

L'INDUSTRIA CHIMICA SPECIALISTICA.

NOTA 2: I LUBRIFICANTI

Ferruccio Trifirò

In questa nota sono esaminati i lubrificanti, prodotti dell'industria chimica specialistica, che sono dei formulati costituiti da uno o più oli base e da diversi additivi e utilizzati in motori per mezzi di trasporto e diverse apparecchiature industriali. Fra gli oli base, il principio attivo del lubrificante, ci sono oli minerali ottenuti direttamente dalle raffinerie, oli sintetici, di riciclo e naturali derivati da oli vegetali.



I lubrificanti sono sostanze chimiche che, interposte fra superfici in movimento, ne facilitano lo scorrimento, riducendo l'attrito, dissipando il calore generato, proteggendo le parti meccaniche da agenti atmosferici o attacchi corrosivi da parte di sostanze prodotte durante l'esercizio, evitando così l'usura delle apparecchiature e mantenendo alla fine di tutte queste attività la propria stabilità chimica. I lubrificanti sono utilizzati nei motori da trasporto, in impianti industriali, in apparecchiature agricole, nella lavorazione di metalli, in trasformatori, e come oli per ingranaggi.

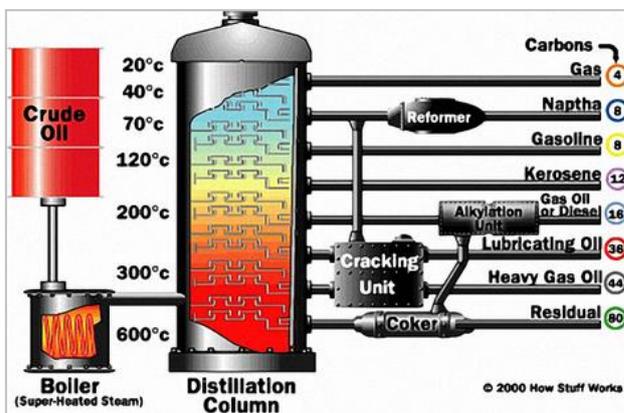
I lubrificanti sono in gran parte liquidi, ma possono essere anche solidi e gassosi. Le proprietà essenziali di un lubrificante sono:

- la viscosità, ossia avere una resistenza opposta alle forze che tendono a farlo scorrere (proprietà che diminuisce con l'aumentare della temperatura);
- l'untuosità ossia una sufficiente attitudine ad aderire alle superfici dei materiali e a formare su di essa una pellicola d'olio continua e stabile;
- essere stabile all'azione dell'aria, della pressione e della temperatura, non deve cioè addensarsi, produrre acidi, resinificarsi e formare depositi e croste;
- avere un elevato punto d'infiammabilità, ossia un'elevata temperatura alla quale i vapori prendono fuoco in presenza di una scintilla;
- possedere un alto punto di ebollizione (>250 °C) e un basso punto di congelamento e quindi potere essere utili in un largo campo di temperatura;
- possedere un punto di scorrimento (pour point) basso, ossia deve essere bassa la temperatura dove l'olio non scorre più a causa della formazione di cristalli;
- un punto di nebbia (cloud point) basso, ossia deve avere una bassa temperatura dove comincia ad addensarsi per l'inizio di formazione di cristalli.

Un lubrificante è un formulato costituito da uno o più oli base (il principio attivo) e da diversi additivi [1, 2, 3, 4]. Nella maggior parte dei lubrificanti gli oli base sono presenti con concentrazioni >93%, ma ci sono alcuni lubrificanti che hanno una percentuale di oli base del 70%. Le industrie che producono e commercializzano lubrificanti in Italia fanno parte del gruppo Gail (gruppo aziende industriali della lubrificazione) dell'Associazione Aispec di Federchimica [5] e sono attive nei seguenti settori: lubrificanti finiti per l'industria e l'autotrazione, basi lubrificanti da raffinazione o da rigenerazione e additivi per lubrificanti. Fanno parte di Gail 35 aziende che hanno realizzato nel 2015 un fatturato di 1 miliardo di euro con 1200 addetti.

