

tore; infatti un numero di calorie sempre più grande viene asportato per mezzo del lubrificante.

A titolo di orientamento diamo un prospetto delle caratteristiche di un motore d'aviazione stellare della Ditta Wright, il primo è un tipo di motore ormai sorpassato, il secondo invece è di recente costruzione.

Tipo	Cyclone 5 (F)	Cyclone 9 (H)
Calore totale asportato:	Keal 1606	4536
Calore asportato dall'olio:	Keal 94	882
Calore asportato dall'aria:	Keal 1512	3654

Vediamo subito che la percentuale di calore asportata dall'olio è passata dal 6 % al 20 %.

Corrado Casci

BIBLIOGRAFIA

- ¹ A. W. NASH and A. R. BOWEN, *The Principles and Practice of Lubrication*, Chapman e Hall, London, Ed. 1937.
- ² D. R. PYE, *The Internal Combustion Engine*, vol. I-II, Clarendon Press, Oxford 1934.
- ³ D. R. PYE, *The Lubrication of Internal Combustion Engines*, The Science of Petroleum, vol. IV, Oxford University Press.
- ⁴ H. C. MOUGEY, *Oil Consumption as Affected by Engine Characteristics*, S.A.E. Journal, September 1931.
- ⁵ W. H. GRAVES, *Oil Consumption in Motor Car Engines*, Symposium on Motor Lubricants, ASTM, March 1933.
- ⁶ L. L. DAVIS and R. D. BEST, *The Effect of Volatility on Oil Consumption*, 38th Annual Meeting of ASTM, June 1935.
- ⁷ M. O. TECTOR, *The Influence of Engine Design on Oil Consumption*, 38th Annual Meeting of ASTM, June 1935.
- ⁸ J. P. STEWART and T. H. RISK, *Factors Affecting Oil Consumption*, International Automotive Engineering Congress, S.A.E., September 1939.
- ⁹ C. W. GEORGI, *Motor Oil Consumption Characteristics*, S.A.E. Fuels and Lubricants Meeting, November 1948.
- ¹⁰ W. S. HOOK, *Evaluating Lubricating Oil through Fleet Tests*, S.A.E. Fuels and Lubricants Meeting, November 1949.
- ¹¹ C. L. FLEMING, B. W. GEDDES, N. V. HAKALA and C. A. WEISEL, *The Performance of High V. I. Motor Oils*, S.A.E. Annual Meeting, Januar 1950.
- ¹² C. W. GEORGI, *Correlation of Laboratory Oil Bench Tests With Full-Scale Engine Tests*, S.A.E. Journal, Februar 1943.
- ¹³ H. G. MOUGEY and J. A. MOLLER, *The Testing of Heavy Duty Motor Oils*, S.A.E. Journal, October 1942.
- ¹⁴ D. P. BARNARD, E. R. BARNARD, T. H. ROGERS, B. H. SHOEMAKER and R. W. WILKIN, *Cause and Effects of Sludge Formation in Motor Oils*, S.A.E. Journal, May 1934.
- ¹⁵ H. G. MOUCEY, *Underwood Oxidation Test and its Correlation with Service*, World Automotive Engineering Congress, S.A.E., May 1939.
- ¹⁶ Diesel Lubricant Test Manual - Research Department Caterpillar Tractor Co.
- ¹⁷ U. S. Army Ordnance Dept. Tentative Specification AXS 1554 - Test Procedure for Determining Oxidation Characteristics of Heavy-Duty Crankcase Oils.
- ¹⁸ U. S. Army Ordnance Dept. Tentative Specification AXS 1551 - Test Procedure for Determining in an Engine the Effect of Engine Oils on Ring Sticking, Wear and the Accumulation of Deposits.
- ¹⁹ U. S. Army Ordnance Dept. Tentative Specification AXS 1555 - Test Procedure for Determining in an Engine the Oxidation, Ring Sticking, Detergency and Bearing Corrosion Characteristics of Heavy-Duty Crankcase Oils.
- ²⁰ Report on Ring Sticking Tendencies of Aviation Engine Lubricating Oils. Coordinating Research Council.
- ²¹ M. R. CHEPP and J. L. PALMER, *Small Single Cylinder Engine Test for the Evaluation of Compounded Motor Oils*. S.A.E. Fuels and Lubricants Meeting, November 1949.
- ²² E. E. BISSON and R. L. JOHNSON, *Lubrication, Friction and Wear Studies for High Output Aircraft Engines*, S.A.E., September 1949.

