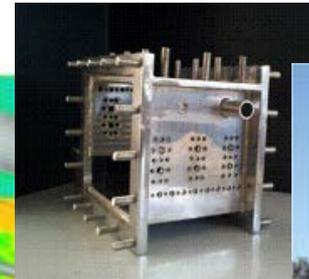
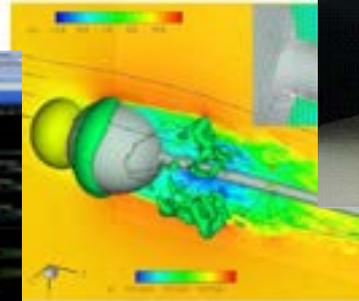


# Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, la cattura e il sequestro della CO<sub>2</sub> – PAR 2011

Ing. Stefano Giammartini – UTTEI COMSO



**L'ENEA e la Ricerca di Sistema Elettrico**  
**Roma 28 Ottobre 2012**



# Finalità del Progetto

*Il Progetto ha per finalità:*

*“lo sviluppo, la validazione teorico/sperimentale e la dimostrazione, su scala significativa, di un ventaglio di tecnologie innovative per l’impiego sostenibile di combustibili fossili, sia per la produzione di elettricità con ridotte emissioni di gas serra, che per la produzione di combustibili gassosi o liquidi”*

*Elemento comune di queste attività è rappresentato, oltreché dall’incremento di efficienza, dalla contestuale separazione della CO<sub>2</sub> per il suo successivo stoccaggio o riutilizzo*

# Struttura del progetto:

4 linee di attività, 11 obiettivi intermedi

## **Linea A: Produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone**

- ottimizzazione della gassificazione e purificazione del syngas da composti solforati e TAR;
- sviluppo di un processo innovativo di piro-gassificazione (c.f.r. carbone Sulcis);
- produzione di combustibili liquidi da carbone – CtL (c.f.r. carbone Sulcis);

## **Linea B: Aumento di efficienza nelle tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub>**

- cattura con sorbenti solidi ad alta temperatura;
- ottimizzazione del processo di assorbimento con solventi tradizionali e sviluppo di nuovi;
- sviluppo di bruciatori innovativi per turbine a gas alimentate a syngas;
- sviluppo di modelli e metodi numerici per la progettazione e l'efficientamento di componenti

## **Linea C: Tecnologie di sequestro/utilizzo della CO<sub>2</sub> e progettazione di un impianto dimostrativo CCS**

- sintesi di combustibili gassosi dalla CO<sub>2</sub>;
- fissaggio della CO<sub>2</sub> con metodi chimici;
- contributo alla progettazione di un Dimostrativo CCS nel bacino Sulcis ;
- realizzazione e gestione di una rete di monitoraggio geochimico di un bacino di stoccaggio

## **Linea D: Partecipazione a organismi nazionali e internazionali**

# Collaborazioni Universitarie (1/2)

(11 collaborazioni attivate, per complessivi 530 k€)

## **Obiettivo A1 - Gassificazione del carbone**

- **Università di Cagliari**, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche: *“Sintesi e sperimentazione di materiali innovativi per il trattamento del syngas da carbone”*.
- **Università di Roma “Sapienza”**, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente: *“Attività di progetto, realizzazione e sperimentazione di un dispositivo di abbattimento del tar”*.

## **Obiettivo A3 - Produzione di combustibili liquidi da carbone**

- **Politecnico di Milano**, Dipartimento di Energia: *“Sintesi Fischer-Tropsch su catalizzatori a base di ferro per la produzione di combustibili liquidi da carbone”*.

## **Obiettivo B1 - Cattura della CO<sub>2</sub> ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi**

- **Università de L'Aquila**, Dipartimento di Chimica, Ingegneria Chimica e Materiali: *“Studi e sperimentazioni a supporto della tecnologia ZECOMIX”*.

## **Obiettivo B2 - Cattura della CO<sub>2</sub> con solventi**

- **Università di Cagliari**, Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali: *“Analisi e modellazione dinamica di impianti di cattura post-combustione della CO<sub>2</sub> con ammine”*.
- **Università di Firenze**, Dipartimento di Chimica “Ugo Schiff”: *“Indagini Sperimentali sulla Cattura di CO<sub>2</sub> con Nuovi Metodi a Basso Consumo Energetico”*.

## **Obiettivo B3 - Bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno**

- **Università di Roma TRE**, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale (DIMI): *“Caratterizzazione aerodinamica e aeroacustica di bruciatori di tipo Trapped Vortex”*.

# Collaborazioni Universitarie (2/2)

(11 collaborazioni attivate, per complessivi 530 k€)

## **Obiettivo B4 - Tecnologie numeriche per l'ottimizzazione dei processi di combustione in aria o ossigeno**

- **Politecnico di Milano**, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica: *“Modellazione della cinetica di ossidazione del char da carbone”*.
- **Università di Roma “Sapienza”**, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale (DIMA): *“Sviluppo di tecniche e modelli numerici per LES per la simulazione di processi di combustione di miscele mono-multifase”*.

## **Obiettivo C2 - Fissaggio della CO<sub>2</sub> con metodi chimici.**

- **Università di Roma Tor Vergata**, Dipartimento di Ingegneria Civile (UTV): *“Caratterizzazione dei residui di una unità di gassificazione ZECOMIX e valutazione delle opzioni di riutilizzo dei residui, finalizzate alla riduzione dell'impatto ambientale del processo”*.

## **Obiettivo C3 - Impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> mediante ECBM ed iniezione in acquiferi salini**

- **Università di Cagliari**, Dipartimento di Ingegneria Meccanica : *“Modellazione e valutazione di processi di conversione termica del carbone basati su tecnologie USC e IGCC con catture della CO<sub>2</sub>”*.
- **Università di Roma “Sapienza”** CE.RI.-: *“Linee guida per il monitoraggio geochimico dei siti di interesse per lo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> e loro applicazione presso l'area del bacino minerario del Sulcis*

# Un partner Cobeneficiario: SOTACARBO

Accordo di Collaborazione tra ENEA e Sotacarbo S.p.A. sul tema:  
***“Analisi e sperimentazione di processi e tecnologie per impianti di produzione energetica da carbone, equipaggiati con sistemi di cattura e sequestro CO<sub>2</sub>”***

la collaborazione si riferisce in particolare a:

Obiettivo A1: ***Sperimentazione e ottimizzazione del processo di gassificazione***

Obiettivo B2: ***Studi sui processi di cattura della CO<sub>2</sub> con solventi a base di ammine***

Obiettivo C3: ***Ottimizzazione progettuale di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> mediante ECBM ed iniezione in acquiferi salini.***

**Il contratto, di significativa rilevanza anche economica (1,6 M€), è stato coordinato da ENEA**

Attività relative alla collaborazione con Sotacarbo S.p.A. : oggetto di specifico intervento dell'Ing. Paolo Deiana, responsabile per ENEA del contratto

