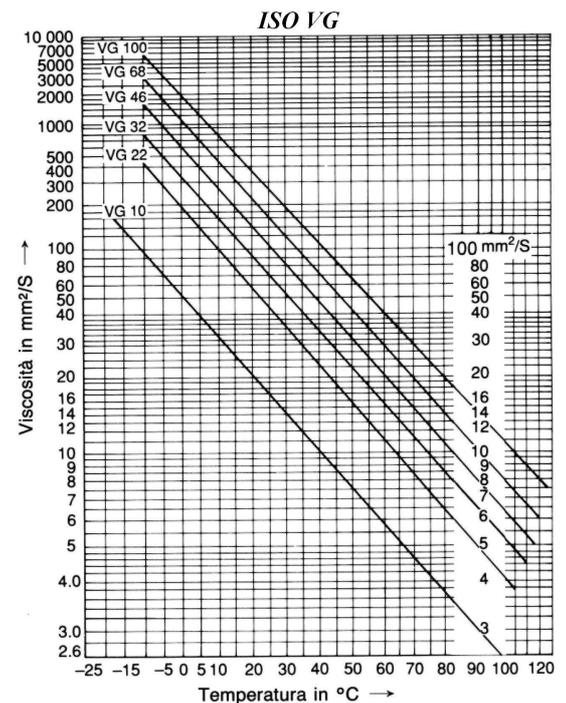
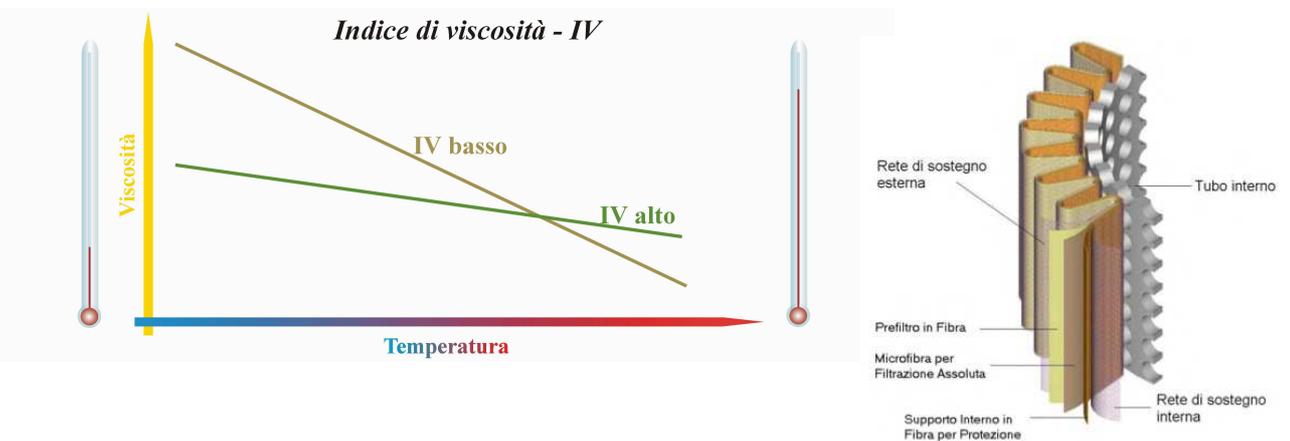


Schede di **Impianti Navali**

Gli oli per i sistemi oleodinamici caratteristiche, contaminazione, filtraggio





**Gli oli per i sistemi oleodinamici
caratteristiche, contaminazione, filtraggio**

versione: **1.1**

file originale: *oli, contaminazione, filtraggio 131206
ver 1_1*

data di stampa: **6/12/2013**

a cura di: *Franco Quaranta*

1 - generalità

In campo navale molte attuazioni meccaniche vengono realizzate utilizzando sistemi oleodinamici di trasmissione della potenza: verricelli, porte stagne, cover deck, portelloni, ecc.

Ogni sistema oleodinamico ha bisogno di olio di formulazione adeguata alle specifiche di funzionamento nonché di un efficace filtraggio che lasci all'olio caratteristiche idonee all'impiego, liberandolo dagli elementi che, per vari motivi, possono essersi insinuati al suo interno; La determinazione del tipo di olio da utilizzare ed il filtraggio da adottare per mantenerne le caratteristiche desiderate sono, dunque, da considerare parti integranti del progetto di un impianto oleodinamico. I sistemi navali possono essere considerati tra i meno caricati nell'ambito delle tante applicazioni che li adottano; a parte il caso di quelli che possono essere usati con continuità nell'ambito della navigazione (come i sistemi di azionamento delle pinne stabilizzatrici) essi, infatti, sono attivi soltanto per brevi o brevissimi periodi dell'esercizio, a ridosso o durante le fasi di approdo o partenza. Ciò rende meno stringenti i requisiti degli oli da adottare.

