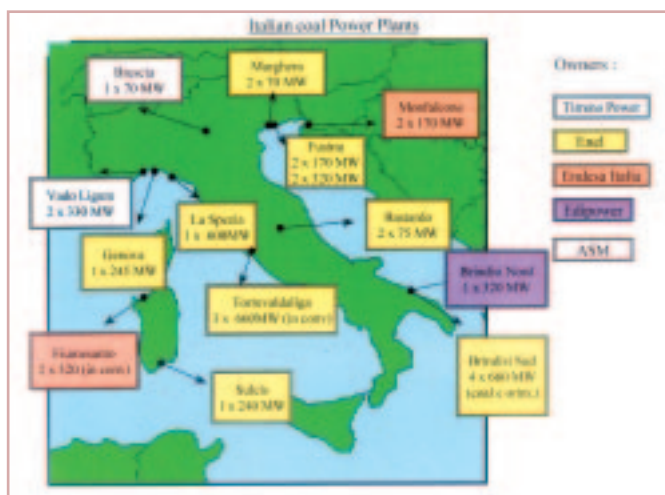




di Ferruccio Trifirò

PER L'ENERGIA, RIFLETTERE SUL CARBONE

Il suo futuro è all'interno delle tecnologie chimiche

L'utilizzo del carbone per produrre energia e combustibili puliti è una scelta strategica che il nostro Paese non può permettersi di non percorrere. Diverse tecnologie sono state sviluppate in questi ultimi anni per ridurre l'impatto ambientale dell'uso del carbone ed aumentarne l'efficienza di conversione. Le tecnologie avanzate di combustione, i diversi sistemi di trattamento delle emissioni, la possibilità di ottenere combustibili puliti con processi catalitici, fanno entrare molte delle strategie dell'utilizzo del carbone all'interno delle tecnologie chimiche.

Con un prezzo del petrolio a più di 60 dollari al barile, con le notizie che gli Stati Uniti e la Cina costruiranno nuove centrali nucleari, con il fatto che il nostro Paese, in Europa, è quello con il più alto costo dell'energia, con un Medio Oriente, dove sono concentrate il 70% delle riserve di petrolio ed una fetta importante di quelle di gas naturale, sempre di più sorgente di preoccupazione per la pace mondiale, è bene che ricominciamo a pensare alla nostra politica energetica. Una riflessione critica sulle diverse fonti energetiche alternative, che possiamo perseguire o rafforzare, come le biomasse, il

solare termico e fotovoltaico, l'eolico, il geotermico ed il carbone, non può che partire da quest'ultimo, per diversi motivi.

Il carbone è la fonte energetica per la produzione di energia elettrica più diffusa al mondo con un 39% e con un 34% nell'Europa dei 14, 50% in Germania, 50% in Danimarca, 50% in Usa, e 70% in Cina ed in India: le previsioni per il 2020 vedono solo una leggera flessione in Europa ed un aumento nelle altre aree. In Italia il carbone copre le esigenze di energia solo per l'8%.

Il carbone è il combustibile fossile più abbondante, ci sono riserve per circa 250 anni, contro i 40 di gas naturale e petrolio (in

verità ci sono in abbondanza anche gli scisti bituminosi, non ancora utilizzati). Queste riserve sono in molte nazioni (Australia, Germania, Russia, America del Nord, Colombia, Cina, India, Sudafrica e Indonesia) diverse da quelle dove sono presenti petrolio e gas naturale. Inoltre alcuni Paesi entrati recentemente nella Comunità Europea, come Repubblica Ceca, Polonia e Ungheria, possiedono miniere di carbone.

Il carbone è un combustibile sicuro, non ci sono grandi problemi di infiammabilità nel suo immagazzinamento e nel trasporto, come invece avviene per i combustibili liquidi e gassosi.

Inoltre, se analizziamo i diversi utilizzatori finali di combustibili fossili, di fronte alla vicinanza della loro scomparsa, non si può che convenire che per il riscaldamento domestico è meglio impiegare il gas naturale e lasciare il petrolio per la chimica, pertanto non rimane che il carbone per l'energia elettrica.

Qualcuno potrà essere rimasto stupito, a questo punto, che parlando dei vantaggi dell'uso del carbone, non si è fatto riferimento al suo basso prezzo, che attualmente è da tre a quattro volte inferiore a quello del petrolio. Non saranno presi, appositamente, in considerazione gli aspetti economici, non solo perché il basso prezzo del carbone è solo momentaneo, ma perché è bilanciato dagli elevati costi ambientali del suo utilizzo, per rispettare i limiti alle emissioni.