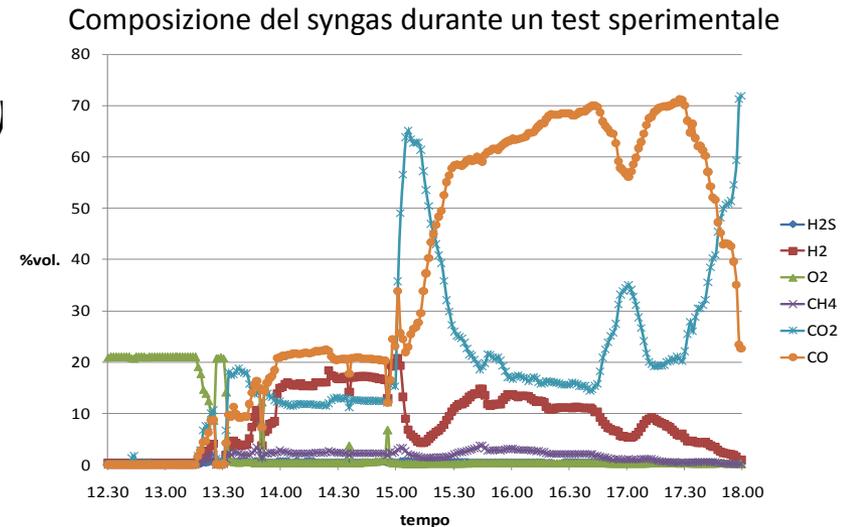
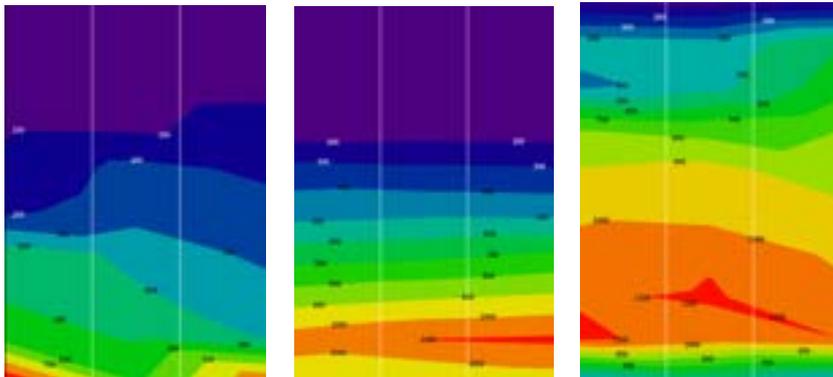
## Messa a punto delle migliori tecnologie per la produzione di syngas (1/2)

La gassificazione rappresenta un'opzione già oggi disponibile per un impiego sostenibile di combustibili solidi. Tuttavia ampi margini di miglioramento sono ancora possibili:

**ENEA** Sperimentazioni su impianto GESSYCA (gasificatore up-draft a letto fisso da 75 kW).

Obiettivi:

- Sviluppo di **sensoristica innovativa**;
- Sviluppo di **componentistica** (nuovo prog. griglia)
- Svil. metodologie di **monitoraggio/controllo**
- Test con diversi **agenti gassificanti**;



Mappatura termica della parete del reattore :  
avviamento , stazionario, pre-spegnimento

**SOTACARBO** vasta attività sperimentale su Piattaforma Pilota (250 kW):

- Indagine parametrica su: tipologia, granulometria del combustibile e su agente gasificante;
- Test di co-gassificazione carbone-biomassa;
- Metodologie di pulizia syngas;
- Test di produzione energia elettrica .

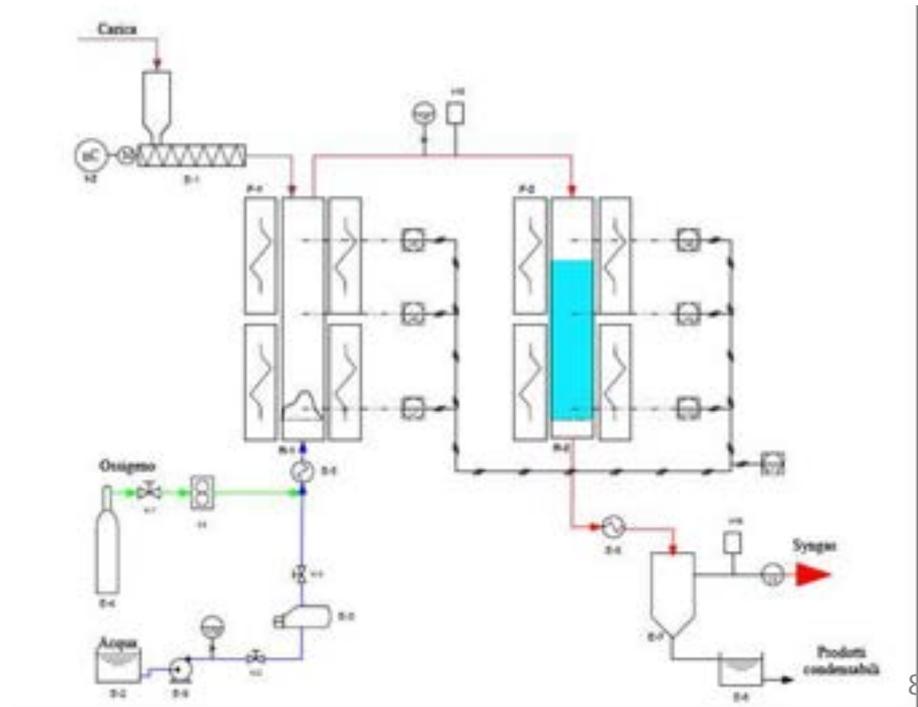
## Messa a punto delle migliori tecnologie per la produzione di syngas (2/2)

Un elemento fortemente limitante nell'uso della gassificazione a fini energetici è rappresentato dalla pulizia del syngas:

**Univ. Cagliari** Sviluppo di tecnologie innovative per pulizia del **syngas da composti solforati** (nocivi e corrosivi) con sorbenti solidi (ossidi metallici di Fe e Zn su supporti porosi) a moderata temperatura (300 – 400°C):

**Univ. Roma "Sapienza"** Realizzazione e sperimentazione di un **dispositivo di abbattimento del TAR** (basato su cracking catalitico).

Il prodotto finale verrà testato su gassificatore ENEA-GESSYCA.



## Messa a punto di una innovativa tecnologia di gassificazione basata su pirolisi preventiva

L'impiego di carboni di basso rango come il Sulcis, implica, in gassificazione, la necessità di rimuovere sostanze nocive e dannose quali TAR e composti solforati; a tal fine:

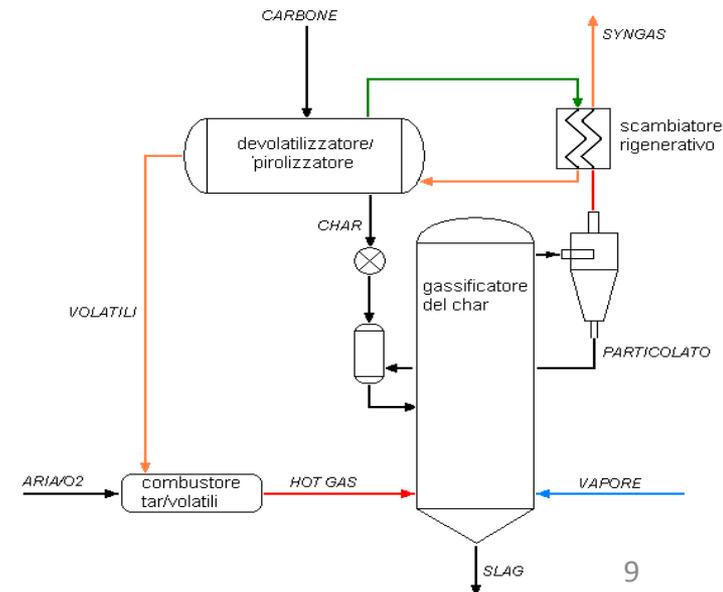
**ENEA** Messa a punto di un **processo integrato di Pirolisi e successiva Gassificazione, per la produzione di syngas "pulito"**. Attività in tre fasi:

- Sperimentazione in laboratorio per valutare i prodotti di pirolisi, e individuare le condizioni operative da utilizzare nella sperimentazione sul reattore da banco;
- Prove sperimentali su impianto pirolizzatore a tamburo rotante in scala "banco" (c/o ENEA-C.R.Trisaia);
- Progetto e realizzazione di un Dimostratore: impianto **VAL.CH.I.RI.A.** (**VAL**orizzazione **CH**ar: **Impianto R**icerche **AV**anzate).