In pratica, l'approccio più comune alla scelta dell'olio idoneo per un impianto e del relativo filtraggio consiste nel determinare il livello massimo di contaminazione compatibile con il corretto funzionamento e di stabilire quale capacità di filtraggio minima debba avere il filtro da adottare.

2 - gli oli

La moltitudine di impianti destinati alle attuazioni nelle più disparate applicazioni industriali genera l'esigenza di scegliere oli formulati in modo adeguato a soddisfare le diverse esigenze.

Nel campo navale, come si è ricordato, gli impianti oleodinamici sono sostanzialmente simili dal punto di vista strutturale, del carico, della durata di funzionamento; ciò riduce l'esigenza di differenziazione degli oli in funzione delle applicazioni e limita i requisiti da soddisfare per il corretto funzionamento dei sistemi che li ospitano.

Gli oli destinati ai sistemi oleodinamici in campo navale hanno generalmente base minerale e formulazione corretta dall'aggiunta di additivi che ne esaltano alcuni requisiti.

La *viscosità* è il primo e più importante; un fluido viscoso è generalmente anche lubrificante, condizione particolarmente favorevole (è quella che ne decide l'adozione in pressoché tutti gli impianti) in quanto l'olio scorre in tutti i punti dell'impianto contribuendo, con la propria azione lubrificante, a contenere gli attriti tra le parti a contatto e, con essi, perdite di energia ed usura.

La *detergenza* è la capacità di ripulire gli elementi dell'impianto da tutto quanto vi finisce dentro mettendo a rischio il corretto funzionamento. Tale requisito si rende ancor più opportuno se posseduto insieme a quello della *disperdenza*, inteso come capacità di tenere separati gli elementi estranei raccolti dall'olio nel circuito così evitando la formazione di masse di dimensioni crescenti che potrebbero generare intasamento.

Altre caratteristiche sono richieste per evitare il degrado degli elementi del sistema oleodinamico e degli oli stessi. La *stabilità antiossidante*, per esempio, è importante per evitare l'innesco di corrosione negli elementi metallici, così come tutte le *proprietà anti usura*.

La *stabilità idrolitica* evita che possano avere luogo reazioni di ossido riduzione tra parti diverse dell'impianto a contatto con gli oli rendendo possibile la creazione di correnti galvaniche capaci, a loro volta, di fenomeni di usura (e della esaltazione di quelli dovuti ad altre cause); la *stabilità chimica* evita, invece, che l'olio, cambiando composizione e specie chimica (sia pur parzialmente), vari i suoi requisiti originari e rischi di perdere l'idoneità al lavoro nel sistema oleodinamico.

La viscosità è, dunque, uno dei parametri più significativi degli oli in uso nei sistemi meccanici ed in quelli oleodinamici in particolare; gli oli minerali, che forniscono la base per gli oli di uso corrente, hanno generalmente viscosità accettabili a temperature prossime ai 25°. Se, però, la loro formulazione non è corretta da additivi adeguati, essi mostrano una notevole tendenza alla diminuzione della viscosità con l'aumentare della temperatura. Questa tendenza viene descritta quantitativamente dall'*indice di viscosità (IV)* definito come la pendenza della curva che esprime il legame tra viscosità e temperatura; l'IV è quindi pari alla tangente trigonometrica dell'angolo formato dalla curva della viscosità con l'asse delle temperature.

