

# Impianti industriali strategici per la sicurezza energetica: I sistemi CCS – Carbon Capture & Storage - Lo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> i-

*Dott. Francesco Astorri*

**VAL-RTEC - ISPRA**

**Comando Carabinieri per la Tutela dell'Ambiente e per la Transizione Ecologica**

**Programma di aggiornamento per CCTATE. SEMINARIO "Ispezioni e autorizzazioni ambientali"**

**27 aprile 2023**

# Indice

- Introduzione
- Il Processo di CCS
- Quadro normativo
- Rischi ambientali, per la salute e la sicurezza dei sistemi CCS (Focus sugli aspetti legati alla sicurezza)
- L'attività di vigilanza e controllo

# Introduzione

Le potenzialità dei sistemi CCS (Carbon Capture and Storage) per rallentare il tasso di aumento della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera riducendo la quantità di CO<sub>2</sub> che viene rilasciata nell'aria sono ben note.

L'uso combinato dei sistemi CCS con programmi di efficientamento energetico e un maggiore uso di fonti energetiche rinnovabili, potrebbe dare un contributo significativo alla stabilizzazione della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> a un livello tollerabile.

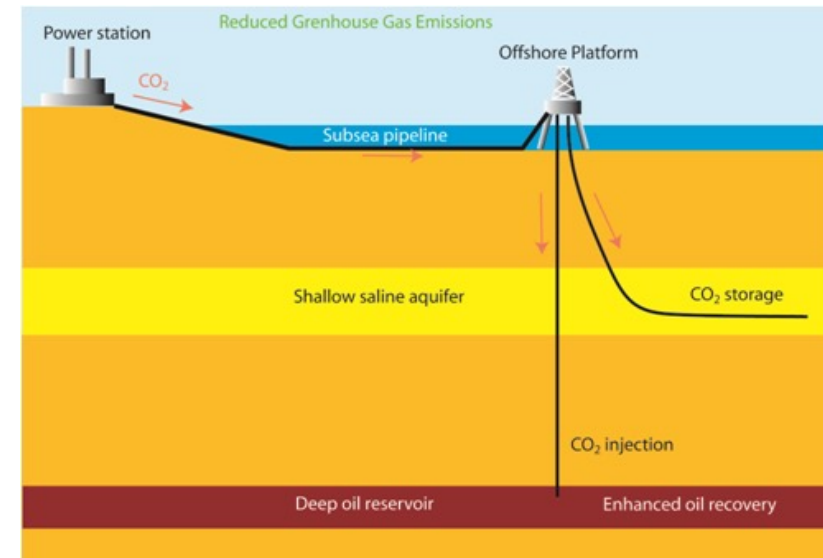
La natura dei pericoli connessi con la cattura, trasporto e stoccaggio dell'anidride carbonica non è ancora ben compresa e ci sono pochi dati su cui basare modelli di rilasci accidentali.

## Il processo di CCS

La CCS comporta una serie di processi attraverso i quali l'anidride carbonica viene separata dai gas prodotti, ad esempio in grandi centrali elettriche o grandi impianti industriali (raffinerie, impianti siderurgici ecc.) depurata, compressa e trasportata in luoghi dove può essere immagazzinata in modo sicuro per un lungo periodo, «potenzialmente indefinito».

Il processo prevede tre fasi principali:

- Cattura
- Trasporto
- Conservazione (CCS)



# Il processo di CCS – cattura in post-combustione

La cattura generalmente viene effettuata in fase di post-combustione e comporta la combustione tradizionale, ossia la normale combustione del combustibile fossile nell'aria. Il principio di cattura si basa sull'assorbimento chimico da parte di solventi liquidi (ammine o ammoniaca) che reagiscono con la CO<sub>2</sub> successivamente rilasciata per innalzamento termico

- Vantaggi:           elevata capacità di cattura  
                          basso costo del reagente.  
                          retrofit degli impianti esistenti.
- Svantaggi:           Alto consumo di energia per rigenerazione di alcuni solventi (ammine)  
                          Tossicità di alcuni solventi(ammine)  
                          Elevata produzione di residui di degradazione