L'impianto (2 Kg/h) separa nettamente la zona di rilascio dei "volatili" (pirolisi) da quella di gassificazione.

**Vantaggi della tecnologia:**

- Conversione di un **carbone di basso rango in un syngas di qualità**
- **Facile separazione del TAR**
- **Recupero potere calorifico delle sostanze volatili per effettuare il cracking termico del tar.**
- **Recupero contenuto termico dei fumi di combustione per gassificare il char residuo**



## Analisi del processo di produzione di combustibili liquidi da carbone: Tecnologia "Coal To Liquid" (1/2)

**Il combustibile liquido prodotto con CtL, privo di zolfo, può avere costi paragonabili a quello commerciale, e ha il vantaggio di essere prodotto da carboni di basso rango**

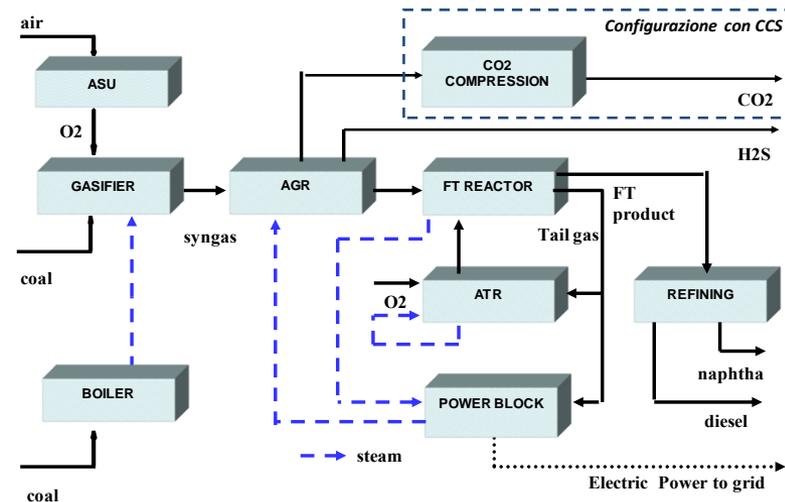
**ENEA** *Modellizzazione del processo e studio fattibilità tecnico-economica di un impianto Coal to Liquid, integrato con tecnologie CCS.*

*Stima delle prestazioni e analisi economico-finanziaria, per un impianto da 9000 b/g, con o senza dispositivo di cattura della CO<sub>2</sub>;*



Impianto Fischer-Tropsch  
PoliMi

Schema a blocchi dell'impianto CTL analizzato



**Politecnico di Milano** *Messa a punto del processo CtL basato su sintesi di Fischer-Tropsch*

- Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori a base di Ferro;
- Progettazione e realizzazione di un impianto Fischer-Tropsch in scala laboratorio, ad alta pressione, per "screening" catalizzatori e individuazione condizioni operative ottimali

## Cattura della CO<sub>2</sub> ad elevata temperatura con sorbenti solidi (1/2)

Le tecnologie “pre-combustion” operano la “decarbonizzazione” a monte della combustione, producendo un syngas da utilizzare in T.G. . ENEA propone una tecnologia che integra: gassificazione + pulizia syngas + cattura CO<sub>2</sub> con sorbenti solidi HT + combustione di H<sub>2</sub> e produzione energia elettrica in T.G.: “Ciclo ZECOMIX”

**ENEA** primo avviamento **Piattaforma ZECOMIX**  
(Zero Emission COal MIXed tech.)

- Prime prove di fluidizzazione del materiale di sostegno (Olivina) e prima gassificazione;
- Sviluppo sistema di controllo per massimizzare: flessibilità e sicurezza operativa, precisione e affidabilità delle misure, fruibilità dati sperimentali;
- messa a punto sorbente ad alta T, a base di CaO : 500 cicli di rigenerazione ad alta efficienza,



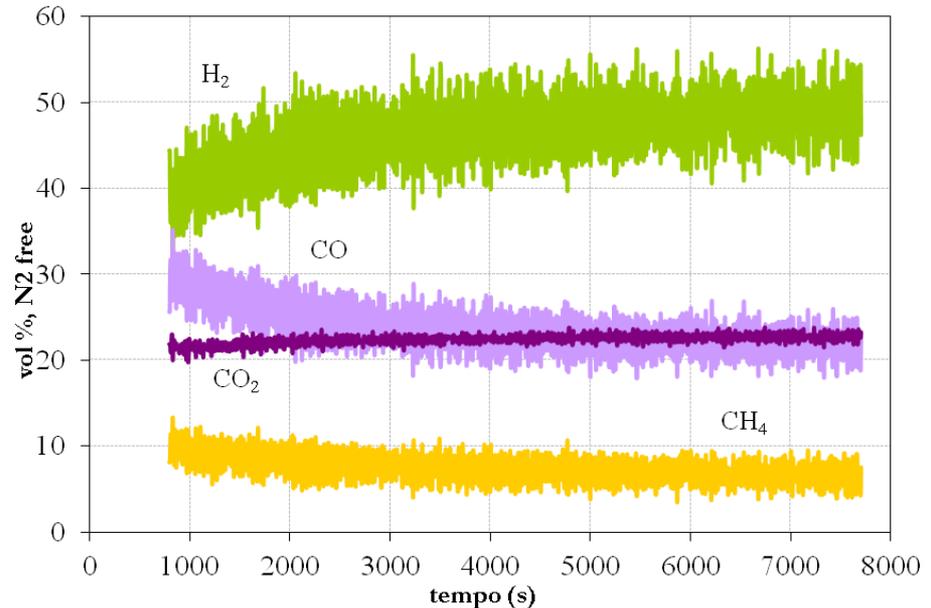
(in progress 1000 cicli)

Sistema ‘Distributed Control System’ (DCS): sinottico del Gassificatore (sinistra) e del Carbonatore (destra)



## Cattura della $CO_2$ ad elevata temperatura con sorbenti solidi (2/2)

**Università degli Studi de L'Aquila** *Studi e sperimentazioni per la messa a punto dei catalizzatori utilizzati nel gasificatore (olivina) e nel carbonatatore (dolomite), a supporto della messa in esercizio della Piattaforma ZECOMIX.*



Performance in fase di gassificazione per catalizzatore "olivina".  
Portate dei gas prodotti in funzione del tempo

