

**ACCORDO DI PROGRAMMA**  
**MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - ENEA**  
**SULLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO**

**PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2013**

**Parte 2**

## **INDICE**

PREMESSA	3
PROGETTO B.2 CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO <sub>2</sub> PRODOTTA DA COMBUSTIBILI FOSSILI	5
IL QUADRO DI RIFERIMENTO	5
PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ	8
PROGRAMMA TEMPORALE E PREVENTIVI ECONOMICI	33

## PREMESSA

Le attività di ricerca hanno come riferimento principale il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2013 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale del Ministero dello Sviluppo Economico, che prevede all'art. 2 un finanziamento di 25,8 milioni di euro per le attività affidate a ENEA, così suddiviso:

- 9 milioni di euro per lo svolgimento delle attività relative al "Broader Approach" del progetto internazionale sulla fusione nucleare ITER;
- 3 milioni di euro per lo svolgimento di attività inerenti la cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> presso il Polo tecnologico del Sulcis, di cui al Protocollo Sulcis;
- 13,8 milioni di euro per lo svolgimento di attività inerenti ai sistemi di accumulo dell'energia elettrica, le biomasse, le correnti marine, il fotovoltaico, il solare termodinamico, la cattura e sequestro di CO<sub>2</sub>, la razionalizzazione e il risparmio nell'uso dell'energia elettrica, nonché lo sviluppo delle conoscenze per l'utilizzo della fonte nucleare da fissione e da fusione, a completamento di progetti di ricerca avviati. Per tali attività è prevista la partecipazione da parte dei principali Istituti universitari nazionali, per una quota non inferiore al 20% del finanziamento, nonché l'intervento delle società partecipate da ENEA.

Il presente **Piano Annuale di Realizzazione 2013 Parte 2** prevede attività per 3,5 milioni di euro e comprende uno degli undici progetti di ricerca previsti, quello relativo alla **Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili** (progetto B.2, in cui sono incluse anche le attività da svolgersi presso il Polo Tecnologico del Sulcis).

Il progetto rientra nell'Area "Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente" e ha una durata delle attività da ottobre 2013 a settembre 2014.

I preventivi economici attività dei dieci progetti sono riassunti nella tabella che segue, ripartiti per le voci di spesa definite nel documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili" approvato con delibera dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas n. 19 del 24 gennaio 2013. Si sottolinea in particolare che l'importo previsto per la voce "strumentazioni e attrezzature" rappresenta la quota ammissibile in base ai criteri di ammortamento e non già l'intero costo necessario per gli acquisti.

**Accordo di Programma MSE- ENEA**  
**Costo del PAR 2013 Parte 2 per principali voci (k€)**

AREA	PROGETTO	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)						TOTALE	
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)		Collaborazioni di cobeneficiari (U)
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE	B.2 Cattura e sequestro della CO <sub>2</sub> prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili									
	<i>Subtotale Parte A</i>	2990	118	68	31	153	0	30	100	500
	<i>POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS: Subtotale Parte B.1</i>	19980	539	323	16	699	615	8	0	2200
	<i>Subtotale Parte B.2</i>	9470	368	222	0	0	0	30	180	800
	<b>TOTALE PROGETTO</b>	<b>32440</b>	<b>1025</b>	<b>613</b>	<b>47</b>	<b>852</b>	<b>615</b>	<b>68</b>	<b>280</b>	<b>3500</b>

\* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

- (A) include il costo del personale sia dipendente che non dipendente
- (B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento
- (C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione
- (D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti
- (E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione
- (U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

<b>AREA</b>	<b>PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE</b>
<b>Tema di Ricerca</b>	<b>CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO<sub>2</sub> PRODOTTA DA COMBUSTIBILI FOSSILI</b>
<b>Progetto B.2</b>	<b>CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO<sub>2</sub> PRODOTTA DA COMBUSTIBILI FOSSILI</b>

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

I combustibili fossili hanno rivestito finora un ruolo chiave nelle politiche energetiche dei vari Paesi per la produzione di energia elettrica. La situazione si avvia ad un sostanziale cambiamento nei prossimi anni e decenni per l'esigenza di abbattere drasticamente le emissioni di anidride carbonica per contenere e controllare le alterazioni climatiche: in Europa, dopo la strategia al 2020, la UE ha adottato nel 2011 una strategia al 2050, che prevede la riduzione di emissioni di gas serra da 80 a 90% rispetto al 1990.

La transizione verso una economia non più basata sul carbonio non sarà breve, e comunque impone di affrontare il tema di un impiego sostenibile dei fossili, che verranno ancora ampiamente utilizzati nei prossimi decenni. Per il conseguimento degli obiettivi climatici, sempre più condivisi a livello globale, la UE punta a una quasi totale decarbonizzazione dei processi di generazione elettrica, con il ricorso massiccio a efficienza energetica e fonti rinnovabili, e l'adozione di tecnologie di cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub> per gli impianti a fossili. La stessa SEN include, fra le tecnologie prioritarie per il Paese, lo sviluppo delle tecnologie CCS.

L'obiettivo che ci si pone è quello di rendere utilizzabili industrialmente le CCS a partire dal 2030. Per questo occorrono non solo molta ricerca e sviluppo, ma anche impianti dimostrativi di scala significativa.

In questo quadro, il Ministero dello Sviluppo Economico ha stipulato un accordo con la Regione Sardegna, per la realizzazione di un *"Polo tecnologico di ricerca sul carbone pulito e la costruzione di una centrale elettrica clean coal technology"* nell'area del Sulcis.

Il progetto ha per finalità lo sviluppo, la validazione teorica e 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, sia per la produzione di combustibili liquidi o gassosi (nel caso di carbone). Elemento comune per la sostenibilità ambientale di tali combustibili, è rappresentato, oltreché dall'incremento di efficienza, dalla contestuale separazione della CO<sub>2</sub> e il suo successivo stoccaggio o riutilizzo (tecnologie CCUS: Carbon Capture Utilization and Storage).

Le tecnologie più innovative, volte ad una applicazione nel medio termine, saranno concentrate sulla Piattaforma Sperimentale Sotacarbo, su importanti facility in corso di realizzazione, sempre presso Sotacarbo, relative alla cattura in ossi-combustione e alla tecnologia Coal to Liquid, e su due avanzate piattaforme sperimentali ENEA: la Piattaforma Zecomix, finalizzata allo studio di processi più innovativi di decarbonatazione con sorbenti solidi e trattamento gas, in linea con le più avanzate ricerche internazionali, e l'impianto AGATUR per lo studio di cicli termodinamici avanzati imperniati su una microturbina a gas da 100 kWe.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

L'utilizzo di tecnologie CCS può ridurre dell'80-90% le emissioni di CO<sub>2</sub> causate dagli impianti di potenza, a scapito tuttavia di una penalizzazione energetica (e quindi anche economica) dell'ordine di 8-10 punti percentuali in termini di efficienza. Nel settore della R&S delle tecnologie CCS, vi è un forte impegno internazionale rivolto da una parte alle problematiche di ottimizzazione impiantistica, ai fini di una applicazione immediata delle CCS nei prossimi impianti di potenza in fase di progetto (impianti "capture ready"), dall'altra alla messa a punto di tecnologie completamente nuove che consentano di ottenere

risultati prestazionali, in termini di efficienza e di costo, migliori di quelli ottenibili con tecnologie ritenute mature.

Molte delle tecnologie CCS sono già oggi disponibili ma hanno bisogno di essere integrate opportunamente con l'impiantistica di produzione per minimizzare le perdite energetiche ed i costi aggiuntivi ad esse associate. A livello internazionale sono in corso numerose iniziative volte ad intensificare la collaborazione fra i diversi Paesi per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS, e per la definizione di accordi politici sui limiti delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Sul fronte nazionale, ma in linea con gli indirizzi europei, una adeguata attività di R&S svolta dal sistema della ricerca pubblica e più in particolare dall'ENEA e da Sotacarbo prevalentemente presso il "Polo Tecnologico per il Carbone Pulito nell'Area del Sulcis", consentirà di contribuire efficacemente alla riduzione delle emissioni italiane di CO<sub>2</sub> e permetterà al sistema industriale nazionale di competere in campo internazionale nel prossimo futuro.

### ***Stato attuale delle tecnologie***

Per quanto riguarda la separazione dell'anidride carbonica, si possono individuare tre differenti approcci: separazione post-combustione, pre-combustione e ossi-combustione. Le tre tecniche si differenziano principalmente per le caratteristiche dei gas inviati al sistema di cattura, in termini di pressione e concentrazione della CO<sub>2</sub> presente. Esistono poi le tecnologie per la rimozione definitiva dell'anidride carbonica separata, che vanno dal sequestro geologico in sicurezza e relativo monitoraggio, alle tecnologie di ri-utilizzo per la produzione di combustibili e chemical; per finire alla produzione diretta di combustibili liquidi e gassosi da carbone, che può risultare conveniente sotto l'aspetto economico, di differenziazione degli approvvigionamenti e non ultimo di rimozione di una parte consistente di CO<sub>2</sub>.

### ***Obiettivo finale dell'attività***

Il programma è articolato in linee progettuali che hanno come obiettivi finali: lo sviluppo di tecnologie CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) su scala laboratorio e pilota, l'integrazione di processi e il supporto ad attività di dimostrazione, l'efficienza energetica nello sfruttamento del combustibile (sia esso gas naturale o syngas prodotto da processi di gassificazione, che direttamente carbone)

Le attività saranno focalizzate allo sviluppo e messa a punto di tecnologie per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel settore termoelettrico, con importanti possibili ricadute in settori industriali che adottano processi fortemente energivori (siderurgico, petrolchimico, cementiero, vetro, ...).

