

L'impiego di nuovi combustibili nei cogeneratori a basati su motori a combustione interna può comportare la comparsa di problemi inaspettati sul fronte delle emissioni.

Il problema delle emissioni nei cogeneratori dotati di motori a combustione interna: evoluzione in corso

di Cristiano Vergani

Nel nostro Paese è in atto una forte espansione nel mercato degli impianti di cogenerazione, specialmente del tipo dotato di motori a combustione interna alimentati ad olio vegetale: purtroppo, non sempre esiste la possibilità di ottimizzare il proprio motore per il combustibile prescelto, a volte di qualità insufficiente od incostante. Questo aspetto si può riflettere negativamente sulla qualità delle emissioni di scarico, causando diversi problemi in sede di autorizzazione all'esercizio dell'impianto.

Nel corso degli ultimi anni, il settore della auto-produzione di energia, basato su piccoli impianti autonomi di cogenerazione, ha subito un notevole incremento numerico. Una espansione ancora più importante è prevista nel prossimo futuro: alcune proiezioni (CESI) stimano entro il 2010 un contributo energetico della cogenerazione di piccolissima taglia (inferiore a 1 MW) pari a 900-1050 MW complessivi, mentre per gli impianti di potenza superiore al megawatt si prevede un ulteriore incremento di 2000-4000 MW. Questi dati significano che, nel volgere di pochi anni, avremo migliaia di impianti di piccola e media taglia dispersi nei vari distretti industriali (e non solo, basti pensare agli impianti a servizio di ospedali, complessi scolastici, centri commerciali ecc.).

Tra le varie tecnologie disponibili, la più diffusa e conveniente, almeno fino a potenzialità intorno ai 5-10 MW, è rappresentata dall'utilizzo di motori a combustione interna (MCI), a ciclo Otto o Diesel, abbinati a sistemi di recupero di energia termica a bassa temperatura (50°-95°C) per acqua sanitaria o riscaldamento ambientale (scambiatori installati su intercooler, circuito di lubrificazione e raffreddamento) ed a temperatura più elevata (400°-500°C) per la generazione di vapore a media pressione (scambiatori installati sui gas di scarico). La tecnologia utilizzata in questi impianti è matura ed affidabile, mentre i valori di

disponibilità e distribuzione di energia elettrica e termica a bassa e media temperatura sono ideali per l'utilizzo in una moltitudine di casi. Quindi, si prevede che la grande maggioranza degli impianti installati nei prossimi anni sarà riconducibile a questa tipologia, almeno nel segmento della cogenerazione medio - piccola (le potenzialità superiori sono generalmente appannaggio dei generatori a turbina).

Una tale proliferazione suscita però alcuni interrogativi dal punto di vista ambientale: se è vero che la cogenerazione distribuita comporta una serie di innegabili vantaggi dal punto di vista energetico, è altrettanto vero che diventa più complesso il problema del controllo delle emissioni. Infatti, mentre le emissioni di una grande centrale, confinate in un unico punto di emissione, possono essere monitorate e trattate con maggiore efficacia, è molto più complicato tenere sotto controllo una miriade di fonti inquinanti disperse sul territorio. Inoltre, come ben sanno gli addetti ai lavori, è tecnicamente più facile e proporzionalmente meno oneroso intervenire su emissioni concentrate e caratterizzate da un elevato flusso di massa.

La maggior parte dei gruppi di cogenerazione attualmente disponibili nella taglia delle centinaia/decine di migliaia di kW, sono realizzati per mezzo di grossi motori Diesel, alcuni dei quali di moderna concezione, alimentati da gasolio a basso tenore di zolfo, caratterizzati quindi da emissioni contenute. Una grande parte del parco installato, però, è costituita da motori di non recentissima progettazione, alimentati con combustibili di scarsa qualità (a volte perfino di dubbia provenienza e composizione). Anche la messa punto in alcuni casi può lasciare a desiderare (non sempre le tabelle di manutenzione sono rispettate alla lettera). Come conseguenza, sovente si riscontrano allo scarico livelli di particolato, monossido di carbonio e ossidi di azoto ampiamente superiori ai limiti consentiti.

