

ACCADEMIA NAVALE
1° ANNO CORSO APPLICATIVO GENIO NAVALE

CORSO DI
IMPIANTI DI PROPULSIONE NAVALE

Lezione 04
Combustibili navali

A.A. 2011 /2012

Prof. Flavio Balsamo

Combustibili navali 02

In ambito navale i combustibili utilizzati sono miscele di idrocarburi e rientrano in due categorie che si differenziano per la diversa temperatura di distillazione dal petrolio.

I combustibili del tipo Distillate Marine Fuel (Marine Diesel Oil MDO) sono ottenuti a temperature intermedie, mentre i Residual Marine Fuel (Heavy Fuel Oil) sono ottenuti a temperature piuttosto alte, 300÷350°C.

All'interno di queste categorie vi sono delle ulteriori differenziazioni secondo delle categorie che sono dettate da norme internazionali dato che la composizione chimico-fisica dei combustibili può influire sul funzionamento dei motori

Tali categorie si individuano per i differenti valori che alcuni parametri sia fisici che relativi alla composizione assumono nel combustibile

Combustibili navali

Parametri Fisici:

Viscosità

Densità

Residuo carbonioso

Flash point

Pour point

Cloud point

Compatibilità

Numero di cetano

Contaminanti:

Asfalteni

Zolfo

Vanadio e sodio

Ceneri

Alluminio

Silicio

Acqua

Gomme

Sedimenti

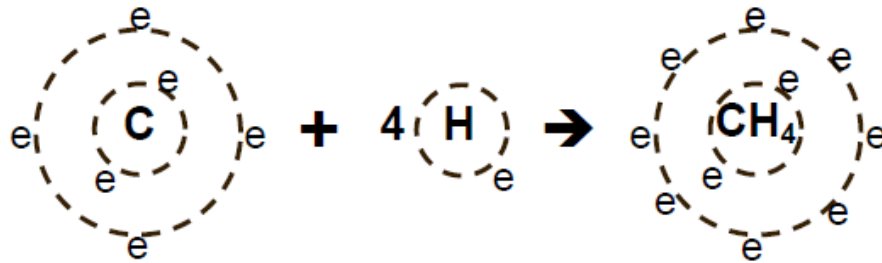
Combustibili navali

Componenti del combustibile

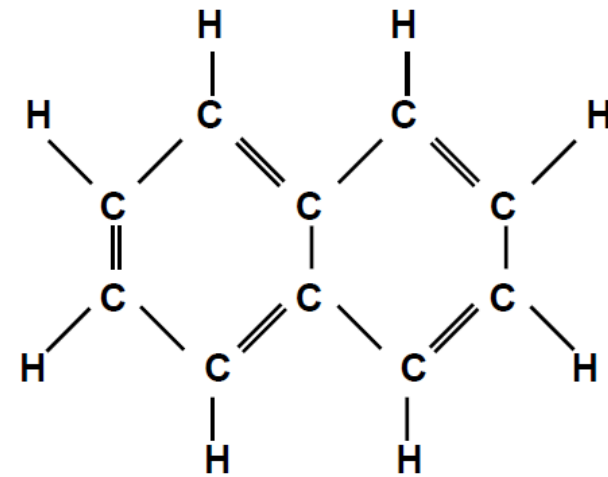
Il combustibile è in generale una miscela di tali idrocarburi che possono appartenere alle seguenti famiglie:

- | | |
|-------------------|---|
| paraffinici | C_nH_{2n+2} (metano, propano, ottano, ...) sono quelli a peso specifico minore, hanno una buona combustione e sono perciò pregiati |
| cicloparaffine | C_nH_{2n} detti anche naftenici, hanno una molecola ciclica e sono più stabili dei paraffinici. Si trovano nei combustibili pesanti per uso navale. |
| Olefine (alcheni) | C_nH_{2n} (differiscono dai precedenti per la struttura molecolare, a catena diritta) sono i composti più attivi chimicamente e quindi soggetti ad ossidazione e polimerizzazione con formazione di gomme. Sono molto presenti nei combustibili ottenuti per cracking |
| aromatici | C_nH_{2n-6} (benzene, etc) sono i composti a più alto peso specifico rispetto a quelli delle altre categorie a parità di punto di ebollizione ed hanno un contenuto di carbonio maggiore in proporzione all'ossigeno |
| acetileni | C_nH_{n-2} (toluene, xilene, ...) |

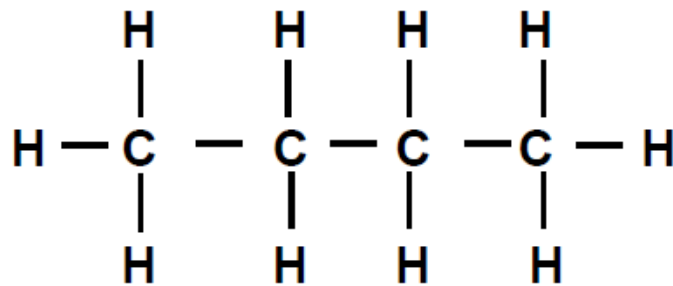
Combustibili navali



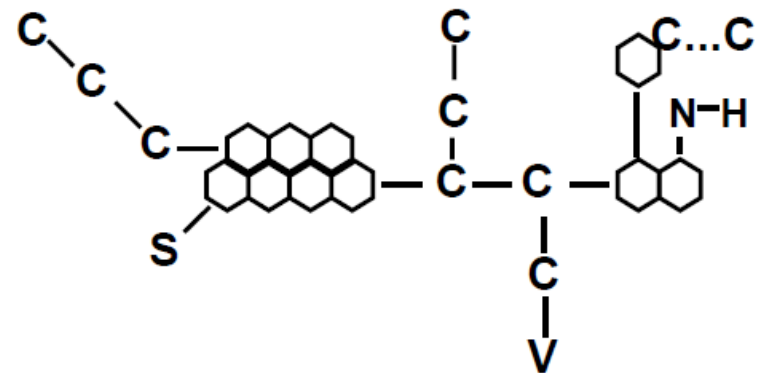
Methane Gas - "Simplest Hydrocarbon"



Naphthalene $C_{10}H_8$
Condensed ring aromatics



n-butane C_4H_{10}
" #2 Diesel - MGO "



Asphaltenes and impurities
are insoluble in diesel fuel oil

Combustibili navali

Il sito di provenienza del petrolio greggio influenza notevolmente la qualità dei combustibili che da esso si ottengono, in particolare quelli residuali che sono i meno pregiati

Anche il processo di distillazione adottato e le condizioni del mercato degli idrocarburi possono avere una influenza anche rilevante sui combustibili disponibili sul mercato.

La qualità dei combustibili è anche influenzata dalle procedure di miscelazione utilizzate in raffineria per ottenere combustibili di viscosità desiderata e dalle procedure di stoccaggio

Nelle slide seguenti si evidenzia la differente composizione dei vari distillati a seconda del sito di origine del greggio

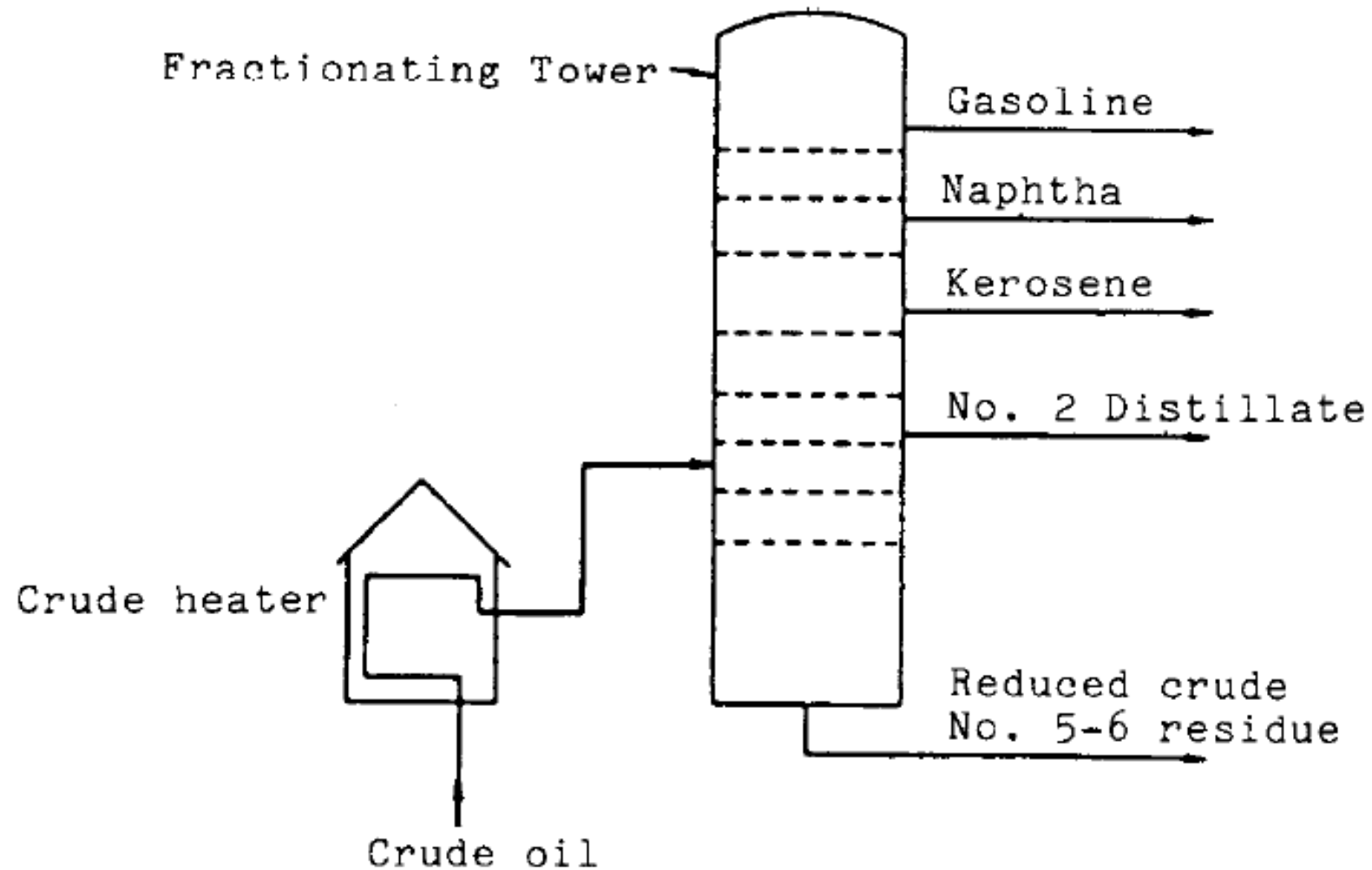
Combustibili navali

	High Gravity Sweet Crude (North Sea Light)	Low Gravity Sweet Crude (North Sea Medium)	Medium Sulfur Crude Oil		High Sulfur Crude Oil	
			Light Murban	Heavy (North Slope)	Light (Arabian)	Heavy (Venezuelan)
Crude Oil						
Gravity(*API)	37.6	26.0	39.4	26.8	33.4	16.8
Sulfur(Wt%)	0.13	0.23	0.74	1.0	1.80	2.40
Pour Point(*F)	5	<-5	+5	-5	-30	-10
Sulfur Range(Wt%)	0-0.5	0-0.5	0.51-1.0	0.51-1.0	1.0+	1.0+
C ₄ and Lighter Yield	2.2	0.7	1.8	1.8	1.7	0.4
Light Naphtha(C₅-200°F)						
Yield(Vol%)	6.4	2.1	6.78	5.8	9.0	2.5
Gravity(*API)	79.9	79.2	82.2	68.3	78.5	65.0
Sulfur(Wt%)	0.0002	0.001	0.012	0.01	0.024	—
Naphthenes(Vol%)	21.5	24	—	30.0	10.4	51.9
Aromatics(Vol%)	1.5	3	—	—	2.4	4.7
Paraffins(Vol%)	77.0	73	—	48.8	87.2	43.4
Octane No.(RON Clear)	78	80	69	65	54.7	—
Heavy Naphtha(200-400°F)						
Yield(Vol%)	22.0	8.7	21.2	12.6	8.4	6.0
Gravity(*API)	53.6	50.1	56.9	49.7	59.6	49.0
Sulfur(Wt%)	0.003	0.01	0.013	0.02	0.027	—
Naphthenes(Vol%)	55	58.5	20	56.4	18.2	58.5
Aromatics(Vol%)	11	14.0	17	—	12.3	13.9
Paraffins(Vol%)	34	27.5	63	43.6	69.5	27.6
Kerosene(400-5--°F)						
Yield(Vol%)	15.4	14.7	16.14	12.3	15.0	5.0
Gravity(*API)	40.2	34.4	45.4	37.4	38.5	36.4
Sulfur(Wt%)	0.03	0.063	0.058	0.20	0.094	0.48
Pour Point(*F)	-70	<-70	—	—	—	-80

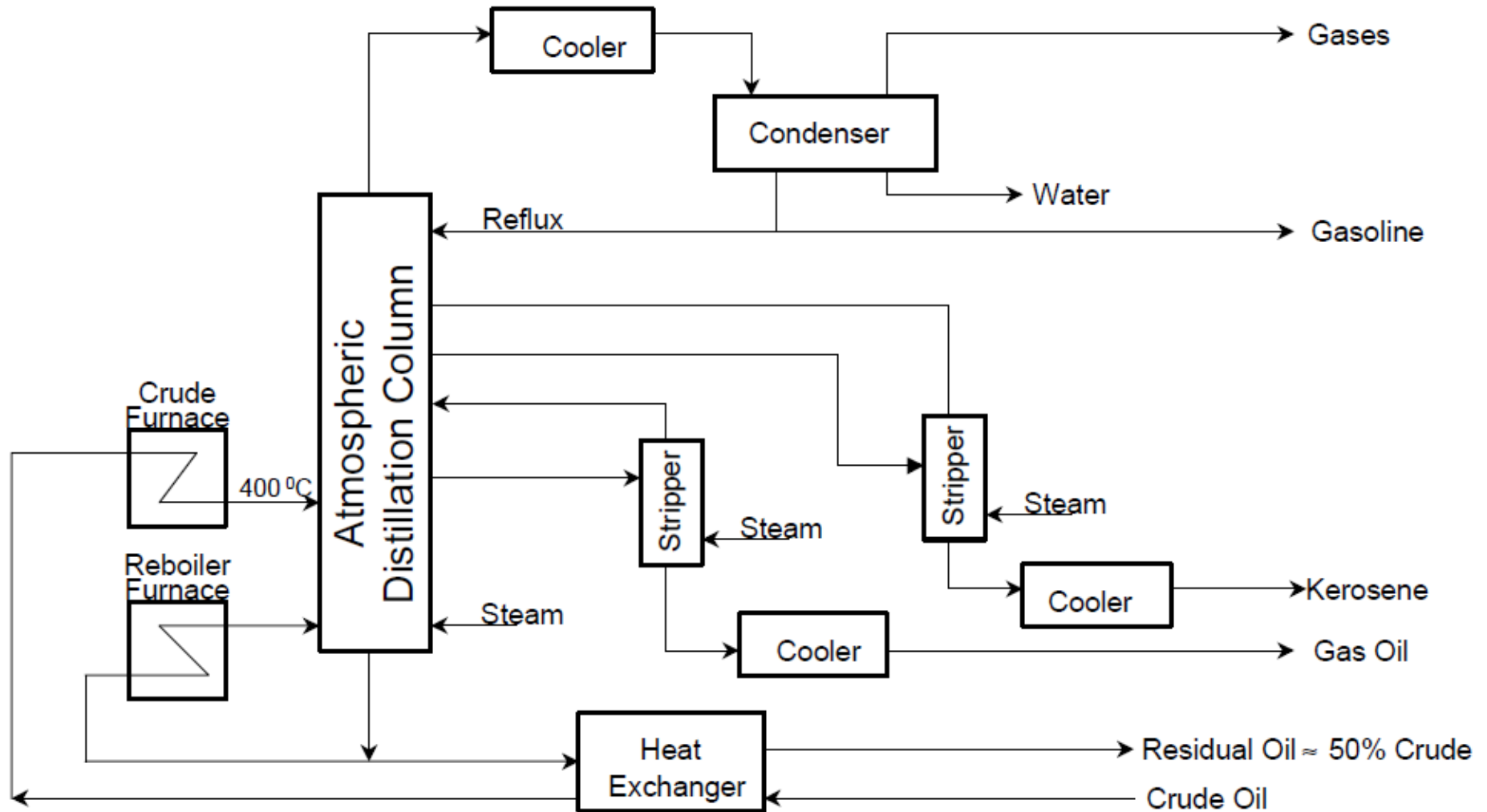
Combustibili navali

	High Gravity Sweet Crude (North Sea Light)	Low Gravity Sweet Crude (North Sea Medium)	Medium Sulfur Crude Oil		High Sulfur Crude Oil	
			Light Murban	Heavy (North Slope)	Light (Arabian)	Heavy (Venezuelan)
Distillate(500-650°F)						
Yield(Vol%)	23.2	29.7	10.4	12.1	19.8	15.5
Gravity(°API)	33.2	27.5	37.8	31.3	37.1	---
Sulfur(Wt%)	0.13	0.18	0.47	0.56	1.05	0.99
Cetane No.	51	40.0	54	47	---	---
Pour Point (°F)	20	-15	0	---	0	---
Viscosity(@100°F)	40.3 SUS	44.6 SUS	4.2 cSt	---	3.28 cSt	---
Heavy Gas Oil						
Yield(Vol%)	23.1	31.3	9.24	14.7	*	*
Gravity(°API)	25.4	19.7	33.6	25.8		
Sulfur(Wt%)	0.21	0.31	1.06	0.90		
Pour Point(°F)	105	80	41	55		
Viscosity (@210°F)	48.1 SUS	53.1 SUS	---	77 SUS 100°F		
Residual Oil						
Yield(Vol%)	7.7	12.8	34.5	40.7	46.1	70.6
Gravity(°API)	11.8	10.1	22.6	13.0	17.6	---
Sulfur(Wt%)	0.39	0.48	1.49	1.74	3.08	3.0
Pour Point(°F)	---	---	85	475	40	60
Viscosity(@210°F)	2,030 SUS	3,690 SUS	---	391 SUS	21 cSt	---
Total (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

