

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE



AFFIGE

LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

AFFIGE

L'olio lubrificante additivato con grafene per motori a combustione interna - Analisi tribologica, chimica e ambientale.

L'impiego del grafene come additivo nanostrutturato negli oli lubrificanti per motori a combustione interna rappresenta una promettente innovazione nel campo della tribologia applicata all'ingegneria automobilistica. Il presente lavoro analizza in modo sistematico i meccanismi fisici, chimici e tribologici alla base dell'utilizzo del grafene nell'olio per motori diesel e benzina, con particolare attenzione agli effetti su: l'aumento della potenza, la riduzione dei consumi, l'abbattimento delle emissioni di CO₂, la protezione delle superfici meccaniche, la riduzione del blow-by, la diminuzione della rumorosità, il miglioramento dello scambio termico e la stabilizzazione chimica del lubrificante.

INDICE

1. Introduzione generale
 2. Struttura fisico-chimica del grafene
 3. Tribologia nei motori a combustione interna
 4. Scheda tecnica Affige
 5. Prove su banco
 6. Prove su strada
 7. Conclusioni
-

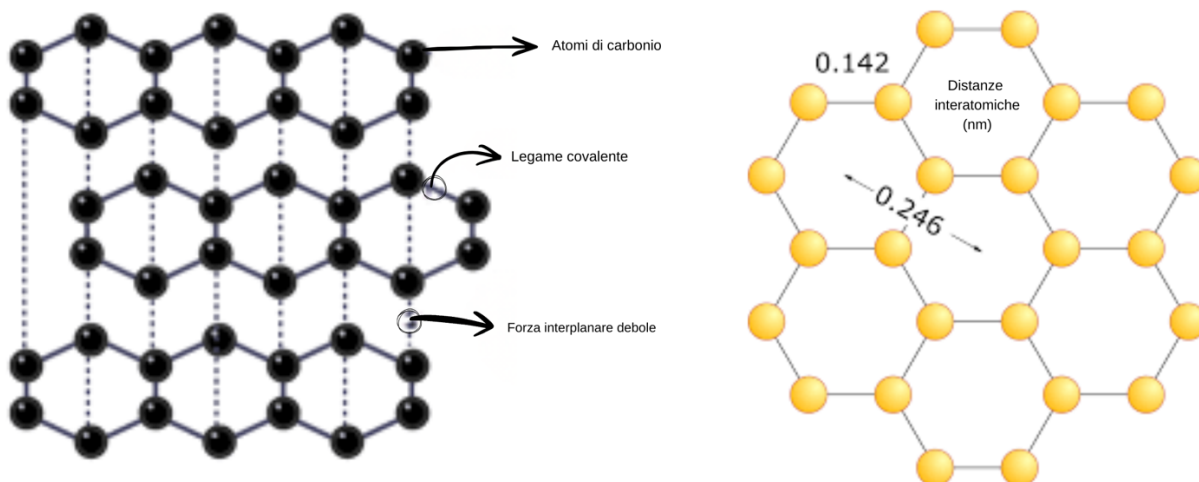
1. INTRODUZIONE

L'efficienza dei motori a combustione interna è intrinsecamente limitata da numerose perdite energetiche che si verificano durante il funzionamento. Solo una parte dell'energia chimica contenuta nel carburante viene effettivamente trasformata in lavoro meccanico utile, mentre una quota significativa viene dispersa sotto forma di calore attraverso i gas di scarico, il sistema di raffreddamento e l'attrito tra le componenti meccaniche. Tra queste perdite, l'attrito interno rappresenta un fattore determinante: pistoni, fasce elastiche, cilindri, albero motore, cuscinetti e ingranaggi sono costantemente in movimento e in contatto reciproco, generando resistenze che sottraggono energia al sistema. Questa energia si trasforma principalmente in calore indesiderato, contribuendo all'usura dei componenti e riducendo il rendimento complessivo del motore. Inoltre, le micro-irregolarità superficiali dei metalli amplificano il fenomeno, aumentando la dissipazione energetica soprattutto nelle fasi di avviamento a freddo, quando la lubrificazione non è ancora ottimale. In questo contesto, l'introduzione di nanomateriali bidimensionali nei lubrificanti rappresenta un tentativo di intervenire direttamente sul regime di lubrificazione e ottenere un olio ad alto potere lubrificante che mitighi tali limiti. Grazie a una formulazione avanzata e a una maggiore capacità di creare un film protettivo stabile e resistente, esso riduce il coefficiente di attrito tra le superfici in movimento, favorendo uno scorrimento più fluido e uniforme. La diminuzione dell'attrito comporta una minore dispersione di energia meccanica e una riduzione della temperatura operativa, migliorando l'efficienza termica complessiva. Inoltre, un olio di alta qualità contribuisce a mantenere pulite le superfici interne, limitando la formazione di depositi che potrebbero ostacolare il corretto funzionamento del motore. Pur non eliminando, quindi, le inevitabili perdite termodinamiche legate al ciclo di combustione, un lubrificante ad alte prestazioni consente di ottimizzare il rendimento meccanico, prolungare la vita utile del motore e ridurre i consumi di carburante, rappresentando una soluzione concreta per contenere le inefficienze strutturali dei motori a combustione. La nostra società ha sviluppato Affige, un olio innovativo additivato con nano placchette di grafene che svolge questo importante compito.

2. STRUTTURA FISICO-CHIMICA DEL GRAFENE

Il grafene è costituito da un reticolo bidimensionale esagonale di atomi di carbonio ibridati sp^2 . Sin dalla sua scoperta da parte di Novoselov e Geim del 2010 ha suscitato interesse a livello mondiale. Intrinsecamente, il grafene è una struttura stratificata, piuttosto rigida ed eccezionalmente resistente. Le proprietà fisiche fondamentali del grafene, in particolare la resistenza meccanica, la sollecitazione a trazione e la conduttività termica sono estremamente elevate. Queste eccellenti proprietà lo rendono un candidato vantaggioso in tantissime applicazioni, tra le quali la lubrificazione.

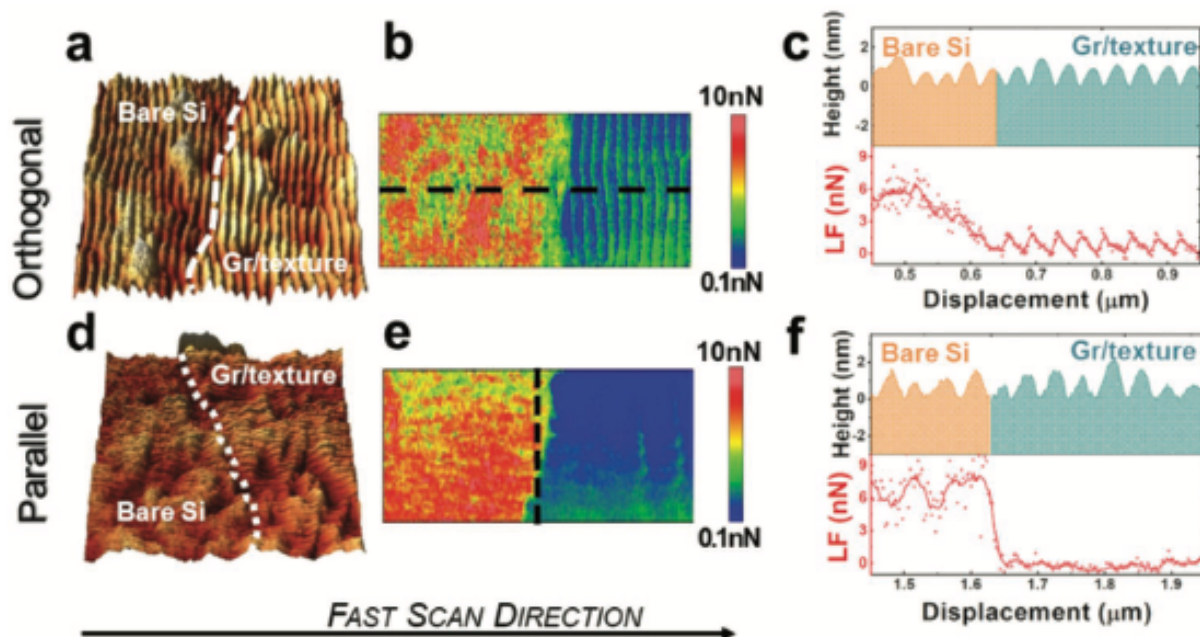
AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE



Attrito e usura sono le due principali cause di perdite di energia e materiale nei processi meccanici. La lubrificazione è un l'obiettivo principale per migliorare l'efficienza energetica e la durata meccanica di un qualsiasi dispositivo. Infatti, indipendentemente dalla finitura, qualsiasi superficie metallica presenta creste, avvallamenti, asperità e depressioni. Per migliorare l'efficace funzionamento dei componenti meccanici o di due superfici a contatto, è necessario un lubrificante migliore insieme ad additivi chimici. L'aggiunta di nanomateriali come additivi nell'olio lubrificante base è un campo di ricerca in rapida evoluzione poiché i nanomateriali si differenziano dai materiali sfusi tradizionali per le loro dimensioni estremamente ridotte e l'elevata superficie specifica. Diversi ricercatori hanno testato una varietà di nanomateriali (nanotubi di carbonio, fullereni e nanosfoglie di grafite) dispersi in oli di base per migliorare l'antiusura e ridurre l'attrito.

