

## LA LUBRIFICAZIONE

La lubrificazione degli organi meccanici:

- **Perché e come.**
- **Le caratteristiche degli oli.**
- **L'importanza della viscosità e dei parametri che la influenzano.**

### I PRINCIPI DI BASE

Perché due organi meccanici a contatto possano muoversi agevolmente l'uno rispetto all'altro, senza che le loro superfici subiscano una rapida usura o, peggio ancora, seri danneggiamenti, è necessaria una adeguata lubrificazione. In altre parole, occorre interporre tra le due superfici uno strato di olio (o, come accade per alcuni componenti della parte ciclista, del grasso), in modo da impedire che esse striscino direttamente l'una contro l'altra, ossia che si verifichi un contatto metallico diretto. Come noto, l'attrito è la forza che si oppone al movimento reciproco di due corpi a contatto. Se si tratta di due superfici che strisciano l'una contro l'altra, l'attrito viene detto radente.

Quando invece uno dei due elementi rotola sull'altro, siamo in presenza di attrito volvente (è quello che si ha nei cuscinetti a sfere o a rulli), sempre assai inferiore a quello radente. Un altro tipo di attrito, detto idrodinamico (pure esso è minore di quello radente), si ha quando un corpo in movimento "galleggia", supportato da un liquido. In questo caso la resistenza al moto viene opposta dagli "strati" di fluido che scorrono l'uno sull'altro. Quando la lubrificazione è tale da far sì che le superfici dei componenti in movimento relativo siano completamente separate l'una dall'altra da uno strato d'olio, siamo appunto in presenza di un attrito di questo tipo.

Anche la superficie apparentemente più liscia e levigata in effetti è costituita inevitabilmente da una miriade di irregolarità ("avvallamenti" e "vette" o "creste") che si susseguono. Di questo è indispensabile tenere sempre debito conto, come vedremo, quando si parla di lubrificazione.

Schematicamente è possibile individuare diversi "regimi" di lubrificazione, per quanto riguarda gli accoppiamenti tra superfici piane, alberi e fori, etc., in funzione del miglioramento delle condizioni di lubrificazione, passando da una situazione di attrito "secco" (nessun lubrificante interposto tra le superfici) a una di completo "galleggiamento" (regime di lubrificazione idrodinamica, a film spesso). Per quanto riguarda la suddivisione esatta, e quindi anche la terminologia dei diversi regimi, ci sono alcune differenze da autore ad autore.

In presenza di un olio avente una viscosità adeguata (ad essa è legata la capacità del film fluido), di superfici in modo relativo sufficientemente veloci e di carichi non troppo elevati, lo strato di lubrificazione separa sempre le micro asperità delle superfici e, quindi, non si hanno mai contatti metallici diretti: siamo in regime idrodinamico, nel quale si hanno

un'usura trascurabile e un attrito limitato (che tende a crescere con l'aumentare della velocità e/o al salire della viscosità); quest'ultimo è legato fundamentalmente alla viscosità del fluido. Nei motori a quattro tempi queste sono ovviamente le condizioni ideali, che effettivamente si hanno durante il funzionamento, eccezion fatta per alcuni "punti" particolari. Quando (e queste sono le condizioni di lubrificazione peggiori che si possono trovare all'interno del motore) le superfici metalliche sono separate da un velo d'olio estremamente sottile (talvolta lo spessore può essere dell'ordine di qualche molecola!), insufficiente ad evitare contatti tra le asperità, si può parlare di regime "limite" (per gli autori anglosassoni abbiamo a che fare con la "boundary" lubrification). Il carico esercitato sulle piccole ma piuttosto numerose zone di contatto sparse può determinare la deformazione plastica delle asperità; in certi casi si possono avere fenomeni adesivi e addirittura micro saldature. Benché sottilissimo, il velo d'olio sopporta comunque una parte cospicua del carico. L'attrito (molto più elevato di quello che si ha con una lubrificazione idrodinamica) in questo caso dipende fundamentalmente dalle proprietà chimiche del lubrificante e delle caratteristiche delle superfici. Se le condizioni di lubrificazione peggiorano o i contatti metallici diretti diventano più estesi, si può arrivare al grippaggio. Tra queste due condizioni esiste un "campo" di transizione, quello della lubrificazione "mista" o "quasi idrodinamica", nel quale il velo d'olio ha uno spessore intermedio e sono ancora possibili sporadici contatti metallici tra le asperità più accentuate. Nel motore possono lavorare in questo regime di lubrificazione i segmenti (che in corrispondenza dei punti morti si arrestano per invertire il loro moto e possono addirittura arrivare a trovarsi in condizioni di lubrificazione "limite") e, in certi casi le camme e gli ingranaggi; particolarmente critico si può rivelare, sotto questo aspetto, l'avviamento (la lubrificazione idrodinamica non si instaura immediatamente!).