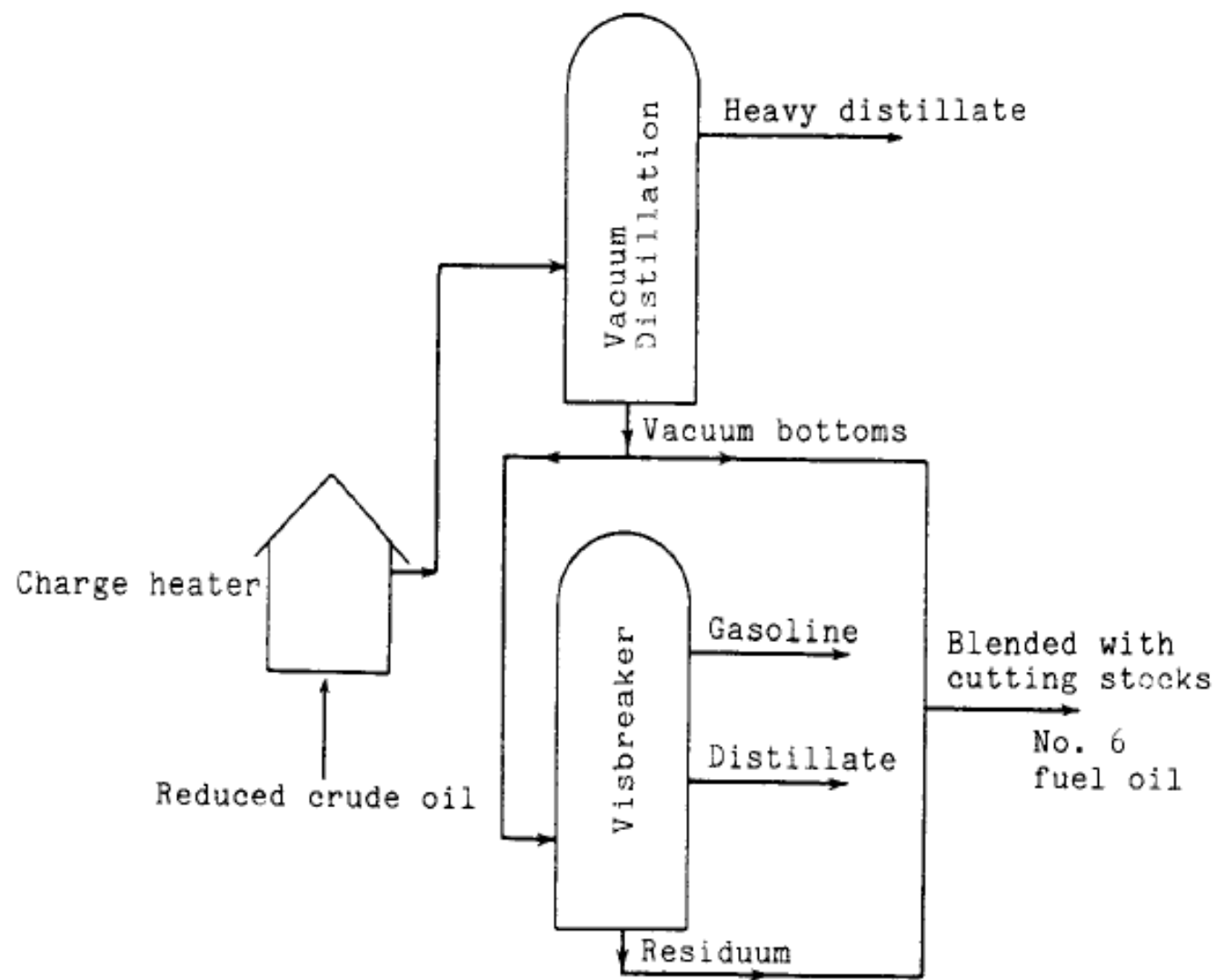
Atmospheric or Straight-Run Method of Crude Oil Distillation



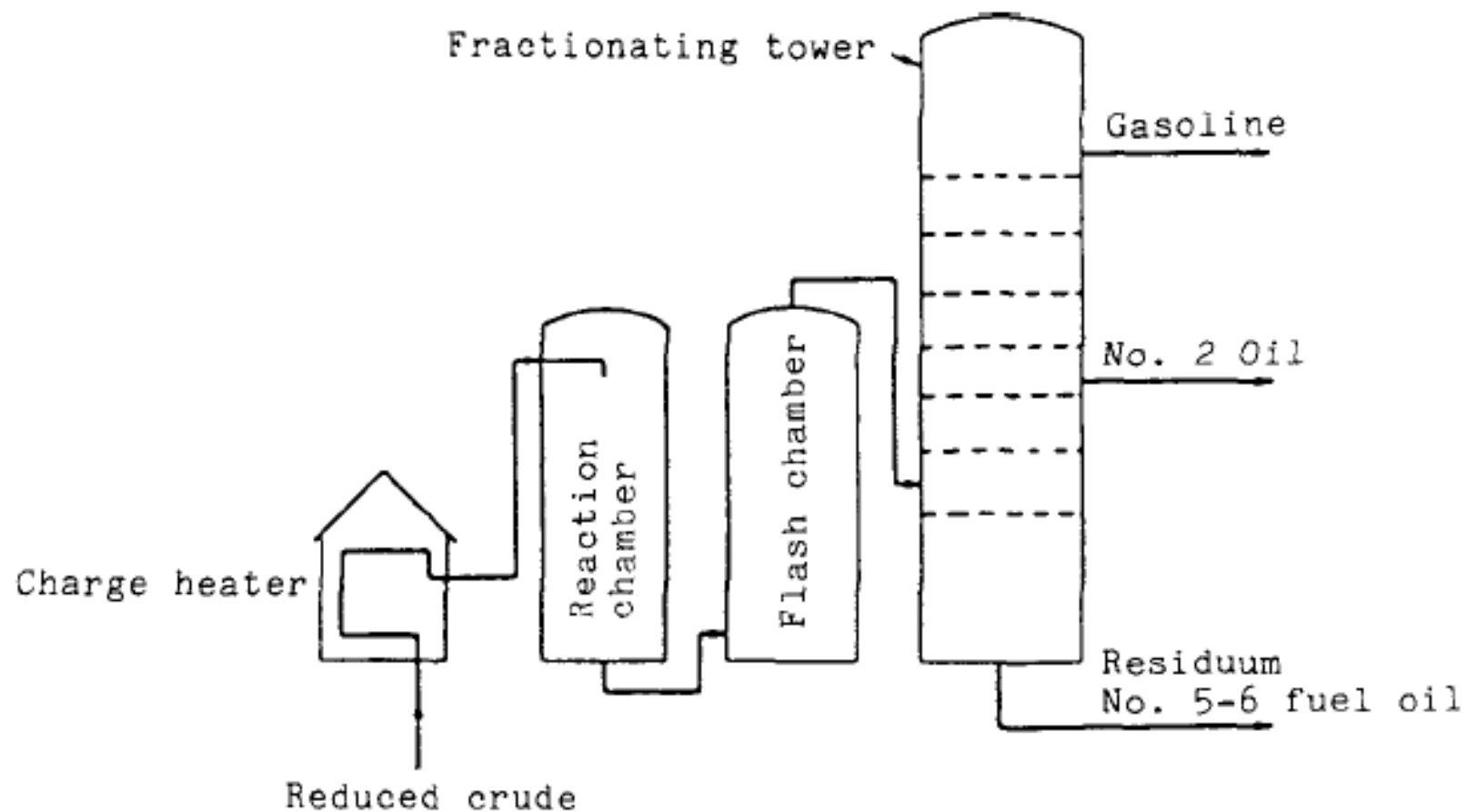
Simple Crude Oil Distillation Process



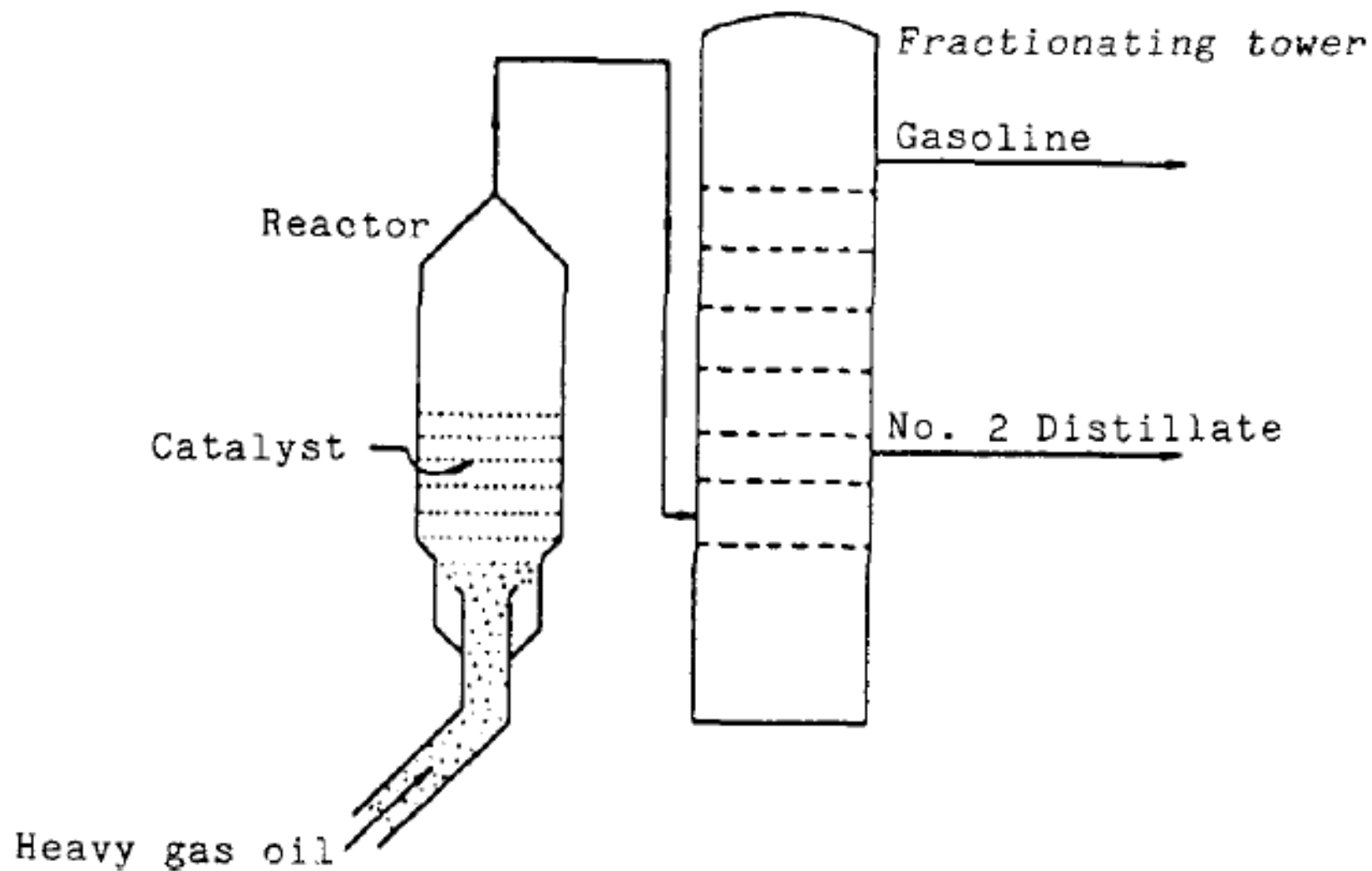
Vacuum Distillation and Vis-breaking Processes



Thermal Cracking Process

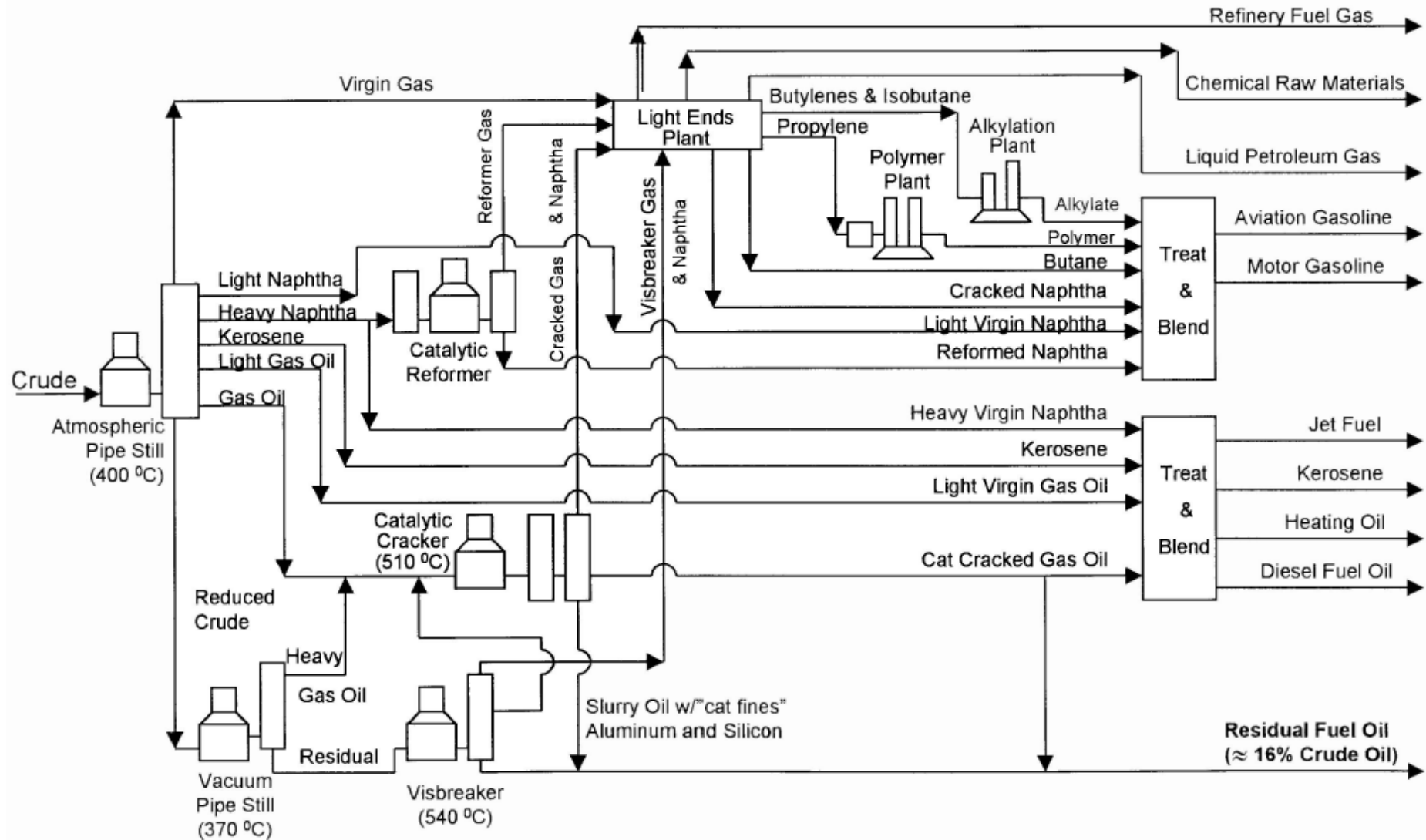


Catalytic Cracking Process



Combustibili navali

Modern Crude Oil Distillation Processes



Combustibili navali

I moderni sistemi di distillazione tendono ad incrementare la produzione di idrocarburi leggeri, secondo le richieste del mercato, con la conseguenza che i combustibili residuali sono sempre di peggiore qualità, con caratteristiche che hanno grande influenza sia sullo stoccaggio, sulla movimentazione, sulla combustione all'interno del motore, ed infine sulle emissioni allo scarico

Inoltre in alcuni porti esistono severe normative sulle emissioni ed in particolare sul tenore di zolfo del combustibile che la nave utilizza quando naviga nelle acque territoriali

Combustibili navali

PORT NAME - COUNTRY	IFO 380	IFO 180	MDO
Rio De Janeiro - Brazil	<u>262 - 264</u>	<u>302 - 304</u>	<u>605 - 630</u>
Rotterdam - Netherlands	<u>232 - 235</u>	<u>250 - 253</u>	<u>445 - 465</u>
Seattle - United States	<u>283 - 284</u>	<u>290 - 298</u>	<u>701 - 715</u>
Singapore - Singapore	<u>278 - 280</u>	<u>288 - 290</u>	<u>495 - 505</u>
Suez El Suweis - Egypt	<u>267 - 270</u>	<u>280 - 286</u>	<u>650 - 665</u>
Tokyo, Tokyo - Japan	<u>335 - 345</u>	<u>340 - 355</u>	<u>572 - 585</u>
Los Angeles - United States	<u>257 - 259</u>	<u>280 - 284</u>	<u>645 - 660</u>
Montreal - Canada	<u>283 - 285</u>	<u>303 - 305</u>	<u>650 - 655</u>
New Orleans - United States	<u>250 - 253</u>	<u>264 - 268</u>	<u>510 - 525</u>
New York - United States	<u>250 - 256</u>	<u>279 - 285</u>	<u>595 - 600</u>
Panama Canal - Panama	<u>263 - 280</u>	<u>330 - 333</u>	<u>620 - 628</u>
Philadelphia - United States	<u>249 - 255</u>	<u>272 - 275</u>	<u>640 - 645</u>
Piraeus - Greece	<u>250 - 253</u>	<u>273 - 275</u>	<u>502 - 511</u>
Pusan - Korea (South)	<u>309 - 314</u>	<u>337 - 345</u>	<u>550 - 572</u>
Durban - South Africa	N/A	<u>271 - 273</u>	<u>520 - 530</u>
Freeport - Bahamas	<u>282 - 284</u>	<u>312 - 314</u>	S.I.
Fujairah - United Arab Emirates	<u>264 - 266</u>	<u>273 - 275</u>	<u>575 - 580</u>
Gibraltar - Gibraltar	<u>263 - 265</u>	<u>282 - 284</u>	<u>535 - 540</u>
Houston - United States	<u>250 - 252</u>	<u>261 - 263</u>	<u>525 - 540</u>
Jeddah - Saudi Arabia	<u>268 - 270</u>	<u>281 - 283</u>	<u>593 - 595</u>
Lagos - Nigeria	S.I.	S.I.	S.I.
Cape Town - South Africa	N/A	<u>275 - 277</u>	<u>543 - 548</u>
Damman - Saudi Arabia	N/A	<u>280 - 283</u>	<u>593 - 595</u>
Buenos Aires - Argentina	<u>275 - 285</u>	<u>315 - 325</u>	S.I.
Antwerpen - Belgium	<u>235 - 238</u>	<u>253 - 255</u>	<u>450 - 460</u>

Prezzi bunker 9 marzo 2012

	IFO380	IFO180	MDO	MGO
Singapore	730	741.5	1,024.00	1,026.50
Rotterdam	705	730	-	1,010.00
Houston	730	763.5	1,049.50	1,058.50
Fujairah	737	765	-	1,060.00
Los Angeles	751	781	1,109.50	1,104.00

Combustibili navali

Viscosità – La viscosità è il primo parametro che si prende in considerazione dato che è legato sia alla possibilità di movimentare il combustibile sia alle specifiche di invio al motore.