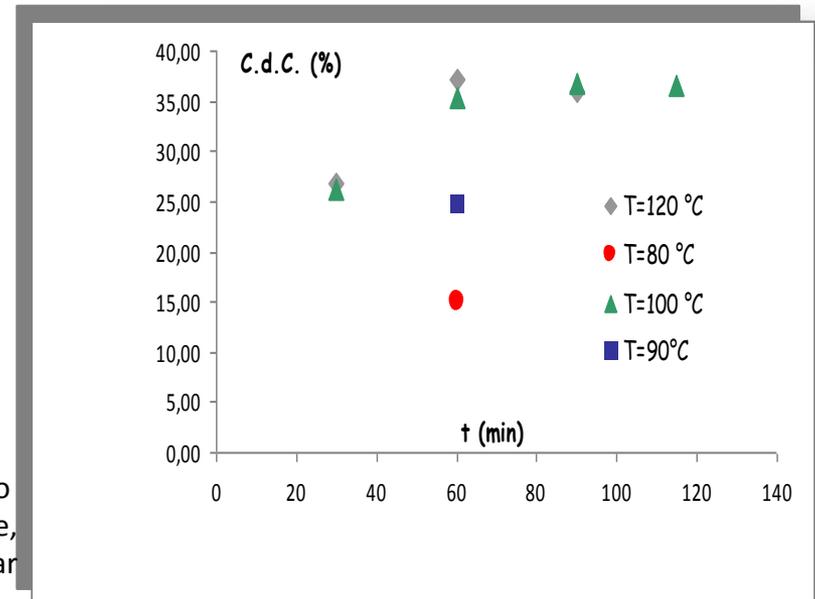
## Studi modellistici e sperimentali su processi di cattura della CO<sub>2</sub> con solventi (1/2)

I solventi (Ammine) rappresentano una tecnologia “relativamente” sviluppata per la cattura della CO<sub>2</sub> sui fumi di combustione (tecnologia di cattura “Post-Combustion”)

**ENEA** messa a punto di un processo alternativo basato sull'uso di **Resorcinolo** [C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>] come solvente innovativo (vantaggi: **bassa tossicità, ridotti consumi energetici, ...**):

- indagine sistematica sull'effetto dei principali parametri sperimentali (T; pCO<sub>2</sub>) che influiscono sulle proprietà di assorbimento della CO<sub>2</sub> da parte di una soluzione alcalina di resorcinolo;
- determinazione della capacità di carico (moli di CO<sub>2</sub> assorbita x moli di resorcina), e della efficienza di assorbimento (moli di CO<sub>2</sub> assorbita x moli di CO<sub>2</sub> inviata).

Capacità di carico nel tempo per quattro diverse temperature, con pCO<sub>2</sub> = 3 bar



**SOTACARBO** ampio programma sperimentale volto a caratterizzare il processo di cattura con solventi liquidi (Ammine), su scala laboratorio, variando:

- composizione dei solventi (tipologia e concentrazioni delle soluzioni acquose);
- composizione del gas (concentrazione di CO<sub>2</sub>);
- rapporto Liquido/Gas trattato.

## **Studi modellistici e sperimentali su processi di cattura della CO<sub>2</sub> con solventi (1/2)**

**Al fine di minimizzare i consumi energetici connessi all'uso di solventi tradizionali (Ammine):**

**Università di Firenze** *Sviluppo di nuovi solventi a basso consumo energetico:*

*Messa a punto di una tecnologia "water-free" (ammine emulsionate con glicol etilenico e etanolo/propanolo → vantaggi di tipo energetico rispetto alle tradizionali soluzioni acquose:*

- minor calore specifico di evaporazione alcoli (50 %): consumi energetici ridotti in rigenerazione ;*
- più elevata durabilità delle ammine e minor tossicità;*
- stessa efficienza di assorbimento delle soluzioni acquose.*

**Per tener conto degli aspetti dinamici, legati alla regolazione e controllo di un impianto reale equipaggiato con sistema di cattura con ammine, e alla ormai indispensabile flessibilità operativa, legata all'affermarsi di fonti rinnovabili:**

**Università di Cagliari** *Modellazione dinamica di impianti muniti di dispositivi per la cattura della CO<sub>2</sub> , mediante solventi a base di Ammine (configurazione post-combustion).*

- Applicazione effettuata per un impianto USC da 250 Mwe;*
- Il sistema, sviluppato e testato, assicura stabilità all'impianto ed efficienza di separazione CO<sub>2</sub> pari al 90% (conforme a specifica) .*

Linea B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub>

## Ob. B3: Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno (1/2)

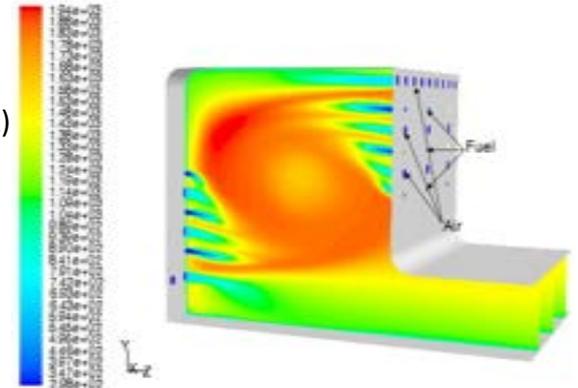
Le tecnologie di cattura “pre-combustion” implicano la problematica di “bruciare” syngas molto ricchi di idrogeno in Turbina a Gas → alte temperature e problemi di stabilità :

**ENEA** Sviluppo di un **bruciatore innovativo** “Trapped Vortex” per T.G., in grado di realizzare una combustione, in **assenza di fronte di fiamma** (MILD Comb.), di syngas (20-30% H<sub>2</sub>; 30% CO):

- Modifiche al progetto di bruciatore sviluppato nella precedente annualità, a seguito di sperimentazioni a freddo e di simulazioni CFD;
- Progetto esecutivo del nuovo bruciatore;

- Realizzazione del bruciatore, e sua installazione su impianto MICOS modificato;
- Primi test qualitativi.

Distribuzione termica (K)



Bruciatore TV ENEA

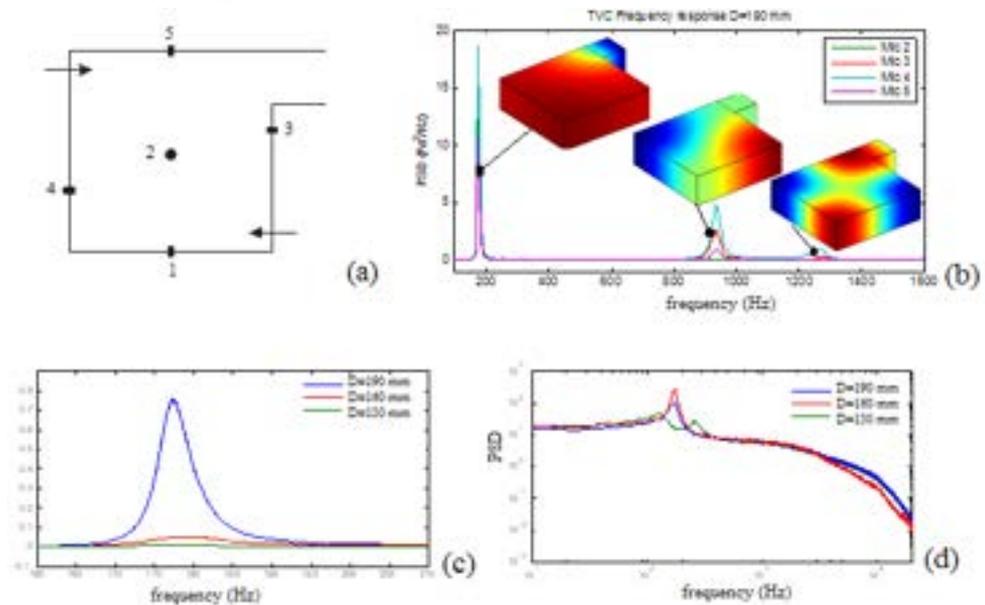


Impianto MICOS

**Ob.B3: Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno (2/2)**

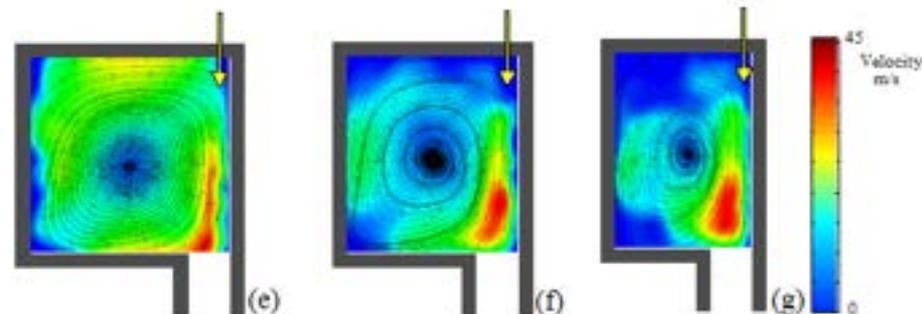
**Univ. Roma TRE** Valutazione sperimentale della fluidodinamica ed aeroacustica del bruciatore "Trapped Vortex" a supporto della progettazione:

