

Studio e misura della schiuma interna negli olii lubrificanti (*)

- Riassunto :** *Studio e misura della schiuma interna negli olii lubrificanti (*).*
Definiti i limiti del problema ed individuati i parametri di influenza, gli Autori indicano il criterio che li ha guidati ad una nuova soluzione ed illustrano particolareggiatamente sia l'apparecchiatura da loro costruita, sia il metodo di prova messo a punto.
Vengono infine riportati i risultati delle prime prove sperimentali eseguite.
- Résumé :** *Etude et mesurement de l'écume intérieure des huiles minérales.*
Après avoir déterminé les limites du problème et choisi les paramètres d'influence, les Auteurs indiquent le critère qui les a menés à une nouvelle solution et expliquent en particulier soit l'appareil qu'ils ont construit soit la méthode d'épreuves développée.
Ils communiquent enfin les résultats des premières épreuves expérimentales.
- Summary :** *Study and measurement of the air entrainment in lubricating oils.*
After determining the limits of the problem and specifying the influence parameters, the Authors show the criteria which led them to a new solution and, giving minute details, they illustrate the apparatus they have set together as well as the testing method used.
Results of the first experimental tests are reported.
- Zusammenfassung :** *Untersuchung und Messung des internen Schaums in Schmierölen.*
Nach Festlegung der Grenzen des Problems und Auswahl der Parameter erklären die Autoren den Gedankengang, der sie zu einer neuen Lösung führte, und beschreiben im besonderen sowohl die von ihnen konstruierte Anlage als auch die entwickelte Versuchsmethode.
Zum Schluss geben sie die Ergebnisse der ersten durchgeführten Versuche an.

1. PREMESSA.

1.1. Scopi della ricerca.

I circuiti di lubrificazione forzata e gli impianti oleodinamici di regolazione delle macchine lamentano spesso seri inconvenienti di funzionamento a causa di formazione di schiuma internamente all'olio. L'esistenza di bolle di aria infatti diminuisce la portata dell'olio, interrompe la continuità della pellicola lubrificante e, nei circuiti di regolazione, provoca gravi inconvenienti rendendo l'olio comprimibile.

Per lo studio del fenomeno della schiuma negli oli lubrificanti si hanno oggi diversi metodi di misura fra i quali il più noto è il metodo ASTM D 892 - 46 T (1)

(*) Memoria presentata dall'Accademia AGOSTINO ANTONIO CAPOCACCIA.

ripreso dall'Ente Italiano Norme Oli Minerali con la prova NOM M 64. Oltre a questo se ne possono ricordare alcuni altri utilizzati in particolari applicazioni:

- il metodo ATF ⁽²⁾ il quale utilizza una apparecchiatura che simula gli elementi meccanici generatori di schiuma nelle trasmissioni automatiche. Si misura l'altezza della schiuma raggiunta a fine prova ed il tempo necessario perché questa si disgreghi fino a presentare un lembo di superficie omogenea;
- un secondo metodo che si serve di un agitatore « Sunbeam Mixmaster » il quale produce schiuma in un bagno d'olio. L'aumento di volume che subiscono 500 ml di lubrificante dopo un determinato tempo di agitazione e dopo una stasi di un'ora, ad una data temperatura e velocità di rotazione dell'agitatore, costituisce il risultato della prova;
- il metodo proposto dal DEMING ⁽³⁾ che valuta la tendenza di un liquido a formare schiuma in definite condizioni mediante la misura del liquido tracciato in un certo intervallo di tempo da un opportuno recipiente;
- un quarto metodo a vibrazioni usato per liquidi di raffreddamento che si serve di un agitatore a piastra perforata immerso fino ad una profondità di 10 mm in un cilindro graduato contenente il liquido da esaminare. L'ampiezza e la frequenza di oscillazione della piastra sono tenute costanti per tutta la durata della prova (un minuto primo) al termine della quale si misura il volume della schiuma formata e il volume del liquido trasformato in schiuma.

Non risulta che siano stati messi a punto metodi di misura che permettano di studiare il comportamento dell'aria trattenuta nell'interno della massa dell'olio in circuiti di lubrificazione forzata e negli impianti oleodinamici. Si interessano invero dell'argomento le singole società petrolifere con risultati tuttavia non divulgati; i migliori testi sulla lubrificazione dedicano pochissimo spazio all'argomento per mancanza di notizie più ampie. Un elenco indicativo dei testi consultati è citato in bibliografia da ⁽⁴⁾ a ⁽²⁶⁾.