Gli oli base dei lubrificanti

Gli oli base di un lubrificante [1-4], sono i seguenti: oli base minerali, oli base minerali non convenzionali, oli sintetici, oli vegetali e oli di riciclo. La scelta del tipo di olio base da utilizzare è legata alle sue prestazioni (ed il pezzo): all'alta viscosità, alla bassa volatilità, all'elevata vita,



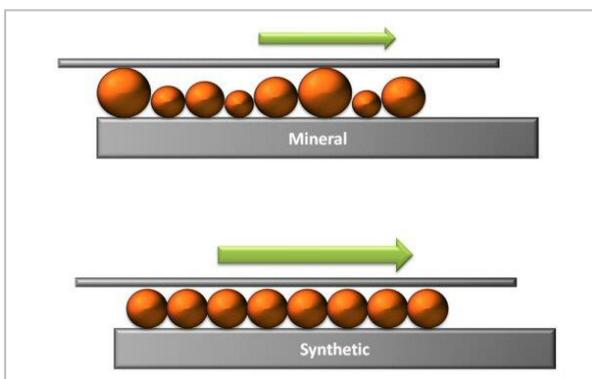
alla polarità, alla sua non tossicità e biodegradabilità. Gli oli liquidi hanno un campo di utilizzo da -60 °C a 250 °C ; gli oli base gassosi sono azoto ed argon ed altri gas e hanno applicazioni per temperatura oltre 400-550 °C o a bassa temperatura; gli oli semi-solidi sono i grassi; gli oli solidi sono essenzialmente grafite e MoS₂.

In questa nota saranno esaminati solo gli oli liquidi. Gli oli liquidi minerali hanno un contenuto di carbonio da C20

a C40 e sono essenzialmente isoparaffine, le *n*-paraffine hanno una più elevata viscosità, ma congelano a più alta temperatura, mentre gli oli naftenici ed aromatici sono meno stabili.

Oli minerali

Gli oli base minerali, che sono stati i primi ad essere utilizzati, sono ottenuti dalla distillazione sotto vuoto del residuo di distillazione atmosferica del greggio (che è lo stadio che porta alla produzione di carburanti). Il residuo della distillazione sotto vuoto viene prima estratto con propano per eliminare il bitume, poi con solventi (fenolo, furfurolo ecc.) per estrarre gli aromatici, poi deparaffinato con solvente (metiletilchetone) o idrocrackizzati per eliminare le *n*-paraffine e poi soggetto a idrogenazione per eliminare le impurezze trasformandole in prodotti utili più che rimuoverle.



Gli oli minerali non convenzionali sono ottenuti o da residui di distillazione sotto vuoto di petrolio dopo eliminazione del bitume o da gasolio pesante (che proviene dalla distillazione atmosferica del petrolio): queste frazioni del petrolio dapprima sono idrogenate per trasformare gli aromatici in paraffine, poi idroisomerizzate per trasformare le *n*-paraffine in isoparaffine e poi alla fine subiscono reazioni di