B. Impiego dei lubrificanti

La lubrificazione durante l'avviamento dei motori per autotrazione

Vengono prese in esame le condizioni di lubrificazione durante la fase di avviamento, e rilevati gli inconvenienti derivanti dalla alta viscosità dell'olio specie con basse temperature esterne.

Premesse

Condizione essenziale perchè un motore a combustione interna inizi il suo funzionamento è che la velocità media degli stantuffi (u), raggiunga un minimo, in condizioni ordinarie sui 0,4-0,7 m/sec, necessario perchè il combustibile pervenga nella misura e nel modo conveniente nell'interno dei cilindri per avere l'accensione.

Nei motori a carburazione questo minimo è imposto dalla necessità di trascinare il combustibile nei cilindri, nei motori a combustione graduale (Diesel), la velocità influisce sulla polverizzazione inoltre la temperatura finale di compressione è a parità di rapporto di compressione tanto maggiore quanto più rapidamente viene effettuata la compressione stessa.

Per avviare un motore si deve spendere un lavoro che risulta come somma delle seguenti voci:

a) energia cinetica da impartirsi agli organi del moto per raggiungere la velocità minima di avviamento;

b) lavoro delle pressioni del gas, che risulta negativo fino al verificarsi della prima accensione;

c) lavoro assorbito dalle resistenze di attrito.

Le prime due sono di modesta entità rispetto alla terza, la quale a sua volta dipende quasi esclusivamente dalle condizioni di lubrificazione. Ci occuperemo di queste perdite e della lubrificazione relativamente ai motori destinati all'autotrazione, perchè limitazioni di peso e di ingombro nel dimensionamento dell'apparato di avviamento, che per altri motori non esistono, rendono talvolta difficile la messa in moto. In questo caso la possibilità di ridurre l'entità delle perdite meccaniche mediante la scelta del lubrificante o mediante altri accorgimenti di lubrificazione è di assoluta importanza.

Espressione delle resistenze di avviamento.

Una valutazione delle resistenze di avviamento può essere fatta richiamandoci alle formule proposte da Bosch parecchi anni or sono e tutt'ora largamente usate per la scelta del motorino di avviamento.

In esse compaiono un fattore (c) che non è altro che la coppia specifica, cioè la coppia resistente per litro di cilindrata, ed n_0 numero di giri minimo di avviamento. Per un motore di cilindrata V si avrà di conseguenza un momento resistente

$$M_r = c \times V$$

mentre la potenza richiesta sarà:

$$N = \frac{c \times V \times n_0}{716,2}$$

Ai nostri scopi è utile valutare la coppia media, ma tale dato non è sufficiente, dovendosi conoscere anche come varia durante la operazione di messa in moto. La coppia d'altra parte è una grandezza molto comoda per il calcolo, ma per una chiara valutazione delle condizioni di funzionamento del motore in questa sua fase transitoria di funzionamento è più conveniente usare una grandezza omogenea con la p_v , pressione media di marcia a vuoto e con le pressioni medie effettive (p_{me}) ed indicata (P_{mi}) avendo queste grandezze un significato motoristico ben chiaro. Adottiamo quindi per esprimere le resistenze al moto una p_{tr} , pressione media di trascinamento alla quale per analogia con le grandezze citate spetta la definizione di lavoro assorbito per unità di cilindrata e per una rotazione pari a quella occorrente per compiere un ciclo, nella fase di trascinamento, pur notando che il riferimento al ciclo porta ad un piccolo inconveniente. Infatti tra la p_{tr} e la coppia resistente specifica e, sussiste la nota relazione

$$c = \frac{5p_{tr}}{\pi m}$$

ove con m si indica il numero di giri occorrenti per compiere un ciclo. Ne risulta che a parità di coppia assorbita, la p_{tr} per un motore a 4T risulta doppia di quella di un motore a 2T. Ad evitare equivoci si osservi che essendo prevalente il funzionamento a 4T per i motori di autoveicoli, la p_{tr} che comparirà in seguito s'intende sempre riferita a tale funzionamento.

