

Potenzialità delle tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica nell'industria italiana

Le tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica potranno giocare un ruolo importante nella riduzione delle emissioni di gas serra.

Nell'articolo viene analizzato il possibile contributo dell'applicazione di tali tecnologie al parco italiano delle centrali a carbone e sono individuate ulteriori aree cui estenderne l'applicazione

■ Antonino Caliri, Liliana Panei

Al giorno d'oggi i cambiamenti climatici stanno interessando l'intero panorama globale incidendo sulla collettività in maniera sempre più decisa. I dati diffusi evidenziano uno scenario verso il quale nutrire non poca preoccupazione, se i governi nazionali non interverranno prontamente con azioni decise, mirate e soprattutto lungimiranti. Le problematiche che affliggono il nostro eco-sistema sono, infatti, molteplici ma, senza dubbio, significativo è il dato relativo alla crescente concentrazione in atmosfera di CO₂ e le conseguenti ricadute che essa può determinare sull'intero assetto climatico. Gli studi effettuati negli ultimi anni da parte dell'Agazia Internazionale dell'Energia dell'OECD portano a prevedere come la domanda mondiale di energia continuerà a

crescere da qui al 2035. Infatti, assumendo uno scenario che tenga conto sia delle azioni già in atto che di quelle previste dalla maggior parte dei governi mondiali, si stima che la domanda di energia nel 2035 sarà del 36% più alta di quella del 2008, con i combustibili fossili che accresceranno drasticamente la loro incidenza. Ciò comporterà un aumento delle emissioni annue di CO₂, con la conseguenza che la concentrazione di tale gas nell'atmosfera rischierà di superare di gran lunga i livelli tollerati dal nostro ecosistema.

L'abbattimento delle emissioni nocive può avvenire con diverse tecniche che spaziano dal miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti nel settore industriale, civile e dei trasporti, al potenziamento del ricorso a forme di energia rinnovabili, all'impiego di combustibili fossili con minore contenuto di carbonio sino allo stoccaggio permanente

dell'anidride carbonica nel sottosuolo.

Questa ultima tecnica, nota internazionalmente come CCS (Carbon Capture and Storage), è negli ultimi anni considerata come uno dei principali strumenti da implementare per assicurare un deciso contributo alla riduzione delle emissioni in atmosfera di gas serra. La direttiva europea 31/2009/EC riconosce infatti la necessità di ridurre nei prossimi decenni il contenuto di emissioni di gas serra del 20% entro il 2020, rispetto ai valori del 1990, proprio attraverso l'implementazione di tale tecnica [1].

Scopo della presente analisi è quindi quello di valutare il potenziale legato all'applicazione delle tecnologie CCS alla realtà industriale italiana. Dalla documentazione disponibile, si è compiuta un'analisi *quantitativa* che, attraverso la costruzione di un *modello numerico*, cerca di valutare in maniera predittiva gli scenari al 2050

■ Antonino Caliri, Liliana Panei

Ministero Sviluppo Economico, Direzione Generale Risorse Minerarie ed Energetiche

Centrale	Proprietà	Localizzazione	N° moduli	Potenza modulo	Potenza totale
Brindisi Nord	Edipower	Puglia	2	320 MW	640 MW
Fiumesanto	EON	Sardegna	2	320 MW	640 MW
Vado Ligure	Tirreno Power	Liguria	2	330 MW	660 MW
Monfalcone	A2A	Friuli	1+1	165 MW + 171 MW	336 MW
Brescia	A2A	Lombardia	1	70 MW	70 MW
Torrevaldaliga Nord	ENEL	Lazio	3	660 MW	1.980 MW
Brindisi Sud	ENEL	Puglia	4	660 MW	2.640 MW
Genova	ENEL	Liguria	3	70 MW (Gr. 3) + 70 MW (Gr. 4) + 155 (Gr. 6) MW	295 MW
Sulcis	ENEL	Sardegna	2	350 MW (Sezione SU2) + 240 MW (Sezione SU3)	590 MW
Fusina	ENEL	Veneto	4	165 MW (Gr. 1) + 172 MW (Gr. 2) + 320 MW (Gr. 3) + 320 MW (Gr. 4)	976 MW
Marghera	ENEL	Veneto	2	70 MW	140 MW
La Spezia	ENEL	Liguria	1	600 MW	600 MW
Bastardo	ENEL	Umbria	2	75 MW	150 MW

TABELLA 1 Centrali elettriche a carbone attive in Italia
Fonte: Assocarboni [2] e DataBase Interno MiSE

legati all'implementazione delle tecnologie CCS, al fine di supportare la definizione di una *Strategia Energetica*.