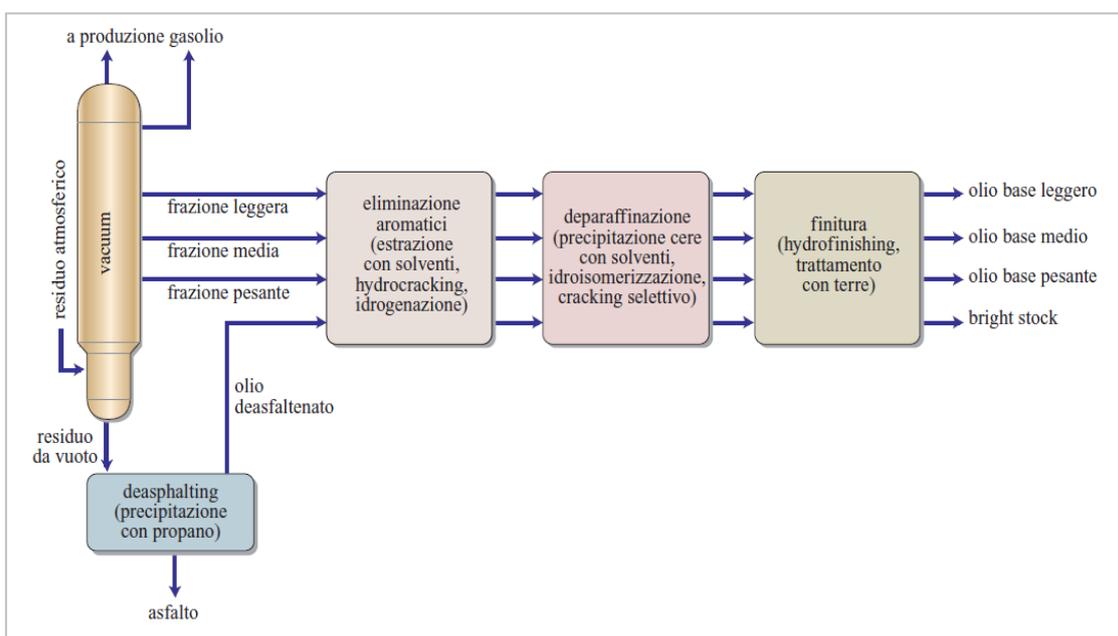
idrogenazione per eliminare le impurezze residue. Il vantaggio degli oli non convenzionali è che producono più oli base dalle frazioni dei distillati del petrolio ed evitano di formare molti coprodotti, anche se utilizzano processi più costosi.

Oli base sintetici

L'impiego di un olio base sintetico nella formulazione di un lubrificante è generalmente giustificato da vincoli sulle prestazioni richieste dai costruttori (viscosità più elevate, bassa volatilità, durata maggiore), da vincoli ambientali (non tossicità, biodegradabilità). Le basi sintetiche sono ottenute essenzialmente per reazioni di oligomerizzazione di monomeri ottenuti da frazioni di petrolio o per idrotattamento di paraffine ottenute per reazioni di Fischer-Tropsch da gas di sintesi prodotto da metano, da carbone o da biomasse. Le basi sintetiche, rispetto agli oli base minerali sono costituite da molecole più omogenee e garantiscono: una volatilità inferiore a pari viscosità (minor consumo in esercizio); un indice di

viscosità superiore (intervallo di temperature d'impiego più ampio); una maggiore stabilità chimica alle alte temperature (vita utile più lunga); un tenore di zolfo basso o trascurabile. Riporteremo qui di seguito i diversi oli di base sintetici più utilizzati.

Le polialfaolefine (PAO) sono ottenute per oligomerizzazione dell'etilene ad alfa decene con catalizzatori Ziegler-Natta e poi dimerizzazione, trimerizzazione e tetramerizzazione con catalizzatori a base di BF_3 e idrogenazione successiva (con catalizzatori a base di Ni o Pd) ad olio di base finale e distillazione per eliminare i dimeri. Questi oli base sono fra i più utilizzati e garantiscono un ampio campo di temperatura di utilizzo, in particolare migliori proprietà a freddo a seguito dell'alta ramificazione della catene idrocarburiche e una più bassa volatilità rispetto agli oli minerali, inoltre presentano una buona lubrificazione e compatibilità con la maggiore parte dei materiali. Sono però poco polari e quindi non hanno elevato poter solvente verso alcuni additivi e per questo sono utilizzati insieme ad altri oli di base sintetici che possiedono proprietà polari.