Gli obiettivi finali delle attività di ricerca sono:

#### **Cattura della CO<sub>2</sub> in post-combustione**

Ottimizzazione del processo di cattura della CO<sub>2</sub> mediante l'impiego di solventi liquidi innovativi, studio e sperimentazione di sistemi di clean-up e successiva cattura della CO<sub>2</sub>

#### **Produzione e trattamento di combustibili gassosi e liquidi. Cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione**

Sviluppo, su scala laboratorio e pilota, tecnologie innovative per la produzione di combustibili liquidi (CTL - Coal To Liquid; BTL - Biomass To Liquid) e gassosi (syngas, idrogeno e altri) da carbone, e per la cattura CO<sub>2</sub> con sorbenti solidi ad alta temperatura, in configurazione pre-combustione.

#### **Efficientamento del processo di combustione in aria o ossigeno. Cattura della CO<sub>2</sub> in ossi-combustione**

Questa linea di attività focalizza l'attenzione sull'ottimizzazione dello sfruttamento energetico del combustibile, sia esso direttamente carbone in processi di ossi-combustione che gas naturale o syngas prodotto in processi di gassificazione.

## **“Storage” ed utilizzo della CO<sub>2</sub>**

Verrà completata la caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito di stoccaggio dell’anidride carbonica. Esso prevede indagini geofisiche e geochimiche, da superficie ed eventualmente in pozzo, per valutare le potenzialità del confinamento permanente della CO<sub>2</sub> negli strati profondi e non coltivabili del bacino carbonifero, con tecniche ECBM, e nelle sottostanti formazioni acquifere, a una profondità superiore a 1200 metri. In particolare sul tema del monitoraggio geochimico bacino minerario del Sulcis, verrà ampliata ed esercita una rete di monitoraggio del sito.

## **Coordinamento con attività di CNR e RSE**

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR perché le attività afferenti al tema CCS sono, nel PT 2012-2014 e nel POA 2013 approvati, ad esclusiva responsabilità ENEA.

## **Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall’esecuzione delle attività**

I principali risultati utili alla collettività degli utenti del sistema elettrico nazionale saranno i seguenti:

- l’esplorazione di metodi innovativi e più efficienti per la cattura della CO<sub>2</sub>, caratterizzati da minore impatto ambientale e/o minori penalizzazioni energetiche;
- lo sviluppo di tecnologie per un uso alternativo del carbone, finalizzate alla produzione di combustibili alternativi sia liquidi che gassosi (SNG) o di *chemicals*;
- l’acquisizione di dati utili ad una valutazione economica puntuale relativa agli effetti negativi della penalizzazione energetica e di costo introdotta da tali tecnologie e costruzione di indici di valutazione;
- lo sviluppo di tecnologie che rendano possibile l’uso di combustibili attualmente solo in minima parte utilizzabili, quali in particolare carboni di basso rango, come quello del Sulcis;
- la messa a punto di tecnologie di progettazione e di dispositivi (reattori, bruciatori, ecc.) per un uso efficiente e sostenibile dei combustibili fossili, tesi a incrementare, in maniera significativa, la flessibilità di carico e di combustibile;
- lo sviluppo e la validazione di metodi alternativi allo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub>, caratterizzati dal suo ri-uso, e orientati a considerare la stessa come un’opportunità e non come problema;
- la dimostrazione che è possibile garantire che la CO<sub>2</sub> possa essere geologicamente confinata in sicurezza e per lunghissimi periodi, a fronte di rigorosi studi di caratterizzazione del sito, e sulla base di un monitoraggio continuo dello stato pre e post-iniezione.
- la realizzazione, presso il bacino minerario del Sulcis, di strutture sperimentali per un centro di eccellenza, di valenza internazionale, sulle tecnologie del confinamento geologico della CO<sub>2</sub> e più in generale dell’uso sostenibile dei combustibili fossili.

Il Progetto si articola in due parti:

- una prima parte (Parte A), che ha come organo esecutore ENEA , il cui ammontare economico è pari a 0,5 milioni di euro;
- una seconda parte (Parte B), con organo esecutore il Polo Tecnologico per il Carbone Pulito , per un ammontare economico complessivo pari a 3 milioni di euro, tutto relativo ad attività inerenti la cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> di interesse strategico per il Polo, secondo quanto stabilito nel “Protocollo Sulcis”.

Questa seconda parte è a sua volta suddivisa in Parte B1, il cui organo esecutore è SOTACARBO, e in Parte B2, organo esecutore ENEA.

Il Progetto, pur nella sua complessa articolazione, è caratterizzato dalla profonda integrazione di diverse tecnologie e dalla condivisione degli obiettivi finali.

## PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

### Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2013

#### PARTE A: ATTIVITÀ ENEA

##### **a. Tecnologie innovative per la cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi**

Come è noto, l'approccio pre-combustione prevede la decarbonizzazione del processo, a monte della fase di combustione, agendo sul syngas prodotto attraverso un processo di gassificazione. Il syngas è costituito da una miscela di idrogeno, monossido di carbonio, vapore acqueo e anidride carbonica e deve essere arricchito in CO<sub>2</sub> attraverso il ricorso a reattori che incrementano la produzione di idrogeno e al tempo stesso convertono il monossido di carbonio in CO<sub>2</sub>, ottenendo così una corrente gassosa costituita prevalentemente da H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

Vengono qui affrontate un paio di tecnologie estremamente innovative, trattate in altrettanti task, relative a:

- qualificazione sperimentale di un innovativo ciclo di de-carbonatazione e clean-up del syngas (da zolfo e tar), basato sull'uso di sorbenti solidi ad alta temperatura (ciclo ZECOMIX ad alto rendimento). caratterizzazione dei sorbenti e della loro capacità di rigenerazione al fine di massimizzare il numero di cicli. Test su scala pilota del complesso ciclo integrato ad alta efficienza, dalla gassificazione alla produzione di energia elettrica e al parallelo sequestro della CO<sub>2</sub> per la sua definitiva rimozione;
- sviluppo di tecnologie avanzate di gassificazione/pirolisi. Sperimentazione su scala pilota di processi innovativi di gassificazione in letto fluido, di carboni ad alto contenuto di zolfo e tar. Verrà messo a punto un sistema integrato di pirolisi preventiva per la rimozione dello zolfo e del tar, e successiva gassificazione del char, da applicare a carboni di basso rango.

##### **Cattura della CO<sub>2</sub> con sorbenti solidi**

La separazione della CO<sub>2</sub> ad alta temperatura attraverso sorbenti a base di CaO (*calcium looping*) è tra le tecniche di separazione della CO<sub>2</sub> quella più economicamente sostenibile vista l'ampia disponibilità ed il basso costo di sorbenti di origine naturale a base di calcio (dolomite, calcare) e l'assenza di tossicità di questi materiali sia per l'uomo che per l'ambiente.

È opportuno sottolineare che la tecnica di assorbimento con sorbenti solidi è applicabile alla separazione della CO<sub>2</sub> dal gas combustibile (assetto pre-combustione) o dai fumi di combustione (assetto post-combustione).

##### **a.1 Sorbenti solidi avanzati per cattura della CO<sub>2</sub> ad alta temperatura**

In merito ai contenuti del task, è possibile individuare due filoni di attività (sub-task).

###### **a.1.1 Messa a punto del sorbente in laboratorio**

Oltre ai materiali sorbenti di origine naturale, si stanno studiando materiali sintetici, sempre a base di CaO, che risultino essere più resistenti e stabili in operazioni che prevedono un certo numero di cicli di separazione della CO<sub>2</sub> (cattura/rigenerazione).

Sulla piattaforma ZECOMIX di ENEA (l'attività è descritta nel sub-task successivo) è prevista l'implementazione di un processo per la produzione di H<sub>2</sub> da metano in 'single step' attraverso la tecnologia SESMR (Sorption Enhanced Steam Methane Reforming). Il processo ha luogo in un reattore a letto fluidizzato, costituito da particelle di catalizzatore attivo per il reforming del metano (SMR, Steam Methane Reforming) e particelle a base di CaO per la separazione della CO<sub>2</sub> ad alta temperatura. In questo modo la cattura della CO<sub>2</sub> avrà come risultato un aumento della produzione di H<sub>2</sub> già a 650 °C.

Cuore dell'attività è lo sviluppo di un adeguato sorbente multifunzionale, composto da CaO e catalizzatore di SMR a base di nichel, supportati da alluminato di calcio ( $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ ) per aumentare la resistenza alla sinterizzazione, che, partendo dai risultati dell'ultima annualità relativi al raggiungimento dei 1000 cicli di cattura/rigenerazione, sia in grado di estendere la potenzialità di rigenerazione ma soprattutto, al contempo, in grado di integrare in un unico materiale le due funzionalità: cattura della  $\text{CO}_2$  e contemporaneo reforming del metano.

A tal fine sarà migliorata la sintesi del sorbente-catalizzatore, migliorando la distribuzione del nichel nel materiale sorbente, aumentandone inoltre la superficie specifica al fine di massimizzare l'efficienza. Il materiale verrà prodotto per impregnazione/dispersione del nichel su idoneo supporto compatibile con l'agente catalizzante. Un processo di sintesi alternativo basato sul miscelamento a secco di catalizzatori e sorbente solido della  $\text{CO}_2$  verrà proposto come alternativa al metodo di impregnazione con conseguente riduzione dei costi di produzione del materiale.

L'Università de L'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale, nell'ambito di una collaborazione, effettuerà misure di caratterizzazione del sorbente-catalizzatore (SEM, EDS, XRD analisi granulometriche) in appoggio alla sintesi dello stesso.

