



Ricerca di Sistema elettrico

# International Sulcis Summer School on CCS Technologies 2016: sistemi di comunicazione e formazione on line

A. Corleto, A. Trolese, P. Deiana, C. Bassano

INTERNATIONAL SULCIS SUMMER SCHOOL ON CCS TECHNOLOGIES 2016: SISTEMI DI COMUNICAZIONE E  
FORMAZIONE ON LINE

A. Corleto, A. Trolese, P. Deiana, C. Bassano (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto: Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'uso di combustibili fossili

Obiettivo: Parte B – Comunicazione e diffusione risultati

Responsabile del Progetto: F.R. Picchia ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 LE TECNOLOGIE DEL WEB 2.0: CMS, LMS E SOCIAL NETWORK.....	6
3 IL CMS PLONE.....	8
4 IL SITO INTERNET .....	10
5 HOME PAGE .....	11
6 STRUTTURA E PAGINE TEMATICHE .....	14
7 IL FORM ISCRIZIONE.....	19
8 AREA RISERVATA.....	20
9 I “NUMERI” DEL SITO .....	21
10 LA PIATTAFORMA E-LEARNING .....	22
11 MOODLE.....	23
12 METODOLOGIA DIDATTICA E APPRENDIMENTO COLLABORATIVO .....	23
13 I CORSI E-LEARNING DELLA SUMMER SCHOOL.....	25
14 IL CORSO PER L’EDIZIONE 2016.....	26
ALLEGATI.....	40
WORKGROUPS WIKIS: GROUP 1 CO2 CAPTURE .....	41
WORKGROUPS WIKIS: GROUP 2 CO2 UTILIZATION .....	53
WORKGROUPS WIKIS: GROUP 3 CO2 GEOLOGICAL STORAGE .....	60
WORKGROUPS WIKIS: GROUP 4 CCS: ECONOMIC ISSUES.....	68
POST-COMBUSTION CO2 CAPTURE TECHNOLOGIES .....	75

## Sommario

Il presente rapporto è relativo alla descrizione delle attività di comunicazione, diffusione e formazione on line effettuate dall'ENEA in occasione della quarta edizione della International Sulcis Summer School on CCS Technologies, che si è svolta dal 28 giugno al 1° luglio 2016 presso il Centro Ricerche Sotacarbo di Carbonia, in Sardegna.

Obiettivi della Sulcis CCS Summer School sono la costituzione di un centro stabile di formazione e ricerca sulle tecnologie di cattura e confinamento della CO<sub>2</sub> che dia continuità nel tempo alle attività didattiche e di sperimentazione; la costituzione di una rete di esperti sulla tematica che lavori congiuntamente scambiandosi know how ed esperienze anche su progetti diversi; l'istituzione di un polo di informazione sulle tecnologie CCS; la diffusione di informazioni alla popolazione su tale tecnologia in un'ottica di public participation.

Organizzata da ENEA, Sotacarbo e Università di Cagliari (Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali), in collaborazione con l'International Energy Agency Clean Coal Center (IEA CCC) e il CO<sub>2</sub>GeoNet, con il fondamentale supporto di università, istituti di ricerca e importanti aziende del settore, la Scuola ha fornito a 37 studenti universitari, laureati e dottorandi, attraverso lezioni in aula, attività formative sul campo e on line, una visione più ampia possibile di tutte le problematiche che ruotano attorno a un tema che è oggi di pressante attualità, come quello della riduzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera, e informazioni e documentazione sugli aspetti tecnologici della Carbon Capture and Storage (CCS), sullo sviluppo della ricerca, delle sue applicazioni, sullo stato di attuazione dei progetti in corso a livello europeo e internazionale.

La materia trattata ha richiesto, per i giovani universitari e ricercatori che hanno frequentato la scuola, l'acquisizione e l'approfondimento di competenze specifiche di settore (di ingegneria, geologia, chimica, scienze sociali) e, al contempo, l'acquisizione di un metodo multidisciplinare, in grado di fare sintesi delle diverse discipline, per sviluppare un approccio d'insieme ai molteplici aspetti che la tematica implica.

## 1 Introduzione

Il piano per la comunicazione via web e la formazione on line è stato sviluppato tenendo conto delle diverse tipologie di contenuti forniti e dell'eterogeneità dei soggetti destinatari: è stato necessario agire, quindi, su un fronte informativo articolato su più livelli, per garantire la massima diffusione e conoscenza delle informazioni e dei risultati raggiunti.

La strategia individuata per la comunicazione e formazione sul web si è avvalsa dunque dell'utilizzo di diversi strumenti, riconducibili a modalità di comunicazione sia tradizionali che innovative, al fine di raggiungere i destinatari sulla base del loro grado di coinvolgimento ed interesse.

Gli strumenti che si sono utilizzati per la realizzazione degli obiettivi del piano di comunicazione sono indicati nell'elenco seguente:

- sito internet [www.sulciscssummerschool.it](http://www.sulciscssummerschool.it)
- social network
  - Twitter: account [@SulcisCCSchool](https://twitter.com/SulcisCCSchool);
  - Facebook: pagina [facebook.com/SulcisCcsSummerSchool](https://facebook.com/SulcisCcsSummerSchool)
- piattaforma e-learning <http://elearning.enea.it>

L'obiettivo era quello di riuscire a coniugare informazione, formazione e ricerca nell'ambito delle tecnologie di Carbon Capture and Storage, con le nuove strade aperte dal web e dall'e-learning 2.0, ponendo l'accento sulla costruzione comune della conoscenza, approccio che potrebbe avere un impatto dirompente sui modelli e processi di apprendimento, formale, non formale e informale, sia a livello individuale che organizzativo, e potrebbe fornire una chiave di volta per reinterpretare la metodologia di approccio alla ricerca scientifica, nella direzione auspicabile del collaborative learning e del collaborative-research.

## 2 Le tecnologie del web 2.0: CMS, LMS e social network

Il concetto di Web 2.0 è stato utilizzato per la prima volta nel 2004 durante una conferenza tra Tim O'Reilly e MediaLive International per indicare un nuovo modo di pensare alla creazione e alla condivisione delle risorse del Web: rispetto al web statico il “nuovo metodo” prevede la progressiva transizione al web inteso come desktop personale, la crescita della condivisione tra gli utenti di diverse risorse da loro create, la nascita di nuovi sistemi di formazione, ricerca e classificazione e lo sviluppo di sistemi di social networking.

Il Web 2.0 rappresenta un nuovo approccio alla realizzazione di applicazioni web che favorisce un'aggregazione dei contenuti maggiormente dinamica, interattiva e partecipativa grazie all'uso di diverse tecnologie e in differenti ambiti applicativi. L'aspetto specifico è che queste tecnologie permettono ai dati di diventare indipendenti dal sito in cui sono stati creati, facilitandone la diffusione e il riuso. Queste tecnologie attribuiscono anche un crescente potere all'utente, che esce dal suo ruolo passivo di mero fruitore di contenuti per trasformarsi in attore del processo di costruzione delle pagine web. E' per questo motivo che risulta particolarmente importante, nell'ottica sopra esposta, la scelta degli strumenti e delle tecnologie con cui “fare web” e condividerlo con gli utenti. Fin dal primo strumento che è possibile utilizzare per la creazione di un sito internet: il cosiddetto CMS o Content Management System.

Ma cos'è un CMS? Secondo una delle tante definizioni che si trovano sul web, raggiungibile al link <http://www.contentmanager.eu.com/history.htm>, “un CMS è uno strumento che consente ad una grande varietà di collaboratori tecnici (centralizzati) e non-tecnici (decentralizzati) di creare, modificare, gestire e infine pubblicare un gran numero di contenuti (come testi, oggetti grafici, video e così via) mentre questi sono controllati da un insieme di regole centralizzate, processi e controlli di flusso che assicurano un'apparenza web validata e coerente”.

Un Content Management System permette ad un utente abilitato di inserire o aggiornare i contenuti di un settore o di un'area del sito, attraverso la gestione di un sistema guidato e personalizzato di controlli ed approvazioni (workflow) da parte di figure diverse:

- l'amministratore, che sceglie gli autori e gli editori, assegnando loro le aree su cui lavorare,
- l'autore, che inserisce i contenuti nelle aree di propria competenza,
- l'editore, che approva, modifica, rifiuta e pubblica le pagine approvate.

Le principali caratteristiche di un sistema di gestione dei contenuti comprendono:

- gestione di interfacce basate su browser web per l'aggiornamento delle pagine,
- utilizzo di template grafici per la presentazione dei contenuti,
- gestione di ruoli distinti di utenti e di specifiche funzionalità di workflow,
- database per l'archiviazione di immagini e contenuti testuali e grafici,
- reperimento ed integrazione con contenuti provenienti da altri sistemi informatici,
- gestione di mailing list e messaggistica,
- gestione e classificazione di link, notizie, faq, eventi,
- funzionalità di interrogazione e ricerca,
- personalizzazione dei criteri grafici di presentazione dei contenuti.

Sempre nel 2004, Stephen Downes utilizzò l'espressione e-learning 2.0 per indicare un nuovo tipo di apprendimento basato sul Web 2.0, in opposizione ad una concezione di e-learning basata sulla visione trasmissiva della conoscenza, sull'utilizzo esclusivo delle piattaforme di Learning Management System (LMS). E' in questo contesto che la piattaforma, come setting didattico artificiale, viene affiancata dagli

strumenti di social networking per il recupero di modalità d'apprendimento più spontanee ed informali, tipiche della vita quotidiana.

MA cos'è un LMS? E' la piattaforma applicativa che permette l'erogazione dei corsi in modalità e-learning per contribuire alla realizzazione delle finalità previste dal progetto educativo dell'istituzione proponente. In linea generale, il LMS supporta tutte le fasi dell'azione formativa:

- analisi competenze e fabbisogni formativi,
- progettazione,
- realizzazione e personalizzazione o importazione dei contenuti,
- erogazione,
- valutazione e monitoraggio.

In altri termini, una piattaforma consente di gestire gli utenti, i contenuti e gli oggetti didattici, le attività, le interazioni tra partecipanti, il monitoraggio e le valutazioni.

Gli strumenti che hanno caratterizzato maggiormente l'esplosione del Web 2.0 sono i cosiddetti social network (Facebook, Twitter, Instagram...). Anche il mondo della ricerca scientifica è obbligato a fare i conti con i social network. L'informazione e la formazione, oggi in maniera sempre più evidente, passano anche e soprattutto attraverso le varie piattaforme di condivisione informale delle notizie, come Twitter o Facebook. La natura dell'informazione scientifica e il rapporto fra utente e scienziato cambia se si utilizza un nuovo mezzo di comunicazione. L'impatto del mondo digitale, infatti, non ha semplicemente introdotto nuovi strumenti nella comunicazione scientifica, ma ne ha letteralmente mutato la natura e, insieme, i modi della sua fruizione. Per questo motivo si è scelto di affiancare agli strumenti di informazione già esistenti, come il sito internet o la pagina Facebook della Sulcis CCS Summer School, anche un profilo Twitter, il più accreditato e utilizzato strumento per il micro-blogging diffuso sul web. La possibilità di diffondere messaggi sulle piattaforme di micro-blogging esalta la possibilità di condividere e acquisire informazioni in tempo reale, creando canali interattivi in cui si attiva la trasmissione delle notizie in un contesto collaborativo, formando gruppi e comunità intorno a un medesimo tema. Il profilo Twitter della Scuola è stato collegato alla pagina Facebook e pubblica quotidianamente decine di notizie sulla tematica CCS: informazioni su eventi, articoli e post di istituzioni, aziende, università, enti di ricerca di tutto il mondo a vario titolo interessati alla materia.

L'insieme di tutti questi strumenti, utilizzati in maniera coordinata e combinata, rispecchia il cambiamento avvenuto negli ultimi anni nel panorama delle ICT e, parallelamente, nello scenario di riferimento per quanto attiene ai modelli teorici sull'apprendimento, oltre che indirizzare il processo di formazione cui la Summer School sulle tecnologie CCS mira, verso un modello di apprendimento collaborativo in cui ogni individuo possa percepire la significatività della propria collaborazione, sentirsi una risorsa utile e valorizzare se stesso.

### 3 Il CMS Plone

Nella scelta del Content Management System da utilizzare per lo sviluppo di un sito web, in generale, e nello specifico del sito dell'International Sulcis Summer School on CCS Technologies, vari sono i fattori da considerare. In primo luogo, la scelta tra soluzioni Open Source e soluzioni proprietarie. Nel nostro caso ci si è orientati su una soluzione Open Source, in coerenza con la Direttiva del 19 dicembre 2003 "Sviluppo ed utilizzazione dei programmi informatici da parte delle pubbliche amministrazioni" (G.U. n. 31 del 7/2/2004), con la quale si forniscono alle pubbliche amministrazioni indicazioni e criteri tecnici e operativi per gestire più efficacemente il processo di predisposizione o di acquisizione di programmi informatici, e che invita, tra i criteri tecnici di comparazione, a privilegiare "soluzioni informatiche che, basandosi su formati dei dati e interfacce aperte e standard, assicurino l'interoperabilità e la cooperazione applicativa tra i diversi sistemi informatici della pubblica amministrazione".

In secondo luogo, va valutata la rispondenza alle proprie esigenze di determinate caratteristiche come:

- facilità di installazione e utilizzo,
- flessibilità,
- possibilità di estensione e integrazione,
- accessibilità dell'output prodotto,
- "forza" della community di riferimento,
- search engine optimization
- sicurezza del prodotto

La scelta, dunque, è ricaduta sul software Plone soprattutto per la sua affidabilità, flessibilità e la community di riferimento, molto attiva e partecipe nello sviluppo e sostegno di un vero progetto collaborativo e realmente "open".

Plone è un software a sorgente aperto (open source) licenziato sotto i vincoli della General Public License (GPL), diffusissima licenza open source che consente a chiunque il libero (ri)uso del codice sorgente. Questo significa, in termini concreti, che si può esaminare il codice sorgente di Plone in ogni suo aspetto, modificandolo secondo le proprie necessità, e non ci sono onorari da pagare o licenze che scadono e tutto il codice è visibile. Da questa filosofia open source deriva il fatto che Plone ha una grande base di utilizzatori e molti sviluppatori, esperti di usabilità, traduttori, tecnici commentatori e designer grafici che fanno lavorare sul prodotto.

Queste le altre principali caratteristiche del prodotto<sup>[1]</sup>:

- Pacchettizzato: Plone dispone di pratici programmi di installazione per Windows, Linux e Mac. Assieme a questi installer vengono forniti anche altri prodotti third-party e add-ons. La qualità nei rilasci di questi prodotti rende facili l'installazione e la manutenzione.
- Internazionale: l'intera interfaccia utente di Plone è tradotta in più di 20 lingue ed è facile inserire una nuova traduzione.
- Usabile: Plone consente una eccellente esperienza da parte dell'utente con un alto livello di usabilità ed accessibilità. Non si tratta solamente di presentare un buon HTML ma di un aspetto che parte dalle fondamenta Plone. L'interfaccia di Plone è completamente compatibile con gli standard industriali e governativi (WAI-AAA e U.S. Section 508). Ciò permette, per esempio, alle persone con disfunzioni visive di usare comunque i siti costruiti con Plone. Questa caratteristica ha un beneficio inatteso e correlato: le pagine sono indicizzate molto meglio dai motori di ricerca come Google.

---

<sup>1</sup> Comunità Plone Italiana, "Plone Book Versione italiana", pp. 10-12, <http://www.plone.org>



- **Aspetto personalizzabile:** Plone separa il contenuto dai modelli effettivamente utilizzati per presentarlo, chiamati in gergo skin. Gli skin sono scritti con un eccellente sistema di modellazione HTML, lo Zope Page Template (ZPT) e un largo uso del Cascading Style Sheets (CSS). Anche con una scarsa conoscenza di Plone è possibile applicare skin multipli al proprio sito, dargli aspetti diversi e personalizzarne completamente l'apparenza.
- **Registrazione utenti e personalizzazione:** Plone offre un completo sistema di registrazione utenti. Gli utenti sono registrati nel sito Plone con i loro nome utente e password e qualsiasi altra informazione fosse necessario aggiungere all'utente. È possibile quindi personalizzare completamente l'interfaccia dell'utente. Inoltre, con degli add-ons, è possibile usare informazioni preesistenti sugli utenti, provenienti da fonti diverse come database relazionali, Lightweight Directory Access Protocol (LDAP), Active Directory, e altri.
- **Workflow e Sicurezza:** i workflow controllano la logica di elaborazione dei contenuti dell'intero sito. È possibile configurare questa logica usando strumenti grafici via web. Gli amministratori dei siti possono creare siti complessi o semplici quanto vogliono; per esempio è possibile aggiungere strumenti di comunicazione come la spedizione di posta o di messaggi istantanei agli utenti. Per ciascun elemento contenuto in un sito Plone è possibile impostare una lista di controllo degli accessi (Access Control Lists, o ACL) per decidere chi ha accesso a quell'elemento e come possa interagire con esso.
- **Estensibile:** essendo open-source Plone è facilmente modificabile. È possibile configurare quasi ogni aspetto di Plone per soddisfare qualsiasi necessità. Vi sono innumerevoli pacchetti e strumenti per Plone che forniscono un ampio spettro di opzioni valide per i siti di piccole aziende come per organizzazioni di larga scala. All'indirizzo <http://www.plone.org> sono disponibili dei repository che contengono numerose aggiunte (free add-ons).
- **Personalizzazione dei contenuti:** gli utenti di un sito Plone possono aggiungere qualsiasi tipo di contenuto senza limiti o costrizioni dei dati aggiunti.
- **Documentazione:** il progetto Plone mantiene la documentazione pubblicandola sotto la licenza Creative Commons.
- **Comunità:** uno dei punti di forza di Plone è la comunità di programmatori ed organizzazioni che lo supportano e lo sviluppano.

## 4 Il sito internet

Il sito internet della International Sulcis Summer School on CCS Technologies, ospitato sul dominio [www.sulcisccssummerschool.it](http://www.sulcisccssummerschool.it), è stato pubblicato nel giugno 2013 ed è un sito di tipo “tematico”. Implementato su CMS Plone, aggiornato alla versione 4.3.1, dispone di una skin responsive che permette una miglior navigabilità e fruizione dei contenuti anche per gli utenti che ne usufruiscono da device mobile (tablet e smartphone). Il sito è stato implementato anche nella versione inglese (<http://www.sulcisccssummerschool.it/en>) per esaltare e favorire la vocazione internazionale della Scuola sulle CCS.



Figura 1 - Home page del sito [www.sulcisccssummerschool.it](http://www.sulcisccssummerschool.it)

## 5 Home page

La home page ha un ruolo di fondamentale importanza: è la pagina dove atterrano quasi il 70% del totale dei visitatori del sito ed è la prima pagina analizzata dai motori di ricerca per attribuirgli una posizione sulle SERP (Search Engine Report Page). La home del sito Summer School è stata progettata in funzione di alcune caratteristiche ritenute indispensabili, che di seguito descriviamo<sup>[2]</sup>:

- **Funzionalità:** in quanto via di accesso principale al sito fornisce, nella main body area, immediatamente informazioni sulla Summer School e su come partecipare e, attraverso il menù di navigazione posto sotto l'header, permette all'utente di orientarsi sulle principali sezioni del sito








The image shows a screenshot of the website's home page. At the top, a navigation menu is highlighted with a red box, containing links: Home, Summer School, Polo tecnologico, Iscrizione, E-learning, Organizzatori, FAQ, Link, and Area riservata. Below the menu is a large group photograph of people, with two red arrows pointing to the 'menu' and 'info' labels. The main body of the page features a large article titled 'International Sulcis Summer School on CCS Technologies 2016'. The article text describes the school's location at the Sotacarbo research center in Carbonia, its 4th edition, and its focus on CCS technologies. It lists organizers including ENEA, Sotacarbo, and various universities. A central graphic for the school includes dates (June 28th to July 1st, 2016) and logos for SOTACARBO, ENEA, and other partners. On the right side, there is a sidebar with sections for 'Notizie' (News), 'Video', and 'Intervista ad...' (Interview with...).

Figura 2 - Nei riquadri in rosso il menù di navigazione e il main body della Home

<sup>2</sup> Laura Rosella e Natalina Teresa Capua (a cura di), "Linee guida sul web editing", pp. 8-10, Ufficio Attività Internazionali - Formez PA

- Usabilità: è il parametro, da estendere a tutto il sito, con cui si verifica l'adeguatezza e la facilità di utilizzo dei contenuti in base alla soddisfazione delle seguenti condizioni:
  - percezione: le informazioni e i comandi necessari per l'esecuzione dell'attività devono essere sempre disponibili e percettibili;
  - comprensibilità: le informazioni e i comandi necessari per l'esecuzione delle attività devono essere facili da capire e da usare;
  - operabilità: informazioni e comandi sono tali da consentire una scelta immediata dell'azione adeguata per raggiungere l'obiettivo voluto;
  - coerenza: stessi simboli, messaggi e azioni devono avere gli stessi significati in tutto l'ambiente web;
  - salvaguardia della salute: indica le caratteristiche che deve possedere l'ambiente per salvaguardare e promuovere il benessere psicofisico dell'utente;
  - sicurezza: indica le caratteristiche che l'ambiente deve possedere per fornire transazioni e dati affidabili, gestiti con adeguati livelli di sicurezza;
  - trasparenza: l'ambiente deve comunicare il suo stato e gli effetti delle azioni compiute; all'utente devono essere comunicate le necessarie informazioni per la corretta valutazione della dinamica dell'ambiente;
  - apprendibilità: indica le caratteristiche che l'ambiente deve possedere per consentire l'apprendimento del suo utilizzo da parte dell'utente in tempi brevi e con minimo sforzo;
  - aiuto e documentazione: fornire funzioni di aiuto come guide in linea e documentazione relative al funzionamento dell'ambiente. Le informazioni di aiuto devono essere facili da trovare e focalizzate sul compito dell'utente;
  - tolleranza agli errori: l'ambiente deve prevenire gli errori e, qualora questi accadano, devono essere forniti appropriati messaggi che indichino chiaramente il problema e le azioni necessarie per recuperarlo;
  - gradevolezza: indica le caratteristiche che l'ambiente deve possedere per favorire e mantenere l'interesse dell'utente;
  - flessibilità: l'ambiente deve tener conto delle preferenze individuali e dei contesti.
  
- Dinamicità: l'home page deve anche necessariamente avere alcune sezioni dedicate alle novità, all'inserimento di nuovi contenuti, in diversi formati (video, news, eventi, foto, file...), che stimolino la curiosità anche degli utenti "di ritorno". Sul sito della Summer School la colonna di destra dell'home page è dedicata prevalentemente a informazioni di questo tipo, con le sezioni "Notizie", "Video", "Photogallery", come mostrato nelle figure seguenti (3, 4, 5 e 6)

**Notizie** 

-  **CCS e Summer School 2016 sulla rivista dell'ARPA Campania**
-  **Gli scienziati studiano un modo per trasformare la CO2 in roccia**
-  **Emissioni negative e CCS, una controversa ricetta contro il global warming**
-  **Conclusa la quarta edizione dell'International Sulcis CCS Summer School**

ARCHIVIO NOTIZIE

1 2

Figura 3 - La sezione Notizie

**Video** 



ALESSANDRO LANZA, PRESIDENTE SOTACARBO

**Intervista ad Alessandro Lanza, presidente Sotacarbo**








ARCHIVIO VIDEO





Figura 4 - Il box Video

**Photogallery**



Figura 5 - Il box che conduce alla photogallery


**Notizie** 

-  **CCS e Summer School 2016 sulla rivista dell'ARPA Campania**
-  **Gli scienziati studiano un modo per trasformare la CO2 in roccia**
-  **Emissioni negative e CCS, una controversa ricetta contro il global warming**
-  **Conclusa la quarta edizione dell'International Sulcis CCS Summer School**

ARCHIVIO NOTIZIE






1 2

**Video**




ALESSANDRO LANZA, PRESIDENTE SOTACARBO

**Intervista ad Alessandro Lanza, presidente Sotacarbo**








ARCHIVIO VIDEO



**Carbon Capture and Storage**



**Photogallery**



**Seguici su...**

**Tag Cloud**

climate change ccs dove siamo  
 carbone CO2 polo tecnologico  
 stoccaggio zero emission notizie  
 formazione contatti global warming  
 iscrizione FAQ storage didattica  
 trasporto

Figura 6 - Colonna destra Home

## 6 Struttura e pagine tematiche

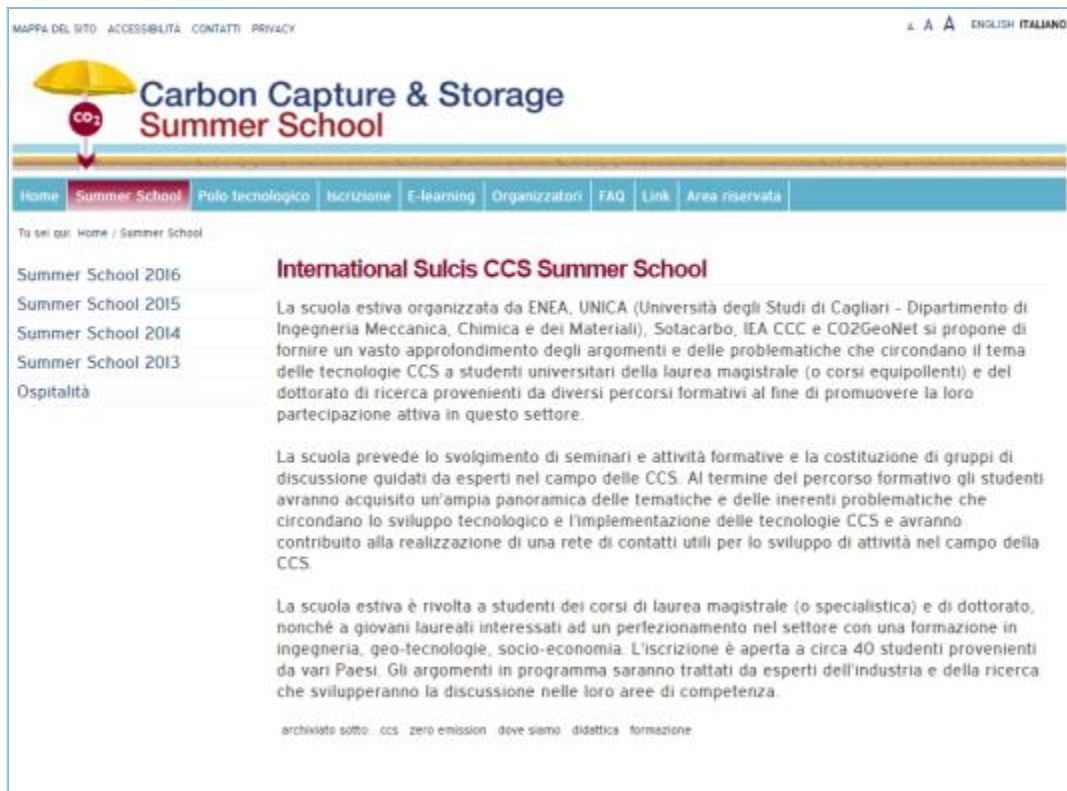
La struttura ipertestuale e di navigazione del sito è organizzata affinché gli utenti trovino facilmente e velocemente ciò che cercano. Il menù di navigazione di primo livello (figura 7), posto sotto l'header, riporta pochi item, in modo che con il minor numero di "click" possibile l'utente possa raggiungere le informazioni indispensabili, come ad esempio il programma della Summer School o la pagina per l'iscrizione.



Figura 7 - In rosso evidenziato il menù di navigazione di primo livello

Vediamo, in sintesi, i contenuti di alcuni item.

- Summer School: all'interno di questa sezione, nella pagina di primo livello (figura 8), sono riportate le informazioni generali relative alla Scuola estiva: gli organizzatori, la sede, gli obiettivi, le tematiche trattate durante le lezioni, i requisiti per poter partecipare



MAPPA DEL SITO | ACCESSIBILITÀ | CONTATTI | PRIVACY

ENGLISH ITALIANO

# Carbon Capture & Storage Summer School

Home | **Summer School** | Polo tecnologico | Iscrizione | E-learning | Organizzatori | FAQ | Link | Area riservata

Tu sei qui: Home / Summer School

Summer School 2016  
 Summer School 2015  
 Summer School 2014  
 Summer School 2013  
 Ospitalità

## International Sulcis CCS Summer School

La scuola estiva organizzata da ENEA, UNICA (Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali), Sotacarbo, IEA CCC e CO2GeoNet si propone di fornire un vasto approfondimento degli argomenti e delle problematiche che circondano il tema delle tecnologie CCS a studenti universitari della laurea magistrale (o corsi equipollenti) e del dottorato di ricerca provenienti da diversi percorsi formativi al fine di promuovere la loro partecipazione attiva in questo settore.