Ciò premesso confrontiamo i dati di Bosch con le prestazioni medie dei motori a quattro tempi in base al seguente prospetto:

Tipo di motore	c	Kgm/l	P_r	Kg/cmq	P_v	P_{mi}
					Kg/cmq	Kg/cmq
carburazione	3,5	3,75-	6,3	1,3	8	
Diesel veloce	5-10	6,3	-12,6	1,4	7,2	

Da questo confronto risulta che le resistenze di avviamento possono quasi eguagliare le pressioni medie effettive del funzionamento normale, per i motori a carburazione, mentre per i Diesel sono circa doppie della p_{me} .

Dati gli alti valori riconosciuti or ora è opportuno esaminare più da vicino l'andamento delle resistenze al moto durante l'avviamento e verificare i valori ora indicati.

Valori sperimentali della p_{tr} - Condizioni di lubrificazione.

Nei motori recenti la lubrificazione è sempre forzata, quella a sbattimento essendo scomparsa quasi del tutto, anche perchè l'indirizzo dei tecnici è volto ad aumentare la circolazione del lubrificante per avere una attiva refrigerazione del motore.

Avviare un motore vuol dire quindi anche dar inizio alla circolazione dell'olio. Nell'avviamento a freddo questo olio, che per gli autoveicoli è accumulato nella coppa-serbatoio, si trova ad una temperatura uguale o assai prossima a quella che regna nell'ambiente esterno. La sua viscosità quindi sarà assai maggiore di quella che gli compete quando raggiunge le temperature di regime.

In queste condizioni le resistenze al moto nei condotti, seguendo le leggi del moto laminare sono proporzionali alla velocità dell'olio ed alla sua viscosità. Nonostante che le portate delle pompe a bassi giri siano minime e quindi le velocità nei condotti risultino bassissime, l'effetto dell'aumentata viscosità prevale. La pressione di mandata sale allora a valori molto più alti di quelli di esercizio, e di conseguenza si verifica l'apertura della valvola limitatrice di pressione ed il ritorno quasi integrale dell'olio nella coppa.

Per un certo periodo di tempo non potendo fare circolare il lubrificante, la protezione e la lubrificazione degli organi del motore rimane affidata al velo d'olio che è rimasto aderente alle pareti. Questo velo è tanto più efficace quanto maggiore è la oleosità del lubrificante. Al momento attuale non esiste un numero che rappresenti questa oleosità per apprezzare l'attitudine di un lubrificante a costituire questo velo protettivo; si può quindi fare riferimento alla tensione superficiale o ad altre determinazioni, come quella del calore sviluppato nell'inumidimento delle superficie metalliche per scegliere il tipo d'olio più sicuro ed idoneo alla salvaguardia del motore. La maggior sicurezza però viene pagata all'atto dell'avviamento e più precisamente allo spunto, perchè il lubrificante tende ad incollare le pareti a contatto, e per farle scorrere l'una rispetto all'altra si deve procedere alla lacerazione del velo, il che richiede una foltissima coppia iniziale.

Nel giro di pochi secondi la coppia assorbita cala però rapidamente; continua poi a decrescere ma la diminuzione è assai lenta e si protrae fino a quando con lo stabilirsi di un minimo di circolazione l'olio rimasto aderente nel periodo di riposo viene rimosso completamente. Si passa così dalla fase di attrito combinato a quella di attrito fluido.

A temperatura ordinaria l'avviamento di un motore richiede pochi secondi ed allora sia per effetto della velocità sia per quello del riscaldamento del motore stesso le cose si regolarizzano rapidamente. Quando invece l'avviamento è fatto a bassa temperatura ambiente la durata dell'avviamento può raggiungere parecchi minuti, durante i quali la velocità è bassa e non si ha il contributo dei gas caldi per riscaldare l'olio. In questo periodo la circolazione e quindi la lubrificazione si svolgono in condizioni assai precarie.

