

Le tecnologie per la cattura della CO₂

Le tecnologie di cattura della CO₂ hanno raggiunto, in taluni casi, la maturità tecnologica. In altri casi sono in corso significative sperimentazioni che dovranno chiarire gli aspetti ancora meritevoli di ricerca e sviluppo, tra cui, fondamentale, la riduzione dei costi. Nell'ottica di rendere disponibili al 2020 un panel di tecnologie applicabili, la UE promuove la realizzazione di un numero consistente di dimostrativi di taglia industriale. La situazione è ormai matura per una più chiara strategia di intervento nazionale, supportato da un'adeguata attività di R/S svolta dal sistema della ricerca pubblica, volta a soddisfare i bisogni nazionali riduzione delle emissioni di CO₂ e consentire alla industria italiana di partecipare alla competizione nel mercato globale di queste tecnologie

■ Giuseppe Girardi, Antonio Calabrò, Paolo Deiana, Stefano Giammartini

Il quadro generale

Per far fronte ai cambiamenti climatici globali legati all'aumento della concentrazione dei gas serra in atmosfera, tre sono i capisaldi su cui si fondano le politiche energetiche dei paesi più industrializzati:

- incremento delle fonti rinnovabili;
- diffusione del risparmio energetico in tutti i settori;
- impiego delle fonti fossili, investendo sempre più in tecnologie in grado di limitare le emissioni in atmosfera.

L'impossibilità di sostituire, almeno per qualche decennio, quote significative di combustibili fossili con fonti alternative a basse o nulle emissioni, rende necessario adottare soluzioni che limitino gli impatti conseguenti al loro utilizzo, e siano compatibili con gli obiettivi di contenere le alterazioni climatiche.

Queste considerazioni valgono in particolare per il carbone, in quanto esso, rappresentando ancora oggi

la principale fonte per la produzione di energia elettrica (genera circa il 30% dell'elettricità dell'UE, il 50% in USA, il 75% in Cina, ...), è il combustibile a maggiore intensità di carbonio.

L'obiettivo quindi di un uso sostenibile del carbone può essere perseguito puntando al miglioramento delle efficienze energetiche - legate all'innovazione dei cicli termodinamici e all'utilizzo di materiali innovativi - ed allo sviluppo e dimostrazione di tecnologie di cattura e confinamento della CO₂.

Per il nostro paese, che pure ricorre in misura limitata al carbone, è fondamentale concentrare gli sforzi sulle tecnologie innovative di utilizzo di tale fonte, al fine di consentire al nostro sistema industriale di poter competere sul mercato globale, anche a fronte della incertezza sui destini dell'energia nucleare.

Dal punto di vista strategico, l'obiettivo tecnologico è rappresentato dalla possibilità di integrare diversi concetti:

- tecnologie "pulite", cioè a bassa emissione di inquinanti, sviluppate prevalentemente per il carbone;
- soluzioni che assicurino più elevati valori di efficienza;

■ Giuseppe Girardi, Antonio Calabrò, Paolo Deiana, Stefano Giammartini

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria

- tecnologie CCS (*Carbon Capture and Storage*) in grado di catturare la CO₂ e confinarla in maniera definitiva senza immetterla in atmosfera.

Tali obiettivi risultano credibili e praticabili grazie alle nuove tecnologie già oggi disponibili ed alle prospettive offerte dalla ricerca e sviluppo.

L'impiego di tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ rappresenta una opzione indispensabile per far fronte ai cambiamenti climatici globali. Gli impianti di generazione elettrica da combustibili fossili non sono chiaramente gli unici produttori di anidride carbonica (basti pensare al settore dei trasporti o ad applicazioni industriali nei settori della metallurgia, dei cementifici, del vetro ecc.) ma rappresentano un settore importante, essendo ad essi imputabile a livello globale l'emissione annuale di circa 1/3 dei 30.000 milioni di tonnellate di CO₂ prodotta.

In Italia il livello globale di emissioni di CO₂ è dell'ordine di circa 600 Mt annue, di cui 150 imputabili al settore generazione elettrica.

In questo contesto, l'impiego dei combustibili fossili (carbone o gas naturale) per la coproduzione su vasta scala di elettricità e idrogeno può rappresentare, inoltre, la strada - realistica e praticabile dal punto di vista economico - per accelerare la transizione verso un'economia in cui il vettore idrogeno giocherà un ruolo molto importante.

Tali tecnologie vanno rapidamente acquisendo un ruolo essenziale a livello internazionale ed europeo, tanto da essere ormai considerate ai fini del sistema di *emission trading*.

Con questi obiettivi, la UE promuove, nell'ambito di FP7, la realizzazione di 10-12 impianti dimostrativi in Europa entro il 2015.

A livello internazionale sono in corso numerose iniziative volte ad intensificare la collaborazione fra i diversi paesi per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS e per la definizione di accordi politici sui limiti delle emissioni di CO₂. L'Italia è presente nel Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), nella piattaforma europea sugli impianti alimentati a com-

bustibili fossili a emissioni zero (ZEP), nei gruppi di lavoro di IEA ecc.

Nel nostro paese sono diversi i protagonisti del mondo dell'Industria e della Ricerca operanti nel campo delle tecnologie CCS.