#### Risultati/Deliverable:

- Materiale sorbente innovativo oggetto dello sviluppo
- Report tecnici, di ENEA e dell'Università de L'Aquila, relativi ai risultati dello sviluppo del processo SESMR, del nuovo sorbente multifunzionale e ai test analitici.

Principali collaborazioni: Università de L'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Industriale

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### *a.1.2 Sperimentazione del ciclo di assorbimento sulla piattaforma ZECOMIX*

Il ciclo ZECOMIX realizza la contemporanea separazione della  $\text{CO}_2$ , con produzione di un syngas estremamente puro e ricco di idrogeno per il suo impiego ai fini della produzione di energia elettrica, o il suo eventuale accumulo.

Nella presente annualità saranno condotte nuove campagne sperimentali di gassificazione per verifica dei test precedenti, ottimizzando la produzione del syngas in vista della successiva decarbonizzazione. Sarà utilizzata dolomite calcinata come antiagglomerante e per realizzare la de-solfurazione in-situ. A seguito di ciò il syngas risulterà privo di tar, per l'azione catalizzante dell'olivina, e privo di composti solforati.

Sarà predisposto l'impianto, in particolare la sezione di cattura, per testare un processo di separazione dell'anidride carbonica, con simultanea conversione del monossido di carbonio in  $\text{CO}_2$  (reazione di CO shift), al fine di ottenere una corrente estremamente concentrata in idrogeno. A tal fine saranno utilizzati catalizzatori basati su ossidi di Ferro su Allumina per favorire la reazione di CO shift nel carbonatore.

A livello impiantistico, sono previsti interventi di miglioramento della piattaforma, consistenti principalmente nella revisione del piatto distributore del carbonatore, e nel sistema di produzione e alimentazione acqua demineralizzata.

Sarà realizzato il collegamento della  $\mu\text{TG}$  T100 e curata la sua integrazione alla piattaforma sperimentale. Tale intervento prevede, dal punto di vista impiantistico, la realizzazione del quadro elettrico di alimentazione e dello scarico dei fumi.

L'Università de L'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale, nell'ambito di una collaborazione, parteciperà alla sperimentazione e parallelamente svilupperà un modello dinamico del gassificatore, al fine di prevedere la composizione del gas prodotto e la temperatura del letto fluido.

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dei test sperimentali di gassificazione e carbonatazione effettuati sulla piattaforma ZECOMIX
- Report descrittivo degli interventi impiantistici sulla piattaforma ZECOMIX

- Report descrittivo degli interventi connessi alla integrazione della  $\mu$ TG T100 alla piattaforma ZECOMIX;
- Report descrittivo dell'attività di ricerca condotta dall'Università de L'Aquila

Principali collaborazioni: Università de L'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Industriale

Durata: settembre 2013 - ottobre 2014

### **Nuovi processi di gassificazione**

Una possibile via per lo sfruttamento di carboni di basso rango è quella di realizzare un processo di pirolisi del combustibile separata dalla fase di gassificazione di un char residuo di qualità, prodotto dalla pirolisi.

#### **a.2 Ciclo pirolisi e gassificazione**

La piattaforma ENEA, denominata VAL.CH.I.RI.A (VALorizzazione CHar, Impianto Ricerche Avanzate), nasce come facility sperimentale per lo studio di tale ciclo integrato. Il processo consiste in una prima fase di produzione del syngas basato su devolatilizzazione/pirolisi del carbone, abbattimento del tar (mediante craking termico e catalitico) e dello zolfo. Ciò determina la produzione di un char di qualità per la successiva gassificazione.

Nel corso dell'anno, a cura di ENEA, viene resa operativa la piattaforma VALCHIRIA. Viene effettuata la caratterizzazione sperimentale completa dell'impianto, e vengono condotte prime prove di pirolisi, utilizzando carboni commerciali. In questa prima fase, fondamentale è l'acquisizione di know-how nell'esercizio di un ciclo mai realizzato.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo sulle prove effettuate sulla piattaforma VALCHIRIA.

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

### **b. Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di combustione**

Con riferimento alla cattura in pre-combustione e in ossi-combustione, è opportuno sottolineare come un ruolo estremamente significativo sia giocato dall'ottimizzazione del processo di combustione, nel primo caso di syngas molto ricchi di idrogeno in turbo-gas, nel secondo caso in relazione all'impiego di ossigeno puro in luogo di aria come comburente. I seguenti Task, interamente a carico ENEA, affrontano da un lato lo sviluppo di un potente strumento di calcolo per la progettazione/valutazione di componenti, dall'altro interventi concreti atti a ampliare il range di combustibili compatibili con i sistemi turbogas attuali, azione che va sotto il nome di "fuel flexibility", e al contempo ampliare il range operativo dei sistemi in relazione alle variazioni anche ingenti del carico, intervento che va abitualmente sotto il nome di "load flexibility".

#### **b.1 Metodologie numeriche avanzate per la simulazione dei processi di combustione e la progettazione di componenti**

Il proposito di operare perché risultino disponibili strumenti di calcolo avanzato, in grado di affrontare la modellazione e simulazione di processi reattivi complessi, rappresenta una sfida indiscutibilmente ambiziosa, a cui ENEA da diversi anni, in collaborazione con alcuni partner universitari nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, sta lavorando con risultati oggi molto incoraggianti.

D'altra parte strumenti di tale natura risultano elementi insostituibili e decisivi per la progettazione e per l'interpretazione di fenomenologie quali la combustione premiscelata, distribuita o MILD, in combustione di tipo omogenea o eterogenea, in geometrie molto articolate legate ai sistemi reali, e con la necessità di cogliere compiutamente la dinamicità dei fenomeni legata anche ad aspetti di cinetica chimica delle reazioni. Mediante tali strumenti è possibile ridurre drasticamente il numero di sperimentazioni a supporto e quindi i costi della fase di progettazione. Essi inoltre vengono a costituire uno strumento formidabile per

valutare gli effetti di modifiche, upgrade, e qualunque tipo di variazione venga introdotta in processi già consolidati.

Va peraltro sottolineato come, con riferimento alla cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione e in ossi-combustione, un ruolo estremamente significativo sia giocato dall'ottimizzazione del processo di combustione, nel primo caso di syngas molto ricchi di idrogeno in turbo-gas, nel secondo caso in relazione all'impiego di ossigeno puro in luogo di aria come comburente.

Nell'annualità sono previste le seguenti azioni.

#### *b.1.1 Validazione di un modello di sottogriglia LTSM*

Validazione di un modello di sottogriglia LTSM (Localized Turbulent Scale Model) per Large Eddy Simulation. Tale modello ha l'obiettivo di descrivere l'interazione tra turbolenza e combustione nelle fiamme premiscelate. E' stato sviluppato e implementato nel codice HearT da ENEA nel corso della precedente annualità, ma le attività di validazione non sono state terminate.

Per la sua validazione, data l'indisponibilità di casi sperimentali di letteratura soddisfacenti, viene appositamente sviluppato un Test Case di riferimento. Si tratta di un esperimento numerico (DNS), condotto da ENEA, relativo ad una fiamma premiscelata (configurazione "slot burner") di metano, idrogeno (80/20 % in volume) ed aria, con un rapporto di equivalenza 0,7.

Questa simulazione diretta rappresenta, per quanto premesso, una novità, ed un futuro caso di riferimento per la letteratura, relativamente a fiamme di metano arricchite in idrogeno.

A valle di tale simulazione DNS, la stessa fiamma verrà simulata con tecnica LES per validare il modello LTSM con i dati della DNS.

#### Risultati/Deliverable:

- Test-case DNS di fiamma premiscelata di metano e idrogeno (80/20% in volume) in aria, con un rapporto di equivalenza 0,7
- Report descrittivo del lavoro svolto e della validazione effettuata

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### *b.1.2 Simulazione di un bruciatore caratterizzato da instabilità termoacustiche per la validazione dei modelli.*

Simulazione del bruciatore DLR (Deutsches zentrum fur Luft- und Raumfahrt) studiato sperimentalmente nel progetto Europeo "PRECCINSTA". Si tratta di un bruciatore premiscelato e *swirlato* metano-aria, con rapporto di equivalenza 0,7, caratterizzato da instabilità termoacustiche. Rappresenta un serio test per la validazione dei modelli predittivi di fenomeni di instabilità. Verrà simulata l'intera geometria del bruciatore, con relativo plenum e palettature, la camera di combustione, il camino e parte dell'aria ambiente. Le attività di modellazione della parte solida del combustore e di generazione della griglia di calcolo sono state concluse nella precedente annualità. La simulazione LES sarà condotta nel PAR corrente.

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività di simulazione svolta

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### *b.1.3 Sviluppo di un solutore "multi-zona"*

Sviluppo di un solutore "multi-zona", cioè di un solutore che consenta la divisione del dominio di calcolo in più zone caratterizzate da forti variazioni della risoluzione spaziale. Sarà anche perfezionata e testata nuovamente la tecnica "multi-livello", oggetto delle precedenti annualità. Tale attività verrà condotta in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale dell'Università di Roma 'Sapienza'.