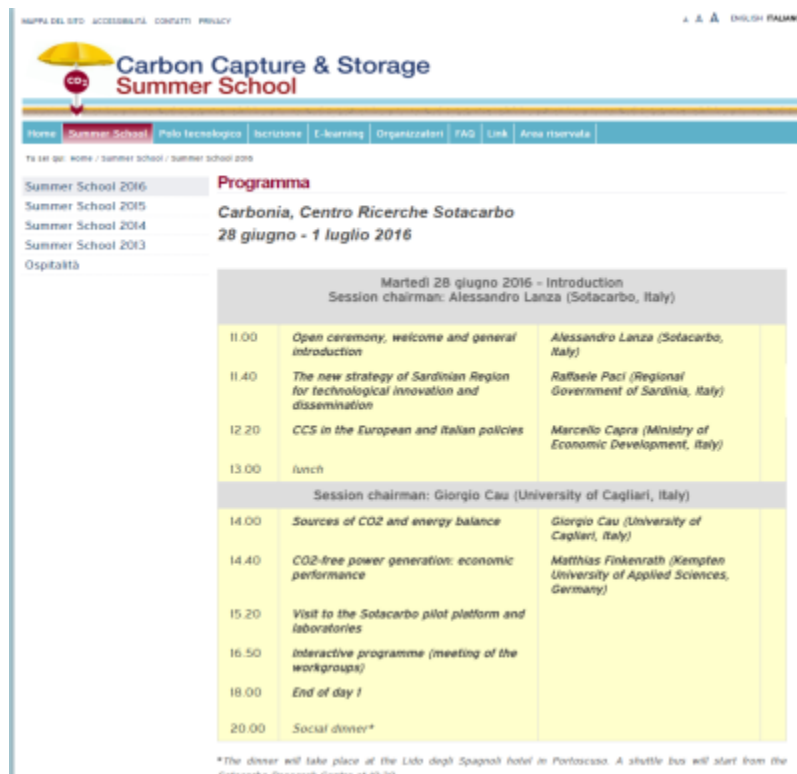
La scuola prevede lo svolgimento di seminari e attività formative e la costituzione di gruppi di discussione guidati da esperti nel campo delle CCS. Al termine del percorso formativo gli studenti avranno acquisito un'ampia panoramica delle tematiche e delle inerenti problematiche che circondano lo sviluppo tecnologico e l'implementazione delle tecnologie CCS e avranno contribuito alla realizzazione di una rete di contatti utili per lo sviluppo di attività nel campo della CCS.

La scuola estiva è rivolta a studenti dei corsi di laurea magistrale (o specialistica) e di dottorato, nonché a giovani laureati interessati ad un perfezionamento nel settore con una formazione in ingegneria, geo-tecnologie, socio-economia. L'iscrizione è aperta a circa 40 studenti provenienti da vari Paesi. Gli argomenti in programma saranno trattati da esperti dell'industria e della ricerca che svilupperanno la discussione nelle loro aree di competenza.

archiviato sotto: ccs zero emission dove siamo didattica formazione

Figura 8 - La sezione "Summer School"

Nelle pagine di secondo livello, invece, sono riportati i programmi delle lezioni d'aula della Scuola, suddivisi anno per anno (figura 9)



MAPPA DEL SITO | ACCESSIBILITÀ | CONTATTI | PRIVACY

ENGLISH ITALIANO

# Carbon Capture & Storage Summer School

Home | Summer School | Polo tecnologico | Iscrizione | E-learning | Organizzatori | FAQ | Link | Area riservata

Tu sei qui: Home / Summer School / Summer School 2016

Summer School 2016  
 Summer School 2015  
 Summer School 2014  
 Summer School 2013  
 Ospitalità

## Programma

### Carbonia, Centro Ricerche Sotacarbo

#### 28 giugno - 1 luglio 2016

Martedì 28 giugno 2016 - Introduction Session chairman: Alessandro Lanza (Sotacarbo, Italy)		
11.00	Open ceremony, welcome and general introduction	Alessandro Lanza (Sotacarbo, Italy)
11.40	The new strategy of Sardinian Region for technological innovation and dissemination	Raffaele Paci (Regional Government of Sardinia, Italy)
12.20	CCS in the European and Italian policies	Marcello Capra (Ministry of Economic Development, Italy)
13.00	Lunch	
Session chairman: Giorgio Cau (University of Cagliari, Italy)		
14.00	Sources of CO <sub>2</sub> and energy balance	Giorgio Cau (University of Cagliari, Italy)
14.40	CO <sub>2</sub> -free power generation: economic performance	Matthias Finkenrath (Kempten University of Applied Sciences, Germany)
15.20	Visit to the Sotacarbo pilot platform and laboratories	
16.50	Interactive programme (meeting of the workgroups)	
18.00	End of day 1	
20.00	Social dinner*	

\*The dinner will take place at the Lido degli Spagnoli hotel in Portofino. A shuttle bus will start from the Sotacarbo Research Centre at 19.30

Figura 9 - La pagina del Programma 2016

- Polo tecnologico: in questa sezione (figura 10) sono contenute informazioni relative al “Progetto integrato Sulcis”, all’evoluzione delle fasi del piano di sviluppo per la Provincia del Sulcis - siglato a fine 2012 dal Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero del Lavoro e Politiche Sociali, Ministero per la Coesione territoriale, Regione Sardegna e Provincia di Carbonia Iglesias e alle attività che, attualmente, ENEA e Sotacarbo portano avanti congiuntamente nel Centro Ricerche di Carbonia, sede dell’International Sulcis Summer School on CCS Technologies

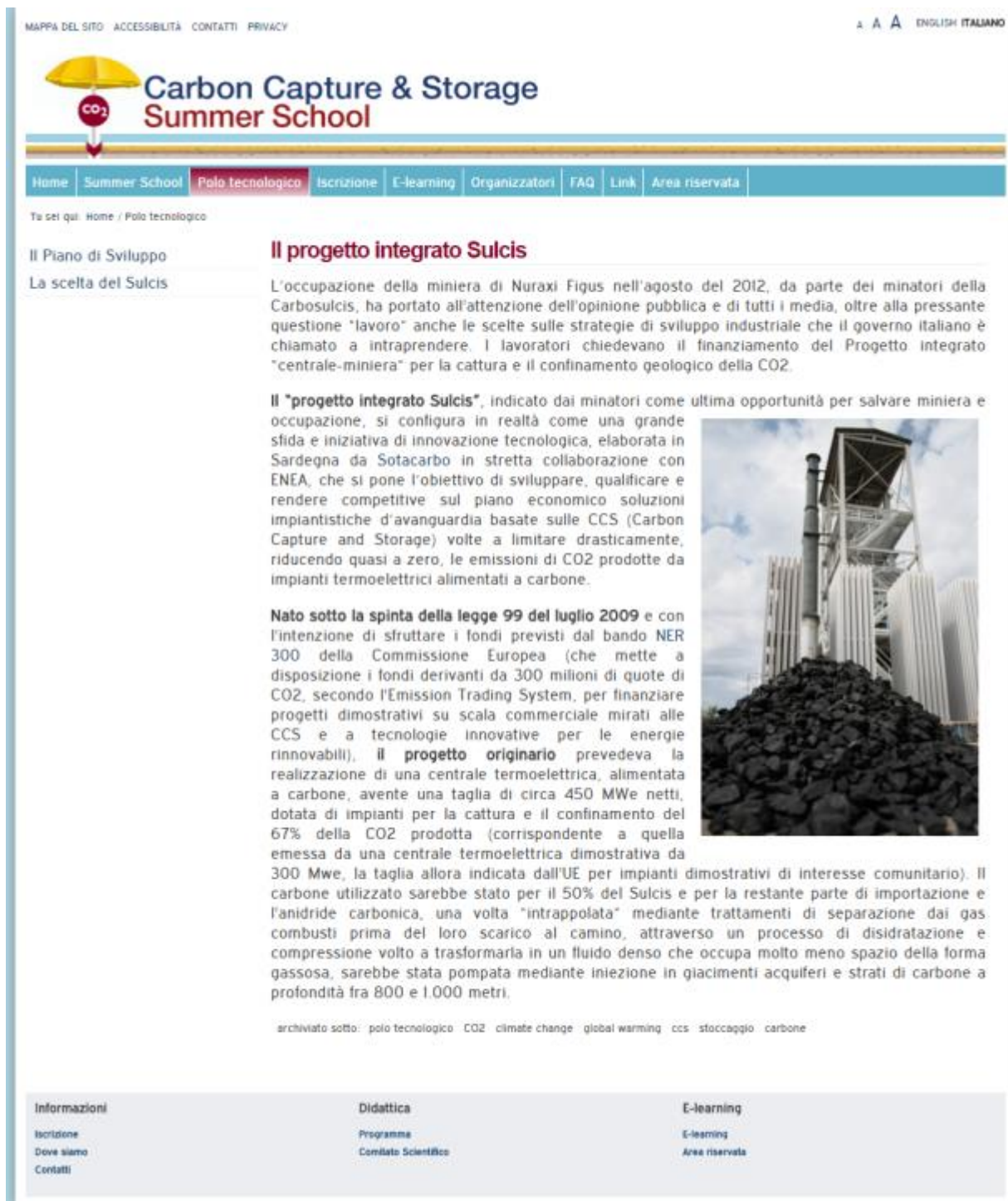


Figura 10 - La sezione Polo tecnologico e la pagina sul progetto integrato Sulcis



- E-learning: in questa pagina (figura 11) sono riportate le modalità di accesso alla piattaforma e-learning della Divisione ICT ENEA, la procedura per l'autenticazione per gli studenti iscritti alla Summer School e le informazioni e i contatti cui rivolgersi per questioni legate ai corsi on line



**Carbon Capture & Storage Summer School**

Home Summer School Polo tecnologico Iscrizione **E-learning** Organizzatori FAQ Link Area riservata

Tu sei qui: Home / E-learning

## E-learning

Gli iscritti alla Summer School da questa pagina possono accedere all'area riservata del **sistema e-learning** messo a disposizione dalla Divisione *ICT (Divisione Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT)* dell' *ENEA*.

La procedura di accesso è molto semplice:

- ▶ dopo aver ricevuto la conferma di iscrizione alla Summer School, riceverai una mail con la tua username e la password per accedere all'area riservata del sistema e-learning
- ▶ quindi puoi collegarti al link <http://elearning.enea.it>
- ▶ inserire **username** (nome.cognome) e **password**
- ▶ accedere dal menu di sinistra della homepage a: **"Corsi" e poi sulla sezione "International Sulcis CCS Summer School"**

In caso di difficoltà è possibile contattare i seguenti riferimenti:

- ▶ E-mail: [elearning.admin@enea.it](mailto:elearning.admin@enea.it)
- ▶ Tel.: **06/30483496**

**Gruppo E-learning**

*Referenti*

Andrea Quintiliani - [andrea.quintiliani@enea.it](mailto:andrea.quintiliani@enea.it)

Amedeo Trolese - [amedeo.trolese@enea.it](mailto:amedeo.trolese@enea.it)

*Ricercatori*

Andrea Corleto - [andrea.corleto@enea.it](mailto:andrea.corleto@enea.it)

archiviato sotto: formazione

<b>Informazioni</b>	<b>Didattica</b>	<b>E-learning</b>
Iscrizione	Programma	E-learning
Dove siamo	Comitato Scientifico	Area riservata
Contatti		

Figura 11 - La pagina E-learning

- Organizzatori: in questa pagina (figura 12) sono riportate brevi informazioni sugli organizzatori della Scuola estiva (ENEA, Sotacarbo, Università di Cagliari Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali, IEA Clean Coal Center e CO2GeoNet) e link di rimando ai rispettivi siti

**Carbon Capture & Storage Summer School**

Home Summer School Polo tecnologico Iscrizione E-learning **Organizzatori** FAQ Link Area riservata

Tu sei qui: Home / Organizzatori

### Organizzatori

**ENEA** - L'*Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)*, prevista dall'articolo 37 della Legge n. 99 del 23 luglio 2009, è finalizzata "alla ricerca e all'innovazione tecnologica nonché alla prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, con particolare riguardo al settore nucleare, e dello sviluppo economico sostenibile".

**Attività del Laboratorio COMSO**

**DIMCM** - UNIVERSITA' DI CAGLIARI - Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali (DIMCM)  
 Il DIMCM è stato fondato nel Gennaio 2012 dall'unione dei *Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Ingegneria Chimica e Materiali*. Una delle unità di ricerca coinvolte fa riferimento al Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali dell'Università di Cagliari coordinata dal *Prof. Ing. Giorgio Cau* e costituita, oltre che dal Prof. Cau, dal *Prof. Ing. Daniele Cocco* e dal *Dott. Ing. Vittorio Tola*. Una seconda unità di ricerca è coordinata dal *Prof. Baratti* che nel corso della sua attività ha acquisito competenze nel campo delle operazioni unitarie dell'Ingegneria Chimica, della fisica dei processi di trasporto/reazione, dell'ottimizzazione e delle problematiche di controllo avanzato.

**SOTACARBO** - La *Società Sotacarbo - Società Tecnologie Avanzate Carbone - S.p.A.* è stata costituita il 2 aprile 1987, in attuazione dell'art. 5 della legge 351/85 "norme per la riattivazione del bacino carbonifero del Sulcis", con la finalità di sviluppare tecnologie innovative e avanzate nell'utilizzazione del carbone attraverso la costituzione in Sardegna del Centro di Ricerche, la progettazione e la realizzazione di impianti dimostrativi sull'innovazione tecnologica nell'utilizzazione del carbone, la realizzazione di impianti industriali per l'utilizzazione del carbone in alternativa alla combustione.

**IEA Clean Coal Centre** - Fondata nel 1975, la *IEA Clean Coal Centre* è uno dei principali fornitori di informazioni, analisi e ricerche su tutti gli aspetti del carbone. Un team di esperti professionisti raccoglie, analizza e distribuisce informazioni e conoscenze sull'uso efficiente e pulito del carbone. Il Centro pubblica relazioni tecniche e recensioni, facilita la R & S, organizza workshop e conferenze. La IEA Clean Coal Centre è una organizzazione non-profit finanziata principalmente dalle quote dei suoi membri.

**CO2GeoNet** - *CO2GeoNet* è l'organismo scientifico europeo sullo stoccaggio geologico della CO2. Comprende attualmente 24 istituti pubblici per la ricerca provenienti da 16 paesi europei, e riunisce oltre 300 ricercatori con competenze multidisciplinari necessarie ad affrontare tutti gli aspetti dello stoccaggio di CO2. Il CO2GeoNet svolge attività di ricerca congiunta, formazione, consulenza scientifica, informazione e comunicazione, e ha un ruolo importante e indipendente al fine di permettere un efficiente e sicuro stoccaggio geologico della CO2.

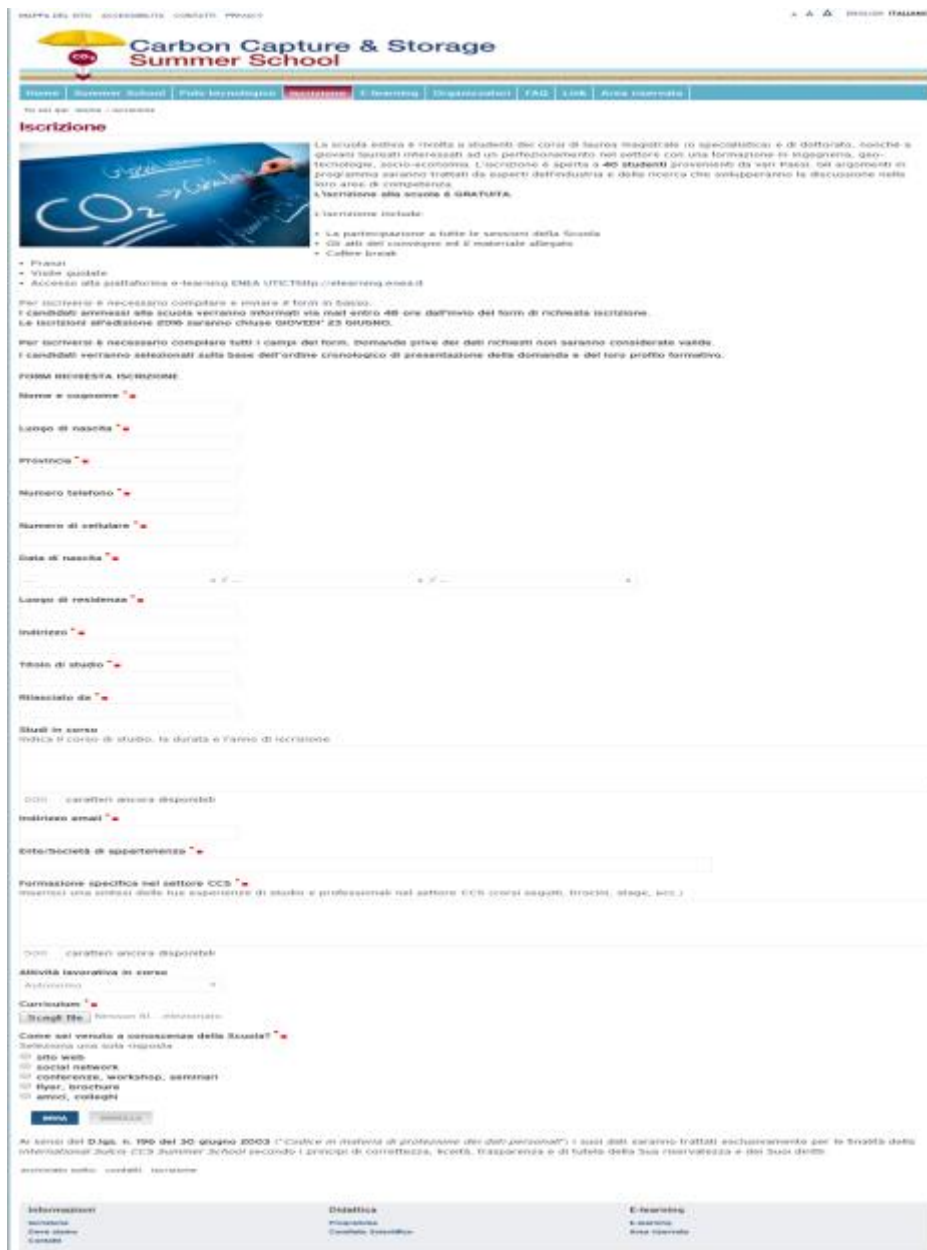
archiviato sotto: didattica formazione

<b>Informazioni</b>	<b>Didattica</b>	<b>E-learning</b>
Iscrizione	Programma	E-learning
Dove siamo	Comitato Scientifico	Area riservata
Contatti		

Figura 12 - La pagina Organizzatori

## 7 Il form Iscrizione

La pagina per le iscrizioni alla Summer School (figura 13) è stata implementata utilizzando uno dei prodotti aggiuntivi (add-ons) che Plone mette a disposizione. L'add-on "Plone form gen" è un generatore di form che utilizza campi, widgets e validatori da archetipi. E' possibile usarlo per costruire semplici moduli web che consentono di salvare o inviare modelli compilati sotto forma di posta elettronica. Nel form, che è disponibile in italiano e in inglese sul sito all'indirizzo <http://www.sulciscssummerschool.it/iscrizione>, gli studenti che intendono sottoporre domanda di iscrizione al Comitato Organizzatore della Summer School devono riempire tutti i campi obbligatori e allegare il loro curriculum.



**Carbon Capture & Storage Summer School**

Home | Summer School | Pagine | Ingresso | Iscrizione | Programma | Organizzatori | FAQ | Contatti | Area riservata

tu sei qui: Home / Iscrizione

### Iscrizione

La scuola estiva è rivolta a studenti dei corsi di laurea magistrale (o specialistica) e di dottorato, nonché a giovani laureati interessati ad un perfezionamento nel settore con una formazione in ingegneria, geo-tecnologie, socio-economia. L'iscrizione è aperta a **gli studenti provenienti da tutti i paesi** nei argomenti e programmi saranno trattati da esperti dell'industria e della ricerca che svilupperanno la discussione nella loro area di competenza.

L'iscrizione alla scuola è **GRATUITA**.

La iscrizione include:

- La partecipazione a tutte le sessioni della Scuola
- Gli atti del convegno ed il materiale allegato
- Coffee break

Pranzi  
Viste guidate  
Accesso alla piattaforma e-learning ENEA STRUCTURE (training area)

Per iscriversi è necessario compilare e inviare il form di seguito.  
I candidati ammessi alla scuola verranno informati via mail entro 60 ore dall'invio del form di richiesta iscrizione. Le richieste di iscrizione sono valutate in base all'ordine di arrivo.

Per iscriversi è necessario compilare tutti i campi del form. Domande prive dei dati richiesti non saranno considerate valide. I candidati verranno selezionati sulla base dell'ordine cronologico di presentazione della domanda e del loro profilo formativo.

**FORMA RICHIESTA ISCRIZIONE**

**Nome e cognome \***

**Luogo di nascita \***

**Provincia \***

**Numero telefono \***

**Numero di cellulare \***

**Data di nascita \***

**Luogo di residenza \***

**Indirizzo \***

**Titolo di studio \***

**Rilasciato da \***

**Quali le aree della ricerca di studio, la durata e l'anno di iscrizione \***

**CODI \*** (caratteri ancora disponibili)

**Indirizzo email \***

**Ente/Società di appartenenza \***

**Formazione specifica nel settore CCS \***  
Inserisci una sintesi delle tue esperienze di studio e professionali nel settore CCS (corsi seguiti, tirocini, stage, ecc.)

**CODI \*** (caratteri ancora disponibili)

**Attività lavorative in corso**

**Curriculum \*** (Dimensioni di massima: 1000x1000)

**Come sei venuto a conoscenza della Scuola? \***  
Seleziona una o più risposte

- sito web
- social network
- conferenze, workshop, seminari
- flyer, brochure
- amici, colleghi

**Invia** **Stampa**

Al sensi del D.Lgs. n. 196 del 30 giugno 2003 ("Codice in materia di protezione dei dati personali") i suoi dati saranno trattati esclusivamente per le finalità della International Zero-Emission Summer School secondo i principi di correttezza, liceità, trasparenza e di tutela della sua riservatezza e dei suoi diritti.

avvenuto solo: cancella | iscrizione

**Informazioni**  
Inchiesta  
Eventi online  
Contatti

**Statistica**  
Privacy Policy  
Contattaci | Informativa

**Eventi**  
Eventi online  
Area riservata

Figura 13 - La pagina di Iscrizione

## 8 Area riservata

Quest'area del sito (figura 14) è ad accesso riservato e può essere utilizzata solo da personale autorizzato ENEA e Sotacarbo, munito di username e password. E' una sezione creata per lo scambio e la condivisione di documenti e materiale, una repository cui si accede con permessi limitati di "sola lettura" o "lettura e caricamento contenuti". In questo modo è stato creato una sorta di database on line sempre disponibile agli utenti autorizzati e che permette una rapida condivisione di materiali di varia natura (cartelle, file, foto...).

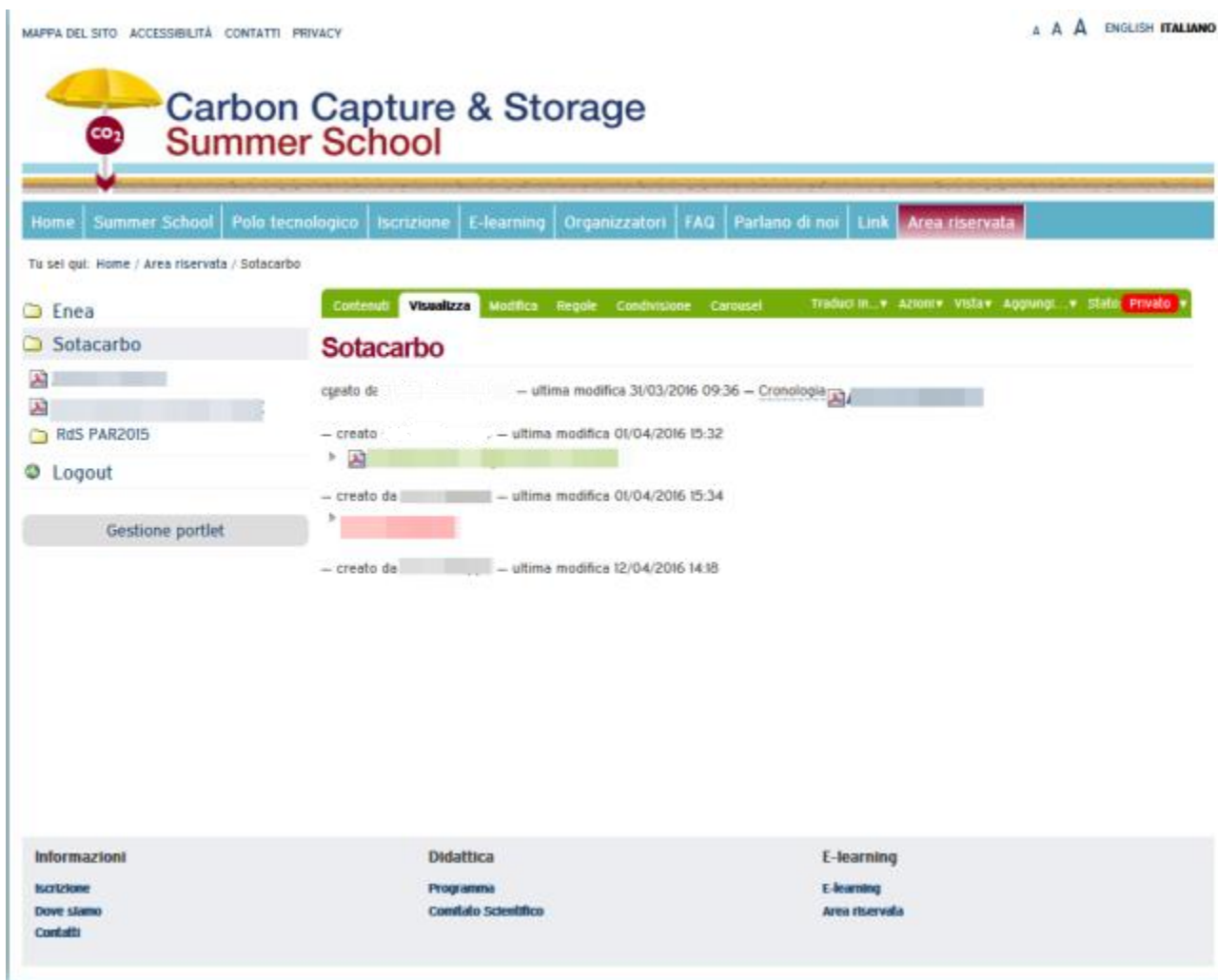


Figura 14 - La sezione Area riservata

## 9 I “numeri” del sito

Di seguito riportiamo alcuni numeri e dati che possono fornire un’idea e la misura della visibilità, anche a livello internazionale, che il sito ha contribuito a dare alla Summer School. Le statistiche sugli accessi al sito sono prodotte con il servizio di Google Analytics.

### Panoramica 2013/2016

- 2 lingue (it/en)
- 268 news pubblicate su tematiche relative a climate change, energia e CCS
- 28.520 visualizzazioni di pagina (Luglio 2014<sup>[3]</sup>/Luglio 2016)
- 7.167 utenti
- 10.220 sessioni
  - 7.279 sessioni da nuovi visitatori
  - 2.941 sessioni da visitatori di ritorno
    - 4.846 sessioni Italia
    - 1.586 sessioni Stati Uniti
    - 1.003 sessioni di origine non attribuibile
    - 604 sessioni United Kingdom
    - 256 sessioni Cina
    - 198 sessioni Russia
    - 170 sessioni Germania
    - 153 sessioni Giappone
    - 87 sessioni Corea del Sud
    - 84 sessioni Paesi Bassi

### Edizione 2016

- 9.870 visualizzazioni di pagina (1 Gennaio 2016/6 Luglio 2016)
- 1.771 utenti
- 3.010 sessioni
  - 1.761 sessioni da nuovi visitatori
  - 1.249 sessioni da visitatori di ritorno
    - 1.983 sessioni Italia
    - 434 sessioni United Kingdom
    - 106 sessioni Stati Uniti
    - 53 sessioni di origine non attribuibile
    - 36 sessioni Svezia
    - 31 sessioni Turchia
    - 28 sessioni Danimarca
    - 27 sessioni Germania
    - 24 sessioni Spagna
    - 20 sessioni Cina

---

<sup>3</sup> Data di implementazione statistiche accessi al sito con Google Analytics

## 10 La piattaforma e-learning

La Divisione ICT ENEA dispone di una piattaforma di Learning Management System raggiungibile all'indirizzo <http://elearning.enea.it> (figura 15). La piattaforma è sviluppata con il software Open Source Moodle attualmente aggiornato alla versione 2.7.1. Il layout grafico è stato implementato con plugin Essential Theme e l'interfaccia interamente customizzata. La piattaforma è disponibile in quattro lingue diverse (Italiano, Inglese, Francese, Spagnolo).