L'interesse maggiore è espresso dai settori della generazione elettrica e dell'industria di produzione e trasformazione di combustibili fossili, ma anche dall'industria chimica e di processo.

La situazione è ormai matura per una più chiara strategia di intervento nazionale volta ai seguenti obiettivi:

- razionalizzare e rendere più efficaci le attività di R/S, aumentando le risorse pubbliche per sostenere l'impegno industriale: è un trend già avviato con i programmi del MiSE relativi agli accordi di programma e bandi "CERSE"; in questo ambito ENEA gioca un ruolo di leadership;
- favorire la ricerca industriale per lo sviluppo di prodotti e processi nel campo delle tecnologie CCS; anche in questo caso il trend è già avviato con i bandi di "Industria 2015", ove ENEA è presente con autorevolezza in strettissimo raccordo con le principali industrie nazionali;
- favorire la presenza del "Sistema Italia" in Europa, candidando il nostro paese alla realizzazione di uno dei 10-12 impianti dimostrativi cofinanziati dalla UE; anche in questo ambito ENEA è presente autorevolmente partecipando ai lavori della piattaforma tecnologica sugli impianti a emissioni zero (ZEP).

L'avvio di una politica industriale, in linea con gli indirizzi europei, nel settore delle tecnologie CCS, sostenuta da una adeguata attività di R/S svolta dal sistema della ricerca pubblica, consentirà di conseguire due macro-obiettivi di interesse strategico:

- contribuire efficacemente alla riduzione delle emissioni italiane di CO₂;
- consentire alla industria nazionale di partecipare alla competizione nel mercato globale di queste tecnologie, sempre più fortemente condizionato dalle politiche energetiche di paesi ad economie emergenti come India e Cina.

Verso l'impiego sostenibile dei combustibili fossili

Molte delle tecnologie necessarie per la cattura ed il sequestro della CO₂ sono già disponibili (ad esempio la gassificazione del carbone, la produzione di ossigeno, i reattori di shift, i processi di estrazione di gas acidi da miscele di gas). Tali tecnologie possono quindi già oggi essere integrate con le moderne tecnologie in uso per ridurre drasticamente le emissioni di inquinanti ed incrementare l'efficienza energetica, al fine di iniziare la fase di dimostrazione industriale della produzione di elettricità da combustibili fossili con emissioni di CO₂ prossime allo zero.

La UE ritiene che con un impegno continuo e definendo condizioni di mercato che rispecchino vincoli chiari e ambiziosi in termini di emissioni di carbonio, si potranno rendere praticabili, sotto il profilo commerciale, le tecnologie del carbone sostenibile nel giro di 10-15 anni.

Ciò richiederà però coraggiosi investimenti industriali per finanziare una serie di impianti di dimostrazione, all'interno e all'esterno della UE, ed iniziative politiche connesse per un periodo relativamente prolungato, da adesso fino almeno al 2020, oltre che le necessarie attività di ricerca e sviluppo che, in un processo iterativo, dovranno seguire in parallelo tutta la fase di dimostrazione.

A tale scopo una importantissima iniziativa europea è stata la costituzione della "piattaforma tecnologica per le centrali elettriche a combustibili fossili a zero emissioni" (piattaforma tecnologica ZEP).

L'obiettivo industriale è la costruzione di dieci o dodici impianti di dimostrazione di vasta scala per sperimentare varie soluzioni in grado di integrare le tecnologie CCS negli impianti di produzione di elettricità funzionanti a carbone o a gas. Una volta realizzati, tali impianti dovranno rimanere in esercizio per almeno cinque anni prima che si possa ritenere che le soluzioni sperimentate abbiano superato la fase di dimostrazione e siano dunque pronte per essere impiegate in centrali elettriche a emissioni zero a partire dal 2020.

La modernizzazione del parco di centrali a carbone attualmente operative nell'UE è un altro passo importante per la diffusione dell'uso sostenibile dei combustibili fossili in Europa. In base alle stime disponibili, più di un terzo della capacità energetica a carbone oggi esistente dovrebbe giungere al termine del ciclo di vita tecnico nei prossimi 10-15 anni. In Italia questa tendenza si è concretizzata in una ipotesi simile, consistente nella proposta di sostituire vecchie centrali a olio combustibile con nuove centrali a carbone.

Se per la sostituzione degli impianti esistenti (e per gli impianti nuovi) si investisse nelle migliori tecnologie di conversione disponibili e in quelle più efficienti sotto il profilo energetico, sarebbe già possibile ottenere una prima riduzione delle emissioni di CO₂ prodotte dagli impianti di generazione dell'elettricità a carbone pari al 20% entro il 2020.

La Commissione Europea auspica che le nuove centrali elettriche a combustibili fossili utilizzino le migliori tecniche disponibili per quanto riguarda l'efficienza e che, non disponendo di tecnologie CCS mature, siano progettate secondo la logica del *capture ready*, cioè tali da consentire un'installazione successiva delle tecniche di cattura del carbonio post-combustione.