Analisi della situazione al 2010

L'esercizio di calcolo compiuto, e qui di seguito esposto, è partito da alcune assunzioni che fotografano lo *status quo* della realtà italiana al 2010, in termini di consumi e mix energetico.

È ragionevole ipotizzare che gli impianti che prima di tutti saranno oggetto di interventi legati all'adeguamento attraverso l'installazione di sistemi di cattura della CO₂, saranno le *centrali a carbone*. Si è dunque prioritariamente proceduto ad un censimento delle centrali a carbone attive in Italia [2], riportato in tabella 1.

Il quadro complessivo che emerge dall'analisi di tali dati e che rappresenta il punto di partenza per la costruzione del citato modello

predittivo (tabella 1), evidenzia quindi una *potenza totale installata*, con riferimento al parco di centrali a carbone, di *8.151 MW*.

Da tale dato si è, più in generale, considerata l'intera *produzione lorda di energia elettrica* [3] comparando la cifra con la percentuale che, sulla base dell'attuale mix energetico, è imputabile al carbone (tabella 2).

Si evince, quindi, come la quota parte di tale produzione, soddisfatta attraverso l'impiego del carbone come fonte primaria, è

stimata in $(300.000 \text{ GWh} * 0,14) = 42.000 \text{ GWh}$ (dato 2010).

Le attuali tecnologie di produzione installate presso il parco di centrali a carbone italiano sono tali per cui le emissioni di CO₂ sono stimabili in $0,77-1 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$ (tabella 3).

Si è proceduto dunque ad una analisi, in ottica prudenziale, per la quale si è quindi stimato lo scenario più conservativo che prevede emissioni prossime al limite superiore del *range* sopra-presentato, ossia **1 kg CO₂/kWh**.

Anno	2010
Potenza installata delle centrali a carbone	8.151 MW
Produzione lorda di energia elettrica da tutte le fonti	300.000 GWh
% della produzione elettrica lorda da carbone	14%
Stima della produzione lorda di energia elettrica da carbone	42.000 GWh
Stima delle emissioni di CO ₂ per kWh prodotto	1 kgCO ₂ /kWh

TABELLA 2 Potenza installata, produzione lorda e quota di energia elettrica da carbone nel 2010. Fattore di emissione di CO₂
Fonte: elaborazione degli autori su dati ENEA [3] e LegAmbiente [4]

Impianto e fonte	kg CO ₂ /kWh
Carbone nelle vecchie centrali	0,95- 1,0
Carbone nelle centrali di ultima generazione	0,77
Olio combustibile	0,70
Gas naturale in centrale turbogas	0,45
Gas naturale in centrale a ciclo combinato	0,40
Gas naturale in centrale a ciclo combinato con cogenerazione	< 0,3
Fonti rinnovabili	0

TABELLA 3 Stima delle emissioni di CO₂ da impianti di generazione elettrica
Fonte: LegAmbiente [4]

Combinando tale dato di *performance* in termini di emissioni con l'attuale quota di domanda energetica soddisfatta dall'impiego di carbone, precedentemente calcolata (42.000 GWh), si ricava che le emissioni totali di CO₂ provenienti da centrali a carbone sono stimate in 42.000.000 t (dato 2010).

Tale dato se confrontato con le *emissioni totali di CO₂* fatte registrare in Italia nel 2010, approssimativamente 400.000.000 t [5], rappresenta il 10,5% delle emissioni totali.

