

CCS: Cattura e sequestro di CO2 (Carbon Capture and Storage) A che punto siamo?

Tiziana Zerlià _ SSC

Le premesse 2

Un Aggiornamento

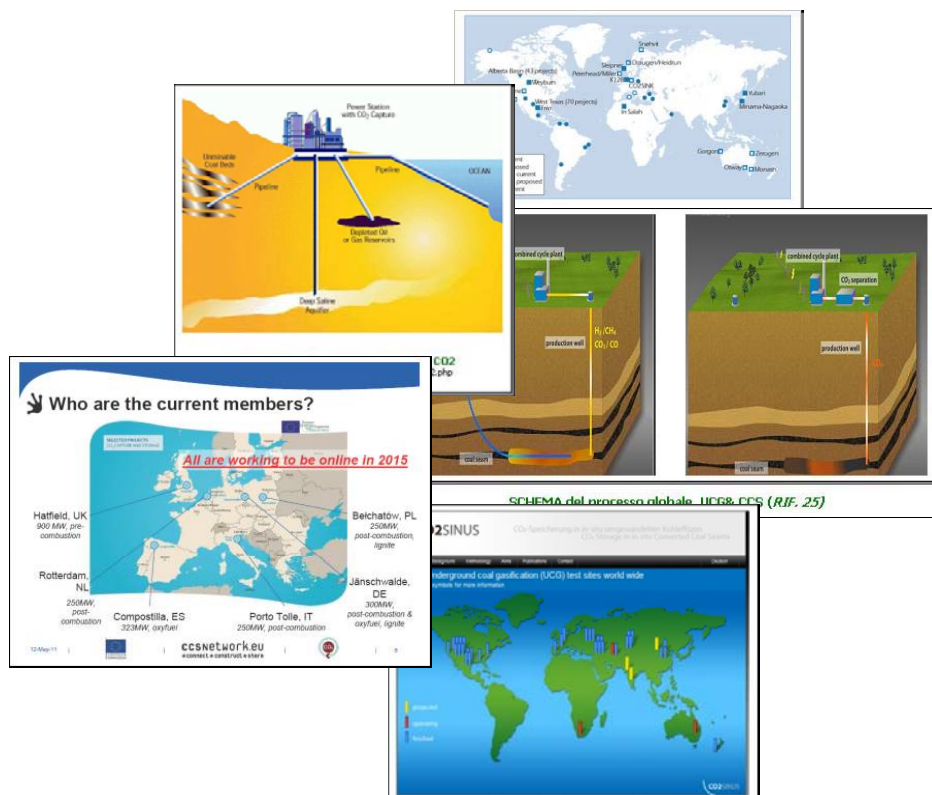
INFO da ISTITUZIONI E ORGANISMI INTERNAZIONALI 4

NEWS SUL WEB 6

CCS: la RICERCA 6

CCS: PROGETTI INTERNAZIONALI E NAZIONALI (PORTO TOLLE) 7

CCS e CARBONE: IL BACINO del SULCIS 8



CCS (Carbon Capture and Storage)

A che punto siamo?

Tiziana Zerlia SSC

Le premesse

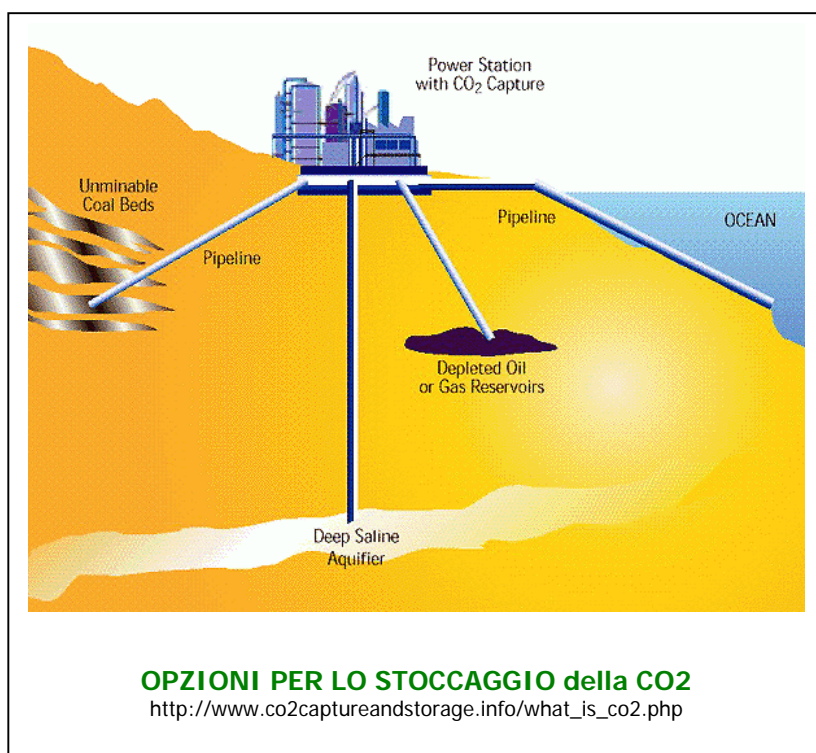
Tra le soluzioni che possono contribuire a rendere graduale e sostenibile il passaggio ad un'economia a minor intensità di carbonio, alcune coinvolgono direttamente – com'è ovvio - i **combustibili fossili** e puntano a ridurre le emissioni di gas serra legate al consumo di questi ultimi.