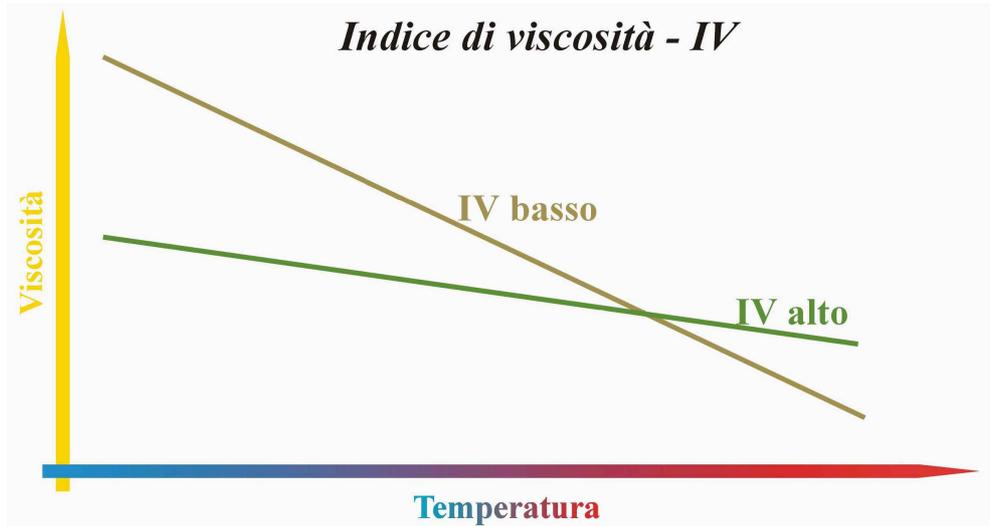


Figura 1 – Indice di viscosità

Data la definizione, ad un indice di viscosità basso corrisponde una forte tendenza alla diminuzione della viscosità con l'aumento della temperatura mentre, viceversa, un più alto IV indica maggiore stabilità della viscosità con la temperatura (e, quindi, una migliore qualità dell'olio).

Per portare l'olio all'indice di viscosità desiderato occorre aggiungere additivi all'olio minerale di base: si tratta, in genere, di polimeri idrocarburici a catena allungata. Queste sostanze hanno la capacità di distendersi all'aumentare della temperatura così generando maggiore resistenza nei contatti che l'olio deve subire nel suo fluire nel circuito ed aumentando la viscosità rispetto a quella che si avrebbe se non si praticasse l'additivazione.

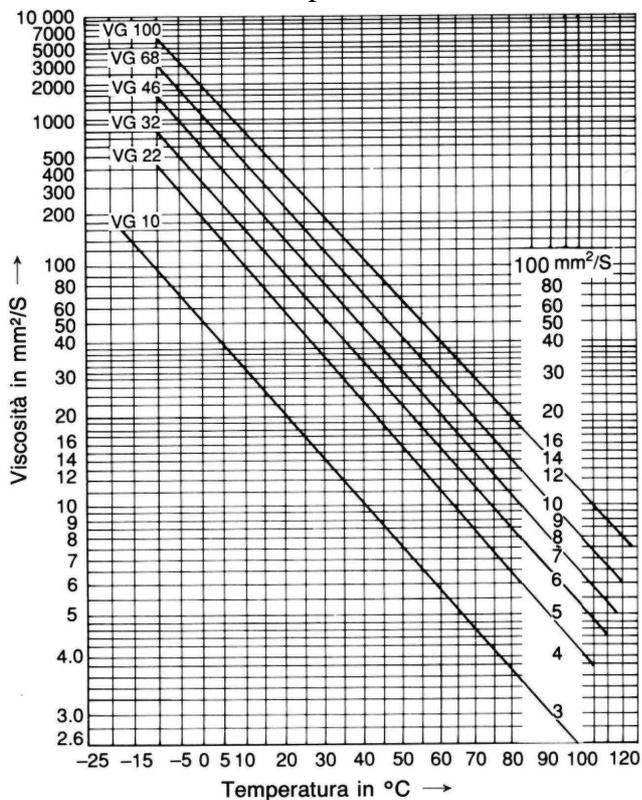


Figura 2 – caratteristiche dell'olio e VG

La viscosità dell'olio e la sua stabilità nel range di temperature che si valuta possano essere assunte dal sistema nel suo funzionamento costituiscono fattore di scelta dell'olio tra le varie qualità disponibili.

Ogni produttore mette a disposizione, per rappresentare la linea dei propri prodotti, diagrammi che riportano l'andamento delle viscosità in funzione della temperatura; in figura 2 è riportato uno di questi diagrammi (le ordinate sono in scala logaritmica).

In questi grafici sono presenti diverse curve, ognuna rappresentativa di un *grado di viscosità* (VG – dall'inglese *viscosity grade*), inteso, per determinazione ISO, come la viscosità cinematica (in cSt) posseduta dall'olio a 40 °C. La pendenza di ognuna delle linee a VG costante riflette il valore dell'indice di viscosità che, per il caso in figura 2, è evidentemente simile per tutti gli oli rappresentati.

Questo diagramma può essere utilizzato per la prima scelta dell'olio da adottare per il sistema oleodinamico in progetto: in quella fase,

generalmente, si ha una idea piuttosto chiara delle viscosità ammissibili per l'impianto¹, meno delle temperature che l'impianto assumerà durante il funzionamento² che pure sono valutabili per calcolo – a partire dalle energie spese nelle perdite di carico – oppure da esperienze su sistemi simili.

Partendo dall'intervallo di viscosità cinematica ritenuto idoneo per l'impianto, si può selezionare in prima battuta l'olio con il VG che soddisfa il requisito posto. Utilizzando la relativa curva, si può poi verificare se tra le viscosità estreme le variazioni corrispondenti di temperatura sono in un campo nel quale ci si attende che il sistema lavori per tutto il suo ciclo. Se questa verifica è negativa, occorrerà scegliere un olio con VG differente.