Alcuni autori parlano di un regime di lubrificazione idrodinamica a "film sottile" e di uno a "film spesso". Nei motori a due tempi le condizioni di lubrificazione appaiono più critiche, per il gruppo pistone/segmenti, di quanto non siano per i 4T. Nei cuscinetti a rulli o a sfere (universalmente adottati nel manovellismo dei 2T) l'attrito è volvente e anche una semplice lubrificazione a "nebbia" si rivela adeguata.

La situazione è in effetti assai più complessa di quanto non appaia in queste osservazioni schematiche; ci riserviamo di parlarne in maniera più approfondita in futuro.

## **LE FUNZIONI DELL'OLIO**

Come ovvio, il compito principale che l'olio deve svolgere all'interno del motore è quello di lubrificare gli organi di movimento relativo, in modo da ridurre al minimo l'attrito e da portare a livelli trascurabili l'usura. Accanto a questa funzione di importanza assolutamente vitale (senza una adeguata lubrificazione il motore verrebbe messo fuori uso in brevissimo tempo!), esso ne svolge però altre comunque notevoli. Tanto per cominciare, l'olio deve "aiutare" in misura sostanziale i segmenti a fare una buona tenuta. Inoltre deve assicurare una valida protezione delle superfici metalliche nei confronti della corrosione e (nei 4T) deve contribuire a mantenere puliti i componenti con i quali entra in contatto. Infine, cosa importantissima, in particolare modo nei quattro tempi (ove si adottano invariabilmente sistemi di lubrificazione con circolazione di olio in pressione),

esso deve contribuire in misura considerevole al raffreddamento del motore. Proprio per questo motivo la quantità di olio che viene fatta circolare all'interno del motore stesso è notevolmente più alta (può anche risultare raddoppiata!) di quella che sarebbe necessaria ai fini della sola lubrificazione. L'olio assorbe calore dalle zone a temperatura più elevata e lo trasporta dove può smaltirlo, cedendolo all'aria esterna. Per queste ragioni in molti motori moderni il circuito è dotato di un radiatore o di uno scambiatore di calore acqua/olio. In qualche caso la funzione refrigerante dell'olio viene talmente "sfruttata che si parla di motori con raffreddamento "misto". Tra le caratteristiche che i moderni oli motore, frutto di una tecnologia molto evoluta, devono presentare vi sono, oltre come logico ad un elevato potere lubrificante, una elevata stabilità chimico - fisica, una grande resistenza alle sollecitazioni meccaniche e tecniche, una cospicua "capacità di carico", una adeguata "fluidità" e una bassa volatilità.

## **LA VISCOSITA'**

Una caratteristica importantissima di tutti i fluidi è la viscosità, ossia la loro resistenza allo scorrimento. Essa può anche essere definita la tendenza di uno "strato" in movimento del fluido a trascinare con sé gli strati adiacenti, ovvero la "attrito interno" del fluido stesso. E' opportuno ricordare che la velocità (che si misura per mezzo di appositi apparecchi detti viscosimetri) non deve assolutamente essere confusa con la densità (ossia con la massa volumica); un liquido può essere meno denso di un altro (l'olio, ad esempio, galleggia sull'acqua) ma risultare al tempo stesso più viscoso (l'olio è meno "fluidico" dell'acqua).

La viscosità degli oli è importantissima in quanto ad essa è fondamentalmente legata la capacità di carico del film lubrificante da essi formato. Essa, inoltre, ha una sensibile influenza sul rendimento meccanico del motore e, come logico, ne ha una ancora maggiore sulla pressione del circuito di mandata del sistema di lubrificazione.

La viscosità dell'olio è fortemente influenzata dalla temperatura (diminuisce al crescere di quest'ultima) e dalla pressione (cresce al suo aumentare), oltre che dal "gradiente di velocità nel velo lubrificante tra le due superfici in modo relativo.