Figura 15 - Home page piattaforma e-learning

## 11 Moodle

Moodle (acronimo di Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), è uno dei più diffusi ambienti di apprendimento, con più di 81.000 installazioni registrate in oltre 220 paesi di tutto il mondo ed è utilizzato da più di 70 milioni di persone. In sostanza, si tratta di una piattaforma web dinamica rivolta alla creazione e alla gestione completa di corsi on line con un alto livello di interazione tra il docente/tutor e gli studenti. Moodle è un prodotto gratuito di tipo Open Source (anche in questo caso, in coerenza con la Direttiva del 19 dicembre 2003 "Sviluppo ed utilizzazione dei programmi informatici da parte delle pubbliche amministrazioni", G.U. n. 31 del 7/2/2004) rilasciato con licenza pubblica GNU/GPL. Di conseguenza:

- Moodle può essere utilizzato da chiunque per creare siti web rivolti all'e-learning e alla formazione
- il codice di cui è composto può essere modificato e ridistribuito, mantenendo intatti il copyright e i riferimenti all'autore.

E' un software web-oriented che può essere installato su qualsiasi server internet in grado di supportare il linguaggio PHP oltre a diversi database, tra cui MySQL. Dal lato client, non c'è bisogno di alcuna installazione ma è sufficiente un semplice browser per la navigazione internet.

Utilizzato da istituzioni scolastiche di vario livello (dalle scuole primarie, sino alle facoltà universitarie) e non solo (molte pubbliche amministrazioni e molte società private fanno ricorso alla piattaforma ideata da Martin Dougiamas per fornire corsi di formazione e aggiornamento a distanza ai loro dipendenti), Moodle permette a qualunque insegnante o formatore di creare un ambiente virtuale dove studenti da ogni parte del mondo possano seguire, secondo i loro orari e le loro modalità, lezioni e corsi online.

All'interno della piattaforma di e-learning, così come all'interno di qualunque altra istituzione scolastica o formativa, gli utenti si dividono a seconda del ruolo ricoperto. All'interno di Moodle si contano sino a sei differenti Ruoli, ognuno dei quali con i suoi privilegi di amministrazione del corso. L'interazione docente-studente all'interno dei singoli corsi on line è garantita dalla presenza di diversi strumenti di comunicazione che Moodle mette a disposizione come forum, chat, instant messaging, bacheche condivise.

La natura open source e collaborativa di Moodle aiuta a definire e stabilire quale sia l'approccio pedagogico di questa piattaforma. Tutti gli utenti, siano essi studenti o docenti, possono collaborare nella costruzione e nella creazione dei materiali necessari allo svolgimento del corso on line: gli studenti, infatti, possono commentare e proporre modifiche tanto ai materiali proposti quanto alle modalità di verifica delle conoscenze. Viene enfatizzato, quindi, il ruolo che gli studenti possono avere nel costruire un'esperienza educativa che sia il più aperta e collaborativa possibile. Partendo da questi presupposti pedagogici e formativi, Moodle si propone come una piattaforma di e-learning flessibile e adattabile alle esigenze più disparate.

Infine, l'ampissima dimensione della community che si è creata nel mondo è una garanzia di continua aggiornabilità e di arricchimento funzionale della piattaforma stessa: quotidianamente, centinaia di utenti e sviluppatori sottopongono problemi e si confrontano sulla gestione del software all'interno del sito [moodle.org](http://moodle.org), cui sono registrati oltre 75.000 utenti.

## 12 Metodologia didattica e apprendimento collaborativo

Tutti gli iscritti alla Summer School hanno avuto accesso alla piattaforma e-learning della Divisione ICT ENEA, sulla quale sono stati predisposti specifici corsi sulle tecnologie di Carbon Capture and Storage. La metodologia didattica individuata è stata quella del blended learning, cioè un approccio "misto" in cui le tradizionali attività di aula vengono integrate e completate dal corso realizzato in modalità e-learning.

La progettazione e lo sviluppo di Moodle sono guidati da una particolare filosofia dell'apprendimento, che può essere definita "pedagogia costruzionista sociale". Il concetto fondamentale del costruttivismo è che la conoscenza umana, l'esperienza, l'adattamento, sono caratterizzati da una partecipazione attiva dell'individuo. In questo contesto, è fondamentale l'aspetto sociale, per cui l'apprendimento più efficace è quello collaborativo, in cui il soggetto svolge insieme agli altri attività cognitive che da solo non riuscirebbe a svolgere: di conseguenza, la conoscenza, secondo questa prospettiva, emerge come attività condivisa.

Dunque, il primo assioma del costruzionismo da tenere presente è l'importanza che rivestono il mondo sociale e il mondo culturale del discente nel processo di apprendimento. Il modello di formazione da ricercare e attivare è pertanto un modello "ecologico", ossia una formazione strutturata, calata nell'ambiente, caratterizzata, in grado di innescare il dialogo e lo scambio tra i soggetti che sono coinvolti e tesa alle specifiche esigenze dell'ambiente in cui la persona, o l'impresa o il soggetto in formazione si inserisce.

In secondo luogo, l'altro punto su cui focalizzarsi è quello del problem-based-learning, l'apprendimento basato sul problema. Il discente deve conoscere e apprendere in modo attivo, per poter interiorizzare tali concetti e adattarli alla sua esperienza quotidiana. Il problem-based-learning permette al discente di partecipare attivamente al momento formativo e diventarne attore protagonista e non mero spettatore.

Il costruttivismo valorizza la diversità e l'adattabilità, e parte dal presupposto fondamentale che il discente apprende in modo attivo. Una prospettiva costruttivista vede chi impara come attivamente impegnato nel creare significati, e l'insegnare con questo approccio significa ricercare quello che gli studenti possono analizzare, investigare, quello per cui possono collaborare, condividere, costruire e sviluppare su ciò che essi già sanno, piuttosto che ricercare quali fatti, abilità e processi essi possono ripetere meccanicamente. Per fare questo realmente, un docente ha bisogno di essere anche uno studente e un ricercatore, di sforzarsi per una più grande consapevolezza dell'ambiente e dei partecipanti in una data situazione di insegnamento allo scopo di adattare continuamente le sue azioni per impegnare gli studenti nell'apprendimento, usando il costruttivismo come guida.

Avendo come riferimento, quindi, il quadro teorico del costruzionismo sociale, per la Summer School è stato proposto un modello didattico che enfatizzasse il ruolo attivo dello studente nel processo di costruzione di conoscenza. A tal fine l'ambiente on line è stato progettato secondo due linee di intervento: da un lato, sono stati predisposti spazi che potessero agevolare lo sviluppo di abilità cognitive e meta cognitive; dall'altro, si è cercato di facilitare l'interazione e la collaborazione tra i corsisti in un'ottica comunitaria.

La prima linea si è concretizzata con un intensivo utilizzo di Moodle nelle sue quattro funzioni fondamentali: gestione (per il tracciamento delle presenze, la gestione degli accessi, ecc.), valutazione (quiz, voti, registro, consegna compiti, ecc.), contenuto (caricare e organizzare learning objects, contenuti multimediali, ecc.) e comunicazione (forum di discussione, chat, email, ecc.).

I documenti, i report, gli articoli, i video, le pubblicazioni internazionali e le normative sulle CCS hanno fornito un modello di lavoro e di supporto all'apprendimento. L'apertura del materiale didattico a fonti esterne, inoltre, ha avuto l'obiettivo di decontestualizzare il processo conoscitivo, rendendo possibile un processo metacognitivo di applicazione di quanto appreso in aula.

La seconda linea di intervento, ha posto l'accento sul ruolo della comunità dei corsisti, cercando di agevolarne la nascita e la collaborazione. A tal fine l'interazione tra i corsisti è stata sostenuta ed incoraggiata attraverso strumenti di comunicazione asincrona e sincrona (web forum, chat, instant messaging, wiki) e il collegamento con social network molto diffusi (Twitter e Facebook). Quest'ultimo spazio, in particolare, è stato pensato in un'ottica di informal e-learning per alimentare i contatti informali e per sostenere il senso di appartenenza dei corsisti. L'obiettivo complessivo era stimolare lo scambio di conoscenze e informazioni non solo in una prospettiva docente-studente (modello top-down), ma anche tra gli studenti stessi e in senso inverso dagli studenti ai docenti (modello bottom-up), nel tentativo di valorizzare i processi di costruzione e creazione congiunta del "sapere", in termini sia di combinazione sia di



socializzazione delle esperienze individuali, e di esaltare le caratteristiche peculiari dell'apprendimento collaborativo (collaborative learning) affiancando all'apprendimento formale quello informale.

### 13 I corsi e-learning della Summer School

Fin dalla sua prima edizione, nel 2013, il programma dell'International Sulcis Summer School on CCS Technologies ha visto affiancarsi, alle tradizionali lezioni frontali tenute in aula da docenti di diverse discipline, corsi in modalità e-learning a disposizione di tutti gli iscritti alla Scuola.

La tipologia di corso individuata, per "Topics", messa a disposizione dalla piattaforma Moodle, è rimasta invariata anche per le edizioni 2014, 2015 e 2016, ma gradualmente i contenuti, le risorse e le attività previste sono state intensificate e diversificate, con l'intento di rendere sempre più attiva la partecipazione degli studenti. Anche la lingua utilizzata per i corsi e-learning è stata cambiata con il susseguirsi delle varie edizioni, passando dall'uso esclusivo dell'italiano (2013), ad un utilizzo misto italiano/inglese (2014), al solo inglese (2015 e 2016), per esaltare e assecondare la vocazione internazionale della Scuola.

Il paradigma dell'apprendimento collaborativo ha costituito il cardine attorno al quale costruire e costituire i corsi on line. Paradigma che, tuttavia, è stato traslato e adattato alla ricerca ed esteso in un senso ancora più ampio, spingendo maggiormente sul concetto di condivisione, cercando di proporre nuovi metodi e mezzi non solo per erogare e condividere conoscenza, ma anche per creare e valorizzare processi di apprendimento collettivo. L'esplorazione, dunque, delle potenzialità di forme innovative di apprendimento collaborativo, mediato dalle tecnologie, in ambienti complessi.

I corsi, di conseguenza, si sono progressivamente evoluti da una modalità incentrata sulla consultazione di documenti e svolgimento di determinate attività (come la "Consegna compito" del 2013 necessaria per ottenere i crediti formativi riconosciuti dall'Università di Cagliari), ad una modalità basata sul processo dialogico e sociale di creazione ed elaborazione congiunta di significati, in cui il singolo, in quanto facente parte di un gruppo, riceve sostegno e motivazione all'interno del gruppo stesso, che trova la sua esaltazione nell'applicazione degli strumenti messi a disposizione dal Web 2.0 e dalle attività collaborative della piattaforma e-learning, quali forum, wiki, glossari.

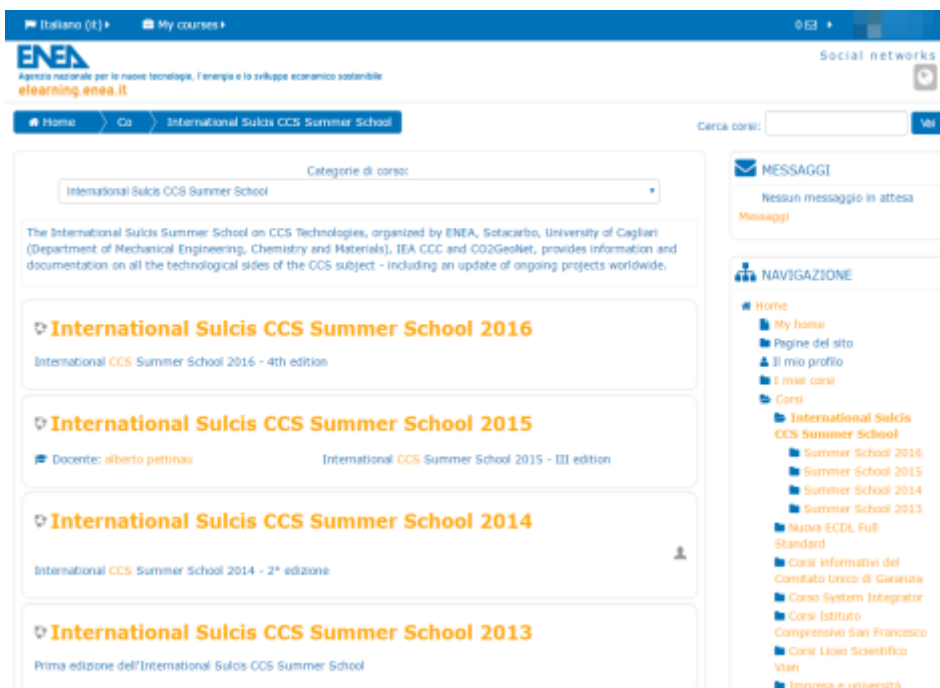


Figura 16 - La categoria di corsi dedicata alla Summer School

Il modello proposto ha evidenziato una sua potenziale validità, nella misura in cui ha determinato, negli anni, la nascita di una piccola “comunità di pratica” capace di orientare proficuamente il proprio processo di apprendimento e di sostenere la reciproca partecipazione. Lo scenario che potrebbe delinearsi, a partire da questo primo nucleo, è dato dalla costituzione di una comunità di ricercatori che possa affrontare specifiche sfide cognitive grazie all’interazione e alla collaborazione on line. Gli strumenti di riferimento sono quelli del Web 2.0, che hanno dimostrato di poter essere proficuamente integrati nel complesso processo di apprendimento formale e informale, in un efficace utilizzo di tutte le possibilità di comunicazione, condivisione e supporto ai processi di produttività individuale e di gruppo.

## 14 Il corso per l’edizione 2016

Il corso e-learning per l’edizione 2016 dell’International Sulcis Summer School on CCS Technologies (<http://elearning.enea.it/course/view.php?id=179>) ha previsto un programma di attività preliminari alle lezioni in aula, che gli studenti iscritti alla Scuola estiva hanno potuto svolgere a partire dal mese precedente all’inizio della formazione frontale.

Le attività preliminari consistevano nella possibilità di consultare on line o scaricare documentazione (documenti, pubblicazioni, articoli, report, video) a carattere generale, su tematiche CCS e cambiamenti climatici, e lo svolgimento di alcune attività obbligatorie per ottenere il rilascio del badge “SS2016-Participant” che attesta il superamento di tali attività. Il badge è una specie di “bollino” che viene rilasciato automaticamente dalla piattaforma e-learning per “certificare” che lo studente ha svolto la prima parte del suo percorso didattico. L’obiettivo di questa parte del programma era quello di fornire una base di conoscenza comune a tutti gli iscritti che si sarebbero presentati alle lezioni in aula, che hanno profili ed esperienze formative diverse (ingegneria, geologia, chimica, scienze sociali).

Queste le attività obbligatorie da svolgere:



### What does CO2 geological storage really mean?

- **What does CO2 geological storage really mean?** (dalla brochure del CO2GeoNet) con questionario finale. Una Lezione offre contenuto informativo in un modo interessante e flessibile. Consiste in più pagine. Ogni pagina normalmente finisce con una domanda e un numero di possibili risposte. In funzione della scelta dello studente la lezione avanza alla prossima pagina o torna indietro a una precedente. La navigazione attraverso la Lezione può essere semplice e diretta o complessa, in funzione soprattutto della struttura del materiale da presentare. Il questionario finale è strutturato su 10 domande di tipologia varia (v/f, risposta multipla...) con tentativi multipli e non è previsto un punteggio minimo da ottenere per il suo superamento. Lo studente è chiamato a consultare le pagine della Lezione e rispondere al questionario finale.



### Introduce yourself!

- Ogni iscritto è tenuto a compilare la sezione del Forum “Introduce yourself” in cui si presenta agli altri studenti. Questa attività è intesa a favorire la creazione della comunità di pratica chiamata a lavorare insieme e a facilitare la socializzazione e lo scambio tra gli studenti, oltre a fornire un “archivio” dei profili degli iscritti alla Summer School.



### Glossary

- **“The language of CCS”** (Glossary realizzato nell’ambito del progetto FP7 ECO2 - Sub-seabed CO2 Storage: Impact on Marine Ecosystems - <http://www.eco2-project.eu/>). Il modulo di attività di glossario permette ai partecipanti di creare e mantenere una lista di definizioni, come un dizionario, o di raccogliere e organizzare le risorse o le informazioni. Gli studenti sono tenuti a

compilare il Glossario con almeno una nuova voce aggiuntiva ed è possibile commentare le voci inserite dai propri colleghi.

La home del corso è organizzata su tre blocchi (figura 18):

- Topics: le sezioni al cui interno sono distribuite Risorse e Attività;
- Menù di gestione e amministrazione: l'area centrale della Home è occupata dai menù che permettono di gestire la pagina
- Area Blocchi dinamici: Twitter Feed, Calendario, Upcoming Events, Badge

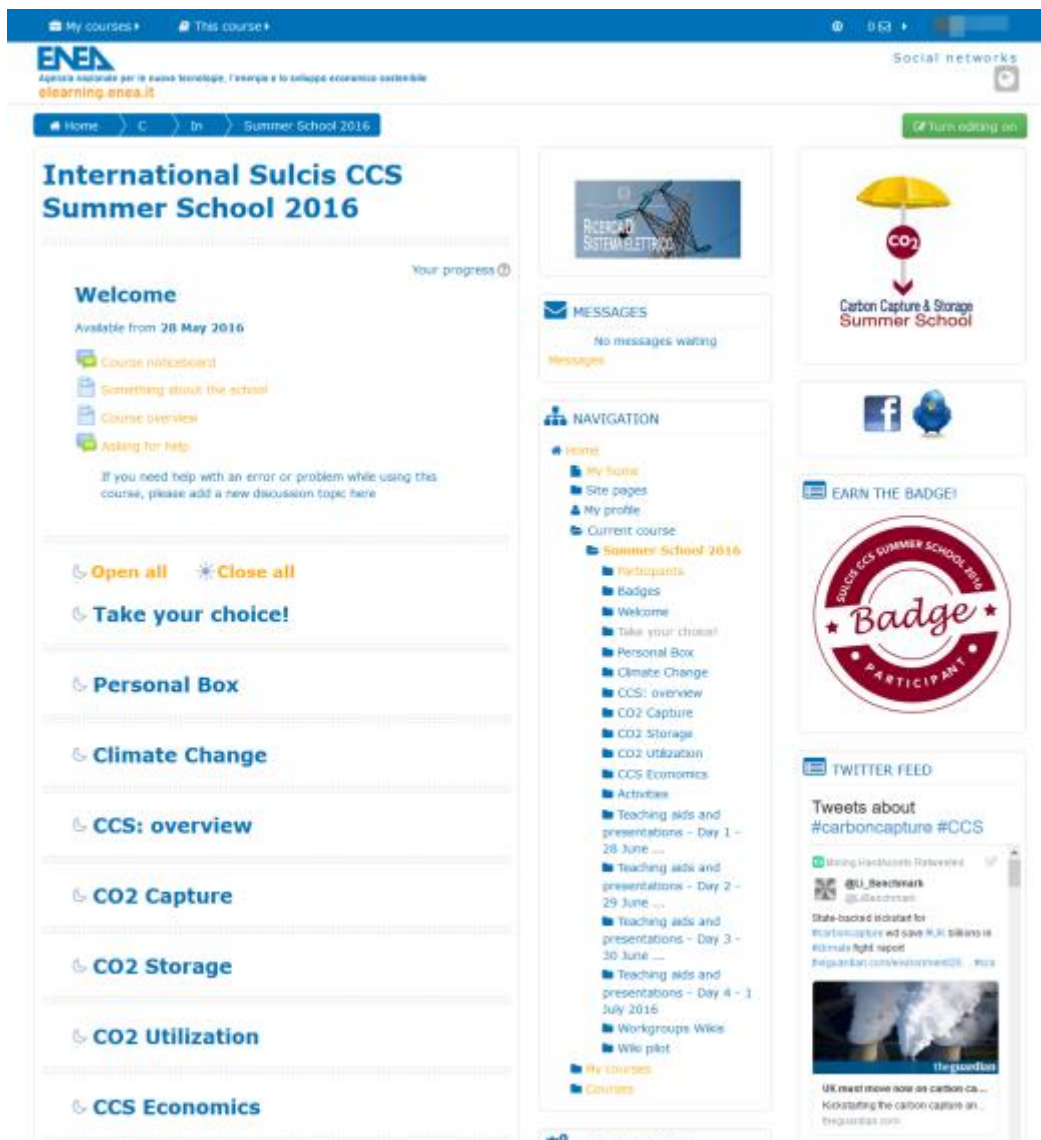


Figura 17 - Home del corso 2016

La struttura del corso, di cui analizzeremo solo le sezioni principali, prevede inizialmente una serie di Risorse, divise in Topics. Il primo Topic, denominato "Welcome" (figura 18), ospita al suo interno due pagine informative sulla Scuola estiva e sul corso e-learning e due forum:

- "Asking for help": creato per dare supporto agli studenti che abbiano problemi tecnici relativi all'uso della piattaforma e del corso;





- “Course noticeboard”: dove vengono pubblicate tutte le “News” sul corso e sulla Scuola. E’ un forum utilizzato per fornire informazioni di qualsiasi tipo agli studenti.

**International Sulcis CCS  
Summer School 2016**

Your progress ?

## Welcome

Available from **28 May 2016**

-  **Course noticeboard**
-  **Something about the school**
-  **Course overview**
-  **Asking for help**

If you need help with an error or problem while using this course, please add a new discussion topic here

Figura 18 - Il Topic "Welcome"

Nel Topic “Climate Change” (figura 19) sono disponibili una serie di documenti e video, sotto forma di link, dei più autorevoli organismi internazionali che forniscono una panoramica su cambiamenti climatici e riscaldamento globale, le loro cause e la necessità di ridurre l’emissione di anidride carbonica in atmosfera.

I documenti mettono in relazione la necessità di non aumentare la temperatura globale oltre 2° C al di sopra del livello pre-industriale e l’esigenza di ridurre del 50-85% le emissioni di gas serra entro il 2050: per assolvere a questo compito è necessario un portafoglio di soluzioni, che include l’efficienza energetica, un notevole aumento delle energie rinnovabili e di cattura e stoccaggio della CO2 (CCS). Gli studenti possono visualizzare i documenti on line o scaricarli sul loro pc per consultarli in maniera più agevole (figura 20).

## **Climate Change**

Available from **28 May 2016**







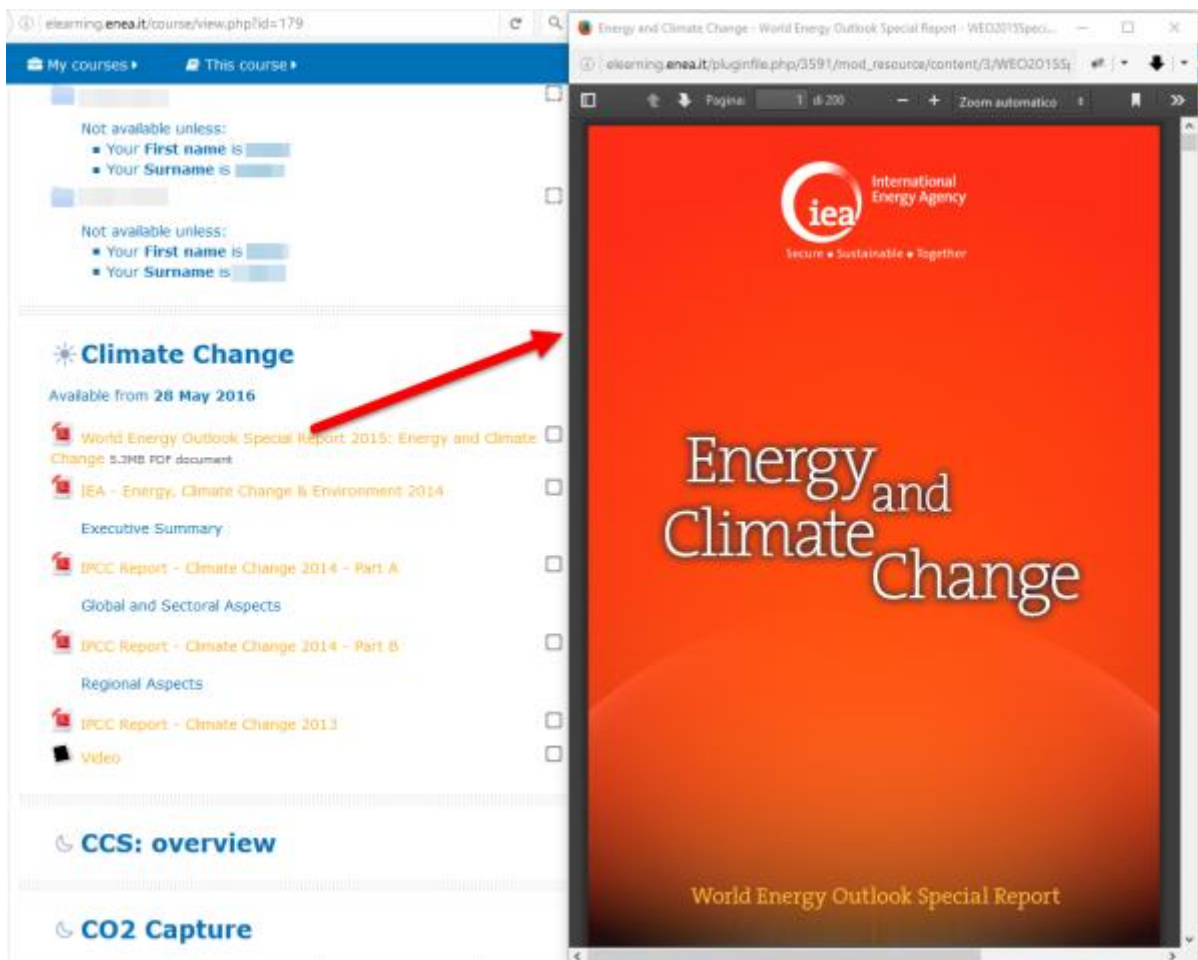
-  [World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change](#) 5.3MB PDF document
-  [IEA - Energy, Climate Change & Environment 2014](#) 
  - [Executive Summary](#)
-  [IPCC Report - Climate Change 2014 - Part A](#) 
  - [Global and Sectoral Aspects](#)
-  [IPCC Report - Climate Change 2014 - Part B](#) 
  - [Regional Aspects](#)
-  [IPCC Report - Climate Change 2013](#)
-  [Video](#)

Figura 19 - Il Topic "Climate Change"




The image shows a browser window with two panes. The left pane displays a course page titled "Climate Change" with a list of resources. A red arrow points from the link "World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change" to the right pane. The right pane shows a document viewer displaying the cover of the "World Energy Outlook Special Report" by the International Energy Agency (IEA). The cover features the IEA logo and the text "Energy and Climate Change" in large white letters on a red background.

Figura 20 - Cliccando su uno dei link della sezione si apre il documento relativo


Continuando nell'analisi della struttura del corso, seguono una serie di Topics sulle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO2 e alcuni importanti aspetti correlati.

