



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

*Vittorio BUCCI*

**Progetto di impianti di propulsione navale**

## **9.10 IMPIANTO DI DEPURAZIONE**

---

Anno Accademico 2017/2018

**LA DEPURAZIONE**

I combustibili e gli olii lubrificanti che si imbarcano a bordo sono ben lungi da essere privi di impurità e specialmente per i combustibili è indispensabile eliminare il massimo possibile di particolati solidi e di acqua.

Lo stesso discorso può essere fatto per gli olii lubrificanti che, se è vero che sono imbarcati puliti e pronti ad essere impiegati, è anche vero che dopo breve tempo di impiego risultano inquinati dai residui della combustione e dall' acqua, sempre presente in tutti gli impianti.

Per evitare che le impurità, i residui della combustione e l'acqua possano gravemente compromettere l' efficienza di motori, riduttori, cuscinetti etc. questi fluidi devono essere continuamente trattati e depurati fino a renderli idonei ad essere usati senza causare problemi di sorta.

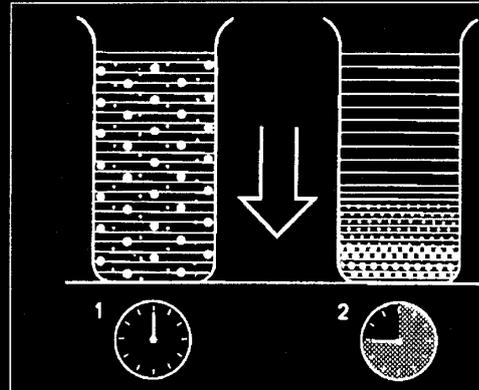
La soluzione per eliminare tali impurità sono i separatori centrifughi.

Di seguito sono indicati i principi fondamentali della separazione ed una descrizione sul modo di depurare di un separatore standard. Come esempio si è scelto un separatore ALFA LAVAL tipo MOPX.

## Principi fondamentali della separazione

Lo scopo della separazione può essere:

- liberare un liquido dalle particelle solide.
- separare due liquidi di densità diversa tra loro insolubili, rimuovendo contemporaneamente qualsiasi particella solida.
- separare e concentrare le particelle solide di un liquido.



*Sedimentazione per gravità*

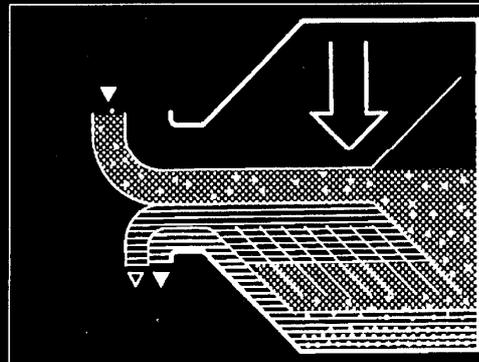
### Separazione per gravità

Un liquido torbido in un recipiente fermo si separa lentamente, poiché le particelle pesanti nella miscela liquida scendono verso il fondo per gravità.

La fase liquida più leggera sale verso l'alto mentre la più pesante scende verso il basso.

Separazione e sedimentazione continua possono essere ottenute in una vasca di decantazione le cui uscite siano sistemate a livelli adeguati in base al rapporto di densità delle due fasi liquide.

Qualsiasi particella solida e più pesante nella miscela liquida si depositerà sul fondo formando uno strato di sedimentazione sul fondo della vasca.



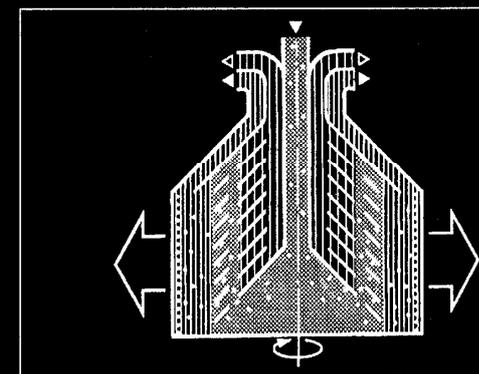
*Sedimentazione in una vasca di decantazione con le uscite sistemate in modo tale da permettere la separazione della fase più leggera dalla fase più pesante del liquido.*

### Separazione centrifuga

In un recipiente che ruota rapidamente la funzione svolta dalla gravità viene aumentata dalla forza centrifuga che può essere migliaia di volte maggiore.