A tale proposito, da segnalare che l'industria dei *settori fossili* (olio, gas, carbone) ha da tempo messo in atto numerose **iniziative di riduzione delle emissioni** (GHG in particolare) in linea con gli impegni delineati dagli accordi di KYOTO - come ha documentato uno studio SSC ¹.

Altre soluzioni per **ridurre le GHG** puntano ad impiegare i combustibili fossili con **tecnologie più efficienti** (cogenerazione compresa).

Ciò riguarda, in particolare, le tecnologie per la **produzione di energia termoelettrica**^{2,3} (centrali termoelettriche) che rappresentano la fonte più rilevante di CO₂. **Migliorando l'efficienza**, si riducono i consumi di combustibile (e, dunque, le emissioni) a parità di unità di energia elettrica/termica prodotta.

Altra soluzione che - in situazioni *sito-specifiche* favorevoli - potrebbe rappresentare in prospettiva⁴ uno degli strumenti più efficaci per ridurre la CO₂ immessa in atmosfera - è la **Carbon Dioxide (CO₂) Capture and Storage (CCS)** — nota anche come *CO₂ sequestration* — che prevede di **catturare la CO₂ dai gas prodotti dalla combustione** dei combustibili, di comprimerla e di convogliarla e **stoccarla - in maniera permanente** - in formazioni geologiche profonde (FIGURA).



¹ "FONTI FOSSILI: INIZIATIVE/OPPORTUNITA' LEGATE A KYOTO _Meccanismi flessibili di Kyoto e altre iniziative internazionali di riduzione dei gas serra"

www.ssc.it/pdf/2008/meccanismi_opportunit_kyoto-rev_2-nov081.pdf

² Sulle tecnologie avanzate (CCT ecc.) per la produzione termoelettrica da **carbone e gas**, SSC aveva raccolto le info di maggior rilievo nei primi anni 2000: "Generazione elettrica: panorama delle tecnologie per un impiego più efficiente e più pulito di carbone e gas naturale"

www.ssc.it/pdf/2003/TECNOLOGIE_PULITE_ELETTTRICITA_GAS_CARBONE_CCT_TZ.pdf

³ Tra i documenti **più recenti (e completi)** sull'**efficienza degli impianti a carbone**, da segnalare:

"Power Generation from Coal _Measuring and Reporting Efficiency Performance and CO₂ Emissions"

- IEA Coal Industry Advisory Board (CIAB).

http://www.iea.org/ciab/papers/power_generation_from_coal.pdf

⁴ A proposito della maturità delle tecnologie nei vari anelli della filiera CCS:

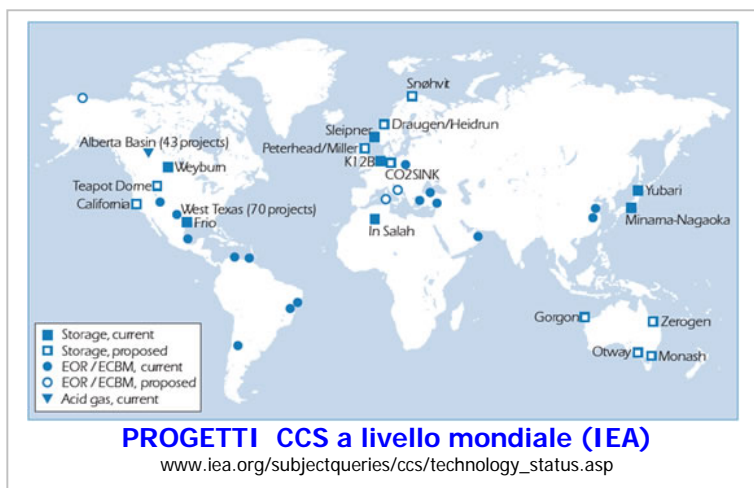
<http://www.greenfacts.org/en/co2-capture-storage/figtableboxes/1.htm>

