

Cristiano Vergani
Responsabile R & D
Deparia Engineering S.r.l.
E-mail: cristiano.vergani@deparia.com

Il trattamento delle emissioni nei piccoli impianti di cogenerazione

I piccoli impianti di cogenerazione sono ormai diffusi nei diversi bacini industriali del nostro Paese: il problema del trattamento delle loro emissioni in atmosfera è diventato un argomento all'ordine del giorno, specialmente in alcune Regioni dove sono vigenti limiti molto restrittivi.

La cogenerazione consiste nella produzione di elettricità e nel contemporaneo recupero del calore generato nel processo, destinato altrimenti alla dispersione: si tratta di una quota variabile dal 40 al 66% della potenzialità termica del combustibile utilizzato, calore che può essere utilmente impiegato per il riscaldamento/raffreddamento degli ambienti oppure per fini industriali. Il combustibile fossile bruciato per generare 1 kWh genera in un anno circa una tonnellata di anidride carbonica: si può quindi comprendere l'utilità di un recupero efficiente dell'energia termica, per evidenti motivazioni economiche ma anche per la massima tutela dell'ambiente. Negli ultimi anni si è avuto un notevole impulso nell'applicazione delle tecnologie di cogenerazione, in misura più o meno importante a seconda delle politiche energetiche dei vari Paesi. Nel 1998, la quantità globale di energia elettrica ottenuta con impianti a cogenerazione è stata di circa 200 GW, poco più del 6% del totale. La percentuale degli Stati Uniti è uguale alla media globale; la Svezia detiene il record con ben il 60%, mentre la Francia, arroccata sul nucleare, è il fanalino di coda con un 2,5% del totale.

Nella cogenerazione si impiegano turbine a gas, motori alternativi a ciclo Diesel, celle a combustibile, microturbine: la taglia degli impianti va sempre più riducendosi, fino a coprire le esigenze di piccole comunità o addirittura di singole abitazioni. Si stima che entro i prossimi cinque anni si avrà un'ampia disponibilità di microgeneratori per piccole industrie ed abitazioni (microturbine, motori Diesel e celle a combustibile), che darà origine ad un mercato di 10 miliardi di dollari nell'arco di 10 anni (fonte: ABI, Allied Business Intelligence, Inc.). Come ulteriore ricaduta, ci si aspetta da questa grande diffusione una riduzione globale del 50% nelle emissioni di CO₂, anche se questo buon risultato potrebbe essere vanificato dalle politiche energetiche dei Paesi in via di sviluppo, orientati a sostenere il forte incremento della domanda interna di energia elettrica con tecnologie tradizionali. Ad ogni modo, già oggi si assiste anche in Italia ad un certo proliferare di impianti di cogenerazione di taglia medio/piccola, specialmente in alcuni distretti non sufficientemente serviti dalle grandi reti di distribuzione dell'energia, in presenza di lavorazioni molto esigenti in termini di quantità e qualità dell'erogazione (impianti chimici, siderurgici, produzione di semiconduttori). Altri settori in crescita sono rappresentati dalla sanità e dalle strutture alberghiere. Molti generatori elettrici situati in zone di difficile accesso (isole, rifugi montani e simili) sono in via di riconversione con analoghi impianti dotati di recupero termico. Questa proliferazione ha però portato in evidenza un problema abbastanza serio, ovvero un livello non trascurabile di emissioni in atmosfera. 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 o addirittura da biodiesel (esteri dell'olio di colza o di girasole) o da gasolio bianco (gasolio addizionato d'acqua in emulsione), 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 e di ossidi di azoto ampiamente superiori ai livelli consentiti.

Strategie di intervento per ridurre le emissioni

Nella Fig.1 possiamo vedere schematicamente i componenti delle emissioni di scarico dei motori a ciclo Diesel: in sintesi, abbiamo due grandi categorie, il particolato (TPM, formato da particelle carboniose e da nuclei di condensato, composti da solfati ed idrocarburi) e le sostanze gassose e volatili (HC = idrocarburi incombusti, Nox = ossidi di azoto, CO = monossido di carbonio, SOx = anidridi solforose e solforiche). Durante la combustione, gli idrocarburi pesanti del gasolio subiscono un processo di cracking o piroscissione. La temperatura e la pressione sono cioè in grado di scindere le molecole più pesanti C₆, C₁₂ in HC più leggeri lasciando tuttavia un nucleo di carbone. Quest'ultimo, molto poroso, dà luogo alla formazione del particolato adsorbendo il materiale più leggero (vapori d'acqua, solfati, HC volatili) identificato come SOF (Soluble Organic Fraction). Gli idrocarburi si trovano nella frazione particolata, nella frazione gassosa e nel condensato solubile. Non è possibile abbattere efficacemente tutte queste sostanze ricorrendo ad un solo dispositivo. In genere i piccoli impianti 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 gli altri tipi di inquinante non è previsto di serie alcun tipo di trattamento, anche se, come vedremo, molte sono le tecnologie in corso di avanzata sperimentazione da parte dei vari costruttori. Attualmente, per ricondurre le emissioni entro i limiti più restrittivi, si deve ricorrere ad una serie di interventi di "retrofitting" con l'utilizzo di diverse tecnologie: per ridurre 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'immettere un reagente che intervenga sugli NO_x direttamente 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, come in fig.2, o con l'aggiunta di alcool ecc.). Un metodo recentemente messo a punto, prevede l'immissione nel gasolio di piccolissime quantità di ossido di Cerio (CeO₂), il quale permette di aumentare la disponibilità di ossigeno per l'ossidazione termica del particolato che si deposita all'interno del catalizzatore, evitando così il surriscaldamento con mezzi ausiliari. Un altro metodo particolarmente interessante (Fig.3) è quello che prevede l'ossidazione delle particelle per mezzo dell'NO₂ (sistema CRT, Continously Regenerative Trap, Johnson Matthey), ottenuto per mezzo di uno speciale convertitore catalitico (che allo stesso tempo serve ad eliminare il CO). Lo schema comprende due catalizzatori in serie a breve distanza l'uno dall'altro, il secondo dei quali destinato a raccogliere il particolato e ad ossidarlo senza l'ausilio di fonti energetiche esterne, ma ricorrendo al solo biossido di azoto. Questa soluzione è molto valida, a patto che il tasso di zolfo contenuto nel gasolio sia limitato, per non compromettere l'efficienza di conversione da NO a NO₂ (il gasolio in ambito CEE non dovrebbe comunque contenere più dello 0,005% in peso di zolfo, ovvero 500 ppm). Dovendo utilizzare del gasolio con tracce di sostanze solforate non trascurabili (500-3000 ppm), è consigliabile in alternativa un dispositivo catalitico basato sul principio