Separazione e sedimentazione diventano processi continui e molto veloci.

Sottoponendo particelle liquide e solide di una miscela all'azione della forza centrifuga in un tamburo separatore occorrono solo pochi secondi per ottenere un processo che richiederebbe molte ore in una vasca solo per gravità.



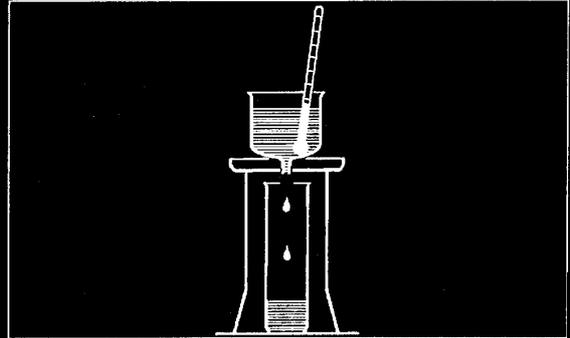
*La soluzione centrifuga*

## Temperature di separazione

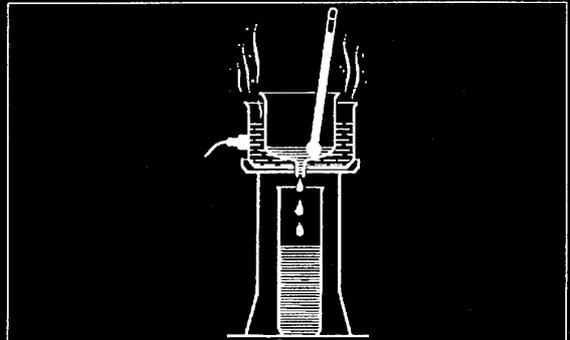
Un'elevata temperatura di separazione solitamente migliora i risultati della separazione di alcuni tipi di liquidi come gli olii minerali. La temperatura influisce sulla viscosità e sulla densità dell'olio e deve essere mantenuta costante durante il processo di separazione.

### Viscosità

Una bassa viscosità migliora il risultato della separazione. La viscosità in molti casi può essere ridotta mediante riscaldamento.



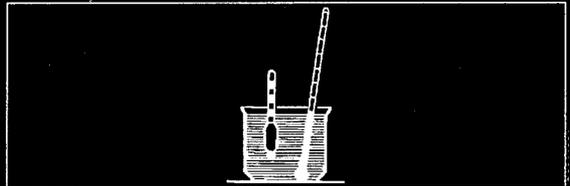
*Viscosità elevata (temperatura bassa)*



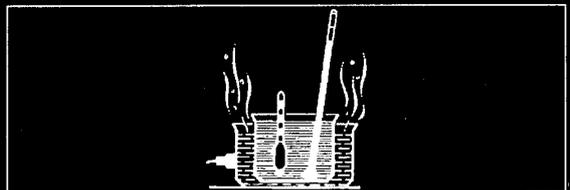
*Viscosità bassa (temperatura elevata)*

### Differenza di peso specifico

Maggiore è la differenza del peso specifico, più facile è la separazione. Tale differenza può essere accresciuta mediante riscaldamento.



*Densità elevata (temperatura bassa)*



*Densità bassa (temperatura elevata)*

## Parti del separatore

Il separatore è costituito da una parte che svolge la funzione operativa e da una parte che svolge la funzione di comando. Viene azionato da un motore elettrico (10).

La struttura meccanica del fusto del separatore è composta da una parte inferiore, una parte superiore ed un cappello. Il motore prevede il fissaggio a flangia con il fusto, come mostrato nella figura. Sui piedi del fusto (5) viene installato uno smorzatore di vibrazioni.