- CCS: overview: panoramica sulla diffusione delle tecnologie CCS a livello mondiale e sulle possibili prospettive di sviluppo della tecnologia (figura 21)




## CCS: overview

Available from **28 May 2016**




IEA - Energy Technology Perspectives 2016 - Executive Summary File 2.9MB PDF document

Towards Sustainable Urban Energy Systems




IEA - Tracking Clean Energy Progress 2016 4.9MB PDF document




IEA - Energy Technology Perspectives 2015 - Executive Summary 1.9MB PDF document

Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action




IEA - Tracking Clean Energy Progress 2015 4.9MB PDF document




Global CCS Institute - The Global Status of CCS 2015 6.8MB PDF document


Summary Report




Global CCS Institute - The Global Status of CCS 2014 6.7MB PDF document




IEA - CCS 2014 5.6MB PDF document




IEAGHG - Overviews 2014 7.1MB PDF document




DOE - Carbon Utilization and Storage Atlas - 2012 36.5MB PDF document




IPCC - Carbon Dioxide Capture and Storage - 2007 22.8MB PDF document




Bellona Foundation Brochure - Why CCS now 8.8MB PDF document



CO2 GeoNet e-book - Reducing carbon dioxide emissions 1.5MB PDF document



ZEP - Carbon Capture and Storage 5.2MB Powerpoint presentation










Video

**Figura 21 - Il Topic "CCS: overview"**

- CO2 Capture: documenti, report e video sulle tecnologie di Cattura, pre-, oxy- e post-combustione, Bio-CCS (figura 22)

## ☀️ CO2 Capture

Available from **28 May 2016**







 <a href="#">Global CCS Institute - CO2 Capture Technologies - Technology Options for CO2 Capture</a> 168.3KB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">Global CCS Institute - CO2 Capture Technologies - Pre-combustion Capture</a> 203.6KB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">Global CCS Institute - CO2 Capture Technologies - Oxy-combustion with CO2 Capture</a> 142KB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">Global CCS Institute - CO2 Capture Technologies - Post-combustion Capture</a> 222.4KB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">ZEP - Recommendations for research to support CCS deployment in Europe beyond 2020</a> 952.6KB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">IEAGHG - Capturing CO2 - 2007</a> 3.1MB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">ZEP - Biomass with CO2 Capture and Storage (Bio-CCS)</a> 2.2MB PDF document	<input type="checkbox"/>

**Figura 22 - Il Topic "CO2 Capture"**

- CO2 Storage: documenti, report e video sullo storage geologico della CO2 e la caratterizzazione di reservoir (figura 23)


## ☀️ CO2 Storage

Available from **28 May 2016**


 <a href="#">CO2 GeoNet Brochure - What does CO2 geological storage really mean?</a> 3.7MB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">ZEP - CO2 Storage Report</a> 3.7MB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">PTRC - What happens when CO2 is stored underground?</a> 3.7MB PDF document	<input type="checkbox"/>
<p style="text-align: center;"><a href="#">Q&amp;A from the IEA GHG Weyburn-Midale CO2 Monitoring and Storage Project</a></p>	
 <a href="#">IEAGHG - Natural and Industrial Analogues for Geological Storage of Carbon Dioxide</a> 1MB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">Characterization of CO2 Storage Reservoir - A Case Study from South Western Sardinia</a> 2MB PDF document	<input type="checkbox"/>
 <a href="#">Video</a>	<input type="checkbox"/>

**Figura 23 - Il Topic "CO2 Storage"**


- CO2 Utilization: documenti e report sugli utilizzi industriali della CO2 ed Enhanced Oil Recovery (figura 24)


 **CO2 Utilization**

Available from **28 May 2016**

 **ZEP - CO2 Capture and Use (CCU)** 167.4KB PDF document

The potential to reduce **CO2 emissions** and accelerate **CCS** deployment in Europe

 **CSLF - What is Carbon Utilization?** 2.8MB PDF document

 **Global CCS Institute - Technical Aspects of CO2 Enhanced Oil Recovery And Associated Carbon Storage** 1.1MB PDF document




 **Global CCS Institute - Accelerating the uptake of CCS: industrial use of captured carbon dioxide** 3.9MB PDF document


Figura 24 - Il Topic "CO2 Utilization"


- CCS Economics: documenti e report sugli aspetti economici legati alla cattura e stoccaggio di CO2 (figura 25)


 **CCS Economics**


Available from **28 May 2016**

 **IEAGHG - Effectiveness of Financial Incentives for Carbon Capture and Storage - 2014** 3.4MB PDF document

 **DOE - Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants - 2013** 6.7MB PDF document

 **ZEP - CCS Market Economics Report - 2012** 632.3KB PDF document

 **IEA - Cost and performance of carbon dioxide capture from power generation - 2011** 1.1MB PDF document

 **ZEP - The Costs of CO2 Capture - 2011** 4.5MB PDF document

Post-demonstration **CCS** in the EU

Figura 25 - Il Topic "CCS Economics"





Della sezione dedicata alle Attività (figura 26) abbiamo già detto, in parte, sopra, in riferimento alle attività preliminari da svolgere sulla piattaforma a partire da un mese prima dell’inizio delle lezioni frontali. Qui riportiamo ancora qualche dettaglio sui contenuti della sezione e poche righe sul “Feedback: Summer School's overall evaluation”, cui dedichiamo una specifica analisi approfondita in altre pagine del Report.

## **Activities**

Available from **28 May 2016**

**All the following activities (except the "Feedback Summer School's overall evaluation") have to be completed before 28th June 2016**


 **Introduce yourself!**


 **Glossary**


"The language of **CCS**"

Glossary produced within the context of the FP7 project **ECO2**


**Sub-seabed CO2 Storage: Impact on Marine Ecosystems -**  
<http://www.eco2-project.eu/>







 **What does CO2 geological storage really mean?**

Brochure produced by **CO2GeoNet** - The Network of Excellence on the Geological Storage of CO2 - available in 26 languages, can be downloaded from <http://www.co2geonet.com/>.



 **Feedback: Summer School's overall evaluation**

Available from **1 July 2016**



**Figura 26 - Il Topic "Activities"**

Il forum “Introduce yourself!” (figura 27) ha come obiettivo la creazione di una comunità della Summer School, in cui gli iscritti si presentano e cominciano a conoscersi gli uni con gli altri già prima dell’avvio delle lezioni. Nel forum ogni studente deve inserire almeno un post in cui presenta se stesso, inserisce una propria foto, espone il suo curriculum studentesco, il profilo professionale, le esperienze in ambito CCS e nel settore dell’energia. Ogni studente può replicare ai post inseriti dai suoi colleghi. Il forum è il primo step per la costruzione di quella comunità di apprendimento, di cui si è detto nelle pagine precedenti, formata

da diversi soggetti e strumenti, ognuno portatore di una propria prospettiva conoscitiva per il sostegno dell'apprendimento individuale e della comunità nel suo insieme.

## Introduce yourself!

Join the **CCS** Summer School community! Please click the **"Add a new discussion topic"** button below and then introduce yourself. Give us some informations about you (age, nationality, qualification, ongoing studies and more) and get in touch with your colleagues.

Feel free to add a picture if you wish. Please also take a moment to update your profile [here](#) on the Moodle site, to include things like Skype ID's, and any information you'd care to share about yourself.

Add a new discussion topic












Discussion	Started by	Replies	Unread ✓	Last post
Hi everyone		1	0	Tue, 28 Jun 2016, 10:16 AM
hello everybody		1	0	Tue, 28 Jun 2016, 10:12 AM
Hi!		1	0	Tue, 28 Jun 2016, 9:13 AM
Hello everyone!		1	0	Mon, 27 Jun 2016, 11:19 PM
		1	0	Mon, 27 Jun 2016, 9:29 AM
Introduce yourself!		1	0	Mon, 27 Jun 2016, 9:27 AM
Hello Everybody		1	0	Mon, 27 Jun 2016, 9:26 AM
Introduction		1	0	Mon, 27 Jun 2016, 9:20 AM
Hello everybody!		1	0	Fri, 24 Jun 2016, 5:38 PM
Hi everyone		1	0	Fri, 24 Jun 2016, 1:17 PM
hello everybody		1	0	Thu, 23 Jun 2016, 9:00 AM

Figura 27 - Alcuni post degli studenti inseriti nel forum "Introduce yourself"

L'attività Glossario (figura 28) prevede una glossario di base impostato su "The language of CCS Glossary" realizzato nell'ambito del progetto FP7 ECO2 - Sub-seabed CO2 Storage: Impact on Marine Ecosystems. Gli studenti possono implementare le voci del glossario inserendo nuovi termini e commentando quelli esistenti e quelli aggiunti dai colleghi. Il glossario mette a disposizione degli studenti la terminologia base necessaria per una piena comprensione delle materie trattate e stimola la collaborazione attiva alla creazione e scambio di informazioni e conoscenza. I termini del Glossario vengono visualizzati come link in tutte le pagine del corso.

## Glossary

"The language of CCS"

Glossary produced within the context of the FP7 project [ECO2](#)

[Sub-seabed CO2 Storage: Impact on Marine Ecosystems - http://www.eco2-project.eu/](#)

Search   Search full text

[Add a new entry](#)


[Browse by alphabet](#) [Browse by category](#) [Browse by date](#) [Browse by Author](#)

Browse the glossary using this index

[A](#) | [B](#) | [C](#) | [D](#) | [E](#) | [F](#) | [G](#) | [H](#) | [I](#) | [J](#) | [K](#) | [L](#) | [M](#) | [N](#) | [O](#) | [P](#) | [Q](#) | [R](#) | [S](#) | [T](#) | [U](#) | [V](#) | [W](#) | [X](#) | [Y](#) | [Z](#) | [ALL](#)

Sort by: [Surname](#) | [First name](#) -

---

 [Redacted]


**LCOE**

by [Redacted] - Wednesday, 29 June 2016, 4:26 PM

acronym of "level"

Keyword(s):

[Comments \(0\)](#)


 [Redacted]

**Excess Air**

by [Redacted] - Tuesday, 21 June 2016, 2:40 PM

To ensure complete combustion of the fuel used combustion chambers are supplied with excess air. The combustion efficiency increases with increased excess air until the heat loss in the excess air is larger than than the heat provided by the more efficient combustion.

[Comments \(0\)](#)


 [Redacted]

**Well Integrity**

by [Redacted] - Tuesday, 14 June 2016, 12:55 AM

The application of technical, operational and organizational solutions to reduce risk of uncontrolled release of fluids (like [captured](#) and stored [CO2](#)) throughout the life cycle of a [well](#).

[Comments \(0\)](#)

 [Redacted]

**CO2 hydrogenation**

by [Redacted] - Monday, 13 June 2016, 12:11 PM

CO2 hydrogenation is a form of [CO2 reuse](#) process based on a chemical reaction in which the [captured](#) carbon dioxide is converted in "renewable" fuels (like methanol or other hydrocarbons) through the reaction with hydrogen H2.

For example:  
 $3H_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CH_3OH$

[Comments \(0\)](#)

Figura 28 - Alcune voci del glossario aggiunte dagli studenti

L'attività "Lezione" (figura 29) è basata sulla brochure del CO2GeoNet "What does CO2 geological storage really mean?" e ne ripropone i contenuti sotto forma di pagine web da navigare. Nelle pagine si analizzano le cause dei cambiamenti climatici e la necessità dello stoccaggio geologico della CO2 per contenere le

emissioni in atmosfera. La Lezioni si conclude con un questionario di 10 domande appositamente sviluppato per il corso on line.

## International Sulcis CCS Summer School 2016

---

### What does CO2 geological storage really mean?

You have earned 0 point(s) out of 0 point(s) thus far.

#### Climate change and the need for CO2 geological storage

It is now accepted that human activities are disturbing the carbon cycle of our planet. Prior to the industrial revolution and extending back some 10,000 years, this finely balanced cycle, involving the natural exchange of carbon between the geosphere, the biosphere, the oceans and the atmosphere, resulted in a low range of CO2 concentrations in the atmosphere (around 280 ppm, i.e. 0.028%). However, over the past 250 years, our prolific burning of fossil fuels (coal, oil, gas) for power production, heating, industry and transportation, has incessantly raised the amount of CO2 emitted into the atmosphere. About half of this human-induced excess has been reabsorbed by vegetation and dissolved in the oceans, the latter causing acidification and its associated potentially negative impacts on marine plants and animals. The remainder has accumulated in the atmosphere where it contributes to climate change, because CO2 is a greenhouse gas that traps part of the sun's heat, causing the earth's surface to warm. Immediate radical action is needed to stop today's atmospheric CO2 concentration of 387 ppm (already a +38% increase compared to preindustrial levels) from rising beyond the critical level of 450 ppm in the coming decades. Experts worldwide agree that above this level, it may no longer be possible to avert the most drastic consequences.

**Returning the carbon back into the ground**

Our world has been heavily dependent on fossil fuels since the start of the Industrial Age in the 1750s, so it is not surprising that the transformation of our society into one based on climate-friendly energy sources will take both time and money. What we need is a short-term solution that will help reduce our dependence on fossil fuels by using them in a non-polluting way as a first step, thus giving us the time needed to develop technologies and infrastructure for a renewable-energy future. One such option is to create a closed loop in the energy production system, whereby the carbon

#### LESSON MENU

**CONTENTS**

- Climate change and the need for CO2 geological storage
- Where and how much CO2 can we store underground?
- How can we transport and inject large quantities of CO2?
- What happens to the CO2 once in the storage reservoir?
- Could CO2 leak from the reservoir and, if so, what might be the consequences?
- How can we monitor the storage site at depth and at the surface?
- What safety criteria need to be imposed and respected?
- Test

---

Brochure produced by CO2GeoNet  
The Network of Excellence on the Geological Storage of CO2  
(available in 26 languages, can be downloaded from <http://www.co2geonet.com/>)

---

MESSAGES

Figura 29 - Una delle pagine dell'attività "Lezione"

Il "Feedback: Summer School's overall evaluation" (figura 30) è l'ultima Attività che gli studenti sono chiamati a svolgere. Si tratta di un questionario per monitorare il livello di soddisfazione degli studenti verso l'edizione 2016 della Scuola estiva. Il feedback di valutazione dell'esperienza complessiva è stato strutturato con riferimento a tre aree di attenzione:

- Percezione globale dell'esperienza
- E-learning
- Organizzazione e servizi

Per ogni domanda è stata fornita una scala di valutazione del gradimento che va da 1 (Strongly disagree) a 5 (Strongly agree). Sono state inserite, inoltre, delle domande a risposta aperta per la raccolta di informazioni di tipo qualitativo (opinioni, suggerimenti, critiche). I questionari compilati (al 10/07/2016), in modo anonimo, sono stati venticinque (25) su trentasette partecipanti alle lezioni in aula.

## Feedback: Summer School's overall evaluation

Mode: Anonymous

There are required fields in this form marked \*.

1The course corresponded to your expectations\*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

2The course increased my interest in the subject\*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

3The course was well-organized and ran smoothly\* (1 - 5)

4The course provided an appropriate balance between instruction and practice \*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

5What overall rating would you give the course?\*

- Poor  
 Fair  
 Good  
 Very good  
 Excellent

6To what extent do you think you can apply the information presented during the Summer School to your professional skills?\*

- Not at all  
 A little bit  
 Some  
 Quite a bit  
 A lot

7For my experience level, the Summer School was\*

- Too basic  
 About right  
 Too advanced

8The e-learning platform is\*

- User-friendly  
 Not so easy to use  
 Unhandy  
 Troublesome

9The e-learning course is\*

- Poor  
 Fair  
 Good  
 Very good  
 Excellent

10The e-learning course is an additional benefit for your learning experience\*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

11Hospitality and organization corresponded to your expectations\*

- Strongly disagree  Disagree  Neutral  Agree  Strongly agree

12What are the strong points of the Summer School?\*

13And the weaknesses ones?\*

14Would you recommend this Summer School to others?\*

- Yes  
 No

15Why?\*

16Please provide any comments or suggestions that might help improve this course in the future\*

Submit your answers

Cancel


Figura 30 - Il feedback di valutazione complessiva della Summer School 2016

I Topics "Teaching aids and presentations" ospitano tutte le presentazioni che i diversi relatori hanno tenuto durante le quattro giornate di lezione in aula. Le presentazioni sono state caricate giornalmente in formato pdf, facendo in modo che gli studenti le avessero a disposizione e potessero consultarle già dal tardo pomeriggio di ogni giornata in programma. Nei Topics sono state inserite anche risorse utili all'approfondimento della materia trattata ("Tip of the day") che potevano essere consultate già a partire dal giorno prima della lezione frontale, per introdurre all'argomento gli studenti e fornire loro qualche interessante spunto di riflessione (figura 31).

**Teaching aids and presentations**  
**- Day 1 - 28 June 2016**


**Introduction - Session chairman: *Giorgio Cau (University of Cagliari, Italy)***

Available from **28 May 2016**

 **Tip of the day 1**

Take a look at this infographic on the [ZEP website](#)

Available from **27 June 2016**

 **1 - Open ceremony, welcome and general introduction - Alessandro Lanza** 1.4MB PDF document

 **2 - CCS in the European and Italian policies - Marcello Capra** 2MB PDF document

 **3 - Sources of CO2 and energy balance - Giorgio Cau** 1.3MB PDF document

 **4 - CO2-free power generation: economic performance - Matthias Finkenrath** 3MB PDF document

 **Feedback: speakers effectiveness - Day 1**

Give us a feedback on speakers and their presentations.  
Your name will be not displayed and the feedback is anonymous.

Available from **28 June 2016, 4:00 PM**

Figura 31 - Il Topic "Teaching aids and presentations" della prima giornata

Il Topic dedicato ai "Workgroups Wikis" (figura 32) ha messo a disposizione degli studenti uno degli strumenti principali della piattaforma Moodle per l'apprendimento collaborativo: il Wiki. L'attività Wiki mutua il suo nome dal termine Hawaiano "wiki wiki", che significa "molto veloce". Un wiki collaborativo è, infatti, un metodo veloce per la creazione di contenuti di gruppo. Si tratta di un formato molto popolare sul Web per la creazione di documenti di gruppo in cui, solitamente, non c'è redattore centrale né una sola persona che ha il controllo editoriale finale. Al contrario, la comunità modifica e sviluppa il proprio contenuto e il prodotto finale nasce dal consenso e dal lavoro di molte persone sul documento.

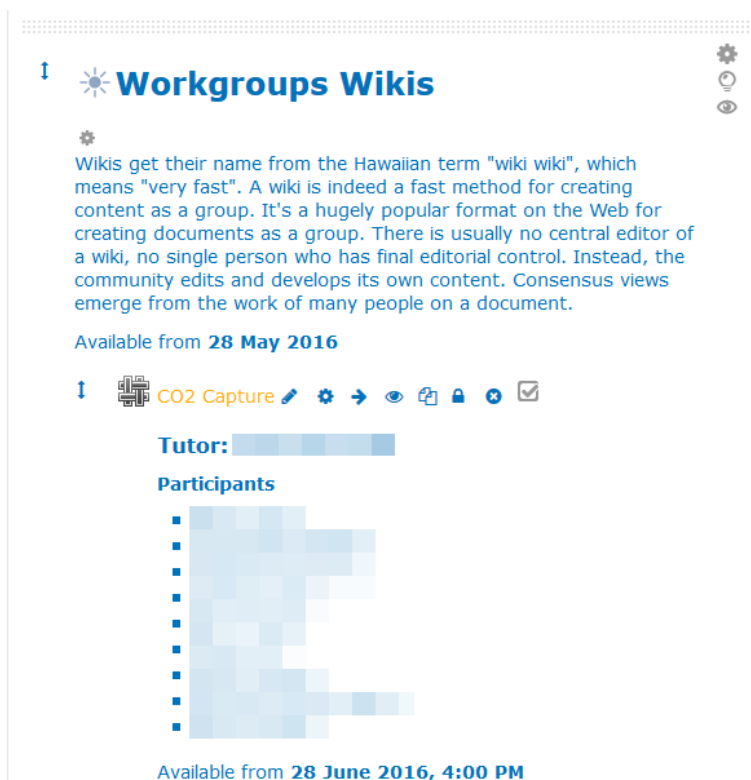
Caratteristiche del Wiki:

- consente a tutti di modificare i contenuti
- consente di inserire commenti alle pagine sviluppate
- mantiene lo storico delle modifiche, elencando ciascuna modifica accanto al rispettivo autore e facilitando il processo di revisione
- consente di esportare il documento finale in versione pdf o epub

Il lavoro sui Wiki si è svolto durante l'orario delle lezioni in aula, configurandosi quindi come attività di blended-learning (misto in presenza e on line). Ad ogni gruppo di studenti è stato assegnato un tema specifico e ad ogni gruppo è stato assegnato un tutor con il compito di guidare e coadiuvare gli studenti sul tema indicato.

Quattro i gruppi di lavoro e i temi assegnati (negli allegati i lavori sviluppati dagli studenti):

- CO2 Capture
- CO2 utilization
- CO2 geological storage
- CCS: economic issues



The screenshot shows a Moodle Wiki page titled "Workgroups Wikis". The page content includes a definition of Wikis: "Wikis get their name from the Hawaiian term 'wiki wiki', which means 'very fast'. A wiki is indeed a fast method for creating content as a group. It's a hugely popular format on the Web for creating documents as a group. There is usually no central editor of a wiki, no single person who has final editorial control. Instead, the community edits and develops its own content. Consensus views emerge from the work of many people on a document." Below the text, it says "Available from 28 May 2016". There is a toolbar with icons for editing, settings, and other actions. Below the toolbar, there is a "Tutor:" field with a blurred name and a "Participants" section with a grid of blurred names. At the bottom, it says "Available from 28 June 2016, 4:00 PM".

Figura 32 - Il Topic per i "Workgroups Wikis"

## ALLEGATI

Di seguito riportiamo i lavori svolti dagli studenti durante i Workgroups Wikis e la presentazione dell'ingegner Claudia Bassano illustrata durante la seconda giornata, su "CO2 capture approaches and technologies", della Summer School 2016.



## WORKGROUPS WIKIS: GROUP 1

### CO2 Capture

**Tutor: Francesco Pili**

#### **Participants**

- Mario Garau
- Przemyslaw Rzepka
- Muhammad Farooq
- Valentina Nairi
- Marco Muzzu
- Silvia Lisci
- Nicola Piredda
- Giovanni Antonio Murru
- Alfredo Puddu

## **Index**

**CO2Capture**

**Oxy-fuel combustion**

**Post-combustion**

**Pre-combustion**

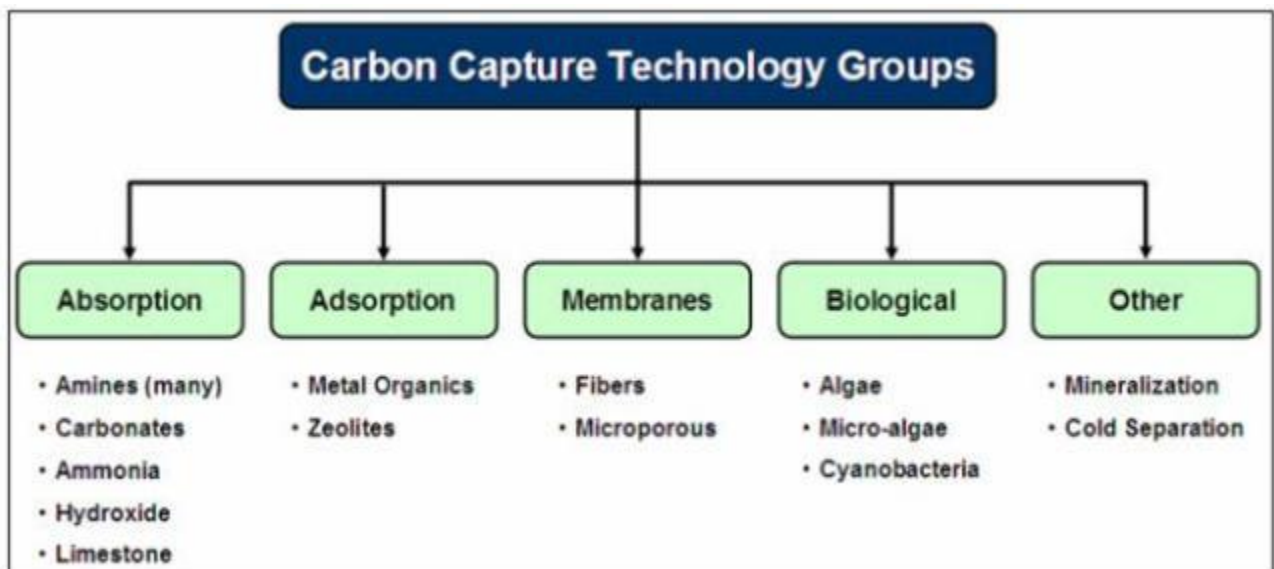
## CO2 Capture and storage: a good way to prevent the global temperature increment

To prevent the world temperature increment, the scientific community in agreement with the politic one, believes the Carbon Capture and Storage as an effective way to achieve the target. The first step to avoid the temperature increment is reduce the atmospherical CO2 concentration; to do this a lot of strategies are followed worldwide like improve the energy consumption efficiency (from the producers to the end users), increase the renewable energy fraction in the global production and then use the CCS to limit the emissions deriving from thermoelectrical plants and others emitters CO2.

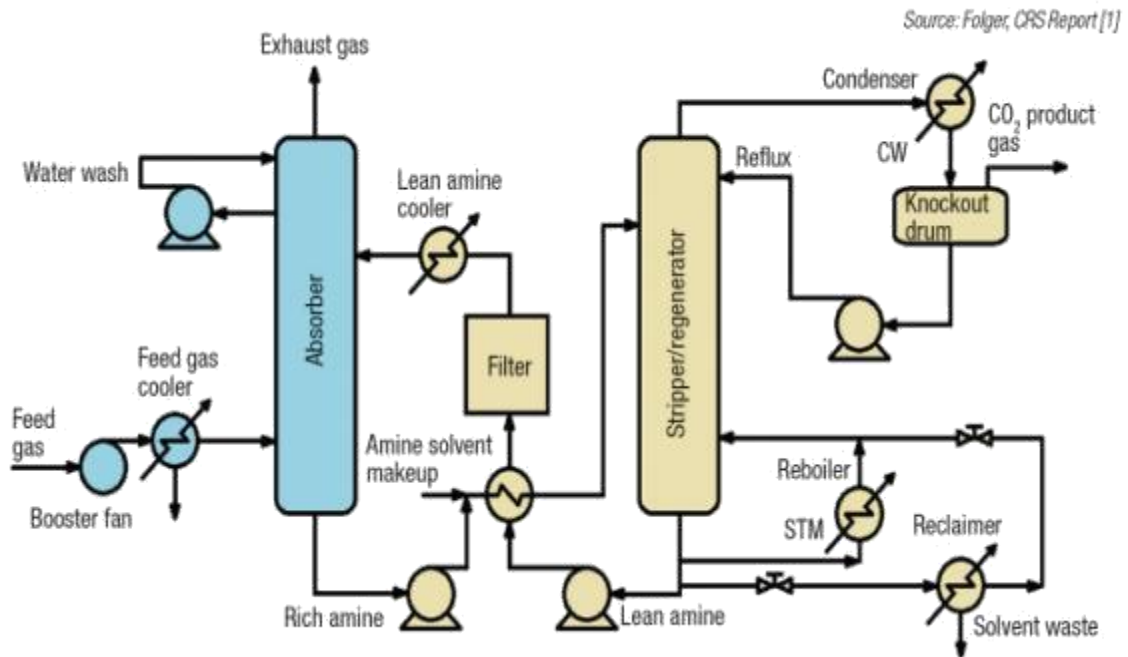
Basically there are three capture methods distinguished by the point of capture application:

- **Pre-combustion:** Pre-combustion capture refers to removing CO2 from fossil fuels before combustion is completed. Today's commercially available pre-combustion carbon capture technologies generally use physical or chemical adsorption processes. Research focuses on three key separation technologies - advanced solvents, sorbents, and membranes - in order to meet this goal. The pre-combustion capture research activities will coordinate closely with the gasification and hydrogen turbine programs to ensure that pre-combustion capture technologies can be successfully integrated into an IGCC facility.
- **Post-combustion:** Post-combustion processes separate CO2 from combustion exhaust gases. Post-combustion capture (PCC) refers to the separation of CO2 from flue gas derived from combusting fossil fuels - coal, natural gas, or oil - in air. In the case of coal-based power, coal is combusted in air and the liberated heat is converted to electricity by steam-driven turbines connected to generators. The combustion results in a flue gas mixture consisting of N2, CO2, H2O, O2, and a host of compounds such as SOx, NOx, and heavy metals amongst others. A PCC process then aims to selectively separate CO2 from the remaining gas mixture. After capture, CO2 can be compressed and stored underground, used in some other processes such as enhanced oil recovery (EOR), or used in some other capacity that does not result in its emission into the atmosphere.
- **Oxy-fuel combustion:** Oxyfuel combustion processes use oxygen rather than air for combustion of fuel. This produces exhaust gas that is mainly water vapour and CO2 that can be easily separated to produce a high purity CO2 stream. Oxy-fuel combustion significantly changes how the combustion is conducted. It uses oxygen instead of air, thus eliminating nitrogen from the oxidant gas stream and producing a CO2-enriched flue gas. This flue gas is ready for sequestration after water has been condensed and other impurities have been separated out.