Sebbene un tempo bassa viscosità fosse indice di qualità degli idrocarburi, le moderne tecniche di raffinazione e miscelazione consentono di realizzare combustibili a bassa viscosità ma di scarsa qualità, soprattutto in termini di contaminanti e di stabilità.

La viscosità dipende moltissimo dalla temperatura per cui tutte le misure sono riferite ad una temperatura di prova.

La viscosità dinamica ha le dimensioni di una pressione per unità di tempo (Poise, Pa/s)

Generalmente si considera la viscosità cinematica ottenuta da quella dinamica dividendo per la densità del materiale.

Vi sono varie unità di misura, St (Stokes, cm^2/s) per il sistema internazionale, ma anche Redwood e gradi Engler.

Il valore di viscosità dei combustibili residuali può arrivare anche a 700 cSt, essendo 380 cSt un valore comune al giorno d'oggi.

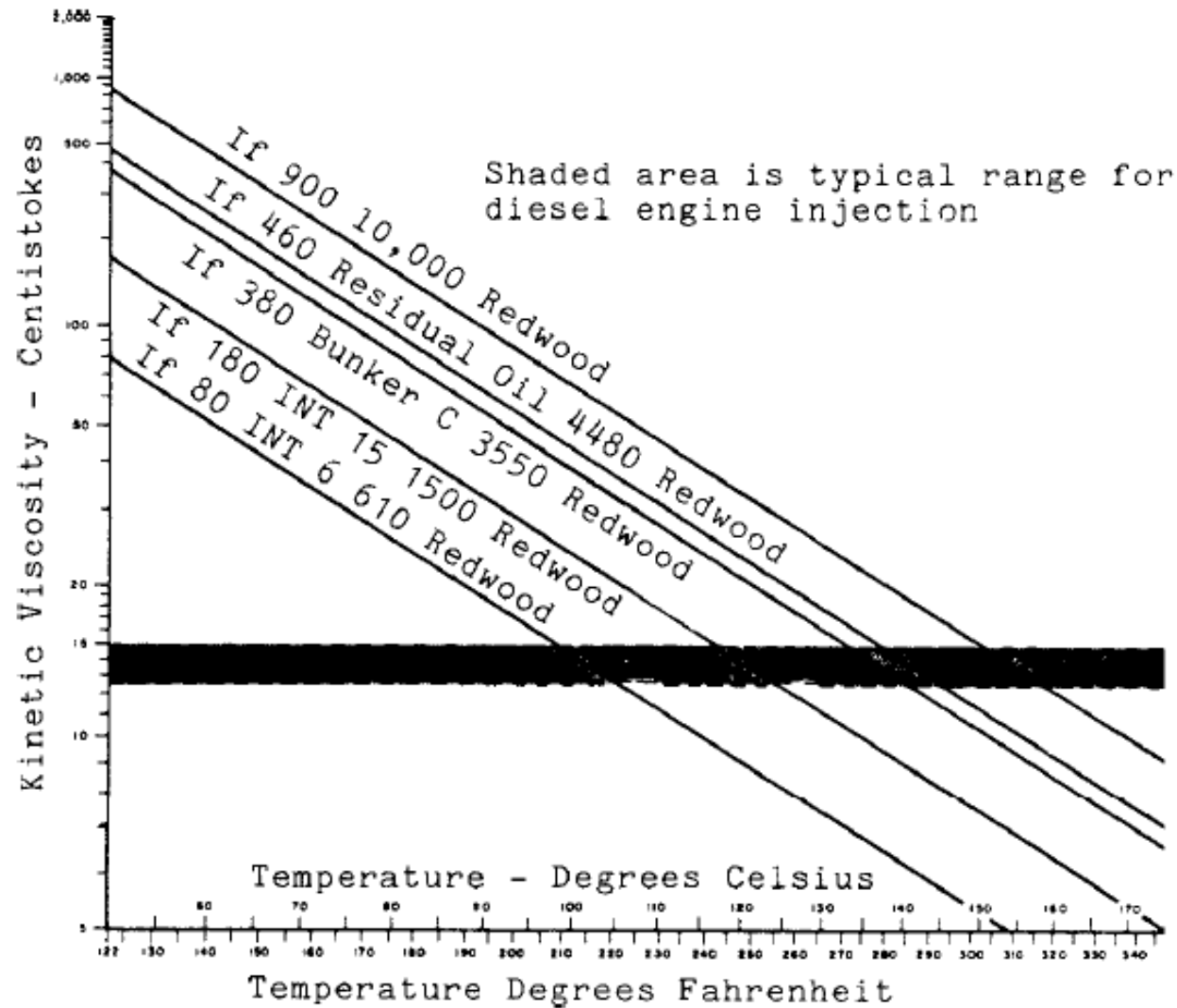
Poiché i costruttori consigliano un valore di viscosità all'iniezione pari a circa 12 cSt, si rende necessario riscaldare il combustibile a temperature anche oltre i 140°C

Kinematic/Redwood Viscosity Equivalents of Typical Marine Fuels

<i>cSt @ 50°C</i>	<i>SR1 @ 100°F</i>	<i>cSt @ 50°C</i>	<i>SR1 @ 100°F</i>
30	200	180	1500
40	278	240	2400
60	439	280	2500
80	610	320	3000
100	780	380	3550
120	950	420	4000
150	1250	460	4480

Combustibili navali

Relationship between Temperature and Viscosity for Marine Fuels



Combustibili navali

Densità – I combustibili ad elevata viscosità sono anche quelli che presentano valori alti di densità. Si passa da circa 840÷850 kg/m³ per il marine diesel oil a valori prossimi all'unità per i combustibili residuali

Il valore della densità del combustibile ha importanza ai fini delle tecniche utilizzate per l'eliminazione dell'acqua dal combustibile stesso, realizzata mediante depuratori centrifughi.

Inoltre alti valori di densità sono sintomo della presenza di idrocarburi aromatici, residui del processo di crackizzazione e che hanno scarse qualità di combustione, con la formazione di residui abrasivi che oltre all'effetto di formare depositi in varie zone del motore accelerano l'usura della parete interna delle camicie.

Nel campo petrolifero la densità si esprime in unità API (American Petroleum Institute)

$$\text{API Gravity} = \frac{141.5}{\text{Sp.Gr.}@15^{\circ}/15^{\circ}\text{C}} - 131.5$$

Combustibili navali

Residuo carbonioso Conradson / Asfalteni – Gli idrocarburi con basso rapporto idrogeno-carbonio hanno difficoltà di combustione e tendono a formare residui carboniosi che si depositano nel motore. Il residuo Conradson quantifica questa tendenza mediante una procedura standardizzata (ASTM)

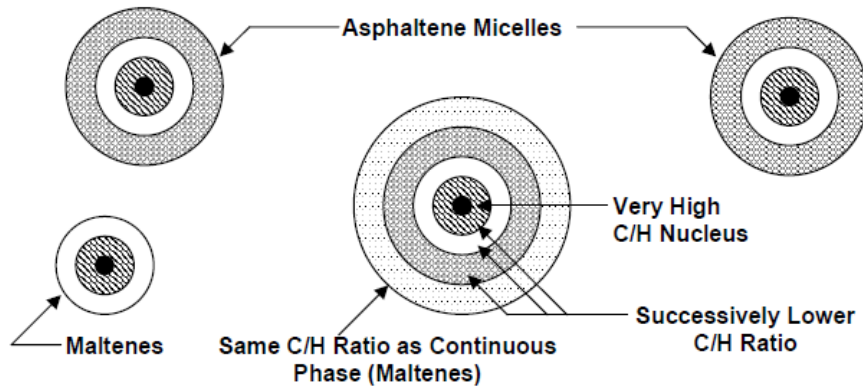
Un alto valore del CCR (Conradson Carbon Residue) è indice della presenza nel combustibile di asfalteni, composti macromolecolari che sono solubili in alcuni idrocarburi ma non in altri. Le molecole a catena molto lunga contengono al loro interno anche zolfo, vanadio ed altri metalli

L'effetto di idrocarburi a grande molecola è quello di una combustione più lenta, per cui se la velocità del motore è elevata vi sarà sicuramente la formazione di depositi sugli iniettori, sul pistone, sulla turbosoffiante e sulle luci di lavaggio nei motori 2T

Inoltre l'effetto di una combustione ritardata è quello di esporre una maggiore superficie del cilindro alla fiamma, con conseguente danneggiamento del film di lubrificante del cilindro.

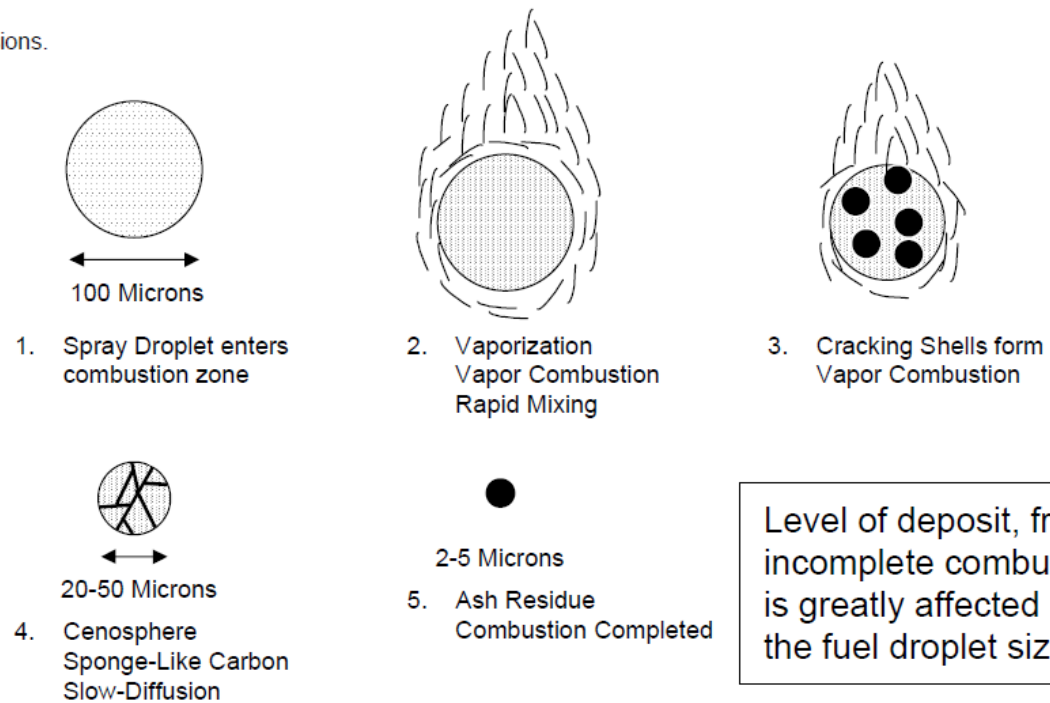
Combustibili navali

Asphaltenes in Fuel Oil



- Impurities (vanadium, nickel, iron) and catalytic fines are bound within asphaltene molecules.
- Asphaltenes contribute to increased engine particulate emissions.

Fuel Droplet Combustion Stages



Level of deposit, from incomplete combustion, is greatly affected by the fuel droplet size.

Combustibili navali

Zolfo – Sebbene in percentuali diverse a seconda del luogo di provenienza, lo zolfo è un elemento che è sempre presente nel petrolio greggio.

Durante il processo di raffinazione tende a concentrarsi nelle frazioni meno volatili, per cui sarà presente soprattutto nei residual fuel oil e meno nei marine diesel oil, principalmente sotto forma di ossidi (SO_3 etc).

Le problematiche legate alla presenza dello zolfo sono legate al fenomeno della corrosione che interessa la camicia e le fasce elastiche quando si determinano particolari condizioni di temperatura.

Infatti gli ossidi di zolfo si combinano con l'acqua presente nel combustibile o introdotta nel motore tramite l'aria di lavaggio dando luogo alla formazione di composti acidi (H_2SO_4).

Se durante il funzionamento del motore, ad esempio ai carichi parziali, la temperatura di alcune zone della camicia si abbassa fino al raggiungimento del punto di rugiada dell'acido solforico, quest'ultimo precipita dando inizio alla corrosione.

Va sottolineato come il punto di rugiada dipende anche dalla pressione e quindi dalla pme del motore

Combustibili navali

Zolfo

Lo zolfo è solubile negli idrocarburi, per cui non può essere allontanato dal combustibile con metodi di separazione (al più la frazione contenuta nell'acqua).

La neutralizzazione dell'acidità legata allo zolfo può essere ottenuta additivando l'olio di lubrificazione con composti alcalini, in funzione di un indice detto TBN (Total Base Number)

Il valore del TBN posseduto dall'olio deve essere comunque scelto con attenzione, dato che in caso di additivazione eccessiva si ha la precipitazione di composti, generalmente costituiti da calcio e quindi la formazione di depositi e morchie

Nei motori 4T l'olio di lubrificazione può essere contaminato dallo zolfo contenuto nel combustibile attraverso le piccole quantità di olio di lubrificazione che dopo essere entrato in contatto con le pareti del cilindro viene trascinato giù dalle fasce, provocando problemi di corrosione a livello del carter.

Nei motori 2T, caratterizzati da dimensioni dei cilindri maggiori e dalla presenza della testa croce, la lubrificazione dell'ampia superficie del cilindro presenta maggiori problemi, ed è quindi in corrispondenza della camicia che si verificano i principali problemi di corrosione

Combustibili navali

Ceneri e Sedimenti – Poiché il greggio è contenuto nel sottosuolo in depositi sabbiosi, è inevitabile che una certa percentuale di sabbia e polveri sia ancora presente soprattutto in combustibili residuo della distillazione.

Inoltre se la distillazione è stata effettuata tramite cracking catalitico, particelle di catalizzatore (alluminio) si troveranno nel combustibile, intimamente dispersi negli idrocarburi

Anche nel caso di ceneri e sedimenti non è possibile ottenere vantaggi tramite la centrifugazione.

I problemi causati da tali contaminanti sono principalmente l'erosione degli iniettori e la formazione di depositi sulle valvole di scarico se soggette ad alta temperatura.

Si rende necessario quindi l'utilizzo di materiali di particolarmente adatti a sopportare l'erosione, soprattutto per quanto riguarda gli iniettori e di contenere le temperature cui sono soggette le valvole di scarico.