Le tecnologie "CCS"

Il processo di cattura e stoccaggio della CO₂ si attua in tre diverse fasi:

- la cattura dell'anidride carbonica dagli impianti di generazione elettrica, ma anche da sorgenti industriali o da giacimenti di gas naturale;
- il trasporto, in genere via *pipeline*, fino al sito di stoccaggio;
- lo stoccaggio definitivo, in siti geologici oppure mediante trattamenti chimici.

Nelle note seguenti saranno brevemente descritte le tre fasi, dando maggior spazio agli aspetti relativi alla cattura della CO₂.

La cattura della CO₂

Nei processi di generazione elettrica la CO₂ può essere separata dagli altri effluenti sia con metodi di cattura **pre-combustione**, grazie ad un trattamento del combustibile di origine fossile a monte della combustione, che con metodi di cattura **post-combustione** che si applicano sui fumi. Esiste poi una terza possibilità, che è rappresentata dall'utilizzo di sistemi a **ossi-combustione**, che impiegano come comburente ossigeno in luogo di aria, e che da luogo ad un flusso di CO₂ molto concentrata, facilmente separabile dal restante vapore (figura 1).

Tutte le tecnologie proposte sono attualmente a differenti stadi di maturazione.

La **cattura effettuata a monte della combustione**, in sistemi alimentati a carbone e a gas, attuata rispettivamente nei processi di gassificazione del carbone e di reforming del metano, seguiti dalla reazione di CO-shift e della cattura della CO₂, di solito praticata per

assorbimento fisico, sono attualmente opzioni molto promettenti che potrebbero essere impiegate in sistemi integrati con la gassificazione del carbone (IGCC) o in cicli combinati a gas (NGCC).

L'opzione **cattura a valle della combustione** implica l'utilizzo di sistemi di assorbimento chimico della CO₂ dai gas esausti provenienti da impianti operanti con cicli a vapore in condizioni super-critiche alimentati a polverino di carbone (SC/PCC) o da impianti a ciclo combinato alimentati a gas (NGCC).

Un'ulteriore opzione è quella data dalla **ossi-combustione** di combustibili fossili, che impiega ossigeno puro come comburente e produce gas esausti con un'altissima percentuale di CO₂, che può essere facilmente separata. Altri metodi di separazione come le membrane sono stati considerati, sia da soli che in combinazione con altre tecniche di assorbimento, come opzioni a lungo termine per entrambe le applicazioni di cattura pre e post combustione.

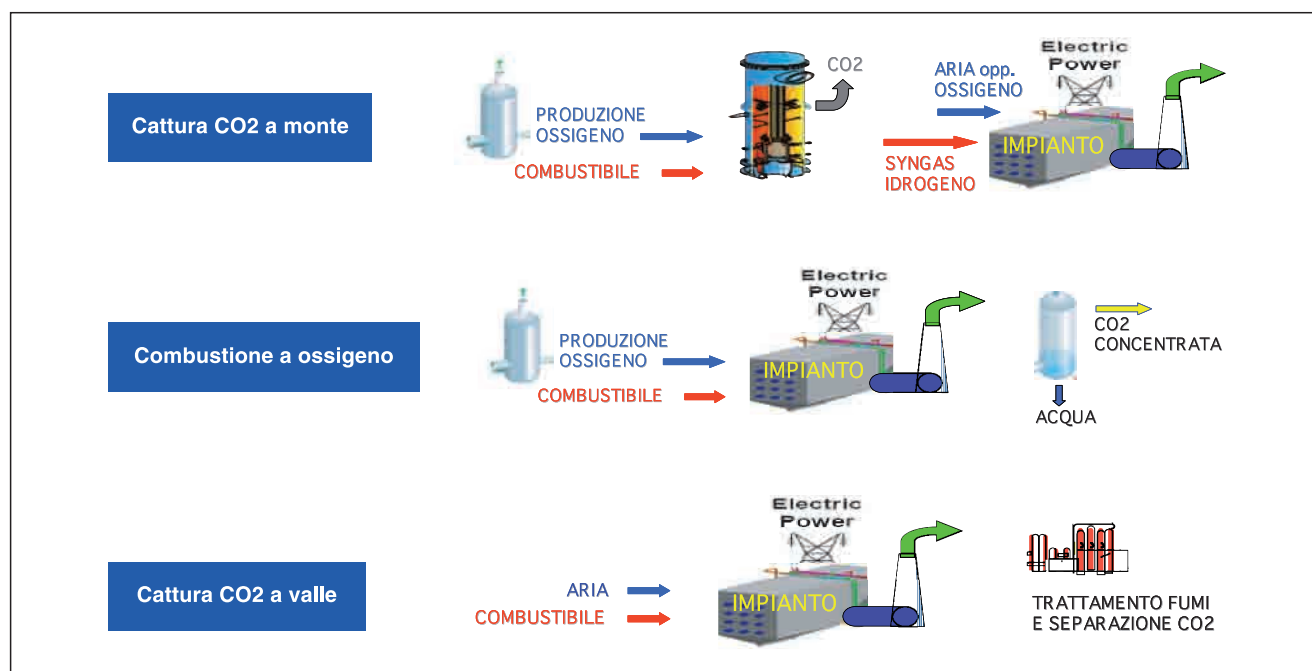


FIGURA 1 Principali metodi per la separazione della CO₂ in impianti di potenza
Fonte: ENEA

L'utilizzo di tecnologie CCS può ridurre le emissioni di CO₂ causate dagli impianti di potenza dell'80-90%, con una riduzione di efficienza energetica stimata pari a circa 8-12 punti percentuali.