Gli inquinanti coinvolti

Le emissioni inquinanti prodotte comprendono principalmente l'anidride carbonica (CO₂), il monossido di carbonio (CO), l'anidride solforosa o biossido di zolfo (SO₂), gli ossidi di azoto (NO_x) e gli idrocarburi incombusti (HC). La quantità prodotta di ciascuno di questi inquinanti, dipende ampiamente dalla composizione del carburante utilizzato e dalla combustione caratteristica del motore installato. L'emissione di CO₂ e SO₂ è direttamente

proporzionale alla quantità del carburante bruciato. L'alta efficienza dei sistemi di cogenerazione e l'incremento dell'uso di gasolio a basso tenore di zolfo e di gas naturale hanno portato nel tempo ad una riduzione significativa di questi due inquinanti. L'emissione di SO₂ non può essere comunque ridotta tramite misure di progettazione del motore, ma può essere rimossa dai gas esausti attraverso l'applicazione di una unità di desolforazione. Al contrario, la formazione di NO_x, CO ed idrocarburi incombusti, è direttamente collegata alle condizioni di combustione; è influenzata dalla temperatura, dal rapporto aria/carburante e dal tempo di permanenza dei gas nelle varie fasi di processo. Le emissioni di NO_x e CO possono essere ridotte attraverso un'accurata progettazione ed un controllo delle condizioni di combustione. Allo stesso tempo, il controllo delle emissioni tramite aggiustamenti delle condizioni di combustione può compromettere l'efficienza dell'impianto, perciò una delle maggiori sfide dei produttori è quella di progettare sistemi in grado di minimizzare la formazione di NO_x e CO in modo da rispondere alla legislazione ambientale, senza per questo compromettere l'efficienza e i costi dell'impianto. Al momento esiste una nuova generazione di motori, dotati di sofisticati metodi di controllo e di diversi dispositivi per l'abbattimento delle emissioni a valle del processo. Le tecniche di riduzione impiegate consistono essenzialmente in interventi di “condizionamento” del carburante (ad esempio l'emulsione con acqua ed altri additivi) e nell'utilizzo di particolari convertitori o reattori catalitici.

I carburanti “emergenti”

In tempi recenti, si va assistendo ad un sempre maggiore impiego degli oli vegetali come carburanti nei cogeneratori a ciclo diesel. Infatti, rispetto agli esteri metilici (biodiesel), gli oli tal quali presentano il vantaggio di un minor costo di produzione, di un maggior contenuto energetico e, non ultimo, di un più favorevole trattamento fiscale. Ritenuti fino a poco tempo fa un combustibile idoneo per l'impiego di emergenza, oppure confinato ai Paesi in via di sviluppo per alimentare motogeneratori di piccola potenza, gli oli vegetali si stanno invece imponendo prepotentemente in molti Paesi industrializzati come fonte principale di energia anche in centrali di media e grande potenza.

Se effettuato in modo razionale, l'uso di questi prodotti non dovrebbe comportare conseguenze negative sulla funzionalità dei motori e sulla qualità delle emissioni. Al contrario, diversi studi sperimentali mostrano un buon comportamento di molti oli vegetali

Cristiano Vergani

“...emissioni nei cogeneratori dotati di MCI ...”

sotto questi aspetti. Ad esempio, è possibile ottenere una certa riduzione di alcuni inquinanti, come monossido di carbonio, idrocarburi incombusti e particolato. Tuttavia, l'emissione di ossidi di Azoto (NOx) non viene ridotta, anzi, in alcuni casi, si può assistere ad un certo incremento, come nell'utilizzo dell'olio di palma (circa 1050 ppm contro circa 860 ppm del gasolio, al 15% di O₂ nei gas di scarico). Inoltre, se l'apparato di iniezione del carburante non è specificatamente ottimizzato per il tipo di olio vegetale impiegato, si possono in breve tempo verificare depositi carboniosi in corrispondenza degli iniettori, con un notevole incremento nella produzione di inquinanti, specialmente di particolato. Si può dire che il problema più evidente connesso all'impiego degli oli vegetali consiste nella elevata viscosità, che può comportare difficoltà di nebulizzazione; da qui la necessità di preriscaldare il combustibile, di adottare pressioni di iniezione più elevate, e di ricorrere ad iniettori speciali. Per evitare inconvenienti che possono minare l'affidabilità e il rendimento dei generatori, nonché peggiorare in breve tempo la qualità delle emissioni, è quindi necessario utilizzare combustibili espressamente approvati dal costruttore del motore, e dotarsi di un buon impianto di trattamento dei gas di scarico, specialmente per quanto riguarda gli ossidi di azoto. Inoltre, si dovrà tenere conto della necessità di rispettare scrupolosamente gli interventi di manutenzione stabiliti e di attuare un rigoroso controllo di qualità sul combustibile adottato.