Combustibili navali

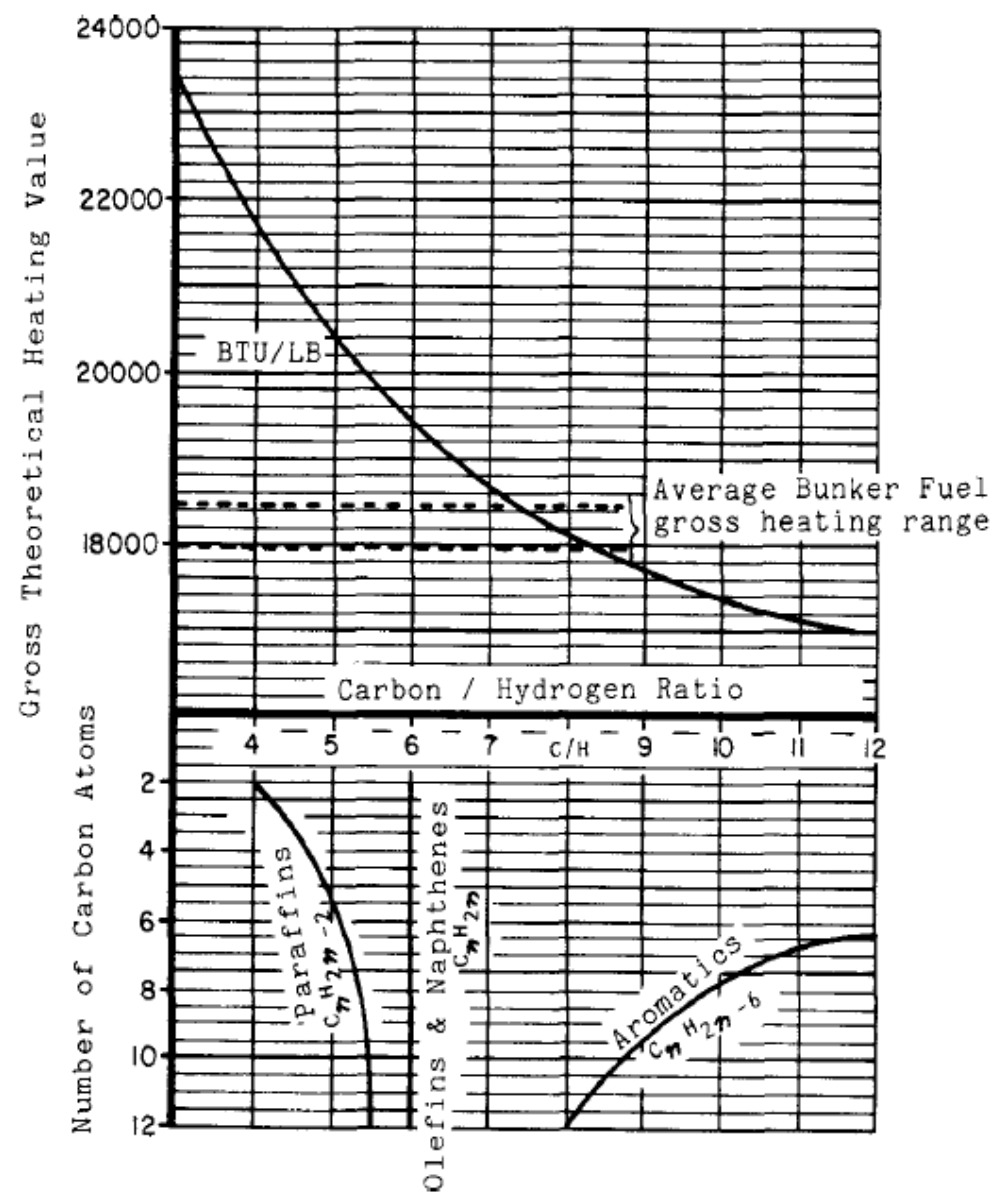
Potere calorifico – L'importanza del potere calorifico di un combustibile è evidente, dato che interviene direttamente nell'espressione della energia ottenibile da una determinata massa di combustibile

Il potere calorifico si ottiene misurando l'energia prodotta da una massa unitaria di combustibile (potere calorifico superiore) e decurtandola del calore latente di vaporizzazione dell'acqua prodotta durante la combustione (potere calorifico inferiore)

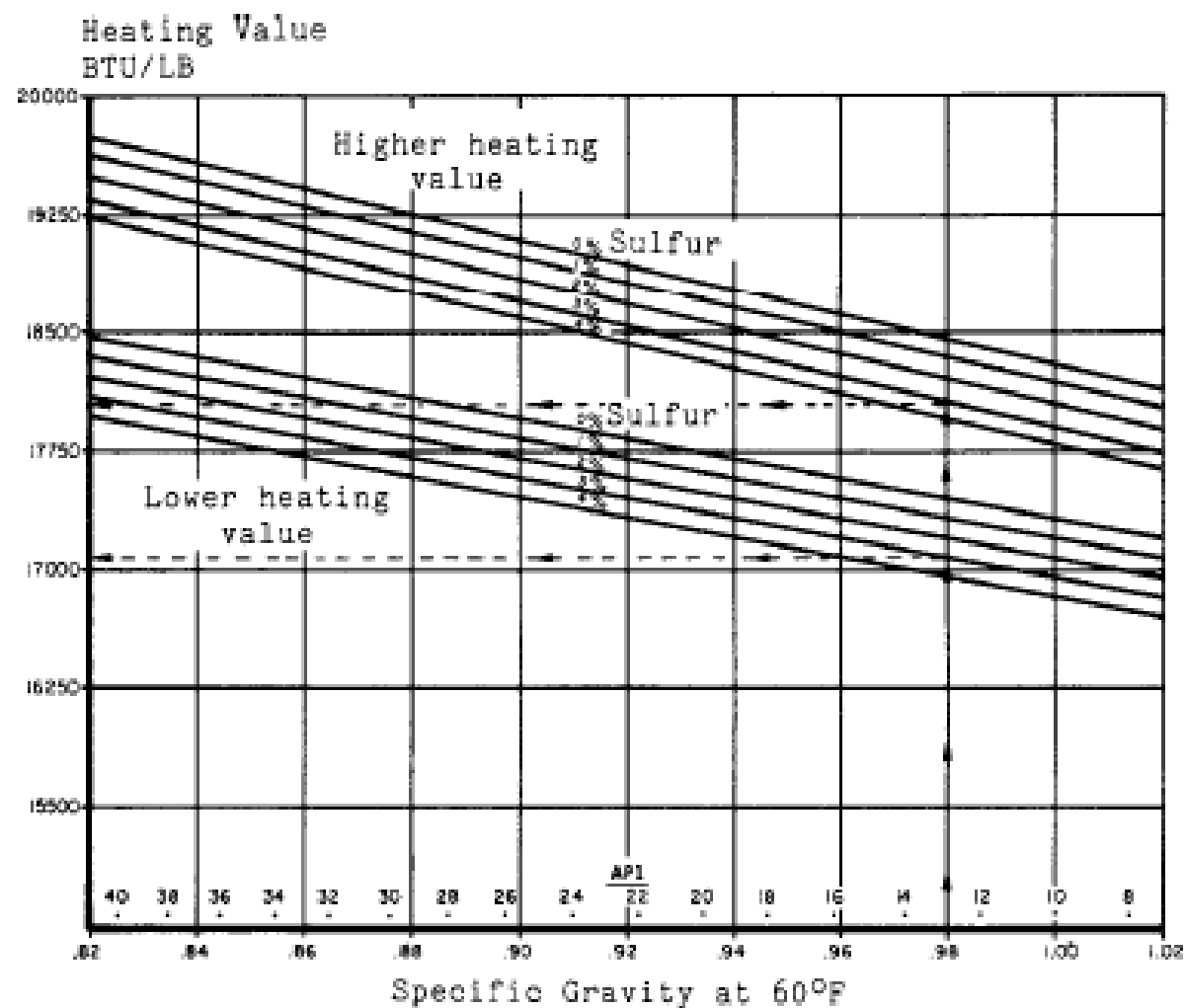
Il potere calorifico inferiore è direttamente influenzato dal rapporto carbonio-idrogeno; maggiore il numero di atomi di carbonio nella molecola, maggiore la sua densità ma minore il potere calorifico.

Anche la presenza di zolfo tende a ridurre il potere calorifico

Combustibili navali



Combustibili navali



Effetto della densità e della percentuale di zolfo sul valore del potere calorifico, superiore ed inferiore.

Combustibili navali

Vanadio – è un elemento metallico che ha la tendenza a combinarsi con il sodio per formare composti molto aggressivi che si depositano sulle palettature delle turbine, sui seggi delle valvole e sulla mantello del pistone dando luogo a composti molto resistenti; la tipologia di composti che si formano è funzione della concentrazione e della temperatura.

L'effetto di tali depositi è l'incremento locale di temperatura (bruciature) che causano la riduzione della vita utile degli elementi. Si è infatti notato che il tasso di usura del motore è sensibilmente dipendente dal contenuto di vanadio del combustibile.

Anche il vanadio è solubile negli idrocarburi per cui non può essere allontanato con i processi di centrifugazione.

In alcuni motori per limitare la formazione di depositi sulle valvole si adottano meccanismi che causano la rotazione della valvola di un piccolo angolo dopo ogni alzata, in maniera che non si presentano mai le stesse superfici al contatto.

Possono essere utilizzati additivi chimici da aggiungere a bordo.

Anche il contenuto di vanadio dipende dal giacimento di origine del crude oil

Combustibili navali

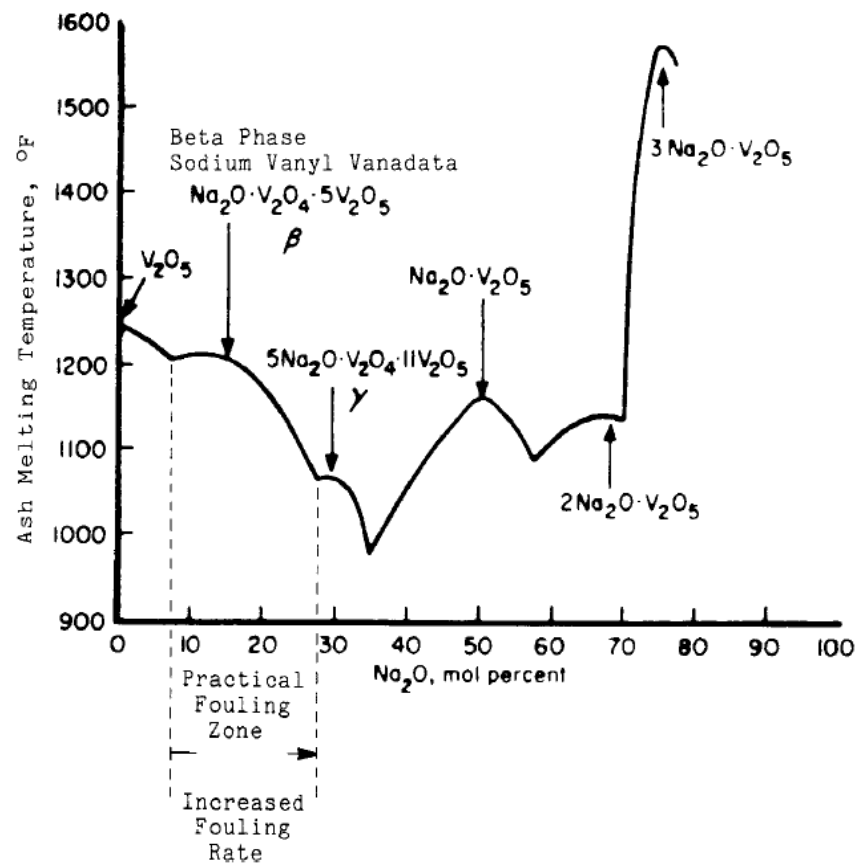


Diagramma di fase
Sodio-Vanadio

Combustibili navali

Compatibilità – un combustibile residuale è una miscela di sostanze ad alto peso molecolare che sono in equilibrio chimico-fisico

Se per qualche ragione tale equilibrio viene meno le molecole a massa maggiore precipitano dando luogo alla formazione di morchie e sedimenti.

I problemi di compatibilità maggiore si hanno quando per abbassare la viscosità di un combustibile residuale, specie se con alto contenuto di asfalteni, viene miscelato un combustibile molto più leggero e contenente idrocarburi che mal si adattano a permanere in soluzione con idrocarburi pesanti.

Ciò può accadere anche quando viene aggiunta in una cassa contenente combustibile caricato in un certo porto, combustibile di diversa provenienza e non compatibile, oppure il combustibile può risultare contaminato nell bettolina che lo trasporta dal deposito di stoccaggio a terra alla nave.

Le conseguenze legate alla formazione di composti possono essere anche molto serie, anche la semplice rimozione del combustibile dalla casse che lo contiene può rappresentare un problema

È quindi importante prevedere a bordo un certo numero di depositi per il combustibile in modo da segregare differenti qualità

Combustibili navali

Numero di cetano – il numero di cetano è un indice che misura il ritardo all'accensione del combustibile e dipende dalla tipologia di idrocarburi che lo compongono. Per convenzione si assegna il valore 100 al cetano ($C_{16}H_{34}$), che ha il minor ritardo alla combustione, ed il valore 15 al iso-cetano ($iC_{16}H_{34}$), che invece presenta un comportamento opposto. La procedura di prova consiste nell'individuare, in un motore a rapporto di compressione variabile, la miscela di cetano e isocetano che presenta lo stesso ritardo all'accensione del combustibile da provare. aromatici

Il numero di cetano di un combustibile è influenzato dal processo di raffinazione cui è stato sottoposto; un processo di cracking spinto conduce ad un elevato tenore di idrocarburi aromatici, che presentano un alto ritardo all'accensione. Ciò determina problemi al funzionamento dei motori semiveloci e veloci, essendo invece i motori più lenti (< 400 rpm) meno sensibili a tale parametro.

Generalmente il ritardo all'accensione e la velocità di combustione aumentano all'aumentare della viscosità del combustibile e al contenuto di aromatici, per cui nei motori veloci si deve migliorare la combustione agendo sulla iniezione del combustibile, sulla turbolenza in camera di combustione e sulla temperatura

Per i combustibili residuali la definizione di numero di cetano non è unanimamente accettata.

Combustibili navali

Flash point – è la temperatura alla quale i vapori del combustibile bruciano, una volta che una fiamma crei un innesco. È un parametro importante soprattutto per il trasporto e lo stoccaggio del combustibile, che deve avvenire ad una temperatura di circa 10°C più bassa del flash point

Un combustibile viscoso ma con un basso valore del flash point pone problemi di trasporto, dato che è comunque necessario riscaldarlo per diminuirne la viscosità.

Le norme dei registri navali limitano l'utilizzo a bordo di combustibili con potere calorifico inferiore a 60°C a imbarcazioni dotate di requisiti particolari ed eventualmente all'alimentazione dei generatori di emergenza.

Pour point – è la temperatura alla quale il combustibile comincia a cristallizzare e a perdere la fluidità, condizione necessaria per il travaso.

Nelle casse adibite a depositi del combustibile è quindi necessario prevedere un sistema di riscaldamento in grado di mantenere la temperatura di circa 15÷20°C oltre il pour point, per consentirne la movimentazione.

È importante che a bordo non si creino mai condizioni di temperatura tanto basse da causare la solidificazione del combustibile, dato che temperatura da realizzare per farlo tornare liquido è ben superiore al pour point.

Vanno riscaldate le tubazioni percorse dal heavy fuel e, nel caso l'impianto venga fermato, è necessario provvedere al flussaggio delle linee

Combustibili navali

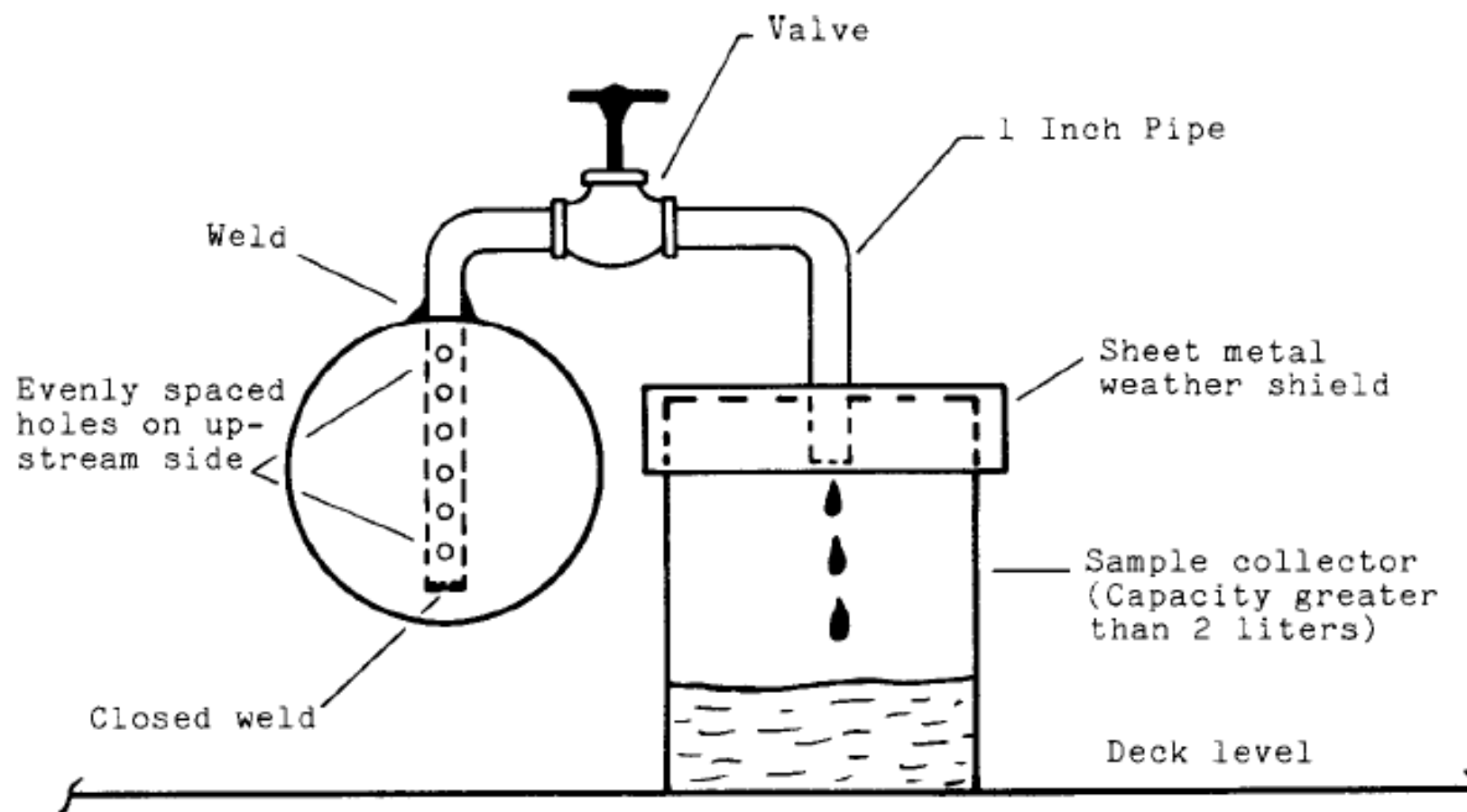
Acqua – è il principale contaminante del combustibile ma è quello che si può eliminare con opportuni impianti (centrifughe).

Tra le altre cose l'acqua è anche responsabile del trasporto del sodio che andrà poi a combinarsi con il vanadio dando luogo a depositi molto aggressivi

L'acqua deve essere allontanata dal combustibile in particolar modo se questo deve essere riscaldato.