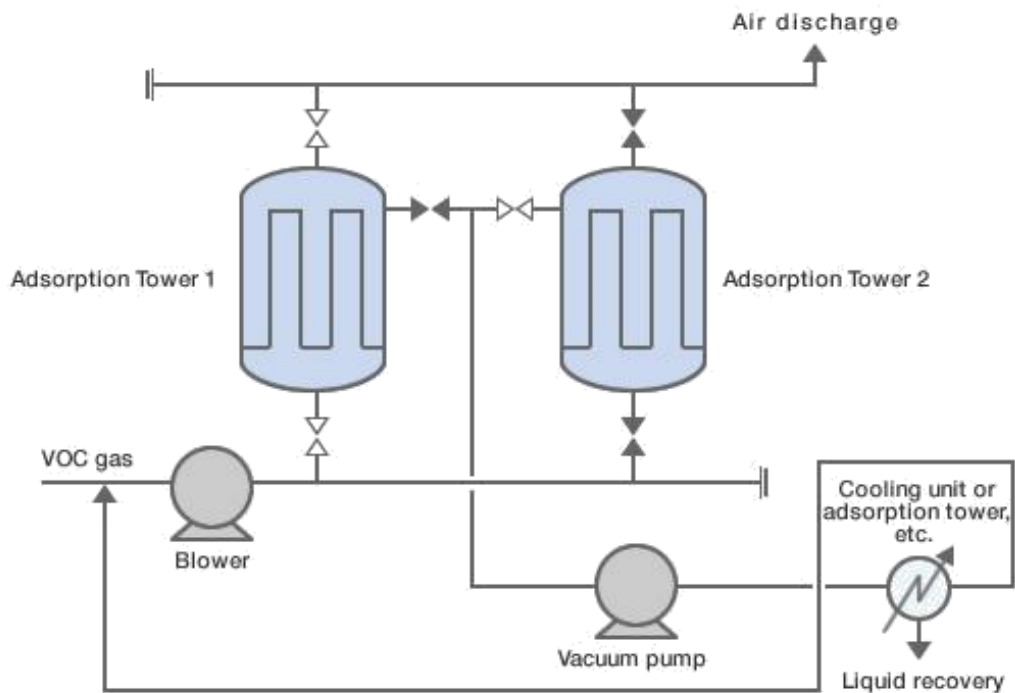
The figure below shows the main capture technologies including the most widely applied like the chemical and/or physical absorption and also the sperimental ones like microalgae and cyanobacte



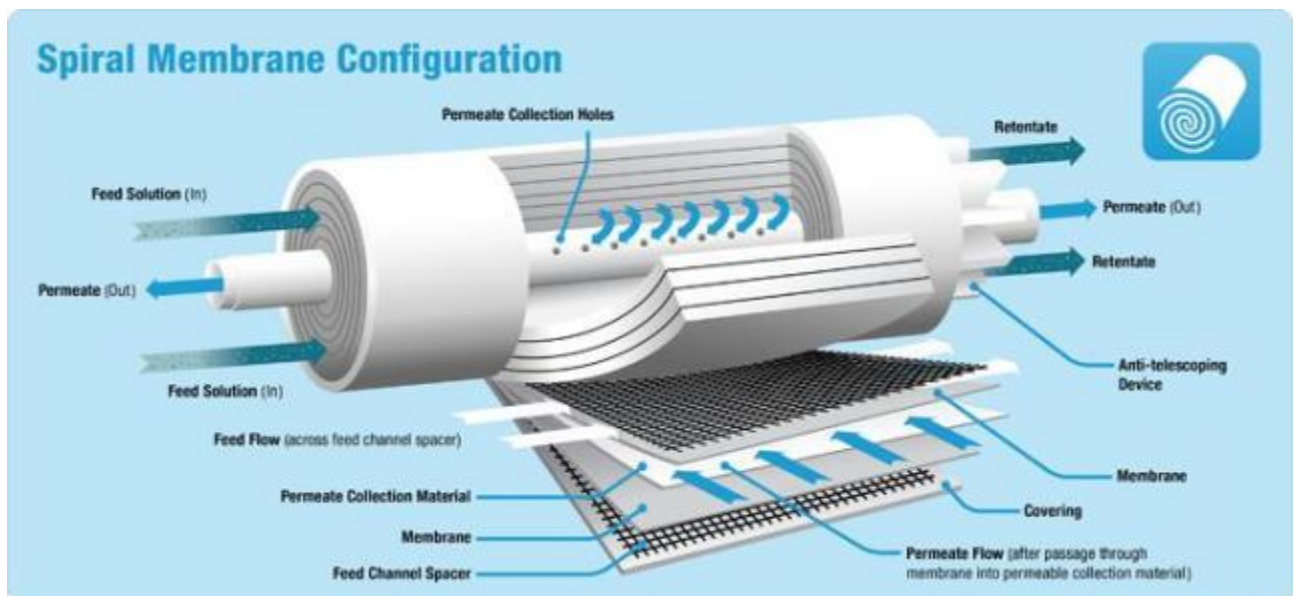
- Absorption: this technology works using an absorbing column where happens a washing in counter current between the gas rich in carbon dioxide coming from the column bottom and an aqueous liquid solution of organic solvent (mainly amines solvents) coming from the column top. Here the two phases form chemical (Covalent bonds) or electrostatic (Wan Der Walls forces) connections between the CO<sub>2</sub> particles and the liquid solution. Basically the absorption technology have the most wide diffusion because the CCS plant are realized in old power plant retrofit in post combustion configuration and also the absorption technology is the most tested one.



- Adsorption: this technology works using an adsorber reactor filled with an high active surface achieved by using synthetic materials or natural ones. Basically for the CO<sub>2</sub> capture zeolites being used as packed bed done inside the reactor. The bed works like adsorbent instead the fluents gases rich in CO<sub>2</sub> work like adsorbate. The carbon dioxide particles are trapped in the empty sites of the adsorbent material matrix by covalent bonds or electrostatic forces. This kind of technology works better in high pressure conditions achieved after an high pressure process like coal gassification; in fact one of the most interesting applications is in the IGCC power plants where a pre-combustion capture is performed on a syngas achieved by a coal gassification process in order to obtain a H<sub>2</sub> rich gas that will be used in a gas turbine with a recovery steam generator and its related power generation cycle.



- Membrane: Membranes are one of the most potential technology at today for the CO<sub>2</sub> capture; basically this technology works by pressure difference realized across a filtering membrane. This technique is the same of the inverse osmosis widely used for water desalination process and other water purification ones. The challenge for the wide diffusion of the membrane CO<sub>2</sub> capture technology is the materials duration that constitute them improving and the incrementation of the flow rate processed.



- Biological: biological CO<sub>2</sub> capture is still under research and development argument. Worldwide the wide natural CO<sub>2</sub> catcher are cyanobacteria and the microalgae; these micro living forms are responsible of the 40% of the CO<sub>2</sub> capture made by the enviroment. Their working mode is use the carbon in the CO<sub>2</sub> molecule for their colony accretion. This kind of living form are responsible of the primordial CO<sub>2</sub> world concentration decreasing achieved in huge amount of time. So the biological way to CCS is a very good one,

but it's not enough performing to follow the anthropogenic CO<sub>2</sub> emission; so they need more research to overclocking the CO<sub>2</sub> absorbing abilities.

Other techniques: in other techniques are included the crio-separation and the mineralization. The first one is the most widely used worldwide and the ancient one. The crio gas separation is a combination of cooling process and pressure increment. The main CO<sub>2</sub> production process follows the crio-separation method; to obtain a efficient carbon dioxide separation the gas have to be brought to the liquid pressure and temperature condition (about 10 bar and 230 K). This process it's very energy expensive but very consolidated in the CO<sub>2</sub> production sector, but for the CCS it isn't because if compared to the chemical absorption it's more energivorous. The mineralization process is obtained using selected minerals like silicate rocks or olivine and thermal energy.

## Oxy-fuel combustion

In the process of oxy-fuel combustion the oxygen required is separated from air prior to combustion and the fuel is combusted in oxygen diluted with recycled flue-gas rather than by air. This oxygen-rich, nitrogen-free atmosphere results in final flue-gases consisting mainly of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O (water), so producing a more concentrated CO<sub>2</sub> stream for easier purification.

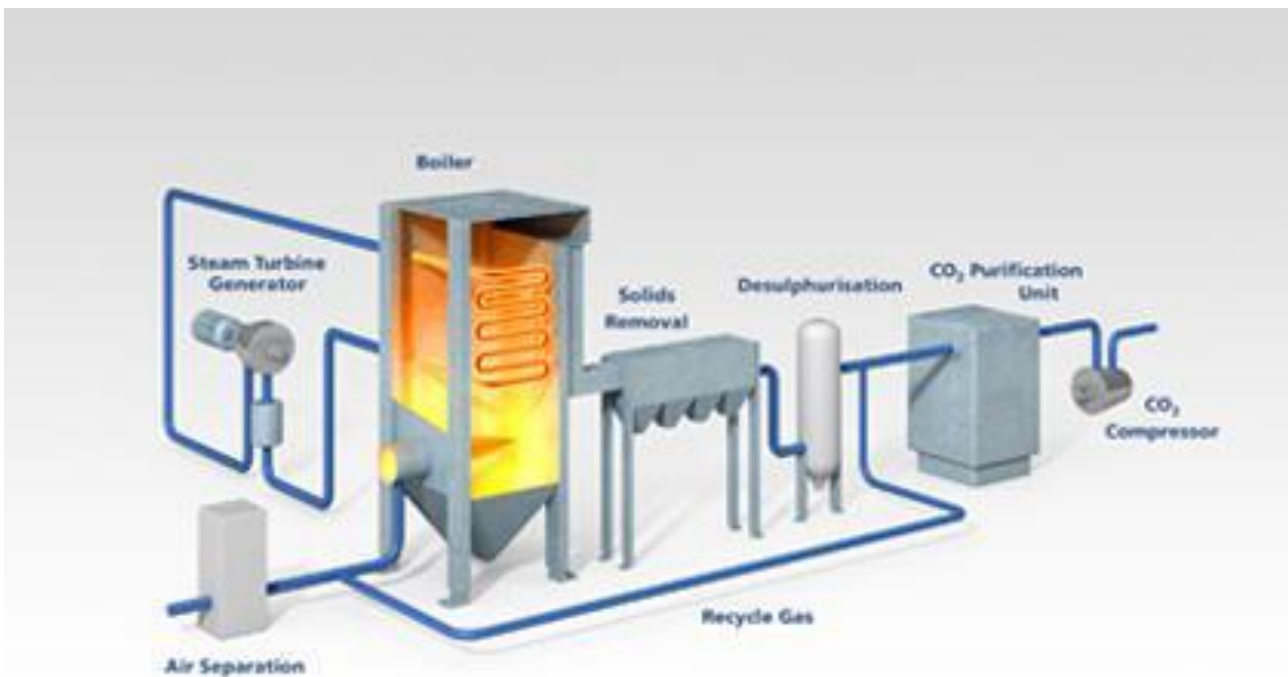
1st - 2nd - 3rd Generation Plants

1st generation plants. Generally pilot plants derived from "retrofit" of conventional existing plants. The best known is the 30 MWt plant built by Vattenfall at the Schwarze Pumpe plant in Germany.

2nd generation plants. New plants, designed for oxygen combustion and with gas recycling. These plants are based on experience from 1st generation plants. Lower size in comparison to 1st generation plants resulting from lower volume flow in comparison to air combustion (20-25%) due to different gas properties (density and specific heat capacity).

3rd generation plants. New plants with oxygen combustion moderated by steam.

Oxy-fuel combustion for CO<sub>2</sub> capture consists of three main components: the air separation unit (ASU) that provides oxygen for combustion, the furnace and heat exchangers where combustion and heat exchange take place, and the CO<sub>2</sub> capture and compression unit. Due to the large quantity of high-purity oxygen typically required in oxy-fuel combustion, cryogenic air separation is currently the technology of choice for oxygen production. A large portion of the flue gas must be recycled back to the furnace for combustion temperature moderation and gas volume reconstitution to ensure proper heat transfer.



There is currently research being done in firing fossil-fueled power plants with an oxygen-enriched gas mix instead of air. Almost all of the nitrogen is removed from input air, yielding a stream that is approximately 95% oxygen. Firing with pure oxygen would result in too high a flame temperature, so the mixture is diluted by mixing with recycled flue gas, or staged combustion. The recycled flue gas can also be used to carry fuel into the boiler and ensure adequate convective heat transfer to all boiler areas. Oxy-fuel combustion

produces approximately 75% less flue gas than air fueled combustion and produces exhaust consisting primarily of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O.

The justification for using oxy-fuel is to produce a CO<sub>2</sub> rich flue gas ready for sequestration. Oxy-fuel combustion has significant advantages over traditional air-fired plants. Among these are:

The mass and volume of the flue gas are reduced by approximately 75%. Because the flue gas volume is reduced, less heat is lost in the flue gas. The size of the flue gas treatment equipment can be reduced by 75%. The flue gas is primarily CO<sub>2</sub>, suitable for sequestration. The concentration of pollutants in the flue gas is higher, making separation easier. Most of the flue gases are condensable; this makes compression separation possible. Heat of condensation can be captured and reused rather than lost in the flue gas. Because nitrogen from air is absent, nitrogen oxide production is greatly reduced.

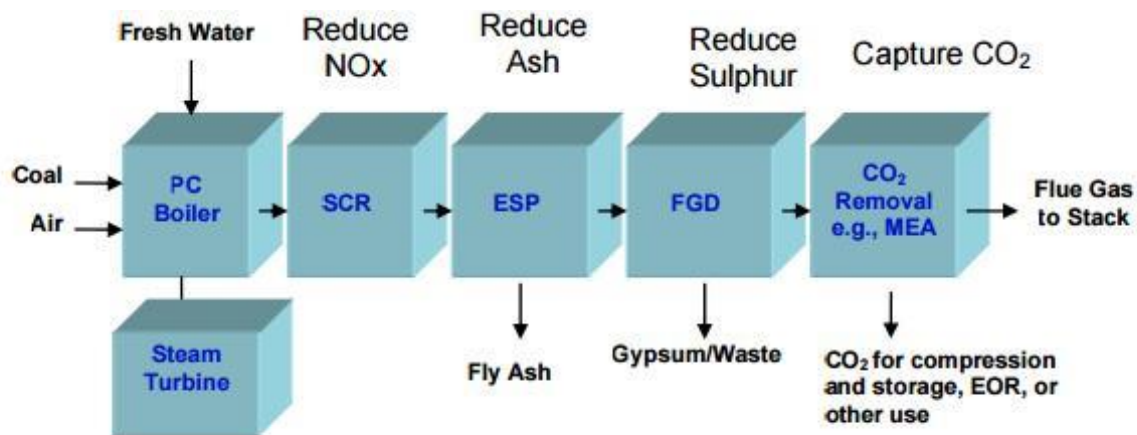
Economically speaking this method costs more than a traditional air-fired plant. The main problem has been separating oxygen from the air. This process needs lots of energy, nearly 15% of production by a coal-fired power station can be consumed for this process. However, a new technology which is not yet practical called chemical looping combustion[1] can be used to reduce this cost. At present in the absence of any need to reduce CO<sub>2</sub> emissions, oxy-fuel is not competitive. However, oxy-fuel is a viable alternative to removing CO<sub>2</sub> from the flue gas from a conventional air-fired fossil fuel plant. However, an oxygen concentrator might be able to help, as it simply removes nitrogen.

In industries other than power generation, oxy-fuel combustion can be competitive due to higher sensible heat availability. Oxy-fuel combustion is common in various aspects of metal production.



## Post-combustion

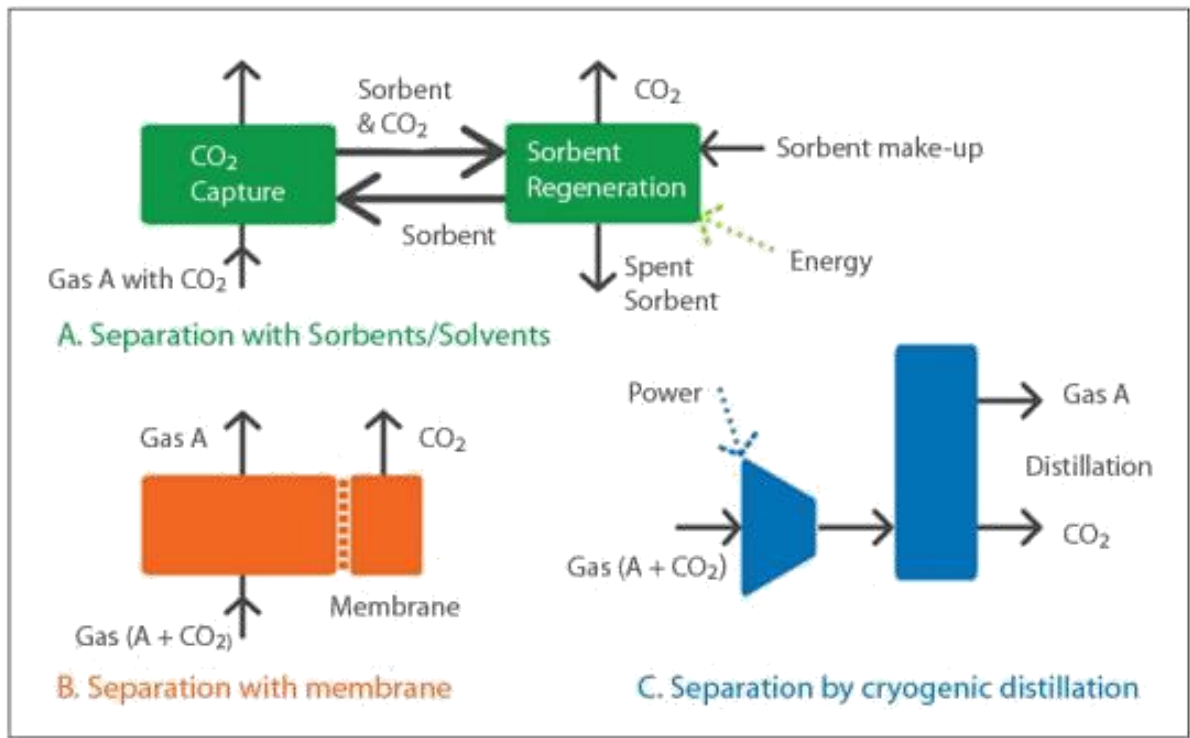
Post-combustion processes separate CO<sub>2</sub> from combustion exhaust gases. Post-combustion capture (PCC) refers to the separation of CO<sub>2</sub> from flue gas derived from combusting fossil fuels - coal, natural gas, or oil - in air. In the case of coal-based power, coal is combusted in air and the liberated heat is converted to electricity by steam-driven turbines connected to generators. The combustion results in a flue gas mixture consisting of N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, and a host of compounds such as SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, and heavy metals amongst others. A PCC process then aims to selectively separate CO<sub>2</sub> from the remaining gas mixture. After capture, CO<sub>2</sub> can be compressed and stored underground, used in some other processes such as enhanced oil recovery (EOR) or used in some other capacity that does not result in its emission into the atmosphere.



**Figure 2-1. A Typical Post-Combustion Carbon Capture Process.**

CO<sub>2</sub> can be captured using:

- a) Chemical Absorption - chemical process where CO<sub>2</sub> is chemically bonded to applied solvent (e.g. amines).
- b) Physical Adsorption - adhesion or physical interaction of CO<sub>2</sub> molecules to surface (including internal surface) of applied adsorbent.
- c) Membranes separation - technology that acts as a permeable barrier through which different compounds (e.g. CO<sub>2</sub>) move across at different rates or not move at all.
- d) Pressure swing adsorption - adhesion or physical interaction of CO<sub>2</sub> molecules to surface (including internal surface) of applied adsorbent under elevated pressure condition
- e) Cryogenic separation - high P and low T CO<sub>2</sub> separation process and which liquidification of CO<sub>2</sub> is achieved by cooling and pressurizing degassing up to -170 C and 80 bars respectively.



The amount of molecules adsorbed increases with increasing pressure, up to a maximum capacity. Because of the exothermic nature of adsorption, the amount of gas adsorbed increases with decreasing temperature. Since the uptake of gas depends strongly on both temperature and pressure, gas separation processes based on cyclic temperature or pressure variations have been devised. In temperature swing adsorption (TSA), the adsorbent is regenerated by raising the temperature. In pressure swing adsorption (PSA), the gas components are captured at somewhat elevated pressures, and the adsorbent is regenerated by lowering the pressure (it should be noted that the pressures used are always higher than atmospheric pressure, even after the pressure is decreased). Vacuum swing adsorption (VSA) is similar to PSA, and is another non-cryogenic gas separation process. The regeneration is conducted at reduced pressures, and the adsorption occurs at ambient or near-ambient pressures. In conventional PSA, the gas mixture is pressurized during certain periods in the adsorption cycle.

Chemical absorption systems at present are the preferred option for post-combustion capture of CO<sub>2</sub>. Chemical absorption systems have been in use since the 1930s for the capture of CO<sub>2</sub> from ammonia plants for use in food applications and hence, are a commercially realized technology, though not at the scale required for power plants. CO<sub>2</sub> is separated from the flue gas by passing the flue gas through a continuous scrubbing system. The system consists of an absorber and a desorber. Absorption processes utilize the reversible chemical reaction of CO<sub>2</sub> with an aqueous alkaline solvent, usually an amine. In the desorber, the absorbed CO<sub>2</sub> is stripped from the solution and a pure stream of CO<sub>2</sub> is sent for compression while the regenerated solvent is sent back to the absorber. Heat is required in the reboiler to heat up the solvent to the required temperature; to provide the heat of desorption and to produce steam in order to establish the required driving force for CO<sub>2</sub> stripping from the solvent. This leads to the main energy penalty on the power plant. In addition, energy is required to compress the CO<sub>2</sub> to the conditions needed for storage and to operate the pumps and blowers in the process.

## Pre-combustion

In this process, the fuel pretreated before combustion. There are 2 main fuels: coal and natural gas.

With coal, the pretreatment involves a gasification process conducted in a gasifier under low oxygen level forming a syngas, which consists mainly of CO and H<sub>2</sub>, and is mainly free from other pollutant gases. The syngas will then undergo water gas shift reaction with steam forming more H<sub>2</sub> while the CO gas will be converted to CO<sub>2</sub>:

Coal → CO+H<sub>2</sub> Gasification

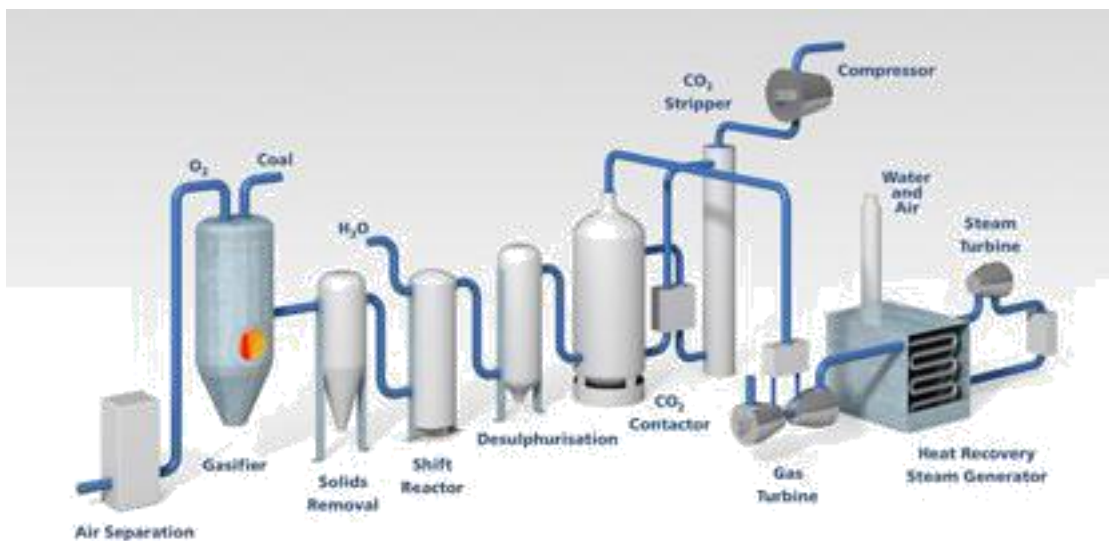
CO+H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> Water gas shift

The high CO<sub>2</sub> concentration (>20%) in the H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> fuel gas mixture facilitates the CO<sub>2</sub> separation. Subsequently, the H<sub>2</sub> is burned in air producing mainly N<sub>2</sub> and water vapor. Natural gas, as it mainly contains CH<sub>4</sub>, can be reformed to syngas containing H<sub>2</sub> and CO.

CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O --> CO + H<sub>2</sub> reforming

The content of H<sub>2</sub> can be increased by the water gas shift reaction and the rest of the process is similar to that described above for coal.

Pre-combustion is mainly applied to coal-gasification plants, the pre-combustion technology presented the lowest cost per ton of CO<sub>2</sub> avoided compared to the others technologies.



The other major feature of pre-combustion capture is the CO<sub>2</sub> capture process itself. In IGCC plants, 'conventional' capture processes usually refer to capture using physical solvents. The reason that physical solvents can be used rather than the chemical solvents used in post-combustion capture is that the CO<sub>2</sub> partial pressure of the shifted syngas is up to 1000 times higher than the flue gas in post combustion capture.

The two major physical solvents available commercially are Selexol™, a mixture of polyethylene glycol dimethylether, and Rectisol(r) which uses methanol as the solvent.

A solid sorbent is used to bind the CO<sub>2</sub> on its surfaces. Large specific surface area, high selectivity and high regeneration ability are the main criteria for sorbent selection. Typical sorbents include molecular sieves, activated carbon, zeolites, calcium oxides, hydrotalcites and lithium zirconate. The adsorbed CO<sub>2</sub> can be recovered by swinging the pressure (PSA) or temperature (TSA) of the system containing the CO<sub>2</sub>-saturated sorbent.

PSA is a commercial available technology for CO<sub>2</sub> recovery from power plants that can have efficiency higher than 85%. In this process, CO<sub>2</sub> is preferentially adsorbed on the surface of a solid adsorbent at high pressure, which will swing to low pressure (usually atmospheric pressure) to desorb the adsorbent and release CO<sub>2</sub> for subsequent transport.

In TSA, the adsorbed CO<sub>2</sub> will be released by increasing the system temperature using hot air or steam injection. The regeneration time is normally longer than PSA but CO<sub>2</sub> purity higher than 95% and recovery higher than 80% can be achieved. Operating cost of a specific TSA process was estimated to be of the order of 80-150 US\$/tonne CO<sub>2</sub> captured. Finally, the use of residues from industrial and agricultural operations to develop sorbents for CO<sub>2</sub> capture has attracted significant attention to reduce the total costs of capture.

## WORKGROUPS WIKIS: GROUP 2

### CO2 Utilization

**Tutor: Andrea Bassani**

#### **Participants**

- Cristiano Spiga
- Davide Porcu
- Taofeeq Bello
- Ilaria Frau
- Alice Scanu
- Riccardo Brazzoli
- Giorgia Balia
- Matteo Casula

## **Index**

**Introduction**

**Main Application and Uses of CO<sub>2</sub>**

**CO<sub>2</sub> hydrogenation within heterogeneous catalysis**

## Introduction

Anthropogenic emission of CO<sub>2</sub> is regarded as a major contributing factor in the serious global warming issues. Hence, it is vital that strategies are developed to limit CO<sub>2</sub> accumulation in the atmosphere. To reduce the CO<sub>2</sub> emissions, technologies such as carbon capture and storage (CCS) and carbon capture and utilization (CCU) have been developed and implemented. Compared with CCS, CCU seems to be more beneficial because it can not only reduce CO<sub>2</sub> emissions, but also produce valuable fuels and chemicals that will enable the petrochemical industry to recoup the costs of CO<sub>2</sub> capture and conversion. The use of CO<sub>2</sub> - as either a technological fluid or a raw material in chemical processes and in biotechnological applications - provides the potential to reduce CO<sub>2</sub> emissions. Indeed, CO<sub>2</sub> utilization may become an efficient tool if it can be merged with the development of innovative, " sustainable " technologies with less - intensive energy and materials requirements than those currently on stream. For this purpose, CO<sub>2</sub> may be used either as a technological fluid, as a building block for complex molecules, or as a carbon source for fuels. So the main uses for CO<sub>2</sub> are for:

- Non-Conversion processes (i.e. enhanced oil recovery);
- Conversion processes (i.e. production of chemicals, energy sector).

### Low reactivity of CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> is a very stable chemical compound, so it is necessary to activate it in order to make it react with active catalyst or reacting in very severe conditions.

It is possible to notice that the CO<sub>2</sub> has a low reactivity, as it could be seen, for example, in the following reactions:



The Gibbs Free Energy ( $\Delta G$ ) is positive: the bigger the  $\Delta G$  is the less favourite the reaction is. The costs related with the CO<sub>2</sub> re-utilization are still very high and it is the main challenge to deal with in term of industrial and academic research activities.

## Main Application and Uses of CO<sub>2</sub>

In line with 450 policy scenario, other policy and actions targeted at reducing the emission level at 450ppmV, storing CO<sub>2</sub> only may not adequately combat the problem of CO<sub>2</sub> emission, beneficial use will in a long complement the permanent storage of CO<sub>2</sub> in order to reach the targeted emission level and consequently keeping the average temperature of the atmosphere below 20C.

Utilization of CO<sub>2</sub> have the potential to reduce CO<sub>2</sub> emission by at least 3.7 gigatons per year (Gt/y), 3 equal to about 10 percent of the world's current annual emissions.

