cui si dà in fig. 8 una sezione trasversale) è un motore a ciclo diesel 2T sovralimentato con lavaggio a flusso assiale e valvola di scarico in testa, testa a croce realizzato con pistone a tenuta, si da funzionare anche come pompa di lavaggio, in serie ed a valle della turbosoffiante; la lubrificazione è separata. L'edizione «da laboratorio» presenta la particolarità di avere il circuito dell'olio cilindri frazionato in circuiti indipendenti, tanti quanti sono i cilindri della configurazione del motore (generalmente tre per gli usi di laboratorio). Da ciò deriva la possibilità di esaminare contemporaneamente, cioè durante una stessa prova, anche più di un tipo di olio con l'evidente vantaggio del contenimento di tempi e costi. Da sottolineare che per l'adozione del lavaggio assiale la presenza della valvola di scarico in testa ai cilindri consente di realizzare condizioni analoghe a quelle che si verificano nei motori a corsa lunga.

Le peculiarità di tale motore ne hanno perciò reso allettante la scelta quale strumento di studio per gli oli cilindro e ne hanno favorito l'indicazione quale possibile motore standard nei tentativi di preparazione di procedure normalizzate.

Lo sviluppo delle procedure di prova per la valutazione degli oli cilindro ha portato, nell'ultimo decennio, la produzione di due edizioni successive di motori Bolnes, rappresentative di due momenti evolutivi della tecnologia costruttiva del motore diesel 2T per uso navale.

In tab. 4 sono poste a confronto le caratteristiche di due modelli individuati per semplicità come «old engine» e «new engine».

È da osservare che l'edizione «old», anche se obsoleta, può ancora essere utilizzata per gli oli del recente passato (con p.m.e. 10÷11 bar) ancora numerosi.

In Italia l'unico esemplare di motore Bolnes è quello installato presso l'Istituto Motori di Napoli ed è del modello «old engine». Alimentato inizialmente soltanto con combustibili leggeri (gasoli, diesel oils) è ora in grado di funzionare con nafta pesanti, grazie alla installazione presso l'IM di un impianto di trattamento. Questo motore può pertanto essere utilizzato per lo studio delle usure cui sono soggetti i grandi motori lenti a 2T e per offrire contestualmente contributi alla definizione di metodologie di prova.

È di imminente attuazione presso l'Istituto predetto un programma di prove teso ad ottenere risposte sulla «sensibilità» dello strumento-motore al variare della qualità degli accoppiamenti combustibile-lubrificante.

#### Conclusioni

Il notevole peggioramento delle condizioni di funzionamento dei motori diesel navali, dovuto al progressivo scadimento della qualità dei greggi disponibili sul mercato, è stato solo parzialmente alleviato dall'operatività di specifiche atte a fornire sufficienti informazioni sui combustibili e lubrificanti che si imbarcano. Allo stato, non è neanche possibile prevedere quando (e se) saranno definite procedure standardizzate aventi valenza internazionale per la valutazione degli oli lubrificanti.

In questo quadro, si ritengono di notevole interesse le risultanze sperimentali che in un prossimo futuro dovrebbero essere disponibili circa le

modalità di funzionamento del diesel con combustibili e lubrificanti di determinate caratteristiche.

Queste indicazioni, alla precisazione delle quali concorre la menzionata attività dell'IM, potranno costituire un primo riferimento nell'ottica della salvaguardia dell'efficienza di funzionamento e dell'affidabilità del diesel marino.

## Bibliografia

- [1] Simini G. - *L'uso di combustibili pesanti e di combustibili alternativi nei moderni motori diesel* - Centro stampa GMT.
- [2] Thornton R. H. et al. - *Marine fuels (ASTM Special Technical Publication 878)* - C.H. Jones, Ed., Philadelphia, 1985.
- [3] Di Lorenzo A., Landri G., Gerbaz G.B., Imparato L. - *Adattamento dei lubrificanti per motori diesel marini nell'attuale panorama combustibili* - Nav 86.
- [4] Eberle M.K. - *Combustibles actuels et futurs de médiocre qualité* - Bulletin technique du Bureau Veritas, aprile 1980.
- [5] Zappa G. - *I combustibili per il motore diesel nel presente e nel prossimo futuro* - La Marina Mercantile, 1981.
- [6] McMahon R.F. - *Treatment of marine fuels* - Bulletin technique du Bureau Veritas, aprile 1981.
- [7] Syassen O. - *New CIMAC recommendations for intermediate fuels* - Zosen, aprile 1982.
- [8] *CIMAC recommendations concerning the design of heavy fuel treatment plants* - Vol. 9, 1987.
- [9] *Combustion of residual fuels in a CFR diesel engine* - The Motor Ship, luglio 1984.
- [10] *The quality situation for 1988* - Marine Propulsion, luglio-agosto 1988.
- [11] Campanile A., Paciolla A. - *Il problema dell'energia nel campo navale* - Studi Marittimi, settembre 1981.
- [12] Van der Horst G.W. - *Marine lubricant development* - Schip en Werf - 16° Convegno CIMAC, Oslo, 3÷7 giugno 1987.
- [13] *CIMAC recommendations regarding requirements for heavy fuels for diesel engines* - Vol. 8, 1986.