La presenza di acqua può anche condurre alla formazione di colonie batteriche che possono causare la formazione di morchie e depositi nelle casse, oltre che generare fenomeni di corrosione..

Typical Sample Connection



Det Norske Veritas Petroleum Services - Fuel Quality Report da

Vessel :

Sample No	F403005623	F403005624
-----	-----	-----
Sample Type	(HFO)	(MDO)
Bunker Port	ANTWERP	ANTWERP
Bunker Date	03/JUN/03	02/JUN/03
Sent From	ANTWERP	ANTWERP
Date Sent	04/JUN/03	04/JUN/03
Arrived at lab	05/JUN/03	05/JUN/03
Supplier	EXXONMOBIL	VAN STAPPEN
Quantity per C.Eng	960	30

Seal Data	DNVPS	DNVPS
	1452194	1681388
	INTACT	INTACT

Related Seal Data	SUPPLIER	SHIP
	1452195	1681386
	SHIP	SUPPLIER
	1452196	1681387

Receipt Data	B.D.R	B.D.R	
-----	-----	-----	
Density @ 15C	kg/m3	988.2	896.7
Viscosity @ 50/40C	mm2/s	365	8.8

Tested Results	Units		RMG35		DMB
-----	-----		-----		-----
Density @ 15C	kg/m3	989.5	991.0	897.2	900.0
Viscosity @ 50/40C	mm2/s	387		10.1	11.0
Water	%v/v	LT 0.1	1.0	LT 0.1	0.3
Micro Carbon Residue	%m/m	14	18	0.10	0.3
Sulphur	%m/m	2.2	5.0	1.3	2.0
Total Sediment Existent	%m/m			0.01	
Total Sediment Potential	%m/m	LT 0.01	0.10		
Ash	%m/m	0.04	0.15	LT 0.01	0.01
Vanadium	mg/kg	118	300	LT 1	
Sodium	mg/kg	34		LT 1	
Aluminium	mg/kg	6		LT 1	
Silicon	mg/kg	10		LT 1	
Iron	mg/kg	24		1	
Nickel	mg/kg	39		LT 1	
Calcium	mg/kg	3		LT 1	
Magnesium	mg/kg	1		LT 1	
Lead	mg/kg	LT 1		LT 1	

Zinc	mg/kg	1		LT 1	
Phosphorus	mg/kg	1		LT 1	
Pour Point	Deg.C			LT 0	0\8
Flash Point	Deg.C	GT 70	60	GT 70	80
FTIR Analysis	-			NORMAL	

Calculated Values

Net Specific Energy	MJ/kg	40.50		42.03	
CCAI (Ignition Quality)	-	850			
Aluminium + Silicon	mg/kg	16	80	LT 2	
Calculated Cetane Index	-			39	35

Note: LT means Less Than. GT means Greater Than.

Specification Comparison (S/N:F403005623)

Results compared with ISO Specification RMG35 . Based on this sample, the Specification is met.

Operational Advice :

Approx fuel temperatures:

Injection: 145 C for 10 cSt, 130 C for 15 cSt
Transfer : 45C

Specification Comparison (S/N:F403005624)

Results compared with ISO Specification DMB . Based on this sample, the Specification is met.

Operational Advice :

Compatibility - with Sample No. F403005623 : 1

This result indicates that these fuels are compatible.

Additional FT-IR screening analysis shows nothing unusual compared with reference fuels.

IMPIANTO DEL COMBUSTIBILE

Gli impianti di alimentazione del combustibile a bordo sono generalmente costituiti da due parti: un sezione che consente l'imbarco, la movimentazione ed il trattamento del combustibile ed un impianto di alimentazione alle utenze, costituite generalmente da motori di propulsione, dai diesel generatori e dalla caldaia ausiliaria.

Generalmente su di una nave dotata di un impianto motore alimentato a heavy fuel è comunque presente un circuito per il marine diesel, da utilizzare in alcune fasi, sebbene la tendenza attuale è quella di limitarne al minimo l'impiego.

Il circuito di alimentazione del combustibile leggero (MDO) è certamente meno complesso di quello del combustibile pesante ad alta viscosità, che richiede innanzitutto un sistema di riscaldamento continuo e trattamenti più complessi.

Circuito imbarco e movimentazione Marine Diesel Oil

L'impianto ha la funzione di immagazzinare il combustibile nelle casse deposito (Storage Tank) ed inviarlo ad una cassa, detta di servizio o giornaliera (Daily or Service Tank), da cui verrà alimentato il motore. È possibile prevedere più di una cassa giornaliera.

Deve consentire le seguenti funzioni:

- imbarco del combustibile da entrambi i lati della nave;
- consentire il riempimento di tutte le casse deposito;
- consentire il trasferimento del combustibile da una cassa deposito ad un'altra qualsiasi;
- permettere il trasferimento del combustibile in una o più casse giornaliere;
- permettere eventualmente il trattamento del combustibile in un separatore centrifugo;

Devono essere inoltre consentite tutta una serie di funzioni secondarie quali il prelievo di campioni, lo stripping, l'uscita dell'aria durante il riempimento, l'invio dei rigurgiti ad una cassa prevista all'uopo, etc;

Combustibili navali

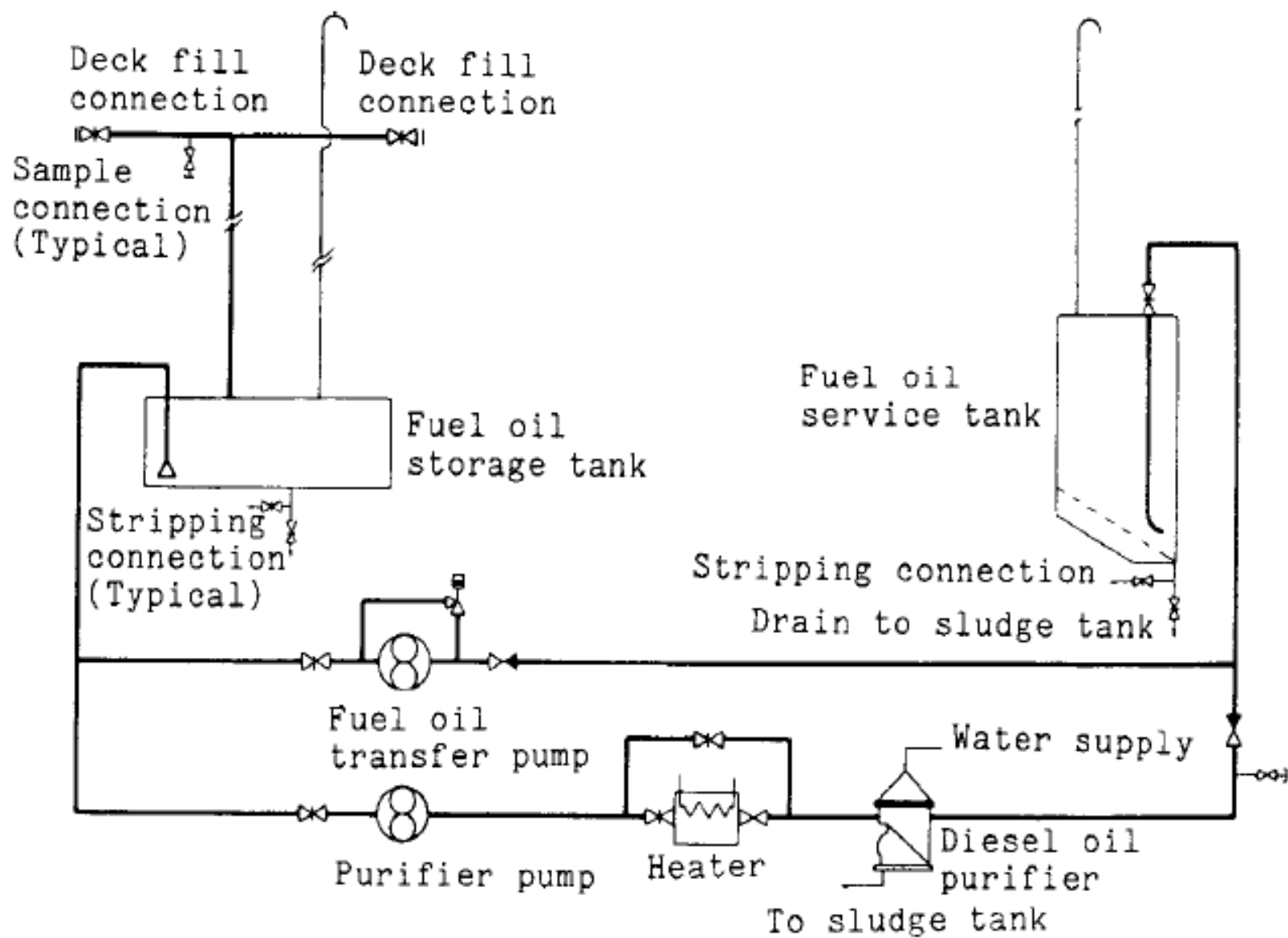
Circuito imbarco e movimentazione Marine Diesel Oil

L'impianto può essere predisposto per realizzare anche ulteriori funzioni, secondo la valutazione del progettista in accordo con le esigenze dell'armatore

- permettere eventualmente la rimozione del combustibile contenuto nella cassa di servizio;
- permettere eventualmente lo sbarco del combustibile a terra;

Le pompe di trasferimento (o travaso) sono sempre pompe volumetriche, adeguate alla movimentazione di fluido caratterizzati da una certa viscosità.

Combustibili navali



Combustibili navali

Circuito alimento Marine Diesel Oil

L'impianto deve consentire l'alimentazione del motore con una quantità di combustibile maggiore di quella strettamente necessaria e accogliere nella cassa l'eccesso tramite una tubazione detta di ritorno:

Generalmente la cassa di servizio è posizionata ad un'altezza maggiore in maniera facilitare l'innescio della pompa.

Possono essere sistemati misuratori di portata per valutare i consumi; nello schema in esame sono necessari un misuratore sulla mandata ed uno sul ritorno. Questo tipo di sistemazione non è molto efficace per effettuare misure di portata istantanea perché il valore del consumo deve essere letto per differenza, e quindi gli errori sono duplicati

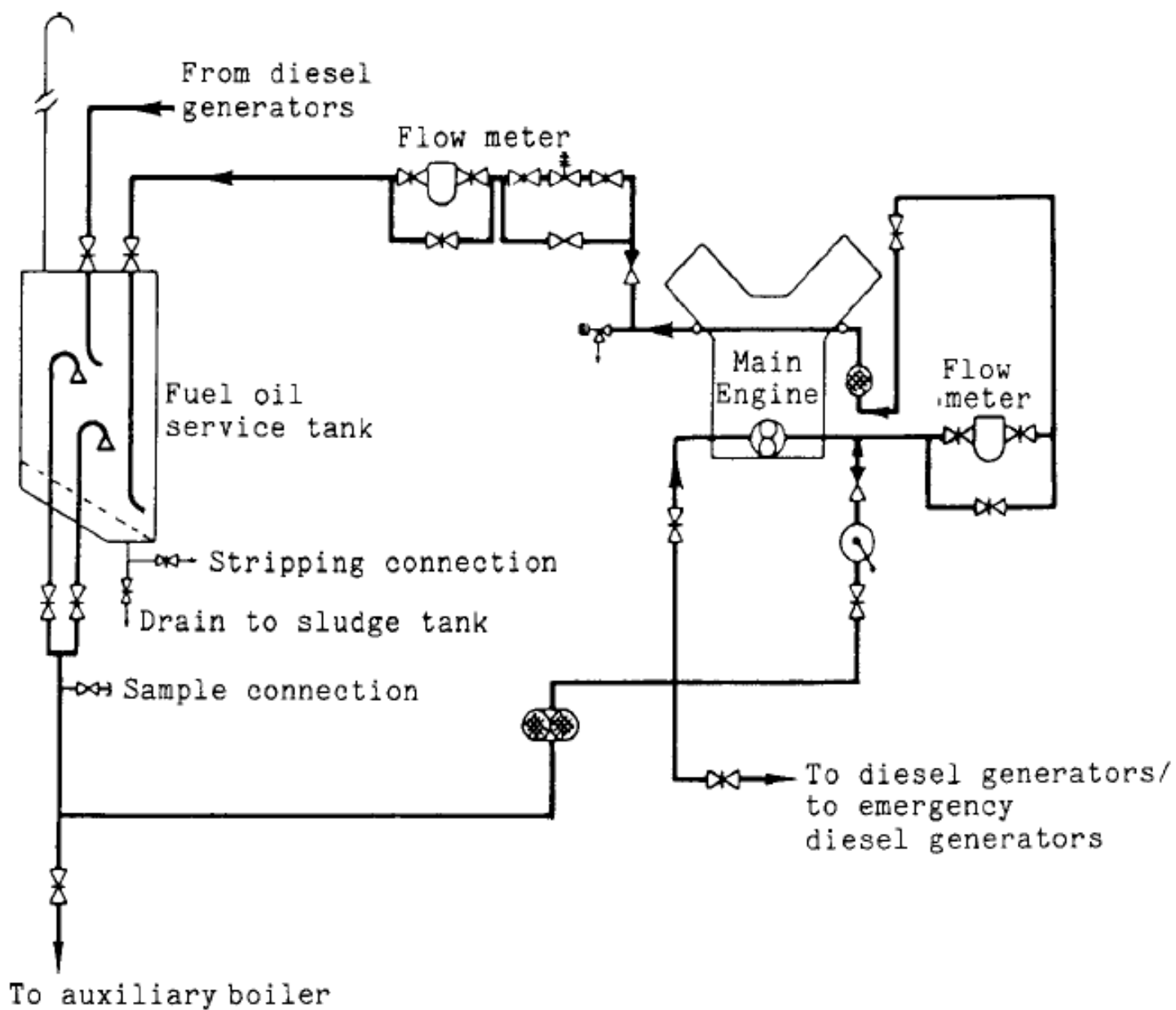
Sull'aspirazione della pompa sono previsti filtri per evitare che corpi estranei la danneggino o vadano al motore.

I filtri devono essere del tipo duplex in maniera da consentire l'alimentazione del motore in qualsiasi momento

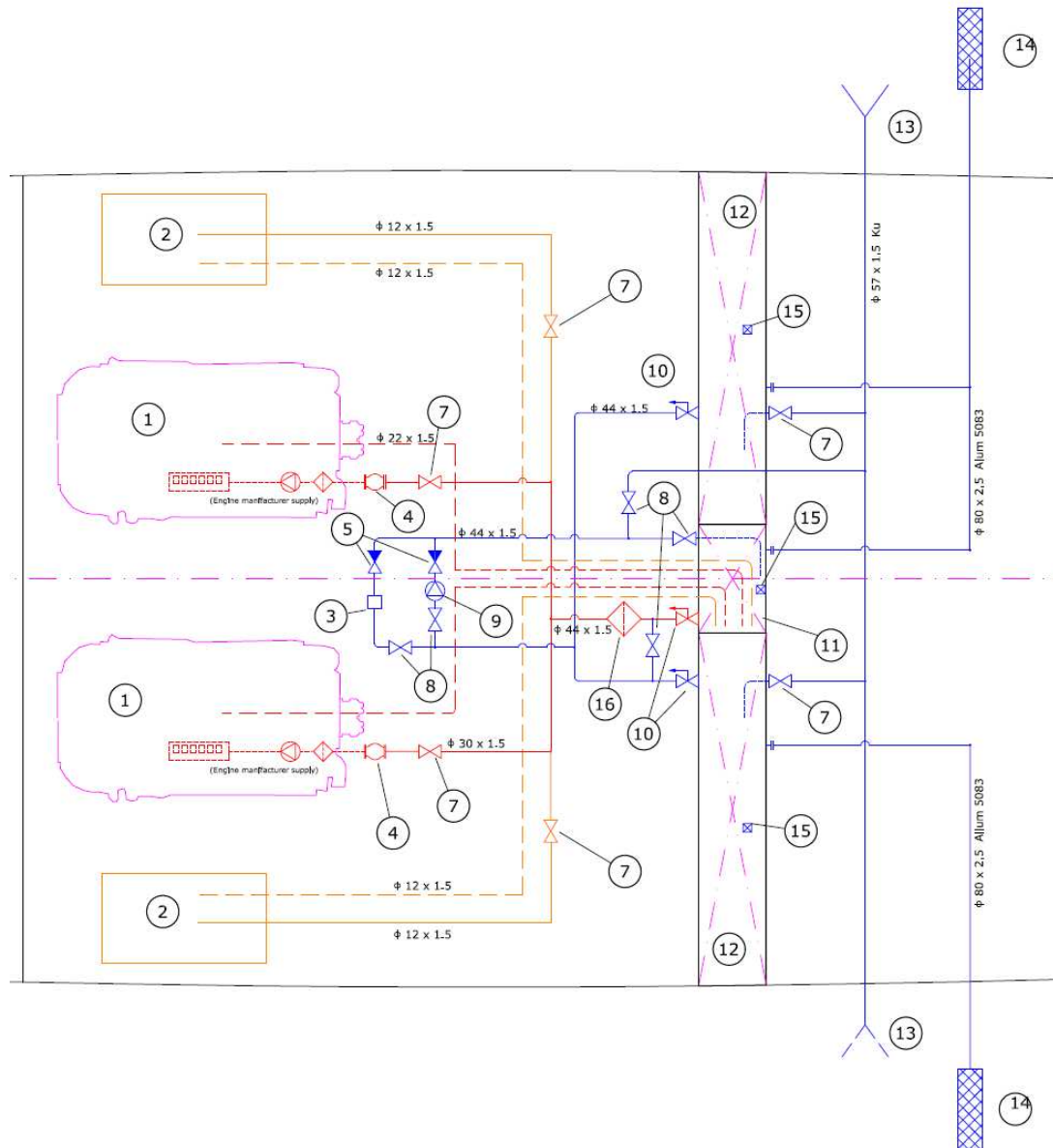
Sono previsti anche in questo caso valvole per la rimozione di depositi e acqua che si trovano sul fondo della cassa e gli sfoghi d'aria;

Il fondo della cassa di servizio è generalmente inclinato per favorire la raccolta e lo scarico dei composti più pesanti ed impedirne il rimescolamento a seguito dei moti nave.