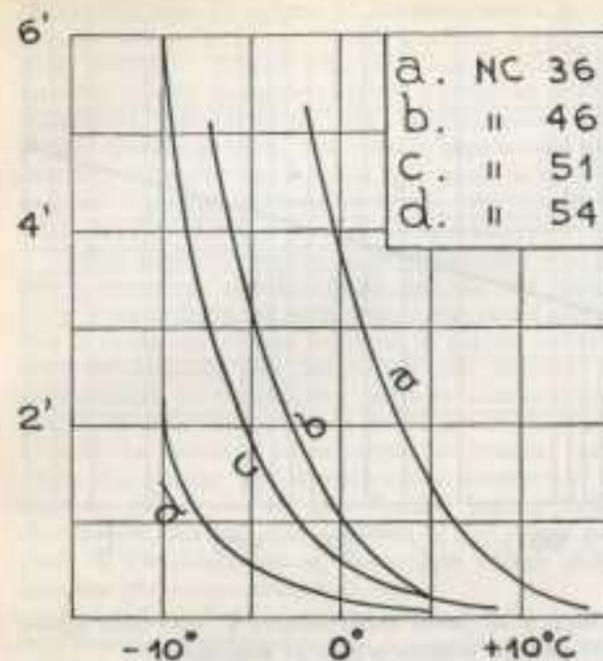
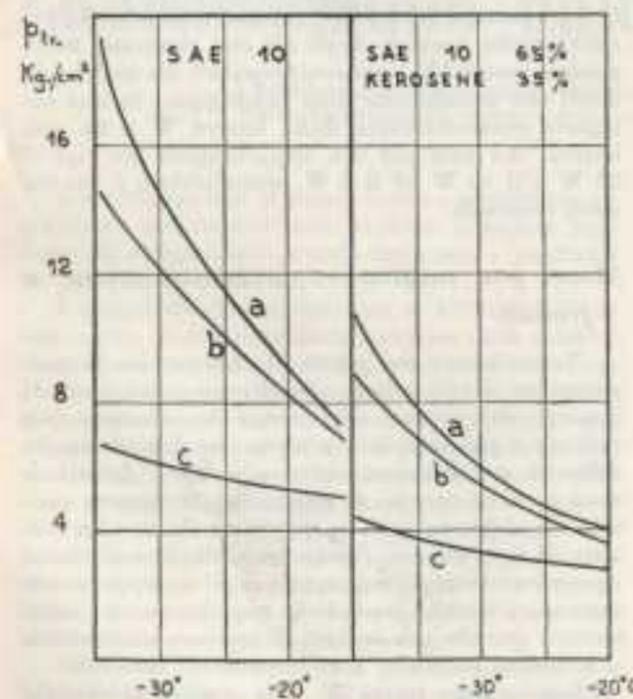


Fig. 1

Per dare un'indicazione della durata di avviamento a bassa temperatura riferiamoci ai diagrammi della figura 1, ove abbiamo in ascisse le temperature esterne ed in ordinate i minuti primi di trascinamento occorrenti per avere la prima accensione.

Accenniamo di passata che la figura permette anche di riscontrare l'influenza della natura del combustibile. Questa digressione è necessaria perchè non si può prescindere completamente dalle circostanze accessorie. In questo caso, trattandosi di avviamento di motori Diesel, la proprietà diffe-

Fig. 2



renziatrice è costituita dal numero di cetano. Presumibilmente si otterrebbe un analogo risultato su motore a carburazione operando con carburanti a diversa volatilità.

Al nostro scopo interessa però principalmente la constatazione della notevole durata dell'avviamento quando la temperatura esterna si abbassa. In un così lungo periodo la p_{tr} deve per forza subire sensibili variazioni alle quali per altro già facemmo cenno. Nella fig. 2 sono così riportati i valori delle pressioni medie di trascinamento per diverse temperature esterne rilevate in tempi differenti. Le curve indicate con la lettera a esprimono i valori allo spunto, quelle contraddistinte con la lettera b forniscono i valori della pressione dopo cinque secondi dalle messe in moto, le c infine i valori rilevati dopo cinque primi di rotazione.

La figura è stata elaborata sui dati di Heldt il quale cita esperienze di H. L. Knudsen su un mo-