## Il processo di CCS - trasporto

Una volta catturata, la CO<sub>2</sub> purificata deve essere trasportata in un luogo di stoccaggio. Il trasporto avviene solitamente tramite «pipeline» (condotta) poiché l'enorme quantità di CO<sub>2</sub> che i sistemi CCS comportano renderebbe impraticabile il trasporto come gas. Utilizzando alte pressioni, tipicamente comprese tra 75 e 200 bar, la CO<sub>2</sub> può essere convertita da gas a fluido supercritico o "fase densa". In questa forma ha una densità simile all'acqua e può essere pompata come un liquido, anche se con viscosità estremamente bassa.

In alternativa possono essere usato il trasporto su nave o autocisterna

# Il processo di CCS- Stoccaggio geologico

Esistono diverse opzioni per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> catturata, comprese le formazioni geologiche naturali, i giacimenti di petrolio e di gas esauriti, i giacimenti di carbone non estratti e le formazioni saline.

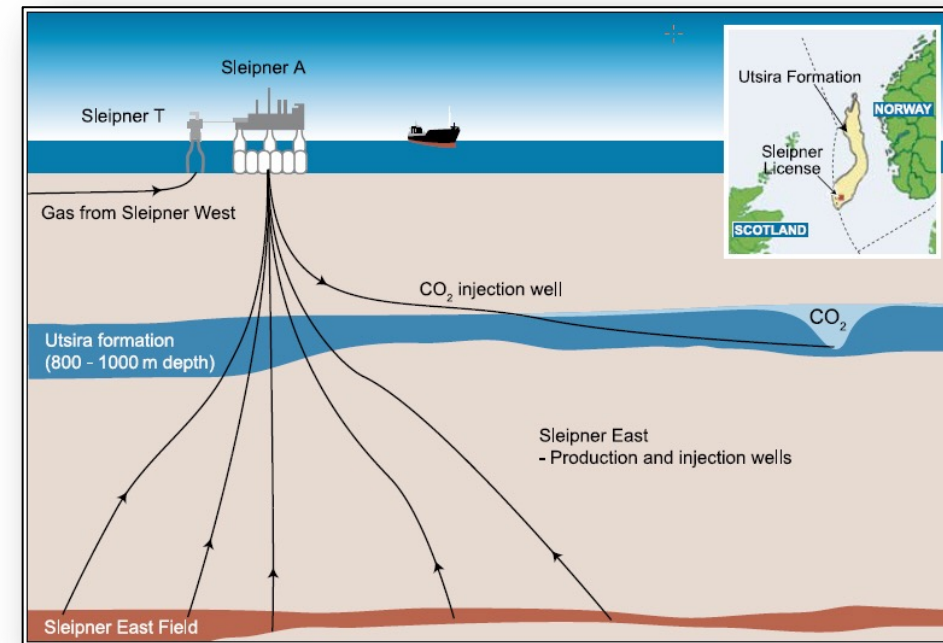
Lo stoccaggio si distingue in due macrogruppi:

## ONSHORE

- DGOF: Depleted gas and oil field
- SF: saline formation
- EOR CO<sub>2</sub>- enhanced oil recovery
- CB: Coal beds

## OFFSHORE

- DGOF: Depleted gas and oil field
- SF: saline formation
- EOR CO<sub>2</sub>- enhanced oil recovery



# Quadro normativo Europeo e nazionale

- Direttiva 2009/31/CE
- D.Lgs. N. 162 del 14/09/2011
- D.lgs 120 11/09/ 2020 (decreto semplificazione) che introduce modifiche al D. Lgs n. 162 del 14/09/2011



# Quadro normativo – La Direttiva 2009/31/CE

La disciplina giuridica riguarda in senso stretto gli aspetti dello stoccaggio geologico con particolare riferimento

- Agli aspetti amministrativi
- Alle procedure di approvazione
- Ai provvedimenti autorizzatori che costituiscono titolo a costruire e ad esercire l'impianto (permit)
- Al sistema di competenze
- Agli adempimenti dei vari attori (Stati membri, autorità competenti, gestori dei siti di stoccaggio etc)

# Quadro normativo – La Direttiva 2009/31/CE

Le attività normate sono articolate nelle tre fasi del processo

- Cattura
- Trasporto
- Stoccaggio

Per la cattura e il trasporto si è optato per la riconduzione a normative già esistenti circoscrivendo le disposizioni introdotte ex novo , sia per i profili tecnici che amministrativi al campo dello stoccaggio geologico.