Combustibili navali



Combustibili navali



PDS.	Tabella dei componenti Table of components	Sym.
1	Motore principale Main engine	
2	Diesel generatore Gen set	
3	Separatore Separator	□
4	Giunto flessibile Rubber bellow	⊞
5	Valvola di non ritorno Non return valve	⊞
7	Valvola globo Globe valve	⊞
8	Valvola a saracinesca Gate valve	⊞
9	Pompa 5mc/h Pump 5mc/h	
10	Valvola a rapida chiusura Quick closing valve	⊞
11	Cassa giornaliera Daily tank	
12	Casse combustibile Fuel tank	
13	Imbarco combustibile Fuel inboard	Y
14	Sfogo d'aria con filtro paraflamma Fire proof vent pipe	⊞
15	Sensore di livello Level gauge	⊞
16	Filtro Strainer	⊞

Esempio di schema impianto del combustibile per una piccola imbarcazione con motori diesel veloci (550kW@1800 rpm)

Combustibili navali

Circuito imbarco e movimentazione Heavy Fuel Oil

Il circuito di movimentazione ed imbarco per il combustibile residuale (HFO) differisce da quello per il marine diesel oil fondamentalmente per due aspetti: la necessità di riscaldare il combustibile e di realizzare un trattamento più complesso

Si nota quindi che tutte le casse sono riscaldate tramite tubazioni di vapore sistemate sul fondo e percorse da vapore, prodotto da un apposito impianto.

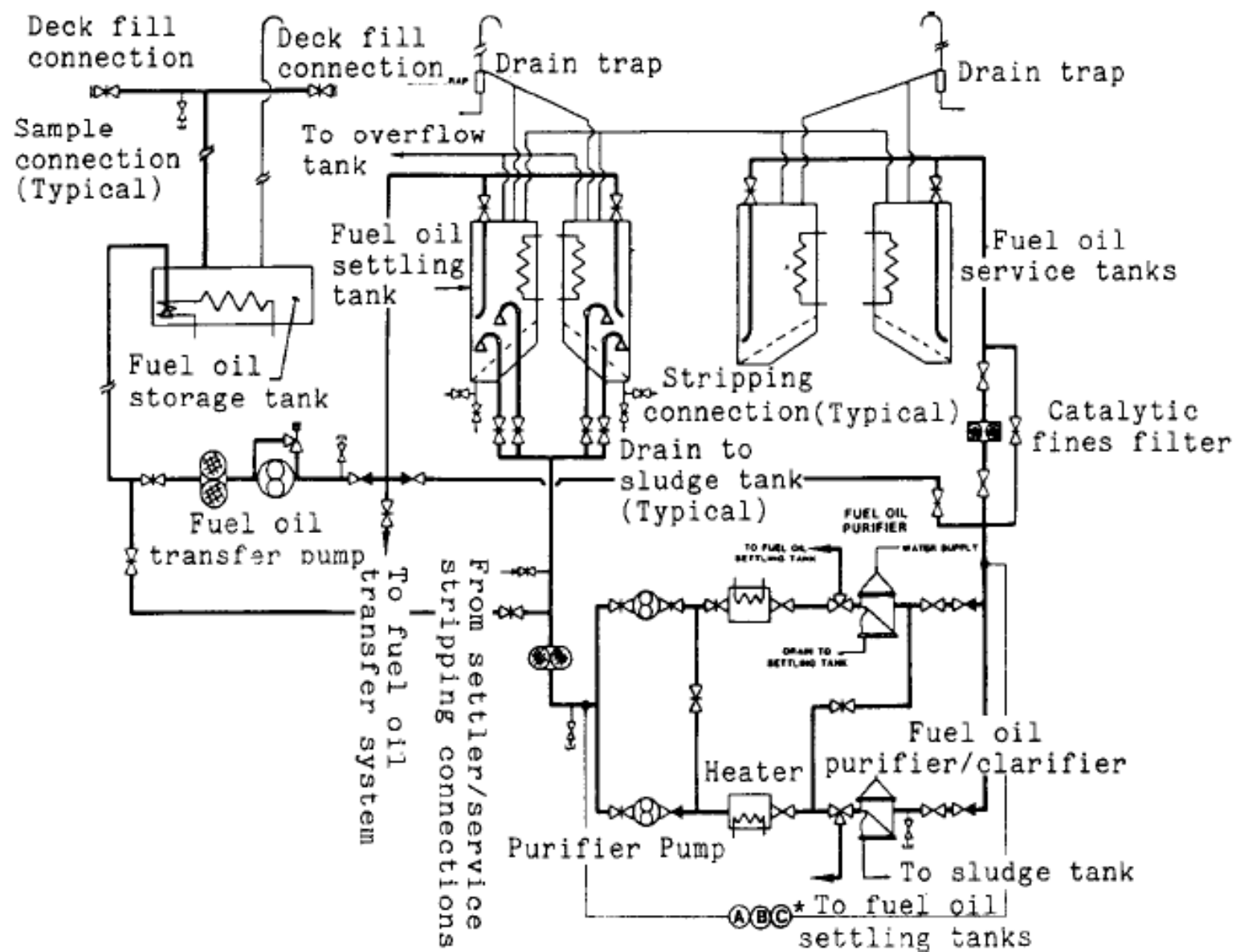
Le casse andranno quindi coibentate per ridurre le dispersioni termiche ed il consumo di vapore, così come le tubazioni, le quali oltre ad essere coibentate saranno anche affiancate da un tubicino di rame contenente vapore, dato che va assolutamente evitato l'abbassamento della temperatura del combustibile al di sotto del pour point in qualsiasi punto dell'impianto.

Saranno altresì presenti scambiatori di calore per correggere la temperatura.

A differenza dell'impianto per la movimentazione del MDO, si nota la presenza di uno stadio di stoccaggio intermedio, costituito dalle casse di decantazione ove il combustibile viene inviato dalle casse di deposito tramite le pompe di trasferimento.

Le casse di decantazione hanno il fondo notevolmente inclinato e sono altresì riscaldate in maniera che, in condizioni di ridotta viscosità e sotto l'azione della forza di gravità applicata per un determinato tempo, i componenti più pesanti e l'acqua si accumulino sul fondo, da cui verranno drenati ed inviati ad una apposita cassa drenaggi per essere sottoposti ad ulteriori trattamenti o scaricati.

Combustibili navali



Combustibili navali

Circuito imbarco e movimentazione Heavy Fuel Oil

Le casse di decantazione sono generalmente due per consentire un adeguato tempo di sedimentazione.

Dalle casse di decantazione il combustibile viene trasferito ai depuratori centrifughi, i quali continuano l'opera di rimozione dell'acqua e dei residui solidi in sospensione.

I depuratori sono predisposti per lavorare in serie o in parallelo, a seconda delle esigenze e di quanto previsto in fase di progettazione ed il fluido elaborato può essere inviato alle casse di servizio o ritornare eventualmente nella cassa di decantazione o ancora al depuratore in caso di particolari problematiche di contaminazione del combustibile.

Combustibili navali

Circuito alimento Heavy Fuel Oil

Anche il circuito di alimento al motore nel caso del combustibile pesante risulta molto più complesso.

Dalle casse giornaliere, che sono a pressione atmosferica, il combustibile viene inviato ad una cassa mixer che invece si trova ad una pressione di circa 0.5 MPa, sotto l'azione di una pompa detta pompa di alimento. A valle della pompa è previsto un circuito di bypass che interviene a limitare l'aumento di pressione.

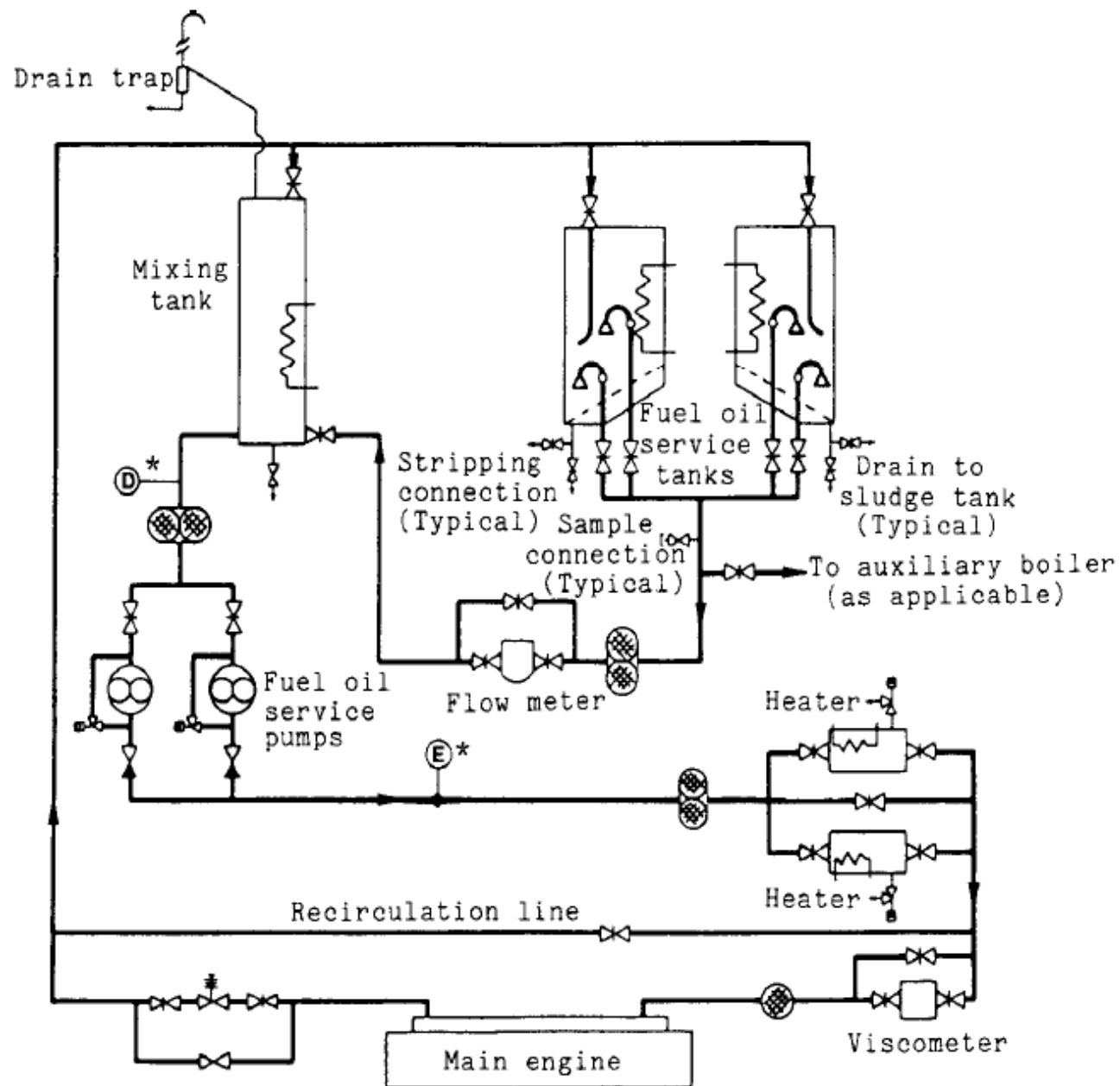
La cassa mixer in verità non ha più questa funzione e pertanto viene definita più correttamente anche buffer tank, ha invece la funzione di mantenere il circuito di alimentazione vero e proprio sotto pressione, per evitare la formazione di sacche di vapore che potrebbero nascere per la presenza di acqua residua e alte temperature.

Il fuel viene aspirato da un ulteriore gruppo di pompe, dette pompe di spinta, le quali sono realizzate per ottenere una pressione di circa 0.8÷1.1 MPa

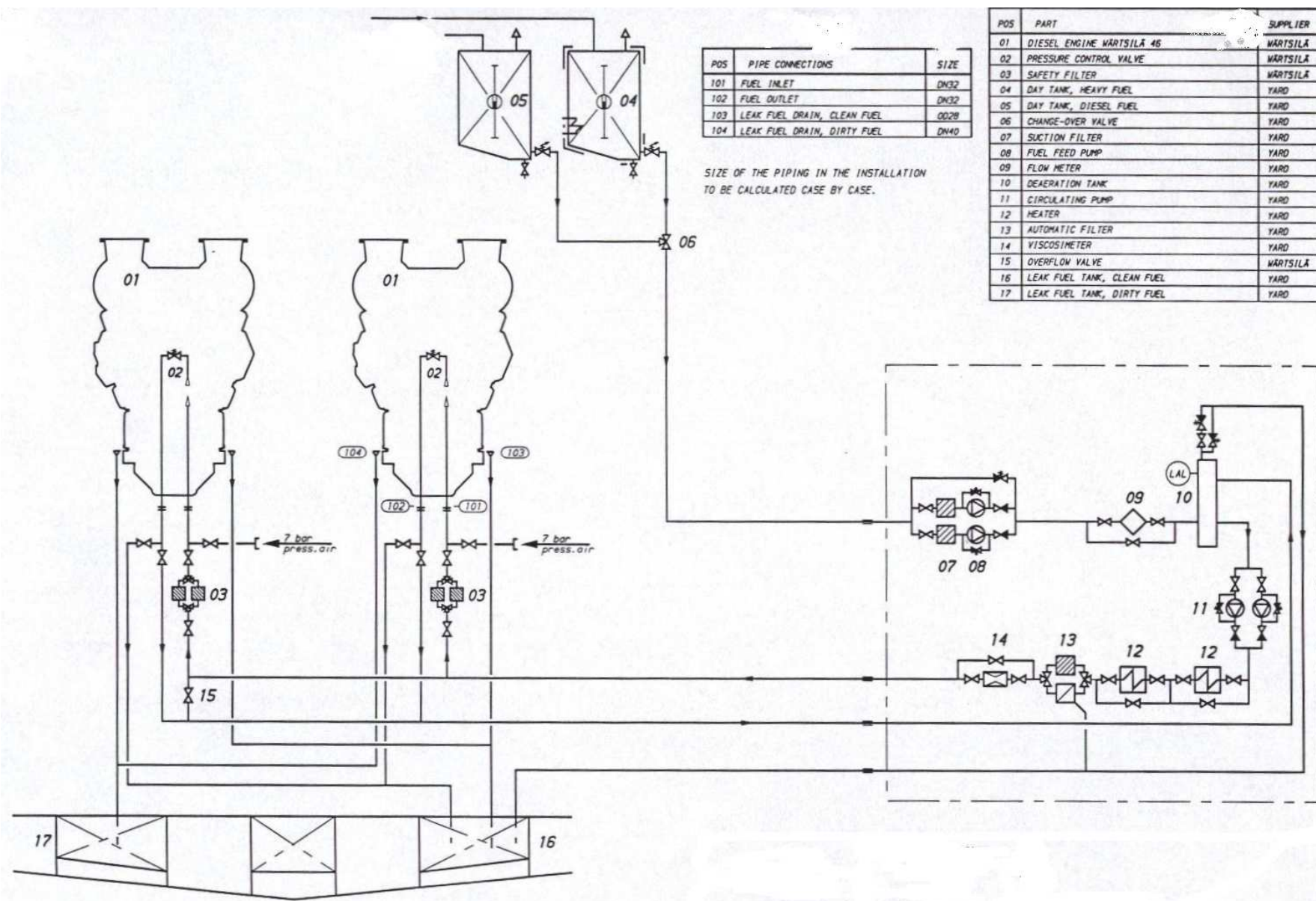
Dopo aver attraversato la pompa il fluido incontra uno scambiatore che ne varia la temperatura in maniera da realizzare il richiesto grado di viscosità per l'invio al motore.

È possibile che realizzare il controllo della viscosità in maniera indiretta rilevando a valle dello scambiatore solo la temperatura del fluido oppure misurando con uno strumento detto viscosimetro direttamente il valore di viscosità del fluido ed effettuando il controllo direttamente su di essa agendo sempre sulla temperatura tramite lo scambiatore.

Combustibili navali



Combustibili navali



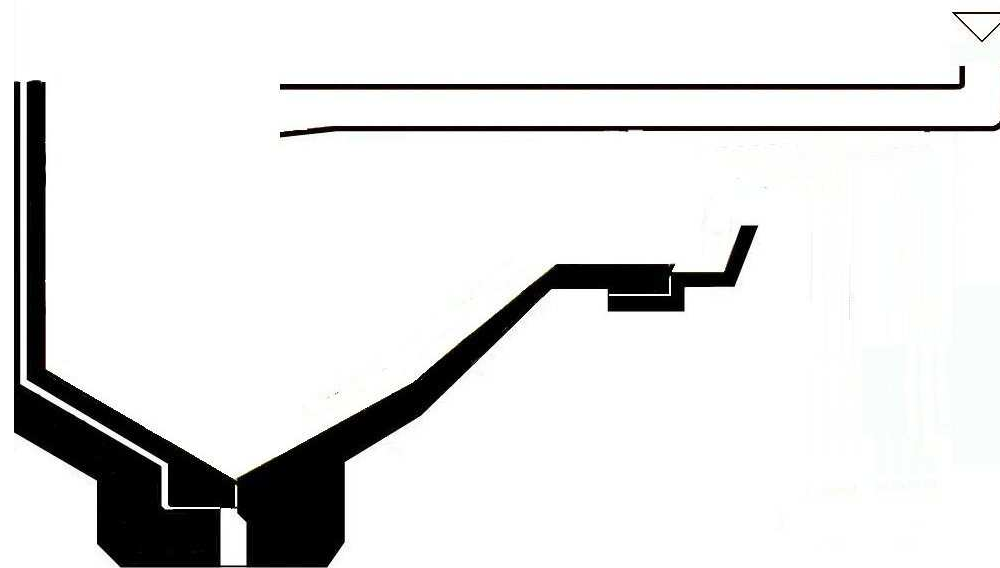
Combustibili navali

Depuratore centrifugo

Realizza la rimozione dei contaminanti solidi e soprattutto dell'acqua dal combustibile; in particolare viene utilizzato non solo per il combustibile residuale, ma anche per il marine diesel.