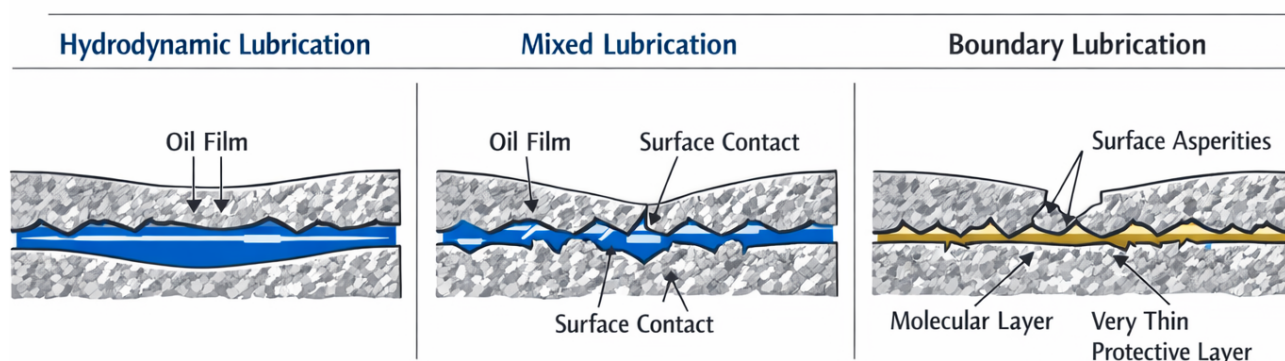
In questo contesto il grafene emerge per le sue qualità tribologiche intrinseche. Dal punto di vista dell'attrito e dell'usura, il grafene presenta un coefficiente di attrito molto basso, dovuto alla sua struttura cristallina regolare e alla debole interazione tra i piani quando più strati scorrono l'uno sull'altro. Questa caratteristica favorisce un meccanismo di scorrimento facilitato, spesso descritto come "superlubricità" in condizioni controllate, in cui le superfici rivestite o additivate con grafene mostrano una drastica riduzione delle forze resistenti. In ambito tribologico, il grafene può agire sia come rivestimento solido sia come additivo in oli e grassi lubrificanti: disperso in matrici fluide, forma film protettivi sottili e continui che separano le asperità superficiali, riducendo il contatto diretto metallo-metallo. La sua elevata conducibilità termica aiuta inoltre a dissipare il calore generato dall'attrito, limitando fenomeni di degradazione termica e ossidazione. Un altro aspetto rilevante è la capacità del grafene di adattarsi alle micro-irregolarità delle superfici, riempiendo difetti e contribuendo a creare uno strato tribo-film stabile durante il funzionamento.

Moltissimi studi teorici e sperimentali sono stati effettuati negli anni ed hanno dimostrato come le nano placchette di grafene diminuiscano l'attrito tra una superficie e l'altra. Un'immagine molto esplicativa appartiene ad una ricerca pubblicata sulla rivista Small (Graphene confers ultralow friction on nanogear cogs, Mescola et al., Small 2021, 17, 2104487) e mostra come la forza di attrito cali drasticamente in presenza di grafene.



3. TRIBOLOGIA NEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

Nei motori diesel e benzina si distinguono tre regimi di lubrificazione – idrodinamico, misto e limite – che rappresentano condizioni operative profondamente diverse tra loro ma strettamente interconnesse nel determinare l’affidabilità, l’efficienza e la durata del propulsore. Comprendere queste tre modalità significa comprendere il cuore stesso della tribologia applicata ai motori a combustione interna, poiché ogni organo in movimento, dall’accoppiamento pistone-cilindro ai cuscinetti di banco e di biella, fino agli alberi a camme e alle punterie, opera costantemente in uno di questi regimi o in transizione tra di essi.



AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

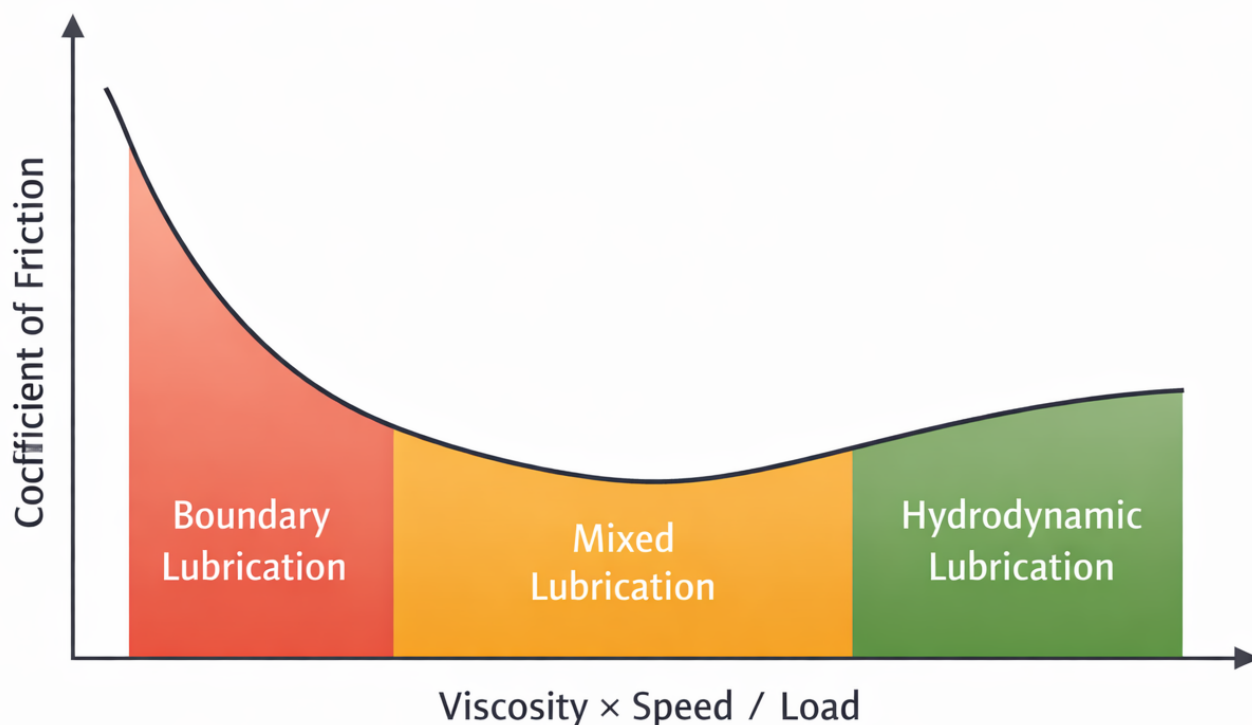
Nel regime idrodinamico le superfici metalliche in moto relativo sono completamente separate da un film continuo di olio, la cui pressione viene generata dal movimento stesso e dalla viscosità del lubrificante, creando una sorta di “cuscono fluido” capace di sostenere il carico senza che vi sia contatto diretto tra le asperità delle superfici. Questa è la condizione ideale perché l’attrito è prevalentemente viscoso e l’usura è minima, motivo per cui la scelta della viscosità corretta dell’olio, in funzione delle tolleranze costruttive e delle condizioni di esercizio, diventa fondamentale per garantire che lo spessore del film sia sufficiente a evitare il contatto metallo-metallo; tuttavia, il motore non opera sempre in condizioni tali da mantenere un film perfettamente idrodinamico, specialmente durante le fasi di avviamento a freddo, di arresto o di carico elevato a bassi regimi.

E’ proprio in queste situazioni che si entra nel regime misto, nel quale una parte del carico è ancora sostenuta dal film lubrificante ma una quota significativa viene trasferita attraverso il contatto diretto delle microasperità superficiali, generando un aumento dell’attrito e dell’usura rispetto al regime idrodinamico. Qui la qualità dell’olio, la presenza di additivi antiusura e la finitura superficiale dei componenti assumono un ruolo decisivo nel limitare i danni e nel garantire che il passaggio tra i regimi avvenga senza conseguenze critiche;

Ancora più delicata è la situazione nel regime limite, che si verifica quando lo spessore del film d’olio è talmente ridotto da non riuscire più a separare le superfici, lasciando che il carico venga quasi interamente sostenuto dai punti di contatto tra le asperità. In questo contesto l’attrito non è più governato principalmente dalla viscosità del fluido ma dalle proprietà chimico-fisiche delle superfici e degli additivi presenti nell’olio, poiché sono proprio questi ultimi a formare sottilissimi strati protettivi adsorbiti o reattivi che impediscono il grippaggio e la saldatura a freddo dei metalli.

Il regime limite è quindi quello in cui l’additivo lubrificante svolge il ruolo più critico, perché in assenza di un film idrodinamico continuo la protezione dipende dalla capacità dell’olio di creare una barriera chimica resistente alle alte pressioni e alle temperature elevate tipiche dei contatti localizzati, come quelli tra camma e punteria o tra fasce elastiche e parete del cilindro durante certe condizioni operative, e additivi come quelli antiusura ed estreme pressioni reagiscono con le superfici formando composti a bassa resistenza al taglio che riducono l’attrito e prevengono danni irreversibili; è importante sottolineare che in un motore reale questi tre regimi non sono compartimenti stagni ma si alternano e coesistono in funzione della velocità relativa, del carico applicato, della temperatura e della viscosità del lubrificante

La curva di Stribeck descrive efficacemente questa transizione mostrando come il coefficiente d’attrito vari al variare del parametro che combina viscosità, velocità e carico ed evidenziando il passaggio dal regime limite a quello misto e infine a quello idrodinamico. Tale rappresentazione aiuta a comprendere perché, ad esempio, un aumento della temperatura che riduce la viscosità possa assottigliare il film lubrificante favorendo il ritorno a condizioni di lubrificazione mista o limite; nei motori diesel, caratterizzati da pressioni di combustione generalmente più elevate rispetto ai benzina, le sollecitazioni sui cuscinetti e sulle superfici di contatto possono essere maggiori, richiedendo oli con pacchetti additivi particolarmente robusti e una stabilità termica superiore, mentre nei motori a benzina ad alto regime la velocità di rotazione elevata favorisce la formazione del film idrodinamico ma impone requisiti stringenti in termini di resistenza al taglio e controllo dell’ossidazione.



