

Tecniche di abbattimento del particolato da motori diesel

di Paolo Ciambelli

Il particolato allo scarico di motori diesel per autotrazione contribuisce significativamente all'inquinamento dell'atmosfera urbana. Il particolato è responsabile di danni alla salute dell'uomo e del degrado di monumenti ed edifici. I progressi tecnologici realizzati nei più recenti motori diesel non consentiranno di rispettare i futuri limiti previsti dalla normativa. Sono presentate le tecniche di trattamento allo scarico attualmente operanti su veicoli commerciali o in fase di ricerca.



La qualità dell'atmosfera urbana è fortemente dipendente dall'inquinamento dovuto alle emissioni di autoveicoli e motorini. In particolare, un contributo specifico all'inquinamento è fornito dai veicoli con motore diesel, il cui scarico è caratterizzato dalla presenza del particolato, che accompagna gli inquinanti tipici dei motori ad accensione comandata (idrocarburi, monossido di carbonio, ossidi di azoto, ossidi di zolfo). Il particolato è responsabile di danni alla salute dell'uomo e del degrado di monumenti ed edifici. Per l'apparato respiratorio si hanno seri rischi se le dimensioni del particolato sono molto ridotte. Quindi, recentemente l'attenzione è stata rivolta a sviluppare sistemi di monitoraggio dell'atmosfera urbana del particolato di dimensioni inferiori a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM 10).

Il motore diesel si è diffuso enormemente negli ultimi vent'anni per la maggiore economicità del carburante, la durata, l'affidabilità, la minore complessità delle parti costitutive. E, conseguentemente, il problema di ridurre l'emissione di particolato si è accentuato con la sua diffusione. La normativa Euro IV, da attuare entro il 2005, prevede che le emissioni di particolato devono essere ridotte fino a $0,025\text{ g/km}$, mentre l'Euro V richiede

di rispettare il limite di $0,005\text{ g/km}$. Tali limiti fanno prevedere che gli interventi a monte dello scarico non siano sufficienti e che occorra ricorrere a trattamenti di post-combustione.

Il particolato è costituito principalmente di un nucleo carbonioso e contiene metalli pesanti, sali inorganici, idrocarburi adsorbiti, acqua. La formazione di tali particelle avviene nella zona di reazione ad alta temperatura e ricca di combustibile, intorno alle singole gocce di combustibile dove gli idrocarburi sono ossidati in condizioni sub-stechiometriche. Una classificazione del particolato viene fatta in base alle dimensioni: si distinguono a questo proposito la classe delle *particelle fini*, aventi diametri equivalenti al di sotto dei $2,5\text{ }\mu\text{m}$, e la classe delle *particelle grossolane*, aventi dimensioni superiori ai $2,5\text{ }\mu\text{m}$.

Interventi alla sorgente

Per limitare la formazione del particolato sono possibili principalmente due tipi di interventi, rispettivamente sui combustibili e sul sistema di combustione.

Nel primo caso si sfrutta la capacità del motore diesel di operare con combustibili alternativi a quello commerciale, che generino minori quantità di particolato (combustibile diesel modificato, biodiesel a base di oli vegetali o etanolo, gas naturale compresso e metanolo).

Attualmente in Europa c'è grande atten-

zione a supportare, anche con agevolazioni fiscali, il biodiesel e sono in corso campagne dimostrative con autobus cittadini.

Anche la riduzione del contenuto di zolfo nel combustibile (50 ppm previsti per il 2005) contribuirà a ridurre le emissioni di particolato riducendo la quantità di solfati presenti in esso.

Rispetto agli interventi sul motore lo sviluppo tecnologico ha prodotto notevoli passi verso il cosiddetto diesel pulito. Uno dei primi interventi effettuati sul motore diesel, noto come EGR, consiste nella ricircolazione dei gas di scarico. Questa tecnica consente una diminuzione delle emissioni degli NOx essenzialmente dovuta all'incremento della capacità termica dei gas, alla conseguente diminuzione della temperatura di combustione e una diminuzione del contenuto di ossigeno nei gas combusti. La soluzione più moderna combina i vantaggi della tecnologia *common rail*, con il controllo elettronico e l'ottimizzazione dell'architettura della camera di combustione. In tale sistema l'elevata pressione del combustibile negli iniettori (maggiore di 1.000 atmosfere) assicura l'alimentazione di gocce di combustibile estremamente piccole, consentendo una più completa combustione. L'iniezione è controllata elettronicamente, e mantiene la pressione a valori elevati indipendentemente dalle condizioni di marcia e velocità del motore. In questo

P. Ciambelli, Dipartimento di Ingegneria chimica e alimentare - Via Ponte Don Melillo - 84084 Fisciano (SA). pciambelli@unisa.it