- Individuazione dei parametri geometrici dominanti mediante analisi di sensibilità,
- Studio sperimentale aeroacustico e fluidodinamico (tecnica PIV) al variare dei parametri individuati;
- Definizione di linee guida per la progettazione ottimizzata.



(a) Posizione dei microfoni numerati e direzione dei flussi d'aria.  
(b) **Power spectral density** relativa ai primi tre modi acustici  
(c) e (d) andamento dello spettro in corrispondenza del primo modo acustico al variare della profondità della cavità [test acustici (c) e test aeroacustici (d)].

(e), (f) e (g): **campi di velocità medi** ottenuti con tecnica PIV al variare del parametro D: D=190 mm (e), D=160 mm (f) e D=130 mm (g).

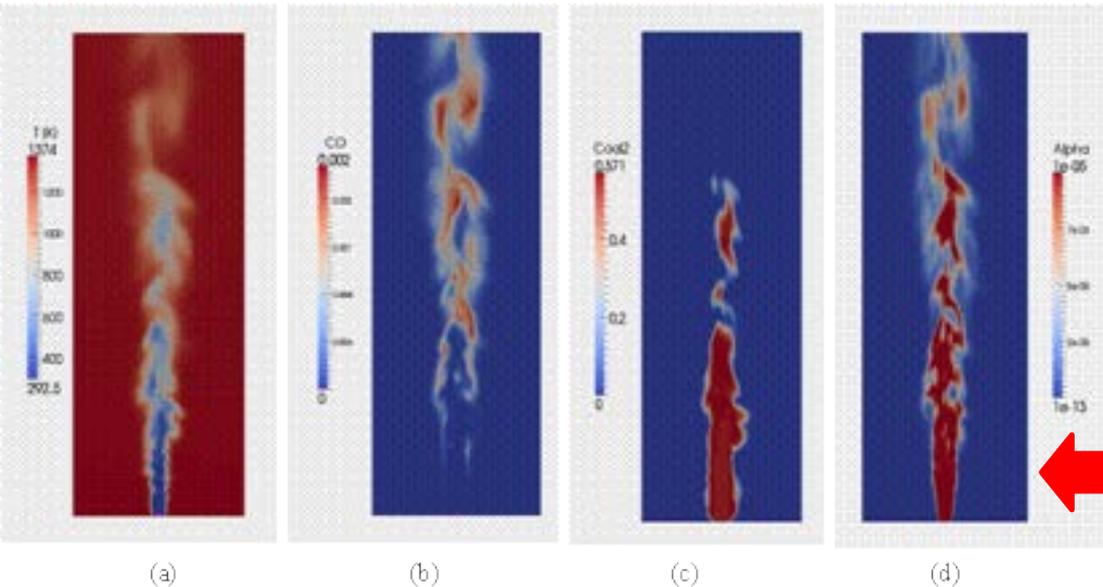


Linea B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub>

**Ob. B4: Messa a punto di tecnologie numeriche per ottimizzazione processi di combustione in aria e ossigeno (1/3)**

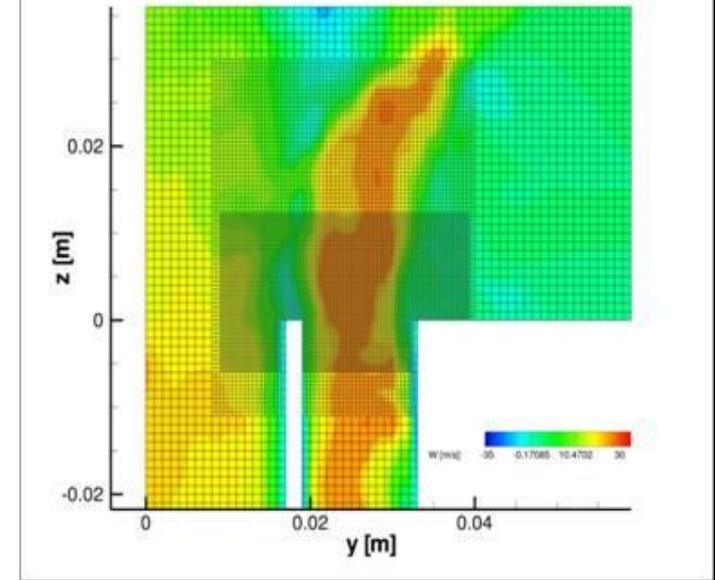
**ENEA /Univ. Roma "Sapienza"** Sviluppo di strumenti numerici e messa a punto di modelli per la simulazione non stazionaria di flussi multi-fase:

• **Solutori per griglie multi-livello:** griglie adattative: riducono il più possibile il numero dei nodi di calcolo e quindi il tempo di simulazione, mantenendo l'accuratezza.



Campo istantaneo della temperatura della fase gas (a), della frazione massica del CO rilasciato dal carbone (b), del carbone di riferimento (c), e della frazione volumetrica della fase dispersa(d)

Campo di velocità assiale della fase gas di fiamma multi-fase test: si notano 3 livelli di griglia in relazione a zone con forti gradienti e singolarità.

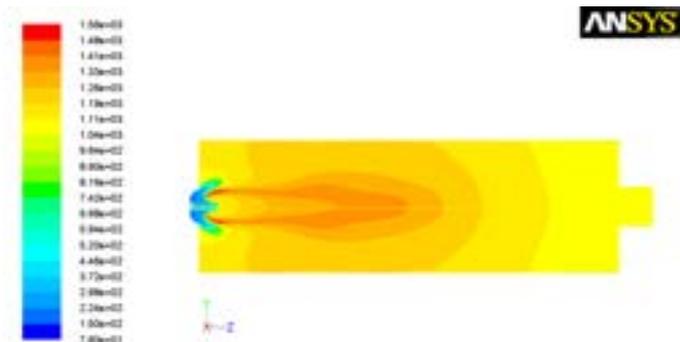
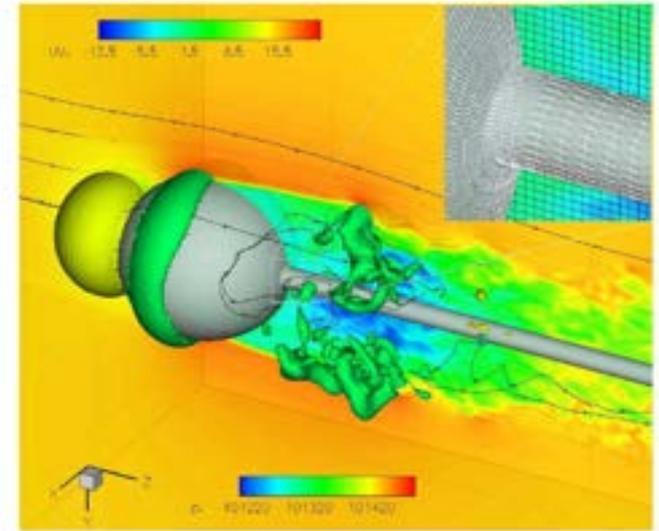


• **Validazione di modelli per flussi multi-fase (gas-solido):** validazione dei modelli, implementati nel codice *HeaRT* (ENEA), con dati sperimentali acquisiti (2011) sull'impianto *IPFR* (Isothermal Plug Flow Reactor) di *IFRF*.