Con questo studio sperimentale compiuto nel Laboratorio dell'Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine dell'Università di Genova ci si è proposti di costruire e mettere a punto una apparecchiatura che simulando i circuiti di lubrificazione forzata permettesse di riprodurre in laboratorio le diverse condizioni di servizio dell'olio e di misurare la schiuma interna presente nell'olio in circolazione ^(*).

2. LA SCHIUMA E I SUOI PARAMETRI DI INFLUENZA.

Un esame accurato del fenomeno della schiuma e le teorie fisico-chimiche che lo accompagnano esulano dal campo sperimentale di questo lavoro, tuttavia conviene esaminare le origini del fenomeno ed individuare quali parametri intervengono in modo determinante nel problema, per prendere effettivamente in considerazione i diversi fattori e predisporre i dovuti mezzi di indagine.

^(*) La ricerca è stata condotta negli anni 1967 e 1968 col contributo finanziario del C.N.R. Il procedimento e il dispositivo di misura sono stati successivamente brevettati.

2.1. La schiuma interna.

Si intende per schiuma interna un sistema disperso il cui disperdente è liquido e la fase dispersa è gassosa; consiste pertanto in minute zone gassose (bolle) distinte e distribuite nell'interno della massa del liquido. La stabilità della schiuma è legata alla presenza di una pellicola adsorbita sull'interfaccia di separazione tra le fasi ed avente una composizione diversa da quella della fase liquida cosicché in un liquido puro non si ha produzione di schiuma stabile.

In un olio lubrificante nuovo le caratteristiche chimico-fisiche che influenzano la schiuma sono:

- la viscosità per la cui azione si può dire in generale che fluidi a bassa viscosità mostrano minor propensione alla formazione di schiuma di quelli aventi più alta viscosità;
- la presenza all'interfaccia liquido-aria di agenti inquinanti capaci di formare pellicole dotate di una certa rigidità.

Oltre a detti fattori devono essere presi in considerazione anche dei parametri legati alle condizioni operative dell'olio nel circuito di lubrificazione i quali risultano determinanti per la formazione della schiuma come: tempo di riposo, temperatura e impurità.

2.2. Tempo di riposo (TR).

Un circuito di lubrificazione forzata è formato da quattro componenti fondamentali: tubazioni - refrigerante - vasca di sedimentazione e pompa di circolazione.

Col termine TR si indica il periodo durante il quale il lubrificante rimane nella vasca di sedimentazione. La durata di tale intervallo influisce direttamente sulla quantità della schiuma, in quanto la situazione di relativa quiete, il moto lento e regolare e la presenza di un pelo libero, permettono una risalita delle bolle d'aria incluse e favoriscono un processo di decantazione della schiuma, che via via si libera in superficie. Il tempo di permanenza dell'olio nella vasca di decantazione è funzione del volume dell'olio in esame e della velocità di circolazione dell'olio stesso cioè della portata volumetrica della pompa di circolazione secondo la relazione

$$TR = V/Q$$

essendo Q la portata volumetrica in l/sec e V il volume di olio interessato al fenomeno espresso in litri; risulta allora TR espresso in secondi.

2.3. Temperatura.

Poiché in un circuito di lubrificazione forzata l'olio è usualmente « caldo », va notato che variazioni anche relativamente piccole della temperatura modificano

notevolmente le caratteristiche fisico-chimiche dell'olio; ne variano la densità e la viscosità e influiscono pertanto sulla velocità di coalescenza delle bolle e su tutti i parametri che regolano il fenomeno della schiuma.

La sua notevole influenza e la facile regolabilità in fase sperimentale rendono quindi questo parametro uno dei più interessanti e determinanti.

2.4. *Le impurità.*

La presenza di prodotti di ossidazione del lubrificante o impurezze varie quali acqua di condensa, ruggine o polvere aumentano la formazione di schiuma e la relativa stabilità.