L'evoluzione tecnologica dei motori moderni, con tolleranze sempre più strette, sistemi di sovralimentazione, start&stop frequenti e normative sulle emissioni sempre più severe, ha reso ancora più cruciale il controllo dei regimi di lubrificazione, perché ridurre gli attriti significa migliorare l'efficienza energetica e contenere i consumi di carburante. Allo stesso tempo occorre garantire una protezione adeguata nelle condizioni più gravose, e ciò ha portato allo sviluppo di oli a bassa viscosità con additivi altamente performanti capaci di offrire protezione anche quando il film è sottile; inoltre, la qualità delle superfici lavorate, i trattamenti termici e i rivestimenti superficiali contribuiscono in modo determinante alla gestione del regime limite, poiché superfici più lisce e rivestimenti a basso coefficiente d'attrito riducono la probabilità di contatti distruttivi, integrando l'azione chimica degli additivi. In definitiva, la distinzione tra regime idrodinamico, misto e limite non è soltanto una classificazione teorica ma rappresenta una chiave di lettura essenziale per comprendere il comportamento reale dei motori diesel e benzina, la loro affidabilità nel tempo e l'importanza strategica della scelta del lubrificante, perché se nel regime idrodinamico è la viscosità a dominare e nel regime misto vi è una condivisione del carico tra fluido e metallo, è nel regime limite che si gioca la partita più delicata, quella in cui pochi micron di film e pochi strati molecolari possono fare la differenza tra un funzionamento regolare e un danno catastrofico, dimostrando come la scienza della lubrificazione sia un equilibrio sofisticato tra meccanica, chimica e ingegneria dei materiali.

L'introduzione del grafene come additivo dell'olio lubrificante agisce su diversi fronti e porta con sé effetti positivi che si possono distinguere in diverse categorie.

Incremento della potenza meccanica

La potenza effettiva di un motore può essere descritta dalla relazione:

$$P_{eff} = P_{termica} - Perdite_{attrito} - Perdite_{accessorie}$$

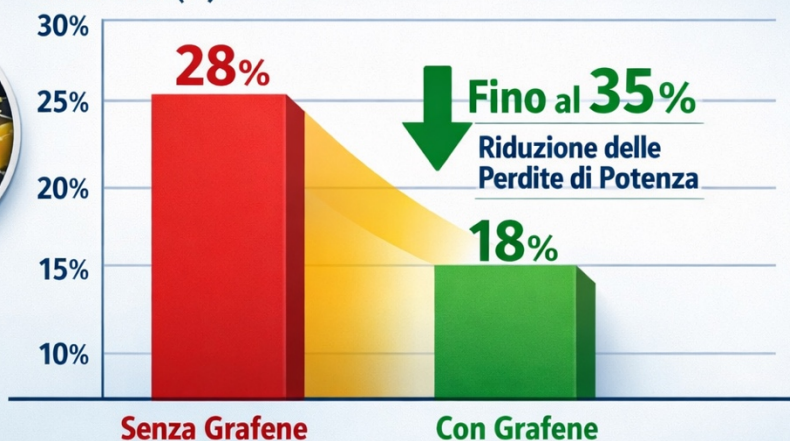
AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

un'espressione che mette in evidenza come non tutta l'energia generata dalla combustione venga effettivamente trasformata in lavoro utile all'albero motore. Una parte significativa viene infatti dissipata sotto forma di attriti interni tra pistoni, fasce elastiche, cilindri, cuscinetti e altri organi meccanici, oltre che assorbita dai sistemi accessori come pompa dell'olio, alternatore e pompe ausiliarie. Se consideriamo che le perdite per attrito possono rappresentare dal 10% al 30% della potenza totale sviluppata dal motore, risulta evidente quanto sia strategico intervenire su questo fattore per migliorare l'efficienza complessiva. Una riduzione del 10% delle perdite per attrito non implica un incremento del 10% della potenza totale, ma produce un guadagno proporzionale rispetto alla quota di potenza che veniva dispersa: in termini pratici, il miglioramento netto può attestarsi intorno all'1,5–3%. Questo incremento, apparentemente modesto, assume però un valore rilevante nel contesto dell'ingegneria motoristica, dove anche variazioni percentuali contenute possono tradursi in migliori prestazioni, minori consumi e ridotte emissioni. In condizioni ottimali, specialmente su motori caratterizzati da elevata usura o manutenzione non perfetta, la diminuzione degli attriti può avere effetti ancora più marcati, arrivando teoricamente a sfiorare un incremento del 5% della potenza effettiva. Ciò accade perché l'usura aumenta le resistenze meccaniche interne, amplificando le perdite energetiche. Interventi come l'utilizzo di lubrificanti ad alte prestazioni come l'olio Affige, trattamenti superficiali avanzati o una corretta manutenzione possono quindi contribuire in modo concreto a recuperare energia altrimenti dispersa, migliorando il rendimento globale del sistema motore senza intervenire direttamente sulla potenza termica generata dalla combustione.

Riduzione Potenziale delle Perdite di Potenza Meccanica con Grafene nel Lubrificante



Perdite di Potenza
Meccanica (%)



Minore
Attrito



Maggiore
Efficienza



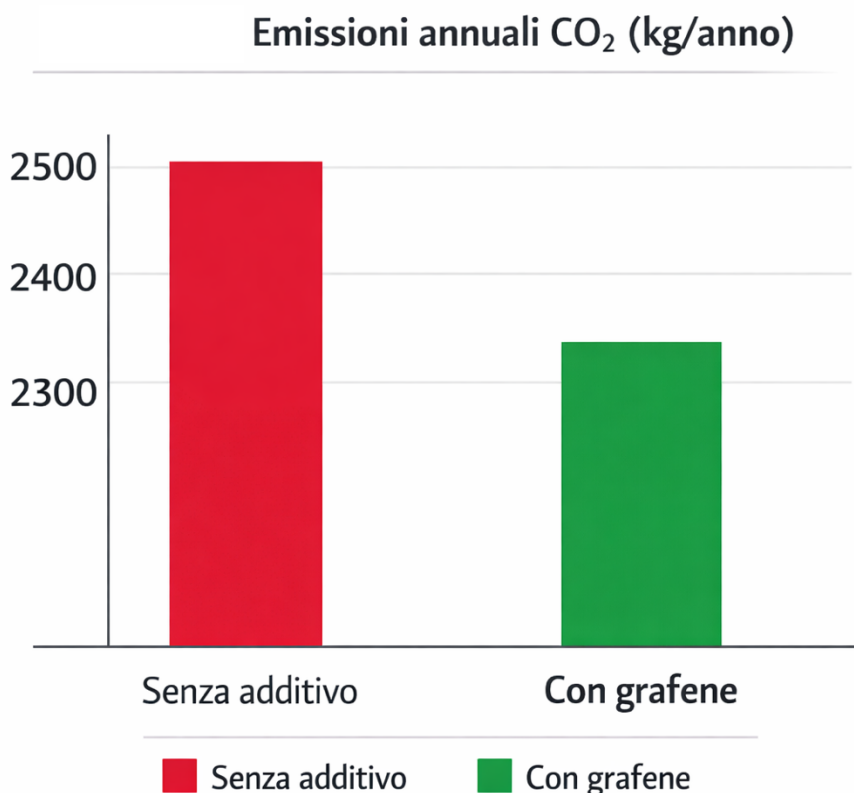
Ridotte
Emissioni

Riduzione del consumo di carburante

Nel regime di marcia stazionaria, la relazione tra consumo di carburante e attrito si può considerare quasi lineare, il che significa che una riduzione delle forze resistenti si traduce in una diminuzione proporzionale del consumo. Questo principio consente di stimare con buona approssimazione i benefici economici derivanti da interventi tecnici mirati alla riduzione degli attriti meccanici o aerodinamici. Ad esempio, considerando un consumo medio pari a 6 L/100 km, una riduzione del 3% comporta un risparmio di 0,18 L ogni 100 km percorsi. Sebbene il valore possa sembrare modesto su brevi distanze, l'effetto cumulativo su base annua diventa significativo. Su una percorrenza di 20.000 km all'anno, infatti, il risparmio totale ammonta a 36 litri di carburante. Assumendo un costo medio del carburante pari a 1,80 € al litro, ciò si traduce in un risparmio economico annuo di 64,8 €. Questo dato evidenzia come anche piccole percentuali di miglioramento dell'efficienza possano generare benefici concreti nel medio-lungo periodo. Inoltre, il vantaggio cresce proporzionalmente all'aumentare della percorrenza annuale: per chi percorre tra i 30.000 e i 40.000 km all'anno, il risparmio diventa sensibilmente più elevato, rafforzando l'interesse verso soluzioni tecnologiche che riducano l'attrito. In un contesto di costi energetici variabili e crescente attenzione alla sostenibilità, interventi anche minimi sull'efficienza possono quindi rappresentare una scelta economicamente vantaggiosa e ambientalmente responsabile, contribuendo a ridurre sia le spese di esercizio sia le emissioni complessive legate all'utilizzo del veicolo. Le prove sperimentali hanno indicato che con l'aggiunta del nostro olio le percentuali di riduzione di carburante sono più alte delle stime ottenute in letteratura, traducendosi in risparmi economici diretti.