Risultati/Deliverable:

- Solutore "multi-zona"
- Report descrittivo dell'attività relativa allo sviluppo del solutore "multi-zona"

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Roma "Sapienza" - Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.1.4 Implementazione delle proprietà molecolari di gas in condizioni supercritiche**

Implementazione delle proprietà molecolari di gas in condizioni supercritiche nel codice HearT, per rendere lo stesso idoneo alla simulazione di processi combustivi con fluidi supercritici (es. ossi-combustione di gas naturale in cicli turbogas avanzati a CO<sub>2</sub> supercritica). Tale attività è svolta in collaborazione con il DIMA dell'Università di Roma "Sapienza", in particolare l'implementazione delle proprietà di trasporto di gas in condizioni supercritiche con la relativa equazione di stato verrà svolta da ENEA, mentre il DIMA provvederà a validare l'implementazione simulando un caso non reattivo di letteratura relativo al mescolamento di due gas (metano ed ossigeno) in condizioni supercritiche

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo del lavoro di implementazione su codice HearT svolto

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Roma "Sapienza" - Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale (DIMA)

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.2 Simulazioni CFD con metodi RANS**

Sono inoltre previste simulazioni di tipo Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS, mediate nel tempo) con codice ANSYS-FLUENT per lo studio di combustori, convenzionali e di nuova concezione, in regime di ossi-combustione, e studi relativi a combustori con miscele di syngas.

Nell'annualità sono previste le seguenti azioni, interamente a carico ENEA.

**b.2.1 Bruciatore Trapped Vortex in ossi-combustione**

Si affronterà lo studio del bruciatore TVC installato sull'impianto MICOS in condizioni di ossi-combustione. Da alcuni studi sperimentali riportati in letteratura si vede che, al fine di ottenere una combustione stabile, è necessario avere un tenore minimo di O<sub>2</sub> al di sotto del quale la fiamma tende ad estinguersi, anche a causa della maggiore capacità termica della CO<sub>2</sub> rispetto all'aria. Dal alcune analisi preliminari si è potuto osservare che il forte ricircolo di gas combustivi indotto nel sistema in oggetto è capace di stabilizzare la fiamma anche in condizioni di tenore di ossigeno più basso. In più, la possibilità di diluire in partenza l'ossigeno nella CO<sub>2</sub>, associata al ricircolo interno dei gas combustivi, il che ne comporta un'ulteriore diluizione, costituisce una condizione ottimale all'instaurarsi del regime di combustione MILD, con tutti i vantaggi che ne conseguono.

Verrà pertanto affinato lo studio del processo, mediante simulazioni CFD RANS di tipo parametrico rispetto alla composizione della miscela comburente, della temperatura di preriscaldamento e della pressione.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo delle simulazioni svolte

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

**b.2.2 Bruciatori per turbina a gas alimentati a CO<sub>2</sub>**

Nel caso di impianto funzionante in regime di ossi-combustione con cattura della CO<sub>2</sub>, il bruciatore può essere concepito come un sistema indipendente rispetto ai tradizionali combustori per turbogas, montati

coassialmente all'asse della macchina e funzionanti con miscele combustibile/aria. Infatti la disponibilità dei gas componenti la miscela già in pressione (ossigeno e combustibile), rende non più necessaria la presenza di un compressore montato a monte della camera di combustione. Tutto questo offre maggiori gradi di libertà nella progettazione e nelle modalità operative.

Verrà effettuata una serie di simulazioni di un bruciatore tubolare alimentato a CH<sub>4</sub>, premiscelato in condizioni di ossi-combustione, con rapporto di equivalenza vicino al rapporto stechiometrico, in modo tale da ridurre al minimo l'ossigeno residuo che altrimenti costituirebbe una perdita energetica. In tale situazione le temperature di fiamma elevate, saranno moderate mediante diluizione con CO<sub>2</sub>.

Questa attività è prosecuzione di quella già impostata nel PAR 2012, con l'effettuazione di una prima serie di simulazioni.

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo delle simulazioni svolte

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

### ***b.3 Sviluppo, progettazione e test di bruciatori avanzati per turbine a gas***

Negli ultimi anni si è assistito ad un notevole incremento degli investimenti nei sistemi di generazione elettrica da fonte rinnovabile, con un trend in continua crescita incoraggiato dalla normativa nazionale e comunitaria. Gli obiettivi raggiunti in questo senso, per quanto auspicabili, non sono privi di effetti negativi, dovuti essenzialmente alla scarsa pianificabilità di alcune fonti rinnovabili che ha introdotto nuove criticità nella gestione della rete elettrica. D'altra parte, nel medio/lungo termine la generazione elettrica da fonte fossile continuerà a rappresentare un contributo importante che, tuttavia, già nello scenario attuale deve adattarsi ad una situazione in cui aumenta il grado di flessibilità richiesto e diminuisce il fattore di utilizzo. Entrambi gli elementi appena citati, hanno effetto compressivo rispetto agli utili economici attesi dalla gestione dell'impianto termo-elettrico, sia per gli extra costi dovuti alla maggior frequenza degli interventi di manutenzione, sia per la flessione del volume di produzione. Gli investimenti sul parco termoelettrico effettuati negli ultimi anni, hanno molto privilegiato i cicli combinati, la tecnologia attuale che assicura le maggiori prestazioni in termini di rendimento termodinamico e di ritorno dell'investimento. Tuttavia, anche questo tipo di impianti subisce forti penalizzazioni, dovute, per un verso, alla difficoltà di adattarsi alle esigenze di flessibilità richieste da un mercato elettrico che privilegia le rinnovabili in termini di dispacciamento, per l'altro, alla situazione di over-capacity derivata dalla massiccia crescita del volume di produzione delle rinnovabili a cui si è assistito negli ultimi anni. Lo scenario attuale presenta quindi delle criticità non banali in termini di integrazione economicamente sostenibile della produzione "tradizionale" con le fonti rinnovabili.

La "Technology Roadmap" del SET-Plan, fornisce indicazioni chiare sull'orientamento delle politiche comunitarie sul fronte energetico: 35% di energia prodotta da fonte eolica e solare nel 2020; 100% di energia elettrica de-carbonizzata nel 2050. Questo implica, primo: l'incremento nella produzione da fonte rinnovabile non pianificabile non si arresterà; secondo: la produzione da fonte fossile dovrà adattarsi all'esercizio flessibile e ridurre le emissioni al minimo; terzo: la fonte fossile e la fonte rinnovabile dovranno operare in maniera sinergica per rendere il sistema di dispacciamento stabile e sicuro.

Tutto ciò premesso, il Task, interamente a carico di ENEA, si articola in due Sub-Task relativi a:

- Modifica di bruciatori tradizionali per turbine a gas, attraverso interventi di ottimizzazione
- Sviluppo di bruciatori di nuova generazione, denominati Trapped Vortex

#### ***b.3.1 Interventi di ottimizzazione apportati a bruciatori convenzionali di turbo-gas per ampliare la "load-flexibility"***

Nell'ambito del sub-task sarà effettuato lo sviluppo concettuale di un nuovo bruciatore ibrido di tipo trapped vortex per turbina a gas, basato sulla generazione di una zona di ricircolo periferica per l'ancoraggio della fiamma.

Tale bruciatore ha l'ambizioso obiettivo di rappresentare una soluzione "Plug & Play" per l'integrazione nel complesso sistema di combustione di turbine a gas di potenza "heavy duty", di tipo commerciale. Attraverso tale dispositivo potrà essere realizzato un sistema turbo-gas caratterizzato da elevatissima "load-flexibility", idoneo all'integrazione in un rete caratterizzata da una forte componente energetica da fonti rinnovabili.

Il bruciatore, progettato nel corso del PAR 2013, e validato attraverso simulazioni RANS, sarà realizzato nel successivo PAR.

Risultati/Deliverable:

- Progetto del bruciatore ibrido per turbogas ad elevata "load-flexibility"
- Report descrittivo del lavoro svolto

Principali collaborazioni: Università degli Studi Roma TRE - Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

**b.3.2 Caratterizzazione sperimentale di un bruciatore "Trapped Vortex"**

Prosegue l'attività di ottimizzazione del bruciatore Trapped Vortex (ETVB-mod.1, acronimo di ENEA Trapped Vortex Burner) progettato e realizzato durante i precedenti PAR. La tecnologia Trapped Vortex è in grado di realizzare condizioni di combustione MILD, particolarmente indicate per la combustione di gas naturale e di syngas ricchi di idrogeno (assenza del fronte di fiamma, basse emissioni, alta stabilità), combustibili tipicamente di opportunità o prodotti dalla gassificazione del carbone e successivi processi di arricchimento. Il nuovo bruciatore è caratterizzato da una geometria innovativa, ove l'articolato sistema di alimentazione aria/gas permette di realizzare un dominio regolare di combustione, caratterizzato dal forte ricircolo di prodotti di reazione con effetto di diluizione dei reagenti freschi, che determina riduzione della temperatura adiabatica di combustione e conseguente minimizzazione delle emissioni di NOx

Il Sub-Task prevede un'ampia campagna sperimentale condotta sul nuovo bruciatore, installato sull'impianto MICOS di ENEA, attraverso l'uso di trasduttori di pressione e sensori ottici ODC, sviluppati da ENEA, e per l'occasione innovati (versione "ODC-U": ODC-Upgrade) ampliando grandemente lo spettro di sensibilità, il guadagno di amplificazione e la capacità di trasmissione del segnale utile. La sperimentazione sarà volta alla caratterizzazione del funzionamento stabile del bruciatore in oggetto. Sui segnali acquisiti, ENEA applicherà tutte le analisi di tipo convenzionale, mentre l'Università degli Studi Roma TRE, Dipartimento di Ingegneria, applicherà tecniche *wavelet*, considerate le tecniche più indicate all'analisi di segnali in evoluzione, e quindi particolarmente idonee alla individuazione di precursori di instabilità.

Un aspetto rilevante della ricerca sarà rappresentato dalla generazione di "Indici di instabilità" che prescindano dalla tipologia di bruciatore .