3. SCHEMA GENERALE DELL'IMPIANTO.

Il proponimento di studiare la presenza dell'aria nell'interno dell'olio e di misurarne la quantità trascinata in circolazione sotto la forma di schiuma interna ha portato alla realizzazione di un impianto come appresso descritto.

Tale complesso è stato costruito nel laboratorio dell'Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine e simula il circuito di lubrificazione delle turbine a vapore perché esse sono fra tutte le macchine industriali quelle che impongono agli oli lubrificanti, nei confronti della schiuma, le condizioni di esercizio più severe; esso, schematizzato in Fig. 1, è formato da:

- una vasca di riposo V;
- una pompa ad ingranaggi P;
- un sistema per l'immissione di aria A;
- un complesso di misura C;
- un sistema di riscaldamento R.

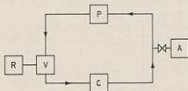


Fig. 1. - Schema dell'apparecchiatura per lo studio e la misura della schiuma interna negli oli minerali

A = sistema per l'immissione di aria
P = pompa di circolazione ad ingranaggi
V = vasca di riposo
R = sistema di riscaldamento dell'olio in V
C = complesso di misura con fotoelementi.

3.1. *Vasca di riposo.*

Si è adottato un recipiente della capacità di circa 30 litri di cui si è curato con particolare attenzione sia la pulizia che l'isolamento, in modo da evitare l'introduzione di impurezze e di elementi estranei, che avrebbero influenzato le caratteristiche della schiuma.

Un sistema di paratie di lamiera, disposte internamente a labirinto, garantisce la regolare circolazione di tutta la massa d'olio.

In questo modo è possibile valutare con sufficiente precisione il volume del lubrificante in movimento e ricavare, in funzione della portata della pompa, il tempo di riposo TR relativo, mediante la semplice relazione già vista:

$$TR = \frac{V}{Q}$$

Tale valore, come si è visto, ha la massima importanza sulla stabilità delle schiume, ed è stato mantenuto in un campo corrispondente a quello usato nelle applicazioni industriali più severe cioè comprese fra 210 e 360 secondi.

Per variare questo parametro entro i limiti suddetti è necessario cambiare opportunamente il numero di giri della pompa (N_p) e quindi la portata dell'olio (Q).

Tuttavia si è constatato che è conveniente mantenere il valore di N_p in un campo piuttosto ristretto (400-800 giri/min.) in modo da evitare regimi di lavoro troppo vari e caratterizzati da diversi comportamenti della pompa stessa (insorgenza di cavitazione, ecc.).

Inoltre il valore della portata Q della pompa è influenzato dalla temperatura che provoca variazioni della viscosità dell'olio; per cui allo stesso regime (N_p costante) per diverse temperature si hanno portate differenti.

Quindi per mantenere nei limiti voluti le variazioni di questi tre fattori ($TR - N_p - Q$) e assicurare una soddisfacente analogia delle condizioni di lavoro, per le diverse combinazioni dei parametri variabili, si è dovuto variare opportunamente il volume dell'olio interessato alla prova utilizzando per la misurazione della portata un contatore volumetrico per liquidi viscosi inserito nel circuito a monte della pompa. Il volume V varia da un minimo di 19,1 ad un massimo di 24,5 litri.

Nella vasca di riposo è possibile agire sulla temperatura dell'olio mediante un opportuno sistema di riscaldamento auto-regolato: in un serpentino posto in fondo alla vasca circola un fluido caldo mantenuto in moto da una pompa, mentre un apposito sistema termostatico è collegato con alcune resistenze di riscaldamento e mantiene la temperatura del fluido, e quindi dell'olio, alle condizioni volute.

L'olio uscito dalla vasca di riposo, mediante apposito condotto giunge in corrispondenza del sistema di misurazione dove si presenta proprio in quelle condizioni in cui si troverebbe se dovesse realmente svolgere la sua azione lubrificante-refrigerante.

3.2. Sistema per l'immissione di aria.

A valle dell'impianto di misurazione, si incontra lungo il condotto un sistema che permette l'introduzione di aria e la misura dei quantitativi immessi.

L'ugello per l'immissione dell'aria è stato realizzato usando un ago ipodermico, che può essere opportunamente chiuso mediante la siringa relativa, in modo da permettere anche l'esecuzione delle prove senza aria.