**OB. B4: Messa a punto di tecnologie numeriche per ottimizzazione processi di combustione in aria e ossigeno (2/3)**

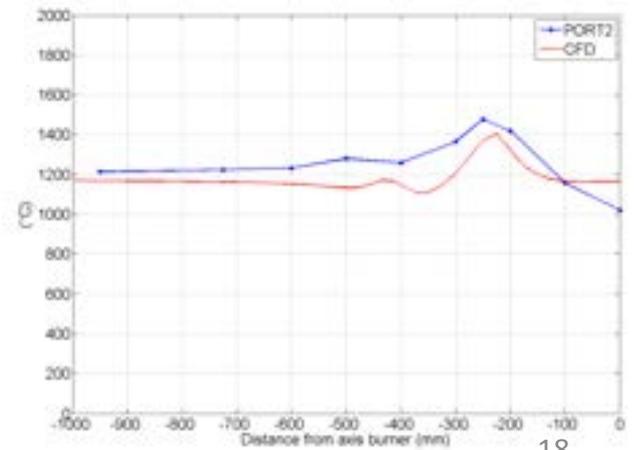
**ENEA (SEGUE)** Sviluppo di strumenti numerici e messa a punto di modelli di simulazione non stazionaria di flussi multi-fase:

- **Sviluppo di una tecnica numerica originale detta "Immersed Volume Method" (IVM - ENEA) per la simulazione di geometrie complesse in flussi reattivi:** metodo per raccordare una griglia cartesiana, tipica del volume reattivo, con una griglia tetraedrica più accurata per la descrizione di pareti e singolarità del bruciatore.
- **Simulazioni RANS della fornace dell'impianto Fo.Sper. di IFRF :** equipaggiato con bruciatore TEA-3C (AEN) in grado di operare in modalità oxy con polverino di carbone



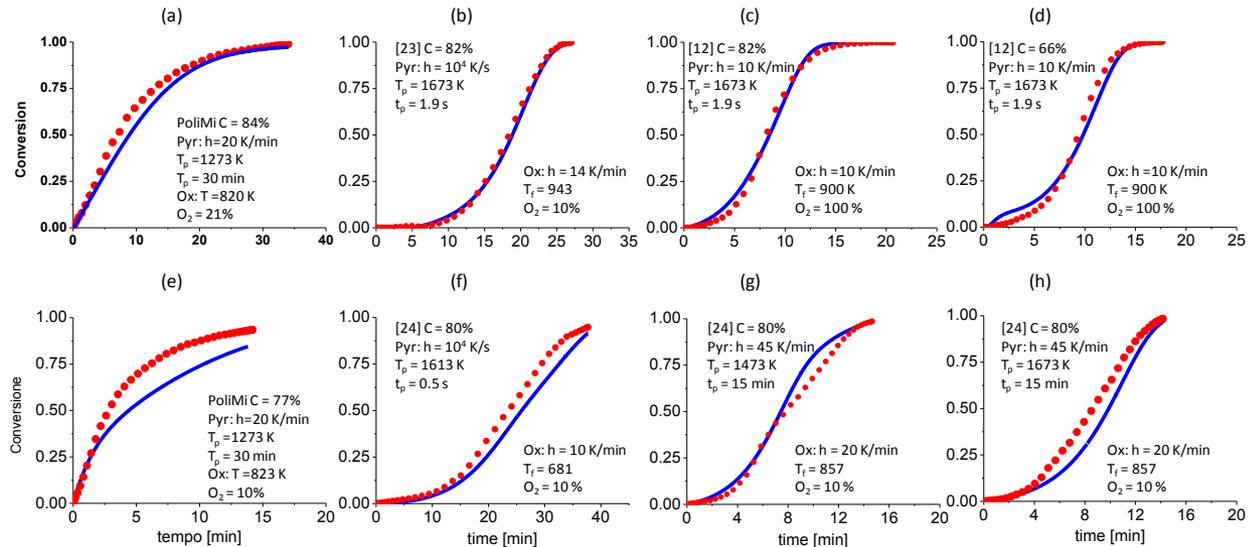
Campo di temperatura

Comparazione tra dati sperimentali e teorici



**Ob. B4: Messa a punto di tecnologie numeriche per ottimizzazione processi di combustione in aria e ossigeno (3/3)**

**Politecnico di Milano** modellazione della cinetica di ossidazione del char da carbone.  
Realizzazione di un modello cinetico multi-step capace di caratterizzare la termocinetica di combustione del char



Confronto tra dati sperimentali e la predizione del modello

Risultato di un'attività triennale che ha portato allo sviluppo di **Modelli di Cinetica Chimica per il carbone**, relativi ai processi di **volatilizzazione, rilascio di composti solforati e azotati, ossidazione della fase gas e ora del char**.

Il codice, che integra tali modelli, ha carattere **predittivo**, richiede cioè **informazioni solamente sulla composizione elementare del carbone e sulle condizioni operative del processo**.

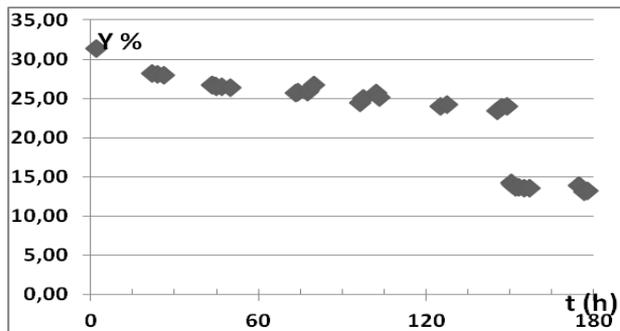
Il codice è "free" ed è stato utilizzato nelle simulazioni ENEA

## Ob.C1: Studi sulle tecnologie di sintesi di combustibili gassosi dalla CO<sub>2</sub>

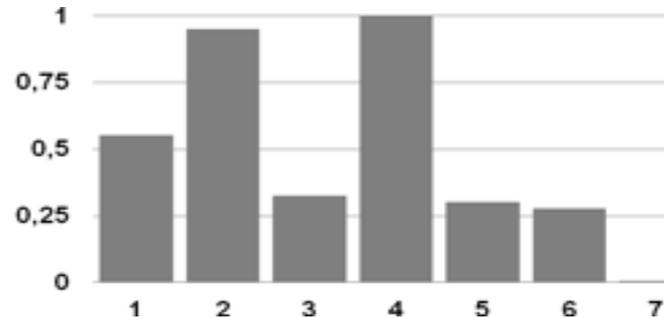
La sintesi di combustibili gassosi dalla CO<sub>2</sub> è un processo alternativo al sequestro geologico anche concettualmente, poichè vede l'anidride carbonica come una "ricchezza" non un problema

**ENEA** sperimentazioni relative allo studio della cinetica e termodinamico della reazione di "metanazione" ( $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ ):

- Analisi della risposta del catalizzatore (Nichel) a lunghi tempi di esercizio;
- Valutazione dell'effetto di avvelenamento del catalizzatore da H<sub>2</sub>S;
- Verifica dell'efficacia del trattamento di attivazione e rigenerazione del catalizzatore trattato con H<sub>2</sub>.