DPF, Diesel Particulate Filter (Fig.4), relativamente tollerante nei confronti dello zolfo. La tecnica DPF utilizza un catalizzatore di disegno particolare, in cui il classico honeycomb ha le cellette a fondo cieco ed i gas sono costretti a passare dalle pareti interne per attraversare la struttura. Periodicamente, il particolato trattenuto deve essere eliminato (con i metodi già accennati: riscaldamento elettrico, post-combustione, oppure deve essere abbassata la temperatura di combustione ricorrendo agli additivi, in maniera tale da avere una efficiente ossidazione già alla normale temperatura di esercizio). In ogni caso è bene impiegare un gasolio dal tenore di zolfo più basso possibile, in quanto i composti solforati sono in grado di intossicare tutti i catalizzatori (Fig.5), anche se in modo parzialmente reversibile alle alte temperature.

Riduzione degli ossidi di azoto con processi catalitici

I processi più efficaci per la rimozione degli ossidi di azoto sono senz'altro quelli che si basano sulla riduzione catalitica selettiva. Allo stato attuale, 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 (Fig.6)

Il processo SCR

Il processo di riduzione catalitica selettiva degli ossidi di azoto, meglio conosciuto come "Processo SCR" (Fig.7), 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 NO_x 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 e l'ossigeno contenuto nella corrente 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 NO_x incrementi la sua temperatura di circa 10 + 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 tra L'ammoniaca e l'ossigeno contenuto nella corrente da depurare, tanto che a 400° C circa il 5 + 10% di ammoniaca viene perso principalmente in questa reazione. La presenza di reazioni antagoniste a quelle di interesse per la depurazione 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 (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 $450 + 500^{\circ}\text{C}$. Un primo raffreddamento dei fumi ($30 + 70^{\circ}\text{C}$) 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: ad ogni modo, conviene trattare i gas di scarico a monte del catalizzatore SCR per mezzo di un catalizzatore bistadio CRT. Così facendo, la temperatura viene mantenuta ai livelli ideali (circa 300°C) e residuano nella corrente gassosa solo gli NO_x , i quali possono essere convertiti dall'SCR in condizioni ottimali.

Il gasolio "bianco"

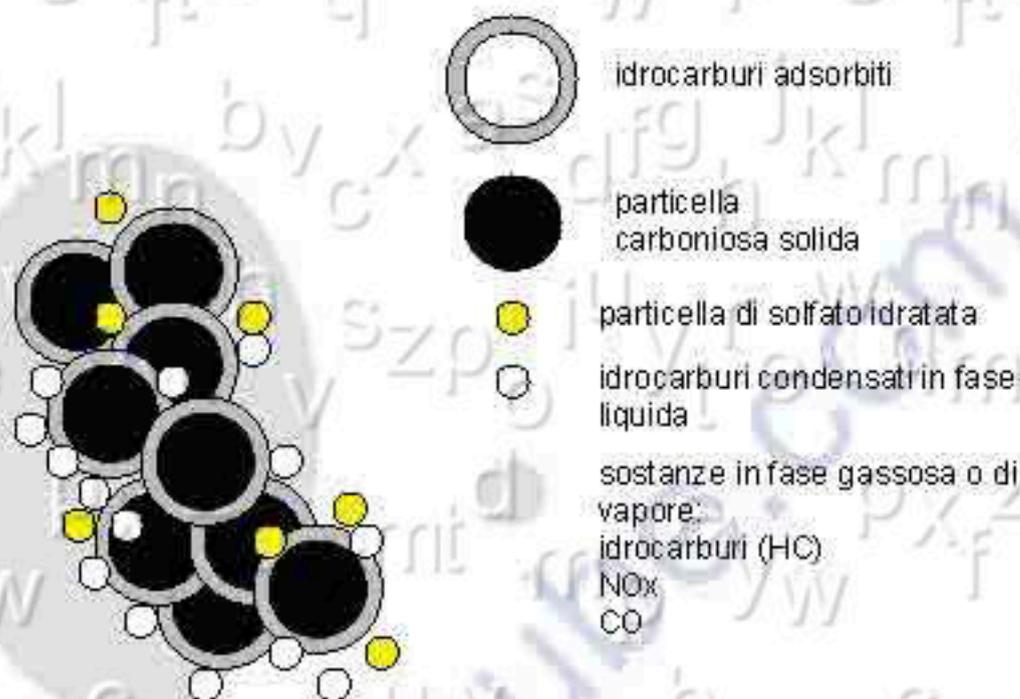
Una delle strategie più promettenti per il controllo delle emissioni consiste nell'utilizzo del gasolio cosiddetto "bianco", ovvero contenente una certa percentuale d'acqua sotto forma di emulsione (Fig.9). Questo carburante particolare permette di ottenere rese di abbattimento sul particolato totale, sugli ossidi di azoto e sul monossido di carbonio, di entità quasi comparabile a quelle ottenibili con l'uso dei catalizzatori ($-25+30\%$ per gli NO_x , $-40+50\%$ per il TPM). Questo grazie ad una serie di effetti positivi determinati dalla presenza dell'acqua nella camera di scoppio del motore. L'acqua si trova in forma di emulsione nel gasolio, segregata all'interno di micelle, ovvero delle microstrutture simili a membrane chiuse su se stesse, formate da una catena di molecole di agenti surfattanti. Queste molecole sono caratterizzate da una testa idrofila e da una coda idrofoba: unendosi tra loro formano una