Secondo la IEA, la CCS applicata alla generazione elettrica e alla produzione industriale può contribuire per il 20-28% alla riduzione delle emissioni globali entro il 2050. Importanti opportunità esistono nei paesi consumatori di carbone, e si prevede di includere la CCS nei meccanismi di *emission trading*.

Poiché gli impianti di generazione elettrica hanno una vita abbastanza lunga (25-50 anni), una rapida espansione delle tecnologie CCS implica, nel breve periodo, il *retrofitting* su impianti esistenti, opzione in genere più costosa rispetto al costruire da zero un impianto equipaggiato con CCS.

Contemporaneamente alla valutazione e all'accertamento della fattibilità tecnico-economica della CCS, la costruzione di impianti *capture ready* rappresenta una soluzione nel breve-medio termine, e potrebbe essere resa obbligatoria per gli impianti da realizzare nel prossimo decennio.

Esaminando con maggiore dettaglio le tre tecnologie fondamentali è possibile porre in evidenza lo stato dell'arte e le prospettive potenziali dei differenti approcci.

Cattura post-combustione

Stato dell'arte. Dal punto di vista della maturità tecnologica, i sistemi post combustione (figura 2) sono sicuramente quelli che presentano la maggiore maturità grazie all'esperienza acquisita nei settori *oil&gas* e in quello del trattamento di gas esausti in piccola scala. Sono i più adatti ad essere applicati ad impianti esistenti in retrofit, previa naturalmente verifica delle disponibilità di spazio, visto gli elevati volumi necessari. I principali svantaggi sono rappresentati dai costi d'impianto elevati, legati alle ingenti quantità di gas da trattare e dall'alta penalizzazione energetica dovuta alla rigenerazione.

Aspetti innovativi. Anche se non ottimizzati per l'impiego in impianti CCS, tutti i componenti sono al momento commercialmente disponibili. Ulteriori miglioramenti sono però richiesti per abbattere a monte la concentrazione di SO_x, NO_x e particolato che riducono l'efficienza di assorbimento dei solventi, generalmente a base di Ammine. È comunque necessaria una dimostrazione della tecnologia con un significativo aumento di scala dell'impianto fino a 20-50 volte le applicazioni attuali.

Prodotti attesi. La dimostrazione prevede la realizzazione di impianti capaci di produrre energia a prezzi com-

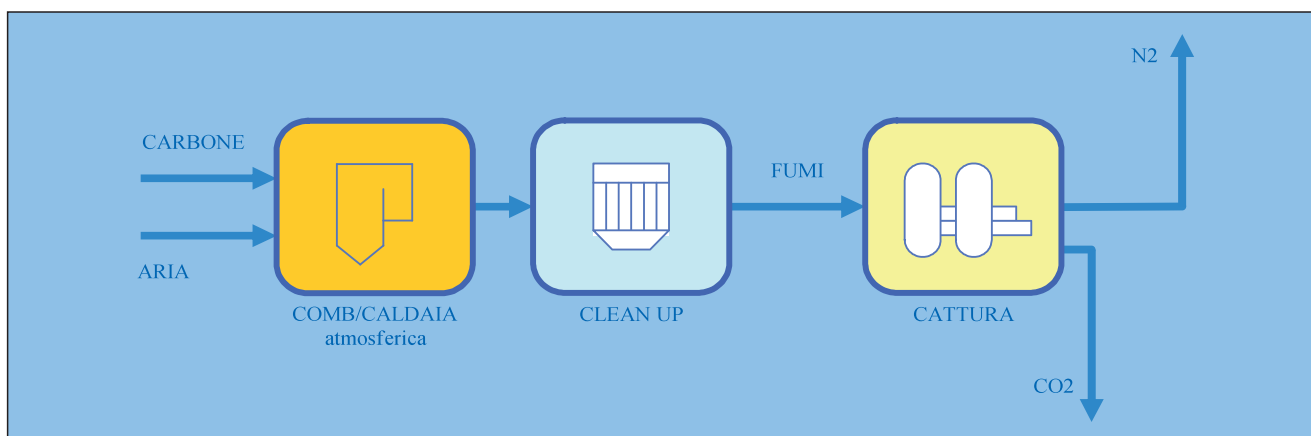


FIGURA 2 Cattura post-combustione
Fonte: ENEA

petitivi. L'obiettivo è quello di minimizzare i costi della cattura della CO_2 , attraverso lo sviluppo di una tecnologia, applicabile ad impianti già operativi e/o nuovi, con rilevante impatto sul mercato per l'attenzione posta al costo di investimento, alle prestazioni dell'impianto e quindi al costo dell'energia prodotta, con una riduzione significativa delle emissioni di un gruppo termoelettrico Ultra SuperCritico di taglia standard (es. 660 MWe). *Impatto potenziale.* Il punto cruciale, che determina la convenienza economica, è legato allo sviluppo di nuovi solventi che riducano significativamente il costo energetico dovuto alla rigenerazione termica. Infatti i principali svantaggi della tecnologia sono rappresentati dai costi d'impianto elevati (legati alle ingenti quantità di gas trattato in gran parte costituito da azoto non presente nei gas trattati nelle configurazioni alternative) e dall'alta penalizzazione energetica dovuta alla rigenerazione del solvente. Ciò vale sia per gli impianti a carbone Super Critici e Ultra Super Critici, che per gli impianti ciclo combinato alimentati a gas naturale, dove si ha una maggiore penalizzazione a causa della minore concentrazione di CO_2 nei fumi.