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività sperimentale svolta

Principali collaborazioni: Università degli Studi Roma TRE - Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**c. Cicli a CO<sub>2</sub>**

L'attività, interamente a carico ENEA, ha l'ambizioso obiettivo finale di sviluppare un ciclo Brayton-Joule in configurazione semichiusa che utilizza CO<sub>2</sub> supercritica (S-CO<sub>2</sub>) come fluido di lavoro (oltre 31°C e 7,3 MPa), alimentato mediante ossi-combustione di metano. Le ragioni che giustificano il crescente interesse riguardo a questa tecnologia sono molteplici:

- fluido di lavoro non tossico, abbondante ed a basso costo;
- efficienza di ciclo potenzialmente oltre il 50%;

- ingombri fino a 100 volte inferiori rispetto alle tradizionali turbomacchine di pari potenza, a causa dell'alta densità del fluido di lavoro;
- cattura della CO<sub>2</sub> prodotta in condizioni di pressione e purezza "pipeline ready" per lo stoccaggio o l'utilizzo nelle tecnologie "Enhanced Oil Recovery" (EOR), senza la necessità di utilizzare facilities specifiche per la cattura e la compressione.

Lo stato dell'arte attuale annovera diverse attività sperimentali concentrate essenzialmente negli USA ed in Giappone che hanno condotto alla realizzazione di alcuni prototipi, mentre a livello europeo la tecnologia è seguita con un certo interesse da diversi gruppi di ricerca dislocati principalmente in Spagna, nel Regno Unito ed in Germania.

Il primo step di questo programma prevede una serie di esperienze esplorative effettuate, in condizioni sub-critiche, con l'ausilio dell'impianto sperimentale AGATUR. Si prevede di utilizzare la micro-turbina dell'impianto per realizzare un ciclo turbogas "capture ready" alimentato a gas naturale, mediante ossi-combustione in atmosfera sintetica CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. L'idea è infatti quella di esercire la microturbina con un fluido di lavoro composto principalmente da anidride carbonica ed ossigeno comburente, ed effettuare la cattura della CO<sub>2</sub> generata per semplice spillamento e condensazione del vapore di combustione, senza la necessità di agenti chimici ed infrastrutture impiantistiche dedicate. Ciò avverrà riutilizzando i gas di scarico della stessa microturbina, i quali verranno raffreddati mediante scambiatore di calore e avviati verso il vessel con l'ausilio di un estrattore. La pressione del vessel sarà mantenuta ad un valore leggermente superiore alla pressione ambiente, controllandola mediante valvola di sfioro verso l'atmosfera. La microturbina, connessa al vessel dal lato aspirazione, lavorerà con una miscela gassosa che, con l'avanzare del processo, sarà sempre più concentrata in CO<sub>2</sub> fino al raggiungimento della condizione limite. Tale condizione coincide con la completa sostituzione del fluido di lavoro iniziale con un'atmosfera sintetica formata da anidride carbonica ed ossigeno. Un approccio di questo tipo, supportato da una serie sistematica di test sperimentali, consente di identificare singolarmente i limiti del processo e, di conseguenza, di istruire le procedure per la gestione ed il controllo dello stesso. Nell'ultima annualità è stata messa in linea, sull'impianto sperimentale AGATUR, una micro turbina TURBEC T100, realizzato un modello dinamico della micro turbina, ed effettuate prime simulazioni della camera di combustione alimentata a CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>. Nell'annualità corrente saranno completati importanti interventi sull'impianto relativi a: adeguamenti del piping, coibentazione, realizzazione di dodici nuovi supporti per tubazioni e componenti (alla luce della stress-analysis condotta) e inserimento di sedici soffiotti dilatatori.

Nel corso della presente annualità (PAR 2013), saranno effettuate valutazioni del ciclo turbogas sub-critico semichiuso che si intende realizzare, mediante simulazioni dinamiche a carattere previsionale effettuate con il codice ChemCad.

Il modello dinamico della T100 già realizzato nella precedente annualità, verrà validato con i dati di funzionamento acquisiti dall'esercizio sperimentale della microturbina. Effettuata la validazione il modello verrà utilizzato per valutare il comportamento della macchina con un fluido di lavoro a composizione variabile che, dopo lo start-up con aria ambiente, verrà progressivamente arricchito in CO<sub>2</sub>. Queste simulazioni daranno una prima indicazione del regime di funzionamento della  $\mu$ TG, con particolare riferimento all'evoluzione delle grandezze di controllo caratteristiche (RPM e TOT) al variare della composizione del fluido aspirato dal compressore. Il risultato atteso è la definizione di un dominio di funzionamento stabile della microturbina con tenore crescente di CO<sub>2</sub> nel fluido di lavoro.

Saranno infine effettuate valutazioni in merito alle prestazioni di un ciclo Bryton-Joule in configurazione semichiusa, che usi S-CO<sub>2</sub> come fluido di lavoro alimentato mediante ossi-combustione di metano.

A partire dal PAR 2014, verrà concluso l'allestimento della Piattaforma AGATUR con l'inserimento di uno scambiatore di calore (CO<sub>2</sub> + vapore) sugli esausti della micro-turbina e la messa a punto del sistema di controllo. Seguirà una prima serie di esperienze di combustione di gas naturale in atmosfera formata da aria e CO<sub>2</sub> in concentrazioni progressivamente crescenti, con l'obiettivo di identificare i limiti di funzionamento della micro-turbina senza l'ausilio dell'ossigeno tecnico. A tali esperienze seguirà una seconda fase che prevede il test del solo combustore della micro-turbina, installato in un banco prova che verrà appositamente predisposto al fine di determinarne il range operativo con la nuova miscela CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>, in condizioni di pressione e temperatura compatibili con la micro-turbina. Da questa attività

sperimentale complessiva ci si attende la definizione del campo di funzionamento stabile del combustore esercito in modalità CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>. I dati sperimentali ottenuti saranno inoltre utili al perfezionamento ed alla validazione dei modelli CFD già impostati nel PAR 2012.

Risultati/Deliverable:

- Report sulle simulazioni di ciclo effettuate e sulle valutazioni di performances

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**Tecnologie per la rimozione permanente della CO<sub>2</sub>**

Il successo delle tecnologie CCUS, quale strumento per la lotta al cambiamento climatico, dipende in maniera decisiva, oltreché dalla tecnologia impiantistica di cattura, dalla capacità di rimuovere in maniera permanente la CO<sub>2</sub> catturata.

La soluzione tradizionalmente considerata, e sulla quale si concentrano i maggiori sforzi internazionali, è rappresentata dal suo sequestro geologico.

In un'ottica se non alternativa, perlomeno di integrazione con lo "storage", si pone l'ipotesi dell'**utilizzo** della CO<sub>2</sub>.

Negli ultimi anni sono andate affermandosi, al livello di ricerca, tecnologie innovative relative al riutilizzo della CO<sub>2</sub> prodotta o al suo sequestro chimico. Il tema si pone quindi l'obiettivo di valutare i limiti di tali tecnologie e le condizioni che le rendono convenienti.

In particolare, la CO<sub>2</sub> derivante da impianti di potenza o da processi industriali particolarmente energivori (cementifici, acciaierie, ...) può essere impiegata per la sintesi di prodotti chimici di base, di polimeri, e in particolare di combustibili (metano, DME, metanolo, ...). Dal punto di vista quantitativo, l'applicazione più rilevante è certamente la sintesi dei combustibili poiché sono questi i prodotti che hanno un mercato più vasto e perché rappresentano un modo di stoccare chimicamente l'energia prodotta da fonti rinnovabili o di accumulare l'energia prodotta nei periodi di minore richiesta, la sintesi di combustibili, infatti, richiede la riduzione della CO<sub>2</sub> con H<sub>2</sub> che a sua volta può essere ottenuto dall'acqua per elettrolisi alimentata da fonte rinnovabile.

**d. Utilizzo della CO<sub>2</sub> per produzione di combustibili**

L'anidride carbonica è probabilmente l'unico prodotto rinnovabile a disposizione in quantità illimitata e a bassissimo costo: la sua cattura da sistemi industriali stazionari per trasformarla in prodotti utili (la cosiddetta tecnologia CCU) è una delle sfide più impegnative dal punto di vista scientifico e tecnologico.

In questo ambito, il task prevede il completamento del loop dimostrativo FENICE, realizzato nel corso del PAR 2012 per la sintesi di metano da CO<sub>2</sub>, collegando il dissociatore elettrolitico, potenzialmente alimentato da un'unità fotovoltaica. Viene poi condotto il primo esercizio sperimentale, volto a validare i risultati già ottenuti in laboratorio. Oltre a misurare l'efficienza del processo, sarà valutato l'effetto della pressione sullo stesso.

Con riferimento alla sintesi di altri combustibili, nella fattispecie metanolo e DME, verrà selezionato il catalizzatore opportuno. Successivamente (PAR 2014) verrà individuata la procedura di sintesi in laboratorio, ed effettuata la relativa caratterizzazione.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività sperimentale svolta

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **PARTE B: ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO PER IL CARBONE PULITO**

### **Parte B1: Attività Sotacarbo**

#### **a. Cattura della CO<sub>2</sub> in post e pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi**

L'obiettivo riguarda la messa a punto di tecnologie per la decarbonizzazione del combustibile, a monte della fase di combustione, e non già sui prodotti della combustione.

Nel dettaglio l'Obiettivo prevede l'approfondimento, in Task distinti, di processi di gassificazione e co-gassificazione avanzati, finalizzati alla produzione di energia elettrica, con particolare riferimento allo sviluppo di sistemi di misura/controllo e di componenti innovativi che assicurino un funzionamento stabile e continuo dei dispositivi, nonché l'ottimizzazione energetica del processo di cattura, operata sul syngas, con solventi.