L'utilizzo dei grassi animali come combustibile nei motogeneratori riveste ancora un carattere sperimentale, a causa delle notevoli problematiche connesse. In genere, fino ad ora, l'uso dei grassi animali come fonte di energia è stato confinato nell'ambito delle caldaie oppure alla trasformazione in metilesteri. Grazie ad opportuni trattamenti, come nel caso degli oli vegetali soprattutto volti a diminuire il valore di viscosità, i grassi animali possono essere impiegati vantaggiosamente per alimentare motori a combustione interna, con ottime performances dal punto di vista energetico e delle emissioni inquinanti. Comunque, a causa delle temperature più elevate in camera di scoppio, le emissioni di ossidi di azoto sono maggiori rispetto a quelle tipiche del gasolio, rendendo necessario il ricorso ad un efficiente sistema di abbattimento.

Strategie di intervento per ridurre le emissioni

In genere i piccoli impianti di cogenerazione sono equipaggiati all'origine con catalizzatori di tipo ossidativo, in grado di assicurare l'abbattimento del CO (tali catalizzatori sono

particolarmente efficienti nei Diesel poiché la combustione avviene in eccesso di ossigeno): per ridurre invece gli NOx si impiegano per lo più soluzioni di tipo SCR (addizione di ammoniaca o di suoi precursori, come l'urea, nei gas di scarico, a monte di un convertitore catalitico) o SNCR (più semplice ma meno efficace, consiste nell'immissione diretta dell'ammoniaca in camera di combustione).

Per quanto riguarda il particolato, si ricorre innanzi tutto ad una accurata messa a punto dei motori; può essere conveniente anche riconsiderare il tipo di combustibile impiegato orientandosi verso soluzioni più "pulite" (sempre che siano utilizzabili dal punto di vista tecnico su un particolare tipo di motore e che la vigente politica fiscale li renda economicamente convenienti). Nel caso in cui tali rimedi non siano praticabili, o sufficienti, per ridurre il particolato si dovrà ricorrere all'impiego di particolari tecniche basate sulla combustione delle particelle, le quali, una volta trattenute su un substrato ceramico o metallico, in forma spugnosa oppure strutturata in cellette, potranno essere ossidate termicamente in modi diversi (riscaldamento periodico con resistenze elettriche, o con l'addizione di alcool ecc.). L'utilizzo di questi rimedi non è privo di inconvenienti, e non consente, ad ogni modo, di risolvere totalmente il problema del particolato.

Un metodo che permette di ridurre fortemente il CO e, in una certa misura, anche gli NOx ed il particolato, prevede l'utilizzo di due convertitori catalitici ossidanti in serie tra loro, intervallati da una breve distanza. Per migliorare l'abbattimento degli NOx, tra i due può essere inserito un reattore di tipo SCR. Il primo convertitore serve ad ossidare le molecole di NO a NO₂, una specie chimica caratterizzata da una notevole reattività. Contemporaneamente si ottiene l'ossidazione del CO. Nel secondo convertitore, grazie all'azione del biossido di azoto, si ottiene una ossidazione parziale del particolato (in pratica, sfruttando la temperatura caratteristica dei gas di scarico, è possibile "bruciare" le particelle ad una temperatura notevolmente inferiore a quella necessaria in assenza di NO₂). Per mantenere i convertitori catalitici in buona efficienza per lunghi periodi di tempo, è essenziale impiegare dei carburanti privi di contaminanti come i composti dello zolfo e del fosforo, che possono inibire permanentemente la funzionalità dei catalizzatori (avvelenamento).