Cattura pre-combustione

Stato dell'arte. Le tecnologie pre-combustione (figura

3) operano una "decarbonizzazione" del combustibile fossile a monte della combustione rilasciando un gas ad alto contenuto di idrogeno che poi può essere utilizzato come combustibile in impianti di produzione elettrica o in usi alternativi (trazione, chimica di base,...). In generale, dal punto di vista energetico, la penalizzazione dovuta al loro utilizzo è ridotta sia perché si opera su flussi in quantità limitate sia perché si può operare in pressione, condizione che facilita la cattura e rende meno dispendiosa la rigenerazione.

Aspetti innovativi. Il componente chiave è rappresentato dalla sezione di assorbimento e rigenerazione del solvente sul quale hanno però notevole influenza il sistema di desolforazione e quello di CO-shift.

Prodotti attesi. Il risultato atteso dallo sviluppo dei dimostratori è la realizzazione di un prodotto ad alta innovazione tecnologica, ottenuta attraverso l'incremento delle prestazioni in termini di migliore efficienza di cattura della CO_2 , migliore flessibilità nell'utilizzo di diversi tipi di combustibili, maggiore durata dei catalizzatori e dei *chemicals* impiegati.

Impatto potenziale. Una significativa ricaduta sarà l'esperienza maturata nella progettazione, realizzazione e gestione operativa di questa tipologia di impianti, caratterizzati da un maggiore rendimento nella produzione di energia da carbone *Zero Emissions* e da

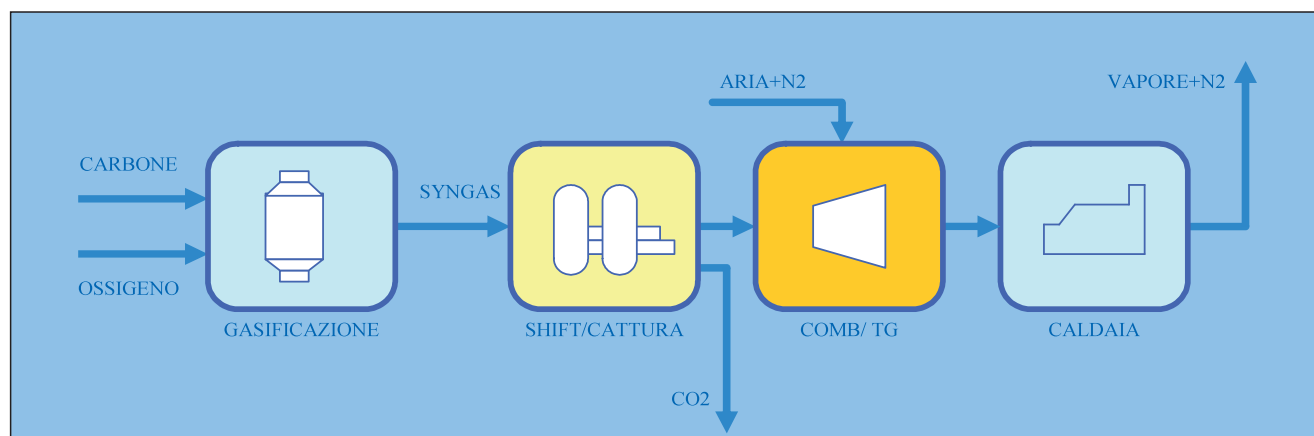


FIGURA 3 Cattura pre-combustione
Fonte: ENEA

una riduzione dei costi, sia di investimento che operativi. Ulteriori applicazioni sono individuabili negli impianti IGCC alimentati con tar residui della raffinazione dei prodotti petroliferi.

Cattura attraverso ossi-combustione

Stato dell'arte. Il metodo di cattura della CO₂, che utilizza la combustione con ossigeno (figura 4), rappresenta la terza via tra le possibili opzioni oggi più promettenti. A valle della produzione del calore di combustione utilizzato nel ciclo termodinamico, si genera un effluo di gas molto ricco in CO₂ che, dopo aver attraversato una sezione di rimozione dei principali inquinanti e una di condensazione del vapor d'acqua in esso presente, può essere inviato allo stoccaggio. È un tipo di processo per il quale già si trovano applicazioni nell'industria siderurgica e del vetro. A livello mondiale lo si sta studiando in applicazioni di potenza.

Aspetti innovativi. Il componente chiave è rappresentato dal combustore a ossigeno (comburente) e dalla sua applicazione nell'integrazione in un impianto a vapore di tipo supercritico o in un sistema basato su turbine a gas che operano in cicli avanzati.