Lo sviluppo e la valutazione dei **punti di forza/debolezza** delle tecnologie CCS lungo tutta la filiera, nel percorso che precede lo stadio di commercializzazione vera e propria, sono al centro del **dibattito scientifico e tecnologico** da anni, e tuttora *in progress*^{5,6,7,8,9}. Lo *stato dell'arte* sull'argomento a livello mondiale è contenuto in *IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage* (2005). (Una sintesi è disponibile al LINK www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/press_room/Leo_Meyer_-_Presentation.pdf).

Al di là delle considerazioni su costi, efficienza e impatti dei sistemi energetici integrati con tecnologie CCS, **l'impiego della CCS è vincolato – in primis** - alla garanzia della gestione dei rischi ambientali della tecnologia: i **siti identificati per la cattura e l'immagazzinamento della CO2** devono essere **selezionati e localizzati** in modo da garantire la sua *permanenza in loco*, devono cioè garantire che la **CO2 catturata non venga re-immessa in atmosfera** sia per evitare l'azzeramento degli obiettivi "climatici" di partenza sia per evitare ripercussioni locali a popolazione e/o ambiente (la CO2 non è tossica ma è asfissiante). Di fatto, molti **progetti CCS** in corso (v. paragrafi successivi) hanno l'obiettivo di **monitorare l'evoluzione della CO2 dopo la fase di sequestro nel sito di stoccaggio** (*onshore e offshore*).

A livello Europeo – dopo l'emanazione della **Direttiva CCS** (2009/31/CE) – già nel 2000 era stato avviato il programma **The European Climate Change Programme (ECCP)**¹⁰ a supporto della strategia Europea nel nuovo "scenario KYOTO". La tematica sulla **"cattura e confinamento di CO2"** è stata anche inserita nel **7th Research Framework Programme (2007-2013)**.

A tutt'oggi, la **conoscenza** sull'argomento da parte **dell'opinione pubblica** europea è piuttosto scarsa come risulta da un'indagine condotta da *Eurobarometer*¹¹ - ripresa da *European energy review*¹² - dedicata a sondare le conoscenze sulle tecnologie di **"Carbon dioxide (CO2) capture and storage (CCS)"** in 12 paesi europei (tra cui l'Italia). Dall'indagine emerge che **solo il 10%** degli intervistati dice di averne sentito parlare e di **sapere in che cosa consiste**; un ulteriore 18% ne ha sentito parlare ma non sa esattamente di cosa si tratta. Le risposte a maggior grado di consapevolezza e di conoscenza arrivano da Olanda (52%, livello di circa 5 volte la media), Germania (13%) Finlandia (12%) e UK (11%).



⁵ "PUTTING CARBON BACK INTO THE GROUND" IEA 2001 http://www.ieahg.org/docs/general_publications/putback.pdf

⁶ - White, C.M.; Strazisar, B.R.; Granite, E.J.; Hoffman, J.S.; Pennline, H.W. 2003 *Critical Review: Separation and Capture of CO2 from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations—Coalbeds and Deep Saline Aquifers*; *J. Air & Waste Manage. Assoc.* **2003**, *53* (6), 645-715.

- White, C.M.; Strazisar, B.R.; Granite, E.J.; Hoffman, J.S.; Pennline, H.W. *Separation and Capture of CO2 from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations: A Summary of the 2003 Critical Review*; *EM* **2003**, *8* (6), 29-34.

- J. C. Chow and J. G. Watson, A. Herzog, S. M. Benson, G. M. Hidy, W. D. Gunter, S. J. Penkala, C.M. White, *Separation and Capture of CO2 from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations - CRITICAL REVIEW DISCUSSION-* *J. Air & Waste Manage. Assoc.* – OCTOBER **2003**, 1172-1182n

<http://secure.awma.org/journal/pdfs/2003/10/2003critrevdisc.pdf>

⁷ IPCC *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage* (2005).