### Enhanced Oil Recovery

One of the most important uses of CO<sub>2</sub> in order to reduce its concentration in air, is its use in Enhanced Oil Recovery( EOR). EOR is the process of recovering stranded oil not recovered from an oil reservoir with different methods: thermal recovery, chemical injection, low salinity water injection and gas injection. CO<sub>2</sub> can be injected into the resevoir to recover oil trapped in the reservoir.It is refer to as tertiary recovery method when primary and secondary methods are no longer cost effective or when the oil is difficult to extract with primary and secondary methods, permitting a complete exploitation of all the already known reservoirs recovery method. EOR with CO<sub>2</sub> have been widely used recently by United States in order to reduce dependence on imported energy sources, leading it to be a primary or secondary oil recovery method.

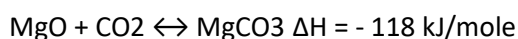
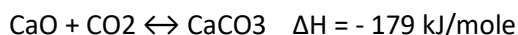
In EOR, CO<sub>2</sub> is injected as gas to maintain the declining reservoir pressure due to depletion, where its solving action co-operating with the increasing pressure due to the injection, permits a simplified oil recovery. The extracted oil composition may be modified as a result of CO<sub>2</sub> interaction, which can be separated and re-injected into the reservoir. Of course this use of the CO<sub>2</sub> is only temporary, being a part of a closed cycle. When the oil is completely extracted by the reservoir, this can be used as a CO<sub>2</sub> storage.

The main limit of the technology is that can't be used in all the reservoirs, depending on oil composition and reservoir petro-physical and fluid properties and it doesn't represent a permanent conversion of the CO<sub>2</sub>.

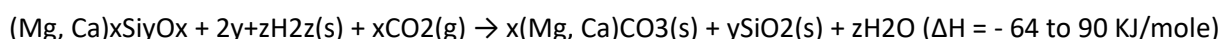
### Mineral carbonation

Mineral carbonation could be an alternative for long-term geological storage, especially for regions where CO<sub>2</sub> underground storage is not possible. In mineral carbonation, captured CO<sub>2</sub> is reacted with minerals (mostly calcium or magnesium silicates) to form (Ca or Mg) carbonates. Magnesium and calcium carbonates have a lower energy state than CO<sub>2</sub>. Therefore, at least theoretically, the process not only requires no energy inputs, but also can actually produce energy.

The carbonation reaction can be shown by the simple reaction of binary oxides, MgO and CaO.

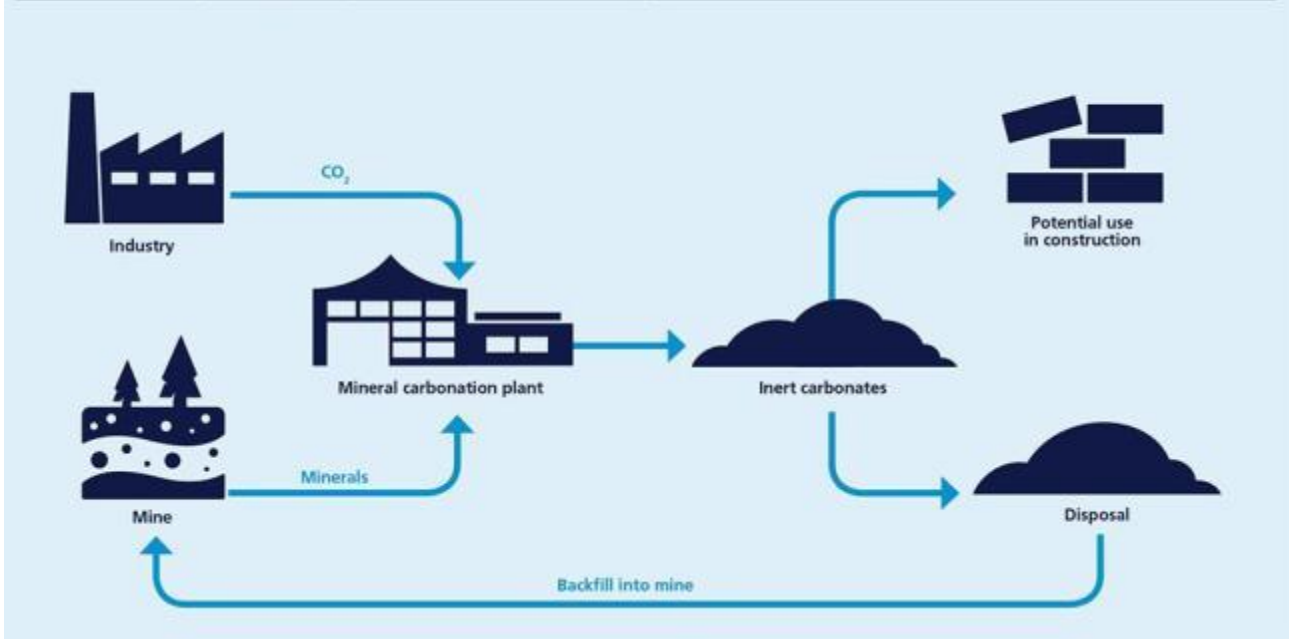


These exothermic carbonation reactions release substantial heat. In nature calcium and magnesium are typically found in silicate minerals. For common calcium and magnesium containing silicate minerals, the reaction is still exothermic but the heat released is less. However it will not be straightforward to use this heat effectively. The net reaction equation can be generalized as:





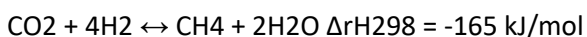
## Transforming CO<sub>2</sub> into products for building



The natural carbonation reaction is very slow. Therefore, a key challenge for large-scale industrial deployment of CO<sub>2</sub> mineralisation is acceleration of the carbonation process, using heat, pressure, and mechanical and chemical pre-treatment of the mineral. The carbonation reactions are all exothermic indicating that in principle no net energy is required for the reactions to take place and that theoretically even useful energy i.e. heat could be produced, but the energy from the reaction needs to be recovered. The technology of accelerated carbonation has been used in the treatment of solid wastes in which toxic compounds are stabilised by carbonated materials, so that the treated solid waste material can be utilised to product a range of materials used in construction, including building aggregates and cementitious products.

### Conversion to Methane

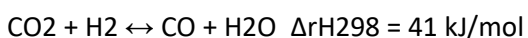
Methanation is a chemical reaction that converts carbon monoxide and/or carbon dioxide to methane. The production of methane across the "Sabatier" reaction is a well-known process for converting CO<sub>2</sub> to a useful product and was proposed by Paul Sabatier and J.B. Sendersens in 1902.



The reaction is thermodynamically favored at relatively low temperatures and high pressures and has been studied extensively for many years, even if with purposes and under conditions very different from the present interest. Carbon monoxide (CO) conversion to methane is described by:

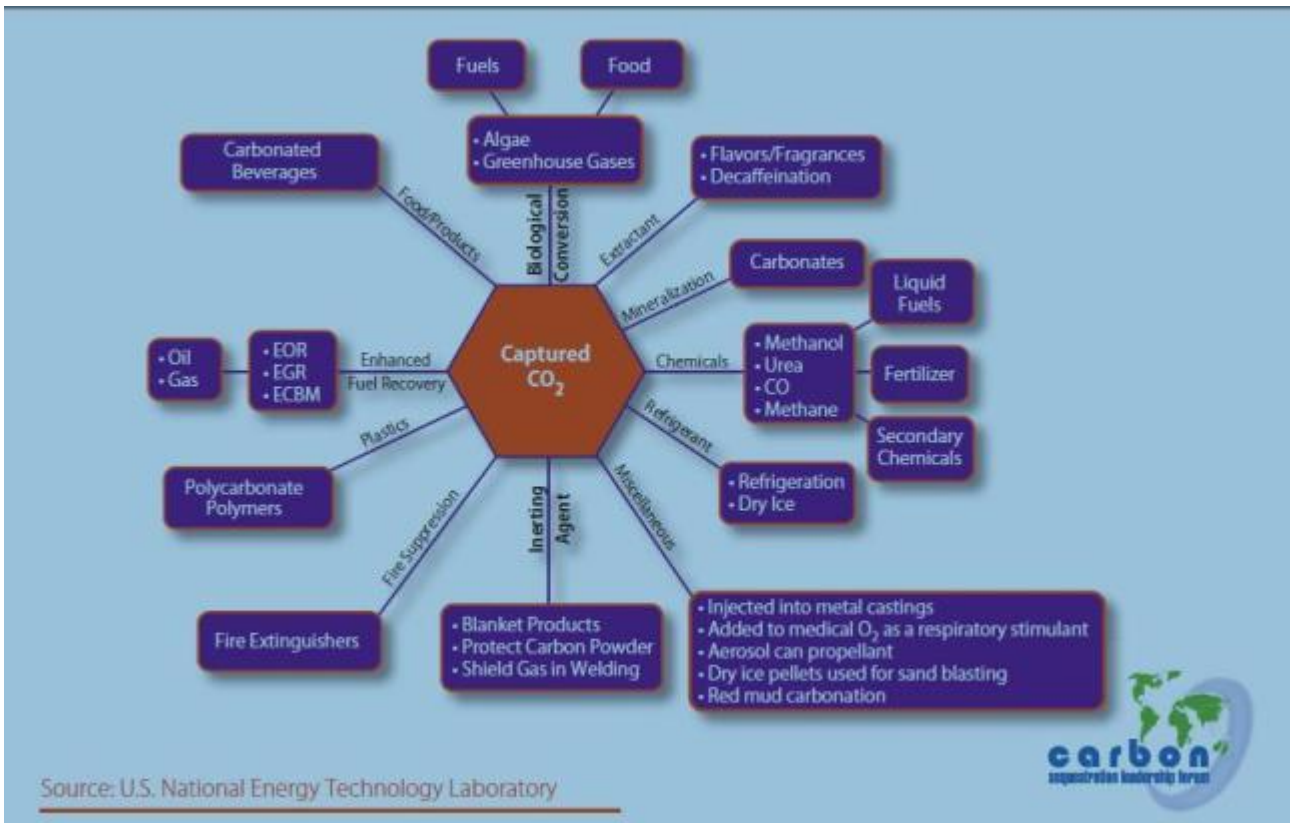


that is namely the reverse Steam Reforming reaction or also called CO-methanation. In effect, the Sabatier reaction can be seen as the sum of the CO-methanation with the reverse WGS (Water Gas Shift reaction):



Methanation is nowadays revamped in a lot of projects of syngas and carbon dioxide valorization. However, for CO<sub>2</sub>-concentrated feed (with no dilution, the stoichiometric feed implies 20 % vol of CO<sub>2</sub> and 80 % vol. of H<sub>2</sub>) the thermodynamic limitations appear to be very strong. The reaction is highly exothermal and the adiabatic temperature raise connected to the reaction progress is quite high.

The adiabatic fixed bed reactor represents the simplest reactor design option. The reactor is filled with catalytic pellets, and rather than being cooled its heat is instead used to increase the gas temperature.



Other application of CO2

## CO<sub>2</sub> hydrogenation within heterogeneous catalysis

CO<sub>2</sub>, as a major greenhouse gas, is significantly responsible for global warming (greenhouse effect) and climate changes in recent decades. Technologies of capturing atmospheric CO<sub>2</sub> have recently been developed, such as using efficient absorbents or exploring novel process and technologies based on "CO<sub>2</sub> capture".

In addition to permanent storage and direct utilization as a solvent or working fluid, chemical conversion of CO<sub>2</sub> to useful chemicals, such as methanol (MeOH), has become very important as it can be used not only as a low-cost carbon source but also as energetic vector, for fuel cells in vehicles due to its easiness of transportation.

One way for accomplishing this goal is to explore highly active and selective catalysts for methanol synthesis, because of the thermodynamic stability of CO<sub>2</sub>.

Today, methanol production at industrial scale is based on a copper/zinc oxide catalyst that occurs at 60 bars approximately.

As the catalytic activity (performance) is strongly coupled to the structure (morphology) of the catalyst, nowadays some alternatives catalyst that work at lower pressures and temperatures are under investigation. Among them a promising system is represented by nanostructured Ni-Ga alloys that seems to be particularly active towards methanol synthesis and not really prone to sintering as much as the Cu-Zn-based one.

This catalyst is able to work at a pressure of 1 bar resulting to be much more convenient compared to the commercial catalyst that works in a range of pressures between 50-100 bar.

Heterogeneous catalysis represent a very important way to focus on the usage of CO<sub>2</sub> as a reactant instead of being a waste effluent only, making the CO<sub>2</sub> usage a crucial step in CO<sub>2</sub> technology.

## WORKGROUPS WIKIS: GROUP 3 CO2 Geological Storage

**Tutor: Venerio Anardu**

### **Participants**

- Fabio Frau
- Gang Wang
- Deirdre Clark
- Francesco Lonis
- Federica Pitzalis
- Rossella Femiano
- Fabiano Asunis
- Paola Suella
- Silvia Zedde
- Sonja Gaviano

## **Index**

### **CO2 Storage**

**Short term interactions between CO2 and rocks**

**Long term interactions between rocks and CO2**

**The impact of CO2 storage on the environment**

## CO2 Storage

Most geological storage sites are deep sedimentary and porous rock (clastics and carbonates), where there are tiny spaces between the rock grains for the carbon dioxide. Storage sites also include oil and gas fields, coal seams and saline aquifers.

The geological reservoirs must have three fundamental characteristics: a capacity to accept the intended volume of CO<sub>2</sub>, injectivity to take in CO<sub>2</sub> at the rate that it is supplied from the

CO<sub>2</sub> emitters and confinement to prevent the migration and leakage of the buoyant and mobile CO<sub>2</sub> from the storage space to other places in the subsurface to shallow portable groundwater or the surface (Rutqvist 2012).

The presence of CO<sub>2</sub> injection has several geomechanical and geochemical interactions with the reservoir rock, caprock and overburden.

### Reference

Jonny Rutqvist (2012): The geomechanics of CO<sub>2</sub> storage in deep sedimentary formations, *Geotechnical and Geological Engineering* 30 (3), 525-551.

## Short term interactions between CO<sub>2</sub> and rocks

### Geomechanical Effects

When CO<sub>2</sub> is injected into a reservoir, it will be forced into pores at a pressure higher than that in the surrounding formation. This can cause ground surface deformation and could lead to noticeable changes in permeability and injectivity in the reservoir rock or caprock. Moreover, if the pressure becomes sufficiently high more geomechanical changes could occur, like the creation of new fractures, straining the well assembly, or reactivating larger faults within the reservoir, in the caprock or overburden. Figure 1 presents an overview of these geomechanical processes and key technical issues. Notable seismic events (magnitude > 3) may also cause concern if felt by the local communities. To help prevent this, a multilayered system of several low permeability layers in the overburden could be important for stopping any upward migration of the CO<sub>2</sub>, even if there is fault reactivation in the injection zone (Benson and Cook 2005, Rutqvist 2012).

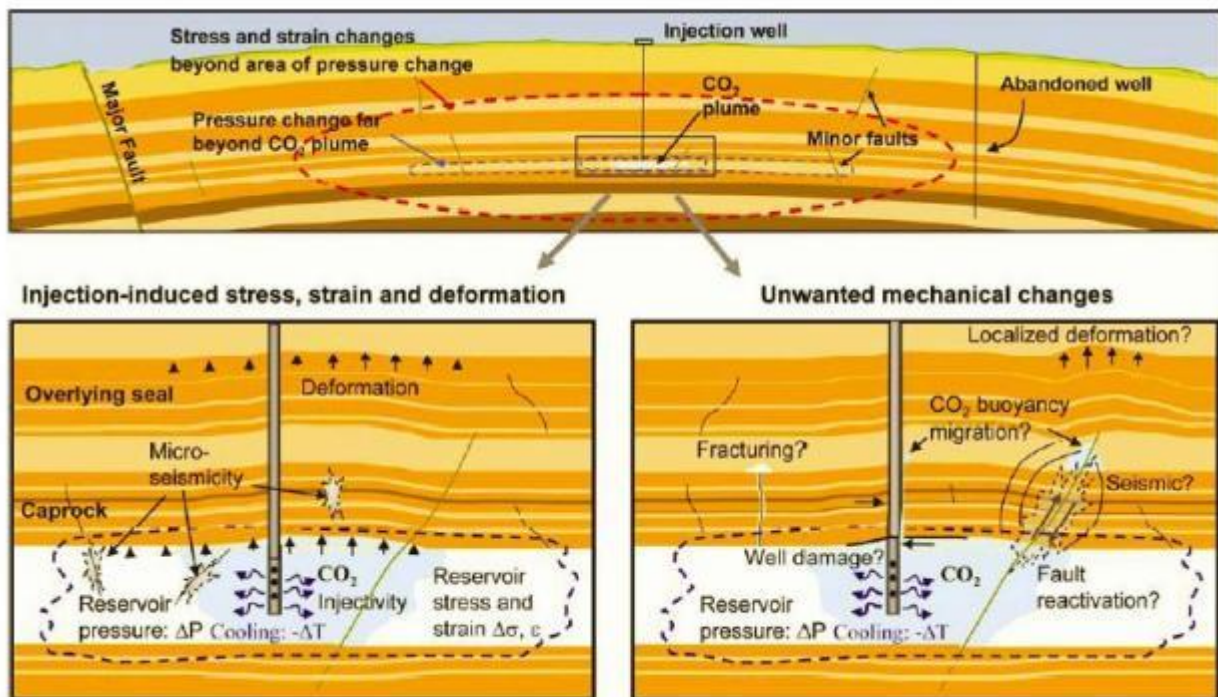


Figure 1. In the top image are the different regions of influence for a CO<sub>2</sub> plume, reservoir pressure changes and geomechanical changes in a multilayered system with minor and major faults. The bottom left image shows injection-induced stress, strain, deformations and potential microseismic events due to changes in reservoir pressure and temperature. And the bottom right image shows undesired inelastic changes that might reduce storage efficiency and cause concern to the local community (Rutqvist 2012).

A risk assessment is essential for any future geological carbon sites and should be performed at the early stages of a project to determine site selection, define project goals and raise public awareness.

Geomechanical modelling is a necessary part of this assessment and should focus on the maximum formation pressures that can be sustained at a storage site. Furthermore, such models could be coupled with the geochemical effects in order to document fracture sealing by precipitation of carbonates in fractures or pores. This would require knowledge of pore fluid composition and pressures, mineralogy, in situ stresses, and pre-existing fault orientations and their fractional properties. This data can be obtained from conventional well and seismic data and leak-off tests in addition to the physical measurements of rock strength (Benson and Cook 2005).

**Interaction during CO2 injection**

1. Interaction in aquifer

Carbon dioxide is soluble in water, which increases the density of the solution. Due to the density difference between saturated solution and the fresh brine, vertical convective flow occurs: saturated formation water sinks and displaces unsaturated formation water towards the upper parts of the formation where it can interact and dissolve more CO2. According to Weyburn project data, approximately 15% of the injected CO2 is dissolved after 10 years.

CO2 and water also reversibly form H2CO3 (carbonic acid). The partial and progressive dissolution of CO2 into the water causes a pH lowering which results in the mineral dissolution (permeability increase) of host reservoir rock. Some of these reactions can also result in the precipitation of new minerals (carbonates) in the formation pore space. This series of reactions is able to effectively trap the injected CO2 (mineral trapping) in which is assumed that CO2 can be permanently stored. Note that any impurities in the CO2 composition stream should be considered in terms of corrosion or potential contamination.

2. Interaction in oil reservoir

CO2 enhanced oil recovery (EOR) has demonstrated a significant success since the 1970's. As the most efficient oil-displacing front, CO2 is able to provide various mechanisms to extract oil from the porous media. Recovery factor (RF) could be highly increased through dissolved-gas drive, swelling of the oil and lowering its viscosity (Holm and Josendal, 1974).

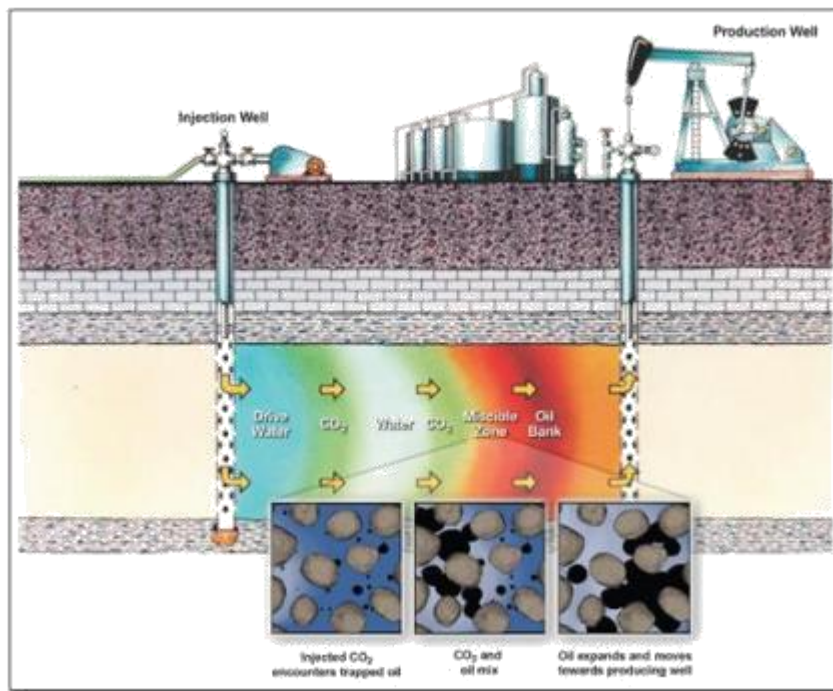


Figure 2 How CO2 extracts oil in subsurface from oil reservoirs.

Additionally, there is significant mass transfer occurring between the hydrocarbon phases and CO2 under reservoir conditions. The clear sequence of components extraction can be seen that the lighter component the sooner that will be extracted by CO2. With continuous interchange of components between injected gas and reservoir fluid, interfacial tension (IFT) between CO2 and oil is significantly decreased and eventually become miscible displacement where no interface exists. More than 95% oil could be recovered within the swept zone by the use of miscible flooding (Martin and Taber, 1992).



References:

- Holm, L. W. and Josendal, V. A. (1974) 'Mechanisms of Oil Displacement By Carbon Dioxide'.
- Jonny Rutqvist (2012): The geomechanics of CO<sub>2</sub> storage in deep sedimentary formations, *Geotechnical and Geological Engineering* 30 (3), 525-551.
- Martin, D. F. and Taber, J. J. (1992) 'Carbon Dioxide Flooding', *Journal of Petroleum Technology*, 44(04), pp. 396 - 400.
- Sally Benson and Peter Cook (2005): *Underground geological storage*, IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage, 195 - 276.

### Long term interactions between rock and CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> is typically sequestrated in 3 different kinds of storage site:

- 1) Depleted oil and gas fields;
- 2) Saline formations;
- 3) Unmineable coal seams.

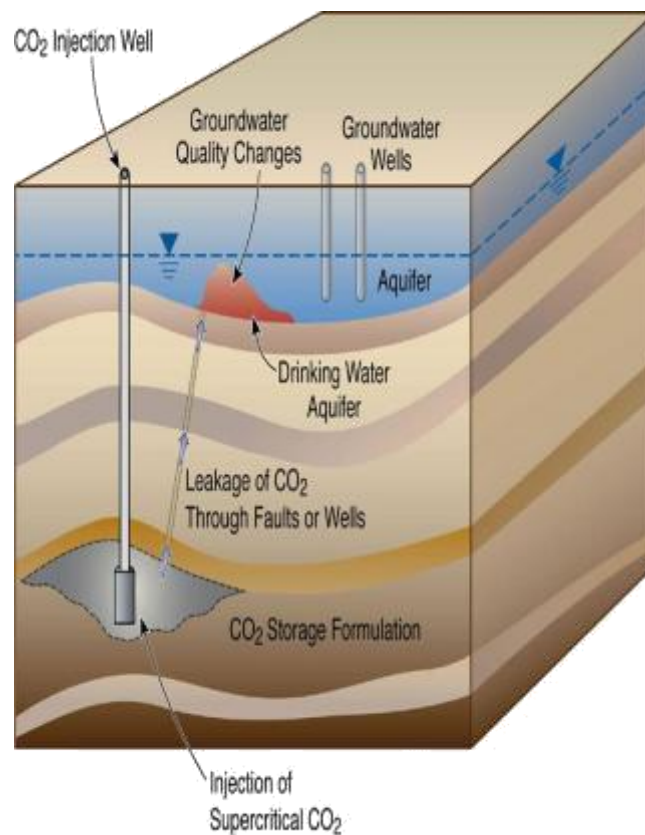
Focusing on long term interactions between rocks and co<sub>2</sub> the more probable are the leakage due to poor maintained manmade wells, faults caused by the high pressure or by natural seismic movement.

Assessing the long term interactions is a very difficult task. The few informations available come from numerical analysis studies and on fields experimentations on natural co<sub>2</sub> reservoir.

Numerical modeling was used to predict long term effect of the geochemical reactions with mineral on the cap rock. The results shown that even after 3000 years the diffusion of co<sub>2</sub> through the cap rock is very limited. Diffusion of co<sub>2</sub> in the cap rock is predicted to be a slow process, depending on the reactivity of the cap rock, diffusion can be further retarded because the dissolved co<sub>2</sub> is consumed by feldspat alteration reaction.

With time there are also interactions between co<sub>2</sub> and the minerals that compose the rocks that embed the co<sub>2</sub> in the structure of the mineral itself. By contrast it also possible the dissolution of other kinds of minerals.

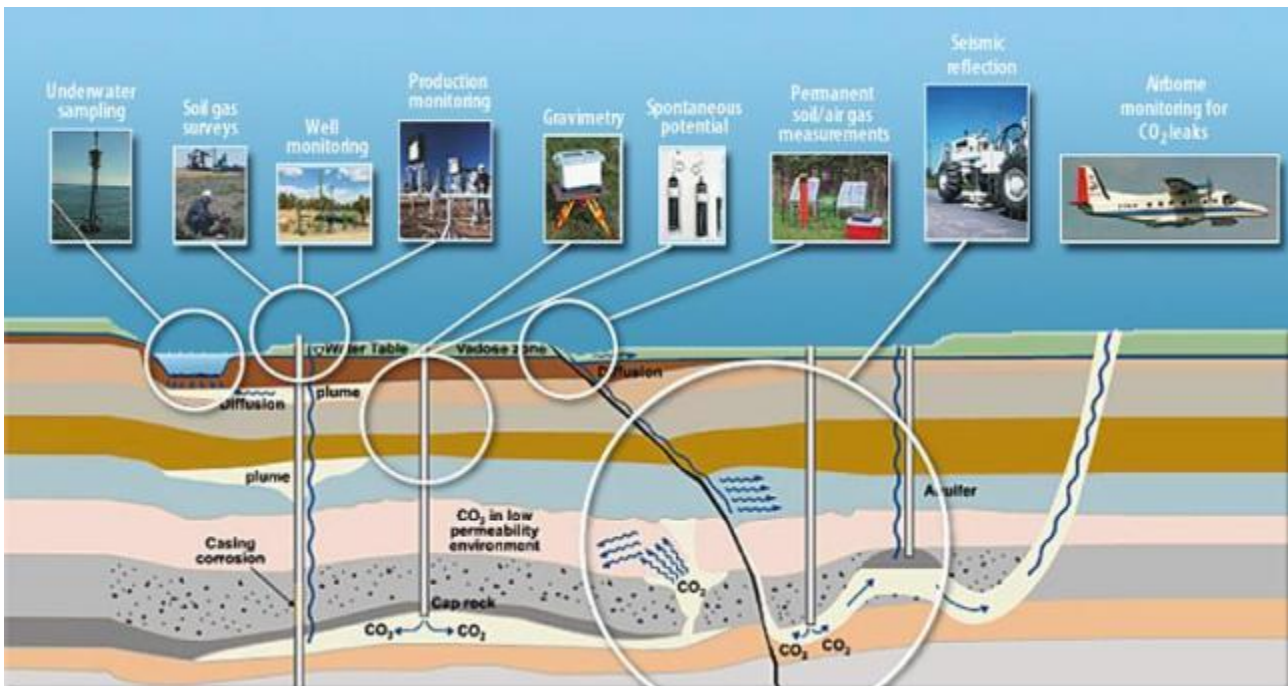
The simulation are validated by studies on natural co<sub>2</sub> reservoir.



ESD09-002

## The impact of CO<sub>2</sub> storage on the environment

The key goal of CCS is to achieve an environmental benefit by removing a large quantity of CO<sub>2</sub> from the earth's atmosphere and, in doing so, help redress some of the problems associated with climate change. There are some potential environmental risks associated with CCS technology, most particularly in terms of potential leakage of CO<sub>2</sub> from storage sites. The impact will vary depending on the location and the timing, and the type, of leak in the rare occasions that one might occur. These affect factors such as riverine input, water depth, season, impact duration, and ecological community type and sensitivity. A leak event, should this occur, will therefore be unique temporally and spatially. Site specific studies on conditions prior to any operations would help determine likely plume size and pH effects. The monitoring of the existing ecology is crucial prior to the start of any storage or pipeline transport activities to determine the health of the ecosystem populations within a predetermined area. It is apparent that biocenosis function at a range of natural pH values, and that natural pH variability is not a barrier to successful colonisation by ecosystems, therefore the changes attributable to any CO<sub>2</sub> leaks need to be accounted for, over and above responses to naturally evolving conditions.