Verranno inoltre affidati all'Università di Cagliari studi sulla possibile integrazione di impianti a concentrazione solare con centrali ultrasupercritiche a combustibili fossili con separazione (post-combustione) e confinamento della CO<sub>2</sub>. In particolare il campo solare può produrre vapore saturo a bassa pressione per la rigenerazione del solvente del sistema CCS oppure vapore saturo o surriscaldato a media pressione da alimentare al ciclo. Per le due soluzioni si calcola l'aumento di produzione annua di energia e di rendimento dell'impianto dovuta al contributo del solare in funzione delle dimensioni del campo solare e dell'efficienza di rimozione della CO<sub>2</sub>. Si prevede anche un'analisi economica per valutare il costo marginale dell'energia prodotta dal campo solare.

#### **Gassificazione del carbone e cattura con solventi**

E' prevista la prosecuzione delle attività sperimentali avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas con ammine. Le attività saranno prevalentemente svolte presso la "**Piattaforma Pilota**" Sotacarbo e in laboratorio, nonché presso l'impianto GESSYCA di ENEA, come attività di supporto alle prime descritte, nel task a.1 delle attività del Polo Tecnologico - Parte B2, a responsabilità ENEA.

In particolare, l'attività si articola nei seguenti Task.

#### **a.1 Test di gassificazione presso la piattaforma pilota Sotacarbo**

L'attività sperimentale di gassificazione sarà condotta presso il gassificatore pilota in letto fisso up-draft della piattaforma sperimentale di Sotacarbo. L'impianto verrà equipaggiato di nuova strumentazione per migliorare il monitoraggio del processo e semplificare l'acquisizione dei dati sperimentali. Verranno migliorate in particolare le sezioni di scarico solventi (guardie idrauliche), di campionamento e di scarico ceneri. Verranno testate differenti tipologie di carbone, biomasse (cippato di legno) e loro miscele. Verranno analizzati ed elaborati i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test, al fine di valutare le prestazioni del processo di gassificazione, la reattività dei vari combustibili e la qualità del syngas prodotto.

Il monitoraggio delle temperature sarà a cura di ENEA, e sarà condotto attraverso la strumentazione del mantello e della griglia.

E' prevista una significativa partecipazione di personale ENEA (tecnici e ricercatori) alla pianificazione e conduzione delle esperienze (rif. Task a.1 delle attività del Polo Tecnologico - Parte B2, a responsabilità ENEA).

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dei principali risultati raggiunti in merito alla "Sperimentazione dei processi di gassificazione c/o impianto pilota"

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **a.2 Test di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas presso impianto Pilota di Sotacarbo**

L'attività sperimentale di assorbimento della CO<sub>2</sub> dal syngas con solventi liquidi a base di ammine, condotta presso l'**impianto Pilota** della piattaforma sperimentale di Sotacarbo, prevede in primo luogo modifiche impiantistiche e integrazione della strumentazione. Le sezioni di assorbimento della CO<sub>2</sub> e di rigenerazione dei solventi verranno opportunamente modificate ed equipaggiate con nuova strumentazione per migliorare la flessibilità impiantistica e il monitoraggio del processo (con la possibilità di verificare la densità on line).

Verranno successivamente effettuati test sperimentali in differenti condizioni operative e con l'impiego di differenti solventi. Verranno infine analizzati ed elaborati i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test al fine di valutare le prestazioni dei processi di assorbimento della CO<sub>2</sub> e di rigenerazione dei solventi.

E' prevista una significativa partecipazione di personale ENEA (tecnici e ricercatori) alla pianificazione e conduzione delle esperienze (rif. Task a.1 delle attività del Polo Tecnologico - Parte B2, a responsabilità ENEA)

### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dei principali risultati raggiunti in merito ai "Test di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas presso impianto pilota"

Durata: ottobre 2013- settembre 2014

## **Co-gassificazione di carbone e biomasse**

L'attività riguarda l'adattamento dell'**impianto "Dimostrativo"** di gassificazione, già presente presso il Centro Ricerche Sotacarbo, per l'effettuazione di test di co-gassificazione di carbone e biomasse da filiera corta (come il cippato), con produzione di un syngas da impiegarsi per la generazione elettrica.

L'obiettivo consiste nel modificare l'attuale impianto dimostrativo (che comprende un gassificatore a letto fisso up-draft da 5MWt), al fine di renderlo adatto al funzionamento in continuo per la produzione di generazione elettrica da biomasse (cippato di legno) miscelate con carbone. In particolare, l'impianto necessita della modifica della griglia di supporto del letto combustibile e dell'adeguamento della strumentazione al fine di consentire i primi test sperimentali. Saranno successivamente effettuate tutte le modifiche necessarie al funzionamento in continuo dell'apparecchiatura e alla produzione di energia elettrica da immettere in rete.

In particolare l'analisi degli interventi di modifica dell'Impianto "Dimostrativo" di gassificazione riguarderà:

- individuazione e analisi degli interventi necessari per la gestione sperimentale dell'impianto in modo discontinuo. Verranno studiati nel dettaglio gli interventi necessari per l'effettuazione delle prime campagne sperimentali sull'impianto pilota di gassificazione, tra cui la modifica della griglia (e del relativo sistema di movimentazione) e l'adeguamento della strumentazione.
- Verranno successivamente studiati nel dettaglio gli interventi necessari per consentire l'esercizio in continuo dell'impianto di gassificazione, con alimentazione a biomasse (cippato di legno) miscelate con carbone. Tra le modifiche necessarie, particolare attenzione sarà dedicata al sistema automatico di caricamento, alla gestione del parco combustibile, al sistema di generazione elettrica e al sistema di regolazione e controllo.

Le attività si articoleranno in due task.

## **a.3 Progetto e realizzazione delle modifiche dell'Impianto Dimostrativo SOTACARBO**

Sulla base delle analisi citate verranno progettati nel dettaglio gli interventi necessari.

Con l'ausilio di società esterne, verranno progettati gli interventi di modifica della griglia di supporto del letto combustibile e del relativo sistema di movimentazione per lo scarico delle ceneri. Verrà inoltre progettato l'intero sistema integrato, comprendente la sezione di alimentazione, il sistema di generazione elettrica, le apparecchiature ausiliarie e il sistema di regolazione e controllo dell'impianto.

Saranno realizzati gli interventi di modifica citati.

E' prevista una significativa partecipazione di personale ENEA per la fase di progettazione delle modifiche da effettuare (rif. Task a2 delle attività del Polo Tecnologico – Parte B2, a responsabilità ENEA).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Progetto e realizzazione delle modifiche dell'impianto dimostrativo per la co-gassificazione di carbone e biomasse"

Durata: dicembre 2013 - Luglio 2014

**a.4 Sperimentazione presso Impianto Dimostrativo SOTACARBO**

Sulla base degli studi di processo e dell'esperienza maturata sull'esistente impianto pilota, verranno poi predisposte le procedure operative sia per la fase di sperimentazione, sia per la successiva fase di esercizio per la generazione elettrica in continuo.

Sarà quindi avviata la sperimentazione con test preliminari di co-gassificazione sull'impianto dimostrativo

E' prevista una significativa partecipazione di personale ENEA per la fase di sperimentazione preliminare (rif. Task a.2 delle attività del Polo Tecnologico – Parte B2, a responsabilità ENEA).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Sperimentazione dei processi di co-gassificazione di carbone e biomasse c/o l'impianto dimostrativo"

Durata: luglio 2014 - settembre 2014

**b. Cattura della CO<sub>2</sub> in Ossi-Combustione**

L'attività si inserisce nel Protocollo di Intesa, sottoscritto in data 2 agosto 2013 tra Regione Autonoma Sardegna (RAS) e MSE, nel quale si prevede lo sviluppo del "Polo Tecnologico per il Carbone Pulito" attraverso un programma pluriennale relativo allo sviluppo ed applicazione di tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>. Tale Protocollo prevede inoltre lo sviluppo di una tecnologia avanzata di ossi-combustione pressurizzata, con la realizzazione di un impianto pilota di potenza inferiore a 50 MWt. Le finalità del predetto Protocollo, sono state successivamente recepite in un Accordo Quadro di collaborazione tra ENEA e RAS, sottoscritto in data 20 dicembre 2013.

Il progetto esecutivo dell'impianto pilota ad ossi-combustione sarà basato su una tecnologia già testata, a livello sperimentale, in scala 5 MWt sull'impianto ISOTHERM-PWR di Gioia del Colle (BA), sviluppato e realizzato da SOFINTER SpA per la combustione di solidi e liquidi.

Con riferimento alla tecnologia prescelta, il sistema che si intende implementare nel Sulcis può essere considerato come l'unico esempio di applicazione del regime MILD alla combustione in ossigeno di carbone, tecnica che presenta significativi vantaggi, sia in termini di efficienza che di economicità, rispetto ad altre soluzioni più tradizionali.

Nel caso di un reattore ad ossi-combustione finalizzato alla cattura di CO<sub>2</sub>, le condizioni tipiche del regime MILD (cioè combustione in assenza di fronte di fiamma, ma "di volume", ottenuta diluendo fortemente il comburente con CO<sub>2</sub> inerte) sono realizzate sfruttando la ricircolazione esterna dei gas combusti.

L'ambiente di reazione che si crea è caratterizzato da un'elevata presenza di molecole triatomiche (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O), conseguente all'assenza di azoto (la cui capacità termica è sostituita dalla corrente di ricircolo dei fumi) e dall'ingresso, nel sistema, di ingenti quantità di acqua utilizzata per il trasporto del carbone e per l'atomizzazione della miscela fangosa risultante (slurry). La miscela gassosa ha per conseguenza un potere emissivo molto elevato, amplificato peraltro dalle condizioni di pressurizzazione della camera (10 bar).