Analisi della situazione al 2050 - Modello previsionale

Al fine di valutare l'impatto in termini di strategia energetica, si è ripetuto il ragionamento di calcolo delle emissioni sopra citato con riferimento allo scenario 2050, cercando di *modellare tutte le principali variabili* che possono intervenire in tale mutato contesto.

Le *principali assunzioni* compiute, rispetto a quanto presentato sulla situazione al 2010, sono le seguenti:

- *potenza installata* - si è considerato intatto l'attuale parco di centrali a carbone (8.151

MW), il quale nonostante la vetustà che si raggiungerà al 2050, realisticamente, sarà oggetto di interventi di miglioramento e sostituzione/revamping per tutte quelle parti soggette ad usura. Si è inoltre ipotizzata l'entrata in marcia della centrale di Porto Tolle (1.980 MW) [6], nonché una ulteriore espansione del parco centrali di un 20% approssimativo, in linea con l'incremento della domanda energetica italiana al 2050. La potenza complessiva installata al 2050, relativamente al parco di centrali a carbone, è quindi stimata in 11.781 MW;

- *produzione lorda di energia elettrica* - si sono considerate le stime fatte da ENEA [3], che proiettano la produzione lorda di energia elettrica italiana a circa 450.000 GWh;
- *percentuale di produzione da carbone (mix energetico)* - si è ipotizzato di *mantenere costante* l'impiego del carbone come fonte primaria, ossia il **14%**.
- *stima delle emissioni di CO₂* - si è ipotizzato uno scenario auspicabile di progresso tecnologico per il quale al 2050 l'incidenza delle emissioni si ri-

Potenza installata delle centrali a carbone	11.781 MW
Produzione lorda di energia elettrica da tutte le fonti	450.000 GWh
Produzione di energia elettrica da carbone	63.000 GWh
% della produzione elettrica lorda da carbone	14%
Stima delle emissioni di CO ₂ per kWh prodotto	0,8 kgCO ₂ /kWh

TABELLA 4 Stima al 2050 della potenza installata e della produzione lorda delle centrali a carbone. Quota di energia elettrica generata dal carbone al 2050. Fattore di emissione di CO₂
Fonte: elaborazione degli autori

durrà con l'avanzare di moderne tecnologie di produzione, raggiungendo una incidenza di 0,8 kgCO₂/kWh.

Il risultato di queste assunzioni viene mostrato in tabella 4.

A questo punto si è concretamente valutato l'impatto delle tecnologie di cattura su tali dati di produzione energetica da carbone ed emissioni totali da centrali a carbone.

Cattura di CO₂

Come base di riferimento per capire l'applicazione e la potenzialità delle tecnologie di *cattura di CO₂* si è fatto riferimento all'unico progetto dimostrativo su larga scala, attualmente nello stato più avanzato, nell'intero panorama italiano dei progetti di CCS, ossia quello di Porto Tolle [6], con l'obiettivo di determinare un fattore di scala che legghi la potenza installata (250 MW) con la CO₂ catturata (un milione di tonnellate annue).



FIGURA 1 Progetto di trasformazione della centrale di Porto Tolle dall'attuale impianto a olio combustibile a quello futuro a carbone
Fonte: ENEL [6]

	Scenario_60	Scenario_90
% applicazione CCS	60%	90%
Perdita di efficienza	10%	
Potenza centrali a carbone dotate di impianti CCS*	6.362 MW	9.543 MW
Fattore di scala (caso Porto Tolle)	25,45	38,17
CO2 catturata nella centrale di Porto Tolle	25.446.960 t CO ₂	38.170.440 t CO ₂
% cattura CO ₂ -rispetto a emissioni totali 2010	6%	10%
* al netto della perdita di efficienza del 10%		

TABELLA 5 Parco centrali interessate dall'applicazione delle tecnologie CCS e performance in termini di cattura di CO₂ della centrale di Porto Tolle
Fonte: elaborazione degli autori