barriera tra l'acqua, all'interno, e il gasolio esternamente. Ciò permette di veicolare l'acqua all'interno della camera di scoppio, impedendone il contatto con le strutture del motore potenzialmente soggette a corrosione. Il brusco innalzamento della temperatura durante la fase di compressione provoca l'istantanea vaporizzazione dell'acqua contenuta nelle micelle (Fig.10), determinando una serie di microesplosioni che portano ad una frammentazione estremamente minuta del gasolio. In questo modo si ottengono fondamentalmente due tipi di effetto, ovvero una riduzione dei picchi di temperatura (che comporta una riduzione nelle emissioni di NOx) e una combustione molto più efficace del gasolio, con una netta diminuzione del particolato. Questo tipo di carburante è in via di rapida diffusione, anche per via degli incentivi fiscali contenuti nell'ultima Finanziaria: in questo modo, il costo per i grandi utilizzatori dovrebbe essere all'incirca equiparabile a quello del gasolio normale. Possibili incognite legate all'utilizzo del gasolio bianco sono rappresentate dalla distribuzione ancora insufficiente e da possibili perdite di efficacia degli additivi in particolari condizioni climatiche.

Il biodiesel

Un possibile concorrente del gasolio bianco è rappresentato dal biodiesel, un carburante formato da esteri di oli vegetali come la colza o il girasole (si ottiene esterificando oli vegetali con alcoli, ricavando glicerina ed esteri combustibili). Può essere utilizzato puro ma, più frequentemente, lo si impiega miscelato al gasolio in una percentuale variabile dal 5% al 30%. Permette una riduzione degli inquinanti regolamentati molto rilevante (di qualche punto percentuale maggiore rispetto a quella ottenibile col gasolio bianco) ed è ben visto dagli ecologisti in quanto non è un combustibile fossile ma deriva da fonti rinnovabili vegetali, permettendo una netta diminuzione della produzione globale di CO₂, dato che nel bilancio

totale del gas entra anche l'anidride carbonica consumata dal vegetale con la fotosintesi (si calcola che per ogni litro di gasolio sostituito con biodiesel si possa evitare il rilascio di 2,1 kg di anidride carbonica). Il tasso di zolfo contenuto è praticamente nullo. In forma miscelata può essere utilizzato da qualunque motore Diesel senza modifiche. Possiede un potere detergente molto elevato, un pregio che può trasformarsi in una controindicazione nei motori già alimentati da tempo con gasolio normale, in quanto provoca il rapido distacco delle morchie adese, determinando seri inconvenienti a filtri e catalizzatori (conviene utilizzarlo su motori nuovi). Purtroppo, nonostante le favorevoli caratteristiche, non gode attualmente di grande utilizzo (in Italia, non più di 100.000 tonnellate/anno), poiché i suoi costi di produzione sono ancora troppo elevati (circa 3 volte superiori al gasolio). Ci si aspetta comunque a breve una politica fiscale favorevole all'impiego del biodiesel, perché rappresenta una (relativamente) facile scorciatoia per rispettare gli impegni di riduzione della CO₂ dettati dal protocollo di Kyoto. Questi carburanti "alternativi" (gasolio bianco compreso) necessitano comunque di una normativa molto precisa che ne prescriva le caratteristiche standard, in quanto esistono in commercio varie formulazioni, non tutte indicate per ottenere i risultati desiderati anzi, in alcuni casi, dagli effetti controproducenti o dannosi.



le particelle carboniose (0,01 - 0,08 mm di diametro) si riuniscono in agglomerati (0,05 - 1 mm) adsorbendo idrocarburi in superficie

Figura 1

Composizione schematica delle emissioni nei motori a ciclo Diesel: come si può vedere, si ha una frazione corpuscolata ed una frazione in fase di gas o di vapore. Gli idrocarburi incombusti si trovano in ambedue le frazioni. In effetti abbattendo il contenuto di particolato si ha una diminuzione anche degli HC che si trovano adsorbiti sulle particelle carboniose. Le particelle di solfato sono proporzionali al tasso di zolfo contenuto nel gasolio.