La parte inferiore del separatore contiene il dispositivo di comando orizzontale (6), l'albero comando con il giunto (8, 9), un ingranaggio elicoidale (7) ed un albero verticale (3).

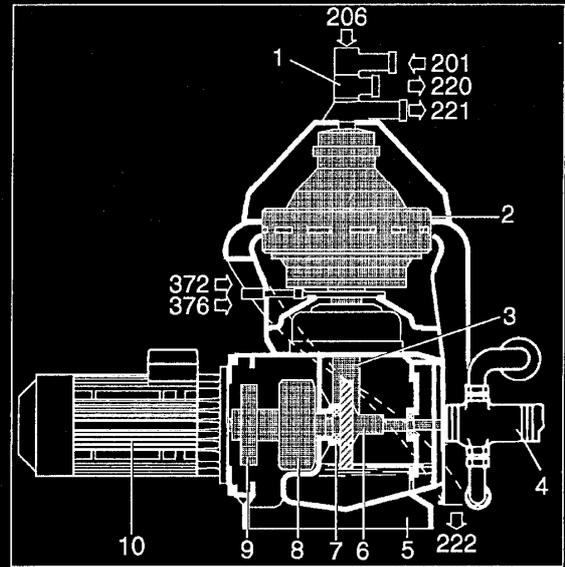
La parte inferiore contiene anche un bagno d'olio per lubrificare le parti rotanti, un freno ed un contagiri.

La parte superiore del fusto contiene le parti operative del separatore, l'alimentazione e gli scarichi (1).

Il liquido viene purificato nel tamburo del separatore (2). Questo è installato sull'estremità superiore dell'albero verticale e ruota ad una velocità elevata all'interno dello spazio tra l'estremità superiore del fusto ed il cappello del fusto. Il tamburo inoltre contiene il meccanismo di scarico dei fanghi.

Le bocche d'alimentazione e gli scarichi principali sono indicati nella figura con i numeri delle connessioni. Questi numeri corrispondono ai numeri utilizzati nell'elenco connessioni e nei disegni d'ingombro

Il separatore può essere fornito con una pompa di alimentazione (4), come dispositivo optional.



1. Dispositivo di alimentazione e di scarico
2. Tamburo
3. Dispositivo di comando verticale con albero del tamburo
4. Pompa di alimentazione (optional)
5. Piedi del fusto
6. Dispositivo di comando orizzontale
7. Ingranaggio elicoidale
8. Giunto frizione
9. Giunto in gomma
10. Motore elettrico

201. Alimentazione olio da separare
206. Alimentazione liquido di protezione
220. Scarico olio purificato
221. Scarico acqua
222. Scarico fango
372. Alimentazione acqua di apertura del tamburo
376. Alimentazione acqua di chiusura e di manovra del tamburo

## Trasmissione meccanica del moto

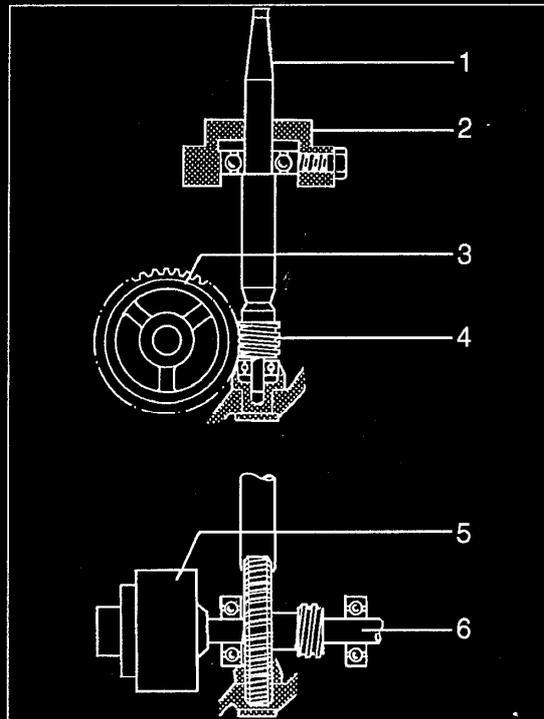
Le parti principali interessate alla trasmissione del moto tra motore e tamburo sono illustrate nella figura accanto.