<http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/special-report-on-carbon-dioxide-capture-and-storage>

⁸ What is CO2 Capture and Storage? <http://www.iea.org/subjectqueries/cdcs.asp>

⁹ Geologic Storage Formation Classifications: *Understanding Its Importance and Impacts on CCS Opportunities in the United States*, September 2010 _ National Energy Technology Laboratory www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/Geologic_Storage.pdf

¹⁰ www.ec.europa.eu/environment/climat/ccs/eccp1_en.htm

¹¹ http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_364_fact_it_en.pdf

¹² http://www.europeanenergyreview.eu/site/pagina.php?id=3001#artikel_3001

E oggi, a che punto siamo?

Ecco un **aggiornamento**
su aspetti di interesse generale disponibili *onLine*

INFO DA ISTITUZIONI E ORGANIZZAZIONI INTERNAZIONALI

EUROPA

La COMMISSIONE EUROPEA ha intrapreso numerose iniziative. *In progress* c'è anche l'**implementazione della DIRETTIVA CCS** (Implementation of the CCS **Directive 2009/31/CE**)¹³.

Sul sito: **EUROPE CLIMATE ACTION** (all'11 Maggio 2011) sono on-line i documenti discussi con gli esperti degli STATI MEMBRI e con i principali soggetti coinvolti compresa l'INDUSTRIA, la comunità SCIENTIFICA, le ORGANIZZAZIONI no profit .

I documenti discussi:

| Document | Subject |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Guidance document 1 [1.15 MB] | CO2 Storage Life Cycle Risk Management Framework |
| Guidance document 2 [1.76 MB] | Characterisation of the Storage Complex, CO2 Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures |
| Guidance Document 3 [557 KB] | Criteria for Transfer of Responsibility to the Competent Authority |
| Guidance Document 4 [516 KB] | Financial Security (Art. 19) and Financial Mechanism (Art. 20) |

In **ITALIA**, il Consiglio dei Ministri ha approvato - in via provvisoria - in data 23 marzo 2011, il decreto di recepimento della Direttiva Europea 2009/31/CE del 23 aprile 2009 che definisce un quadro giuridico comune a livello europeo (la conclusione dell'**iter di recepimento** - che nei Paesi Membri doveva concludersi entro il 25 giugno 2011 - è **prevista per l'Italia per il 10 luglio con il parere delle commissioni riunite Industria e Ambiente alle quali il testo è stato assegnato (il 31/5)**).

IEA

Sull'argomento, la IEA ha da poco pubblicato una *Review* ("**Carbon Capture and Storage Legal and Regulatory Review (CCS Review)**")_ *MAGGIO 2011*) che ha aggiornato un documento precedente.
www.iea.org/Papers/2011/ccs_legal.pdf

La CCS REVIEW inquadra gli **aspetti legali e regolatori** sulla base della documentazione trasmessa direttamente da 28 governi e da 9 organizzazioni CCS internazionali.

Sugli **aspetti legali**, si veda anche il **precedente report** di IEA: *Legal Aspects of Storing CO2- Update and Recommendations* (www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/legal_aspects.pdf)

¹³ ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs_implementation_en.htm

Global CCS Institute

L'Istituto - organizzazione non-profit - al maggio 2011 conta circa 300 membri (governi e organizzazioni della comunità internazionale).

Operativo dal giugno 2009, gode di finanziamenti del Governo Australiano per i primi 4 anni – ha, tra altri obiettivi, la raccolta e la diffusione delle conoscenze e delle esperienze necessarie per garantire che la tecnologia CCS possa contribuire in maniera significativa alla riduzione delle emissioni di gas serra a livello globale.

Il **Global CCS Institute** ha recentemente pubblicato una sintesi dei **manuali e delle linee guida pubblicate in materia di carbon dioxide storage**:

*"A review of **existing best practice manuals** for carbon dioxide storage and regulation_ A desktop study prepared for the Global CCS Institute by CO2CRC" del marzo 2011.*

Per ciascuna pubblicazione, viene fornita una sintesi ed evidenziati punti di forza e di debolezza o carenze individuate¹⁴.

Nel marzo scorso, il Global CCS Institute ha pubblicato il **rapporto 2010** sulle attività intraprese a livello globale in ambito CCS e sulle opportunità e sulle sfide per i progetti a larga scala.

<http://www.globalccsinstitute.com/resources/publications/global-status-ccs-2010>

USGS

Da segnalare – ad es. - la scheda di sintesi dove vengono discussi alcuni punti chiave delle problematiche associate alla **"geologic carbon sequestration"**.¹⁵

pubs.usgs.gov/fs/2010/3122/

GAO (United States Government Accountability Office)

Nel **Report to Congressional Requesters (giugno 2010)**, il GAO evidenzia punti di forza e criticità delle tecnologie chiave per la riduzione della CO2 **nello scenario USA**: vengono **confrontate le tecnologie ad elevata efficienza e le CCS** in termini di (1) maturità delle tecnologie; (2) potenzialità e sfide per un impiego commerciale; (3) possibili implicazioni legate nel caso di rinuncia a tali tecnologie.