La viscosità dinamica (o assoluta) degli oli si esprime in centipoise (cP) o, nelle unità SI, in Pa.s (Pascal secondo); essa è costituita dalla forza agente su di un'area unitaria, a distanza di riferimento, tra due superfici parallele, separate da un fluido, in movimento relativo (con velocità unitaria). Le sue dimensioni fisiche infatti sono quelle di una forza di un tempo su di una superficie.

La viscosità cinematica è eguale alla viscosità dinamica divisa per la massa volumica (densità) del fluido. Viene comunemente indicata in centistokes (cSt) o, nelle unità SI, in mm<sup>2</sup>/s.

La SAE ha stabilito dei livelli di viscosità, ai quali fanno riferimento tutti i prodotti di lubrificanti. Dal 1980 i livelli "invernali", indicati dal suffisso W, sono sei (da 0W a 25W), a ognuno dei quali corrisponde una viscosità misurata a una differente temperatura (ad esempio, quella di un 5W viene rivelata a -25°C, mentre quella di un 20W viene misurata a -10°C). Per gli altri livelli di viscosità (SAE 30, 40, 50) si fa invece riferimento alla temperatura di 100°C. Questi oli vengono detti unigradi.

La rapidità della variazione della viscosità in funzione della temperatura determina l'indice di viscosità dell'olio (più alto per quest'ultimo, minore il cambiamento di viscosità con la temperatura!). Gli oli multigradi rientrano in più livelli di viscosità SAE ed hanno quindi un indice di viscosità molto elevato (sempre superiore a 130 e addirittura, in certi casi dell'ordine di 160). Essi vengono indicati da due livelli SAE, il primo dei quali è quello "invernale". Così, ad esempio, un olio SAE 15W/50 si comporta a freddo come un unigrado SAE 15W e a caldo come un SAE 50.

Esso risulta perciò fluido (e quindi in grado di circolare agevolmente) alle basse temperature ma, al tempo stesso, mantiene una buona viscosità (e quindi una congrua capacità di carico) alle alte. La realizzazione di oli motore multigradi da parte delle industrie del settore ha costituito un importante passo in avanti in questo settore.

Tutti i lubrificanti sono formati da una base e da un pacchetto di additivi entrambi impiegati per migliorare le prestazioni e le caratteristiche chimico fisiche ugualmente importanti per il raggiungimento di 'high performance lubricants'.

Le basi oli si distinguono solitamente in minerali, idrogenate e sintetiche.

Le basi minerali si ottengono direttamente dalla raffinazione del petrolio. Il loro grado di qualità dipende principalmente sia dalla severità dei processi di lavorazione a cui vengono sottoposte, che dal greggio di provenienza.

Dal punto di vista molecolare un prodotto minerale presenta un andamento 'disordinato', con 'punti deboli' all'interno della catena (cere e composti aromatici). Gli oli motore usati a base minerale, rispetto ai lubrificanti sintetici, risultano infatti essere più viscosi per la presenza di morchie causate da fenomeni di ossidazione e all'accumulo di depositi.

I composti minerali non permettono al pacchetto di additivi di agire con la stessa efficacia dei preparati sintetici.

Le basi idrogenate sono invece formate da composti minerali trattati con idrogeno in presenza di un catalizzatore. Hanno una struttura più omogenea e priva di discontinuità. Oli usati idrogenati risultano ispessiti a confronto con oli sintetici.

Le basi sintetiche sono formate da composti chimici studiati 'su misura' secondo una precisa sequenza di reazioni al fine di ottenere molecole che presentino le proprietà fisiche e chimiche prestabilite. Non tutti gli oli sintetici sono comunque uguali.

A livello molecolare la regolarità è massima per le polialfaolefine PAO (basi sintetiche).

Le basi PAO si ottengono in due fasi distinte: prima polimerizzando olefine alfa lineari in prodotti molecolari dal peso molecolare relativamente basso; successivamente si mescolano (con un catalizzatore) per ottenere fluidi PAO a bassa viscosità (2-10 cSt @ 100 °C) o ad alta viscosità (40-100 cSt @ 100°C).

Questi fluidi PAO vengono poi idrogenati per mantenere il fluido più inerte chimicamente. Le basi PAO hanno altissimi indici di viscosità, ottima stabilità termica e proprietà anti ossidanti, e buona shear stability.