I polibuteni (PIB) sono polimeri dell'isobutene e dei buteni, hanno una minore stabilità e maggiore volatilità, più basso indice di viscosità dei PAO, e sono utilizzati in miscela con i PAO e gli esteri per diminuire la formazione di depositi. Questi oli hanno l'inconveniente che a temperature >200 °C incominciano a depolimerizzare formando sostanze volatili e per questo sono utilizzati in genere in impianti industriali.

Gli esteri sintetici sono esteri di acidi dibasici con monoalcooli ramificati C6-C9, per esempio sono (2-etil esil)adipato o diundecil(2,2,4-trimetil)adipato. Questi esteri hanno trovato un vasto utilizzo come additivi di grassi e di poliolefine, sono infatti ideali per alte temperature, per il basso coefficiente di attrito, bassa volatilità, elevata stabilità chimica, elevato potere disperdente e detergente e vengono utilizzati anche nella produzione dei lubrificanti biodegradabili.

Gli aromatici alchilati sono ottenuti per alchilazione con propilene (che anche oligomerizza) di benzene e a seguito del loro potere solvente e basso pour point sono utilizzati negli oli refrigeranti.

Le poliolefine interne (poly internal olefins, PIO) sono prodotte a partire da olefine C14-C18 ottenute dal cracking che poi vengono oligomerizzate con catalizzatori a base di BF_3 . Questi oli

sono caratterizzati da un più elevato indice di viscosità rispetto alle PAO, più bassa volatilità e ottimo comportamento reologico sia a bassa che ad alta temperatura.

I polialchilenglicoli (PAG) sono copolimeri di ossidi di etilene e di ossido di propilene ottenuti con catalizzatori basici. Questi oli presentano un basso coefficiente di attrito, basso "pour point" bassa formazione di residui, elevata capacità di asportare calore, ma hanno scarsa resistenza all'ossidazione.

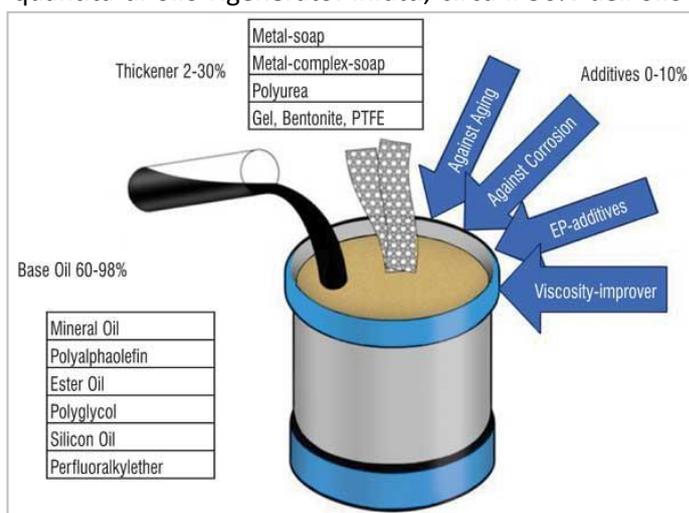
I perfluoroalchilpolieteri (PFPE) hanno basso coefficiente di attrito, elevato campo di temperatura di utilizzo, elevatissima resistenza ad agenti chimici, sono resistenti ad alte temperature (fino a 260 °C) e non sono infiammabili.

Oli di base vegetali

Gli oli di base vegetali sono trigliceridi di diversi acidi saturi ed insaturi ottenuti da diversi oli vegetali (oliva, canola, mais, palma ecc.) ed hanno il pregio di essere biodegradabili, di avere un elevato indice di viscosità, un basso "pour point", un elevato potere solvente per gli additivi, un elevato "flash point" (>320 °C), ma hanno una minore stabilità dei oli minerali ed inoltre non possono essere utilizzati a bassa temperatura. Questi oli possono essere idrogenati per eliminare i doppi legami ed aumentare la loro stabilità.