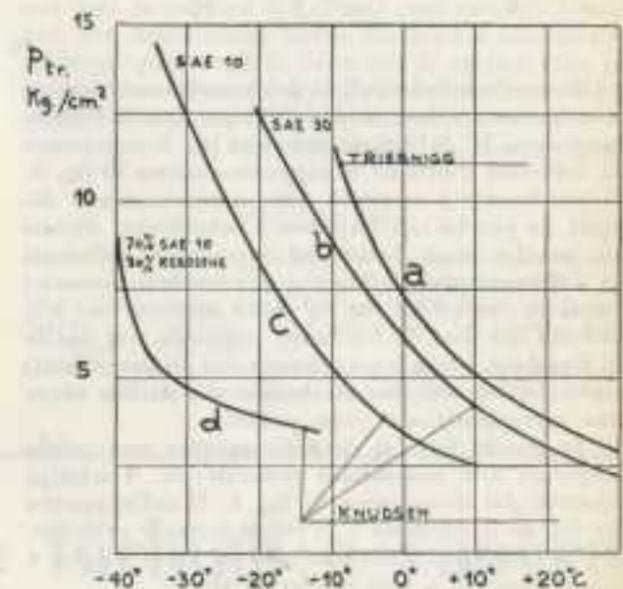


Fig. 3

tore Cummings di circa 10 litri di cilindrata, che abbiamo prescelto perchè nel corso delle prove essendo stata soppressa la compressione, vennero misurate solo le perdite meccaniche.

A temperature molto basse, allo spunto si raggiungono e si superano anche i valori indicati da Bosch, e tali risultati vennero ottenuti impiegando il più fluido degli oli previsti nella classificazione SAE, precisamente con il n. 10, che da noi è poco usato. Le curve di destra invece rappresentano i risultati ottenuti diluendo l'olio predetto con petrolio in misura del 35%. Il confronto tra le due famiglie di curve denuncia l'importanza della scelta del lubrificante in vista della messa in moto.

Ai dati su riferiti si potrebbe muovere l'obiezione che essi sono ottenuti a velocità necessariamente variabile e di questo non si ha traccia nei dati riferiti, non pare però che l'appunto sia di grande rilievo perchè nel corso di prove di trascinamento a temperature diverse effettuate da Triebnigg le p_{tr} risultano quasi costanti nell'intervallo delle velocità di rotazioni dell'avviamento.

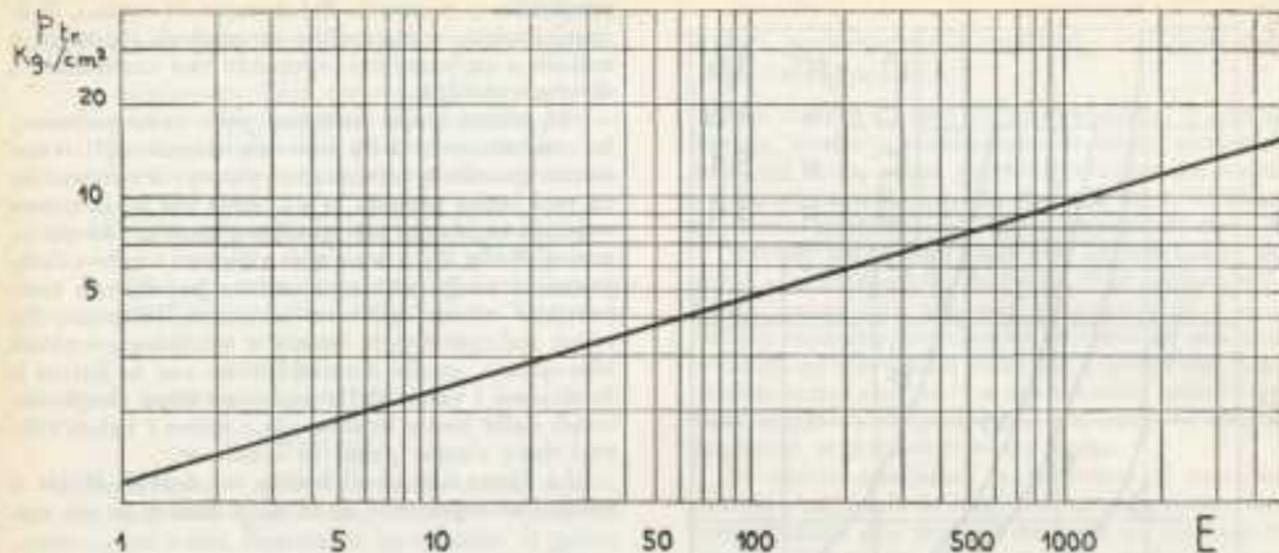


Fig. 4

Raccogliendo i risultati più significativi, e assumendo come valore medio della p_{tr} quello riscontrato dopo 5" dall'inizio del moto per le esperienze di Knudsen si ottiene la rappresentazione di fig. 3. Naturalmente i risultati sono numericamente diversi sia perchè si riferiscono a lubrificanti diversi sia perchè sono dovuti ad esperienze differenti su differenti motori. Ma più che i valori numerici interessa constatare che la curva indicata con a e dedotta dai dati di Triebnigg concorda con quella di Knudsen, curve b e c ottenute con oli non diluiti, tanto che con semplice traslazione si potrebbe avere una sovrapposizione quasi perfetta.