La **base di partenza** è una numerosa serie di **report** di **istituzioni di rilievo** (DOE's national laboratories; National Academy of Sciences (NAS); International Energy Agency (IEA); Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Global CCS Institute; National Coal Council e dati **della letteratura scientifica**).

Il rapporto: *COAL POWER PLANTS_ Opportunities Exist for DOE to Provide Better Information on the Maturity of Key Technologies to Reduce Carbon Dioxide Emissions.* www.gao.gov/new.items/d10675.pdf

EPA&DOE

EPA&DOE co-gestiscono la **Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage** creata dal Presidente USA OBAMA nel febbraio 2010. La TASK_FORCE comprende 14 Executive Departments and Federal Agencies.

La Interagency Task Force ha redatto un rapporto la cui **sintesi "Fact Sheet for the Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage"** è disponibile al LINK:

<http://www.epa.gov/climatechange/downloads/CCS-TF-FactSheet.pdf> (AGOSTO 2010)

Il RAPPORTO (dell'agosto 2010) è disponibile sui siti web di DOE e EPA:

www.fe.doe.gov/programs/sequestration/ccs_task_force.html

www.epa.gov/climatechange/policy/ccs_task_force.html (Executive Summary)

¹⁴ www.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publication_20110420_best-practice-manuals-co2-storage-reg.pdf

¹⁵ Duncan, D.W., and Morrissey, E.A., 2011, *The concept of geologic carbon sequestration: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-3122*, 2 p.

Carbon Capture Journal

INFORMAZIONI e aggiornamento a tutto campo: *Separation and Capture; Storage; Feature Articles; Projects and Policy*. Copre aspetti legati allo sviluppo della tecnologia, aspetti legali, politica, database con lo **status dei progetti dedicata all'evoluzione dell'INTERA FILIERA CCS** (carbon capture, transport and storage).

E' una pubblicazione bimensile - disponibile a partire dal gennaio-febbraio 2008 - **gratuita** (in pdf) previa registrazione sul sito. Nel 2010 i lettori registrati erano 6000.

www.carboncapturejournal.com/nextissue.php

Osservatorio CCS

Dal sito dell'Osservatorio promosso da *Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile*:

"L'Osservatorio CCS costituisce una sede, esperta e indipendente, per la promozione della cattura e del sequestro della CO₂ (CCS) con la partecipazione degli *stakeholder*, con incontri pubblici, seminari di approfondimento, attività di comunicazione, formazione e informazione. Raccoglie **informazioni e documentazione sugli aspetti tecnologici della CCS, sullo sviluppo della ricerca e delle sue applicazioni, sullo sviluppo dei progetti in corso a livello europeo e internazionale**. Realizza, anche in collaborazione con altri soggetti esperti, ricerche e studi sulle problematiche della CCS. Costituisce una sede permanente dove si realizzano confronti, scambi di valutazioni e di analisi, con incontri periodici fra soggetti istituzionali, enti di ricerca e imprese interessate alla CCS. Effettua il **monitoraggio delle normative nazionali ed europee e dei trattati e accordi internazionali sulla CCS**. Sviluppa l'interlocuzione con le istituzioni locali, regionali, nazionali ed europee. "

www.osservatorioccs.org/

A livello nazionale da segnalare ad es.:

Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂ (2009) RSE - Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A

18 i documenti disponibili¹⁶. I titoli:

Cattura post-combustione della CO₂ con sorbenti solidi: modello di processo

Co-produzione di carburanti sintetici: aggiornamento dello stato dell'arte e implementazione di un modello di configurazione impiantistica

METHOD-RDS: Generatore di modelli 3D per serbatoi di stoccaggio CO₂

Membrane ione-conduttrici per la separazione dell'ossigeno: definizione delle collaborazioni e impostazione del programma sperimentale

Monitoraggio delle deposizioni di mercurio e valutazione della sua concentrazione in pesci di laghi potenzialmente sensibili

Pressurized oxy-coal combustion: strategie di controllo di un impianto

Public Acceptance e analisi della normativa europea sul Sequestro Geologico della CO₂ (CCS)

Schemi impiantistici innovativi: identificazione delle configurazioni impiantistiche con cattura della CO₂ per le quali determinare le prestazioni, mediante modellazione.