Impatto potenziale. La tecnologia potrà essere utilizzata per future centrali ad emissioni zero con efficiente

integrazione del sistema di produzione dell'ossigeno, del sistema di generazione di vapore e di quello di cattura della CO₂. Il risultato più rilevante, in termini di sviluppo tecnologico, dell'attività svolta su dimostrativi sarà costituito da conoscenze ed innovazioni utili per lo sviluppo di future centrali caratterizzate da efficienze, su scala di grande potenza, prossime al 40%, inclusi i costi di cattura della CO₂.

La tabella 1 sintetizza i principali temi di ricerca e dimostrazione sulle tecnologie di cattura, condivisi da diversi paesi, dalla UE, dal Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) e dalla IEA.

In generale vi è unanime consenso sulle seguenti linee:

- non si può indicare la migliore tecnologia di cattura oggi disponibile oppure quella più promettente: è dunque necessario continuare a studiare le tre alternative;
- è necessario realizzare impianti dimostrativi entro il 2015 in modo da verificare la possibilità di passare alla fase commerciale a partire dal 2020;
- è necessario continuare le attività di ricerca per assicurare ulteriori sviluppi dopo il 2020, con l'obiettivo di ridurre ulteriormente i costi di cattura ed incrementare l'efficienza complessiva;
- è indispensabile effettuare una mappatura accurata dei siti geologici atti allo *storage* della CO₂;