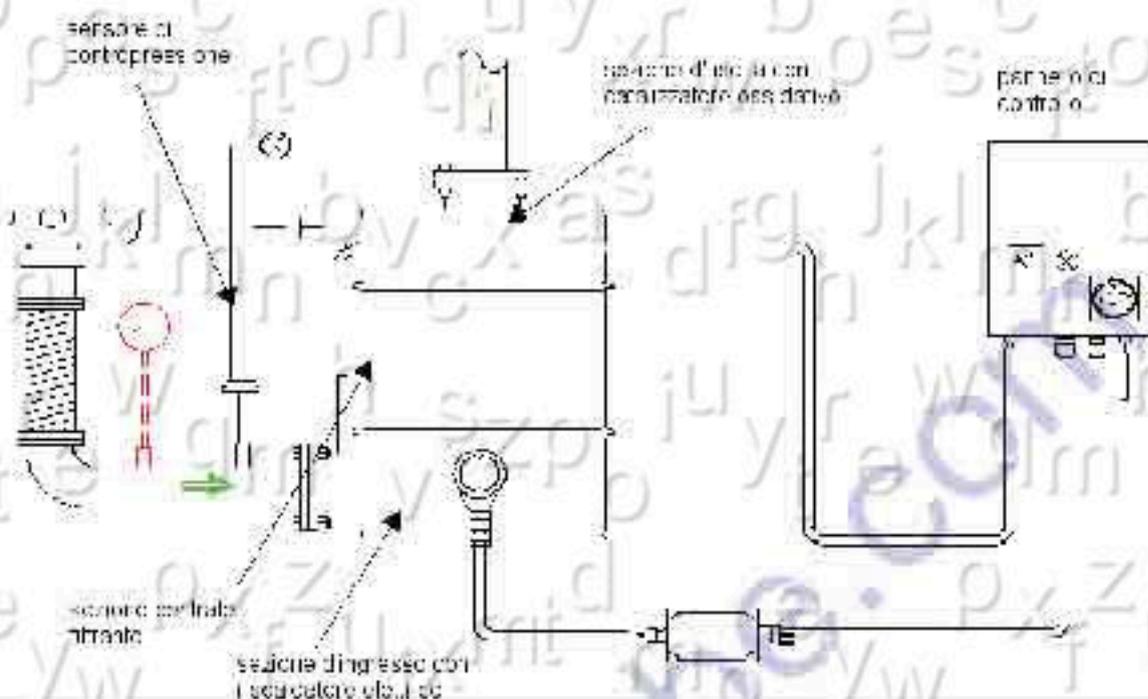


Figura 2

Dispositivo catalitico costituito da una prima sezione filtrante per trattenere il particolato e una successiva sezione con catalizzatore ossidativo (per CO e HC). Quando il particolato si accumula, cresce il valore di contropressione; raggiunta una determinata soglia, viene attivata una resistenza elettrica per innalzare la temperatura del filtro intorno agli 800°C ed ottenere così la completa combustione del particolato stesso. Alternativamente, per innalzare la temperatura si possono utilizzare iniettori di carburante per ottenere una post-combustione nel filtro.



Figura 3

Catalizzatore bistadio tipo CRT (Johnson Matthey). Il primo stadio elimina CO e HC mentre trasforma l'NO in NO₂. Nel secondo stadio l'NO₂ permette l'ossidazione del particolato alla normale temperatura dei gas di scarico (300°-400°C). Gli NO_x non vengono significativamente ridotti, ma si tratta di una soluzione elegante ed efficace per l'eliminazione degli altri inquinanti, a patto di utilizzare carburante a basso tenore di zolfo (<300 ppm).