A titolo di esempio, si supponga che l'analisi delle caratteristiche tecniche di tutti gli elementi di un impianto oleodinamico suggerisca un campo di ammissibilità della viscosità dell'olio da adottare tra 10 e 300 cSt; utilizzando il diagramma in figura 2 ed ipotizzando l'adozione di un olio VG32 avremmo un campo di temperature corrispondente a quello delle viscosità cinematiche – tra 0 e 75 °C. Se tale escursione è ritenuta accettabile per il sistema in progetto, l'olio può essere ritenuto idoneo dal punto di vista delle viscosità.

3 - la contaminazione

Uno dei problemi da risolvere per la corretta gestione dell'impianto oleodinamico è il deterioramento degli oli che può comportare malfunzionamenti e danni ai suoi elementi. Già alla sua immissione nell'impianto, un olio può avere in seno elementi potenzialmente nocivi al funzionamento; occorre quindi dapprima quantificare la potenziale nocività derivante dalle impurità presenti nel fluido e poi combatterla con una adeguata filtrazione.

Nell'impianto oleodinamico sono presenti vari elementi destinati alle funzioni che devono essere realizzate; ognuno di essi presenta necessariamente *meati* ossia porzioni di spazio non occupato tra parti contigue dell'elemento. Nei meati l'olio scorre portandosi appresso le impurità che ha dentro e che possono interferire con le parti fisse generando malfunzionamenti.

La presenza nell'olio di elementi estranei, potenzialmente nocivi per l'impianto, si suole denominare *contaminazione*. In generale, la contaminazione dipende dall'introduzione di particelle nell'olio a seguito di manovre non corrette (riversamento dell'olio da bidoni sporchi, installazione di parti di ricambio o di complemento non perfettamente pulite, rimozione di parti - anche di dimensioni microscopiche - dagli elementi dell'impianto per effetto di movimenti relativi tra gli elementi oppure per effetto dello scorrimento dell'olio stesso, ecc.).

La presenza di particelle estranee al sistema può metterne in crisi il funzionamento; il danno potenziale dipende da molti fattori tra cui, in primis, il diametro³ medio delle particelle.

Dalla figura 3 si osserva che le particelle di diametro molto piccolo non sono normalmente dannose in quanto, nel passaggio nei meati, tendono a passare senza interferire con le pareti lungo le quali scorre l'olio. Quelle più grandi tendono a non entrare nel meato rimanendone fuori e procurando al più intasamento ai suoi margini. Le particelle di dimensioni paragonabili a quelle del meato, capaci

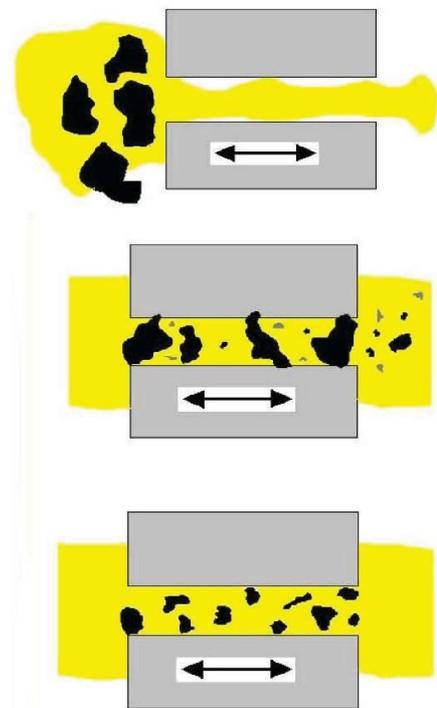


Figura 3 – particelle e meati

¹ Ciò perché di tutti gli elementi che ne faranno parte si hanno gli sheet delle caratteristiche e viene definito il range (generalmente, molto largo) di viscosità che l'olio deve avere per poterli attraversare senza danno.

² Si ricorda che i sistemi oleodinamici di applicazione navale lavorano per tempi molto ridotti il che riduce i surriscaldamenti dell'olio anche in presenza di perdite di carico significative.

³ Il *diametro* di una particella viene definito come il diametro della sfera più piccola che comprende completamente la particella; in pratica, è la misura del segmento più lungo interamente compreso nella particella.