Oli rigenerati

Per processo di rigenerazione si intende l'eliminazione dei residui carboniosi e degli ossidi metallici degli oli usati, tramite un adeguato trattamento, per ottenere basi lubrificanti rigenerate riutilizzabili. Gli oli minerali usati divengono, con la rigenerazione, materia prima seconda per la produzione di nuovi oli lubrificanti. L'Italia è il primo Paese in Europa per quantità di olio rigenerato: infatti, circa il 90% dell'olio minerale usato raccolto è avviato alla



rigenerazione, il restante 10% dell'olio usato raccolto è destinato alla combustione e, nel caso di olio altamente inquinato, eliminato attraverso la termodistruzione. Le tecniche di rigenerazione permettono di ottenere oli lubrificanti con le stesse caratteristiche degli oli di partenza. Il trattamento di rigenerazione consiste nell'eliminazione dei composti volatili, nella rimozione dei composti insolubili e dei residui degli additivi e di reazioni di idrotrattamento per eliminare gli

eventuali aromatici presenti. In Italia la filiera degli oli usati è nata cinquant'anni fa con il Consorzio Obbligatorio Oli Usati ed è uno dei primi esempi di economia circolare.

Additivi per lubrificanti

Gli additivi sono diverse sostanze chimiche che, addizionate agli oli base, costituiscono il formulato finale che va sul mercato. Ci sono tre tipi di additivi: le sostanze che migliorano le caratteristiche intrinseche degli oli base (modificatori dell'indice di viscosità, miglioratori del punto di scorrimento, antischiuma/disemulganti); le sostanze che impartiscono nuove proprietà e proteggono le superfici metalliche delle apparecchiature (antiusura, detergenti, disperdenti, anticorrosivi, antiruggine, modificatori di attrito e untuosanti); le sostanze che proteggono l'olio base e quindi allungano la vita del lubrificante (antiossidanti). Come additivi che possono essere

anche utilizzati oli di base diversi, che, per esempio, modificano il potere solvente. Saranno elencati qui di seguito i diversi additivi con la loro funzione e la loro natura chimica.

I detergenti mantengono in sospensione eventuali impurezze solide che si possono formare, in genere dalla decomposizione dei lubrificanti, evitando così che si depositino sulle superfici metalliche dei motori, in particolare a benzina e diesel che operano ad alta temperatura, mantenendoli così puliti. La maggior parte dei detergenti sono solfonati, salicilati e tiofosfanati essenzialmente sali di calcio o di metalli alcalini terrosi.

I disperdenti, che hanno un peso molecolare superiore ai detergenti, mantengono in sospensione sostanze insolubili che si formano a bassa temperatura (morchie) e fuliggini, evitando la loro precipitazione e quindi prolungano l'efficacia e la durata dell'olio base. Questi additivi sono sostanze ad alto peso molecolare, fra 700 e 3000, ed hanno una porzione lipofila costituita da poliolefine (in genere isobutene) e un gruppo polare. La maggior parte dei disperdenti sono succinimidi, esteri succinici e alchilfenolammine (basi di Mannich).

I miglioratori del punto di scorrimento (pour point depressants) abbassano la temperatura dove non avviene più lo scorrimento dell'olio; gli oli di base, in genere, hanno pour point di -15 e -20 °C e questi additivi abbassano il punto di scorrimento a -30 e -40 °C. Questi additivi sono polimeri ramificati che coprecipitano con le cere evitando che si agglomerino e sono polimetacrilati, copolimeri etilene-vinilacetato e polifumarati.