In figura 1 viene mostrato il progetto di trasformazione della centrale di Porto Tolle dall'attuale impianto a olio combustibile a quello futuro a carbone. Prima di confrontare i dati relativi alla centrale di Porto Tolle e, proporzionalmente, ribaltare le performance sull'intero parco centrali italiano, si è proceduto ad individuare 2 scenari, uno più prudentiale che vede l'applicazione delle tecnologie CCS al 60% del parco centrali a carbone italiano (**Scenario_60**) e l'altro che vede una applicazione più capillare, ossia al 90% del parco centrali (**Scenario_90**). Ulteriormente, al

fine di tener conto degli effetti in termini prestazionali dovuti all'applicazione delle tecnologie di cattura CCS, si è prudenzialmente provveduto a ridurre di un fattore stimato nel 10%, l'efficienza e quindi la potenza del parco centrali che ospiterà tale nuova tecnologia. La perdita di efficienza è infatti una diretta conseguenza dell'impiego delle tecniche di cattura. In tali contesti il parco centrali interessate dall'applicazione delle tecnologie CCS risulta quello mostrato in tabella 5. Il fattore di scala, per i due scenari, è stato ricavato dividendo la

potenza complessiva del parco centrali al 2050, al netto delle perdite di efficienza, per la potenzialità di targa della centrale di Porto Tolle, oggetto del progetto CCS, ossia 250 MW.

L'ultimo step dell'analisi è quello di calcolare, note le performance in termini di cattura di CO₂ di Porto Tolle, ossia 1.000.000 t di CO₂ a fronte di 250 MW, la CO₂ complessivamente catturabile nei 2 scenari (ultime due righe della tabella 5).

Per quanto concerne le tematiche di trasporto e stoccaggio, molteplici sono ancora gli elementi di incertezza che non rendono possibili stime quantitative affidabili. Lo studio si è limitato quindi a considerazioni generali, di seguito esposte.

Trasporto di CO₂

Si è ipotizzata la creazione di infrastrutture comuni per il trasporto della CO₂, tramite opportuna rete nazionale di tubazioni. Non si evincono significativi vincoli, se non di natura esclusivamente economica, per la costruzione di tali infrastrutture: esse, infatti, sono del tutto equiparabili alla attuale rete di metanodotti, in termini di impatto sul territorio.

Stoccaggio di CO₂

Gli studi in merito alla mappatura dei siti potenzialmente idonei allo stoccaggio accusano ancora uno stato di sviluppo embrionale. La classificazione ad oggi compiuta da autorevoli enti di ricerca (ENEA, RSE, OGS, INGV fra tutti) ha avuto come obiettivo quello di compiere una mappatura generi-

ca, non spingendosi ad una caratterizzazione di estremo dettaglio. Tuttavia, a livello modellistico, il dato ricavato in merito alla CO₂ catturata, anche nel caso di applicazione diffusa delle tecnologie (Scenario_90), ossia 38.170.440 t di CO₂, risulta compatibile con le attuali stime di massima dell'intero potenziale di stoccaggio in Italia. La conclusione appena enunciata si basa su un confronto numerico sul potenziale complessivo di stoccaggio stimato sul territorio nazionale italiano. A tale scopo è bene precisare che, attualmente, lo stoccaggio geologico riguarda prevalentemente quattro tipi di formazioni geologiche:

1) Reservoir petroliferi depletati

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica permette un recupero ulteriore di petrolio (EOR - Enhanced Oil Recovery). Tali siti sono considerati sicuri per il confinamento geologico della CO₂, in quanto hanno già contenuto petrolio, gas naturale e CO₂ per milioni di anni.

2) Reservoir di gas impoveriti

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica permette un recupero ulteriore di gas (EGR - Enhanced Gas Recovery). Valgono le medesime osservazioni, in termini di sicurezza dello stoccaggio, fatte per i reservoir petroliferi.

3) Acquiferi salini profondi

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica avviene in formazioni rocciose permeabili nelle quali l'anidride carbonica immessa riempie i vuoti esistenti e rimane in-

trappolata attraverso meccanismi di tipo fisico-chimico e mineralogico (rocce silicatiche, carbonatiche e vulcaniche)

Tali formazioni offrono un enorme potenziale di confinamento senza causare nessun problema di carattere ambientale; ulteriormente tali formazioni sono abbastanza diffuse sul territorio e sono solitamente dotate di grande capacità di confinamento.