Andamento dell'efficienza di conversione CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> (Y) nel tempo



Resa relativa in funzione dei vari trattamenti cui il catalizzatore è sottoposto: **1**- Così come preparato; **2**- Dopo attivazione in H<sub>2</sub>; **3**- Dopo 22h di lavoro; **4**- Dopo rigenerazione in H<sub>2</sub>; **5**- Dopo 30' di avvelenamento con H<sub>2</sub>S; **6**- Dopo rigenerazione in H<sub>2</sub>; **7**- Dopo 4 h di avvelenamento in H<sub>2</sub>S

**Obiettivo in progress è la realizzazione di un piccolo dimostrativo che integri il reattore di metanazione ad un dissociatore elettrolitico alimentato da sorgente rinnovabile**

**Ob.C2: Studi su tecnologie di fissaggio della CO<sub>2</sub> con metodi chimici**

**Università di Roma Tor Vergata**

*Sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche*

*dei residui prodotti da unità di gassificazione (rif.: Imp. ZECOMIX), sono state condotte valutazioni sulle diverse opzioni potenziali di riutilizzo.*

*A tal fine:*

- *Caratterizzazione dei materiali e stima della reattività;*
- *Prove sperimentali di granulazione per ottenere un materiale utilizzabile nel settore delle costruzioni;*
- *Prove sperimentali di carbonatazione, per il sequestro della CO<sub>2</sub>*

Frazioni granulometriche	Φ [mm]	% (sul totale)	% (F. Grossolana)	TOC* [%]	IC** [%]	pH
<b>Frazione grossolana</b>	d>=4	66.54				
Clinker			75.74	1.66	0.0029	9.36
Carbone			9.31	47.44	0	6.95
Frazione "rossa"			7.53	1.47	0	10.26
Frazione "bianca"			7.42	1.73	0	7.58
<b>Frazione intermedia</b>	0.25<=d<=1.18	20.35		8.02	0.022	11.11
<b>Frazione fine ("cenere")</b>	d<0.25	13.11		3.12	0.11	12.34

\*TOC: Total Organic Carbon

\*\*IC: Inorganic Carbon

Caratterizzazione preliminare delle ceneri provenienti dal gassificatore di SOTACARBO: abbondanza relativa delle frazioni, il contenuto di carbonio organico (TOC) e inorganico (IC) ed il pH, preventiva a ipotesi di riutilizzo

**Ob. C3: Ottimizzazione progetto impianto dimostrativo con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> (1/2)**

**Attività di progetto relative ad un impianto, su scala “dimostrativo”, di produzione di energia elettrica da carbone, con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> nel bacino minerario del Sulcis, e attività correlate, connesse al monitoraggio del sito di stoccaggio.**

**ENEA**, anche in collaborazione con **Univ. Cagliari** *Valutazione tecnico-economica dell'applicazione di tecnologie CCS ad impianti termoelettrici a carbone USC o IGCC*

- *Studio comparativo condotto con riferimento alle metodologie proposte dai principali Istituti internazionali nell'ultimo triennio;*
- *Proposta metodologia di valutazione dei costi di cattura della CO<sub>2</sub> innovativa, basata su considerazioni relative ai vincoli normativi che si prevede possano entrare in vigore;*
- *Effettuata analisi probabilistica (metodo di Monte Carlo) che associa una opportuna distribuzione di probabilità ad ogni parametro in input, altrimenti deterministico. In questo modo è possibile caratterizzare l'incertezza legata ai parametri in output considerati (COE e MC).*

## **SOTACARBO**

*Aggiornamento dello studio relativo all'impianto dimostrativo a carbone, di tipo USC, con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub>.*

**Ob. C3: Ottimizzazione progetto impianto dimostrativo con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> (2/2)**

**Un'attività fondamentale riguarda la caratterizzazione del sito di stoccaggio**

**Univ. Roma "Sapienza" – CERI** (Centro di Ricerca, Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici)

*Monitoraggio geochimico dei siti di interesse per lo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> presso l'area del bacino minerario del Sulcis :*

- *predisposte una serie di linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di monitoraggio geochimico;*
- *ampliata ed esercita (8 mesi) una rete di monitoraggio installata presso l'area del bacino minerario del Sulcis;*

*In particolare:*

- **18 punti di campionamento** in continuo a **terra** nel sito in concessione a Carbosulcis SpA:
- misurati flussi e concentrazioni di **CO<sub>2</sub>**, **CH<sub>4</sub>** e altri parametri di interesse (**T**, **umidità**, **pH**, etc)
- **finalità** : definire le **variazioni naturali** dei valori di **flusso/concentrazione** di CO<sub>2</sub> prodotta da processi biologici e il **background** (o baseline) quali termini di riferimento per l'individuazione di eventuali fughe di CO<sub>2</sub> profonda



**Figura 1.** Intervento di manutenzione (maggio 2012) effettuato per ripristinare la completa funzionalità dei sistemi e per verificare la corretta calibrazione delle sonde di misura.

## ▲ **Linea/Obiettivo D . Partecipazione a organismi internazionali**

**ENEA** ha assicurato la presenza italiana in importanti contesti internazionali :

- **Technical Group del CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum);**

Aderiscono 24 nazioni più la UE. Stimolare lo sviluppo e l'applicazione delle tecnologie CCS, attraverso collaborazioni per il superamento di ostacoli di ordine tecnico, economico, normativo e finanziario.

- **IEA - Working party on Fossil Fuels Implementing Agreement “Clean Coal Centre”;**

- **Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI);**

Organismo nato su iniziativa del governo australiano al fine di mobilitare risorse pubbliche e private per diffondere le tecniche CCS. Aderiscono Europa, Stati Uniti, Canada, Messico, Sud-Africa e Paesi dell'Asia.

- **Piattaforma tecnologica europea ZEP Zero Emission Fossil Fuels Power Plants);**

Unisce gli operatori industriali europei impegnati nelle tecnologie CCS

- **CCS-EII Team (Iniziativa Ind. Europea su CCS) del SET Plan (Strategic Energy**

**Technologies);** Svolge un ruolo cruciale per la definizione degli indirizzi attuativi delle varie iniziative previste in ambito SET Plan

- **EERA (European Energy Research Alliance) per le tecnologie CCS;**

Organismo analogo alla piattaforma ZEP, ma riunisce gli operatori del mondo della ricerca

**L'insieme di queste azioni, oltre ad assicurare la partecipazione italiana a numerose iniziative internazionali , favoriscono l'intensificazione delle collaborazioni ad ogni livello.**

# Diffusione dei risultati

## Report:

- *44 report emessi da ENEA e suoi partner nell'ambito del progetto*

## Memorie a Congressi:

- *15 memorie scientifiche presentate a congressi nazionali ed internazionali*

## Pubblicazioni su Riviste:

- *7 articoli pubblicati su riviste qualificate*

## Eventi:

- *XXXIV Meeting of the Italian Section of the Combustion Institute -  
"Giornata congiunta ENEA-CNR-RSE dedicata alla diffusione dei risultati del Piano Nazionale della Ricerca di Sistema Elettrico nel settore delle CCS - triennio 2009-2011" -  
CNR – Roma, 26 Ottobre 2011;*
- *Workshop European Turbine Network : "COMBUSTION INSTABILITIES IN GAS TURBINES" -  
ENEA C.R. Casaccia, 7 Febbraio 2012;*
- *Workshop " CO2: da problema a risorsa. L'esperienza italiana – ENEA Roma, 18 giugno 2012;*
- *Workshop " Studi e sperimentazioni relativi al processo di produzione di combustibili liquidi da carbone" - ENEA C.R.Casaccia, 26 Luglio 2012.*