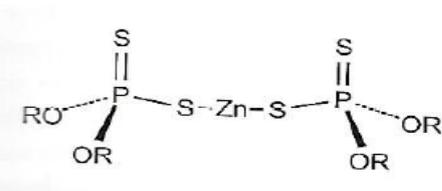
I miglioratori di viscosità (o miglioratori dell'indice di viscosità, che è la proprietà più importante di un lubrificante) rallentano la diminuzione della viscosità (evitando la diminuzione dello spessore del film lubrificante) che avviene aumentando la temperatura. Questi additivi non sono solubili a bassa temperatura e solo ad alta temperatura interagiscono con l'olio base, estendendo le loro catene polimeriche, aumentandone così la viscosità. Questi additivi sono copolimeri etilene-propilene idrogenati, polisopreni idrogenati, polimetacrilati, copolimeri stirene-isoprene idrogenati, copolimeri stirene-butadiene idrogenati e poliisobuteni e possono essere modificati per conferire loro altre proprietà, come quelle di additivi disperdenti e capaci di diminuire l'indice di scorrimento.

Gli antischiuma modificano le proprietà all'interfaccia olio-acqua, eliminando le bolle di aria che favorirebbero l'ossidazione dell'olio, e sono polimeri insolubili nell'olio, che formano un monolamina che rompe le schiuma. Le particelle di questi additivi devono avere dimensioni sotto i 100 µm o meglio sotto i 10 µm. Questi additivi sono a base di siliconi lineari, polidimetilsilossani ciclici, allilacrilati e metacrilati.

I disemulganti facilitano la separazione fra olio e acqua (accumulata al suo interno) facilitando la sua decantazione e sono a base di alchil naftaleni e fenolietossilati, dinonilnaftalensulfonato, polialcossidi fenoli, fenoli e poliammidi.

Gli antiusura reagiscono con le superfici metalliche formando strati a basso coefficiente di attrito, proteggendo così i motori in condizioni di carico elevate. L'usura è la perdita di metallo e la conseguente variazione della pulizia e della levigatezza delle superfici in movimento relativo una rispetto all'altra e questo in genere accade in condizioni di lavoro estreme (alta temperatura e pressione). Tra i principali fattori che provocano usura c'è il contatto metallo-metallo, la presenza di particolato abrasivo e l'attacco di acidi corrosivi. Questi additivi sono composti polari ed in genere vengono utilizzati insieme ai PAO e funzionano perché si decompongono ad alta temperatura reagendo con i metalli e formando uno strato a basso

coefficiente di attrito. Questi additivi sono a base di ditiofosfati di zinco, dialchil ditiofosfato e ditiocarbammati.



Ditiosolfato di zinco

Gli antiruggine proteggono le superfici metalliche dalla corrosione e dagli agenti aggressivi generati durante la combustione formando una barriera fisica sulla superficie metallica: presentano un gruppo polare che si lega alla superficie metallica ed una lunga catena idrocarburica che interagisce con l'olio base. Questi additivi sono: alcoli etossilati, ammine, esteri fosforici, acidi carbossilici a lunga catena, imidazoline e tioderivati.

Gli inibitori dell'ossidazione prevengono il deterioramento del lubrificante causato dagli attacchi dell'ossigeno. Questi additivi possono essere inibitori primari che distruggono i radicali liberi (rottura della catena) e/o secondari che interagiscono con i perossidi coinvolti nel meccanismo d'ossidazione. Gli antiossidanti più usati sono i fenolici e le ammine, come primari, e ditiofosfati di zinco, come secondari.

Gli inibitori della corrosione dei supporti metallici, dovuta alla reazione con acidi che si formano durante l'uso del lubrificante, agiscono formando una lamina protettiva sulla



superficie dei metalli. Gli inibitori più utilizzati sono derivati di poliisobutene, acido succinico, acido dodecilsuccinico, alcoli etossilati, acidi carbossilici a lunga catena, ammine fosfato, derivati dell'imidazolina, sulfonati ed esteri fosforici.

I disemulganti facilitano la separazione dell'acqua dall'olio inserendosi alla loro interfaccia; essi sono dinonil naftalene sulfonato, poliammide, polifenoli e polialcossilati.