N° Codice	Oltre a	Fino a
1	0,01	0,02
2	0,02	0,04
3	0,04	0,08
4	0,08	0,16
5	0,16	0,32
6	0,32	0,64
7	0,64	1,3
8	1,3	2,5
9	2,5	5
10	5	10
11	10	20
12	20	40
13	40	80
14	80	160
15	160	320
16	320	640
17	640	1.300
18	1.300	2.500
19	2.500	5.000
20	5.000	10.000
21	10.000	20.000
22	20.000	40.000
23	40.000	80.000
24	80.000	160.000
25	160.000	320.000

Figura 4 – tabella ISO 4406

di entrarvi e di rimanervi “incastrate”, sono certamente le più dannose proprio perché, se vengono trascinate tra corpi solidi in movimento relativo tra loro, possono generare usura abrasiva. La quantificazione della contaminazione di un olio non è banale in quanto gli agenti contaminanti sono molti, tutti diversi tra loro e di forme del tutto casuali ed irregolari. In passato gli enti operanti del settore e la stessa ISO hanno emanato dispositivi più o meno efficaci per esprimere con valori numerici il livello di contaminazione degli oli.

Attualmente viene utilizzato il codice (o classe) ISO 4406 che quantifica il livello di contaminazione di un olio sulla base della presenza in esso di particelle di dimensioni superiori a tre valori particolari: 4, 6 e 14 μm . Preso un campione di olio avente volume pari a 1 cm^3 , si misura la quantità di particelle di dimensioni superiori a 4 μm e quelle di dimensioni superiori a 6 e 14 μm ; attraverso la tabella in figura 4, si ricava un codice numerico per ciascuna delle quantità misurate ottenendo una tripla di numeri collegata alla presenza di inquinanti nell’olio⁴. Si supponga, ad esempio, che nel campione di olio analizzato sia stata riscontrata la presenza di 7800 particelle di diametro superiore a 4 μm , 2340 di diametro superiore a 6 μm e 150 di

diametro superiore a 14 μm ; il primo codice che viene fuori dalla tabella è 20 in quanto il relativo numero di particelle è compreso tra 5000 e 10000 e quindi indica il codice 20.

Con lo stesso metodo si ricavano i codici 18 (particelle di diametro superiore a 6 μm) e 14 (particelle di diametro superiore a 14 μm): il codice che definisce la contaminazione dell’olio analizzato secondo la ISO 4408 è 20/18/14.

Ogni elemento meccanico presente in un impianto oleodinamico tollererà una contaminazione massima in funzione delle dimensioni dei meati presenti al suo interno. È compito del produttore di ogni elemento fornire indicazioni sul livello massimo di contaminazione che l’olio deve avere perché il buon funzionamento non sia compromesso.

In figura 5 sono riportate le dimensioni tipiche dei meati risultanti dalle tolleranze di accoppiamento meccanico tra gli elementi di alcuni organi normalmente presenti nei sistemi oleodinamici. La tabella in figura 6 fornisce alcune

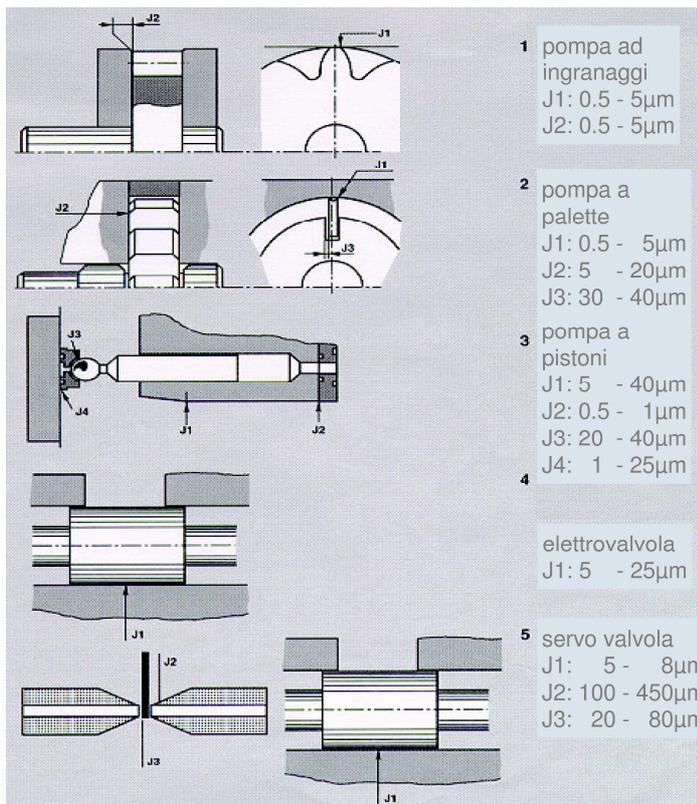


Figura 5 – tolleranze d’accoppiamento tipiche per elementi oleodinamici

⁴ Si noti che sono quantità decrescenti: infatti, nel numero di particelle superiori a 4 μm è compreso tutto quello delle particelle di dimensioni superiori a 6 μm più tutte quelle comprese tra 4 e 6 μm . Lo stesso accade per il numero di particelle comprese tra 6 e 14 μm .