# Quadro normativo – La Direttiva 2009/31/CE

La fase di Cattura è stata ricondotta all'ambito della direttiva IPPC (Dir. 2008/1/CE)\*

È stato integrato l'allegato I della pertinente direttiva

E' stato previsto contestualmente l'assoggettamento a VIA dei relativi progetti e anche dei sistemi di trasporto

VIA obbligatoria anche per i siti di stoccaggio

VIA obbligatoria per le preliminari attività di esplorazione\*\*

Le emissioni evitate rientrano nel sistema ETS (emission trading)

(\*) Direttiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 gennaio 2008 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L 24/8 del 29 gennaio 2008)

(\*\*) Deroga per i progetti sperimentali al di sotto delle 100.000 ton/anno

# Quadro normativo – La Direttiva 2009/31/CE

Agli Stati è stato lasciato il diritto di designare le zone all'interno delle quali scegliere i siti di stoccaggio ivi compreso il diritto di non permettere lo stoccaggio in alcune parti o nella totalità dei rispettivi territori.

Nel caso dell'Italia l'individuazione delle aree idonee allo stoccaggio spetta allo stato di concerto con le Regioni (solo per le zone onshore)

# Quadro normativo - Il D.Lgs. N. 162 del 14/09/2011

37 articoli distribuiti in 7 capi e 3 Allegati

L'architettura del provvedimento appare in larga misura mutuata dalla Direttiva con qualche differenza nell'allocazione dei diversi articoli:

- Prevedere che le attività di stoccaggio siano svolte in base ad autorizzazione del Ministero per lo Sviluppo economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente (ora tutto in capo al MASE) su parere del Comitato ETS, supportato dalla Segreteria Tecnica CCS.
- Prevedere che la concessione sia rilasciata a seguito di preventive attività di indagine svolte in regime di autorizzazione
- Prevedere misure per garantire la sicurezza del confinamento

# Quadro normativo - Il D.Lgs. N. 162 del 14/09/2011

- Stabilire adeguate garanzie tecniche economiche e finanziarie a carico dei richiedenti le autorizzazioni e le concessioni (capacità economica)
- Stabilire obblighi in fase di chiusura e post-chiusura dei siti , ivi incluse la prestazione delle idonee garanzie finanziarie e la disciplina delle modalità di trasferimento delle responsabilità alle autorità competenti
- Prevedere forme continue e trasparenti di informazione del pubblico sui dati ambientali relativi agli impianti di stoccaggio ivi comprese le infrastrutture di trasporto di esplorazione e fase post chiusura (banche date/atlanti consultabili)

# Quadro normativo - Il D.Lgs. N. 162 del 14/09/2011

Il D. Lgs. n. 162/2011 contiene riferimenti ad adempimenti e obblighi del gestore in materia di sicurezza, ruolo e competenze delle autorità, misure di vigilanza e controllo sia durante l'iter autorizzatorio per il rilascio della licenza di stoccaggio, sia durante le fasi di esercizio, chiusura e post-chiusura dell'impianto

Tra gli adempimenti del gestore contenuti nel Decreto legislativo n. 162/2011 si rilevano:

- caratterizzazione del sito e del complesso di stoccaggio e valutazione della sicurezza di stoccaggio (articolo 7, comma 6, criteri di allegato I)
- descrizione delle misure di sicurezza adottate intese ad evitare incidenti o malfunzionamenti significativi, nonché a limitarne le conseguenze;
- piano di monitoraggio (articolo 19, comma 2)
- il piano sui provvedimenti correttivi contenenti le misure atte alla prevenzione di rilasci e di irregolarità tecnico-impiantistiche significative, le procedure e le misure atte ad eliminare completamente la fuoriuscita di CO<sub>2</sub>, nonché le misure atte a contenere gli effetti dannosi conseguenti ai rilasci;
- piano provvisorio per la fase di post-chiusura (articolo 23, comma 4);