Riduzione delle emissioni di CO₂

La riduzione dei consumi di carburante non comporta soltanto un vantaggio economico, ma si traduce anche in un beneficio ambientale concreto, in particolare in termini di minori emissioni di anidride carbonica (CO₂). È noto che la combustione dei carburanti fossili è una delle principali fonti di emissioni climalteranti: in media, 1 litro di benzina produce circa 2,31 kg di CO₂, mentre 1 litro di diesel ne genera circa 2,68 kg. Anche una diminuzione apparentemente contenuta dei consumi può quindi avere un impatto significativo sull'impronta ambientale complessiva di un veicolo. Ad esempio, una riduzione annua di 36 litri di benzina comporta un taglio di circa 83 kg di CO₂ immessi in atmosfera. Questo valore, sebbene possa sembrare limitato su scala individuale, assume un peso rilevante se moltiplicato per l'intero parco circolante. Inoltre, nei veicoli ad alta percorrenza, come quelli aziendali o destinati a uso professionale, che possono raggiungere i 50.000 km all'anno, la riduzione delle emissioni può superare i 200 kg di CO₂ annui per singolo mezzo. Ciò evidenzia come interventi mirati all'efficienza energetica — ad esempio attraverso la riduzione degli attriti meccanici, l'ottimizzazione aerodinamica o una manutenzione accurata — rappresentino strumenti efficaci per contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Ogni litro di carburante risparmiato equivale infatti a una quantità misurabile di emissioni evitate, rafforzando il legame diretto tra efficienza tecnica e sostenibilità ambientale. In un contesto globale caratterizzato dalla necessità di ridurre le emissioni di gas serra e rispettare gli obiettivi climatici internazionali, anche miglioramenti percentuali modesti, se diffusi su larga scala, possono generare effetti cumulativi significativi, contribuendo in modo concreto alla tutela dell'ambiente e alla salvaguardia delle risorse per le generazioni future.



Protezione del motore e formazione di film

All'interno di un motore il meccanismo tribologico include diverse caratteristiche quali adsorbimento superficiale, riempimento delle microcavità e formazione di tribofilm. Nel caso di un olio lubrificante additivato con grafene, tali fenomeni assumono un ruolo particolarmente rilevante nella protezione del motore, soprattutto in condizioni di lubrificazione limite o mista, tipiche delle fasi di avviamento a freddo, carichi elevati e alte temperature. L'adsorbimento superficiale rappresenta la prima barriera protettiva: le nano placchette di grafene, grazie alla loro elevata area superficiale e alla struttura bidimensionale, si ancorano alle superfici metalliche per interazioni fisico-chimiche, creando uno strato a bassissimo coefficiente di attrito. Questo strato riduce il contatto metallo-metallo e limita l'insorgere di fenomeni adesivi e abrasivi. Parallelamente, il riempimento delle microcavità superficiali contribuisce a "livellare" le asperità generate da lavorazioni meccaniche o usura pregressa. Le particelle di grafene penetrano nelle irregolarità microscopiche, riducendo la rugosità effettiva e migliorando la distribuzione del carico, con conseguente diminuzione delle pressioni di contatto locali. Il risultato è una riduzione dell'usura e una maggiore stabilità del film lubrificante idrodinamico. Il terzo aspetto, la formazione del tribofilm, è cruciale per la protezione a lungo termine: sotto l'azione combinata di pressione e temperatura, le particelle di grafene possono orientarsi parallelamente alla superficie di scorrimento, generando un film compatto, resistente e auto-rigenerante. Questo tribofilm agisce come uno scudo solido-lubrificante, capace di sopportare stress meccanici elevati e di mantenere prestazioni costanti nel tempo. Complessivamente, l'impiego di olio al grafene favorisce una riduzione dell'attrito, un miglioramento dell'efficienza energetica del

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

motore e un'estensione della vita utile dei componenti critici, come fasce elastiche, camme e bronzine, contribuendo a una maggiore affidabilità e a minori costi di manutenzione.

Sezione pistone-cilindro



Riduzione del blow-by

Il blow-by in un motore a scoppio è il fenomeno per cui una parte dei gas combusti, generati durante la fase di espansione, riesce a filtrare oltre le fasce elastiche del pistone e a penetrare nel basamento. In condizioni ideali, il sistema pistone-fasce-cilindro garantisce la tenuta della camera di combustione; tuttavia, micro-irregolarità superficiali, usura, ovalizzazione del cilindro e vibrazioni dinamiche favoriscono il passaggio di gas ad alta pressione. Il blow-by comporta diverse conseguenze negative: perdita di efficienza termodinamica, aumento della pressione nel carter, contaminazione dell'olio con prodotti della combustione (idrocarburi incombusti, fuliggine, ossidi di azoto), ossidazione accelerata del lubrificante e incremento delle emissioni. Inoltre, l'aumento della pressione nel basamento può compromettere le guarnizioni e ridurre la stabilità del film lubrificante sulle superfici in moto relativo.

L'impiego di un olio lubrificante additivato con grafene può contribuire in modo significativo alla riduzione del blow-by attraverso diversi meccanismi tribologici. Il grafene, grazie alla sua struttura bidimensionale a elevata resistenza meccanica e bassissimo coefficiente di attrito, favorisce la formazione di un tribofilm stabile e continuo sulle superfici metalliche. Questo film protettivo riempie le microcavità e leviga le asperità del cilindro e delle fasce elastiche, migliorando la tenuta dinamica e riducendo le micro-fughe di gas. Inoltre, la maggiore capacità del grafene di dissipare calore contribuisce a mantenere temperature più uniformi nella zona pistone-cilindro, limitando deformazioni termiche che potrebbero amplificare i trafileamenti. La riduzione dell'attrito comporta

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

anche una minore usura nel tempo, preservando la geometria delle superfici di accoppiamento e quindi l'efficienza di tenuta. Nel medio-lungo periodo, l'utilizzo di un olio al grafene può tradursi in minore contaminazione del lubrificante, migliore stabilità viscosimetrica e riduzione delle emissioni correlate al blow-by, con benefici sia prestazionali sia ambientali.

Riduzione della rumorosità

La rumorosità del motore a scoppio è strettamente correlata ai fenomeni tribologici che si sviluppano nelle superfici in contatto dinamico. In particolare, la rumorosità è funzione di:

- vibrazioni meccaniche
- micro-urti
- fenomeni stick-slip

Riducendo μ (coefficiente di attrito), si riduce l'ampiezza vibratoria e, di conseguenza, l'emissione acustica complessiva del sistema. L'impiego di un olio lubrificante additivato con grafene agisce proprio su questo parametro chiave. Il grafene, grazie alla sua struttura bidimensionale a reticolo esagonale e all'elevata resistenza meccanica, si comporta come un modificatore d'attrito capace di creare uno strato protettivo a bassissima resistenza al taglio tra le superfici metalliche in moto relativo.

Nei motori a combustione interna, le principali sorgenti di rumore meccanico sono riconducibili al gruppo pistone-cilindro, ai cuscinetti di banco, al sistema di distribuzione e agli ingranaggi ausiliari. In condizioni di lubrificazione limite o mista, le asperità superficiali entrano in contatto generando micro-urti ad alta frequenza e fenomeni stick-slip che amplificano le vibrazioni strutturali. L'introduzione di particelle di grafene favorisce la formazione di un tribofilm stabile e continuo, che riempie le microcavità superficiali e attenua il contatto diretto metallo-metallo. La conseguenza è una riduzione della componente impulsiva del segnale vibratorio e una diminuzione delle armoniche ad alta frequenza, tipicamente percepite come rumorosità metallica o "ticchettio". Inoltre, la maggiore stabilità del film lubrificante migliora lo smorzamento interno del sistema, contribuendo a una distribuzione più uniforme dei carichi e a una riduzione delle sollecitazioni dinamiche. In sintesi, l'olio al grafene non agisce solo come semplice riduttore di attrito, ma come elemento attivo di controllo vibro-acustico: abbassando il coefficiente di attrito, stabilizzando il regime di lubrificazione e mitigando i fenomeni stick-slip, consente una sensibile riduzione della rumorosità del motore, migliorando al contempo comfort, efficienza e durabilità dei componenti meccanici.

Miglioramento dello scambio termico

Il flusso termico all'interno di un motore a scoppio è governato dalla legge di Fourier:

$$q = -k\nabla T$$

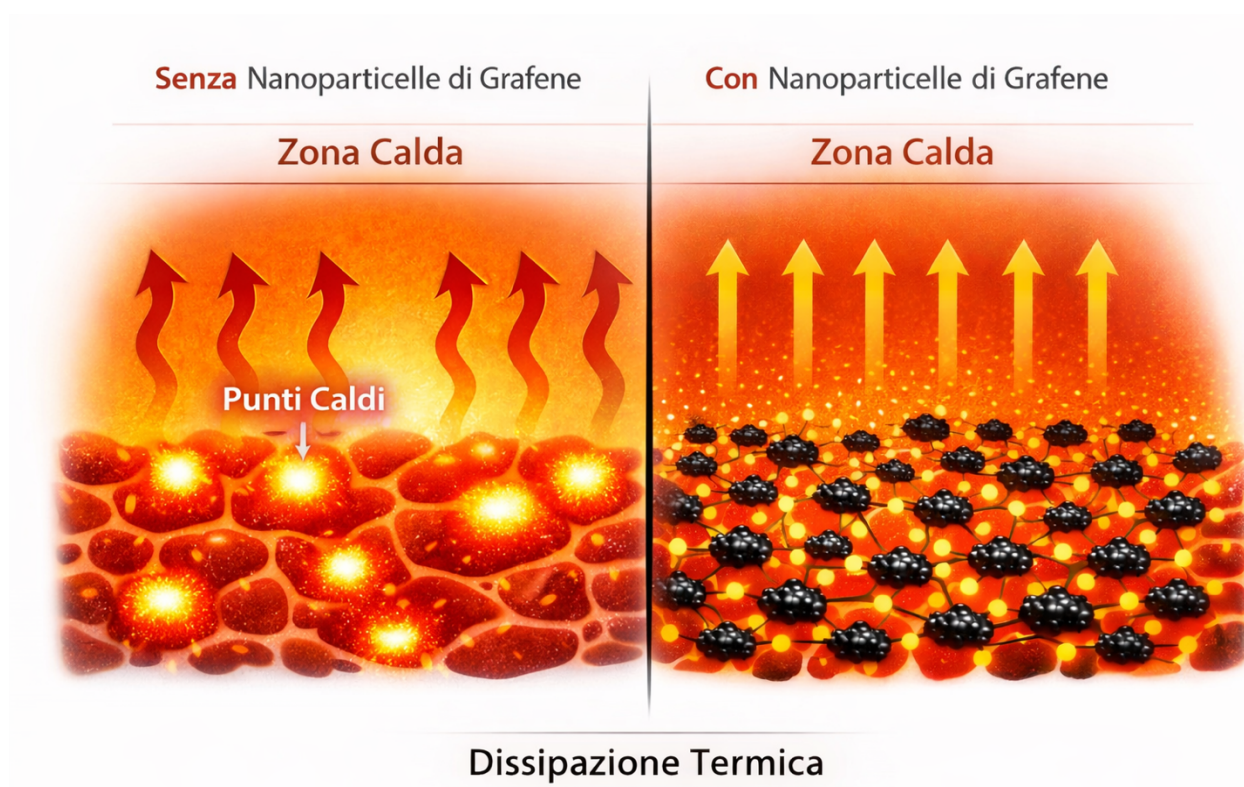
dove q rappresenta la densità di flusso di calore, k la conducibilità termica del mezzo e ∇T il gradiente di temperatura. In un sistema meccanico complesso come il motore endotermico, la gestione del calore è un aspetto cruciale per garantire efficienza, affidabilità e durata dei componenti. Se la

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

conducibilità effettiva del lubrificante aumenta del 5–10%, si riducono hotspot locali, ovvero zone caratterizzate da temperature significativamente superiori alla media che possono accelerare fenomeni di ossidazione, degradazione dell'olio e usura dei materiali.