Per la stima di tale potenziale è possibile adottare a livello teorico la seguente formula di calcolo [7], proposta dall' US Department of Energy:

$$C = A \cdot sp \cdot \phi \cdot \text{densità CO}_2 \cdot \sigma$$

A: superficie dell'areale

sp: spessore effettivo medio del serbatoio

Φ: porosità

σ: coefficiente di *storage efficiency*

L'incertezza e la difficoltà di stima di alcuni parametri contenuti nella formula è alla base delle approssimazioni, in termini di valore numerico finale; il risultato ottenuto va quindi considerato come indicativo, in quanto fortemente affetto dalle logiche di calcolo adottate.

Parametro su cui si concentra particolarmente l'incertezza della stima è il coefficiente di "storage efficiency - σ" il quale solitamente viene fatto oscillare tra 2÷4%, con risultati abbastanza discostanti, a secondo dei casi.

4) Strati di carbone profondi

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica avviene attraverso l'iniezione negli interstizi presenti nella matrice minerale; tali vuoti so-

no dovuti alla porosità della roccia e alla sua fratturazione. Lo stoccaggio permette, inoltre, anche un ulteriore recupero del metano presente nella miniera (ECBM - Enhanced Coal Bed Methane). Quando, infatti, si inietta in essi la CO₂, essa presenta un assorbimento preferenziale con la superficie del carbone rispetto al metano che viene pertanto spiazzato, sostituito ad esso nella matrice di carbone e quindi liberato. Attraverso questa tecnica, ovviamente, il giacimento di carbone diventa un produttore di gas naturale.

Volendo contestualizzare numericamente il complesso delle opzioni di confinamento permanente della CO₂ [8] in termini di potenzialità [Mt], si ottengono i dati indicati in tabella 6.

A questo punto occorrerebbe confrontare la stima globale appena citata (13.281,5 Mt) con il totale calcolato delle emissioni di CO₂ catturate dal parco centrali carbone, secondo le logiche sopra descritte, nell'ipotesi di una applicazione diffusa (Scenario_90), ossia approssimativamente 38,2 Mt.

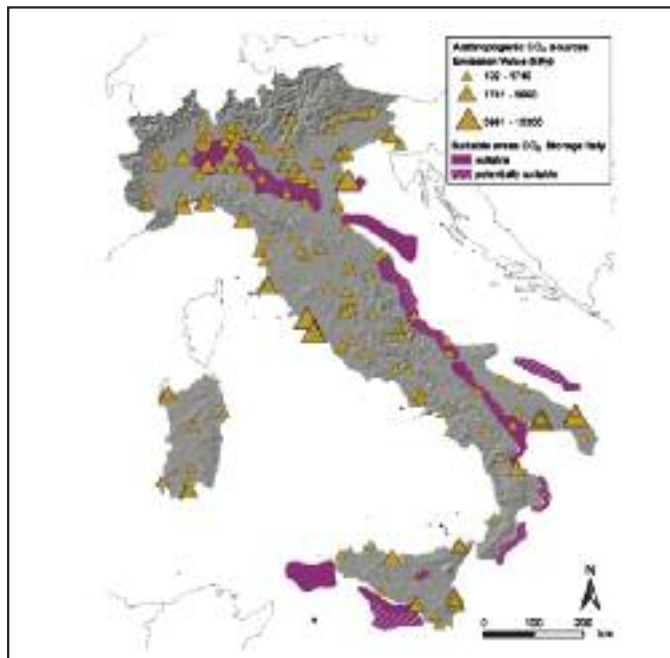
Tipologia di stoccaggio	Capacità di stoccaggio (Mt)
Acquiferi salini	9.590
Giacimenti di idrocarburi depletati (Oil & Gas)	3.426,5
Miniere di carbone	265
Capacità Totale	13.281,5

TABELLA 6 Tipologia dei siti e capacità di stoccaggio della CO₂
Fonte: ENEA [8]

FIGURA 2

Mapa delle aree adatte potenzialmente adatte allo stoccaggio della CO₂

Fonte: INGV [9]



Attraverso un semplice calcolo comparativo si nota come la capacità disponibile è di svariati ordini di grandezza superiore assicurando quindi una *potenzialità di stoccaggio geologico di circa 350 anni*, non configurandosi, quindi, come un collo di bottiglia all'interno del ciclo di implementazione delle tecnologie CCS.