La struttura degli oli sintetici permette una riduzione della formazione di depositi (stabilità all'ossidazione) sui componenti lubrificati del motore e si mantiene fluida. Favorisce inoltre

la dispersione dei residui carboniosi, impedendone l'aggregazione e il conseguente incremento di viscosità dell'olio.

I lubrificanti sintetici hanno trovato il loro primo campo di applicazione nel settore aerospaziale. Gli utilizzi sui motori diesel di grossa cilindrata hanno avuto inizio negli Stati Uniti negli anni '80 e successivamente sono stati proposti alle grandi flotte.

Le ragioni che spingono a puntare sul "tutto sintetico" per i mezzi industriali sono molteplici. Esse sono legate all'esperienza accumulata in altri mercati, all'esigenza dei trasportatori di poter contare su intervalli di cambio d'olio più prolungati nonché all'evoluzione tecnica dei motori diesel.

## **OLI SINTETICI**

I diesel moderni per veicoli industriali sono caratterizzati da una vita operativa molto più estesa, in termini di percorrenza chilometrica, rispetto ai motori delle precedenti generazioni. Si è inoltre assistito a un incremento delle potenze specifiche - 29 kW/litro (40CV/litro), rispetto ai 22 kW/litro (30 CV/litro) di soli 10 anni fa - con conseguente incremento degli stress termici e meccanici cui i componenti di un propulsore vengono sottoposti (temperature di 300 ÷ 400°C. in corrispondenza delle corone del pistone, e di 230 ÷ 300 °C nella zona della prima fascia possono essere sostenute a lungo solo da lubrificanti sintetici).

Le norme antinquinamento in vigore nei Paesi industrializzati richiedono che anche i lubrificanti forniscano un contributo al contenimento delle emissioni allo scarico (il ritardo di iniezione utilizzato per ridurre le emissioni di ossidi di azoto (NOx), determina un incremento dei residui carboniosi che devono essere tenuti in sospensione dall'olio senza eccessivi incrementi di Viscosità).

Esiste quindi il bisogno di disporre di oli a bassa volatilità alle alte temperature tipiche dei diesel moderni, per evitare che l'eventuale frazione consumata determini un aggravio degli inquinanti. Gli oli sintetici garantiscono elevate caratteristiche detergenti necessarie per eliminare i residui lasciati dai precedenti composti minerali. Mantiene le proprie caratteristiche chimico fisiche.

L'impiego di sostanze di sintesi consente di prolungare gli intervalli di sostituzione dell'olio motore dagli attuali 20/25.000 km, ottenuti con i prodotti minerali, a oltre 100.000 km.

Per quanto riguarda gli oli da cambio, di effettuare gli interventi sui lubrificanti del cambio e del differenziale ogni 200.000 km. La riduzione degli attriti nella catena cinematica, legata all'impiego di tali oli porta inoltre a un risparmio di gasolio fino al 3% rispetto all'utilizzo di prodotti minerali convenzionali.

Alcuni trasportatori sono molto prudenti verso le novità tecnologiche. Si chiedono infatti se certe evoluzioni nella concezione dei mezzi e dei prodotti di consumo valgono realmente quello che promettono. Ciò è avvenuto anche nel campo dei lubrificanti. Alcuni li hanno utilizzati subito ed altri hanno preferito attendere.

Le motivazioni che inducono le aziende di trasporto a passare dai lubrificanti minerali a quelli sintetici riguardano:

- riduzione dei costi di manutenzione
- riduzione dei costi (dovuto alla diminuzione degli attriti interni fra i vari componenti della catena cinematica e conseguentemente più risparmio per ottenere la stessa potenza).
- risparmio nelle spese d'acquisto di lubrificanti.
- minore onere per i filtri rispetto l'utilizzo di prodotti a base minerale, in quanto viene preservato il potere lubrificante negli organi meccanici soggetti anche a notevoli stress termici.

Nel movimento terra la caratteristica più sfruttata è la maggior resistenza all'ossidazione.

Nelle macchine movimento terra, l'aumento del rapporto peso/potenza dei motori, l'adozione delle norme sulle emissioni (es. Euro II, Euro III e recentemente Euro IV), provoca un aumento delle temperature operative senza avere adeguati incrementi della carica d'olio: gli oli sintetici facilitano il progettista nel proseguire in questa direzione, più di quanto gli sia consentito dagli oli convenzionali di origine petrolifera.