Il vantaggio in termini di efficienza, rispetto alle soluzioni convenzionali di ossi-combustione proposte in altri progetti, è relativo alla possibilità di diminuire le perdite termiche in caldaia e alla capacità di recuperare calore dai fumi in pressione. Il vantaggio economico, invece, è riconducibile alla possibilità di utilizzare grazie a questa tecnologia, tipologie di carboni, più economici di quelli usuali, che attualmente non vengono impiegati nelle tradizionali caldaie, per via della bassa temperatura di fusione delle loro ceneri

che crea i ben noti problemi di slagging. Questi carboni si prestano bene all'utilizzo in questa tecnologia che prevede l'allontanamento delle ceneri allo stato fuso.

Fatte salve una serie di attività preliminari e di progettazione, svolte da SOTACARBO nel corso del l'anno 2014, e finanziate nell'ambito di altro programma di ricerca, interamente supportato dalla Regione Autonoma Sardegna, ENEA e SOTACARBO identificano una serie di azioni di ricerca a supporto della realizzazione di un impianto pilota, dimostrativo della tecnologia di ossi-combustione pressurizzata, relative allo sviluppo di sistemi diagnostici, la definizione e il trattamento degli effluenti tipici del processo, l'analisi di ciclo per l'individuazione di soluzioni impiantistiche di maggiore efficienza. Tali azioni sono descritte nei seguenti Task b1/b2 (organo esecutore SOTACARBO) e in quelli relativi all'Obiettivo b delle attività del Polo Tecnologico – Parte B2, a responsabilità ENEA, più oltre descritte.

Tra le suddette problematiche di interesse, vi sono la **caratterizzazione del coal slurry in input al reattore** (tipica problematica dell'applicazione di ossi-combustione pressurizzata), nonché **l'analisi ed il trattamento degli effluenti gassosi dal sistema "reattore"**, e, tra questi, la problematica relativa alla conversione di ossidi di zolfo in acido solforico.

In particolare, circa quest'ultimo aspetto, l'attività riguarda lo sviluppo di un sistema di conversione degli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_2$  e tracce di  $\text{SO}_3$ ) presenti negli effluenti gassosi dal reattore a ossi-combustione, che abbia il duplice vantaggio di eliminare tali composti, limitando l'impatto ambientale e rischi di corrosione, producendo al tempo stesso acido solforico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) di elevata purezza ed alto valore commerciale.

In relazione ai summenzionati temi, sono stati pertanto definiti i seguenti Task:

#### ***b.1 Caratterizzazione del "coal slurry" di alimentare del reattore. Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo da inviare alla sezione di trattamento fumi***

In questo ambito vengono effettuati i bilanci di massa preliminari sul combustore alimentato con carbone Sulcis ed individuate le principali correnti in ingresso ed in uscita fondamentali per assicurare il corretto funzionamento delle unità a valle e per caratterizzarne la qualità ambientale. Nel corso dell'annualità saranno analizzate differenti soluzioni tecnologiche, valutandone gli effettivi limiti applicativi, individuando le sole più idonee per affidabilità e precisione da acquisire o implementare nella prossima annualità. Per la caratterizzazione dello slurry di carbone sarà attivato un Contratto di Collaborazione con l'Università di Cagliari.

##### Risultati/Deliverable:

- Report tecnico relativo alla "Caratterizzazione del coal slurry, definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo"

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

#### ***b.2 Progettazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossi-combustione***

Sulla base delle considerazioni che porteranno alla realizzazione di un loop da banco ENEA, per la conversione degli ossidi di zolfo in acido solforico (rif. Task b.2 delle attività del Polo Tecnologico – Parte B2, a responsabilità ENEA), sarà progettata da SOTACARBO una sezione di recupero di piccola taglia. Questa sarà dimensionata per trattare una quota parte della portata totale di fumi in uscita dal reattore. La fase di sperimentazione relativa, una volta realizzato la sezione, sarà effettuata (nel corso della prossima annualità PAR 2014) in maniera autonoma, prima ancora della sua installazione sull'impianto pilota a ossi-combustione pressurizzata, utilizzando flussi di gas simulanti la composizione dei gas di scarico dal reattore.

##### Risultati/Deliverable:

- Report tecnico descrittivo del "Progetto di una sezione di recupero di  $\text{H}_2\text{SO}_4$ "

Durata: marzo 2014 -settembre 2014

### c. Monitoraggio e storage della CO<sub>2</sub>

Il successo delle tecnologie CCS, quale strumento per la lotta al cambiamento climatico, dipende in maniera decisiva, oltreché dalla tecnologia impiantistica di cattura, dalla capacità di rimuovere in maniera permanente la CO<sub>2</sub> catturata.

La soluzione tradizionalmente considerata è rappresentata dal suo sequestro geologico. E' indiscutibile che, al di là delle considerazioni sui costi, sull'efficienza e sull'impatto dei sistemi energetici integrati di produzione, aspetti pur fondamentali, il sequestro geologico della CO<sub>2</sub> sia vincolato, in primis, alla garanzia della gestione dei rischi ambientali nell'ottica della "public acceptance". Il monitoraggio è la chiave di volta del possibile successo. Le tecniche di monitoraggio trovano applicazione nella fase sperimentale di ricerca e caratterizzazione del sito, in quella commerciale di sfruttamento, e infine nel monitoraggio del sito una volta esaurite le capacità di storage. A questo fine grande importanza riveste l'esperienza condotta in progetti dimostrativi a livello internazionale. In quest'ottica potrà inserirsi l'iniziativa riguardante l'area del Sulcis, che ha tutti i requisiti per assicurare il successo. L'area suddetta si presta molto bene allo stoccaggio dell'anidride carbonica in quanto è una zona non sismica e presenta formazioni acquifere saline, considerate le più idonee per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>, sovrastate da strati di carbone non utilizzabili. Queste condizioni consentono di sperimentare contemporaneamente due differenti tecnologie: l'iniezione in acquiferi salini e lo stoccaggio in giacimenti non sfruttabili di carbone - ECBM: Enhanced Coal Bed Methane - con contemporanea estrazione del metano presente.

Altro elemento non trascurabile, con riferimento al bacino del Sulcis, è l'assenza di forti ostilità sociali e politiche, trattandosi di un'area che storicamente ha impostato la sua attività economica sul carbone.

Indagini svolte da istituti di ricerca italiani e da altri paesi europei, membri di CO<sub>2</sub>GeoNet (the European Network of Excellence for the Geological Storage of CO<sub>2</sub>), hanno rilevato la presenza nel Sulcis di formazioni adatte al confinamento di quantità molto significative di anidride carbonica mediante le tecniche ECBM, in cui la CO<sub>2</sub> si fissa preferenzialmente alla matrice del carbone, spostando il metano, presente), e di iniezione negli acquiferi salini.

Il progetto generale, che trova copertura finanziaria oltreché nella Ricerca di Sistema Elettrico anche in un progetto interamente finanziato dalla Regione Autonoma Sardegna, in relazione ad attività coerenti ma complementari, si pone come obiettivo il completamento della caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito di stoccaggio dell'anidride carbonica. Esso prevede indagini geofisiche e geochemiche, da superficie ed eventualmente in pozzo, per valutare le potenzialità del confinamento permanente della CO<sub>2</sub> negli strati profondi e non coltivabili del bacino carbonifero, con tecniche ECBM, e nelle sottostanti formazioni acquifere, a una profondità superiore a 1200 metri. Inoltre verrà valutata la possibilità di effettuare una iniezione sperimentale di piccole quantità di CO<sub>2</sub> (non sufficienti a rappresentare potenziali fattori di rischio ambientale, ma piuttosto significative per valutare la sicurezza di un confinamento su grossa scala). Mediante i test sperimentali di confinamento potrà essere studiato il processo di diffusione della CO<sub>2</sub> all'interno del bacino carbonifero, che da studi preliminari risulta essere particolarmente adatto a una tale tipologia di confinamento, in virtù delle sue proprietà geologiche quali, tra le altre, la non sismicità della zona, la permeabilità del materiale e la presenza di un caprock che isola di fatto il giacimento impedendo eventuali risalite di CO<sub>2</sub>.

Verrà inoltre valutata la possibilità di realizzare un laboratorio sotterraneo specializzato in studi sul confinamento geologico della CO<sub>2</sub>. La specificità del sito e l'eccellenza degli studi effettuati renderebbero tale laboratorio unico al mondo e, di conseguenza, polo di attrazione per ricercatori ed enti europei e internazionali operanti nel settore delle tecnologie CCS.

Un'attenzione particolare merita il monitoraggio. Esso è essenziale per la selezione e la predisposizione di un sito di stoccaggio geologico dell'anidride carbonica. Nella zona di Monte Ulmus, vicino all'area della concessione mineraria "Monte Sinni" del Sulcis sono necessarie rapide ed efficaci identificazioni di anomalie che possano essere attribuite a fughe dalla trappola geologica. L'insieme degli studi dovrà fornire accanto alla prospezione dei gas del suolo finalizzata alla determinazione della "baseline", una mappatura geologico-strutturale dell'area ed un data-set completo da utilizzare per confronti puntuali con le misure effettuate successivamente. Tali misure, oltre a permettere di comprendere lo stato del sistema naturale in condizioni indisturbate, permetteranno di ottenere informazioni preziosissime da utilizzare in tutte le

attività di coinvolgimento della popolazione locale. Tali studi dovranno interessare tutte le fasi del processo di stoccaggio (prima, durante e dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>). Tale data-set sarà inoltre fondamentale per il successo delle attività mirate alla "public acceptance" del processo di stoccaggio geologico.