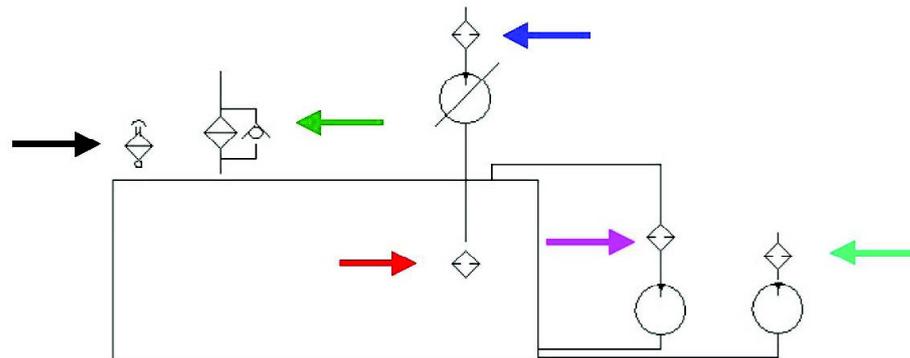
(generiche) indicazioni di compatibilità tra gli organi comunemente impiegati in oleodinamica ed i livelli di contaminazione (ex ISO 4406) generalmente considerati compatibili con il corretto funzionamento.

Componente	Tipo	Classe ISO 4406
Pompa	Ingranaggi	20/18/15
	Palette	19/17/14
	Pistoni corpo inclinato	19/17/14
	Pist. piatto inclinato/trasmiss.	17/15/13
Motore	Pistoni assiali	18/16/13
	Pistoni radiali	19/17/14
Valvole	Direzionali	20/18/15
	Pressione/portata	19/17/14
	Proporzionali	18/16/13
	Servovalvole	16/14/11
Attuatori		20/18/15
Cuscinetti	Sfera	16/13/11
	strisciamento	18/16/14

Figura 6 – classi di contaminazione consigliate per vari componenti oleodinamici

4- il filtraggio

Il contenimento del livello di contaminazione accettabile per un sistema oleodinamico è demandato ai filtri. Il filtraggio deve essere concepito in modo da rispettare le esigenze dell'impianto e non creare criticità al suo funzionamento. La figura 7 mostra le possibili sistemazioni di filtri in un



Filtro in aspirazione	0,05 – 0,1 bar	←
Filtro in pressione	1 – 1,5 bar	←
Filtro di ritorno	0,3 – 0,5 bar	←
Filtro in Off-Line	0,1 – 0,3 bar	←
Filtro di lubrificazione	0,3 – 0,5 bar	←
Filtro aria	> 0,01 bar	←

Figura 7 – possibili posizioni di filtri negli impianti oleodinamici e valutazione delle perdite di carico

impianto oleodinamico e fornisce una valutazione di massima delle perdite di carico che si possono riscontrare a filtro pulito.

In generale, nei sistemi oleodinamici navali si incontra un'unica stazione di filtraggio nella parte finale del circuito, poco prima del ritorno dell'olio in cassa. Questa sistemazione riflette l'esigenza di tenere la cassa più pulita possibile in modo che l'olio mantenga stabile (ed accettabile) il livello di contaminazione; il filtraggio a valle, infatti, permette di eliminare quelle scorie che l'olio dovesse aver raccolto nel suo passaggio nel piping e negli elementi in modo da presentarsi all'aspirazione già ripulito. Per contro, l'assenza di filtraggio a monte delle pompe non elimina del tutto la possibilità di messa in circolo di contaminanti sfuggiti all'azione del filtro in uscita o presenti per qualche motivo nella cassa.

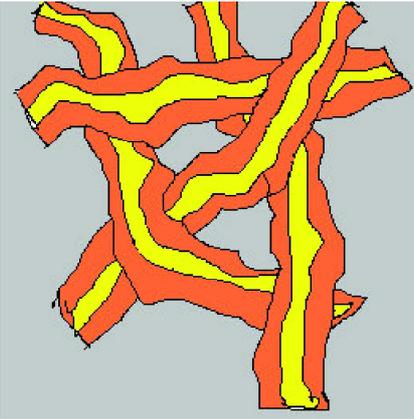


Figura 8 – intreccio di fibre

Un qualsiasi filtro oppone una resistenza (perdita di carico nel fluido) dipendente dal contatto tra fluido e filtrante e, per di più, crescente con l'intasamento che è inevitabile conseguenza del filtraggio stesso. Sistemare un filtro all'ingresso della pompa avrebbe l'effetto di abbassare l'NPSH disponibile (e, ciò che è peggio, in modo crescente con l'intasamento) finendo con l' esporre la pompa stessa alla possibilità dell'istaurarsi di cavitazione con tutti gli effetti deleteri conseguenti.