L'innesto a frizione assicura un avviamento ed un'accelerazione morbida e contemporaneamente evita il sovraccarico dell'ingranaggio elicoidale e del motore.

Il rapporto tra ruota elicoidale e vite senza fine aumenta di molto la velocità del tamburo rispetto alla velocità del motore. Per stabilire il rapporto corretto, vedere il capitolo "8.1 Dati tecnici" a pagina 184.

Per contenere l'usura del cuscinetto e la trasmissione delle vibrazioni del tamburo al fusto ed alla fondazione, il cuscinetto superiore dell'albero del tamburo viene montato in un corpo a molla.

La ruota elicoidale ruota in un bagno di olio lubrificante. I cuscinetti sull'albero del tamburo e sull'albero della ruota elicoidale sono lubrificati dagli spruzzi d'olio prodotti dalla rotazione della ruota elicoidale.

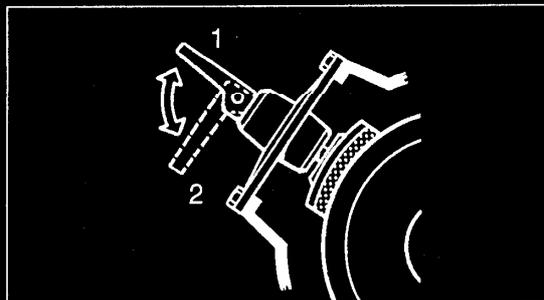


1. Albero del tamburo
2. Cuscinetto superiore e corpo molla
3. Ruota elicoidale
4. Vite senza fine
5. Innesto a frizione
6. Albero della ruota elicoidale

## Freno

Il separatore è dotato di un freno azionato manualmente che deve essere utilizzato per fermare il separatore. L'uso del freno riduce il tempo di rallentamento del tamburo, oltrepassando quindi velocemente la velocità critica.

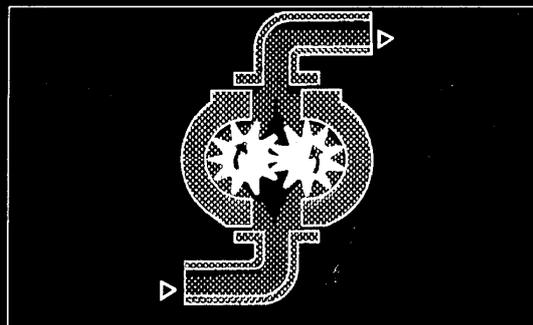
Il ferodo della frizione del freno agisce all'esterno della campana del giunto.



Inserzione (1) e rilascio (2) del freno

### Pompa di alimentazione (opzionale)

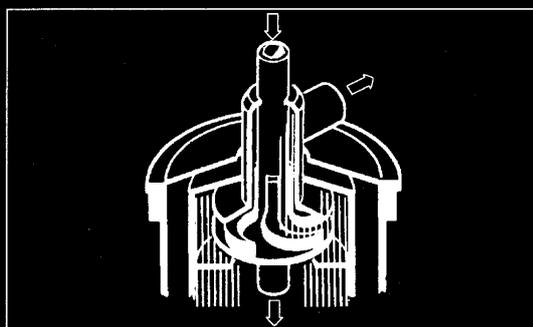
Il separatore può essere fornito con una pompa di alimentazione ad ingranaggi incorporata. La pompa sarà collegata ed azionata dall'albero orizzontale della ruota elicoidale.



*Pompa di alimentazione ad ingranaggi (opzionale)*

### Pompa centripeta

La pompa centripeta serve come pompa stazionaria di scarico montata in una camera nella parte superiore del tamburo rotante. La pompa centripeta si immerge radialmente nel liquido rotante, che viene quindi scaricato.