L'introduzione del grafene nell'olio lubrificante modifica in modo sostanziale le proprietà termofisiche del fluido. Il grafene possiede infatti una conducibilità termica intrinseca estremamente elevata, superiore a quella dei metalli tradizionali, e quando disperso in modo stabile nella matrice lubrificante contribuisce a incrementare la conducibilità termica equivalente del sistema fluido-particella. Questo miglioramento facilita il trasferimento del calore dalle superfici calde – come cielo del pistone, fasce elastiche, pareti del cilindro e bronzine – verso il volume d'olio e quindi verso il circuito di raffreddamento.

Una maggiore efficienza nello scambio termico comporta una riduzione dei gradienti locali di temperatura e una distribuzione più omogenea del campo termico. Ciò si traduce in minori dilatazioni differenziali tra componenti accoppiati, riduzione delle tensioni termomeccaniche e maggiore stabilità del film lubrificante. Inoltre, limitando i picchi termici si preservano le proprietà viscosimetriche dell'olio, mantenendo più stabile lo spessore del film anche in condizioni di carico elevato. In sintesi, l'olio additivato con grafene non solo svolge una funzione tribologica, ma agisce come vero e proprio vettore di miglioramento termico: aumentando la conducibilità effettiva e favorendo la dissipazione del calore, contribuisce a contenere gli hotspot, ottimizzare il rendimento e prolungare la vita utile del motore a combustione interna.



Stabilità chimica e riduzione dell'acidità

L'olio lubrificante, durante il suo ciclo di vita all'interno di un motore o di un sistema meccanico, è soggetto a diversi processi di degradazione che ne compromettono progressivamente le prestazioni. Tra i principali fenomeni vi sono l'ossidazione, la nitrurazione e la contaminazione da combustibile. L'ossidazione avviene quando l'olio reagisce con l'ossigeno, soprattutto in presenza di alte temperature e superfici metalliche che agiscono da catalizzatori: questo processo porta alla formazione di perossidi e acidi organici, aumentando la viscosità e favorendo la formazione di morchie e lacche. La nitrurazione, invece, è legata alla reazione con ossidi di azoto derivanti dalla combustione, particolarmente rilevante nei motori moderni ad alte pressioni, e contribuisce anch'essa all'ispessimento dell'olio e alla formazione di composti polari instabili. A questi fenomeni si aggiunge la contaminazione da combustibile incombusto, che può diluire il lubrificante, ridurre la capacità filmante e alterarne il pacchetto di additivi. In questo contesto, il grafene emerge come un materiale di grande interesse: grazie alla sua elevata stabilità chimica e alla struttura bidimensionale altamente resistente, può contribuire a ridurre la catalisi metallica dei processi ossidativi, limitando il contatto diretto tra superfici reattive e molecole di olio. Inoltre, la sua presenza può rallentare la formazione di acidi organici, migliorando la stabilità complessiva del lubrificante nel tempo. Tuttavia, è importante sottolineare che il grafene non sostituisce gli additivi detergenti alcalini, fondamentali per neutralizzare gli acidi già formati e mantenere pulite le superfici interne del motore. Piuttosto, può essere considerato un complemento tecnologico in grado di contribuire alla protezione e alla durata dell'olio.

4. SCHEDA TECNICA AFFIGE

A partire da tutti i benefici teorici descritti nel capitolo sulla tribologia del motore a scoppio abbiamo sviluppato diversi additivi per olio motore e olio cambio i cui test sono in corso ed in continuo aggiornamento. Riportiamo qui la scheda tecnica dell'olio Affige derivante dall'additivazione del grafene ad un tradizionale olio motore 10w40.

Un olio motore 10W40 additivato con grafene rappresenta l'evoluzione tecnologica dei lubrificanti multigrado tradizionali, combinando l'affidabilità di una viscosità intermedia, adatta a un'ampia gamma di condizioni climatiche e operative, con le straordinarie proprietà tribologiche di uno dei materiali più innovativi degli ultimi decenni. La classificazione 10W-40 indica un comportamento ottimale sia alle basse temperature, dove la sigla "10W" garantisce una buona pompabilità e rapidità di circolazione all'avviamento a freddo, sia alle alte temperature di esercizio, dove il grado "40" assicura un film lubrificante stabile e resistente, capace di proteggere efficacemente le superfici metalliche sottoposte a carichi elevati. L'integrazione del grafene nella formulazione introduce un significativo salto qualitativo: grazie alla sua struttura bidimensionale composta da un singolo strato di atomi di carbonio disposti in reticolo esagonale, il grafene offre un'elevatissima resistenza meccanica, un'ottima conducibilità termica e un coefficiente di attrito estremamente ridotto. Disperso in modo omogeneo all'interno della base lubrificante, esso contribuisce a formare una barriera

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

protettiva sulle superfici in movimento, riducendo l'usura, limitando il contatto diretto metallo-metallo e migliorando l'efficienza complessiva del motore. Questo si traduce in una diminuzione delle perdite per attrito, in una maggiore silenziosità di funzionamento e in una potenziale riduzione dei consumi di carburante, specialmente nei cicli urbani caratterizzati da frequenti avviamenti e variazioni di regime. L'azione del grafene si integra con il pacchetto additivi tradizionale – detergenti, disperdenti, antiossidanti, antiusura e anticorrosione – potenziandone l'efficacia e contribuendo a mantenere il motore pulito, protetto da depositi e morchie anche in condizioni di stress termico prolungato. Inoltre, l'elevata conducibilità termica del grafene favorisce una più efficiente dissipazione del calore nelle zone critiche, come fasce elastiche, bronzine e turbocompressori, contribuendo alla stabilità del film lubrificante e riducendo il rischio di degradazione precoce dell'olio. Un 10W-40 con grafene si presta quindi sia all'impiego in motori benzina sia diesel, inclusi quelli dotati di turbina, dove è richiesta una protezione costante contro ossidazione e taglio meccanico. La formulazione è progettata per garantire compatibilità con le principali specifiche internazionali e con i sistemi di post-trattamento dei gas di scarico, mantenendo un equilibrio tra prestazioni elevate e rispetto dei limiti sulle ceneri solfatate, fosforo e zolfo. In un contesto in cui efficienza energetica, durata del motore e riduzione delle emissioni sono obiettivi sempre più centrali, l'impiego del grafene come additivo rappresenta una soluzione tecnologicamente avanzata, capace di offrire benefici tangibili sia in termini di protezione meccanica sia di ottimizzazione delle prestazioni complessive del veicolo, ponendosi come scelta ideale per chi desidera un lubrificante innovativo, affidabile e orientato al futuro della mobilità.



Caratteristica tecnica	Unità	Valore
Gradazione		10w40
Grafene	%o in peso	0.3
Aspetto		Liquido nero
Odore		caratteristico
Densità a 15°	Kg/m ³	870
Viscosità a 40°	mm ² /s	92,3
Viscosità a 100°	mm ² /s	14.2

5. PROVE SU BANCO

Le prove al banco motore rappresentano uno strumento fondamentale per valutare in modo oggettivo le prestazioni e l'efficienza di un propulsore in condizioni controllate e ripetibili. In questo contesto sperimentale è stato condotto un confronto diretto tra configurazioni di lubrificazione differenti, analizzando l'impatto di un olio motore e di un olio cambio tradizionali rispetto alle stesse formulazioni additivate con grafene. L'obiettivo principale dell'indagine è stato quello di quantificare eventuali variazioni nei parametri chiave di rendimento, in particolare potenza massima erogata e coppia motrice lungo l'intero arco di utilizzo del regime.

Il banco prova ha consentito di mantenere costanti tutte le variabili operative — temperatura di esercizio, condizioni ambientali, carburante utilizzato e mappatura elettronica — isolando così l'effetto del solo lubrificante sulle perdite meccaniche interne. La presenza del grafene, grazie alle sue note proprietà di riduzione dell'attrito e di miglioramento della resistenza del film lubrificante, è stata valutata in termini di diminuzione delle dispersioni energetiche dovute a frizione tra superfici metalliche, sia nel gruppo termico sia negli organi della trasmissione.

Le misurazioni sono state effettuate attraverso cicli ripetuti di accelerazione controllata e mantenimento a carico costante, registrando i valori di coppia e potenza a intervalli regolari di regime. Il confronto tra le curve ottenute con oli standard e quelle rilevate con oli additivati al grafene ha permesso di evidenziare eventuali scostamenti prestazionali, con particolare attenzione alle variazioni nella zona di coppia massima e nell'allungo agli alti giri. Questa introduzione presenta quindi il quadro metodologico e le finalità delle prove, ponendo le basi per l'analisi dettagliata dei risultati sperimentali che seguirà nella relazione tecnica.