¹⁶ www.rse-web.it/Documenti/rapportip.aspx?idP=424&idT=1&idN=2095

Sequestro della CO2: Prove sperimentali sulle test facility di laboratorio per la caratterizzazione di materiali per lo stoccaggio della CO2

Sequestro della CO2: azioni e obiettivi di R&D per rimuovere barriere tecniche o economiche nella definizione di un processo ottimale per la mineralizzazione della CO2 "a bocca di centrale".

Sequestro della CO2: caratterizzazione geologica dei siti di stoccaggio e modellazione numerica del comportamento CO2 di tipo fluidodinamico/geochimico

Sequestro della CO2: misure sperimentali del flusso naturale della CO2 all'interfaccia sedimento-acquamarina, mediante camera bentina

Sequestro della CO2: modellazione geomeccanica

Sequestro della CO2: valutazione dell'incidenza della corrosione dei materiali per il trasporto, in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche della CO2 e progettazione di un sistema di prova

Sistemi di prova e tecniche di controllo non distruttivo per lo studio e il rilievo dei fenomeni di degrado dei rivestimenti di turbine a gas esercite in ambienti aggressivi

Sviluppi di membrane di Palladio per l'utilizzo in processi di Water Gas Shift: dati sperimentali e simulazioni numeriche

Trasporto, distribuzione ed utilizzo di idrogeno puro ed in miscele: verifica di compatibilità e prestazioni di componenti

Valutazione di alcune tecniche per l'impiego sostenibili dei combustibili fossili

(Dal sito RSE _ giugno 2011)

(Sulle RICERCHE in corso, vedi anche l'ultimo paragrafo: *CCS e BACINO del SULCIS*)

CCS: progetti internazionali e nazionali (PORTO TOLLE)

Con la piattaforma europea ZEP ([European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants¹⁷](#)), la Commissione ha avviato nel 2005 un programma europeo operativo che vede coinvolte utilities europee, compagnie petrolifere, produttori di tecnologia, mondo della scienza e mondo accademico, associazioni ambientaliste non governative. Tra gli obiettivi di ZEP: puntare a raggiungere lo stadio commerciale per le tecnologie CCS.



In FIGURA: la mappa dei progetti CCS FINANZIATI a livello europeo ¹⁸

Selected CCS projects

The six projects are:

- [Belchatow](#) (Poland)
- [Compostilla](#) (Spain)
- [Hatfield](#) (UK)
- [Janschwalde](#) (Germany)
- [Porto Tolle](#) (Italy)
- [Rotterdam](#) (The Netherlands)

ec.europa.eu/energy/publications/doc/2010_eepr_brochure_co2_en.pdf

¹⁷ http://www.zeroemissionsplatform.eu/projects/index.php?option=com_projects&view=xdetails&id=6&Itemid=142

¹⁸ [http://www.ccsnetwork.eu/uploads/publications/overview_of_the_ccs_project_network_-_simon_bennett_\(ec\).pdf](http://www.ccsnetwork.eu/uploads/publications/overview_of_the_ccs_project_network_-_simon_bennett_(ec).pdf)

Va sottolineato che i progetti europei CCS rientrano nell'area di R&S a supporto del programma **European Climate Change Programme (ECCP)** - più sopra citato⁹.

Tra le raccomandazioni UE : "Storage is an essential component of the CCS chain and provides critical considerations in the **CCS decision-making process and planning**. The experience and knowledge generated through the existing and planned demonstration projects until 2020 **will serve to inform decisions and reflect upon the technologies and methodologies proposed...**"¹⁹

Nell'ambito del progetto CCS di PORTO TOLLE, ENEL ed ENI hanno sottoscritto un *Accordo strategico* di collaborazione per lo sviluppo di tecnologie per la cattura, il trasporto e il sequestro geologico della CO₂ e per accelerare lo sviluppo della CCS. L'accordo prevede **trasporto e stoccaggio della CO₂ ("catturata" a Brindisi)** presso il sito di **Cortemaggiore** (Piacenza), dove sarà **"iniettata e immagazzinata"** nel sottosuolo in un giacimento di gas esaurito e già utilizzato per lo stoccaggio di metano.

Il progetto costituisce un prototipo **precompetitivo per la realizzazione di quello di PORTO TOLLE – CCS DEMO PLANT** su scala industriale con **stoccaggio offshore in acquifero profondo** - che, a sua volta, rappresenta un test esplorativo sito-specifico.