Per valutare con precisione la quantità d'aria immessa, alle diverse condizioni di lavoro della pompa, si è fatto uso di un opportuno sistema di vasi comunicanti illustrato in Fig. 2.

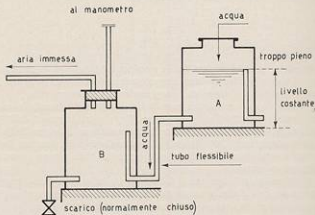


Fig. 2. - Sistema di vasi comunicanti per la misura dell'aria immessa a pressione costante.

Il recipiente A viene riempito d'acqua e mantenuto a livello costante; il recipiente B contiene invece l'aria da immettere nell'olio; le prove sono state condotte regolando l'afflusso di acqua nel recipiente B in modo da mantenersi costante e pari a 1 ata la pressione dell'aria (rilevata con un manometro ad aria libera). L'acqua entra nel recipiente B sostituendovi l'aria che viene aspirata dal circuito, attraverso un apposito tubo collegato all'ago d'immissione.

Tarando il recipiente B si può misurare il volume di acqua entrato e quindi conoscere la portata dell'aria immessa nel circuito.

3.3. Pompa a ingranaggi.

La circolazione dell'olio è assicurata da una pompa ad ingranaggi del tipo usato correntemente nei circuiti oleodinamici. In questo caso si tratta di una pompa del sistema di lubrificazione di un motore d'auto di media cilindrata.

Il movimento le è trasmesso da un motore elettrico monofase a velocità variabile (2.200 ÷ 440 giri/min.).

La portata dell'olio risulta così facilmente regolabile con continuità variando la velocità del motore e quindi della pompa in modo da ottenere i diversi regimi.

Dalla pompa il lubrificante va alla vasca di riposo mediante un tubo pescante sotto il livello dell'olio stesso per evitare starfallamenti e schizzi che potrebbero contribuire alla formazione di schiuma.

Tutto il circuito è stato revisionato con molta attenzione, curando in particolar modo la tenuta dei giunti, per evitare infiltrazioni d'aria non considerate.

3.4. *Sistema di misura e sua realizzazione.*

Il sistema usato per valutare la quantità di schiuma che si forma internamente all'olio in circolazione, si discosta dai metodi tradizionali.

Si è constatato che la presenza di bolle d'aria in seno all'olio circolante ne diminuisce la trasparenza; quindi tanto maggiore è la schiuma e tanto più è ostacolato il passaggio della luce attraverso il lubrificante.

In base a tali considerazioni è stato costruito un sistema di misura con fotoelementi. Un fascio luminoso investe un condotto trasparente, attraversato dall'olio in esame, e colpisce un fotoelemento; in corrispondenza di una variazione della quantità di schiuma dispersa nell'interno del lubrificante si ha una variazione della trasparenza dello stesso e quindi una differente illuminazione del fotoelemento che varia la propria risposta. Un secondo fotoelemento è destinato a controllare la costanza di emissione luminosa della sorgente.

I dati che così si ottengono sono stati usati per un esame comparativo in modo da valutare nelle varie condizioni di prova l'influenza e l'importanza dei diversi parametri che intervengono (temperatura, tempo di riposo, ecc.).

4. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE PROVE.

4.1. *Stabilizzazione e fenomeno di saturazione.*

Si è potuto constatare che la quantità della schiuma nell'olio cresce via via che aumenta il periodo durante il quale esso è mantenuto in circolazione, seguendo un andamento esponenziale quasi regolare. Dopo una rapida ascesa iniziale i valori della schiuma tendono a stabilizzarsi su un determinato livello caratteristico, funzione dei parametri relativi alla esperienza. A tale valore di stabilizzazione corrisponde una situazione di saturazione che può ritenersi definitiva; la quantità di aria trattenuta nell'olio rimane praticamente immutata nel tempo e corrisponde al massimo valore della schiuma per quelle condizioni.

Per raggiungere questa stabilizzazione è necessario un intervallo di tempo che è compreso normalmente tra 60 e 100 minuti, a seconda delle condizioni di lavoro e della presenza o meno di additivi antischiuma.

Prove protratte nel tempo fino a 200 minuti hanno dimostrato come tale valore resti costante e possa essere sicuramente considerato come indice significativo del livello della schiuma relativamente a tali condizioni operative.