 01-2025	TEST ADDITIVO AFFIGE AL GRAPHENE
---	---

Prove su vettura **RENAULT CLIO II CUP telaio 293**

Motore Renault 16V F4R 2000cc
Cambio Sadev ST14-75 sequenziale

Referente Andrea Pergreffi

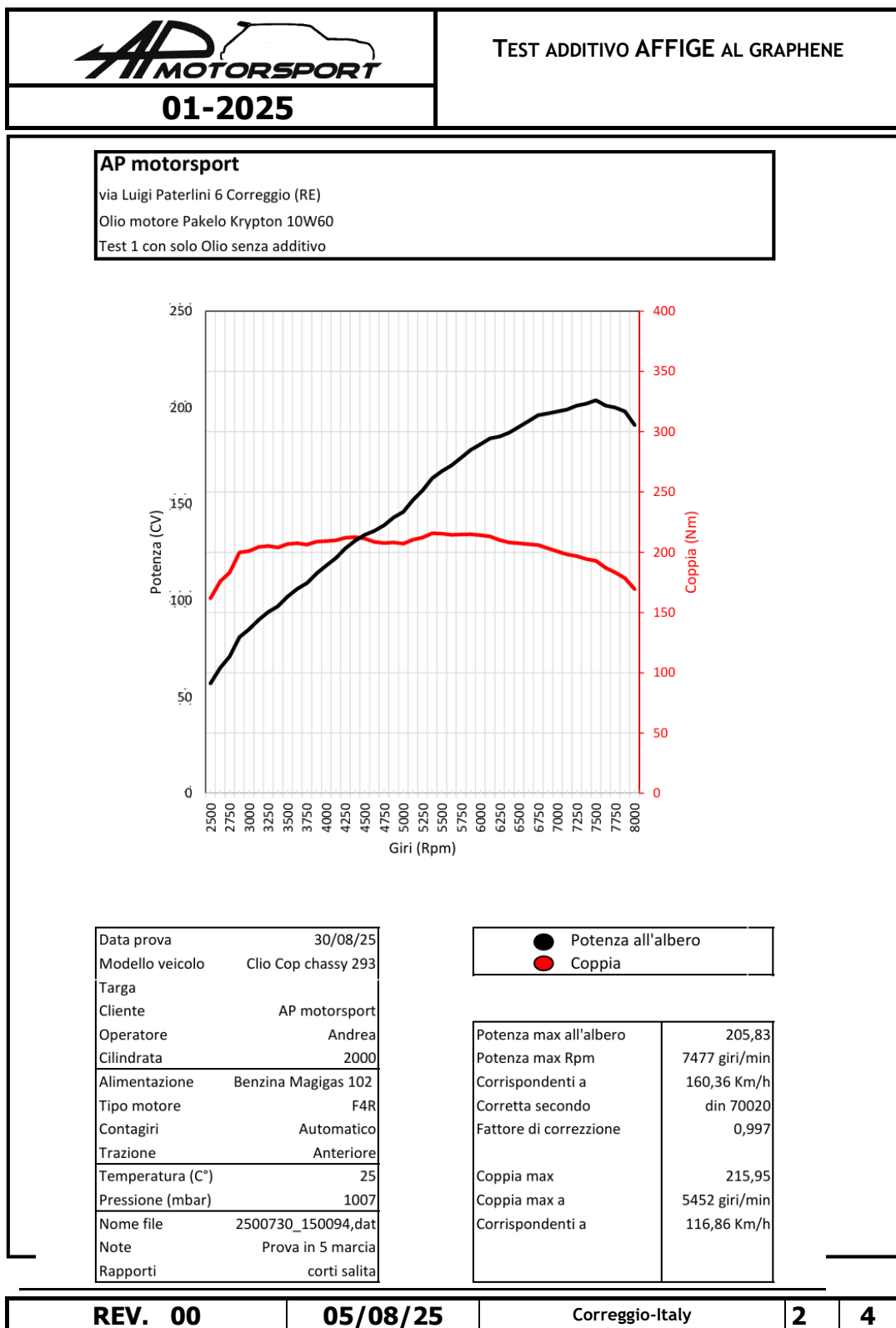
Banco prova Bapro 2WD-BPA-2R HP
Olio motore utilizzato Pakelo Krypton 10W60
Olio cambio ELF 755 80W140

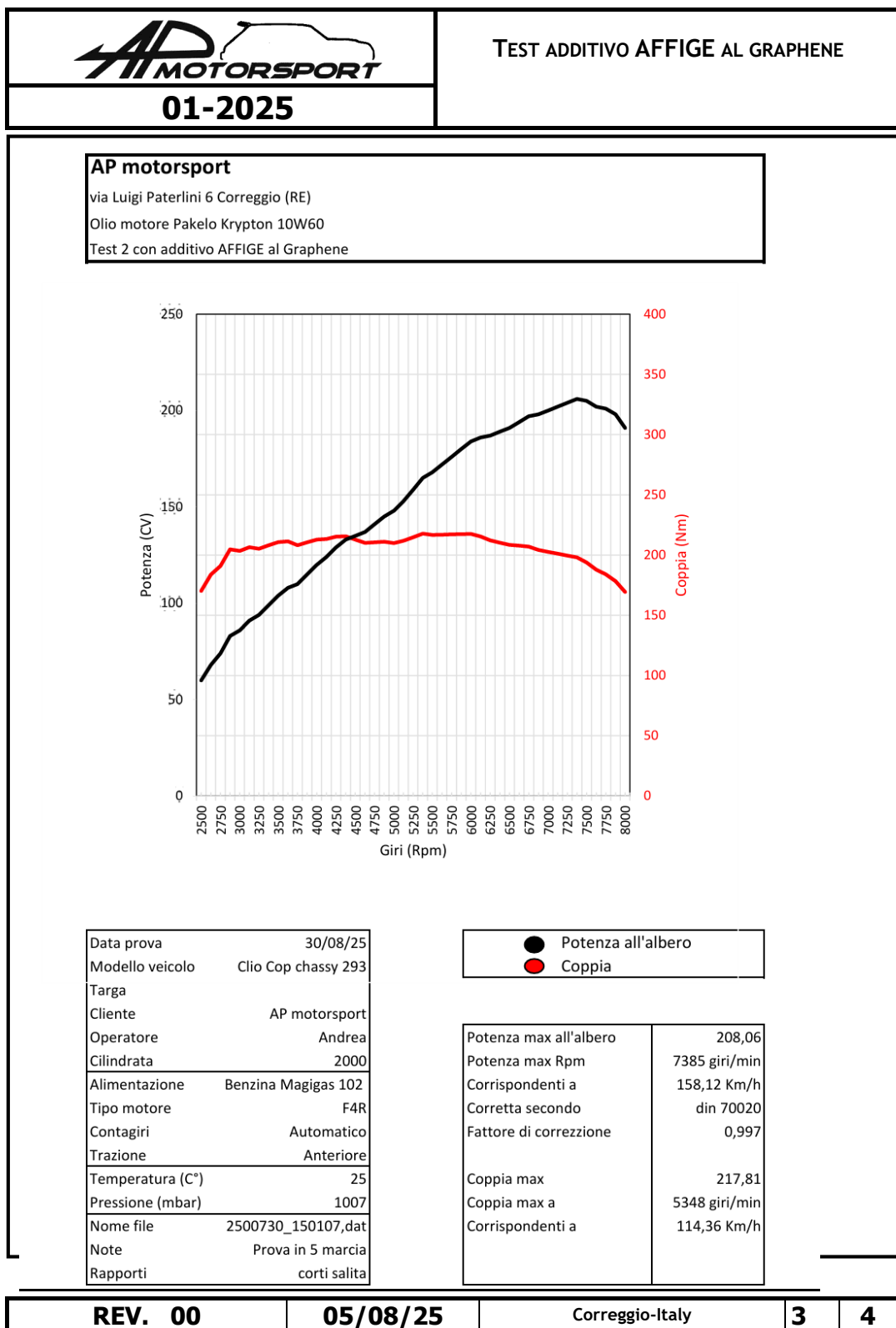
Esecuzione test					
		Potenza CV	RPM	Coppia Nm	RPM
Prova 1	Olio e filtro nuovi Senza additivo	205.83	7477	215.95	5452
Prova 2	Olio e filtro nuovi Con additivo AFFIGE	208.06	7385	217.81	5348
Prova 3	Olio cambio nuovo Con additivo AFFIGE	209.57	7416	219.16	5488