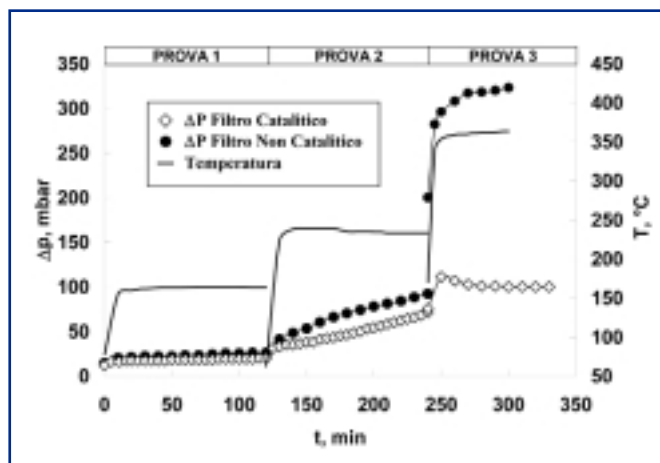


Figura 1 - Prestazioni allo scarico di un motore common rail

modo si ottiene una riduzione di consumi e di emissioni di particolato e di NO_x .

Interventi allo scarico

La riduzione della concentrazione di particolato allo scarico di un motore diesel deve necessariamente essere basata sulla conversione a CO_2 e H_2O della componente carboniosa del particolato. Tuttavia, mentre è relativamente semplice convertire gli idrocarburi adsorbiti sul particolato utilizzando un convertitore catalitico a metalli nobili del tipo marmitta catalitica (sono i cosiddetti catalizzatori di ossidazione diesel), molto più difficile si presenta il problema di convertire la matrice solida carboniosa del particolato.

Poiché si tratta di particelle solide, il tempo di permanenza nel percorso a valle della camera di combustione fino allo scarico all'atmosfera è insufficiente per la loro conversione alle temperature disponibili allo scarico. È quindi essenziale bloccare le particelle prima che vengano scaricate, allungandone in qualche modo il tempo di permanenza. Questo risultato si può ottenere con un mezzo filtrante, nel quale la particella permanga un tempo teoricamente infinito e possa essere quindi convertita a patto che esistano condizioni di temperatura che ne inneschino la combustione. Il filtro deve assicurare basse perdite di carico, buona efficienza di filtrazione, resistenza alle alte temperature.

È da sottolineare che, poiché le temperature allo scarico non sono sufficienti ad innescare la combustione del particolato, i filtri passivi hanno la funzione di catturare le particelle con un'efficienza di filtrazione sufficiente a tenere la concentrazione allo scarico al disotto dei li-

miti, fino a quando l'incremento di perdita di carico nel filtro dovuta al particolato accumulato si risulta inaccettabile per il funzionamento del motore.

A questo punto non si può fare altro che rigenerare il filtro, ossidando completamente a temperature elevate il particolato accumulato. Il raggiungimento delle temperature volute

può essere realizzato principalmente mediante riscaldamento elettrico o può essere impiegato un piccolo bruciatore ausiliario per produrre quella quantità di calore necessaria ad innalzare la temperatura all'interno dei filtri. Il riscaldamento equivale ad un consumo "extra" di combustibile, il cui ammontare corrisponde ad un aggravio di costi più o meno elevato.

Durante la rigenerazione le alte temperature iniziali, unite alla forte esotermicità della reazione di ossidazione del particolato e alla scarsa conducibilità termica dei materiali ceramici generano stress termici che possono danneggiare il filtro fino a provocarne la rottura.

I principali tipi di filtri utilizzabili sono monoliti "wall-flow", schiume ceramiche, filtri metallici.

I monoliti "wall-flow" hanno una struttura costituita da canali paralleli (di cordierite e più recentemente di carburo di silicio), metà dei quali sono chiusi ad un'estremità, e l'altra metà chiusi all'estremità opposta, in modo da costringere i gas a fluire attraverso le pareti porose (tipicamente 10-40 μm) che agiscono da filtro. Le schiume ceramiche sono costituite da materiale ceramico poroso, in cui i pori sono interconnessi, in modo da permettere al gas di fluire attraverso il materiale. Il numero dei pori per unità di lunghezza (almeno 1 poro ogni 0,85 mm) determina l'efficienza di filtrazione e le perdite di carico.

I filtri metallici hanno ovviamente proprietà di scambio termico migliori rispetto a quelli ceramici. L'inconveniente principale è costituito dal fatto che il metallo catalizza l'ossidazione di SO_2 a SO_3 , con la conseguente formazione di solfati e l'aumento delle emissioni di particolato.