*Pompa centripeta*

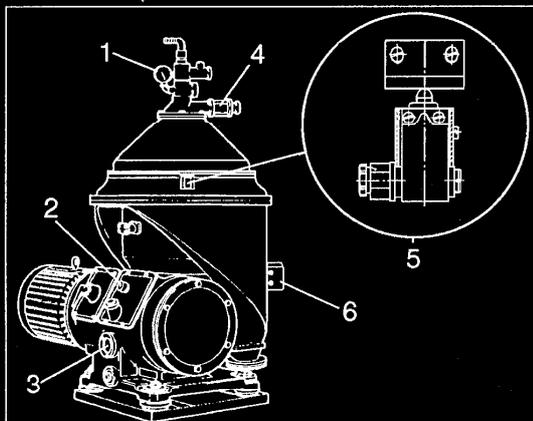
### Sensori ed indicatori

#### Manometro contropressione (1)

Per stabilire il valore massimo della contropressione nello scarico dell'olio depurato, vedere il paragrafo "4.1.5 Funzionamento" a pagina 40 o preferibilmente il manuale dell'impianto generale, qualora ne esistesse uno.

L'aumento della contropressione nello scarico dell'olio depurato può essere provocato da:

- restrizioni nella tubazione di scarico, un tubo deformato o piegato,
- maggiore capacità produttiva,
- viscosità più elevata, temperatura di separazione ridotta.



1. Manometro contropressione
2. Contagiri
3. Vetro spia per l'olio
4. Vetro spia per lo scarico dell'acqua separata
5. Microinterruttore di sicurezza sul coperchio (opzionale)
6. Sensore di vibrazioni (opzionale)

## Sistemazione e Dimensionamento Moduli

### Combustibile

Prima di addentrarci nella disamina della scelta dei depuratori nafta (combustibile) bisogna ricordare che, come precedentemente accennato, a bordo di una nave esistono SEMPRE almeno due tipi di combustibile. I tipi più usati sono:

1. nafta pesante (Heavy Fuel Oil da questo momento **HFO**) con densità fino 700 cSt a 50°C (peso specifico fino a 0,97 kg/dm<sup>3</sup>)
2. nafta leggera (Marine Diesel Oil – da questo momento **MDO**) densità attorno ai 14 cSt a 50°C (peso specifica 0,86 kg/dm<sup>3</sup>)
3. Gasolio (Marine Gas Oil da questo momento **MGO**) densità attorno ai 7-10 cSt a temperatura ambiente (peso specifica <0,85 kg/dm<sup>3</sup>)
4. Nelle navi con apparato motore composto anche da turbine a gas, si imbarca anche un MGO del tipo aeronautico. Per la sua pericolosità (basso punto di autoaccensione (flash point) , grande volatilità, etc) è causa di particolari attenzioni nel progetto del sistema (tubolature a doppia parete, percorsi lontani da fonti di calore, trattamenti interni delle tubolature atti a prevenire inquinamenti del fluido, depurazione spinta per eliminare totalmente acqua e materiali alcalini etc) che rendono l' impianto quanto mai complicato nella sistemazione e gestione.

Lo schema di massima che segue, relativo agli impianti di depurazione, indica un unico modulo per ogni singolo sistema, in realtà però, per motivi di ridondanza e sicurezza, si opera come sotto descritto.

Una volta stabiliti i due tipi di combustibile, di solito HFO e MDO, si dichiara (anche per definire, secondo le regole degli Enti di Classifica, il numero ed il volume delle casse di decantazione e servizio) quale è il combustibile primario, usualmente HFO, e su questa base si parte per scegliere il tipo ed il numero dei depuratori.

La depurazione deve garantire il consumo orario di tutti i macchinari che usano il combustibile primario, con i motori Diesel che erogano la potenza richiesta per garantire la massima velocità contrattuale alle peggiori condizioni (sea margin incluso) e con la(e) caldaia(e) a nafta al regime dettato dal bilancio vapore.