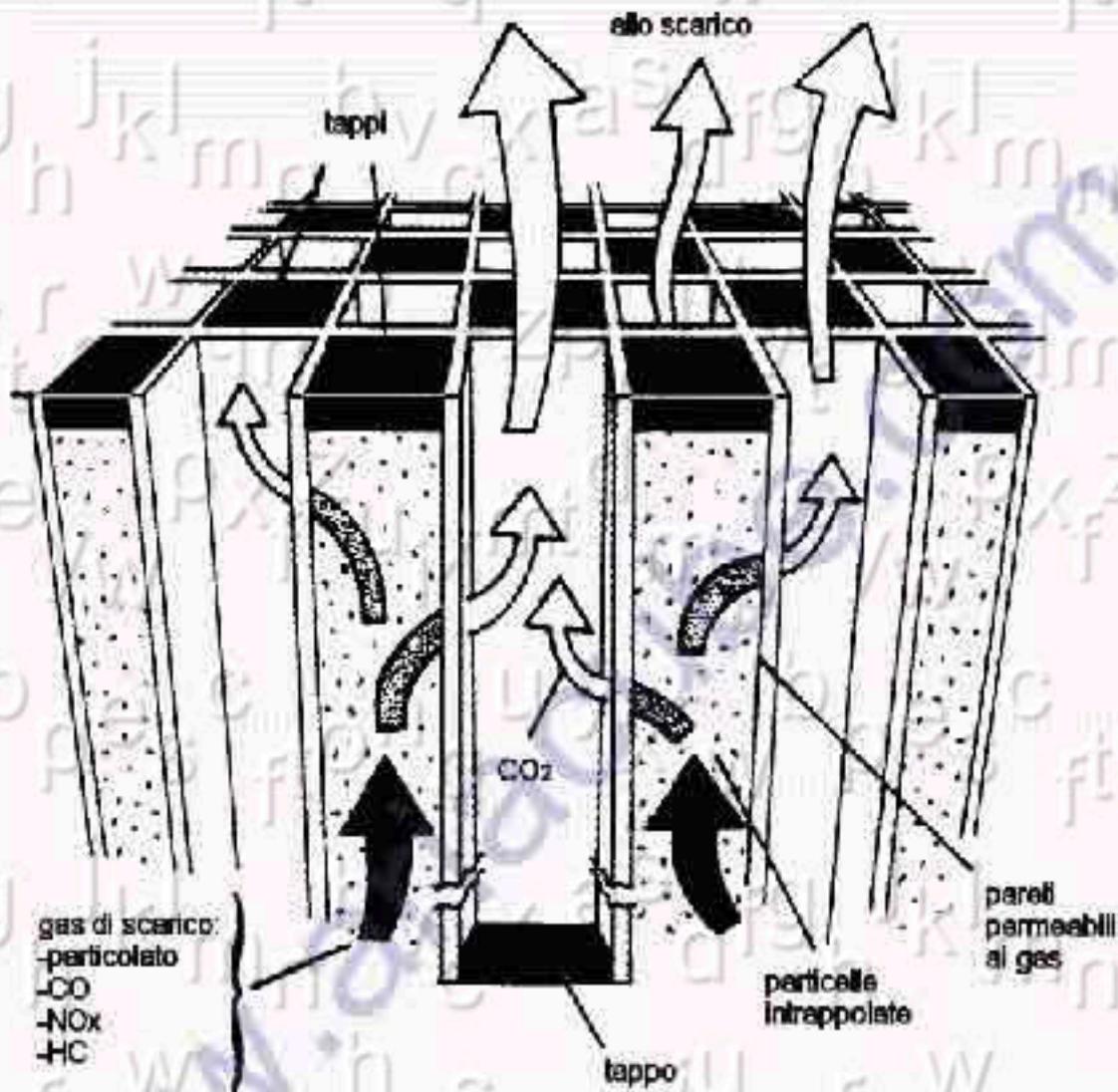


Figura 4

Schema del catalizzatore tipo DPF. Le cellette della struttura aiveare sono alternativa-
 mente chiuse ed aperte, le pareti, impregnate di catalizzatore, permettono il passaggio
 dei gas ma non del particolato. Durante l'attraversamento avviene l'azione ossidativa su
 CO e HC. Anche in questo caso non vi è una riduzione significativa degli Nox. Quando il
 particolato intrappolato comincia ad intasare i passaggi per i gas, viene attivato un dispo-
 sitivo in grado di aumentare la temperatura del filtro oltre la soglia di combustione del par-
 ticolato.

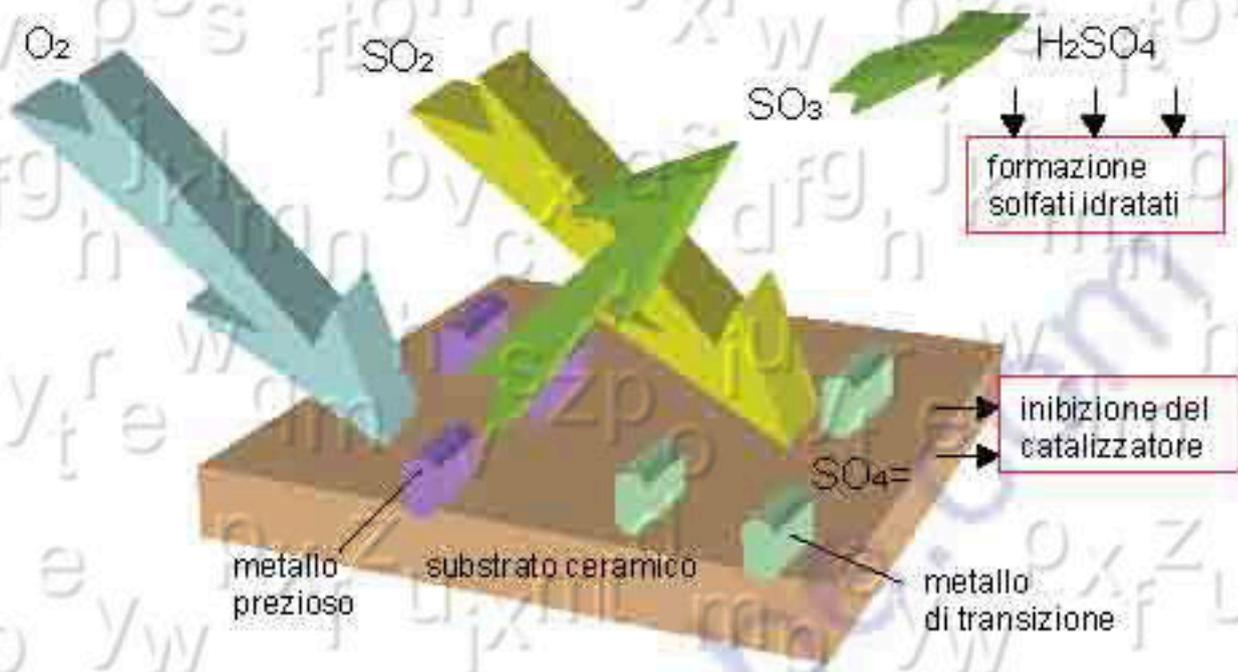


Figura 5

Processo di avvelenamento del catalizzatore, da parte dell'anidride solforosa derivante dalla combustione di gasolio contenente sostanze solforate. Il metallo catalizzatore viene progressivamente inibito, mentre si ha una produzione di solfati sotto forma idratata, ad incrementare il particolato totale.