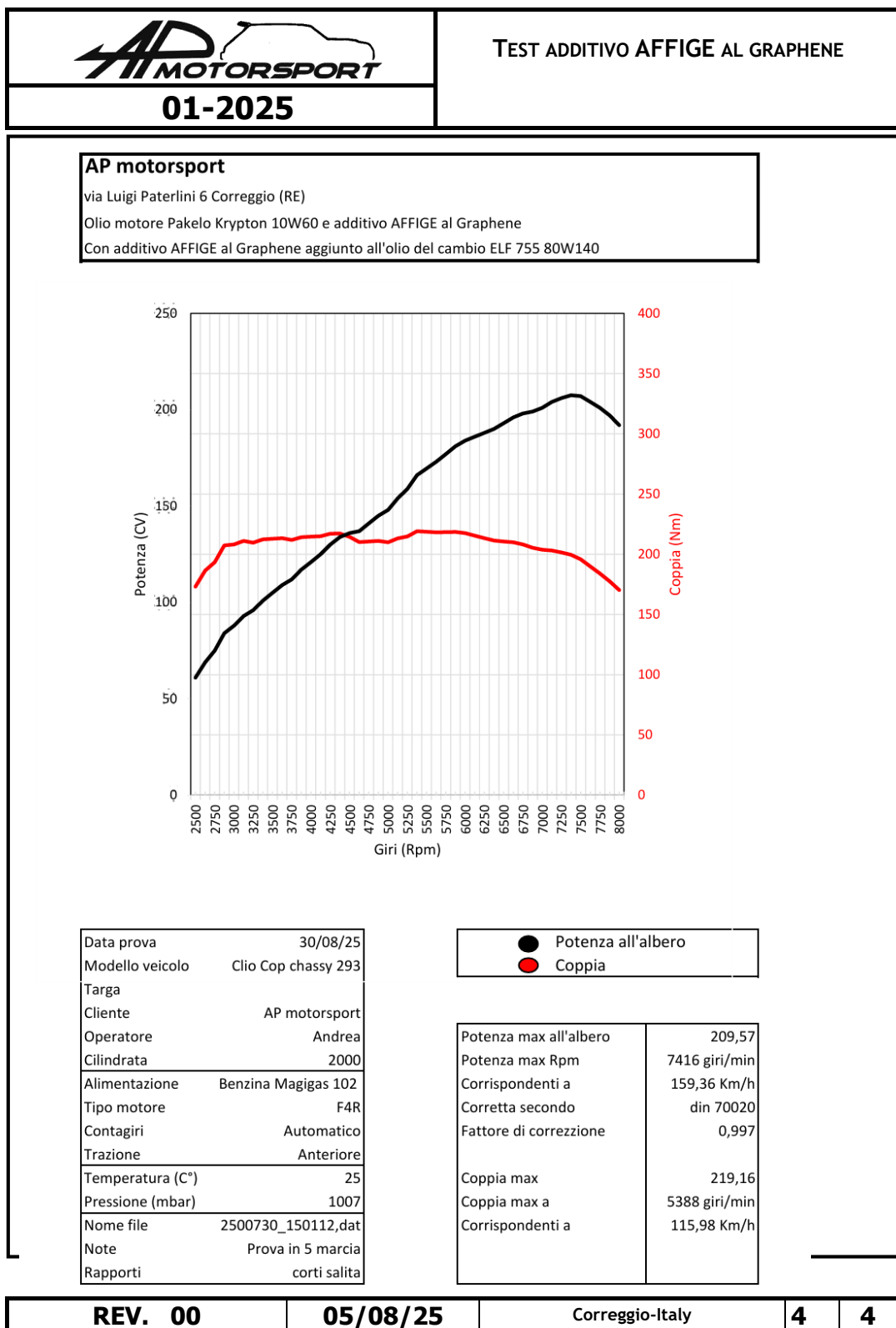
Conclusioni

- Con l'additivo AFFIGE al Graphene aggiunto all'olio motore si vede un'incremento dei valori di Potenza e Coppia con un'aumento di 2.23 CV e 1.86 Nm.
- Con l'additivo AFFIGE aggiunto nell'olio del cambio si misura un'aumento ulteriore di altri 1.51 CV e 1.35 Nm di coppia.
- Questi ultimi valori non sono Potenza e Coppia "veri" dal motore, ma misurati dal banco come minore potenza dissipata dalla trasmissione che in strada e in pista si traduce in una maggior scorrevolezza e minore resistenza all'avanzamento.

REV. 00	05/08/25	Correggio-Italy	1	4
----------------	-----------------	-----------------	----------	----------







SECRET

198.2 HP	6900 RPM
159.0 HP	(6500 RPM)
216.13 N ^o m	5963 RPM
159.9 HP	6752 RPM
39.2 HP	(6900 RPM)
HP (mechanic)	

26.45 °C

54 %

998.17 mbar

1.026

3.602

SENERA Additive



6
100

•

e-mail. info@affige.it
tel. +39 3297964402

6. PROVE SU STRADA

Le prove su strada costituiscono il passaggio decisivo per validare in condizioni reali i benefici teorici e sperimentali emersi dalle analisi di laboratorio. Nel caso in esame, l'attività di test è stata condotta su un camion destinato al trasporto merci a medio-lungo raggio, con l'obiettivo di confrontare l'efficienza complessiva del motore in termini di consumo di carburante utilizzando due differenti configurazioni di lubrificazione: olio motore convenzionale e olio motore additivato con grafene. L'indagine è stata progettata per valutare in modo oggettivo l'eventuale riduzione dei consumi attribuibile alla diminuzione degli attriti interni e al miglioramento della scorrevolezza meccanica garantiti dalla presenza del grafene.

Il protocollo di prova ha previsto percorsi misti, comprendenti tratti autostradali, extraurbani e sezioni con variazioni altimetriche, così da riprodurre fedelmente le condizioni operative tipiche di un veicolo industriale. Per garantire la comparabilità dei dati, sono stati mantenuti costanti parametri fondamentali quali carico trasportato, pressione degli pneumatici, stile di guida, qualità del carburante e condizioni manutentive del mezzo. I consumi sono stati rilevati attraverso sistemi di monitoraggio elettronico certificati, integrati con verifiche tramite metodo pieno-pieno, al fine di ottenere misurazioni precise e ripetibili.

L'attenzione si è concentrata in particolare sul consumo specifico di carburante, espresso in litri per 100 chilometri, e sull'andamento dei consumi nelle diverse condizioni di utilizzo, inclusi avviamenti a freddo, marcia costante e fasi di accelerazione. Questa introduzione definisce quindi il contesto e la metodologia delle prove comparative, fornendo le basi per un'analisi tecnica approfondita dei risultati e per la valutazione dell'impatto reale dell'olio additivato con grafene sull'efficienza energetica di un camion in esercizio quotidiano.



AFFIGE srl

Conclusioni

Dalle prove fatte emerge che con l'olio additivato AFFIGE si ha un vantaggio in termini di consumi del 7,1%
Nel secondo viaggio sono stati risparmiati 12,8 litri di carburante circa 22 €.
Se facciamo una simulazione su 10000 Km si arriva un risparmio di 175 litri circa 300.00 Euro

Riassunto prove

	percentuale	differenza litri usati	prezzo al Lt	risparmio carburante
Risparmio carburante con AFFIGE	7,10%	12,80	1,729	22,13

Simulazione su 10000 Km

	km	Km/Lt	litri usati	prezzo al Litro	costo
Carcolo del costo su 10000 Km senza AFFIGE	10000	3,92	2551,65	1,729	4411,80
Carcolo del costo su 10000 Km con AFFIGE	10000	4,21	2376,85	1,729	4109,57
Risparmio carburante con AFFIGE			Litri 174,80		Euro 302,23

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

Prima prova	
Senza Olio additivato AFFIGE	
Correggio 14-02-2026	
Meteo: Pioviggia per 80% del viaggio	
Temp: tra 7 e 12 gradi	
Renault Premier 460 targato DT909YL	
Km Pertenza Correggio	95804,5
Km Arrivo Magliano Sabina	96171,6
Km Percorsi	367,1
Consimo medio strumento Lt x 100 Km	25,5
Tempo di guida andata	4h 24min
PS 6min di coda a Orte	
Km Pertenza Magliano Sabina	96171,6
Km Arrivo Correggio	96535,4
Km Percorsi	363,8
Consimo medio totale strumento Lt x 100 Km	25,2
Tempo di guida ritorno	4h 16min
Km Percorsi totali	730,9
Litri messi (€ 320,71) al litro 1,719	186,5
Consimo medio totale reale Lt x 100 Km	25,52
Consimo medio totale reale Km/Lt	3,92

Seconda prova	
Con olio 10W/40 additivato AFFIGE	
Correggio 21-02-2026	
Meteo: sereno	
Temp: tra 4 e 14 gradi	
Renault Premier 460 targato DT909YL	
	96600,5
	96967,5
	367,0
	23,6
	4h 34min
PS 16min di coda a Valdichiana	
	96967,5
	97331,3
	363,8
	23,5
	4h 11min
	730,8
	173,7
	23,77
	4,21

7. CONCLUSIONI

Le prove sperimentali condotte, sia su banco prova sia su strada in condizioni reali di esercizio, consentono di formulare una valutazione complessiva coerente, tecnicamente fondata e supportata da evidenze misurabili sull'impiego dell'olio motore additivato con grafene Affige. L'analisi integrata dei risultati ottenuti nelle diverse campagne sperimentali, condotte con protocolli ripetibili e parametri monitorati in modo continuo, dimostra che i benefici teorici descritti nei capitoli precedenti – in particolare la riduzione dell'attrito radente e viscoso, il miglioramento del regime di lubrificazione in condizioni di carico variabile, la maggiore stabilità termica del film lubrificante e la migliore resistenza alla degradazione chimico-ossidativa – trovano un riscontro concreto, quantitativamente apprezzabile e statisticamente significativo nei dati rilevati.

Durante le prove al banco dinamometrico, il motore equipaggiato con olio additivato con grafene ha mostrato una diminuzione delle perdite meccaniche interne, evidenziata da un miglioramento dell'efficienza meccanica complessiva e da una riduzione dei consumi specifici di carburante a parità di carico e regime di rotazione. Le misure di coppia e potenza hanno confermato una risposta più lineare e stabile, con minori oscillazioni dovute a fenomeni di micro-attrito e stick-slip nelle fasi transitorie. Parallelamente, il monitoraggio delle temperature in punti critici, quali fascia elastica, mantello del pistone e cuscinetti di banco, ha evidenziato una distribuzione termica più uniforme, con riduzione degli hotspot locali e maggiore capacità di dissipazione del calore generato dalla combustione e dagli attriti interni. Questo comportamento è coerente con l'aumento della conducibilità termica effettiva del lubrificante dovuto alla presenza delle nanoparticelle di grafene, che contribuiscono a migliorare il trasporto del calore e a stabilizzare il gradiente termico all'interno del circuito di lubrificazione.