# Quadro normativo - Il D.Lgs N. 120 11/09/ 2020 che introduce modifiche al D. Lgs n. 162 del 14/09/2011

Il testo dell'art. 60-*bis*, rubricato “**Semplificazioni per lo stoccaggio geologico di biossido di carbonio**”, introduce alcune modifiche al D.Lgs 162 sintetizzabili nei seguenti due aspetti:

- l'esclusione delle Regioni e degli enti locali dal processo decisionale volto all'individuazione delle aree marittime da destinare allo stoccaggio del biossido di carbonio;
- l'introduzione di una procedura semplificata per dei programmi sperimentali di stoccaggio riferiti a giacimenti di idrocarburi esauriti nelle more della definizione delle aree di cui sopra, su decisione ministeriale, contestualmente all'esclusione dell'assoggettamento alla VIA per i programmi che interessano un volume inferiore alle 100.000 tonnellate.

Di fatto si esclude il coinvolgimento della Conferenza Stato-Regioni nella procedura di individuazione delle aree marittime da destinare allo stoccaggio degli idrocarburi e introduce una procedura provvisoria volta a permettere ai titolari di concessioni di coltivazioni di porre in essere programmi sperimentali di stoccaggio sui giacimenti esauriti.



# I rischi per l'ambiente, la salute e la sicurezza dei sistemi CCS

- Consumo di energia, acqua e chemicals
- Emissioni di gas serra (CO<sub>2</sub> non catturata + CO<sub>2</sub> emessa per il consumo di energia nelle fasi di cattura trasporto e stoccaggio)
- Produzione di rifiuti pericolosi solidi dal trattamento fumi e liquidi (degradazione delle ammine).
- Impatti sulla matrice aria (PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, VOC), acqua (acidificazione), sugli ecosistemi (marini) e sulla salute (alcuni chemicals cancerogeni)
- Rischi per la sicurezza dovuti al rilascio incontrollato (significativi poiché la CO<sub>2</sub> è un asfissiante e anche un potente solvente (super solvente) che dà possibili problemi di corrosione e contaminazione tossica.
- Rischio sismico/tsunami e frana (deformazione suolo) indotti dal CCS

# I rischi dei sistemi CCS - Cattura

Carenza di dati reali a livello nazionale, per cui è solo possibile un confronto con operazioni simili a livello europeo o mondiale

- Sistemi analoghi sono già oggi operativi in grandi impianti industriali, come quelli per il trattamento del gas naturale e per la produzione dell'ammoniaca
- Gli aspetti di monitoraggio, di rischio e legali della cattura della CO<sub>2</sub> non dovrebbero presentare particolari elementi di novità rispetto a queste esperienze industriali
- L'unico aspetto significativo dovrebbe essere rappresentato dal consumo di energia necessario per il funzionamento di questi sistemi e dall'uso dei solventi amminici

# I rischi dei sistemi CCS - Trasporto

Le pipelines di CO<sub>2</sub> operano attualmente in un mercato maturo e rappresentano la tecnologia più utilizzata per il trasporto della CO<sub>2</sub>

La prima pipeline a lunga distanza è entrata in funzione negli USA nei primi anni '70; attualmente, più di 3500 km di pipelines trasportano più di 30 Mt CO<sub>2</sub>, prevalentemente in Texas, per l'uso in sistemi EOR

Con la diffusione della tecnologia, è prevedibile che siano introdotti standard operativi relativi alla qualità del gas trasportato (H<sub>2</sub>S, umidità) e normative specifiche per la protezione delle popolazioni esposte, relative ad esempio alla scelta del percorso, alla protezione dalle sovrappressioni, ai rischi di perdite e ad altri aspetti progettuali.