Ciò porta ad impiegare per ciascuna esperienza un periodo di tempo molto esteso rendendo oneroso uno studio sperimentale che si fondi soprattutto sull'esame di un gran numero di prove a diverse condizioni.

4.2. *Riduzione dei tempi di prova : metodo a gradini.*

La durata compresa fra i 60 ed i 100 minuti di ogni prova e la necessità di interporre un periodo di riposo e di decantazione di almeno 200 minuti considerato « tempo morto » (TM) fra una prova e la successiva, portava a valori elevatissimi i tempi necessari per una sola esperienza; ciò limitava l'importanza pratica dell'impianto di misura e restringeva le possibilità di indagine.

In pratica si è visto che la schiuma tende ad aumentare ed ad accumularsi mano a mano che diminuisce il tempo di riposo per cui si è pensato di eseguire le prove in modo continuativo; arrivati al livello di stabilizzazione relativo ad un certo regime 1 (Np 1 — TR 1) si passava direttamente alle condizioni 2 (Np 2 — TR 2) senza interrompere l'esperienza e si procedeva così sino alla nuova stabilizzazione.

In questo modo la schiuma interna presente nell'olio al termine della prova 1 sarà presente anche all'inizio della prova 2 e contribuirà a formare l'ulteriore quantità di schiuma caratteristica del nuovo regime.

Con tale metodo, sfruttando cioè la schiuma e le condizioni raggiunte nella prova precedente, si arriva alla saturazione relativa alla seconda condizione in un tempo molto più breve (Fig. 3).

Sono state eseguite varie esperienze sull'olio puro e sull'olio additivato per controllare l'attendibilità di tale procedimento a gradini.

In pratica è stata eseguita una serie di prove singole, una per ogni condizione di lavoro (cioè una per ogni TR), e successivamente una serie di prove analoghe con il metodo a gradini.

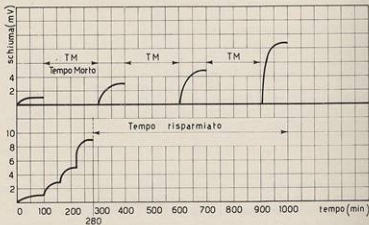


Fig. 3. - Confronto fra i tempi richiesti per una serie di prove col metodo delle prove singole e col metodo a gradini.

In tal modo si è voluto verificare se il livello della schiuma che contraddistingue lo stato di stabilizzazione della prova eseguita singolarmente, corrisponde al livello raggiunto nella più rapida prova « a gradini », svolta in analoghe condizioni.

Tutti i diversi parametri, che influiscono sul fenomeno della schiuma, sono stati opportunamente variati in modo da poter eseguire uno studio comparativo completo e tale da offrire la massima sicurezza e generalità alle conclusioni.

Nell'esempio di Fig. 4 sono confrontati i risultati ottenuti con prove singole e con prove a gradini: con Olio Minerale Puro a 20°C senza immissione di aria e con Olio Minerale Puro a 60°C con immissione di aria.

Il diagramma comprende una serie di prove singole (con temperatura e volume d'olio costante e tempo di riposo variabile) in cui è indicato l'andamento della schiuma fino a saturazione.

In corrispondenza è riportato anche il valore di stabilizzazione raggiunto via via nella analoga prova a gradini per poter meglio eseguire il confronto.

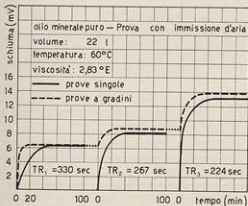


Fig. 4. - Confronto fra i risultati ottenuti con prove singole e col metodo a gradini.

Dall'esame comparativo fra i risultati ottenuti nelle prove singole ed in quelli ricavati dalle prove a gradini si trova una completa analogia. Se pure i livelli di stabilizzazione difficilmente coincidono perfettamente, tuttavia si raggiungono valori dello stesso ordine di grandezza nella totalità dei casi; gli scarti esistenti fra i due procedimenti sono minimi e inferiori al 10%.

Prove successive hanno confermato i risultati di cui sopra e quindi l'utilità del sistema delle prove a gradini.

TABELLA I.