Il principio di funzionamento non è difforme dal processo di decantazione, il quale ha la caratteristica di svolgersi sotto l'azione della forza di gravità.

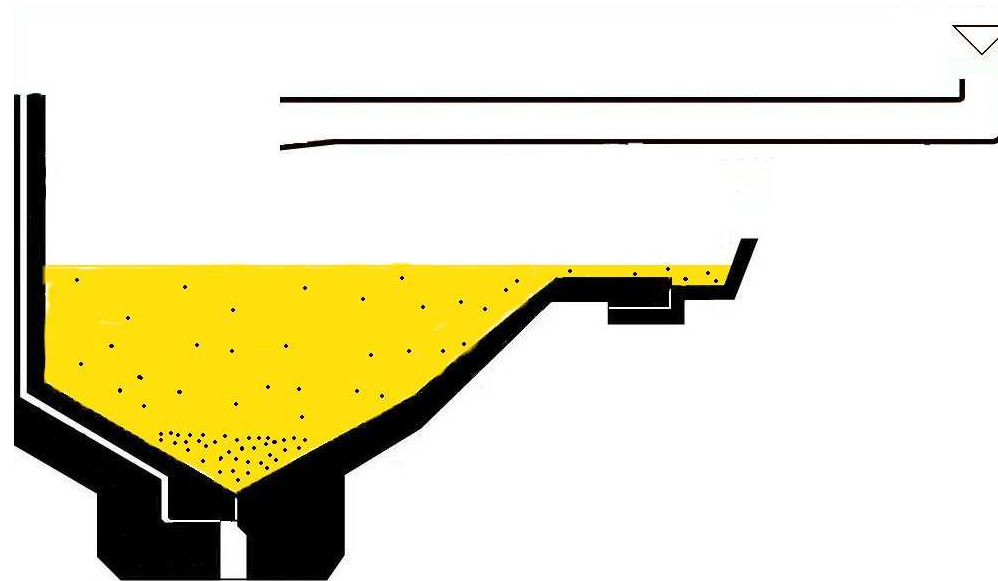
Considerando un recipiente di forma particolare



Depuratore centrifugo

Riempiendo il recipiente con un liquido contenente particelle di densità maggiore, queste sotto l'azione della forza di gravità tendono ad accumularsi sul fondo.

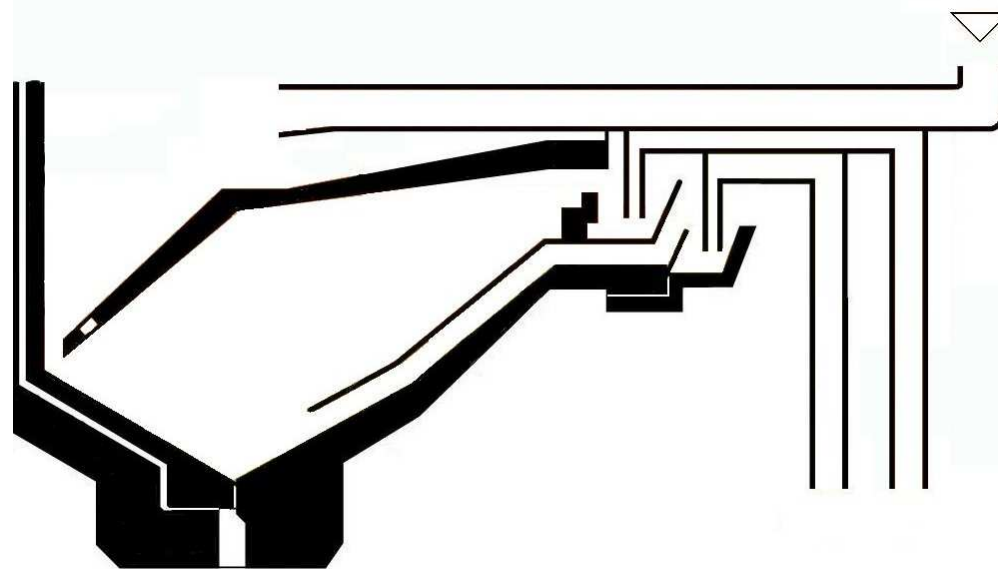
Il problema di questo dispositivo è che la separazione non può avvenire in maniera continua ma, come per le casse di decantazione, dopo aver caricato la vasca bisogna attendere un certo tempo affinché il processo si completi ed altro liquido possa essere trattato.



Combustibili navali

Depuratore centrifugo

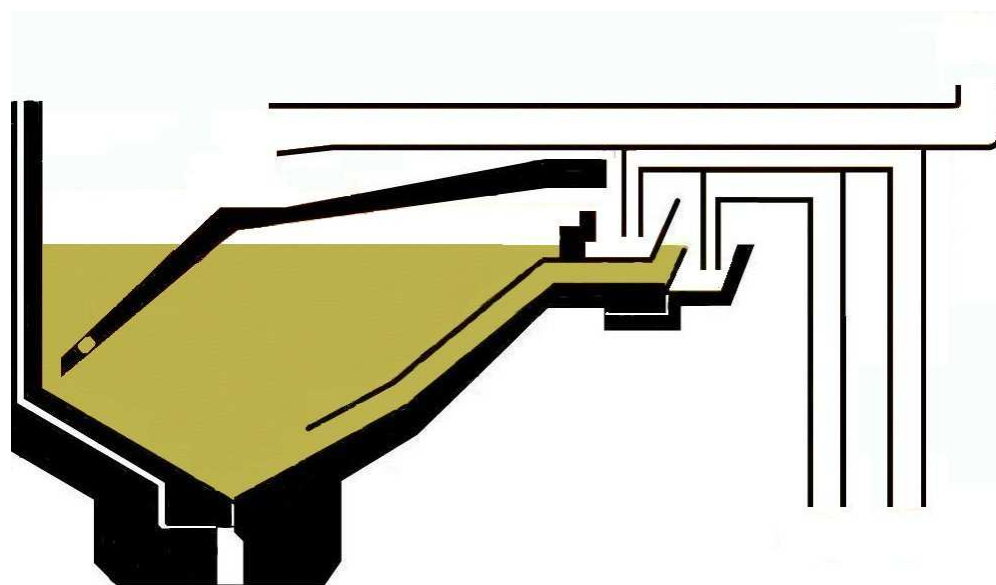
Lasciando inalterata la forma della vasca dei precedenti esempio, si realizzano dei particolari percorsi per l'ingresso del fluido iniziale e per l'uscita del fluido depurato e della frazione fluida (acqua) contaminante.



Combustibili navali

Depuratore centrifugo

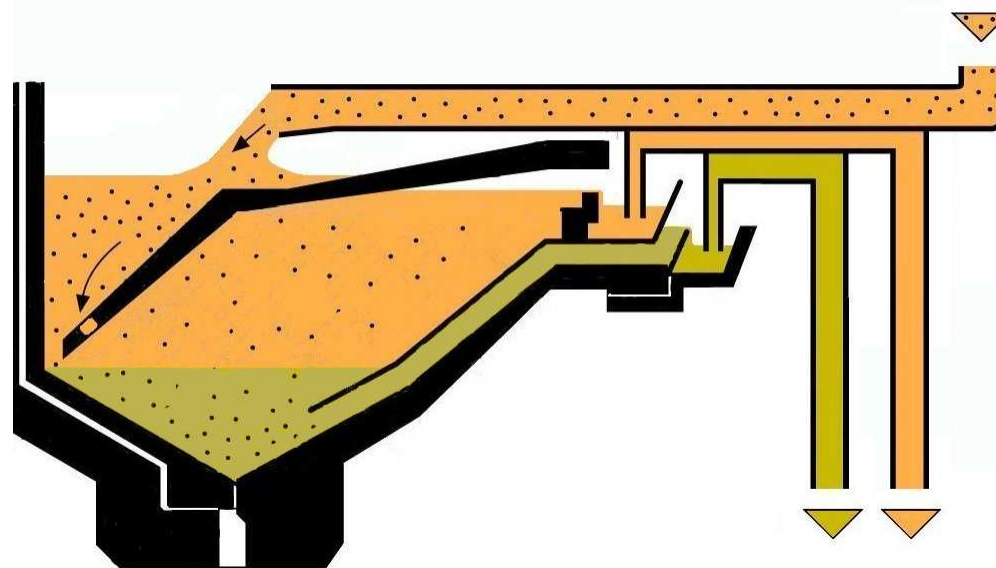
Si inizia il processo riempiendo inizialmente la vasca con acqua



Combustibili navali

Depuratore centrifugo

Si invia quindi il fluido da trattare. Regolando opportunamente l'altezza dei setti, in particolare quello che determina lo scarico dell'acqua, si realizza un processo in cui il fluido con una ridotta percentuale di contaminanti esce viene prelevato dalla vaschetta superiore e il fluido contaminante viene prelevato dalla vaschetta inferiore



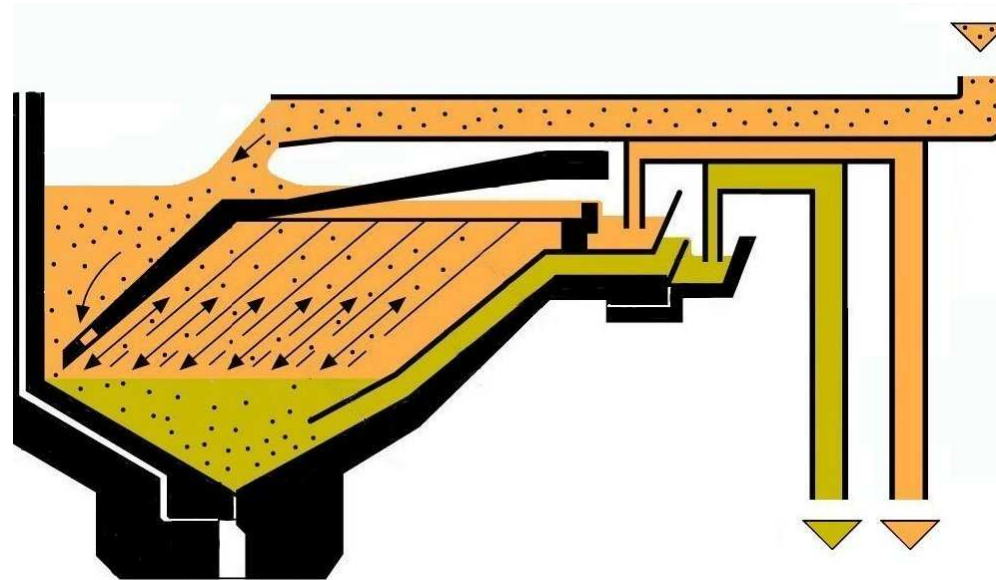
Combustibili navali

Depuratore centrifugo

L'efficienza del processo si può migliorare utilizzando un numero maggiore di dischi

La presenza dei dischi fa in modo che le particelle siano soggette sia alla forza di gravità, diretta verso il basso, sia alla forza di trascinamento che invece tende a portare le particelle verso l'uscita e quindi a risalire il condotto che si è venuto a creare.

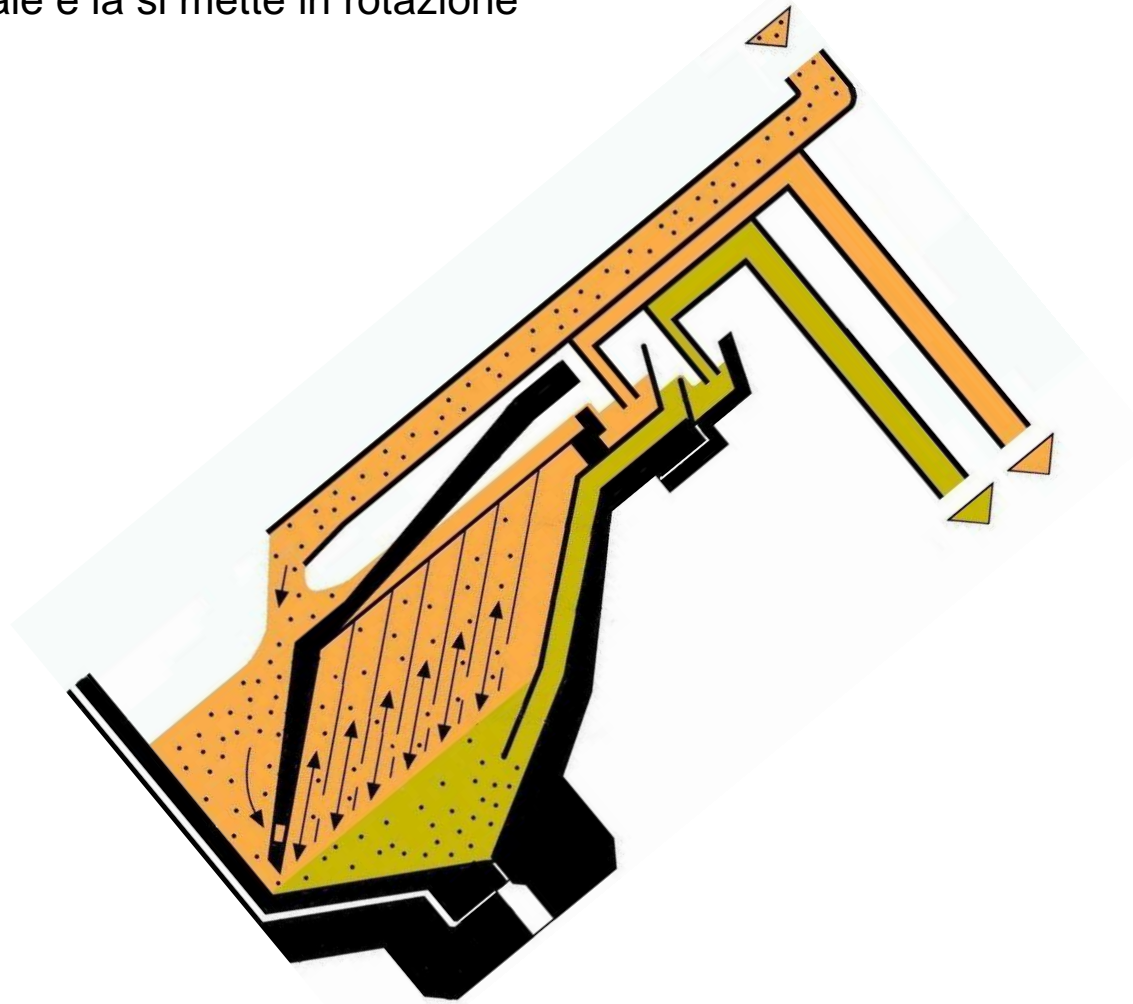
La forza di trascinamento non dipende dalla densità, ma la forza peso sì.



Combustibili navali

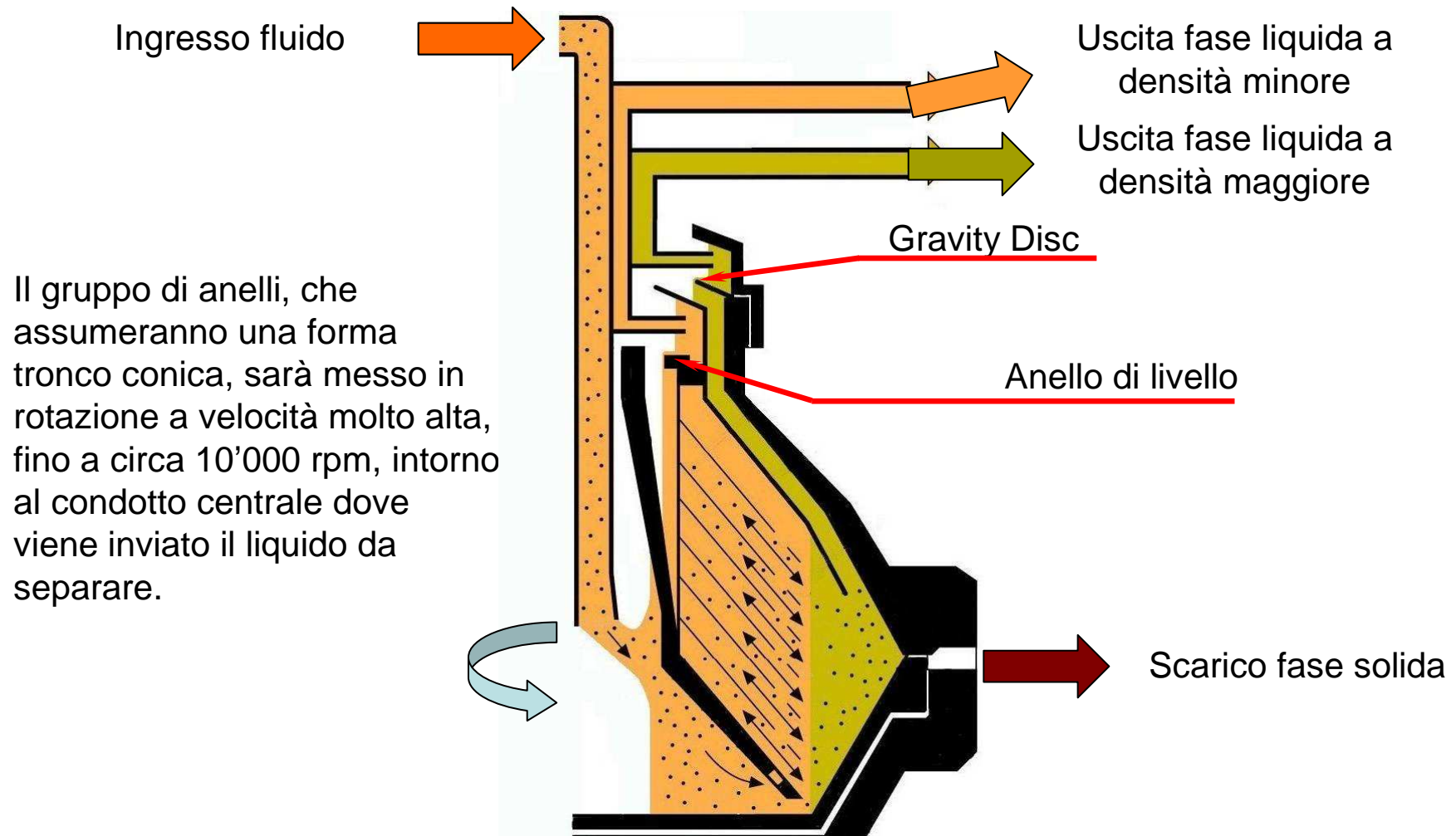
Depuratore centrifugo

Per esaltare il processo di separazione conviene utilizzare una forza che dipende dalla densità che abbia una intensità maggiore, quindi si realizza la vasca in posizione verticale e la si mette in rotazione