Ecco perché a monte della pompa, in genere, non si installa un filtro vero e proprio ma un convogliatore di flusso con passaggi molto larghi in modo da trattenere eventuali corpi estranei all'olio di una certa dimensione senza creare eccessive perdite di carico.

Esistono elementi filtranti *di superficie* e *di profondità*; i primi sono costituiti da elementi sottili simili a reti con aperture uguali e

pari al diametro oltre il quale le particelle presenti nell'olio devono esserne rimosse. Pur rappresentando apparentemente il tipo di filtro ideale, si usano raramente in quanto, dal momento che tutta la portata di olio vi deve essere fatta passare attraverso, si intasano molto rapidamente; infatti, tutte le particelle filtrate ristagnano in aree relativamente piccole (e tutte sul piano di filtraggio). Questo tipo di filtro, pertanto, mal si presta all'utilizzo continuo.

Normalmente vengono utilizzati filtri di profondità in cui l'elemento filtrante vero e proprio è costituito da una cartuccia che viene attraversata dall'olio in circolazione.

Il setto filtrante è costituito da parti di matasse ottenute intrecciando le fibre di alcune sostanze la cui qualità va scelta essenzialmente in base alla compatibilità con l'olio che le deve attraversare; si usano cartucce di cellulosa, fibra inorganica o metallica. Le fibre lasciano nei propri intrecci percorsi variabili alle particelle d'olio che vi scorrono e che restano intrappolate quando incontrano un'apertura di dimensione inferiore al proprio diametro. La figura 8 schematizza la sistemazione delle fibre nell'elemento filtrante. Nonostante in questo modo si realizzi un filtraggio più incerto, le perdite di carico nel fluido possono essere ridotte in quanto le particelle non sono trattenute su uno stesso piano e l'intasamento risulta più progressivo. La figura 9 rappresenta le due modalità di filtraggio descritte.

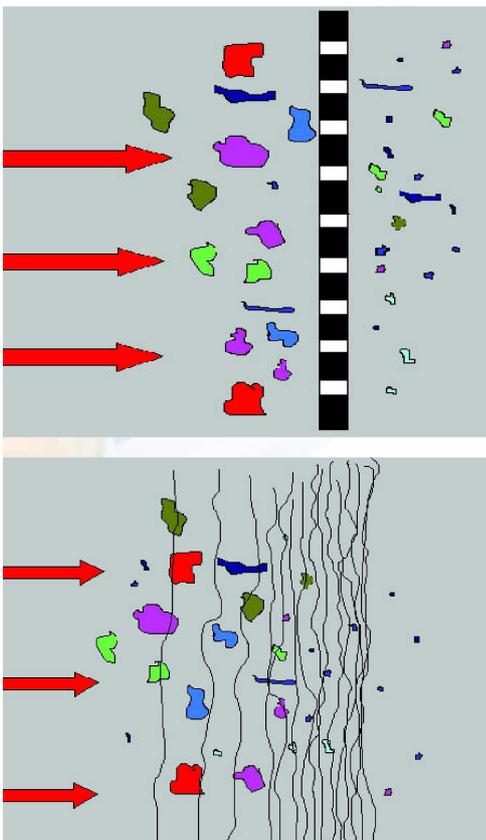


Figura 9 – tipi di filtraggio

Al fine di quantificare l'efficienza di un filtro si usa il parametro β_x denominato *filtrazione*; x è il mesh della filtrazione ossia il diametro delle particelle virtualmente filtrabili dal filtro esaminato.