Quando si ha la necessità di ridurre fortemente l'emissione di inquinanti particellari, è necessario alimentare i motori con il gas naturale. Dal punto di vista economico, può essere più conveniente ricorrere all'olio vegetale emulsionato con acqua, un carburante dalle emissioni molto contenute, grazie ad una maggiore completezza e ad una minore

Cristiano Vergani

“...emissioni nei cogeneratori dotati di MCI ...”

temperatura di combustione. Di frequente, motori con problemi di elevate emissioni di particolato possono essere “risanati” con un intervento che prevede l’installazione di un turbo-emulsionatore sul circuito di alimentazione del carburante fluido. L’emulsione con acqua provoca una finissima polverizzazione del carburante al momento dell’accensione, permettendo di conseguenza una combustione molto più completa, con una netta riduzione del particolato e degli idrocarburi incombusti. Inoltre, la temperatura in camera di combustione si riduce, limitando anche l’emissione degli ossidi di azoto.

Ad ogni modo, i processi più efficaci per la rimozione degli ossidi di azoto sono senz’altro quelli che si basano sulla riduzione catalitica selettiva (SCR). Attualmente, l’unico processo che ha trovato larga diffusione è quello che prevede l’impiego di un catalizzatore a base di pentossido di vanadio ed ammoniaca. Questo processo rappresenta la soluzione ottimale ai problemi di emissioni contenenti NOx, determinando inoltre il minore impatto ambientale tra le tecnologie attualmente disponibili. La riduzione catalitica selettiva infatti, a differenza di altri processi, non dà luogo a nessun tipo di effluente liquido e non immette in atmosfera sostanze diverse da quelle normalmente presenti.

Questo metodo, ancora poco diffuso in Italia, è ormai diventato uno standard in nord Europa e negli Stati Uniti per la depurazione delle emissioni da motori a ciclo Diesel. Il processo SCR rappresenta, allo stato attuale delle conoscenze, l’unico processo in grado di adeguare le emissioni dei motori Diesel alle sempre più restrittive normative in termini di emissioni di ossidi di azoto. In genere si interviene con dispositivi SCR a valle del trattamento effettuato con catalizzatori ossidativi o a doppio stadio. In alcune applicazioni, è necessario un ulteriore stadio per l’eliminazione catalitica dell’ammoniaca in eccesso, eventualmente rilasciata dal catalizzatore SCR, anche se si tratta di una necessità poco frequente.

Il processo SCR

Il processo di riduzione catalitica selettiva degli ossidi di azoto, meglio conosciuto come “Processo SCR”, consente di eliminare in modo quantitativo NO ed NO₂ dalle emissioni gassose trasformandoli in composti inerti nei confronti dell’ambiente, quali azoto e vapore acqueo.

Trattandosi di un processo che opera a temperature superiori ai 200°C è particolarmente

indicato per l'eliminazione degli NOx termici. Il processo SCR si basa su una serie di reazioni chimiche che porta all'eliminazione degli ossidi di azoto per reazione con l'ammoniaca (aggiunta al processo) e l'ossigeno contenuto nella corrente di gas da depurare. L'ammoniaca può essere dosata direttamente o ricavata da una soluzione di urea. Le reazioni implicate sono tutte fortemente esotermiche; si valuta che mediamente una corrente gassosa contenente 1000 ppm di NOx incrementi la sua temperatura di circa $10 \div 11$ °C durante il processo di riduzione. Il campo di temperatura ottimale per il processo SCR è compreso tra i 180° ed i 380 °C. A temperature inferiori ai 180°C la conversione non è completa e quindi non è possibile garantire le rese di abbattimento generalmente richieste mentre a temperature superiori ai 350 °C iniziano a verificarsi reazioni indesiderate, tanto che a 400° C circa il 5-10% di ammoniaca viene perso principalmente in queste reazioni.

La presenza di reazioni antagoniste a temperature superiori ai 350°C e la necessità pratica di non scendere al di sotto di una temperatura minima di esercizio di 300°C (soglia al di sotto della quale non vi è una completa trasformazione dell'urea in ammoniaca) rende indispensabile, per l'attuazione del processo, l'utilizzo di un vero e proprio reattore catalitico.