I problemi del carbone sono proprio quelli legati al suo impatto ambientale e, in particolare, il problema delle emissioni, della produzione di CO₂ e dell'efficienza di conversione con i problemi economici connessi anche al rispetto del protocollo di Kyoto. In Italia sarà convertita per tre quarti a carbone la centrale elettrica di Civitavecchia, ma sta incontrando grosse difficoltà nel partire per problemi con i residenti, preoccupati per il suo impatto ambientale.

In questa nota, dopo avere analizzato la natura delle emissioni e le tecnologie di abbattimento, saranno esaminate le tecnologie di combustione che sono state sviluppate in questi ultimi anni, per aumentare l'efficienza e ridurre le emissioni.

Ad un primo veloce esame della letteratura tecnica, emerge chiaramente che le tecnologie avanzate di combustione, letti fluidi e gassificazione, avvicinano le caldaie ai reat-

tori chimici, e in aggiunta tutte le tecnologie di depurazione dei fumi si trovano all'interno delle tecnologie chimiche. Anche le sintesi a valle dei reattori, dopo la produzione di gas di sintesi, metanolo, dimetiletere, idrogeno e petrolio sintetico per produrre combustibili puliti, sono tutte naturalmente all'interno della cultura chimica [1-7].

Impatto ambientale

Le ricadute ambientali del carbone sono molteplici anche se molti dei problemi sono stati risolti, ne rimangono ancora alcuni, come l'elevato rapporto CO₂ su kWh elettrico prodotto, l'abbattimento completo di alcuni metalli, il blocco totale delle polveri fini

duzione di polveri sospese (il carbone deve essere movimentato in nastri trasportatori chiusi);

3) l'emissione di CO₂ responsabile dell'effetto serra. Per diminuire l'emissione si può prima operare sull'efficienza della combustione, utilizzando diverse tecniche avanzate, come la combustione a letto fluido, a letto fluido pressurizzato, a letto mobile, la combustione con produzione di vapore supercritico o ultrasupercritico (ad alta pressione e temperatura) che può arrivare ad un'efficienza del 45-47% ed infine la gassificazione affiancata ad un ciclo combinato a gas, che può arrivare ad un'efficienza del 42-45%. In futuro si può realizzare la gassi-



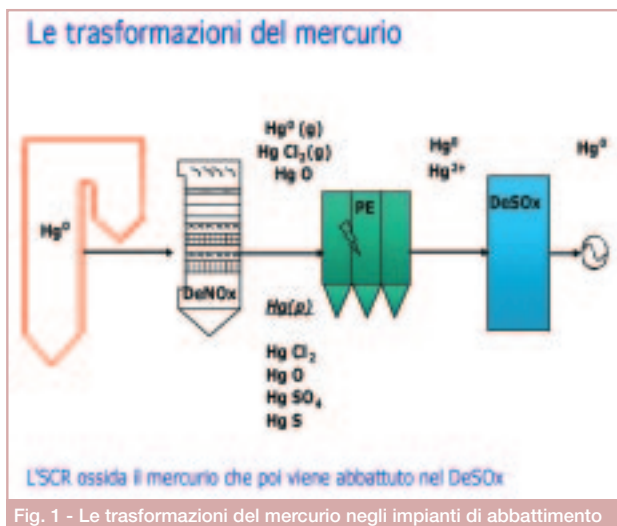
e degli organici incombusti (anche se le tecnologie attuali rispettano i limiti attuali alle emissioni).

Le diverse ricadute ambientali sono di seguito elencate:

1) la preparazione migliorativa del carbone effettuata presso le miniere di estrazione (lavaggio, flottazione), che può provocare l'inquinamento delle falde acquifere per il rilascio di metalli e composti solforati;

2) la movimentazione che provoca la pro-

duzione di polveri sospese (il carbone deve essere movimentato in nastri trasportatori chiusi);
3) l'emissione di CO₂ responsabile dell'effetto serra. Per diminuire l'emissione si può prima operare sull'efficienza della combustione, utilizzando diverse tecniche avanzate, come la combustione a letto fluido, a letto fluido pressurizzato, a letto mobile, la combustione con produzione di vapore supercritico o ultrasupercritico (ad alta pressione e temperatura) che può arrivare ad un'efficienza del 45-47% ed infine la gassificazione affiancata ad un ciclo combinato a gas, che può arrivare ad un'efficienza del 42-45%. In futuro si può realizzare la gassi-



tenere conto anche del costo, perché un Paese, se sceglie il carbone, dovrebbe diminuirle da altre attività, per rimanere nei limiti consentiti o pagare le quote emesse in eccesso, come tassa o come contributo alla riduzione in altri Paesi;