Ovviamente il risultato presentato fa riferimento unicamente alla cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica proveniente dalle centrali a carbone, che rappresentano solo una percentuale ridotta (11%- Scenario_90) delle emissioni totali di CO₂ registrate nel 2010.

Conclusione

La stima complessiva, risultato delle analisi fin qui esposte, va confrontata con le indicazioni a livello mondiale, per le quali, in

base agli studi dell'IEA [10], la riduzione al 2050 delle emissioni totali di CO₂ in ppm dovrebbe essere tale per cui le tecnologie CCS potrebbero contribuire a tale risultato per circa il 19%.

La conclusione che si può trarre, dallo studio modellistico qui presentato, è che la sola applicazione delle tecnologie CCS al parco

centrali carbone, anche se *alla quasi totalità delle installazioni stimate per il 2050, potrà assicurare un contributo di circa il 10% (Scenario_90) in termini di riduzione del livello di emissioni; al fine di colmare il gap residuo (circa 9%)* l'indicazione che si può formulare è quella di estendere le tecnologie CCS anche ad altri impianti caratterizzati da alte emissioni di anidride carbonica.

Ovviamente la tipologia di impianti deputata ad accogliere l'applicazione delle tecnologie di CO₂ dovrà presentare specifici requisiti legati, soprattutto, alla possibilità di individuare fonti di emissione concentrate, sulle quali gli interventi di cattura risulterebbero più efficaci.

A tale scopo, come conclusione del lavoro fin qui presentato, si sono individuate delle aree prioritarie da prendere in considerazione come possibili ulteriori ambiti di applicazioni delle tecnologie CCS:

- centrali termoelettriche
- cementifici
- impianti siderurgici.

Bibliografia

- [1] ENEA, *Quaderno Tecnologie di cattura e sequestrazione della CO₂*, luglio 2011. http://www.enea.it/it/enea_informa/documenti/quaderni-energia/catturaco2.pdf
- [2] Associazione Generale Operatori Carboni-Assocarboni <http://www.assocarboni.it/index.php/it/il-carbone/le-centrali-a-carbone-in-italia>
- [3] ENEA, *Indagine conoscitiva sulla strategia energetica nazionale*, luglio 2011 <http://www.ufficienzaenergetica.enea.it/doc/efficienza-energetica/Testo%20audizione%20SEN%2027-9-2011.pdf>
- [4] LegAmbiente, *Report Stop al Carbone 2009*, febbraio 2009.
- [5] SINAnet, *Tabelle dei gas serra (comunicate ufficialmente alla Convenzione sui Cambiamenti Climatici - UNFCCC) per gli anni 1990-2009 (Common Reporting Format)* http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sinanet/serie_storiche/emissioni/CRF%201990-2009/view
- [6] ENEL, *Il progetto della centrale Porto Tolle* http://www.enel.it/it-IT/eventi_news/news/2011/speciale_porto_tolle/index.aspx
- [7] CO₂ Storage potential of deep saline aquifers. *The case study of Italy*, Donda, Volpi, Persoglia, Parushev, 2011.
- [8] ENEA, Ricerca di Sistema Elettrico, *Analisi Comparata delle potenzialità di confinamento della CO₂ per via geologia e mineralogica all'interno del bacino minerario del Sulcis*, settembre 2011 (pag. 31).
- [9] *The geo-database of caprock quality and deep saline aquifers distribution for geological storage of CO₂ in Italy*, M. Buttinelli, M. Procesi, B. Cantucci, F. Quattrocchi, E. Boschi, 2011.
- [10] International Energy Agency, *Technology Roadmap, Carbon Capture and Storage*, 2010.