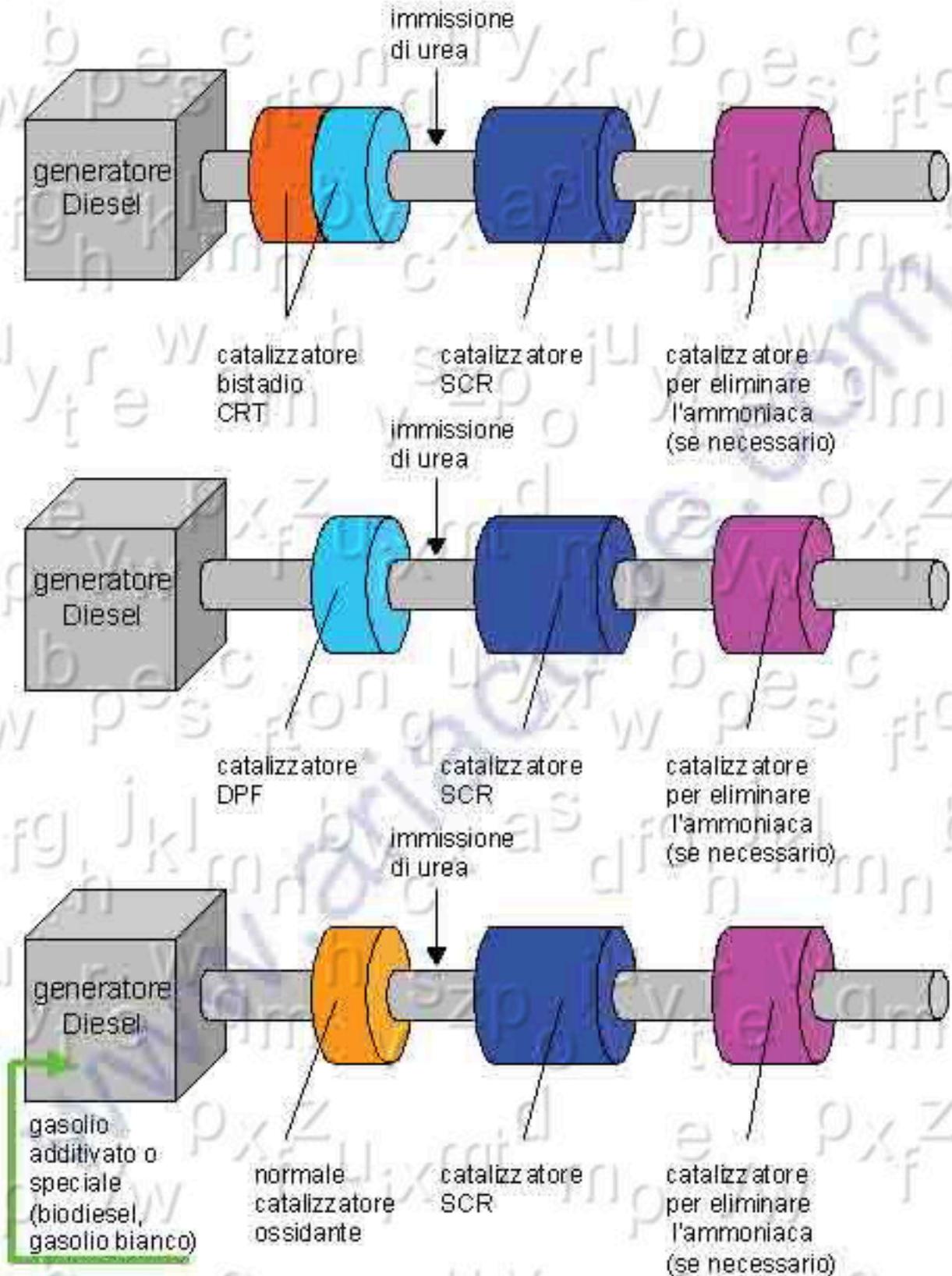


Figura 6
Possibili strategie di intervento per ridurre le emissioni dei generatori Diesel.