I filtri catalitici

La necessità di ossidare il particolato e/o rigenerare il filtro alle basse temperature dello scarico può essere soddisfatta da un filtro che abbia anche attività catalitica per l'ossidazione del particolato carbonioso. Infatti, la presenza del catalizzatore, abbassando la temperatura di ignizione del particolato carbonioso, consente di effettuare rigenerazioni meno frequenti o con minori quantità di particolato accumulato o, al limite, rigenerazioni in continuo se le condizioni di temperatura dei fumi e concentrazione del particolato carbonioso sono tali da consentirlo. Il catalizzatore può essere depositato sulla superficie del filtro, additivato al combustibile o può essere costituito da una fase attiva gassosa intermedia.

È noto che molti materiali sono buoni catalizzatori dell'ossidazione del particolato, anche in condizioni di contatto precario con esso. Nel 1990 abbiamo brevettato un catalizzatore a base di Cu/V/K/Cl , estremamente attivo per l'ossidazione di differenti materiali carboniosi (dal fullerene alla grafite) a temperature di poco superiori ai 300 °C [1]. Lo sviluppo della ricerca ha portato alla messa a punto di filtri catalitici strutturati, a base di cordierite o di schiume di allumina o zirconia, che hanno fornito interessanti prestazioni allo scarico di un motore *common rail* (Figura 1) [2, 3]. Il filtro è in grado di autorigenerarsi a temperature dell'ordine dei 350 °C.

Il sistema Johnson Matthey (Continuous Regenerating Trap)

Il sistema, a due stadi, è basato sulla presenza di NO_x nei fumi di combustione. I gas di scarico vengono fatti fluire attraverso un monolite *through-flow* su cui è stato depositato un catalizzatore a base di platino [4]. Il catalizzatore converte parzialmente l' NO presente nei fumi a NO_2 che, nel secondo stadio, può ossidare il particolato carbonioso depositatosi sul filtro. L' NO_2 si forma a temperatura relativamente basse e ancora a temperature basse (300-400 °C) contribuisce all'ossidazione del particolato carbonioso. Questo sistema presenta dei limiti dovuti alla presenza nel combustibile dello zolfo, che avvelena il catalizzatore, e al fatto che, per ossidare tutto il particolato presente nei fumi di combustione, si deve incrementare di molto la presenza degli NO_x nei fumi.

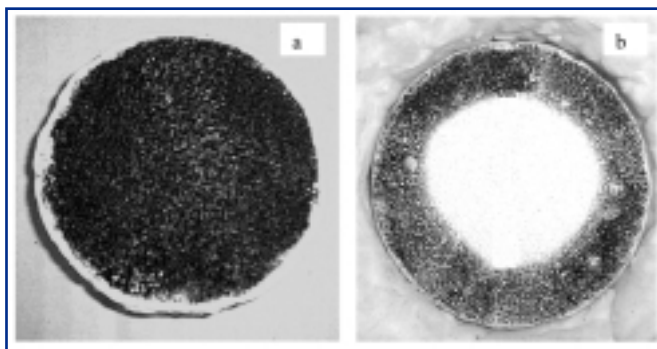


Figura 2 - Rigenerazione di un filtro esaurito tramite microonde

Il sistema Engelhard DPX

A tale sistema, che consta di un filtro catalitico che intrappola il particolato, viene rivendicata la capacità di ossidare in continuo il particolato stesso, grazie alla presenza di uno specifico catalizzatore brevettato.

Il sistema FAP Peugeot-Citroën

Uno dei sistemi che ha avuto maggiore successo commerciale nella rigenerazione delle trappole per il particolato è basato sull'aggiunta di additivi (Rhône-Poulenc ha sviluppato la tecnologia Eolys, basata sull'impiego di un additivo organo-metallico a base di cerio al combustibile). Durante la combustione la parte organica del composto è ossidata mentre la parte metallica è incorporata nel particolato con una distribuzione granulometrica estremamente fine, garantendo un intimo contatto tra il particolato e il catalizzatore e favorendone quindi la combustione durante la rigenerazione del filtro. Il sistema Peugeot usa il cerio come elemento attivo. Inoltre esso prevede l'immissione, ad intervalli periodici, di una piccola quantità aggiuntiva di combustibile allo scarico e l'impiego di un catalizzatore ossidante all'ingresso del filtro. Si ottiene così un incremento complessivo di 300-350 °C della temperatura dello scarico, sufficiente a rigenerare il filtro.

Trattamenti innovativi

Il trattamento al plasma freddo, ancora in fase esplorativa, si basa sulla creazione attraverso i gas da trattare di un ambiente ionizzato generato da un campo elettrico pulsato che produce elettroni ad alta energia e radicali liberi [5]. Questi, associati alla presenza di un catalizzatore specifico, determinano l'abbattimento degli inquinanti. Il sistema,

proposto per l'abbattimento di NOx allo scarico di motori è stato sperimentato anche per la riduzione del particolato.