CONDIZIONI SPERIMENTALI RELATIVE ALLE PROVE SENZA IMMISSIONE DI ARIA
PER OLIO MINERALE PURO.

Volume (litri)	Temperatura (°C)	Viscosità (°E)	Velocità pompa	Portata olio	Portata aria	% di aria inmessa	Tempo di riposo	Misura del frangimento
			N p (giri/min)	Q ol. (litri/min)	Q az. (litri/min)	%	TR (sec)	m V
24,5	20°	15,3	415	3,63	—	—	405	1
			530	4,80	—	—	396	3
			670	6,18	—	—	238	5
			740	6,77	—	—	218	9
23,2	40°	5,65	410	3,62	—	—	384	0,25
			550	4,86	—	—	287	0,75
			620	5,47	—	—	255	1,00
			735	6,56	—	—	211	1,50
23,2	60°	2,83	440	3,85	—	—	362	0
			560	4,83	—	—	288	0,15
			620	5,35	—	—	260	0,75
			750	6,50	—	—	215	1,25

TABELLA II.

CONDIZIONI SPERIMENTALI RELATIVE ALLE PROVE CON IMMISSIONE DI ARIA
PER OLIO MINERALE PURO.

Volume (litri)	Temperatura (°C)	Viscosità (°E)	Velocità pompa	Portata olio	Portata aria	% di aria inmessa	Tempo di riposo	Misura del frangimento
			N p (giri/min)	Q ol. (litri/min)	Q az. (litri/min)	%	TR (sec)	m V
19,1	20°	15,3	435	2,36	0,269	11	488	46
			500	2,94	0,300	10,2	390	66
			620	4,21	0,312	7,6	272	105
			765	5,17	0,327	6,3	222	150
22,3	40°	5,65	440	3,33	0,234	7	402	8
			500	3,98	0,268	6,8	337	11
			620	5,08	0,278	5,5	264	17
			740	6,11	0,294	4,8	219	29
22	60°	2,83	450	3,55	0,248	7	370	4,25
			560	4,45	0,266	6	296	6,5
			620	4,90	0,269	5,5	267	9,0
			740	5,90	0,278	4,7	224	14,0

5. ESPERIENZA CAMPIONE.

Sulla scorta delle indicazioni fornite dal diagramma di Fig. 4 è stata imposta una duplice serie di prove per studiare l'influenza del tempo di riposo e della temperatura su un olio minerale puro con e senza immissione di aria.

Le prove con immissione di aria sono state eseguite per potere valutare la quota parte di schiuma non imputabile all'aria immessa in quelle prove in cui appunto viene insufflata aria.

Le condizioni operative sono riportate rispettivamente nella Tabella I per le prove senza immissione di aria e nella Tabella II per quelle con immissione di aria. Il diagramma sinottico di Fig. 5 in cui sono messi a confronto i risultati di tutte le prove fa vedere in maniera assai efficace l'influenza sulla schiuma interna sia del tempo di riposo, sia della temperatura.

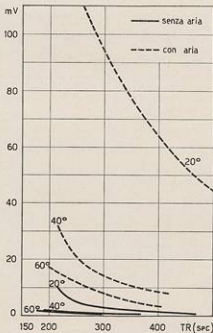


Fig. 5. - Diagramma sinottico dell'influenza della temperatura e del tempo di riposo sulla quantità interna in un olio minerale puro in prove con immissione di aria e senza immissione di aria.

L'azione di quest'ultima è particolarmente incisiva nel passaggio da 20°C a 40°C mentre tende ad attenuarsi per incrementi maggiori (passaggio da 40° a 60°)

come indicano con notevole evidenza sia le prove con immissione d'aria sia quelle senza aria. Una opportuna combinazione di questi due fattori sembra dunque offrire le migliori condizioni per una decisiva riduzione della schiuma interna.

6. CONCLUSIONI.

La semplicità sia del metodo di misura, via via perfezionato durante una lunga serie di esperienze di varia natura che ci proponiamo di illustrare in una prossima memoria, sia della metodologia di prova, ormai ripetutamente collaudata, hanno dato fin'ora ottimi risultati cosicchè oltre a prestarsi come utile strumento per ulteriori ricerche scientifiche questa apparecchiatura sembra essere facilmente adottabile anche in campo industriale con notevoli vantaggi per il controllo dei processi operativi.