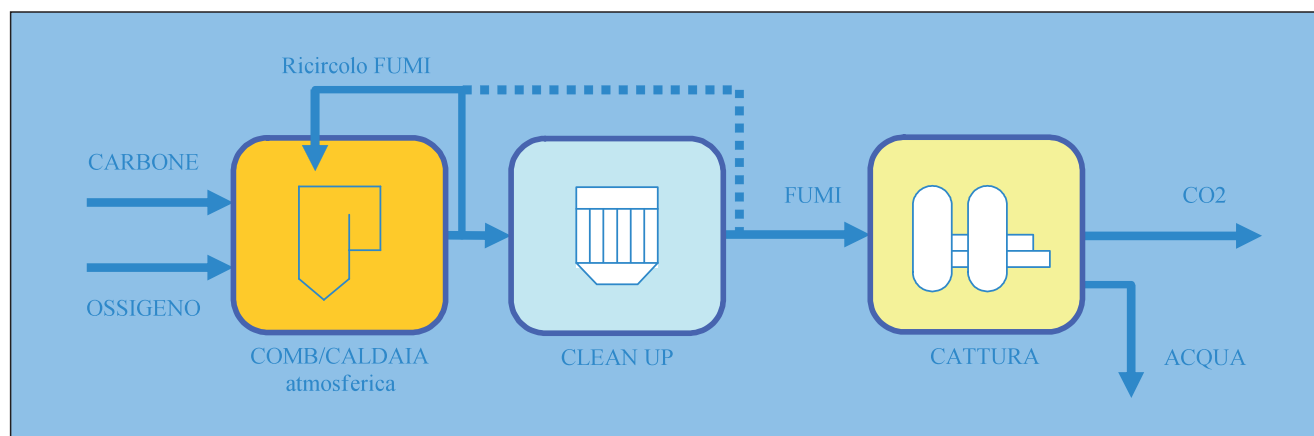


FIGURA 4 Cattura attraverso ossi-combustione
Fonte: ENEA

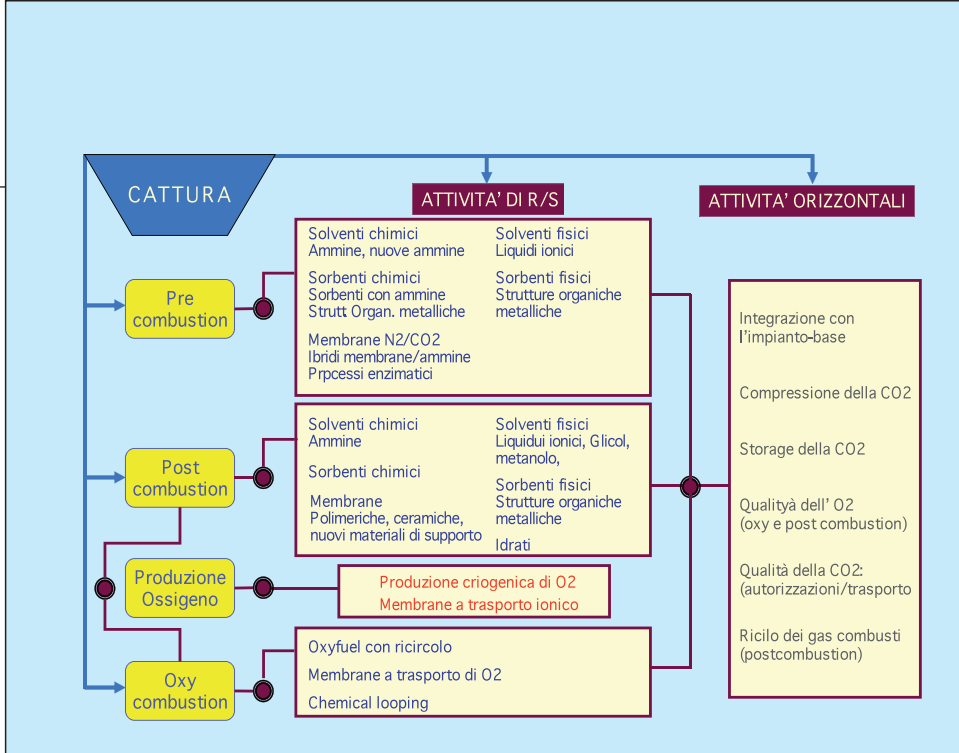


TABELLA 1

Principali temi di ricerca e dimostrazione sulle CCS

Fonte: ENEA

- è indispensabile avviare programmi dimostrativi sulle potenzialità delle tecnologie di *storage* geologico, verificandone l'efficienza e la sicurezza;
- è opportuno sondare altre metodologie di *storage* diverse da quelle geologiche.

Gli obiettivi strategici delle attività nei prossimi anni si possono così sintetizzare:

- abbassare il costo della CO₂ evitata a valori < 20 €/tCO₂;
- ridurre i costi di investimento degli impianti a tecnologia CCS;
- ridurre i costi di esercizio degli impianti;
- ridurre l'energia aggiuntiva richiesta per l'applicazione delle tecnologie CCS;
- ottenere una elevata disponibilità in termini di ore/anno di esercizio.

Il trasporto della CO₂

Le tecnologie di trasporto della CO₂ dai punti di produzione a quelli di stoccaggio sono abbastanza affidabili e testate, ma è necessario sperimentare sistemi integrati che risultino di scala commerciale, accelerando i tempi per verificare nei prossimi anni gli aspetti relativi alla sicurezza.

Negli USA sono state acquisite esperienze significative sul trasporto di CO₂ tramite *pipelines* (1.600 km) per applicazioni in campo petrolifero con tecniche di EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Si utilizzano sistemi a bassa pressione (4.8 MPa) e ad alta pressione (9.6 MPa).

Il trasporto in navi cisterna non è al momento sperimentato commercialmente, anche se Giappone e Norvegia hanno già allo studio progetti per la realizzazione di navi cisterna in grado di trasportare la CO₂ allo stato liquido. I costi di trasporto sono relativamente modesti: in particolare trasportare in *pipelines* la CO₂ per circa 100 km viene oggi a costare da 1 a 4 euro/t di CO₂ "evitata".

Confinamento della CO₂

Le possibilità di confinamento della CO₂ sono sinteticamente elencate nella tabella seguente.

Storage geologico

- In formazioni Saline profonde
- In pozzi esauriti di Petrolio e Gas
- In giacimenti di carbone non sfruttabili
- In campi geotermici non sfruttabili

Usi di CO₂ a fini produttivi

- *Enhanced Oil & Gas Recovery* (EOR ed EGR): iniezione di CO₂ in pozzi operative di petrolio o gas per aumentarne la produttività;
- *Enhanced Coal Bed Methane* (ECBM): iniezione di CO₂ in giacimenti esauriti di carbone, con fissaggio della CO₂ ed estrazione di metano

Storage nelle profondità oceaniche (*deep ocean*)

Mineralizzazione mediante trattamenti chimici

Biofissazione

- Produzione di biomassa da CO₂ ed energia solare, con microalghe o ciano-batteri
- Formazione di idrati

TABELLA 2 Possibilità alternative per il confinamento dell CO₂

Fonte: ENEA

La tabella 3, elaborata dalla piattaforma tecnologica europea ZEP, fornisce una stima comparativa sulla potenzialità relativa dei vari metodi utilizzabili per il confinamento della CO₂. Si passa da una potenzialità molto bassa relativamente ai metodi chimici, a valori assai elevati per il confinamento geologico in acquiferi salini profondi.

Potenzialità	Tipologia di confinamento della CO ₂
1	Reazioni mineralogiche
10	Carbone: giacimenti non coltivabili
100	Giacimenti esauriti di olio e gas
1000	Acquiferi salini profondi

TABELLA 3 Potenzialità relativa di confinamento dei vari metodi
Fonte: ZEP

Esistono diverse stime sulle capacità di confinamento a livello mondiale della CO₂; la tabella 4 riporta quelle proposte da uno studio di IPCC.

Altre stime indicano per i soli campi esausti ad olio e gas una capacità di stoccaggio di oltre 1800 Gt CO₂: tale volume potrebbe coprire la produzione mondiale di CO₂ per un arco di tempo superiore ai prossimi 20 anni, mentre ben superiore sembra il potenziale per gli acquiferi salini profondi.

Capacità globali di stoccaggio (Gt CO ₂)	
Acquiferi salini profondi	6.000 - 10.000
Giacimenti di petrolio e gas	900 - 1.300
Miniere di carbone	60 - 150

TABELLA 4 Stime sulle capacità di confinamento mondiale della CO₂
Fonte: IPCC

Per quanto riguarda la situazione italiana, si stima una capacità di sequestrazione geologica della CO₂ in acquiferi profondi, ivi incluse le aree geotermiche, di 440 Mt, dei quali 353 onshore e 84 Mt offshore.