Il supporto finanziario europeo (*EEPR funding*) è di circa 100 milioni di euro.

(http://microsites.ccsnetwork.eu/microsite_files/uploads/docs/8-2.pdf;

http://microsites.ccsnetwork.eu/microsite_files/uploads/docs/8-1.pdf;

<http://www.ccsnetwork.eu/index.php?p=newsDetail&id=36&newsId=10>)

Nel progetto complessivo, sono previsti nel dettaglio:

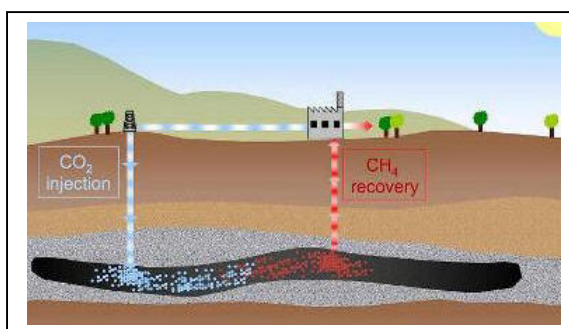
- la costruzione del primo **progetto pilota** integrato in Italia che unisce il progetto di ENEL per la **cattura post-combustione della CO₂ a Brindisi** - che entrerà in esercizio dal 2012 - e il progetto pilota di **iniezione in un giacimento esausto di gas a Cortemaggiore (Piacenza)**.
- La realizzazione di uno studio dettagliato **di fattibilità** per la costruzione di un **impianto dimostrativo** integrato su larga scala relativo alla centrale di **Porto Tolle** (v sito <http://www.zeportotolle.com/>)
- La valutazione congiunta del **potenziale di stoccaggio della CO₂ in Italia**.

Il progetto **"Cortemaggiore"** ha avuto nell'aprile **2011 parere positivo del Ministero Ambiente (VIA)** previo rispetto di alcune prescrizioni^{20,21}.

CCS e CARBONE: il BACINO del SULCIS

Risultati interessanti - (anche) in un'ottica di rilancio del **bacino del SULCIS** - potrebbero derivare da un progetto pilota **centrale-miniera** che integra la tecnologia **ECBM** (Enhanced Coal Bed Methane) e la **cattura e iniezione della CO₂** .

Il progetto (SOTACARBO)^{22,23,24} prevede: un sistema di cattura della CO₂ prodotta da una centrale a carbone (350/450 MW in località Nuraxi Figus, Carbonia-Iglesias); la separazione della CO₂; il suo convogliamento nel giacimento dove andrebbe a spiazzare il gas intrappolato nei micropori del carbone (prevalentemente metano) . Il risultato : si aumenta il grado di **produttività del giacimento** (si recupera energia pregiata); si **evita l'emissione in atmosfera di metano** (gas serra più potente della CO₂); si dispone *in loco* di un sito per **intrappolare la CO₂** della centrale. A tale proposito, di rilievo il documento sullo "Studio preliminare per l'applicazione di tecniche ECBM nel bacino carbonifero del Sulcis"²⁵ .



¹⁹ (*Recommendations for research to support the deployment of CCS in Europe beyond 2020*

www.zeportotolle.com/site/downloadPdf/id/4

²⁰ http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/allegati/Decreti_VIA/2011/decreto_15_04_11_163.pdf

²¹ <http://www.zeroemission.eu/ze/site/news.php?id=12079>

²² http://energia24club.it/articoli/0,1254,51_ART_142072,00.html;