In questo fatto si deve riconoscere una valida conferma alle conclusioni generali di Triebnigg espresse dal diagramma di fig. 4. Il collegamento tra questo diagramma e la temperatura è evidente, perchè passando dalla viscosità in gradi Engler a quella assoluta si può attraverso alla

$$\log(v + 0,8) = A \log. T + B$$

determinare per ogni lubrificante la p_{tr} nelle condizioni di impiego del motore.

Condizioni limiti di avviamento.

Si è già fatto cenno che a bordo degli autoveicoli esigenze di spazio e di ingombro limitano la potenzialità degli apparati di avviamento. Ora ai tortissimi aumenti della p_{tr} riscontrati al paragrafo precedente che accompagnano gli abbassamenti di temperatura si aggiungano due altre circostanze sfavorevoli all'avviamento. Una propria di tutti i motori è già stata accennata all'inizio e consiste nell'aumento della velocità minima n_0 , l'altra è tipica dei motori per autotrazione dotati di avviamento elettrico. In questo caso si deve infatti tener presente che al diminuire della temperatura si abbassa la tensione ai morsetti e diminuisce la capacità delle batterie. Valutiamo sommariamente questa seconda sfavorevole circostanza osservando che una batteria capace di trascinare un motore per 7 od 8 minuti in ambiente a $15 \div 20^\circ\text{C}$ si esaurisce in circa metà

tempo a 18° sotto zero, mentre a -30° non agisce che per un minuto o due al massimo.

In simili condizioni l'avviamento può avvenire solo se attraverso ad una adeguata lubrificazione si riesce a ridurre il valore della pressione media di trascinamento.

Le esperienze al riguardo sono assai numerose e concordano assai bene tra di loro, i risultati conclusivi sono riassunti nella tabella tratta dal Georgi, nella quale vengono indicati i valori della viscosità massima misurata a 0°F ($-17,8^\circ\text{C}$) per assicurare l'avviamento alle diverse temperature:

temperatura	$^\circ\text{C}$	-12	-18	-23	-30	-32
viscosità						
USS a 0°F		33.000	30.000	22.000	15.000	5.000
			27.000	18.000	14.000	

Queste caratteristiche di viscosità escono dalle caratteristiche normali degli oli che rientrano nella graduazione SAE, vennero preparati oli molto più fluidi che attualmente sono raggruppati in una categoria contraddistinta dalla lettera W e da una lettera. Ad essa per ora appartengono tre tipi il 20 W e il 10 W ed il 5 W, quest'ultimo è tuttora sotto controllo.

Mezzi per migliorare la lubrificazione a freddo.

Naturalmente dal punto di vista tecnico la preparazione di oli adatti alle diverse condizioni di impiego del motore rappresenta la soluzione più radicale e più semplice, a meno che non insorgano difficoltà nel funzionamento a regime. Infatti è noto a chi si occupa di lubrificazione quanta cautela sia richiesta nella sostituzione di un olio con altro di tipo diverso. Spesso può accadere di dover riprendere tutte le tolleranze degli accoppiamenti meccanici, come è capitato in qualche motore aeronautico quando per ragioni di approvvigionamento si è dovuto sostituire il ricino con oli minerali.

Sotto questo punto di vista sembra favorevole

fluidificare un olio adatto al funzionamento di un determinato motore, con liquidi assai più scorrevoli come benzina o petrolio che poi vengono eliminati a caldo. Alcuni dati esposti già si riferiscono ad oli fluidificati con petrolio, con miglioramenti indubbi. Questa pratica, che pure è seguita dai costruttori di motori aeronautici, per i quali la lubrificazione è particolarmente delicata, non è altrettanto comoda per i motori di autoveicolo.

Nei motori aeronautici la lubrificazione è sempre a recupero, il lubrificante anzichè nel carter viene contenuto in un serbatoio, e ciò rende possibili la creazione di una corrente in rapida circolazione utilizzando una parte dell'olio mentre il grosso entra in circolazione quando e man mano che la frazione circolante va in temperatura. È allora facile dosare l'introduzione di benzina nell'olio che circola inizialmente senza deteriorare la frazione principale del lubrificante. Infatti l'olio che circola durante l'avviamento e nei primi periodi di riscaldamento si libera ben presto della benzina per evaporazione di essa.