Gli incidenti sono stati fin qui inferiori a uno per anno (0.0003 per km-anno), nessuna lesione e nessun incidente mortale.

# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Cattura/trasporto

L'HSE, (Health and Safety Executive) l'autorità britannica competente per la Seveso, ha predisposto una nota tecnica nella quale si identificano una serie di eventi/scenari che potrebbero condurre ad un incidente rilevante sostanzialmente collegati alle caratteristiche del fluido di CO<sub>2</sub>:

- manipolazione di un fluido in condizione supercritiche (in fase liquida e ad alta pressione) e soggetto a fenomeni di raffreddamento termodinamico "thermal cooling" su larga scala;
- mantenimento dell'integrità delle strutture di contenimento in relazione a:
  - bassa viscosità e a tensione di vapore del fluido;
  - dissoluzione della CO<sub>2</sub> in acqua e insorgenza di fenomeni di corrosione;
  - variazioni improvvise della densità del fluido legata a pressione e temperatura che possono condurre ad una espansione improvvisa con ricadute negative alla testata dei pozzi iniezione;
  - formazione di particelle solide (ghiaccio secco e idrati) per la rapida espansione e raffreddamento associato del fluido in grado di limitarne il flusso all'interno dei pozzi;

# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Cattura/trasporto

- effetti tossici per dissoluzione e mobilizzazione di elementi come piombo e cadmio, in virtù delle caratteristiche chimico-fisiche del fluido in condizioni supercritiche, considerato a quelle condizioni un “supersolvente”;
- danneggiamento delle strutture adiacenti al punto di fuoriuscita della CO<sub>2</sub> per l’effetto della sabbiatura (blasting effect) causata dalla presenza di elementi solidi (particelle di sabbia o ghiaccio secco) nel fluido ad alta pressione;
- caratteristiche di gas inodore della CO<sub>2</sub> tali da non permetterne la rilevazione da parte dell’olfatto per le concentrazioni in aria superiori alla soglie di asfissia;
- diminuzione delle capacità reattive degli addetti all’emergenza per l’incremento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> nell’area circostante la fuoriuscita con implicazioni rilevanti per quanto attiene la predisposizione delle procedure di emergenza.

# I rischi dei sistemi CCS - Stoccaggio

A metà del 2011, erano in corso otto progetti a scala industriale: In Salah (Algeria), Sleipner e Snøhvit (Norvegia), Weyburn (Canada), Salt Creek EOR (USA), Enid Fertilizer (USA), Sharon Ridge EOR (USA), Rangely Weber Sand Unit (USA).

Molti aspetti operativi sono ancora da investigare.

Attraverso un'appropriata scelta del sito, un programma di monitoraggio per individuare le criticità, un sistema di regolazione, metodi di intervento per fermare o controllare le fughe di CO<sub>2</sub> se esse si manifestano, il rischio è comparabile a quelli di attività simili attualmente operative (stoccaggio di gas naturale, EOR, deposito di gas acidi)

# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Stoccaggio

Rischi significativi collegati con la interazione fluido/impianto di iniezione/formazione geologica riconducibili a:

- pressione di iniezione più alta della pressione originaria del giacimento tale da indurre fratture nelle rocce di copertura (cap rock) e fuoriuscite di CO<sub>2</sub>;
- rilascio di CO<sub>2</sub> da discontinuità della copertura impermeabile e/o attraverso sistemi di faglie e fratture causata da una inadeguata rilevazione di tali strutture geologiche;
- rilascio di CO<sub>2</sub> da pozzi non eseguiti secondo specifiche di progettazione adeguate o mal progettati;
- rilascio di CO<sub>2</sub> da pozzi di monitoraggio;
- rilascio di CO<sub>2</sub> da pozzi dismessi non rilevati;

# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Stoccaggio

- rilascio di CO<sub>2</sub> da pozzo di iniezione per sovrappressione locale a livello di pozzo di iniezione anche per diminuzione progressiva del volume dei vuoti causato dalla dissoluzione/precipitazione dei carbonati (self-sealing);
- sovrappressione nel serbatoio e superamento dell'estensione laterale del sito di stoccaggio per una inadeguata selezione della "trappola" geologica di CO<sub>2</sub>;
- incremento rischio sismico per iniezioni fluidi e mobilitazione di sistemi di faglie e fratture
- incremento dell'acidità delle acque, insorgenza di fenomeni di dissoluzione e incremento rischio sinkhole per effetto di azioni sismiche;
- possibilità di mobilitare altre sostanze gassose come Radon, H<sub>2</sub>S o CH<sub>4</sub>



# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Stoccaggio

	Danni per il sistema climatico	Danni alla salute dell'uomo e all'ecosistema	Modifiche pH, contaminanti nella falda acquifera	Impatti sull'ecosistema marino
<b>Rischi operazionali</b>				
• Guasti ai pozzi di iniezione	x	x		
• Guasti lungo le condotte	x	x		
• Corrosione dei componenti	x	x		
<b>Rischi al sito di stoccaggio</b>				
• Fuoriuscita di grandi quantità di CO <sub>2</sub> (Incidenti, eventi naturali...)	x	x		
• Lenta fuoriuscita di CO <sub>2</sub> (per difetti nella struttura degli strati impermeabili)	x	x		
• Fuoriuscite causate dalla reazione tra la CO <sub>2</sub> e le rocce di copertura	x	x		
• Perdite da pozzi mal sigillati	x	x		
• Migrazione della CO <sub>2</sub>	x		x	
• Fuoriuscita in ambiente marino	x			x

Fonte: IPCC Special Report "Carbon Dioxide Capture and Storage", 2005

# Gli aspetti legati alla sicurezza - Focus Stoccaggio

## Conseguenze ambiente marino

- Modifiche del pH
- Mortalità degli organismi oceanici
- Conseguenze per gli ecosistemi
- Effetti cronici sconosciuti
- Modifiche nell'abbondanza di batteri, nanobenthos e meiobenthos dopo esposizione a 20,000 e 5,000 ppm per 77-375 ore durante esperimenti condotti alla profondità di 2000 nel Pacifico nord-occidentale

# Le attività di vigilanza e controllo

L'attività di vigilanza e controllo ha lo scopo di verificare che non siano violate le disposizioni del decreto, i provvedimenti e le prescrizioni contenute nella licenza di esplorazione e nell'autorizzazione allo stoccaggio o che siano state effettuate modifiche sostanziali all'impianto non preventivamente autorizzate, e viene espletata da:

- a) l'**UNMIG** ed i suoi Uffici territoriali, per l'applicazione delle norme di polizia mineraria e per il supporto tecnico al comitato nell'ambito della Segreteria tecnica di cui al comma 2 dell'articolo 4;
- b) l'**ISPRA** per i controlli ambientali e di monitoraggio del complesso di stoccaggio avvalendosi anche delle Agenzie Regionali per la protezione dell'ambiente (ARPA) e per il supporto tecnico al comitato nell'ambito della Segreteria tecnica di cui al comma 2 dell'articolo 4;
- c) Il **Corpo nazionale dei vigili del fuoco (VVFF)**, per gli spetti di competenza in merito alla verifica dell'adozione di tutte le misure tecniche e gestionali finalizzate al controllo dei rischi e alla gestione delle situazioni di emergenza.

# Le attività di vigilanza e controllo

L'attività di vigilanza e controllo comprende:

- ispezioni periodiche (ogni 1, 3, 5 anni a seconda dei casi previsti dal decreto)
- occasionali nei casi in cui il Comitato, su indicazione degli organi di vigilanza e controllo, lo ritenga opportuno e comunque:
  - nel caso di irregolarità significative o di fuoriuscite ai sensi dell'articolo 22, comma 1;
  - nel caso di inadempimento delle condizioni fissate nelle autorizzazioni;
  - a seguito di segnalazioni riguardanti pericoli per l'ambiente o la salute e l'incolumità pubblica.

# Grazie per l'attenzione!

[francesco.astorri@isprambiente.it](mailto:francesco.astorri@isprambiente.it)