Genova - Istituto di Meccanica applicata alle Macchine dell'Università.

Dicembre 1969.

Rapporto IIR. 68.VM₄. 088.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Norma ASTM D 892 - 46 T (cfr. Norme Oli Minerali NOM M 64).
- (2) KEIG G.; FISCHER H.; EBERHARDT E.; RICHTER R., *Determination and Improvement of the foaming of oils*, Chem. Tech. Berlin, 17, 19, pagg. 102-6 (1965).
- (3) DUMING H. N.; JANZEN G. J., *Standard dynamic foaming*, Producers Monthly 24, Nr. 6, pag. 31 (1960).
- (4) SHAW M. C.; MACKS E. F., *Analysis and Lubrication of Bearings*, Mc-Graw (1949), pag. 488.
- (5) GEORGI C. W., *Motor Oils and Engine Lubrication*, Reinhold Pub. Co. N.Y. (1950), pag. 208.
- (6) BASTIAN E. L. II., *Metalworking Lubricants*, Mc-Graw (1951), pag. 315.
- (7) ZETEMER H. H., *Performance of Lubricating Oils*, Reinhold Pub. Co. N.Y. (1932), pag. 131-5.
- (8) ELLIS E. G., *Lubricant testing*, Scientific Pub., London (1933), pag. 208.
- (9) PREVOST J.; GRAY J., *Technique et pratique du Graissage*, Ed. Libr. Baillière et Fils, Paris (1955), pagg. 137-41.
- (10) PUGH W. M.; TICHVINSKY L. M., *Foaming of a Heavy-Duty Lubricating Oil*, Lubr. Eng., Vol. 11 (1), pagg. 29-32 (1955).
- (11) BONER C. J., *Gear and Transmission Lubricants*, Reinhold Pub. Co. N.Y. (1964), pagg. 78-79 e 211-212.
- (12) ***, *Evaluation of the Foaming Tendencies of Automatic Transmission Fluids*, Scientific Lubrication, Marzo 1964, pag. 37.
- (13) AWE E. W., *Silicone Antifoams for Lubricating Oils*, SAE Pre-print 774 D (1963) (cfr. Scientific Lubrication, Aprile 1964, pag. 34).
- (14) CLAYTON W., *The Theory of Emulsion*, Ed. J. & D. Churchill Ltd., London (1935), Cap. II-VI-XII.
- (15) BERKMAN S.; EGOLOFF G., *Emulsion and Foams*, Reinhold Publ. Co. N.Y. (1941), pagg. 112-32.
- (16) TRAUTMAN C. E., *Lubrication Engineering*, 2 (1946), pagg. 143-6.
- (17) ROSS S.; YOUNG G. J., *Action of antifoaming agents at optimum concentrations*, Ind. Eng. Chem., Vol. 43, Nr. 11 (1950).
- (18) BONDI A., *Physical Chemistry of Lubricating Oils*, Reinhold Pub. Co. N.Y. (1951), pag. 125 segg.
- (19) TICHVINSKY L. M., *Foaming Tendencies*, Scientific Lubrication (Settembre 1953), pag. 28 segg.
- (20) ÖSTWALD W.; STEINER A., *Kolloid* 2.26 (1952), pag. 342 segg.
- (21) EWERS W. E.; SUTHERLAND K. L., *Stability and Breakdown of Foams*, Australian Journal of Scientific Research, V, 5 (1952), pag. 697 segg.
- (22) NAKAGAKI M., *A new theory of foam formation and its experimental verification*, J. Phys. Chem., 61 (1957), pagg. 1266-70.
- (23) ROSS S.; BUTLER J. N., *The inhibition of foaming*, J. Phys. Chem., 60 (1956), pagg. 1255-58.
- (24) ROSS S.; BEAMFITT T. H., *Inhibition of foaming*, J. Phys. Chem., 61 (1957), pagg. 1261-63.
- (25) ROSS S.; HAAS R. M., *Inhibition of foaming*, J. Phys. Chem., 62 (1958), pagg. 1260-64.
- (26) ÖSIPOW L. L., *Surface Chemistry - Theory and Industrial Application*, Reinhold Pub. Co. N.Y. (1982).