Partendo dal concetto che è buona norma dividere il volume da depurare su due macchine, che una macchina può essere fuori servizio per manutenzione e che una rifiuta di avviarsi, si evince che il numero minimo di depuratori da installare è quattro (4).

Ricordiamo inoltre che abbiamo da trattare anche il combustibile secondario, MDO, il cui precipuo servizio è di:

- Alimentare un gruppo D/A principale a nave morta (mancanza di vapore per il riscaldamento del HFO)
- flussare i circuiti HFO per pulizia
- rifornire la cassa servizio del Diesel alternatore di emergenza
- rifornire i motori dei tender
- rifornire i motori delle imbarcazioni di salvataggio

Considerando quanto sopra e considerando che i servizi da alimentare sono saltuari, può assumere come consumo massimo da soddisfare la capacità richiesta da un motore principale per un (1) ora e che quindi questo sia il parametro da usare per dimensionare il depuratore.

Non essendo essenziali i servizi alimentati da questo depuratore per la conduzione nave, è sufficiente installare una (1) sola macchina.

## **Lubrificazione**

Per quanto riguarda la scelta di questi depuratori il processo è molto più semplice.

Si parte dal concetto, più che concetto è quasi una imposizione dei Costruttori dei motori primi (Diesel, turbine etc), che ogni motore deve avere un depuratore dedicato e che olio pozzetto (carter) ed olio circuito, anche questo per singola unità, devono essere depurati continuamente, anche a motore fermo.

Nell' arco delle 24h l' intero volume d' olio deve essere depurato per **n** volte.

Il valore di **n** viene calcolato in base a delle formule, contenute nei manuali dei vari Costruttori.

Tali formule tengono in considerazione la potenza del motore, il tipo di combustibile, l' uso del motore (propulsivo o di generazione), se il motore è a due o quattro tempi etc.

Qui di seguito riportiamo la formula riportata nei manuali dei motori MaK ed una per i motori WARTSILA.



## 12. Lubricating oil system

### Treatment at heavy fuel operation

Separator LS 1:

**Required** with the following design:

- Separating temperature 95 °C
- Quantity to be cleaned five times/day
- Utilization 20 % max.
- Self cleaning type

Rated capacity

$$\dot{V}_N \text{ [l/h]} = 1,45 \cdot P_{\text{eng.}} \text{ [Total kW]}$$

WÄRTSILÄ 46

7. Lubricating oil system

#### Separator

The separator should be dimensioned for continuous centrifuging. Each lubricating oil system should have a separator of its own. The separator system must not be designed for water mixing when centrifuging.

Design data:

Lubricating oil viscosity	SAE 40
Lubricating oil density	880 kg/m <sup>3</sup>
Centrifuging temperature	90 - 95°C

The following rule, based on a separation time of 23 h/day, can be used for estimating the nominal capacity of the separator:

$$V(\text{l/h}) = \frac{(1.2...1.5) \cdot P \cdot m}{23}$$

P = total engine output (kW)

m = 4 for MDO

m = 5 for HFO

## Morchia

La morchia, raccolta nella omonima cassa, contiene ancora delle notevoli percentuali di idrocarburi sottoforma di

- residui di combustibile
- olio lubrificante
- scarichi dei depuratori olio/nafta/morchia
- drenaggi/spurghi vari

Tali residui possono essere ulteriormente separati e riutilizzati nelle caldaie per produrre vapore, nell' inceneritore per bruciare i rifiuti solidi od essere scaricate a terra per altri reimpieghi energetici.

Per recuperare questi residui si installano i depuratori morchia .

Visto che le quantità da trattare sono abbastanza limitate ed il servizio sicuramente non è essenziale, un unico depuratore è sufficiente per svolgere questo servizio.

Attualmente sul mercato sono disponibili macchine fino ad un max. di 450 l/h.

Lo scarico di questo depuratore, praticamente fango, viene raccolto nella cassa morchia concentrata e sbarcato a terra manualmente con carriole od in sacchetti di plastica.