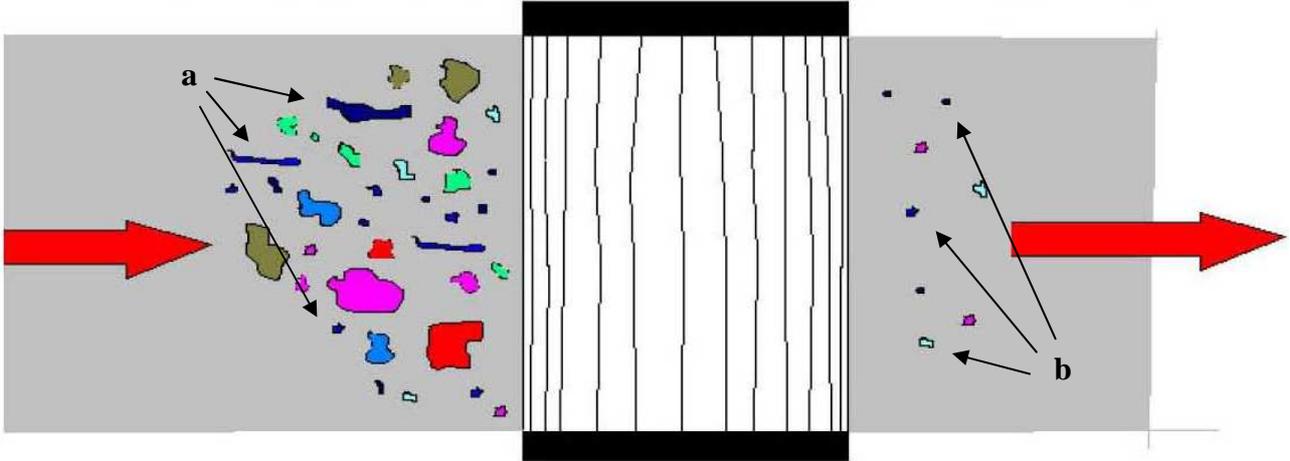


Figura 10 – filtrazione

Supponendo che a sia la quantità di particelle presenti in un olio e b quella che residua dopo il passaggio in un determinato filtro di mesh x , il valore della filtrazione è definito come:

$$\beta_x = \frac{a}{b}$$

Il mesh tecnicamente più significativo è considerato⁵ prossimo a 10 μm ; è standardizzato il valore 9.8 che garantisce il filtraggio a 10 μm .

Accanto al filtraggio si definisce l'*efficienza di filtraggio* come:

$$e = \frac{\beta_x - 1}{\beta_x}$$

Questa rappresentazione della capacità di filtraggio è espressa attraverso un numero che la rende più intuitiva; si osservi infatti che:

$$\begin{aligned} \beta_x = 2 &\quad \Rightarrow \quad e = 50\% \\ \beta_x = 20 &\quad \Rightarrow \quad e = 95\% \\ \beta_x = 200 &\quad \Rightarrow \quad e = 99.5\% \\ \beta_x = 1000 &\quad \Rightarrow \quad e = 99.9\% \end{aligned}$$

Si noti che il valore di β_x (o quello corrispondente di e) è legato alla capacità effettiva di filtraggio per cui è da considerare parametro efficace per la previsione della prestazione del filtro.

Quindi, una volta stabilita la massima contaminazione accettabile per un sistema oleodinamico⁶, occorrerà disporre di elementi di correlazione tra il grado di filtraggio $\beta_{9,8}$, quello di contaminazione

⁵ In effetti, la contaminazione non si può certo considerare limitata ad un certo valore delle dimensioni degli inquinanti; la stessa routine introdotta dalla ISO 4406 mostra che il problema è complesso e va affrontato tenendo conto della probabile presenza di particelle di dimensioni differenti. Se si guarda la fig. 5, tuttavia, si realizza che un efficiente filtraggio a 10 μm , pur non garantendo la totale depurazione dell'olio, elimina impurità di una dimensione piuttosto critica per la maggior parte degli elementi presenti negli impianti oleodinamici.

(ISO 4406) ed il mesh che il filtro deve avere; in tabella 1 è riportata una possibile serie di indicazioni sul filtraggio.

4µm	6µm	14µm		$\beta_{9.8} > 1000$	$\beta_{9.8} > 200$	Applicazioni tipiche
14	12	9		3 µm	5 µm	servoimpianti di alta precisione
17	15	11		3/6 µm	5/7 µm	servoimpianti
18	16	13		9.8/11 µm	10/12 µm	impianti molto sensibili e di elevata affidabilità
20	18	14		11/13 µm	12/15 µm	impianti sensibili ed affidabili
21	19	16		13/21 µm	15/25 µm	impiantistica generale (tra cui quella navale)
23	21	18		21/30 µm	25/40 µm	impiantistica a bassa pressione

Tabella 1 – valori del grado di filtraggio consigliati in base al grado di contaminazione richiesto

Stabilito, sulla base della conoscenza dei requisiti degli elementi di un impianto, il livello tollerabile della contaminazione dell'olio (secondo ISO 4406), in tabella è possibile ricavare il valore del mesh del filtro la filtrazione necessaria per avere filtrazione⁷ 200 oppure 1000.

⁶ Occorrerà disporre di informazioni utili a valutare le tolleranze di accoppiamento dei vari elementi inseriti in un sistema oleodinamico (del tipo di quelle riportate in fig. 5) e valutare il grado di contaminazione ex ISO 4406 che deve essere rispettato per il buon funzionamento dell'impianto.

⁷ Allo scopo di caratterizzare il filtraggio in maniera sintetica (più che scientifica), fino a qualche tempo fa si considerava *assoluta* la filtrazione caratterizzata dal valore $\beta_x = 200$; una volta standardizzato il mesh 9.8 µm, si è passati a definire assoluta la filtrazione $\beta_{9.8} = 200$.