Per quanto riguarda i giacimenti di olio e gas onshore

il valore stimato a livello nazionale è di 1.790 Mt di CO₂.

Pertanto complessivamente in Italia si potrebbero sequestrare 2.230 M/t di CO₂, come indicato nella tabella 5.

Potenzialità di stoccaggio in Italia (Mt CO ₂)	
Acquiferi on-shore	353
Acquiferi off-shore	84
Giacimenti di olio e gas on-shore	1.790
Totale nazionale	2.230

TABELLA 5 Stime sulle capacità di confinamento mondiale della CO₂ in Italia
Fonte: UE

I principali ostacoli all'applicazione delle tecniche di stoccaggio geologico sono individuabili in:

- non completa conoscenza della geologia delle aree d'interesse, per quanto riguarda in particolare gli aspetti mineralogici, idrologici e geochimici;
- non sufficienti conoscenze in merito al comportamento della CO₂ immagazzinata, sia ai fini degli effetti globali (rischio di fughe che potrebbero in parte vanificare lo sforzo di cattura e confinamento) che locali (effetti dannosi sull'ambiente e sulla popolazione in caso di rilascio rapido di quantità significative);
- ostacoli normativi, relativi alla gestione dei rifiuti, all'uso del sottosuolo e del mare;
- accettabilità sociale, in relazione, in particolare, ai rischi di effetti locali dannosi.

I molti progetti, avviati in varie parti del mondo, mirano pertanto a:

- validare i metodi per la scelta dei siti e la stima dei rischi in una pluralità di contesti geologici anche molto diversificati;
- ottimizzare le tecniche di controllo, dalla superficie, dell'evoluzione negli strati geologici profondi della CO₂ iniettata;

- sviluppare *best practices* e *standards* per tutte le fasi operative connesse, che servano da base nella definizione delle procedure autorizzative e delle responsabilità correlate alla scelta dei siti, all'esecuzione del confinamento, al controllo a breve e lungo termine, all'esaurimento dei siti di confinamento.

Conclusioni

A livello internazionale sono ormai definiti, in maniera unanime, i punti chiave da affrontare sul piano dello sviluppo delle tecnologie, su quello dell'abbattimento dei costi, sul piano della normativa e della conquista di un sufficiente consenso sociale.

Il settore dell'impiantistica per produzione di energia elettrica, eventualmente combinata con la produzione di idrogeno, è quello che necessita del maggiore impegno tecnologico: nel breve-medio periodo per la dimostrazione delle tecnologie disponibili, e nel lungo periodo per lo sviluppo e dimostrazione di tecnologie ancora più efficienti e meno costose.

Il settore del trasporto della CO₂ è considerato sostanzialmente maturo, e richiede essenzialmente attività di ottimizzazione.

Il settore del confinamento della CO₂, anche se per alcune applicazioni è maturo da tempo – come nel caso dell'iniezione di anidride carbonica in pozzi petroliferi per aumentarne la produttività – necessita di attività di messa a punto e dimostrazione specialmente al fine di accrescere il livello di “confidenza” e quindi la accettabilità sociale.

A livello europeo la piattaforma tecnologica ZEP sta svolgendo un ruolo essenziale per indirizzare la politica comunitaria verso la dimostrazione in tempi brevi delle tecnologie CCS con un coinvolgimento rilevante dei singoli Stati. Su scala mondiale un ruolo determinante continua ad essere svolto dal CSLF e dalla IEA, che sono stati coinvolti congiuntamente dal G8 per

elaborare una proposta complessiva. L'obiettivo è di inserire a pieno titolo le tecnologie CCS fra le misure da adottare per poter conseguire gli obiettivi del post-Kyoto di ulteriori riduzioni delle emissioni della CO₂.

Circa gli aspetti economici e finanziari, per l'introduzione progressiva delle tecnologie CCS è necessario vincere alcune sfide:

- abbassare i costi degli impianti dotati di tali tecnologie;
- creare un “valore” alla CO₂ sul mercato globale;
- abbassare i rischi di investimenti molto elevati, richiesti dalle tecnologie CCS.

Il conseguimento di tali obiettivi richiede una grossa azione a livello globale, con l'impegno dei Governi a creare le condizioni per il business della CO₂, riflettendo i progressi scientifici e tecnologici nelle legislazioni nazionali ed internazionali.

Infine, circa gli aspetti di consenso e di pubblica accettazione, la conoscenza limitata sull'insieme delle tecnologie CCS costituisce una barriera per il loro sviluppo.

Occorre, quindi, operare affinché cresca la consapevolezza su due aspetti:

- che è possibile utilizzare combustibili fossili, in primis il carbone, adottando tecnologie in grado di separare la CO₂ evitando che venga immessa in atmosfera;
- che è realmente possibile garantire che la CO₂ possa essere confinata mediante stoccaggio geologico in sicurezza.

Occorre, a tal fine, avviare un significativo numero di progetti dimostrativi in grado di verificare definitivamente i vari aspetti di tale opzione. In questa azione è essenziale il rapporto con il sistema socio-politico territoriale, identificato nella dimensione regionale e comunale. ●