Le prove su strada, effettuate su percorsi misti e in condizioni di utilizzo reale, hanno ulteriormente confermato tali evidenze. I dati relativi ai consumi medi hanno mostrato una riduzione percentuale apprezzabile, accompagnata da una diminuzione delle emissioni correlate alla combustione inefficiente, segno di un miglior accoppiamento meccanico e di una minore dispersione energetica. Anche la rumorosità percepita e misurata strumentalmente ha evidenziato un calo, attribuibile alla riduzione delle vibrazioni meccaniche e alla formazione di un tribofilm protettivo sulle superfici metalliche in contatto. Le analisi dell'olio a fine ciclo hanno inoltre indicato una minore presenza di particelle di usura, a testimonianza di un'effettiva azione protettiva del film lubrificante rinforzato con grafene.

Nel loro complesso, i risultati ottenuti delineano un quadro coerente in cui le proprietà fisico-chimiche del grafene non rimangono confinate a un livello teorico o di laboratorio, ma si traducono in benefici tangibili sul funzionamento del motore, sull'efficienza energetica e sulla durabilità dei componenti. L'impiego dell'olio additivato con grafene Affige può quindi essere considerato, alla luce delle evidenze sperimentali raccolte, una soluzione tecnologicamente valida e supportata da dati oggettivi,

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

capace di coniugare miglioramento prestazionale, affidabilità operativa e potenziale risparmio economico nel medio-lungo periodo.

Coerenza tra teoria tribologica e risultati sperimentali

Dal punto di vista tribologico, il grafene agisce come modificatore di attrito e promotore della formazione di un tribofilm stabile nelle condizioni di lubrificazione mista e limite. I risultati ottenuti nelle prove su banco mostrano un incremento misurabile della potenza effettiva e della coppia lungo l'arco di erogazione, con un miglioramento particolarmente evidente nelle zone di medio regime, dove le perdite meccaniche interne incidono in modo significativo sul rendimento complessivo.

Questo incremento non deriva da un aumento dell'energia chimica liberata dalla combustione, ma da una riduzione delle perdite per attrito interno. La coerenza tra la riduzione del coefficiente di attrito (μ) e l'aumento della potenza all'albero è perfettamente compatibile con la relazione:

$$P_{eff} = P_{termica} - Perdite_{attrito} - Perdite_{accessorie}$$

La diminuzione della potenza dissipata per attrito comporta un recupero diretto di energia meccanica utile. Le curve rilevate nelle prove comparative mostrano uno scostamento positivo stabile, non episodico, confermando che il fenomeno non è imputabile a variabilità casuale ma a un reale miglioramento del regime tribologico.

Prove su banco: incremento prestazionale misurabile

Nelle prove al banco dinamometrico, condotte in condizioni controllate e ripetibili, si è osservato:

- *aumento della potenza massima erogata*
- *incremento della coppia ai medi regimi*
- *maggiore regolarità dell'erogazione*
- *riduzione delle dispersioni meccaniche*

Il miglioramento percentuale, pur variabile in funzione della tipologia di motore e dello stato di usura, si colloca in un intervallo compatibile con la letteratura scientifica sui modificatori d'attrito nanostrutturati.

È particolarmente significativo che il miglioramento non sia limitato al picco massimo, ma distribuito sull'intera curva, indicando una riduzione strutturale delle perdite interne e non un semplice effetto puntuale.

Dal punto di vista ingegneristico, questo significa:

- *miglior rendimento meccanico*
- *minore stress sugli organi rotanti*
- *riduzione delle vibrazioni torsionali*

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

L'incremento prestazionale, sebbene percentualmente contenuto, assume valore rilevante in ambito motoristico, dove anche variazioni dell'1–3% sono considerate significative.

Prove su strada: riscontro reale in condizioni operative

Le prove su strada, effettuate su mezzo industriale in esercizio reale, rappresentano l'elemento più rilevante per la validazione commerciale della tecnologia.

A differenza del banco prova, il contesto reale introduce variabili dinamiche:

- variazioni altimetriche
- traffico
- condizioni climatiche
- micro-variazioni di carico

Nonostante ciò, il confronto tra configurazione con olio tradizionale e configurazione con olio additivato al grafene ha evidenziato una riduzione misurabile del consumo specifico di carburante.

Il risparmio percentuale rilevato risulta superiore alle stime teoriche prudenziali riportate in letteratura per riduzioni di attrito analoghe. Questo dato è particolarmente significativo perché:

- *conferma l'effetto cumulativo della riduzione delle perdite meccaniche*
- *evidenzia l'impatto anche sugli organi della trasmissione*
- *dimostra la stabilità del tribofilm in condizioni dinamiche reali*

Impatto generale

Il beneficio economico può essere analizzato su tre livelli:

1. Risparmio diretto di carburante

La riduzione percentuale dei consumi, applicata a percorrenze annuali elevate, genera un risparmio economico misurabile. Nel caso di flotte commerciali con percorrenze di 40.000–80.000 km/anno, il beneficio diventa particolarmente rilevante.

2. Riduzione dei costi manutentivi

La diminuzione dell'usura comporta:

- *minore consumo di fasce elastiche*
- *minore usura di bronzine e camme*
- *riduzione dei fenomeni di grippaggio*
- *stabilità più duratura della viscosità dell'olio*

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

Questo si traduce in intervalli di manutenzione più stabili e in minori interventi straordinari.

3. *Estensione della vita utile del motore*

La protezione tribologica prolungata preserva le tolleranze geometriche nel tempo, con impatto positivo sul valore residuo del veicolo.

Inoltre la riduzione dei consumi implica una diminuzione diretta delle emissioni di CO₂. Infatti ogni litro di carburante risparmiato evita:

- circa 2,31 kg di CO₂ (benzina)
- circa 2,68 kg di CO₂ (diesel)

Nel caso di mezzi industriali ad alta percorrenza, la riduzione annuale può superare diverse centinaia di chilogrammi di CO₂ per veicolo e su scala di flotta l'impatto diventa esponenziale. Questo elemento assume rilevanza strategica in un contesto normativo sempre più orientato alla riduzione delle emissioni e al rispetto degli obiettivi climatici europei.

Valutazione complessiva

L'impiego del grafene come additivo per oli motore non rappresenta un'affermazione commerciale isolata né una semplice operazione di marketing tecnologico, ma si inserisce in un quadro scientifico ampiamente consolidato, supportato da una vasta letteratura internazionale che attribuisce a questo materiale proprietà fisiche e chimiche di assoluto rilievo. Il grafene è caratterizzato da un'elevatissima conducibilità termica, superiore a quella della maggior parte dei materiali convenzionali, da un'eccellente resistenza meccanica, da una notevole stabilità chimica anche in ambienti ossidativi e ad alta temperatura e, soprattutto, da una struttura bidimensionale costituita da un singolo strato di atomi di carbonio disposti in reticolo esagonale che favorisce un bassissimo coefficiente di attrito tra superfici in contatto. Questa combinazione di caratteristiche rende il grafene particolarmente idoneo a operare nei regimi di lubrificazione misti e limite, dove la protezione delle superfici metalliche è affidata non soltanto allo spessore del film fluido, ma anche alla capacità dell'additivo di formare uno strato tribologico stabile e resistente. Le evidenze sperimentali raccolte nelle prove di laboratorio e nelle applicazioni reali risultano coerenti con tali proprietà fisiche, mostrando riduzioni misurabili dell'attrito, miglioramenti nella distribuzione del calore, minore degradazione dell'olio nel tempo e una significativa diminuzione dei fenomeni di usura. In questo senso, il grafene agisce non solo come semplice additivo disperso, ma come vero e proprio modificatore di superficie, capace di interagire con le microasperità metalliche, riempire microcavità e stabilizzare il contatto meccanico sotto carico. L'integrazione tra proprietà intrinseche del materiale e risultati sperimentali osservati conferma quindi la coerenza tra teoria e pratica applicativa, rafforzando la credibilità tecnica della soluzione. In tale prospettiva, questa tecnologia risulta particolarmente promettente per contesti operativi in cui l'efficienza energetica, la riduzione dei costi di manutenzione e l'affidabilità nel lungo periodo assumono un ruolo strategico, come nel caso delle flotte aziendali, del trasporto merci su strada, dei veicoli commerciali leggeri e dei mezzi industriali impiegati in cicli di lavoro intensivi. In questi ambiti, infatti, anche riduzioni percentuali apparentemente contenute dei consumi di carburante o dell'usura meccanica si traducono, su base annua, in risparmi economici significativi e facilmente misurabili, grazie all'elevato chilometraggio percorso e alla continuità di esercizio. Inoltre, la maggiore stabilità termica e la migliore protezione delle superfici possono contribuire ad allungare

AFFIGE – LA TECNOLOGIA DEL GRAFENE CHE INCONTRA IL TUO MOTORE

gli intervalli di manutenzione e a ridurre i tempi di fermo macchina, con ulteriori benefici indiretti in termini di produttività e pianificazione operativa. Il ritorno economico dell'investimento nell'olio additivato con grafene risulta quindi più rapido e oggettivamente quantificabile proprio nei contesti professionali e industriali, dove i parametri di prestazione sono monitorati in modo sistematico e dove l'ottimizzazione dei costi di esercizio rappresenta una priorità gestionale.

Alla luce dei risultati ottenuti, l'olio Affige additivato con grafene può essere considerato:

- *tecnologicamente fondato*
- *sperimentalmente validato*
- *economicamente vantaggioso*
- *ambientalmente coerente*

I benefici non devono essere interpretati come rivoluzionari in termini assoluti, ma come miglioramenti incrementali ad alta efficienza, perfettamente in linea con l'evoluzione dell'ingegneria motoristica moderna. In un settore in cui ogni punto percentuale di rendimento ha valore strategico, la riduzione strutturale degli attriti rappresenta un intervento intelligente, misurabile e replicabile. La tecnologia appare quindi particolarmente promettente nei contesti ad alta percorrenza e nelle flotte commerciali, dove il beneficio economico cumulativo e la riduzione delle emissioni assumono dimensioni significative. Il quadro complessivo evidenzia una soluzione avanzata, coerente con le esigenze di efficienza energetica, sostenibilità ambientale e affidabilità meccanica che caratterizzano la mobilità contemporanea.