## Cosa Comperare

A questo punto abbiamo il valore teorico delle capacità richieste per singolo depuratore e le quantità dei depuratori.

Il numero è già stabilito mentre la capacità finale delle varie macchine sarà quella che più si avvicina, per eccesso, a quelle disponibili sul mercato

Oltre a quanto sopra possiamo stabilire se devono essere ordinati moduli singoli o se le singole macchine devono essere riunite in moduli doppi o tripli.

Per motivi pratici di sistemazione, i più usati sono i moduli singoli e doppi.

I moduli doppi tripli etc. sono ottenuti dall' unione di più moduli singoli in modo che in caso di avaria di un singolo componente l' unità multipla è solamente parzialmente fuori uso.

## Composizione di un Modulo Singolo Standard

Normalmente i moduli di depurazione, sia per il combustibile che per l' olio lubrificante sono composti da:

1. una (1) pompa alimento
2. un (1) riscaldatore a vapore
3. una(1) centrifuga
4. un (1) pannello di controllo/alimentazione
5. un (1) unità di rilancio morchia (opzionale)
6. un (1) telaio di supporto/contenimento

## Dettaglio di funzionamento

1. La pompa alimento è la pompa volumetrica (a viti o ad ingranaggi), che convoglia il fluido da depurare al modulo. Questa pompa normalmente è montata sul modulo stesso ma, in certi casi, le esigenze di sistemazione richiedono che il modulo sia sistemato ad un' altezza superiore al fondo cassa da depurare, la pompa è installata sciolta per assicurarle un battente positivo ed avere la certezza che tutto il contenuto della cassa sia trattato.
2. Il riscaldatore, normalmente a vapore (contrariamente ai moduli spinta nafta in virtù delle relativamente piccole portate non è infrequente l' uso dei riscaldatori elettrici), provvede ad innalzare la temperatura del fluido da quella di stoccaggio (c.ca 50°C per la nafta ed ambiente per l' olio) a quella ottimale per la corretta depurazione (c.ca. 98°C per la nafta e attorno ai 95 per l' olio). Il riscaldatore può essere non installato quando si depurano i combustibili leggeri, ma è comunque buona pratica garantire anche per questi combustibili un minimo di temperatura (sempre ben al di sotto del flash point) per favorirne il processo di depurazione.
3. La centrifuga è la macchina dove avviene fisicamente la depurazione dei fluidi. Dal nome si intuisce che la separazione avviene per centrifugazione. La maggior parte dei particolati pesanti e l' acqua sono spinti, dalla forza centrifuga verso i bordi estremi del tamburo (il pacco dei dischi) della centrifuga e sono periodicamente scaricati a gravità alla cassa morchia. Il fluido depurato viene invece mandato alle casse di servizio per il suo utilizzo nei vari sistemi.
4. Il quadro di alimentazione/controllo serve ad alimentare tutti gli utenti elettrici presenti nel modulo ed a controllare/comandare tutti gli interventi necessari (avvio/stop sequenza scarico morchia,etc) al corretto funzionamento automatico del modulo stesso. Dal quadro partono anche dei segnali/contatti che permettono di visualizzare a distanza ed in certi casi intervenire nelle sue sequenze di funzionamento.
5. L' unità di rilancio morchia è un dispositivo che, installato sul modulo principale o nelle sue immediate vicinanze, consente al depuratore di scaricare la morchia anche in casse sistemate a distanza od anche al di sopra del fondo del depuratore stesso. Esso è formato da una cassetta raccolta morchia (qualche decina di litri) dove si convogliano gli scarichi a gravità del depuratore e da una pompa elettrica o pneumatica (prevalenza attorno ai 2,5-3 barg) che attivata da un livellostato provvede a vuotare la cassetta e ad inviare la morchia nell' apposito deposito in qualsivoglia posizione sia situato.
6. Il telaio è l' hard-ware che supporta il tutto e che permette la facile e corretta installazione del modulo.



# SISTEMAZIONE DI MASSIMA DI MODULI DI DEPURAZIONE