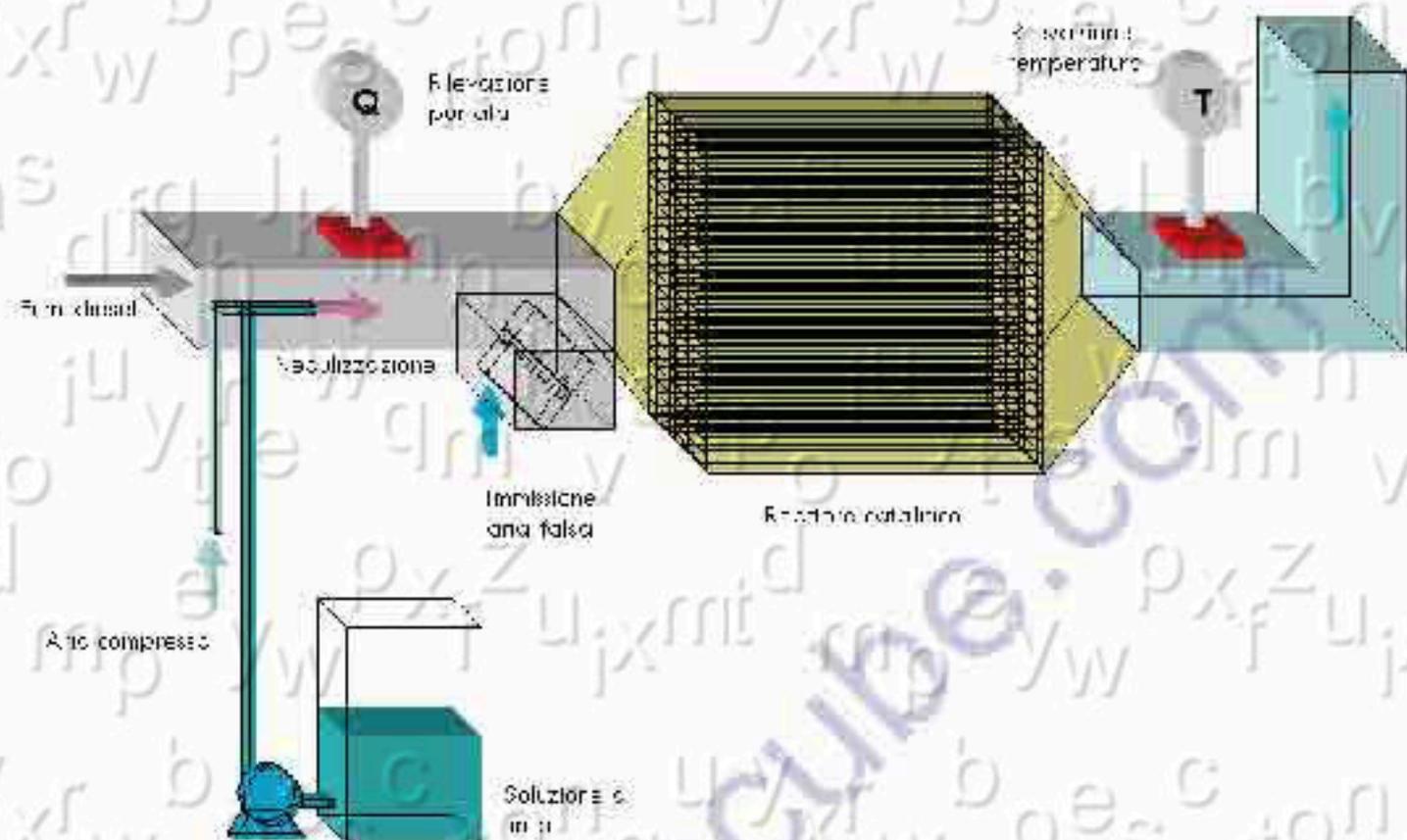


Figura 7

Descrizione schematica del processo SCR per la riduzione degli NOx nei fumi di scarico dei generatori Diesel: una soluzione acquosa di urea viene nebulizzata in corrente nei fumi, per mezzo di un ugello ad aria compressa, l'urea si decompone in ammoniaca, che reagirà con gli NOx nel reattore ceramico grazie alla presenza di pentossido di vanadio come catalizzatore, residuando azoto e acqua come prodotti di reazione.



Figura 8

Un esempio pratico di impianto combinato, catalizzatore ossidante più catalizzatore SCR con iniezione di urea, su emissioni di gruppi Diesel di cogenerazione alimentati con gasolio additivato con CeO_2 (Deparia Engineering Srl)

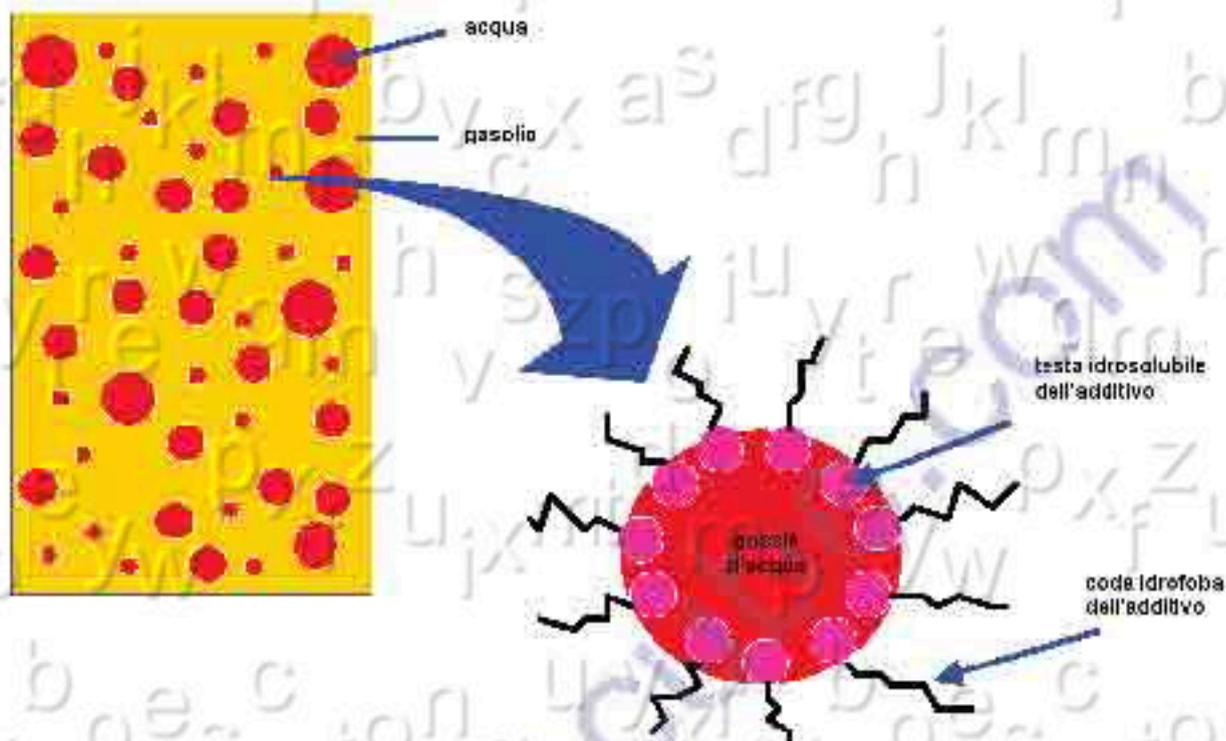


Figura 9

Il cosiddetto "gasolio bianco", per il suo aspetto opalescente, non è altro che comune gasolio addizionato con circa il 10-15% in peso di acqua: l'acqua è mantenuta in stato di sospensione dall'azione di particolari additivi, le cui molecole possiedono una testa idrofila ed una coda idrofoba. In questo modo formano una pellicola che tiene segregata l'acqua in piccole gocce, impedendone il contatto con le tutte le superfici potenzialmente soggette a corrosione (parti metalliche, resistenze elettriche di riscaldamento, ecc.).