Il reattore deve essere dotato di dispositivi per il controllo della temperatura dei fumi, in quanto la temperatura in uscita dai silenziatori dei generatori turbodiesel si assesta generalmente intorno ai $450 \div 500$ °C. Un primo raffreddamento dei fumi ($30 \div 70$ °C) si ottiene grazie all'evaporazione dell'acqua in cui è disciolta l'urea utilizzata come reagente.

Entro certi limiti la temperatura è controllabile variando la concentrazione della soluzione. Una valvola di miscelazione con aria ambiente, controllata da termoregolatore, provvede a ridurre i picchi di temperatura.

Il particolato non danneggia il corpo del catalizzatore, in quanto la velocità di attraversamento è relativamente elevata e le particelle non si depositano all'interno. Può essere conveniente pre-trattare i gas di scarico a monte del reattore SCR per mezzo di un catalizzatore ossidante. Così facendo, la temperatura viene mantenuta ai livelli ideali (circa 300°C) e gli NOx possono essere convertiti dall'SCR in condizioni ottimali.



Figura 1

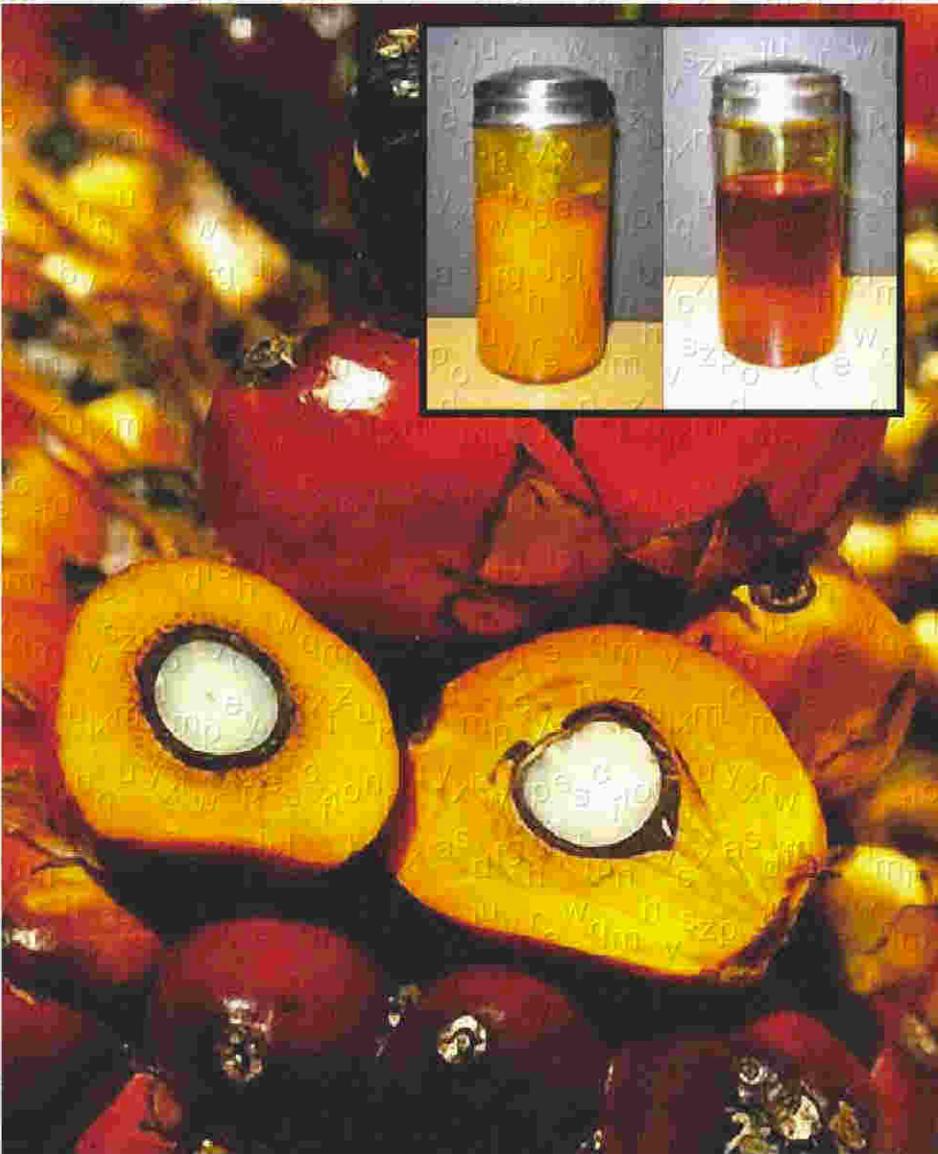
I moderni generatori a combustione interna, se alimentati con carburanti di elevata qualità, possono garantire emissioni molto contenute.