The most serious human health and safety hazard associated with leaking CO<sub>2</sub> from an underground storage site is injuries or death caused by elevated CO<sub>2</sub> concentrations in confined areas. This could affect eventually the people who lives next to the storage but with a good campaign of sensibilisation can be avoided (for example there is need to take care of ventilation inside the houses). In conclusion, a better understanding of other risks is still necessary. The recent efforts in development in effective tools for monitoring, verification and leakage remediation provided improved approaches for managing, and minimising, the risks associated with CO<sub>2</sub> storage.

## WORKGROUPS WIKIS: GROUP 4

### CCS: Economic issues

**Tutor: André Furtado Amaral**

#### **Participants**

- Julia Nakamura
- Roberta Urgeghe
- Filippo Deriu
- Ivan Alejandro Principe
- Mark Aguinaldo
- Davide Ambu
- Maria Elisabetta Baldussu

## **Index**

**Capture**

**Case studies**

**Financial support**

## Capture

CO<sub>2</sub> capture is an emerging technology and historical experience with comparable processes suggests that significant improvements are achievable. However, as it represents 80-90% of the costs of integrated CCS projects (~75% excluding the power plant), cost reduction must focus on capture - while keeping the costs of transport and storage low.

The EU CCS demonstration programme is therefore essential in order to validate each capture technology and power plant concept using different fuels; confirm that capture technologies can achieve high plant availabilities so costs remain competitive; and most importantly, determine the real costs for each case.

For hard coal-fired power plants based on second quarter 2009 equipment cost levels and a fuel cost of €2.4/GJ, the addition of CO<sub>2</sub> capture and the processing of CO<sub>2</sub> for transport increases the LCOE from ~€45/MWh to ~€70/MWh, depending on the capture technology for an optimised (OPTI) power plant design entering into operation in the early 2020s. This is equivalent to CO<sub>2</sub> avoidance costs of €30-40/t.

Although the results position the costs of IGCC with pre-combustion capture slightly higher than those of post-combustion, and oxy-fuel appears to have a larger range of values (with some studies indicating it has the lowest cost), there is no clear difference between any of the capture technologies and all could be competitive in the future if successfully demonstrated.

For natural gas CCGT power plants with post-combustion capture, the final result is heavily dependent on the fuel cost. Although CO<sub>2</sub> avoidance costs are more than double those of hard coal-fired power plants, due in part to the lower CO<sub>2</sub> production, when the natural gas fuel cost is lower than €5/GJ, the LCOE is competitive with that of hard coal-fired power plants.

For lignite-fired power plants with CO<sub>2</sub> capture, CO<sub>2</sub> avoidance costs could be in the range of €30/t CO<sub>2</sub> for an OPTI power plant with pre-drying of the lignite.

### Capital cost and levelised cost of electricity (LCOE)

LCOE is commonly used as a measure of comparing generating costs of different power generation and capture technologies over a plant's economic life. LCOE is equal to the present value of the sum of discounted costs divided by the total electricity production. A key assumption of the LCOE approach is that the interest rate used for discounting costs does not vary over the lifetime of the project under consideration.

LCOE are re-evaluated and updated to 2010 cost levels to allow for a consistent comparison. Estimates for about 50 different CO<sub>2</sub> capture installations at power plants are included in the analysis, with a focus on generic, new-build CO<sub>2</sub> capture processes that would be located in the United States, Europe and China. Techno-economic data published over the last five years are re-calibrated and updated to current cost levels.

Most cost and performance estimates are available for post-, pre- and oxy-combustion CO<sub>2</sub> capture from coal-fired power generation, and for post-combustion CO<sub>2</sub> capture from natural gas-fired power generation. Based on the re-evaluated cost and performance estimates, the following observations and recommendations can be summarised for early commercial CO<sub>2</sub> capture from power generation:

- Considering uncertainties of current cost and performance data, no single technology for CO<sub>2</sub> capture from coal-fired power generation clearly outperforms the available alternative capture routes.
- While absolute CO<sub>2</sub> capture cost estimates for coal-fired power generation vary over years, figures that describe the relative increase of cost compared to a reference plant without CO<sub>2</sub> capture are often more stable across studies.
- For natural gas-fired power plants, post-combustion CO<sub>2</sub> capture is the option most predominantly considered across studies.

- Harmonisation of costing methodologies and formats of reporting data is desirable in order to increase transparency, and further simplify comparisons of data across studies.
- Additional analysis is needed across capture routes to further quantify differences between generic cost estimates (as presented in this report) and project- and site-specific costs of CO<sub>2</sub> capture projects.
- Additional cost and performance estimates are desirable for bioenergy with CCS (BECCS).
- Availability of data for CO<sub>2</sub> capture from power generation in non-OECD countries is very limited, though global energy scenarios foresee that deployment of CCS in these countries might have to exceed levels in OECD countries.

## Case studies

Twelve power plant configurations were analyzed: six IGCC cases utilizing General Electric Energy (GEE), ConocoPhillips (CoP), and Shell Global Solutions (Shell) gasifiers each with and without carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) capture; four PC cases, two subcritical and two supercritical (SC), each with and without CO<sub>2</sub> capture; and two NGCC plants with and without CO<sub>2</sub> capture. Two additional cases were originally included in this study and involve production of synthetic natural gas (SNG) and the repowering of an existing NGCC facility using SNG. The nominal net plant output for this study is set at 550 megawatt (MW).

The methodology included performing steady-state simulations of the various technologies using the ASPEN Plus(r) (Aspen) modeling program. The resulting mass and energy balance data from the Aspen model were used to size major pieces of equipment. These equipment sizes formed the basis for cost estimating. Performance and process limits were based upon published reports, information obtained from vendors and users of the technology, performance data from design/build utility projects, and/or best engineering judgment. Capital and operating costs were estimated by WorleyParsons based on simulation results and through a combination of vendor quotes, scaled estimates from previous design/build projects, or a combination of the two. Baseline fuel costs for this analysis were determined using data from the Energy Information Administration's (EIA) Annual Energy Outlook (AEO) 2008.

The Total Overnight Cost (TOC) for each plant was calculated by adding owner's costs to the Total Plant Cost (TPC). The TPC for each technology was determined through a combination of vendor quotes, scaled estimates from previous design/build projects, or a combination of the two. TPC includes all equipment (complete with initial chemical and catalyst loadings), materials, labor (direct and indirect), engineering and construction management, and contingencies (process and project). Escalation and interest on debt during the capital expenditure period were estimated and added to the TOC to provide the Total As-Spent Cost (TASC).

The cost estimates carry an accuracy of -15%/+30%, consistent with a "feasibility study" level of design engineering applied to the various cases in this study.

The following conclusions can be drawn:

- Among the non-capture cases, NGCC has the lowest TOC at \$718/kW followed by PC with an average cost of \$2,010/kW and IGCC with an average cost of \$2,505/kW. The average IGCC cost is 25 percent greater than the average PC cost.
- Among the capture cases, NGCC has the lowest TOC, despite the fact that the TOC of the NGCC capture case is more than double the cost of the non-capture case at \$1,497/kW.
- Among the capture cases, the PC cases have the highest TOC at an average of \$3,590/kW. The average TOC for IGCC CO<sub>2</sub> capture cases is \$3,568/kW, which is less than one percent lower than the average of the PC cases. The process contingency for the IGCC capture cases ranges from \$119-131/kW, for the PC cases from \$100-105/kW and \$60/kW for the NGCC case bar segment.

### Cost of CCS

In the capture cases, the CO<sub>2</sub> transport, storage, and monitoring (TS&M) costs are also shown as a separate.

CO<sub>2</sub> TS&M is estimated to add 3 to 6 mills/kWh to the COE, which is less than 5.5 percent of the total for all capture cases.

### CO<sub>2</sub> Emission Price Impact

In the event that future legislation assigns a cost to carbon emissions, all of the technologies examined in this study will become more expensive. The technologies without carbon capture will be impacted to a larger extent than those with carbon capture, and coal-based technologies will be impacted more than natural gas-based technologies.



## Financial implications

### 1. Types of financial incentives

Financial incentives for CCS and their implementation vary with the financial needs of the intended CCS application and the financial and economic practices of the jurisdiction in which the CCS project is to be undertaken. Some incentives are targeted at specific applications (e.g., power generation) while others have broader applicability. Three broad categories of incentives have been implemented by governments:

1. Carbon price incentives (carbon taxes, emissions trading, and mandatory requirements);
2. Transitional incentives (investment assistance and tax incentives);
3. Contingent value incentives (liability reduction and asset creation).

### 1. Carbon price incentives

Carbon price incentives are intended to provide a permanent value for the CO<sub>2</sub> emissions reductions achieved through CCS so that developers of commercial projects can count on receiving that value from their investments. Essentially, these incentives put an explicit or implicit price on the CO<sub>2</sub> emissions. The price of CO<sub>2</sub> varies from US\$168/tCO<sub>2</sub> (Sweden) to US\$1/tCO<sub>2</sub> (Mexico) in 2014, but not all prices apply to a sector with CCS potential.<sup>8</sup> Three types of carbon price incentives that give a market value to emissions reductions have been used:

- Carbon taxes
- Emissions trading schemes
- Mandatory requirements

### 2. Transitional incentives

Transitional incentives are designed to close the gap between costs and the currently low value of CO<sub>2</sub> emissions reductions. We can find different types:

- Capital and operating subsidies
- Investment and trust fund
- Bonus emissions trading allowances
- Tax incentives
- Loan guarantees
- Contracts for differences

### 3. Contingent value incentives

Contingent value incentives create economic value based on project implementation. These incentives have included:

- Liability reductions
- Ownership rights

#### 4. Effectiveness of incentives

The continuing major challenge over the last decade has been to build first- (and soon second-) generation LSIPs. Financial incentives have now been in place for many years and CCS projects reliant on them have been and are being built during this period, some of them using those incentives. Using the database of LSIPs assembled by the Global CCS Institute, it is now possible to determine which financial incentives have been effective in stimulating LSIPs and which have not.

Using the database of LSIPs assembled by the Global CCS Institute, it is now possible to determine which financial incentives have been effective in stimulating LSIPs and which have not.

The Institute classifies LSIPs according to how far along they are in the development process. It categorizes plants into five stages of development. The most recent data from the Institute identifies a total of 55 LSIPs in one stage or another of development.

The three stages furthest along in development are:

- Operate - operate, maintain and improve costs;
- Execute - detailed design and construction after final investment decisions;
- Define - finalize scope and execution plan.

Operate-stage projects. Eight large scale integrated CCS projects are currently in operation. Of those, four - the Century Plant, Coffeyville Gasification Plant, Lost Cabin Gas Plant and Petrobras Lula Oil filed - were commercially viable without any financial incentives. All four sell or use CO<sub>2</sub> for EOR. Three of these separate the CO<sub>2</sub> from a natural gas production stream and the fourth gasifies inexpensive petroleum coke to produce ammonia, also producing a concentrated CO<sub>2</sub> stream. The other four did have government incentives. Two of these - Sleipner and Snøhvit - were incentivized by the Norwegian offshore carbon tax and are the only two in operation not using the CO<sub>2</sub> for EOR. The two others - Air Products Steam Methane Reforming and Boundary Dam - both received extensive government co-investment.

CCS has been widely planned as a tool for the power generation industry, particularly for coal-fired generation and, indeed, is expected to be widely used for this purpose. Yet the first coal-fired power generation LSIP, the Boundary Dam Project, only started operating in 2014.


Execute-stage projects. Nine projects are in the execute stage. Seven of these have government co-investment. The other two - the Abu Dhabi CCS Project and the Uthmaniyah CO<sub>2</sub> EOR Demonstration Project in Saudi Arabia - are being undertaken by government-owned entities involved in the oil and gas industry. They are also part of broader initiatives to advance the local capabilities to do CO<sub>2</sub>-driven EOR. In the case of the Uthmaniyah Project, the CO<sub>2</sub> comes from low-cost natural gas separation. The Abu Dhabi CCS Project is an innovative industrial application of CO<sub>2</sub> capture from a direct reduction process steel mill. This project is being developed in anticipation of strong growth in the anticipated need for CO<sub>2</sub> for EOR in Abu Dhabi.

Define-stage projects. Seven projects in the define category are scheduled for operation by the end of 2017, but none of them has yet reached the point where a definite investment commitment has been made. It is not at all clear which of these will ultimately be built and go into operation. Two of these, FutureGen and the ROAD project, are flagship projects, have been in planning for many years and represent concepts that have evolved over the years. FutureGen 2.0 (actually the third FutureGen concept) has received a US\$1 billion commitment of US government funding towards its US\$1.65 billion capital cost plus Illinois state incentives for liability assumption and purchases of electricity. The ROAD project is slated to receive funding from both the European Commission and the government of the Netherlands.

## Post-combustion CO<sub>2</sub> capture technologies

Claudia Bassano, (ENEA, Italy)

Presentazione di uno studio sulle tecnologie di post-combustion per la cattura della CO<sub>2</sub>



**4nd Sulcis Summer School on CCS Technologies**  
4<sup>a</sup> Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO<sub>2</sub>

## Post-combustion CO<sub>2</sub> capture technologies


PhD, Ch. E. Claudia Bassano

ENE A


Italian National Agency for New Technologies,  
Energy and Sustainable Economic Development

Energy Dept.

Sotacarbo Research Center  
Grande Miniera di Serbariu  
Carbonia, Wednesday, June 29, 2016



Carbon Capture & Storage  
Summer School




### Outline


- ENE A presentation
- Introduction
- PCC Post Combustion Capture Description
- PCC Technologies type
- Liquid solvent: chemical absorption separation (E.g. MEA)
- PCC Challenges: First Generation Technologies (efficiency, LCOE etc.)
- Next Generations PCC Technology (TRL)
- Conclusions

2/41

## What is ENEA?




ENEA is the Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (Law n. 99 of July 23rd, 2009)



ENEA activities are targeted to research, innovation technology and advanced services in the fields of energy.


ENEA performs research activities and provides agency services in support to public administrations, public and private enterprises, and citizens.



**Human Resources:**  
(30 June 2010)

2863 permanent staff  
71 temporary staff  
Master and PhD students  
International Fellows

Category	Count
Researchers	1595
Administrative Support	631
Technical Support	637



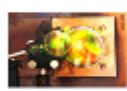
Headquarters located in Rome  
9 Research Centres  
5 Research Laboratories  
12 Local Offices  
Brussels Liaison Office

2/41

## ENEA: the Istituttional Role




**Main tasks are:**



Promote and conduct activities of basic and applied research, develop technological innovation also with prototypes realization and industrialization of new products;



Disseminate and transfer the results obtained, encouraging their use in productive and social sectors;



Supply high technical content services to public and private entities with studies, researches, misurements and valutations.

4/41

## Technologies at ENEA







**ENERGY**

- Nuclear Fusion
- Nuclear Fission
- Renewable Energy Sources
- Energy Efficiency
- Advanced Technologies for Energy and Industry

**SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT**

- Environmental Characterization, Prevention and Recovery
- Environmental Technologies
- Seismic Protection
- Radiation Biology and Human Health
- Sustainable Development and Innovation of the Agro-Industrial System


**NEW TECHNOLOGIES**

- Radiation Applications
- Material Technologies
- Energy and Environment Modeling
- ICT




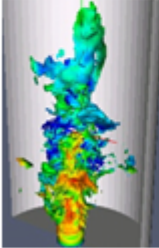
5/41

## Energy Tech, Sustainable Fossil Fuels and CCS



Operates in the following fields of energy area:

- Advanced Power Plants
  - Advanced CO<sub>2</sub> gas turbine cycles ("capture ready");
- CO<sub>2</sub> Capture and Storage
  - Pre and post combustion, oxy combustion
  - CO<sub>2</sub> capture with solid sorbents;
  - CO<sub>2</sub> utilization for fuels production
  - Process analysis and integration
  - Cost analysis
- Advanced technologies for energy and industry research
  - Experimental tests on test rigs, pilot and demo plants
  - high performance computing and process simulation
- Advanced combustion in gas turbines and boilers

6/41

**Different Scale Approaches**

The collage shows various scales of research: a large industrial plant (Plants), a laboratory setting with a scientist (Laboratories), and a schematic diagram of a catalytic process (Studies). The schematic diagram shows CO<sub>2</sub> entering a 'CATALYST' box, with 3 H<sub>2</sub> entering from the top and 4 H<sub>2</sub> entering from the bottom. The top output is CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O, and the bottom output is CH<sub>4</sub> + 2 H<sub>2</sub>O.

**Introduction**  
CCS policy initiatives


**ITALY**

National Energy Strategy  
Defines objectives, key policies and priority measures in the energy sector.  
Carbon Capture and Storage (CCS) have been identified as essential to make the transition to a low carbon energy system.

**The Energy Roadmap 2050 (EU)**  
The 2050 target of decarbonisation can only be achieved if the GHG emissions from fossil fuel use are reduced by between 93 and 99%. This will require the deployment of more efficient coal technologies such the application of Carbon Capture and Storage (CCS) fuelled power plant.  
R&I should be addressed to **reduce** technology and non-technology **cost, improve performance** and promote technology deployment to market.  
EU support CCUS with legislative, Directive 2009/31/EC ("CCS Directive"), and policy framework in order to support a shift to low carbon generation technologies.

8/41

**CCS: CO2 capture?**



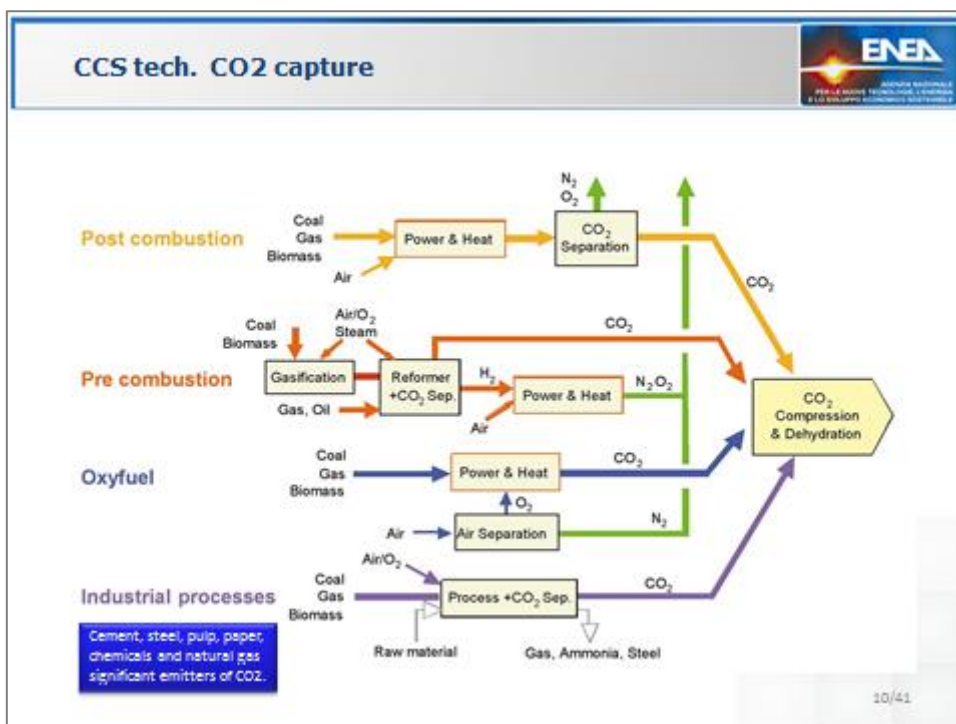
The CO2 capture technologies can be implemented with the technologies currently available, but:

- ❑ It Involves an increase of the electricity generation costs
- ❑ It requires more fuel to equal electricity production
- ❑ It does not solve the strategic aspects of diversification of sources
- ❑ It maintains dependence on fossil fuels
- ❑ CCS was not tested for long time on power plants in industrial scale

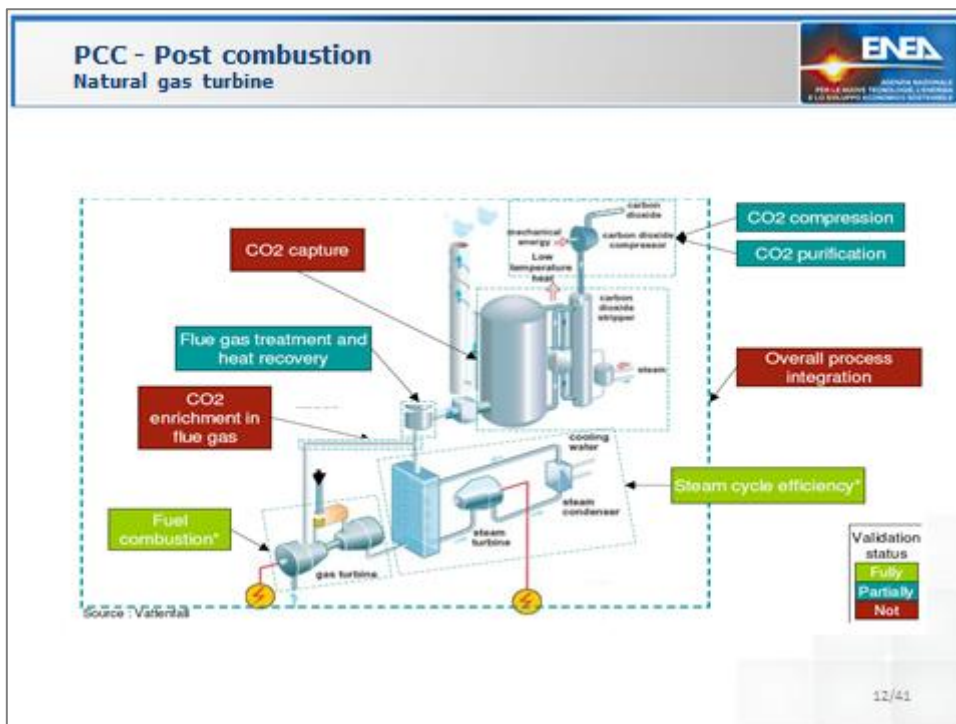
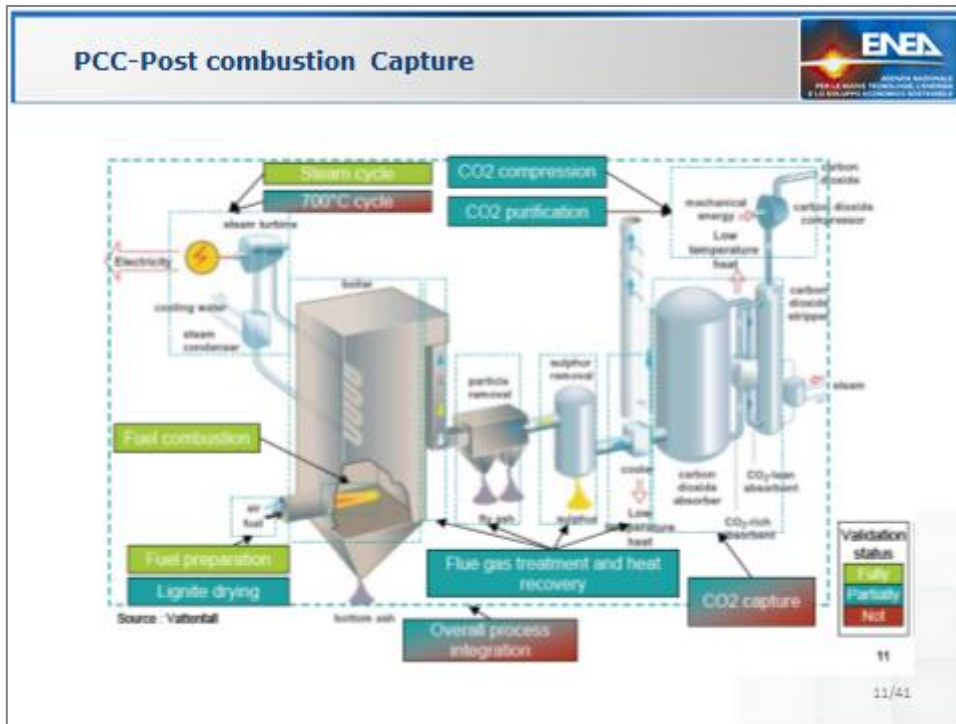
To be able to "work" is necessary:

- ❑ **Reduce** the additional **energy consumption** related to the capture
- ❑ **Reduce** the economic **costs** of capture


9/41







**Post combustion Description**




The CO<sub>2</sub> capture process is located downstream of the conventional pollutant controls for removal of PM and acid gases so these components will not interfere with CO<sub>2</sub> removal.

In addition to the need to remove pollutants upstream of the CO<sub>2</sub> capture system, challenges to separating CO<sub>2</sub> from steam generating unit combustion flue gas include:

- ❑ **the high volume of gas** to be treated because the CO<sub>2</sub> is dilute (13–15 % vol. in coal-fired systems- 5-8 % vol. natural gas system);
- ❑ **the low pressure** 1 bar of the flue gas;
- ❑ **energy penalty**: the large amount of steam required for CO<sub>2</sub> regeneration de-rates the power plant significantly (e.g. an efficiency reduction of - 9.4 % for a bituminous coal station)

13/41

**PCC:Technologies type**



The CO<sub>2</sub> capture process involves:

**Liquid solvent:** Amine-based solvent systems are most commonly used for postcombustion capture systems. When contacted with the combustion flue gas, then solvent participates in a **chemical absorption separation** process in which the CO<sub>2</sub> is absorbed by the liquid solvent. The MEA process is undoubtedly the most extended for CO<sub>2</sub> capture in post-combustion processes, even though it requires high regeneration energy

**Solid sorbents** can be used to capture CO<sub>2</sub> from flue gas through chemical adsorption, physical adsorption, or a combination of the two. Possible configurations for contacting the flue gas with solid sorbents include fixed, moving, and fluidized beds.