Gli untuosanti o modificatori di attrito aderiscono alle superfici metalliche con legami chimici e/o fisici (come gli antiusura). La riduzione del coefficiente di attrito delle superfici avviene con formazione di film di

molecole ad elevata scorrevolezza. I modificatori di attrito hanno essenzialmente il ruolo di ridurre il consumo di energia. Questi additivi possono essere solidi a base di bisolfuro di molibdeno o grafite o liquidi a base di composti organici del molibdeno, come molibdeno ditiocarbammato o molibdeno dialchiliditiofosfato.

Alcune aziende attive in Italia nella produzione di lubrificanti

Lubritalia SpA [6] è una delle aziende leader italiane per la produzione di lubrificanti sintetici e minerali con uno stabilimento a Taranto e produce in gran parte lubrificanti per l'industria. In particolare l'azienda produce lubrificanti per la lavorazione di metalli (per laminati, per la laminazione a freddo e finitura, per rivestimenti e protezione per lo stampaggio e formatura), per il settore rame e alluminio (trafilatura, stampaggio, formatura), per ingranaggi speciali e compressori d'aria, per turbine a vapore per fluidi idraulici resistenti al fuoco e fluidi per guida macchine.

L'azienda API [7] ha un raffineria a Falconara Marittima (AN) e produce prodotti lubrificanti a marchio IP, utilizzati per l'autotrazione leggera e pesante, l'agricoltura e l'industria, composti da oli base minerali e sintetici. L'azienda produce i seguenti lubrificanti: per motori per autovetture a benzina e gasolio, per moto e scooter a 4 tempi, per motori diesel di veicoli commerciali, industriali e agricoli, per motori a 2 tempi per moto e nautica, per cambi differenziali, per trasmissioni automatiche, fluidi speciali, grassi e altri lubrificanti (per compressori d'aria, sistemi idraulici e utensili pneumatici).

CBA SpA [8] produce lubrificanti ed additivi per l'industria e l'autotrazione ed ha lo stabilimento a Cadriano (BO). I lubrificanti prodotti dall'azienda sono: antiusura per macchine operatrici e cinematismi vari, per le più svariate applicazioni industriali, per autovetture, veicoli pesanti, moto e scooters, nautica, macchinari agricoli, per motori a benzina. L'azienda produce inoltre lubrificanti biodegradabili per tutte le applicazioni in cui è richiesto l'impiego di prodotti

velocemente biodegradabili, ossia dove vi è possibilità di dispersione del prodotto in ambiente come ad esempio: la lubrificazione di cuscinetti deviatori degli scambi ferroviari, di ruote treni, di macchine da cantiere e di tosaerba etc. L'azienda produce anche lubrificanti speciali in particolare: per la lavorazione per catene impianti, per industria alimentare e cosmetica e per la lavorazione di metalli (antiruggine, sgrassaggio, lubrorefrigeranti). L'azienda produce, infine, lubrificanti grassi che trovano applicazione in tutti i casi in cui non ci sono condizioni idonee alla lubrificazione con olio e prodotti spray per lo sbloccaggio e lubrificazione di viti, bulloni, articolazioni e giunti.

Fuchs Lubrificanti [9] è un'azienda multinazionale che ha un stabilimento a Buttigliera d'Asti e produce lubrificanti per la lavorazione di metalli, grassi per applicazioni speciali (catene di trasmissione, ingranaggi, cuscinetti striscianti rulli disarmanti), per l'industria alimentare, per la produzione di energia eolica e traffico ferroviario.