Combustibili navali

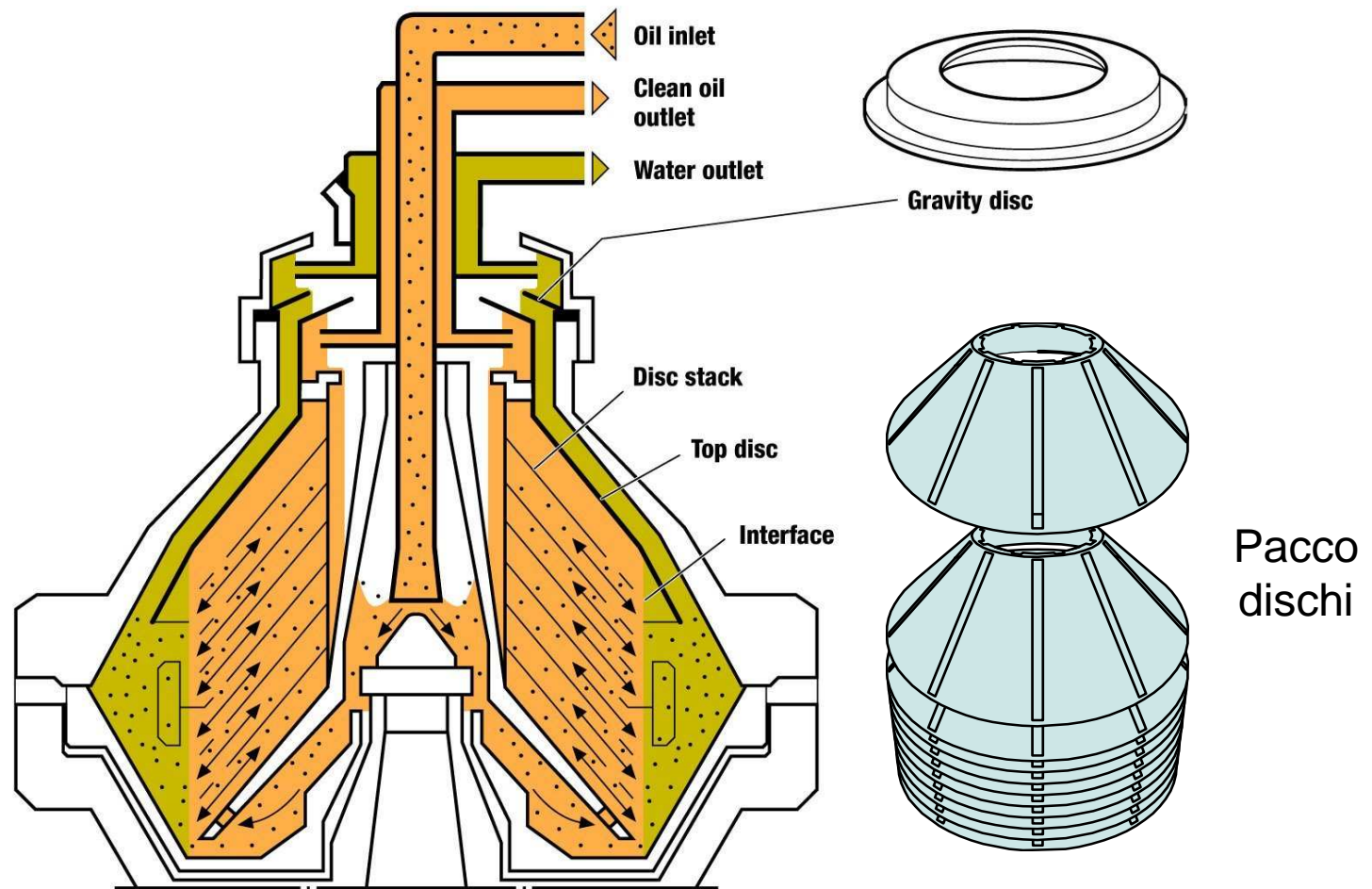
Depuratore centrifugo



Combustibili navali

Depuratore centrifugo

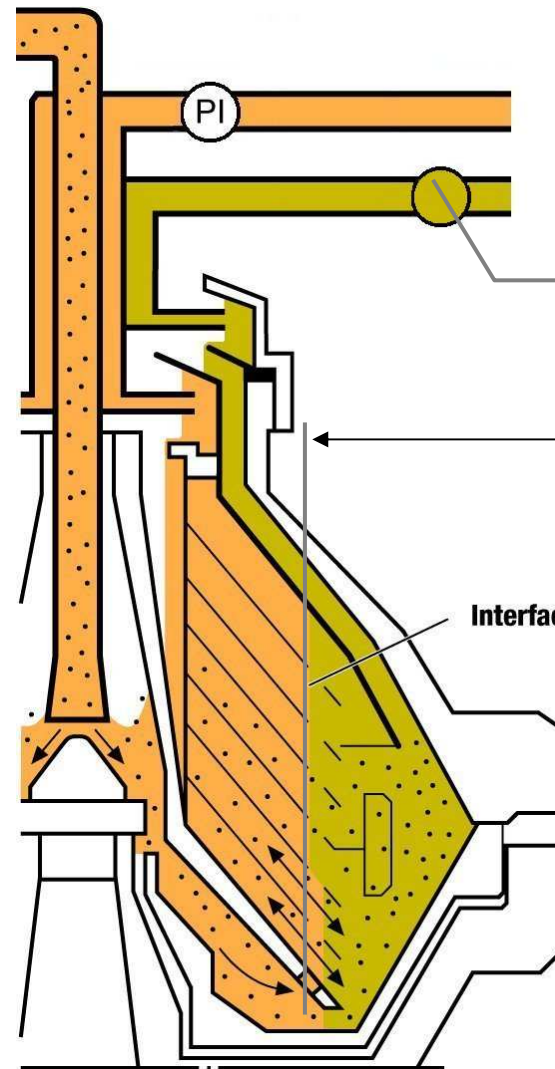
In configurazione purificatore, il dispositivo è in grado di allontanare sia l'acqua che i residui solidi dal fluido



**Factors affecting
interface position: 1**

Gravity disc *too small*

- Density of oil *decrease*
- Viscosity of oil *decrease*
- Flow rate *decrease*
- Temperature of oil *increase*



- Water coming in
Water outlet

- Interface moving
towards centre:

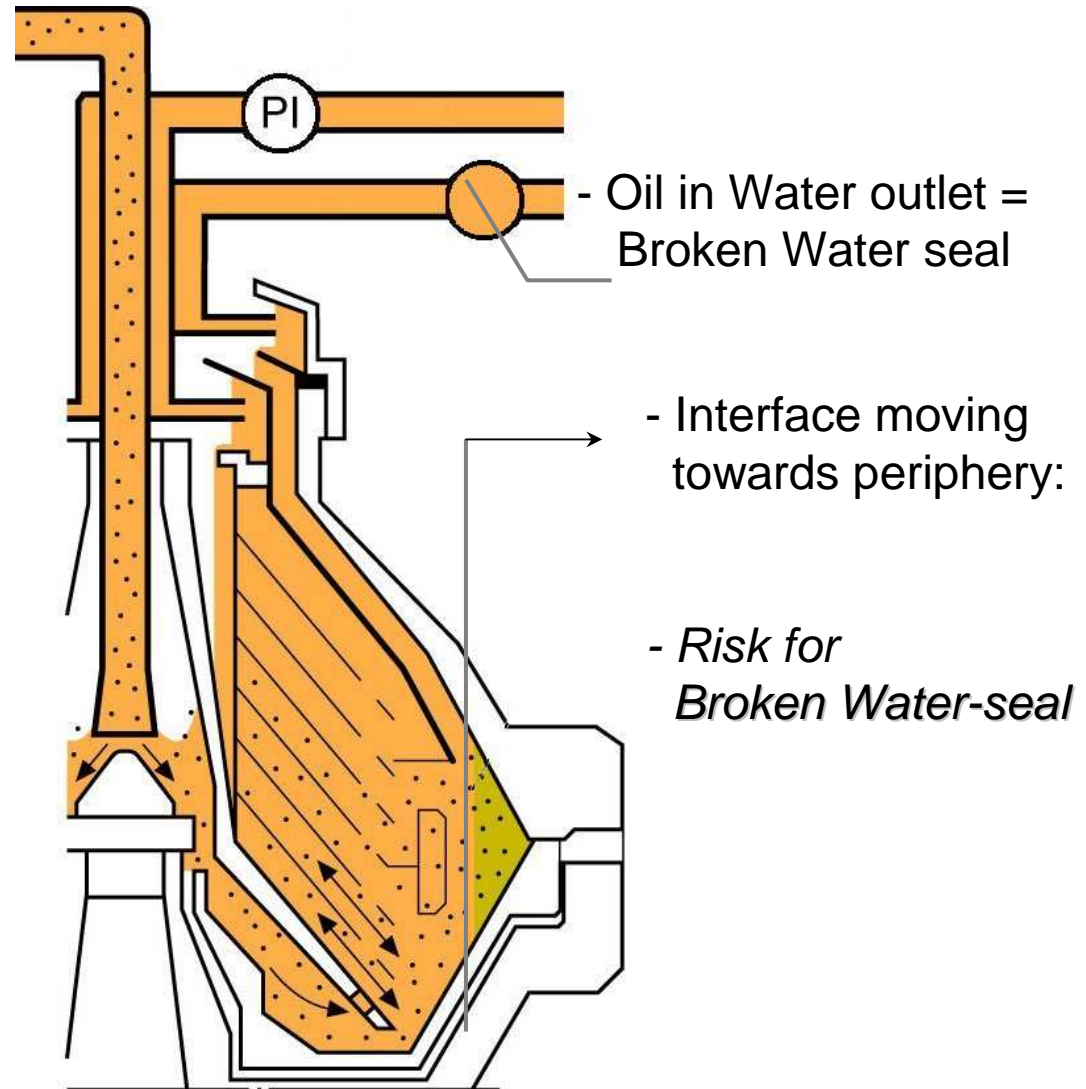
- *Water blocking
disc stack*

- *Risk for
Bad separation*

**Factors affecting
interface position: 2**

Gravity disc *too big*

- Density of oil *increase*
- Viscosity of oil *increase*
- Flow rate *increase*
- Temperature of oil *decrease*
- Disc stack *dirty*

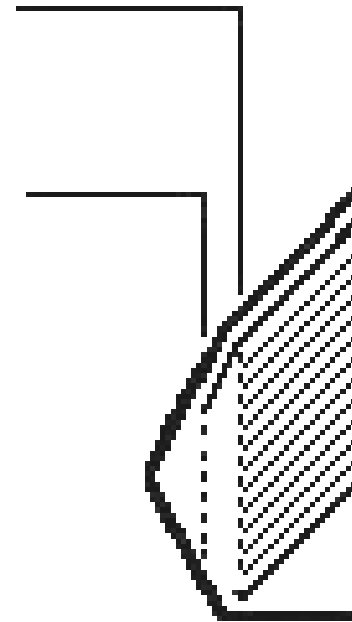


Combustibili navali

Depuratore centrifugo

Outside the outer edge of the disc-stack

Inside the outer edge of the top-disc



Combustibili navali

Depuratore centrifugo

L'equilibrio del processo dipende dal equilibrio delle forze in gioco e dalle caratteristiche fisiche dei fluidi.

In particolare la forza di trascinamento cui è sottoposto una particella all'interno del fluido dipende dalla velocità delle particelle limitrofe e quindi dalla portata; inoltre dipende dalla viscosità, che può essere considerata responsabile dell'azione che le particelle limitrofe esercitano su di essa, e quindi in definitiva dalla temperatura

La forza centrifuga invece dipende dalla velocità di rotazione del pacco dischi ed agisce in maniera differente a seconda della densità delle particelle

Nel funzionamento ottimale si deve realizzare la condizione che le particelle più leggere risalgono il pacco dischi sostenute dalla velocità di trascinamento, mentre quelle di maggiore densità vanno ad accumularsi ai lati del serbatoio. In particolare l'acqua viene continuamente espulsa dalla tasca esterna, mentre i residui solidi si addensano nella parte estrema.

Un movimento di sollevamento del coperchio, azionato idraulicamente, rende possibile l'espulsione della parte solida.

Combustibili navali

Depuratore centrifugo

Il funzionamento corretto del depuratore si ottiene realizzando le seguenti condizioni:

- scegliendo correttamente la dimensione del disco di gravità;
- mantenendo pulito il pacco dischi;
- mantenendo costanti le caratteristiche del fluido in ingresso, ovvero viscosità e densità, il che significa mantenere costante la temperatura
- mantenendo costante la portata del fluido in ingresso

Combustibili navali

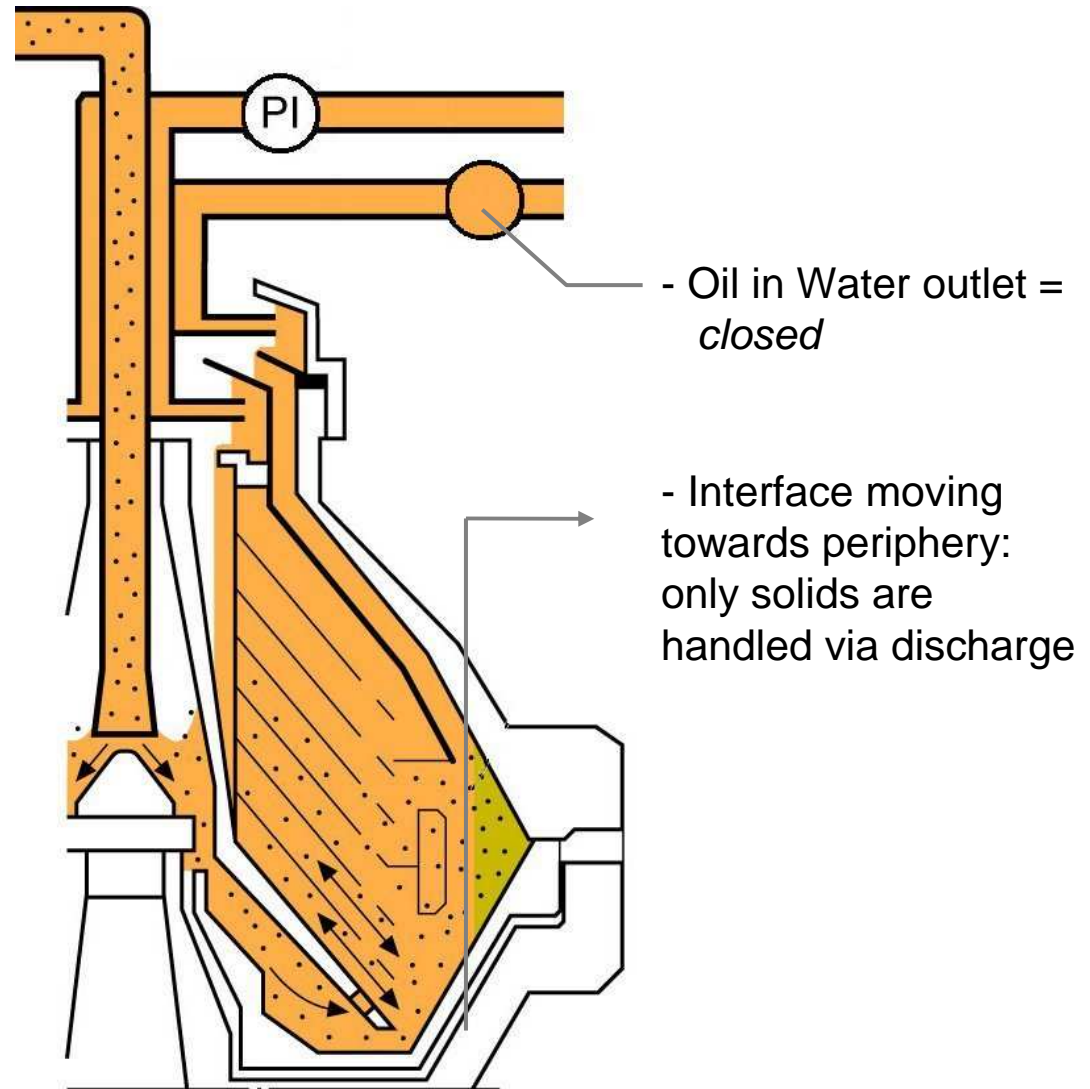
Chiarificatore

**interface position
not controlled**

Gravity Disc *smallest*

- Zero control of water
- Better control of solids

nel funzionamento da
chiarificatore non viene rimossa
l'acqua ma solo le particelle
solide



Combustibili navali