4) i macroinquinanti sono il particolato, gli SO_x e gli NO_x . Il particolato può essere abbattuto fino al 99,99% elettrofiltri, filtri a manica o con filtri a candela ceramici o metallici, operanti ad alta temperatura. Gli SO_x vengono abbattuti con efficienze superiori al 97% in processi dry per immissione di CaO nel forno o con tecnologie dry per immissione di CaO e sodio bicarbonato o trona (un carbonato naturale) a valle del forno con tecnologie wet o semidry con scrubber con Ca(OH)_2 e formazione di CaSO_4 di ottima qualità, che in gran parte viene utilizzato nell'edilizia e nelle attività stradali. Insieme agli SO_x vengono abbattuti i cloruri ed i fluoruri fino al 99%, molti metalli fino al 98%, ad eccezione di Hg, B e Se, per i quali la rimozione è comunque superiore al 85%. SO_2 può essere in alternativa abbattuto con impianti di ossidazione a SO_3 e successiva produzione di acido solforico (in questi impianti vengono anche ossidati gli organici volatili e CO). Gli NO_x possono essere abbattuti con modifiche

della combustione fino al 50% o per riduzione non catalitica con NH_3 o con urea fino al 70% o per riduzione catalitica con NH_3 superiore al 95% con reattori monolitici dedicati o catalizzatori immersi in filtri a maniche resistenti alle alte temperature;

5) i microinquinanti sono i metalli, i composti organici ed il particolato fine. I metalli (Hg, As, Se, Pb, V, Ni, Co, V, Cr, Mn, Be, B, Cd, Tl) e gli organici non volatili (poliaromatici) sono abbattuti in gran parte, nelle

scorie del forno, negli elettrofiltri, negli scrubber nei filtri a maniche. I composti organici volatili (per esempio aldeidi, diossine, furani) vengono ossidati al 50% negli impianti catalitici di riduzione di NO_x , mentre il particolato fine viene parzialmente eliminato negli scrubber di abbattimento di SO_x . È necessario sottolineare che le attuali emissioni di microinquinanti inorganici quali Hg, Cd e Tl sono di due ordini di grandezza inferiori ai limiti previsti per gli impianti di combustione, e mentre le emissioni di microinquinanti organici (IPA e Diossine) sono inferiori di tre ordini di grandezza;

6) le scorie, ottenute nel sistema di combustione, il particolato ottenuto dall'elettrofiltro ed i gessi possono costituire un'altra fonte di impatto ambientale, ma in gran parte vengono utilizzati per la produzione di cemento, nelle costruzioni stradali e nell'edilizia. In particolare il gesso ottenuto dagli scrubber è una buona materia per applicazioni edili;

7) altri inquinanti sono il CO, eliminato insieme ai VOC e l'ammoniaca non reagita, introdotta negli impianti di riduzione di NO_x . Ci sono effetti sinergici fra le diverse apparecchiature di abbattimento che contribuiscono ad eliminare contemporaneamente diversi inquinanti. In Figura 1 è riportato il destino del mercurio fra i diversi sistemi di

abbattimento e l'emissione al camino dell'Hg che non è stato possibile ossidare o solforare. Nell'impianto di riduzione di NO_x (SCR) si ossida il Hg che poi viene abbattuto negli scrubber per SO_x (FGD). Diverse sono anche le configurazioni collocate in serie dei diversi sistemi di abbattimento delle emissioni. Per esempio all'uscita del forno può essere introdotta una riduzione non catalitica con NH_3 , poi un abbattimento con scrubber di SO_x ed infine un filtro a maniche per le polveri; in alternativa si può utilizzare un abbattitore catalitico con NH_3 , un precipitatore elettrostatico per le polveri e per ultimo uno scrubber con Ca(OH)_2 per gli SO_x .

Il tipo, il numero degli impianti di abbattimento e la loro sequenza dipendono dal tipo di carbone e dai vincoli all'emissione posti dalle legislazioni locali.

Tecnologie avanzate di combustione

Sono state sviluppate diverse tecnologie di combustione del carbone che si trovano a stadi differenti di sviluppo, dal laboratorio a livello dimostrativo fino a quello industriale. Saranno esaminate quelle che hanno raggiunto almeno una realizzazione industriale e possono essere considerate le tecnologie emergenti.

Combustione a letto fluido

Sono state proposte diverse tecnologie a letto fluido, che permettono l'utilizzo di una vasta gamma di combustibili, l'eliminazione di zolfo per introduzione di composti a base di calcio nel forno ed una combustione più controllata che riduce la formazione di NO_x .