Le microonde possono essere utilizzate per la rigenerazione dei filtri, catalitici e non. Le microonde riscaldano selettivamente la

parte carboniosa del particolato catturato o gli ossidi metallici che costituiscono il catalizzatore, mentre il materiale di cui è costituita la trappola, in genere cordierite, è trasparente alle microonde. Abbiamo recentemente [6] dimostrato che in presenza di microonde è possibile rigenerare il filtro esaurito impiegando una limitata potenza (Figura 2).

Denso e Toyota hanno recentemente annunciato di aver sviluppato una nuova tecnologia per la riduzione simultanea e continua del particolato e degli ossidi di azoto allo scarico di motori diesel, basata sulla tecnologia che utilizza i catalizzatori ad accumulo per l'abbattimento di NOx. Il motore alterna impulsi di alimentazione povera e ricca per promuovere l'ossidazione del particolato, sfruttando la fase di accumulo e di riduzione degli NOx utilizzando un catalizzatore per l'accumulo di NOx depositato su un filtro ceramico wall-flow. Il sistema soffre degli stessi limiti dei catalizzatori ad accumulo, dovuti allo zolfo presente nel combustibile che determina la formazione di solfati, competitivi con i nitrati sulla superficie del catalizzatore.

I risultati più recenti della nostra attività di ricerca sull'abbattimento del particolato, cui hanno collaborato V. Palma, P. Russo, S. Vaccaro, sono stati ottenuti nell'ambito del Progetto PRIN 2000 "Catalisi per la riduzione dell'impatto ambientale da sorgenti mobili".

Bibliografia

- [1] Ital. Pat. n. 1221416, 1990.
- [2] P. Ciambelli *et al.*, *Top. Catal.*, 2001, **16-17**, 279.
- [3] P. Ciambelli *et al.*, *Catal. Today*, 2002, **73**, 363.
- [4] B.J. Cooper, J.E. Thoss, S.A.E. Paper 890404, 1989.
- [5] J. Hoard, S.A.E. 2001FL-63, 2001.
- [6] V. Palma *et al.*, in corso di stampa su *Comb. Sci. Tech.*, 2002.

News

Programma di ricerca sul Genoma

L'Austrian Business Agency, l'agenzia austriaca di assistenza e consulenza per investitori stranieri, ha annunciato il lancio di nuovi programmi di ricerca che interessano diversi settori industriali. Questi progetti, a tecnologia avanzata, completano la serie di centri di ricerca europei e globali fondati da alcune multinazionali in Austria, per esempio nel campo delle biotecnologie (Boehringer Ingelheim, Roche, Boaxter, Novartis, Eli Lilly), dell'elettronica (Sony, Ericsson, Siemens, Ibm) o nel settore automobilistico (Bmw, GM/Opel, Magna, Bombardier-Rotax).

A breve verrà avviato il progetto che rientra nel Programma di Ricerca Austriaco sul Genoma (Gen-Au) che prevede un investimento di 100 milioni di euro nei prossimi nove anni e che sarà integrato nel programma di ricerche "Co-Gene" dell'Unione Europea.

Il Consiglio Austriaco per la Ricerca e la Tecnologia dello Sviluppo, insieme a esperti internazionali, è nella fase finale di approvazione dei primi progetti nati per stimolare e sostenere la ricerca di base sul genoma e sul post-genoma, che ha come scopo la ricerca di nuove terapie mediche e processi produttivi nelle biotecnologie e in chimica. Allo stesso tempo, Gen-Au servirà come un catalizzatore per i nuovi brevetti austriaci, spin-off, prodotti e start-up. Un altro programma di ricerca, prevede il lancio di Austron, un centro di eccellenza internazionale per la ricerca. Il progetto sarà focalizzato sull'analisi della materia con la tecnica della dispersione di neutroni, una tecnica essenziale per sviluppare nuovi materiali, prodotti e processi in campi come ingegneria, biotecnologia, scienze naturali, biologia ed elettronica.

Austron è un progetto multinazionale congiunto che include 300 ricercatori con un investimento di più di 300 milioni di euro, aperto alla cooperazione con diverse nazioni del Centro ed Est Europa come Italia, Svizzera e Turchia.

Il centro di ricerca, ideato per colmare le lacune conoscitive sui neutroni, sarà incluso nelle reti globali di ricerca come l'European Spallation Source, la Spallation Neutron Source negli Usa, il Japanese Joint Project e il Research Reactor Munich II.