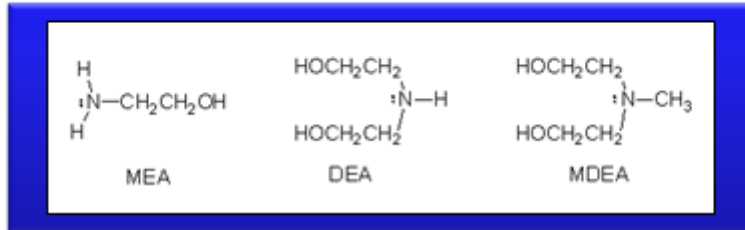
**Membrane**-based capture uses permeable or semi-permeable materials that allow for the selective transport/separation of CO<sub>2</sub> from flue gas

14/41

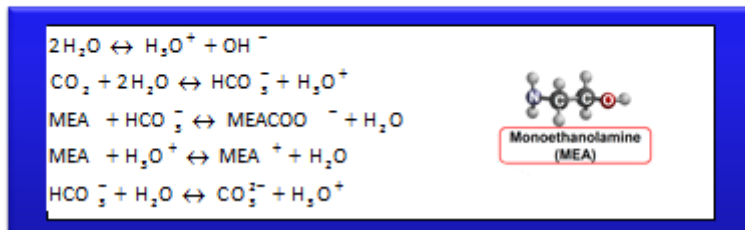
**Technologies type**  
Liquid solvent: chemical absorption separation



The most commonly used solvent is a mixture of Monoethanol Amine (MEA) and water



Amines chemically react with CO<sub>2</sub> via reversible reactions to form water-soluble compounds, heating the product the bond can be broken



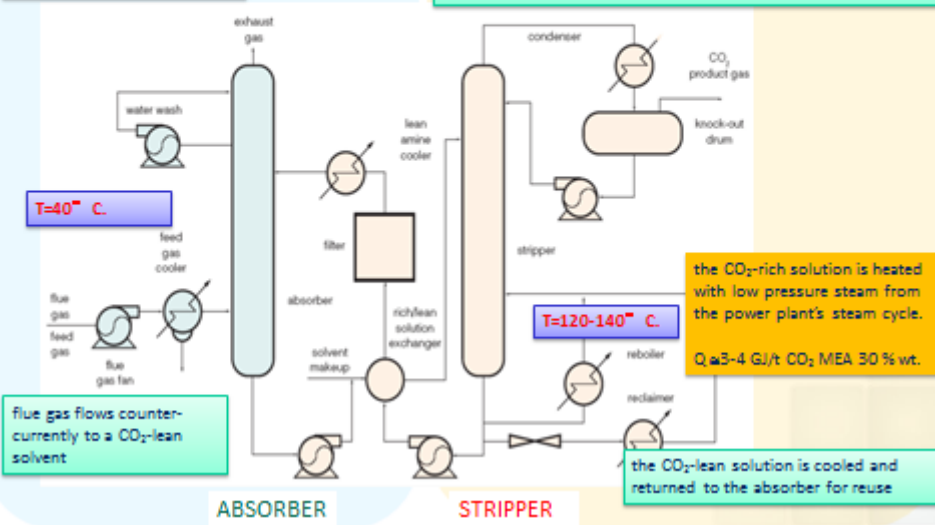
13/41

**Technologies type**  
Liquid solvent: Scheme for amine absorption



the CO<sub>2</sub>-rich amine solution is pumped to a solvent regeneration column

CO<sub>2</sub> is released, producing a concentrated stream that exits the regeneration column and is then cooled and dehumidified in preparation for compression, transport, and storage



## Post-Combustion Solvents

### Technical Advantages and Challenges



**Advantage**

- Chemical solvents provide **fast kinetics** to allow capture from streams with low CO<sub>2</sub> partial pressure. Wet scrubbing allows good heat integration and ease of heat management (useful for exothermic absorption reactions).
- Can be **retrofitted** to existing Pulverized Coal plants and Combined Cycle Gas Turbine plant allowing the continued operation of valuable resources
- Can be configured to treat **only part of the flue gas stream**

**Challenges**


- The large amount of steam required for solvent regeneration de-rates the power plant significantly. **Energy required** to heat, cool, and pump non-reactive carrier liquid (usually water) is often significant. Vacuum stripping can reduce regeneration steam requirements but is expensive; bad economy of scale. Multiple stages and recycle stream may be required.
- First Generation Technologies The widespread R&D on improvement solvent and capture equipment should reduce the energy penalty of PCC capture


Source: U.S. Department of Energy, DOE/NREL, Green District Capture R&D Annual Technology Update, Oct. 19<sup>th</sup>, 2012, Project N1, April 2012, Investor "DOE Green District Capture"



17/41

## Post-Combustion Solvents

### Improvements to solvent absorption





15/41

**Post-Combustion Solvents**  
State-of-the-art amine-based systems and other solvent



The flue gas amine scrubbing is confronted with the problem of the presence of oxygen, which causes solvent degradation and equipment corrosion. This requires incorporation in the solvent of inhibitors to counteract O<sub>2</sub> activity. Companies offering, the solvent formulation with special inhibitors are:

- **Fluor Daniel Econamine FGSM**  
30% MEA  
> 20 commercial plant, size plant : 0.2 -15 ton/h CO<sub>2</sub>
- **ABB-Lummus**  
15-20% MEA in soluzione acquosa  
4 commercial plant, size plant : 6-32 ton/h di CO<sub>2</sub>
- **Mitsubishi Heavy Industries**  
KS-1 – sterically hindered amines, 1 commercial plant 9 ton/h CO<sub>2</sub>
- **CANSOLV**  
mixture of amine / water
- **Alstom's Chilled Ammonia Process** 1 plant equivalent, 100,000 ton-CO<sub>2</sub>/yr
- **Praxair**  
mixture of amine / water - there are no commercial plants

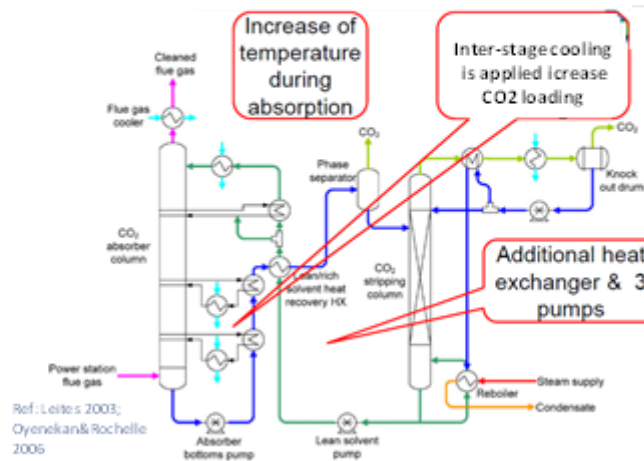


**Post-Combustion Solvents**  
Process Design




Around 15 different process integrations are reported in Open Publications and Patents

Inter-stage temperature control process




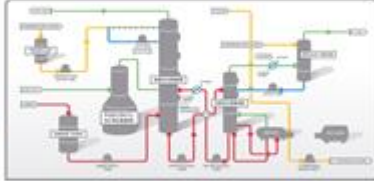
Ref.: L. Lites 2003;  
Oyenekan & Rochelle  
2006

### Commercial Plant with Post combustion CCUS




Boundary Dam (Canada) Integrated Carbon Capture and Storage Demonstration is a project to retrofit one unit of the lignite-fired plant with carbon capture and an EOR system.

Project type	Commercial
Project status	Operational
Industry	Power generation
Technical details	Post combustion capture using Shell Cansolve amine technology (SO <sub>2</sub> capture then CO <sub>2</sub> capture)
Storage/Utilisation	Enhanced Oil Recovery
CO <sub>2</sub> captured	1,000,000tpa
Scale	110 MWe <sub>net</sub> (at 90% capture)
Auxiliary load for CCS	29 MWe
Cost (\$2103)	CNS 1,3 billion
Partners	Canadian Federal & Saskatchewan Government, Schell, Cenovus

CCUS/Carbon capture  
Source: ECCC/ITP  
21/41

### Demo Plant with Post combustion CCUS




**Enel Post-Combustion Capture Project in Brindisi**  
 At the site of Brindisi (IT) coal fired power station pilot plant for CO<sub>2</sub> separation via amine scrubbing was in operation from 2010 to 2015.

- ✓ Slip stream from coal fired power station
- ✓ Capture rate 8000 t CO<sub>2</sub>/year

Three experimental campaigns performed:

- ✓ baseline tests with MEA 20%wt
- ✓ parametric tests with MEA 30-40% wt
- ✓ reclaiming tests
- ✓ emission measures




Campaign	GJ/ton CO <sub>2</sub>	%
MEA 20 %	4,1	0
MEA 30 %	3,4	- 17
MEA 40 %	3,02	- 26


**Reduction of the energy impact**

**Energy required:**  
 MEA 40 % reduction over 25% compared to MEA 20 % wt. ad over 15% respect to MEA 30%wt.

**Main features**




- ☐ Flue gas flow: 10.000 Nm<sup>3</sup>/h
- ☐ Capture capacity: 50-60 t CO<sub>2</sub>/day
- ☐ Capture efficiency: 85-90%
- ☐ Absorption temperature: 45-50 °C
- ☐ Desorption pressure: up to 2.5 barg
- ☐ CO<sub>2</sub> purity: >99% vol
- ☐ SO<sub>2</sub> at capture section inlet: < 20 mg/Nm<sup>3</sup>
- ☐ particulate at capture section inlet: < 0,25 mg/Nm<sup>3</sup>



Source: Ing. Stefano Volaggi - Enel  
22/41

## Pilot Plant with PCC

### Experimental Activities at SOTACARBO Pilot Plant Platform



First experimental activities carried out to assess the CO<sub>2</sub> absorption/desorption performance with monoethanolamine (MEA 5M-30 % wt.)

The pilot plant was feed with different gas mixtures


Operating procedures include the following main phases:

1. testing and start-up of the auxiliary systems;
2. start-up of the plant;
3. operational phase;
4. shut-down of the plant.


**Online and offline analysis**

ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE

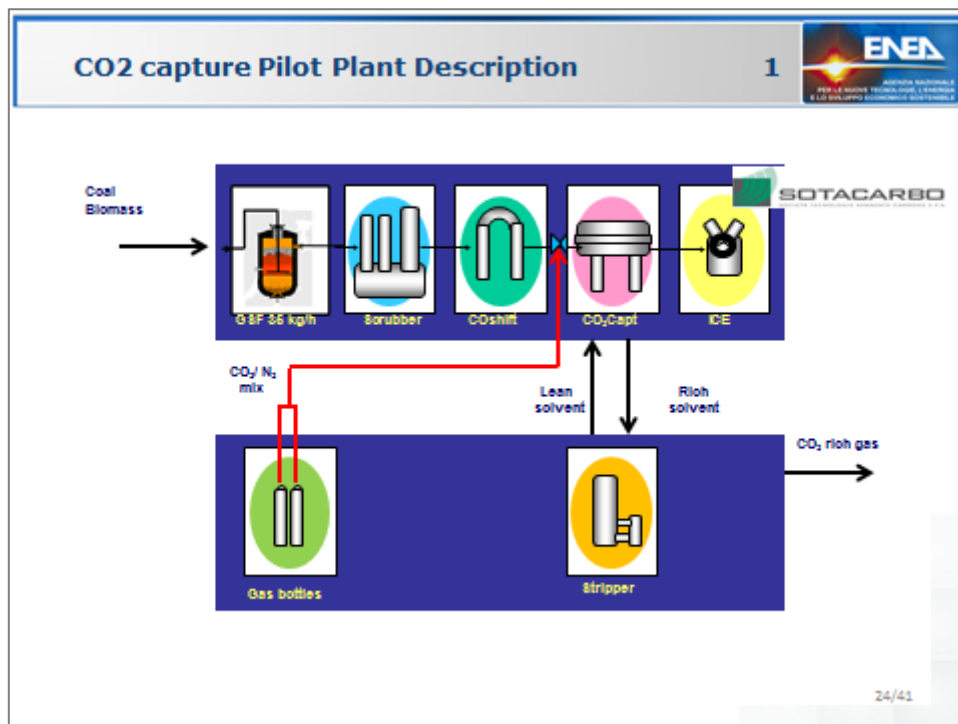
- Density
- Viscosity
- pH
- CO<sub>2</sub> loading



CO<sub>2</sub> loading




23/41


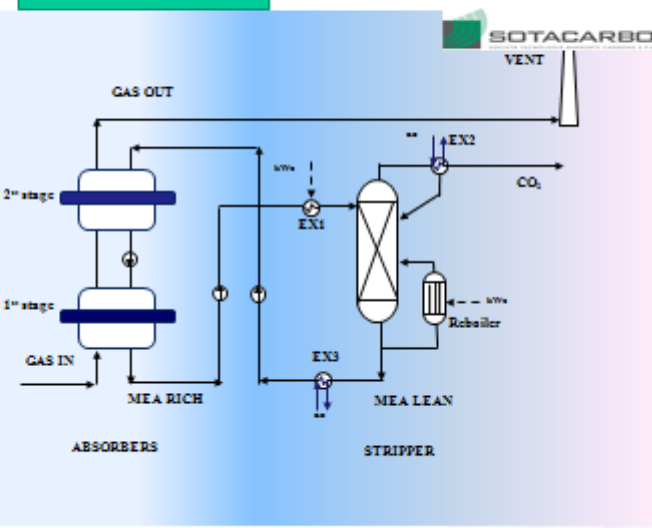


### Pilot Plant with PCC

Experimental Activities at SOTACARBO Pilot Plant Platform




#### Pilot Plant Scheme

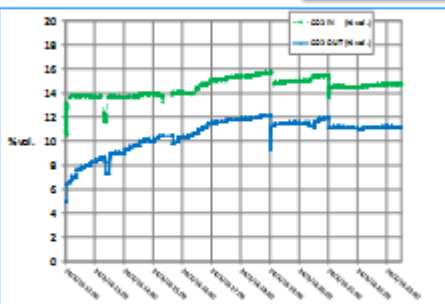
25/41

### Pilot Plant with PCC

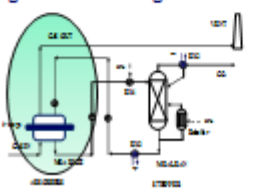
Experimental Activities at SOTACARBO Pilot Plant Platform

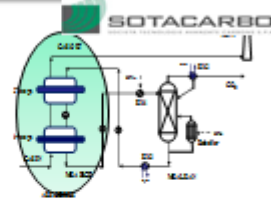


#### First Results: CO<sub>2</sub> Capture on Flue Gas

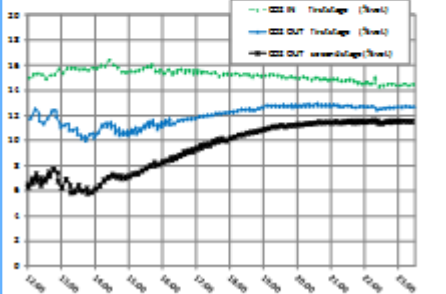


Single reactor configuration





Two reactor configuration




25/41




## PCC Challenges

### First Generation Tech- Chemical Absorption process




- Capital Cost Reduction**  
Solvent degradation products can be corrosive; materials of construction selection need to be carefully targeted for capital cost reduction
- Scale up**  
Absorber equipment is a key part of scale up challenge
- Operating cost reduction**  
The addition of PCC results in a **loss of net power** of about **20-30 % points** and a **reduction of 7-11 % points in efficiency**; this would imply the need for replacement power to make up for the power loss
- Environmental**  
Water use increased significantly, nearly doubled per net Mwhe  
Solvent degradation it's important to appropriately control emission of solvent in treated flue gas
- Plant Operation and Maintenance**  
Steam exsration reduces flow to low pressure turbine significant operational impact on its efficiency and turn down capability



27/41

## Challenges-Cost of electricity

### Lesson from First Generation Tech- Chemical Absorption process




The **levelised cost of electricity (LCOE)** is a metric used to represent the average cost of generating electricity for the duration of the power plant's economic lifetime.

The levelized cost of electricity is a constant unit price (\$/MWh) for comparing the costs of power plants that have different technologies, use different fuels, have different capital expenditure paths, differing annual costs (such as operating, maintenance, taxes, carbon prices), different net outputs, and different economic lives.

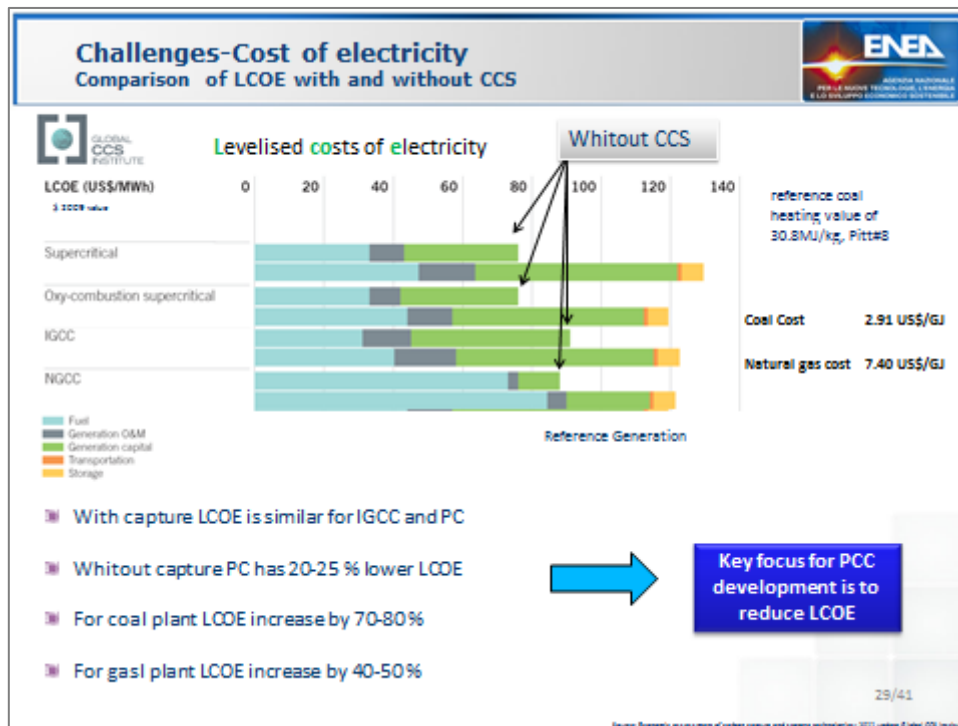
**Levelised COsts of Electricity**

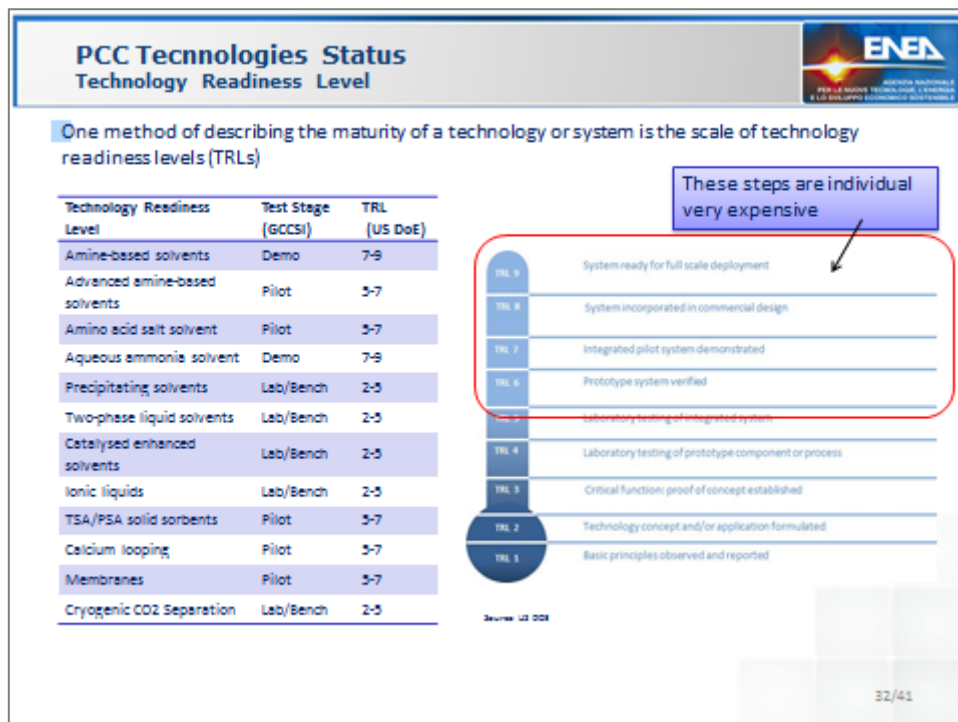
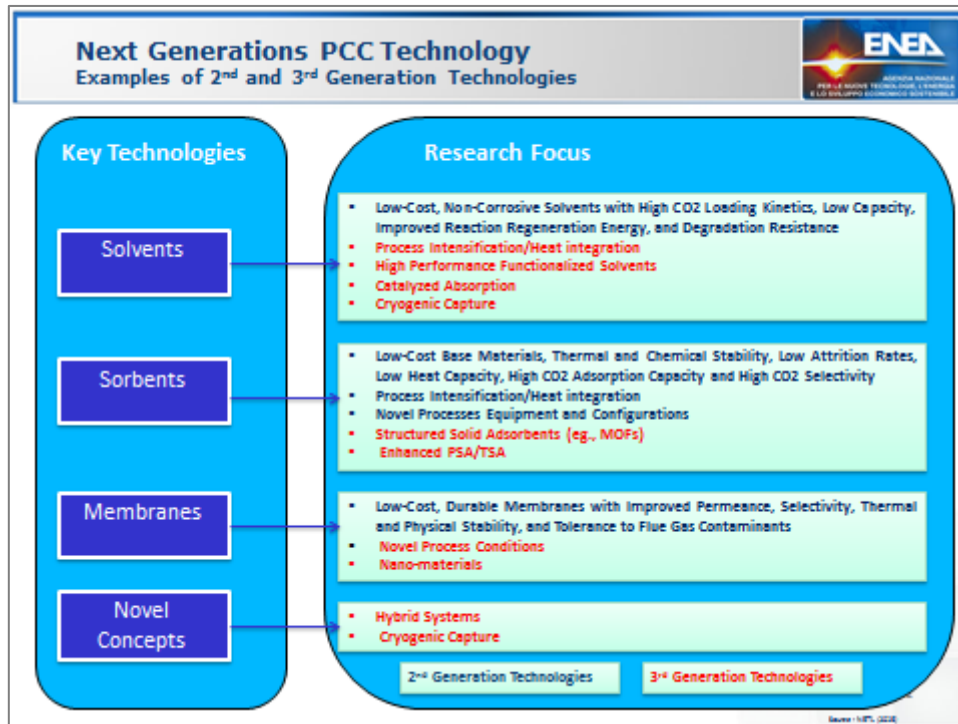
**LCOE=LF\*COE**

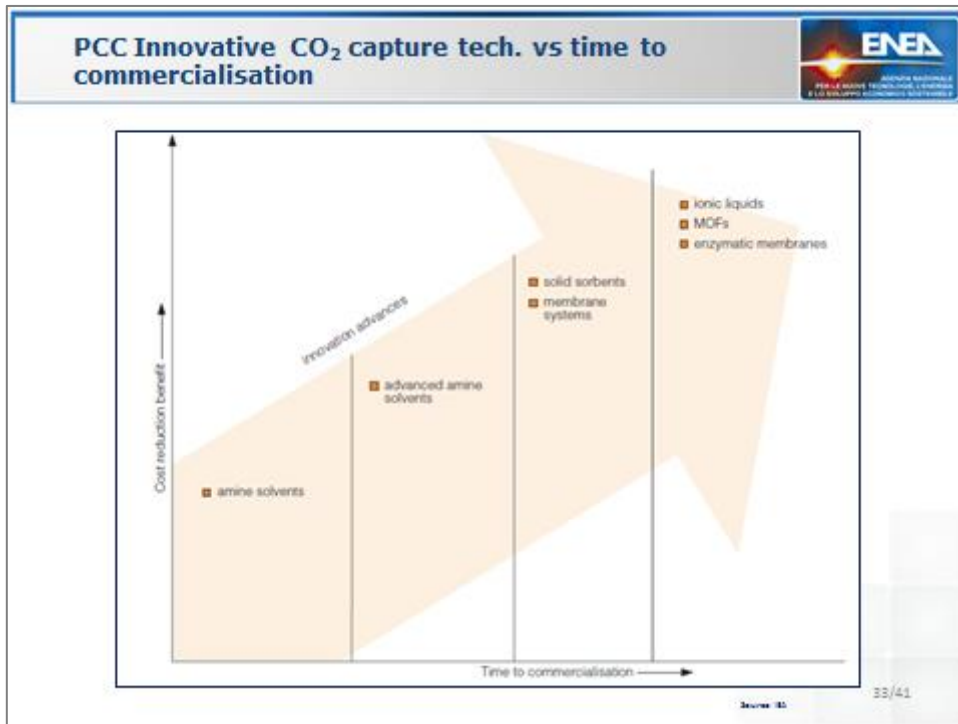


**LF**      Levelitation Factors **1.16-1.26**  
reflects the plant life, the financial structures and inflation rate

28/41







### Next Generations PCC Technology SOLVENT

Examples of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Generation Technologies

**Biphasic solvents**

**Ionic liquids**

**Enzymes**

**Algae**

34/41

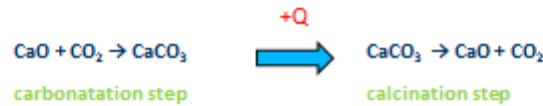
**Next Generation PCC Technology**  
Solid sorbents

1



Solid sorbents capture (adsorb) CO<sub>2</sub> on their surfaces, and release the CO<sub>2</sub> through a subsequent temperature or pressure change, thus regenerating the original sorbent.

*E.g. Calcium Looping*



Solid sorbents have the potential for significant energy savings over liquid solvents, in part because they avoid the need for the large quantities of water that must be repeatedly heated and cooled to regenerate the solvent solution.

Sorbent materials also have lower heat capacity than solvents and thus require less regeneration energy to change their temperature.

33/41

**Next Generation PCC Technology**  
Solid sorbents

2

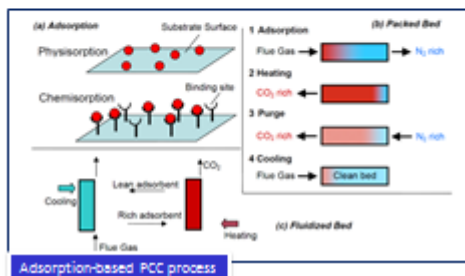


Solid sorbents that rely on chemical mechanisms are:

- Amines supported on the surface of other materials
- Carbonates such as calcium carbonate (limestone, dolomite)
- Sodium carbonate.

Sorbents that rely on physical surface interactions (weak Van der Waals forces) include:

- Activated carbon,
- Zeolites,
- Metal organic frameworks (MOFs).



Regardless of the process configuration, the adsorbent selectively adsorbs CO<sub>2</sub> from the flue gas, and is subsequently regenerated by lowering the pressure and/or increasing the temperature to liberate the adsorbed CO<sub>2</sub>.


In a packed bed configuration, regeneration is accomplished by heating the CO<sub>2</sub>-laden adsorbent to liberate CO<sub>2</sub>. During this time, flue gas is diverted to a second packed bed which continues to adsorb CO<sub>2</sub> from the gas. By alternating flue gas between two packed beds that alternately undergo adsorption and regeneration in a cycle, CO<sub>2</sub> can be continually removed from flue gas.

In a fluidized bed, the sorbent is circulated between an absorber vessel where it contacts flue gas and a regenerator vessel where it is heated to liberate gaseous CO<sub>2</sub>.

36/41

## Achieving PCC Technology Maturity



### Need large Scale Integrated Projects



■ Demonstration of technical and commercial readiness of PCC technologies in full chain (capture, transport, storage) is crucial to confirm maturity to stakeholders.


■ Key challenge to allow achievement of technical and commercial maturity of cost-effective PCC technologies (using Technology Demonstration Pathways) are a combination of:


- Time to achieve scale up
- Significant capex reduction
- Parasitic load reduction (increased efficiency)


37/41

## The demonstration plants funded by the EU





\* connect \* construct \* share.



**Don Valley Project**  
 S.Workshire, England  
 2CO  
 Feedstock: Coal  
 Size: 900 MW  
 Capture Technology: Pre Combustion  
 Start date: 2015  
 CO2 Fate: EOR

**Rotterdam, Netherlands**  
 E.On, Electrabel and Alstom  
 Feedstock: Coal  
 Size: 1100 MW  
 Capture Technology: Post Combustion  
 Start date: 2015  
 CO2 Fate: EGR

**Sleipner**  
 Norwegian North Sea  
 Leader: Statoil Hydro  
 CO2 Source: Gas Processing  
 Size: 1 MT/ Yr  
 Start Date: 1996

**Belchatów, PL**  
 Power sector

**Jämschwalde, DE**  
 Power sector


**Compostilla, ES**  
 Power sector

**Porto Tolle, IT**  
 Power sector

Note: Projects in light blue were cancelled and partners of Compostilla stay in "collaborative" status

38/41

Conclusions	1	
<p>■ PCC technology is the <b>most mature and available technology</b> for demonstration in power generation plants of industrial size</p>		
<p>■ <b>ADVANTAGES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilities of application of new plant and existing (<b>retrofit</b>)</li> <li>• Technology <b>readily available commercially</b></li> <li>• Solvents which are now tested on smaller scales</li> <li>• Inclusion with <b>high degree of integration in the plant</b></li> <li>• <b>Flexibility</b> in working with and without capture</li> </ul>		
<p>■ <b>DISADVANTAGES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• It operates at <b>atmospheric pressure</b> and typically with low concentrations</li> <li>• <b>Huge volumes</b> of gas involved, size of important plant</li> <li>• <b>High installation costs</b></li> <li>• <b>High energy</b> consumption</li> </ul>		
<p>■ <b>In perspective the practical experience on a large scale</b> → cost reduction</p>		
<p>■ <b>The research in the laboratory</b> → best solvents and optimized processes</p>		
		39/41

Conclusions	2	
<p>■ Carbon capture has been <b>clearly demonstrated at pilot scale</b> and in a number of industrial processes at large-scale for many years.</p>		
<p>■ The application of capture technologies to large-scale power projects is now a reality.</p>		
<p>■ The technology <b>already works</b>, but <b>more research</b> is required to <b>reduce the cost</b> and energy penalties for the next generation of capture technologies.</p>		
<p>■ There is a global need for <b>significant financial investments</b> to bring numerous commercial-scale demonstration projects online in the near future.</p>		
<p>■ This <b>portfolio of projects</b> will provide significant <b>'learning by doing'</b> benefits which, along with continuing research, will contribute significantly to a lowering of costs for carbon capture.</p>		
<p><small>Source: Global Carbon Capture and Storage Institute Ltd 2013</small></p>		40/41



AGENZIA NAZIONALE  
PER L'ENERGIA TECNOLOGICA,  
L'AMBIENTE E LA SICUREZZA NUCLEARE



**Thank you for kind attention!**

[claudia.bassano@enea.it](mailto:claudia.bassano@enea.it)  
[www.enea.it](http://www.enea.it)



Carbon Capture  
Summer School



RICERCA  
DI SISTEMA  
ELETTRICO



**4th Annual International Sulcis CCS  
Summer School 28 June - 1 July 2016**  
Sotacarbo Research Center, Carbonia, Sardinia, Italy