# Sintesi sui principali risultati del triennio 2009 – 2011 (1/2)

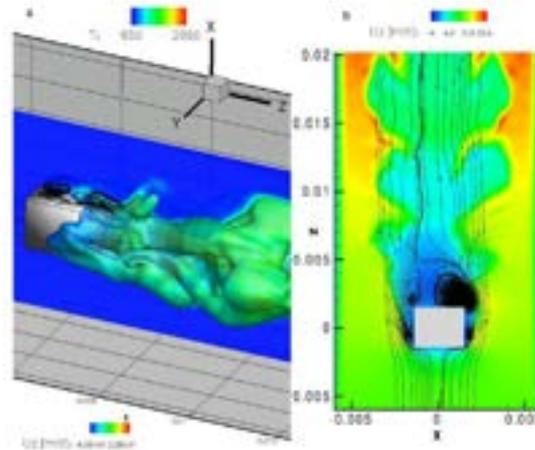
- *Vasto programma sperimentale sulla gassificazione del carbone in relazione al “rango”, agente gasificante, ecc. Realizzazione di importanti facility sperimentali presso Sotacarbo ed ENEA per la messa a punto della tecnologia e lo sviluppo di componenti innovativi, metodi di controllo, diagnostica. Sviluppo di un innovativo processo di gassificazione, basato su pirolisi preventiva e separata, per l'utilizzo di carboni di basso rango. Realizzazione di un Pilota per la messa a punto del processo.*
- *Sviluppo di tecnologie di pulizia del syngas per abbattimento polveri (a umido), desolfurazione (con sorbenti solidi a base di Zn e Fe) abbattimento TAR (con cracking catalitico).*
- *Realizzazione di un impianto pilota per la messa a punto della tecnologia Coal to Liquid, basata su sintesi Fischer-Tropsch (selezione catalizzatori, determinazione parametri ottimi di funzionamento, ecc.). Studio di fattibilità tecnico-economica relativa ad un impianto di taglia industriale.*
- *Sviluppo di sorbenti solidi di CO<sub>2</sub> ad alta temperatura, a base di CaO, altamente performanti. Realizzazione e primo esercizio di un Dimostrativo del ciclo ZECOMIX (Zero Emission Coal MIXed tech.) che integra gassificazione, pulizia syngas, cattura CO<sub>2</sub> con sorbenti e combustione di idrogeno per la produzione di energia elettrica.*
- *Importanti studi sperimentali, presso Sotacarbo, per il miglioramento di efficienza energetica, durabilità, efficienza di rigenerazione di solventi liquidi a base di ammine. Realizzazione di un impianto pilota e di laboratori di caratterizzazione. Sviluppo di una tecnologia innovativa, “water-free”, caratterizzata da minor consumo energetico e tossicità, elevata durabilità e capacità rigenerativa. Brevetto (ENEA) di un nuovo solvente (soluzione basica di resorcinolo) caratterizzato da alta efficienza energetica e di cattura e minore tossicità.*

## Sintesi sui principali risultati del triennio 2009 – 2011 (2/2)

- *Realizzazione di un bruciatore avanzato per turbine a gas, in grado di operare con syngas molto ricchi di idrogeno, provenienti da processi di cattura pre-combustion, e realizzazione di una facility sperimentale per la sua validazione.*
- *Sviluppo di strumenti numerici e di modelli per la simulazione stazionaria e dinamica di flussi reattivi multifase (combustione di carbone, slurry, gas e syngas in aria o ossigeno) e per la progettazione dei componenti.*
- *Sviluppo di tecnologie alternative al sequestro geologico della CO<sub>2</sub>, finalizzate alla produzione di combustibili gassosi (metanazione) e alla fissazione chimica dell'anidride carbonica (carbonatazione dei residui solidi di gassificazione).*
- *Studio e definizione preliminare di un Dimostrativo a carbone, di scala industriale, con cattura e confinamento geologico della CO<sub>2</sub> nel bacino carbonifero del Sulcis. Scelta supportata da studi di tipo tecnico-economico. Sviluppo di metodologie innovative di valutazione dei costi della cattura. Realizzazione e primo utilizzo di una rete di monitoraggio geochimico nel sito carbonifero del Sulcis, per caratterizzare il background naturale e le sue oscillazioni stagionali. Produzione di Linee Guida per il monitoraggio geochimico dei siti.*
- *Partecipazione attiva ai principali organismi internazionali, per rafforzare il ruolo e la presenza italiana in un settore CCS.*

# PAR 2012-Progetto B.2: Utilizzo pulito di combustibili fossili

Ing. Stefano Giammartini – UTTEI COMSO



**L'ENEA e la Ricerca di Sistema Elettrico**  
**Roma 28 Ottobre 2012**



28

# Linee di intervento in ottica triennale (1/2)

**Cattura con nuovi solventi liquidi alternativi alle soluzioni acquose di ammine, in configurazione pre- e post- comb.** (bassi consumi energetici, durabilità, bassa tossicità,...)

**Produzione di combustibili liquidi da carbone – CtL** (caratterizzazione sperimentale del processo su pilota scala lab.; analisi economica e di redditività)

**Innovazione processo di gassificazione** (diagnostica, controllo, gas cleaning); **test sperimentale di un processo innovativo: pirolisi + gassificazione, per carboni di basso rango**

**Sorbenti solidi per la cattura ad alta temperatura** (obiettivo: sorbente in grado di raggiungere i 1000 cicli di rigenerazione); **esercizio della piattaforma ZECOMIX rappresentativa del ciclo omonimo. In progress: applicabilità sorbenti in assetto pre- e post-combustione** (sui fumi)

**Ottimizzazione processi di combustione in aria e ossigeno** (sviluppo modelli per lo studio di processi dinamici in combustione omogenea ed eterogenea, instabilità, combustione syngas in T.G., diagnostica e controllo); **test sperimentali di bruciatori innovativi per turbogas** (bruciatore Trapped Vortex e comb. MILD)

**Cicli energetici ad alta efficienza e “capture ready”** (cicli ad umido [STIG e EGT] e cicli  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ , allestimento banco di prova sperimentale AGATUR)

# Linee di intervento in ottica triennale (2/2)

*Supporto alle attività dimostrative di tecnologie di cattura e storage della CO<sub>2</sub> nel bacino Sulcis (adeguamento del progetto di Dimostrativo/Pilota)*

*Realizzazione ed esercizio di una rete di monitoraggio geochimico della CO<sub>2</sub> nel sito di stoccaggio del bacino minerario del Sulcis (arricchimento della rete, anche con sistemi di monitoraggio non convenzionali, ed esercizio della medesima).*

*Sintesi di combustibili gassosi da CO<sub>2</sub> (metanazione, dimostrativo scala laboratorio integrato con fonte rinnovabile)*

*Partecipazione a organismi nazionali internazionali per favorire la collaborazione e la partecipazione a iniziative sovranazionali*

The ENEA logo consists of the word "ENEA" in a bold, blue, sans-serif font. The letters are slightly stylized, with the 'E' and 'A' having a modern, geometric feel. The logo is set against a white background within a yellow-bordered box.

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

*Grazie per  
l'attenzione!*