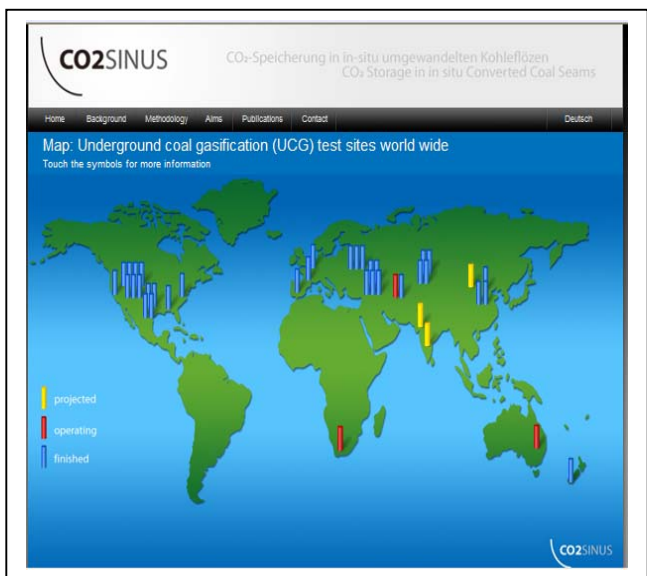
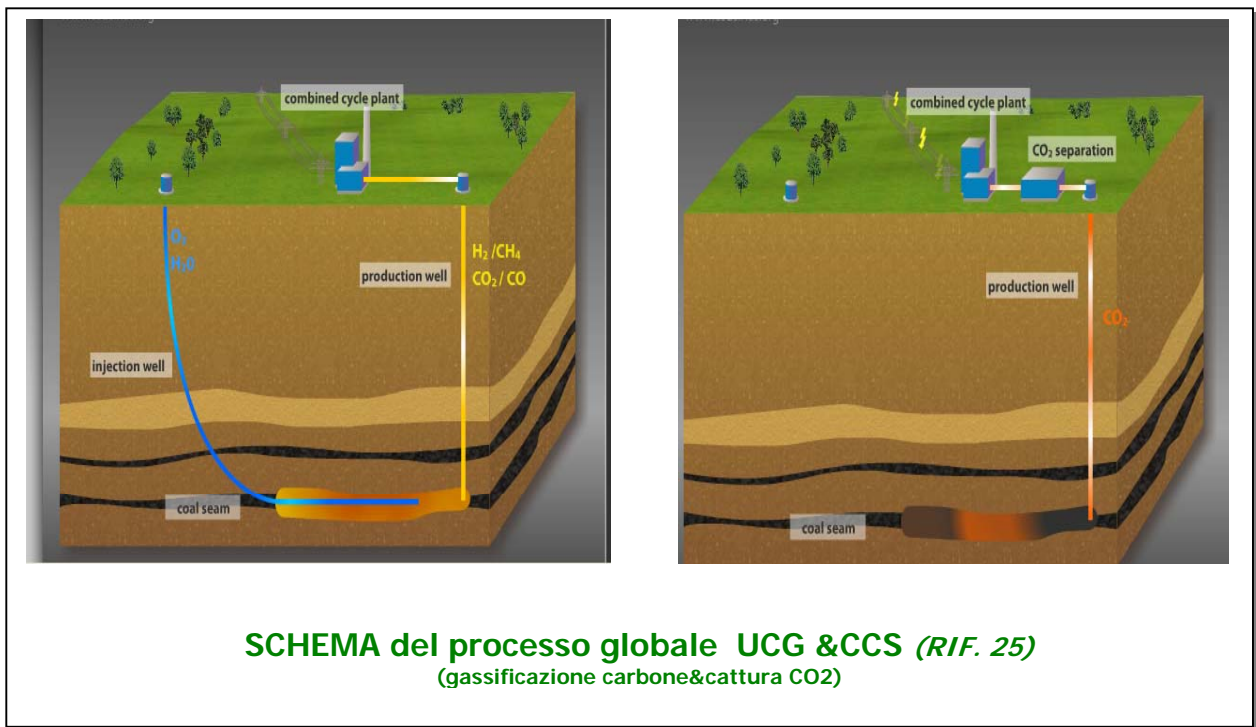
²³ http://energia24club.it/articoli/0,1254,51_ART_140372,00.html

²⁴ <http://www.sotacarbo.it/index.php?sezione=pagine&cat=Le Attività&id=25>

²⁵ (Report RSE/2009/151) www.sede.enea.it/attivita_ricerca/energia/sistema_elettrico/Centrali_carbone_costi/RSE151.pdf

Il ricorso alle **miniere di carbone** per la CCS è oggetto di ricerca in molti paesi.

Molto promettente sembrerebbe l'**integrazione tra UGC** (gassificazione sotterranea del carbone_ *Underground Coal Gasification*) e **CCS**: nella cavità prodotta dalla gassificazione del carbone si raccoglierebbero direttamente i sottoprodotti solidi del processo UGC (es. CENERI); il gas prodotto dalla gassificazione (principalmente H₂, CH₄, CO, CO₂), convogliato in superficie, andrebbe ad alimentare una centrale a ciclo combinato. La CO₂ del processo complessivo verrebbe immessa nel giacimento: le emissioni sarebbero minimizzate e, la resa del giacimento massimizzata^{26, 27} (schema semplificato in FIGURA).



²⁶ http://www.co2geonet.com/UserFiles/file/Rowena/8-ECBM%20and%20UCG_S%20Durucan.pdf

²⁷ <http://www.co2sinus.org/background.html>