Versalis [10] azienda chimica di eni, è coinvolta, in collaborazione con altre aziende in diversi progetti per la produzione di biolubrificanti. Versalis e Solazyme (azienda americana produttrice di oli da fonti rinnovabili), commercializzeranno insieme un lubrificante biodegradabile incapsulato, chiamato "Encapso", prodotto da oli ottenuti da alghe, utilizzabile



nelle perforazioni petrolifere. Versalis con Elevance (azienda americana) realizzerà a Marghera, con una tecnologia innovativa, biolubrificanti ottenuti per reazione di metatesi fra olio di palma con etilene per ottenere olefine C9-C10, metilesteri C10 e C12, e per idrogenazione successiva fluidi per la perforazione di pozzi petroliferi e lubrificanti, con una capacità intorno a 30 mila tonnellate annue. Versalis, tramite la società Matrica, joint venture con Novamont, produrrà a Porto Torres

biolubrificanti a partire da acido azelaico (acido dicarbossilico a 9 atomi di carbonio) e acido pelargonico (acido monocarbossilico a 9 atomi di carbonio) ottenuti per scissione ossidativa a basso impatto ambientale di oli vegetali. Questi lubrificanti biodegradabili saranno ideali per utilizzi dove c'è dispersione in ambienti naturali delicati come quello marino ed in agricoltura.

Bellini SpA [11], una delle aziende leader nel settore dei lubrificanti per l'industria in Italia con uno stabilimento a Zanica (BG), produce in grande quantità lubrificanti per il trattamento dei metalli, in particolare per guide di scorrimento, guide con sistemi idraulici, ingranaggi, trasformatori e tempra di metalli. L'azienda produce anche lubrificanti per motori: carri leggeri, pesanti, motori a 2 tempi a 4 tempi motori diesel a benzina e macchine agricole. L'azienda da anni sta studiando l'utilizzo di esteri di origine naturale in sostituzione degli idrocarburi, come base per la realizzazione di oli lubrorefrigeranti.

Viscolube [12] è un'azienda specializzata nel riciclo dei lubrificanti usati e produce basi lubrificanti rigenerate che rappresentano circa il 30% dei lubrificanti venduti in Italia. Dalla raffinazione dell'olio usato si ottengono lubrificanti con prestazioni alle volte superiori a quelle originali. L'azienda gestisce le attività di raccolta, trasporto e trattamento dei rifiuti con sei stabilimenti tutti in Nord Italia e che trattano 140.000 t/anno di rifiuti di lubrificanti.

BIBLIOGRAFIA

¹T. Mang, W. Dresel, Lubricants and Lubrification, J Wiley-VCH, Weinheim, 2001.

²R Maione, Enciclopedia degli Idrocarburi, Vol. II, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 2006, cap. 1, pag. 44-48.

³A. Belli, Enciclopedia degli Idrocarburi, Vol. II, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 2006, cap. 8, pag. 341-366.

⁴R.M. Gresham, N.M. Canter, E.S. Zabawski, M Zou, Lubrication and Lubricants, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, published on line 28 Sept. 2015, 1-77.

⁵<http://gail.federchimica.it/>

⁶<http://www.lubritalia.com/prodotti/prodotti-di-consumo.html>

⁷http://www.ip.gruppoapi.com/images/stories/resources/catalogo_generale.pdf

⁸<http://www.cbadeilubrificanti.it/>

⁹<https://www.fuchs.com/it/it/azienda/informazioni-su-fuchs/storia-fuchs/>

¹⁰https://www.versalis.eni.com/irj/portal/anonymous?guest_user=anon_it&NavigationTarget=ROLES://portal_content/z_eni_ve_fl_versalis/z_eni_ve_fl_roles/z_eni_ve_rl_gues_versalis/Ricerca/shortcut/ChimicaVerde/Matrice

¹¹[http://www.bellini-](http://www.bellini-lubrificanti.it/public/documenti/articolo%20SIMLII%202012%20bellini%20rivaleghissa%20gambini%20mosconi.pdf)

[lubrificanti.it/public/documenti/articolo%20SIMLII%202012%20bellini%20rivaleghissa%20gambini%20mosconi.pdf](http://www.bellini-lubrificanti.it/public/documenti/articolo%20SIMLII%202012%20bellini%20rivaleghissa%20gambini%20mosconi.pdf)

¹²http://gail.federchimica.it/docs/default-source/default-document-library/03---codognola-viscolube-lube_day2016.pdf?sfvrsn=0