Nei motori di cui ci occupiamo la lubrificazione non è a recupero perciò non è possibile separare la frazione fluidificata da quella pura. Si può allora procedere alla fluidificazione preventiva, come spesso si fa, si devono però aggiungere quantità rilevanti di petrolio in genere, perchè la miscela lubrificante tende nel funzionamento ad impoverirsi del componente più volatile ed allora per non dovere aggiungere ogni volta un quantitativo sufficiente a compensare le perdite si tende ad abbondare inizialmente. Tuttavia esiste una circostanza favorevole che non possiamo omettere, almeno nei ri-

guardi dei motori a carburazione. Per essi infatti si constata che un certo quantitativo di benzina passa sempre nell'olio, in genere nella misura del 5-10 %. Grosso modo si constata che fino a tale percentuale l'aggiunta dell'uno per cento di benzina ad un olio abbassa di circa un grado la temperatura minima di avviamento, almeno per la serie degli oli invernali W già ricordata. Infatti il Georgi già citato indica le temperature minime di avviamento per lubrificanti puri e per le loro miscele fluidificate

	Temp. min. olio puro	olio + 5%	olio + 10%
Olio 20 W			
USS 48.000 a 0°F	$-14,4$	-20	$-24,5$
10 W			
USS 12.000 a 0°F	$-23,4$	$-27,8$	$-30,5$
5 W			
USS 3.200 a 0°F	$-24,5$	-31	$-31,5$

Il problema prospettato non è molto sentito da noi data la mitezza del clima, però essendo i motori per autotrazione spesso destinati a funzionare in luoghi assai lontani da quelli di origine, non si può ignorare la gravità del problema e non dedicargli tutta la cura che esso realmente merita.

Giuseppe E. Ferraro Bologna

BIBLIOGRAFIA

- KREMSER H., *Der Aufgabe der Verbrennungskraftmaschinen für Kraftfahrzeuge und Triebwagen*, Springer 1942.
 HELDT HIGH, *Speed Diesel Engine*, Nyack N. Y. 1950.
 NELSON e ULZHEIMER, *Ethyl Ether best for starting cold Diesels*, SAE 1950.
 LLOYD, H. MULIT e FRANK W. KAVANACH, *Lubricating oils for Internal Combustion Engines*, SAE 1941.

Lubrificazione delle turbine a vapore

I lubrificanti, elemento vitale delle turbine; loro modalità d'impiego, funzionamento, caratteristiche, sviluppi della ricerca scientifica per il loro miglioramento.

Gli sviluppi che la nuova tecnica costruttiva ha realizzato nel campo delle turbine a vapore rendono di sempre più grande interesse i problemi inerenti la lubrificazione.

I traguardi di potenze sino a 100.000 KW in una unità, di temperature di vapore oltre i 500°C e pressioni intorno ai 140 kg/cmq, sono stati raggiunti e superati. Questi valori richiedono al lubrificante caratteristiche elevate ed attribuiscono ad esso una funzione delicata e della massima importanza. Da qui è sorta la necessità da parte delle Case costruttrici di curare attentamente i sistemi di lubrificazione e da parte delle maggiori Case petrolifere di dare impulso ai nuovi concetti per la realizzazione di lubrificanti speciali che rispondono alle sempre più severe esigenze di funzionamento delle nuove macchine.

Prima di esaminare l'olio lubrificante per turbine, la sua natura e le sue caratteristiche speci-

che, sarà interessante vedere i sistemi di lubrificazione stessi.

È oramai uso generale dotare tutti i complessi, anche quelli di piccola potenza, con sistemi a circolazione in pressione.

Sistemi a gravità (fig. 1)

Trovano applicazione specie nella propulsione navale. L'olio viene distribuito, per gravità, con caduta di circa 8 metri, ai supporti ed al riduttore dal serbatoio di carico. L'olio, dalle superficie lubrificate, passa nelle casse di raccolta e da qui, attraverso filtri di vario tipo, separatori centrifughi e refrigeranti, viene pompato nella cassa di carico mediante pompe indipendenti mosse da vapore o da motori elettrici.

In caso di avaria di una pompa, l'olio continua a defluire per il tempo necessario all'avviamento