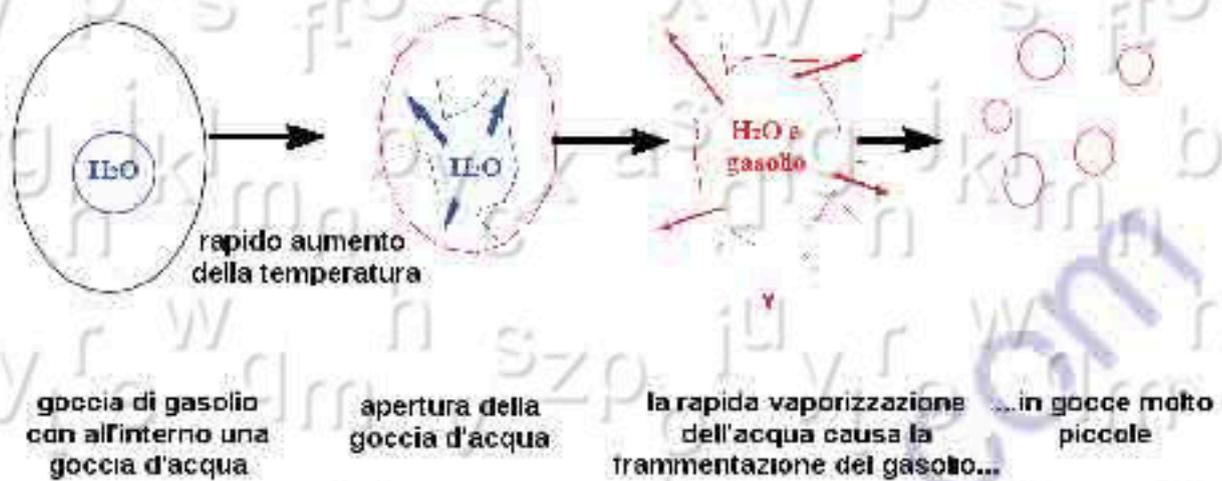


Figura 10

Meccanismo d'azione dell'acqua contenuta nel gasolio bianco: la presenza dell'acqua in camera di combustione determina innanzi tutto una certa diminuzione della temperatura, e quindi una minore emissione di Nox. Anche i livelli del particolato, del CO e degli HC scendono, grazie alla migliore combustione del gasolio, che viene polverizzato nella camera di scoppio in minutissime goccioline dalla "esplosione" delle gocce d'acqua contenute nella emulsione durante la fase di compressione.

La Cogenerazione

Un impianto di cogenerazione permette di ottenere energia elettrica e contemporaneamente energia termica che può essere sfruttata per il riscaldamento o per il raffreddamento dell'acqua o dell'aria (per esempio attraverso dispositivi ad assorbimento) o ancora energia elettrica per mezzo di vari dispositivi di conversione (ciclo combinato): in questo modo il rendimento energetico complessivo è molto più alto rispetto alla sola produzione principale di energia elettrica. Infatti, un impianto convenzionale per la produzione di energia elettrica difficilmente può superare un rendimento del 35%; per mezzo della cogenerazione è possibile incrementare questo valore tra il 70% e il 90%. Di cogenerazione si parla da molto tempo ma, ultimamente, l'interesse per questa soluzione è cresciuto in modo esponenziale: questo perché il ricorso alla cogenerazione sembra veramente il modo più semplice, conveniente e razionale per ridurre le emissioni di anidride carbonica pur incrementando i consumi energetici e quindi sostenendo lo sviluppo industriale a ritmi sempre sostenuti. Poiché tutte le economie sviluppate devono ridurre ognuna le proprie quote di produzione di CO₂, e naturalmente nessuna di loro è disposta per questo a rallentare la propria crescita, la cogenerazione è sembrata un po' a tutti la soluzione più conveniente.

I sistemi di cogenerazione si classificano sostanzialmente nei seguenti tipi fondamentali: motori alternativi, a ciclo Otto e Diesel, da cui viene recuperato il calore del circuito di raffreddamento del motore e dell'olio a bassa temperatura (da 50° a 90° C) e quello dei gas di scarico ad alta temperatura (circa 400-500°C); turbine a gas, i cui gas di scarico in gran volume e ad alta temperatura producono il calore richiesto in una caldaia a recupero, oppure vengono utilizzati direttamente in processo, come ad esempio nei processi di essiccazione; turbine a vapore a contropressione alimentate con vapore surriscaldato, che dopo aver attraversato la turbina producendo energia elettrica viene scaricato a bassa pressione per alimentare le utenze termiche; A questi va aggiunto il ciclo combinato in cui con lo scarico delle turbine a gas viene prodotto vapore, che a sua volta può azionare una turbina a vapore.

Solitamente i combustibili utilizzati nella cogenerazione sono idrocarburi liquidi o gassosi. L'impiego di idrocarburi gassosi come il metano è attualmente preferito per diverse ragioni, tra le quali il moderato costo e il minor impatto ambientale. Le turbine a vapore possono anche essere azionate con vapore prodotto dalla combustione di combustibili più economici come il carbone, la nafta ad alto tenore di zolfo, i rifiuti solidi, i cascami di produzione, ecc.

Forme assimilate di cogenerazione sono la produzione combinata di energia meccanica e termica come: l'azionamento di pompe di calore con motore a gas per climatizzazione nel settore civile, industriale e di processo; l'azionamento di macchine frigorifere per l'industria e l'immagazzinamento; la produzione di aria compressa per i servizi nell'industria; la produzione di aria compressa per gli impianti di depurazione delle acque od altri processi. Un altro aspetto collegato alla cogenerazione è la produzione di freddo con l'energia termica recuperata che genera energia frigorifera tramite macchine ad assorbimento: i cicli ad acqua e bromuro di litio monostadio producono acqua refrigerata a 5-7°C utilizzando nel generatore acqua calda a 80-95°C o acqua surriscaldata a 110-140°C oppure vapore saturo a 1,5-2 bar.

Siti di consultazione su Internet

Motori per generatori:

http://www.cat.com/products/shared/electric_power/applications/cogeneration/cogeneration.html

www.deutz.de/motoren/esener.htm

Sistemi catalitici:

www.dieseln.net.com/im/index.html

www.dieseln.net.com/engelhard/products.html

<http://www.deparia.com/main/pubbli/SCR/RelazioneSCR.html>

Gasolio bianco

www.lubrizol.com/performance/purinox/

www.gasoliobianco.it

Biodiesel

www.novaol.it