WWW.MCI.COM

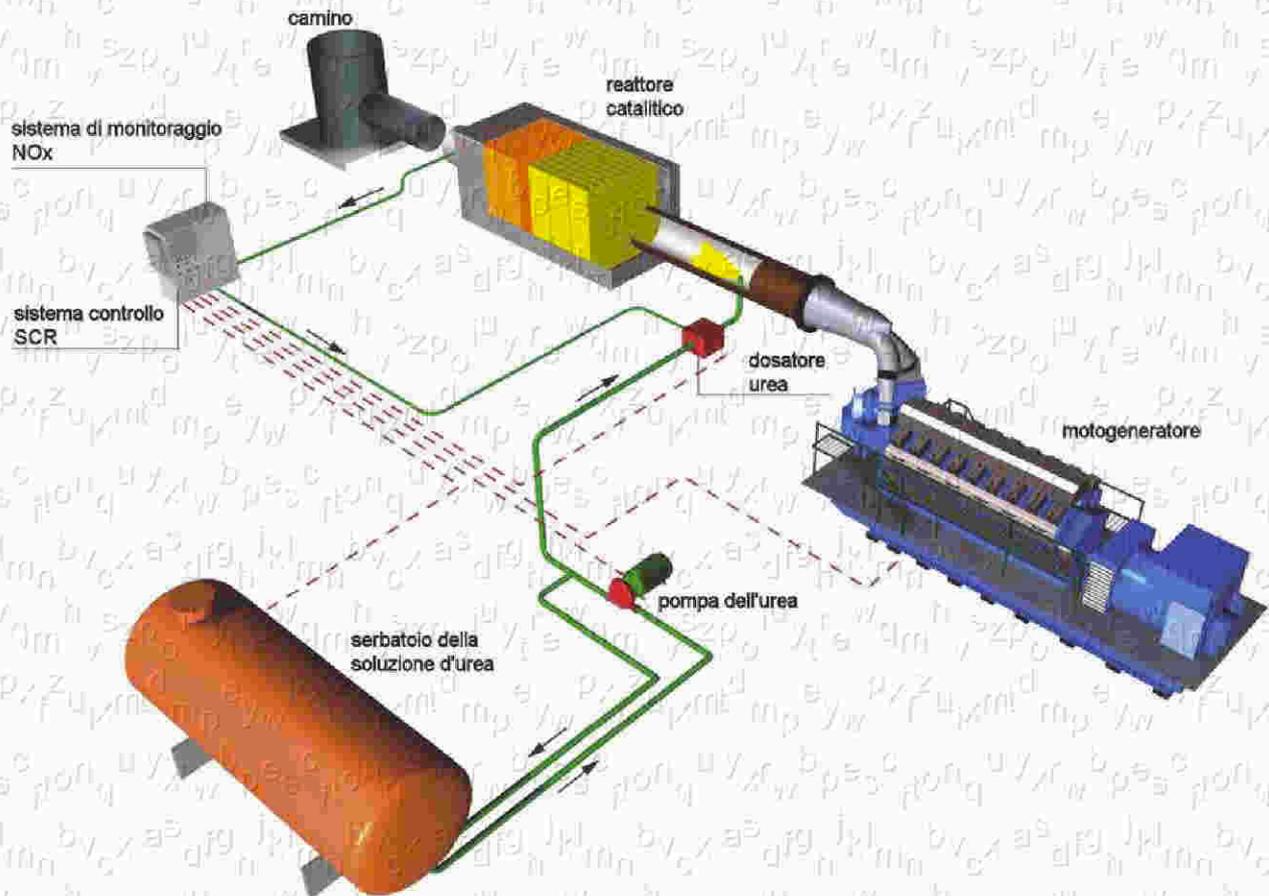


Figura 2

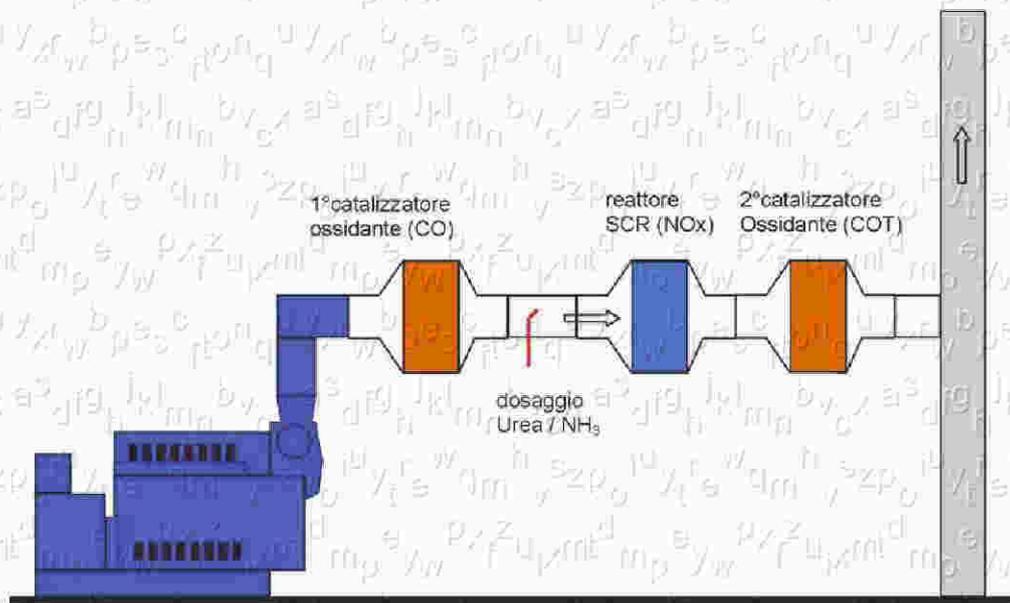
I catalizzatori ossidanti, a parte le dimensioni, possiedono una struttura sovrapponibile a quella delle comuni marmitte catalitiche usate nei motori per autotrazione.

**Figura 3**

L'olio di palma è attualmente il carburante di origine vegetale maggiormente utilizzato nei motori per cogenerazione: a temperatura ambiente possiede una consistenza semisolida, e deve quindi essere portato ad una temperatura di circa 60°C prima di essere iniettato in camera di combustione.

**Figura 4**

Nella maggior parte dei casi, è necessario ricorrere ad un impianto di abbattimento dotato di un reattore catalitico riducente SCR per gli NOx (di colore giallo nell'immagine) seguito da un reattore ossidante per il CO (di colore arancione).

**Figura 5**

A volte, è necessario usare una configurazione che prevede ben tre reattori catalitici in serie, un espediente che serve ad abbattere parzialmente anche gli inquinanti particolati.



Figura 6

Anche i grassi animali possono essere usati per alimentare dei cogeneratori a ciclo Diesel.

Il trattamento delle emissioni richiede un impianto a doppio reattore catalitico di concezione specifica.



Figura 7

Impianti di cogenerazione realizzati come elementi modulari (Power Cube), completi di impianto di trattamento delle emissioni, affiancabili in più unità fino al raggiungimento della potenza desiderata.

**Figura 8**

In presenza di limiti particolarmente restrittivi sulle emissioni di particolato (come quelli imposti da alcune Regioni nelle zone critiche), in alternativa all'uso del gas naturale, l'unico metodo efficace per rientrare nelle disposizioni di legge consiste nel pre-trattamento del carburante liquido (gasolio, biodiesel, oli vegetali) con appositi emulsionatori.