Letto fluido circolante (CFB)

In questa tecnologia di combustione il carbone viene introdotto dal basso del reattore insieme all'aria e CaO (o dolomite) per abbattere gli SO_x . All'uscita del reattore i fumi vanno in un ciclone che separa le

ceneri ed il carbone incombusto, che viene riciclato nel forno. Il vantaggio di questa tecnologia è che può essere utilizzata con una vasta gamma di combustibili, con un'efficienza di abbattimento dello zolfo del 95%, una minore formazione di NO_x , dovuta alla bassa temperatura di combustione 700-800 °C e una maggiore efficienza di combustione, dato l'elevato tempo di residenza.

Letto fluido sotto pressione (PFBC)

Letto fluido che opera a 12 atm in condizioni di inizio fluidizzazione (a velocità di flusso di aria molto minore del letto circolante). Queste basse velocità di fluidizzazione consentono un valido scambio termico con i tubi immersi nel letto che producono vapore. In questi letti il combustibile rappresenta solo una piccola frazione del letto, il rimanente è costituito dalle ceneri, dal CaO e dal solfato prodotto, questo consente alti tempi di residenza e quindi un'elevata efficienza di combustione. Due cicloni posti a valle eliminano il 98% del particolato che lascia il forno. Segue un filtro a maniche per la rimozione del particolato residuo.

Gassificazione del carbone (IGCC)

Nella tecnologia IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle, Fig. 2) uno slurry di carbone (al 60%) in acqua è introdotto insieme all'ossigeno nel gassificatore (entrained bed reactor) che opera fra 1.100-1.250 °C, come prodotti si ottengono delle scorie, un gas costituito da CO, CO_2 , H_2 e tracce di metano H_2S e COS e vapore ad alta pressione che serve per produrre energia. Dopo un recupero di calore dove si ottengono altre scorie, il gas passa ad uno scrubber ad acqua dove è trattenuto HCl e le polveri che vengono riciclate al gassificatore, poiché contengono ancora un 30% di carbone. Il gas entra in un idrolizzatore dove COS viene trasformato in H_2S e successivamente passa in un secondo scrubber ad



Fig. 2 - Schema di un impianto di gassificazione a ciclo combinato

ammia per trattenere H_2S . Il gas così depurato viene bruciato in una turbina per produrre energia. H_2S dopo esser stato recuperato dal solvente può essere ossidato per ottenere H_2SO_4 . In alternativa il gas di sintesi, dopo essere ulteriormente depurato, può essere utilizzato per produrre metanolo, dimetiletere, idrogeno o combustibili liquidi via reazione di Fischer-Tropsch.

Centrali con vapore supercritico

In centrali con vapore supercritico si ottiene vapore a 540 °C e 240 atm con efficienza del 40% ed in centrali a vapore ultrasupercritico si produce vapore a 240 atm e 610 °C con efficienza del 45%. Il target della ricerca sull'aumento dell'efficienza (2010) è vapore a 700 °C ed efficienza prossima al 50%.

Verso il "carbone pulito"

In conclusione, il carbone è una fonte energetica ancora attuale, che può garantire una stabilità di rifornimento per molti anni ed inoltre è quella sulla quale si è sviluppato il maggior numero di progetti migliorativi in questi ultimi anni. Nel futuro per avere un

"carbone pulito" si pensa alla gassificazione del carbone con produzione di gas di sintesi che può essere utilizzato, oltre che per la produzione di energia elettrica, anche per la sintesi di combustibili liquidi e gassosi puliti con la contemporanea separazione e confinamento della CO_2 nel sottosuolo o in fondali marini.

L'interesse dei chimici per la combustione pulita del carbone, non è solo motivato dal fatto che la gran parte delle tecnologie avanzate risiedono all'interno delle tecnologie chimiche, ma anche dal fatto che queste sono le stesse utilizzabili per la combustione ed il trattamento delle emissioni derivanti dalla trasformazione di biomasse e di rifiuti per produrre energia e combustibili puliti ed, in generale, per la depurazione di fumi nell'industria chimica e di processo. Per questo è bene che il nostro Paese non esca dalla prospettiva di utilizzare carbone nel futuro, come qualcuno chiede e come si è fatto nel passato per il nucleare, proprio per rimanere attivo in tutte le tecnologie avanzate di depurazione di fumi, che potranno avere ricadute anche in altri settori industriali.

Bibliografia

- | | |
|--|--|
| [1] www.iea-coal.org.uk | [5] www.ems.org/energy_policy/clean_coal.html |
| [2] www.icci.org | [6] www.enel.it |
| [3] netl.doe.gov/cctc | [7] www.assocarboni.it |
| [4] www.legambiente.com | |