Tutto ciò premesso, il PAR 2013 prevede la ricostruzione e riorganizzazione del materiale di informazione esistente in merito alla geochimica nell'area del bacino del Sulcis, nonché analisi geo-simiche e caratterizzazione del baseline dell'area del bacino. L'obiettivo in oggetto si articola nei seguenti tre Sub-Task.

In particolare, l'attività si articola nei seguenti tre Sub-Task:

### ***c.1 Raccolta delle informazioni, ricostruzione critica delle attività pregresse e rilievo geostrutturale***

Analisi delle informazioni sulle attività pregresse relative alla caratterizzazione di siti potenzialmente idonei allo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> nell'area del bacino del Sulcis che si concretizza nel reperimento, nella raccolta e valutazione dei materiali bibliografici (articoli scientifici, carte geologiche, rapporti tecnici, ecc.) direttamente disponibili o messi a disposizione da altri soggetti che hanno operato nel settore. L'attività di caratterizzazione dei siti potenzialmente idonei allo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub> si estrinseca nella rivalutazione e conversione dei dati acquisiti nel corso dei precedenti progetti alla luce dei risultati parziali a suo tempo ottenuti. È previsto, in quest'ambito, un contratto di collaborazione verso Carbosulcis per la condivisione delle informazioni relative ad un decennio di attività pregresse volte alla caratterizzazione geologica del bacino, ed un contratto verso Università di Roma "Sapienza" per nuove indagini geostruttrali.

#### Risultati/Deliverable:

- Report relativo alle "Raccolta delle informazioni e ricostruzione critica delle attività pregresse"

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***c.2 Procedure autorizzative, richieste concessioni per attività di ricerca e prospezione***

Verrà avviato l'espletamento delle pratiche relative all'istruttoria amministrativa e tecnica finalizzata al rilascio delle autorizzazioni di indagine e dei permessi di ricerca necessari alla operatività nella zona potenzialmente idonea allo stoccaggio della CO<sub>2</sub> del bacino del Sulcis. Verrà effettuata una ricognizione della materia normativa di interesse (nazionale e regionale) per le indagini e per la realizzazione/ esercizio dei sistemi sperimentali (monitoraggio e iniezione).

#### Risultati/Deliverable:

- Report relativo alle "Procedure autorizzative, analisi della normativa e richiesta concessioni per attività di ricerca e prospezione finalizzate alla caratterizzazione di potenziali siti per lo storage geologico della CO<sub>2</sub>"

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***c.3 Analisi geofisiche e caratterizzazione baseline dell'area del bacino del Sulcis***

In quest'ambito verrà effettuato lo studio della sismicità di fondo dell'area carbonifera del Sulcis e dell'adiacente graben del Campidano, costituendo una baseline della sismicità naturale dell'area. Tale baseline costituirà il principale riferimento per il successivo monitoraggio sismico di dettaglio dell'area oggetto del progetto di fattibilità, e in particolare del potenziale sito di stoccaggio, finalizzato a discriminare tra sismicità naturale e quella eventualmente dovuta a cause antropiche/industriali. Inoltre, lo studio della sismicità di fondo potrebbe fornire indicazioni sulla presenza di faglie attive e contribuire alla loro caratterizzazione. A tal fine sarà eseguito un esperimento di acquisizione di dati sismologici con strumentazione installata nella zona del Sulcis e in parte nel graben del Campidano. La rete temporanea di monitoraggio verrà installata per un congruo periodo di acquisizione e sarà costituita da 10 stazioni

sismiche disposte secondo una geometria a maglia, con una distanza media tra le stazioni di 10-15 km. E' previsto in quest'ambito un contratto di acquisizione di competenze e conoscenze verso INGV, in particolare per quanto riguarda il monitoraggio accurato di piccoli micro-sismi eventualmente generati dalla iniezione della CO<sub>2</sub>. In questo campo INGV vanta un'esperienza indiscussa, legata al monitoraggio di processi di stoccaggio di gas naturale in Italia.

Risultati/Deliverable:

- Report relativo alle "Analisi geofisiche e caratterizzazione baseline dell'area del bacino del Sulcis"

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**d. Comunicazione e diffusione dei risultati**

A integrazione delle attività di ricerca, uno sforzo particolare viene rivolto alla comunicazione e diffusione dei risultati del progetto in diversi ambiti e forme.

Questa azione si articola attraverso:

- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari, convegni;
- l'aggiornamento di un sito web sulle tematiche e le tecnologie CCUS.

Particolare menzione merita l'iniziativa relativa alla seconda edizione della "*Sulcis Summer School on CCS Technologies*", Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO<sub>2</sub>, che si terrà presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia, organizzata congiuntamente con ENEA e Università di Cagliari nell'ambito delle attività del Polo Tecnologico Carbone Pulito, nel mese di Luglio 2014.

Con questa iniziativa, ENEA e SOTACARBO, in collaborazione con l'Università di Cagliari-Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali, intendono consolidare un'iniziativa di valenza internazionale che si pone l'obiettivo di realizzare una sede stabile di approfondimento degli argomenti e delle problematiche relative al campo delle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub> (CCS), e si rivolge a studenti universitari della laurea magistrale (o corsi equipollenti) e del dottorato di ricerca provenienti da diversi percorsi formativi, oltre che a operatori ed esperti di impiantistica energetica, al fine di promuovere la loro partecipazione attiva in questo settore.

La cattura e lo stoccaggio dell'anidride carbonica sono infatti unanimemente considerati essenziali per poter conseguire l'obiettivo della drastica riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera nei prossimi anni e decenni. Attualmente, il potenziale delle tecnologie CCS è in fase di studio in tutto il mondo con più di 100 progetti e conferenze internazionali che servono come piattaforme per lo scambio dei risultati di tali attività tra gli esperti. Per la diffusione di applicazioni su larga scala è tuttavia necessario ampliare la base di conoscenze nei paesi industrializzati e in via di sviluppo, in particolare a livello accademico. I corsi di formazione o scuole estive sono un modo di contribuire a questo obiettivo, promuovendo e sostenendo la diffusione delle conoscenze sul potenziale di CCS a studenti ed operatori di tutto il mondo.

La prima edizione della scuola estiva ha avuto una durata di quattro giorni e ha visto lo svolgimento di seminari, di attività formative e la costituzione di gruppi di discussione guidati da esperti nel campo delle CCS. Al termine del percorso formativo i partecipanti hanno acquisito un'ampia panoramica delle tematiche e delle problematiche riguardanti lo sviluppo tecnologico e l'implementazione delle tecnologie CCS, contribuendo alla realizzazione di una rete di contatti utili per lo sviluppo di attività nel settore. Il percorso formativo si è concluso con la redazione, da parte di ciascun partecipante, di un elaborato finale per l'accertamento delle conoscenze acquisite.

Gli interventi sono stati tenuti da professori universitari ed esperti provenienti dal mondo della ricerca e dal settore industriale, con una presenza significativa in particolare di esponenti di ENEA, SOTACARBO e dell'Università di Cagliari.

Nel periodo 14-18 Luglio 2014 viene riproposta l'iniziativa, nella cornice del PAR 2013.

Attività IEA Clean Coal Centre

Le attività svolte nell'ambito dell'Implementing Agreement con la IEA, nel periodo oggetto dell'accordo, comprendono:

- Quote membership Italia 2014 e 2015;
- Collaborazione nell'organizzazione del *Workshop on Carbon Capture and Storage CO<sub>2</sub> emission reduction through an improvement of power generation efficiency*;
- Collaborazione nell'organizzazione del *Workshop on Advanced Ultra-Supercritical Coal-fired Power Plants*;
- Collaborazione nelle attività di progettazione e organizzazione del periodico online "Only Natural Energy (ONE)";
- Collaborazione nell'organizzazione del programma e degli interventi della Sulcis CCS Summer School 2014;
- Progettazione di un Rapporto sul mercato energetico italiano, con particolare attenzione al carbone e ai possibili scenari futuri;
- Partecipazione nelle attività del gruppo di lavoro ristretto "Financial Strategy Group" della IEA Clean Coal Centre, impegnato nel ridefinire termini e contenuti della partecipazione dei membri nell'Organizzazione, oltretutto ad individuare nuove forme di finanziamento e comunicazione;

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo del lavoro svolto da Sotacarbo con riferimento alle attività di divulgazione e diffusione

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## Parte B2: Attività ENEA

### a. Tecnologie innovative per la cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi e liquidi

Nel dettaglio, afferiscono all'Obiettivo i seguenti Task:

- processi di gassificazione e co-gassificazione avanzati finalizzati alla produzione di energia elettrica, con particolare riferimento allo sviluppo di sistemi di misura e controllo che assicurino un funzionamento stabile e continuo dei dispositivi, sviluppo di componenti innovativi, ottimizzazione energetica del processo di cattura, operata sul syngas, con solventi;
- produzione di SNG (Substitute Natural Gas) di qualità commerciale, da carbone, attraverso processi di idrogenazione di CO e CO<sub>2</sub>, facendo anche ricorso a carboni nazionali di basso rango (Sulcis). Studio e caratterizzazione dei catalizzatori necessari e dei processi di trattamento del SNG, per purificarlo da Tar e composti dello zolfo, e renderlo idoneo al suo utilizzo diretto;
- valutazione, su scala laboratorio e pilota, di tecnologie innovate per la produzione di combustibili liquidi (tecnologie CTL - Coal To Liquid e BTL – Biomass To Liquid) a partire da carboni di basso rango o da biomasse, eventualmente in co-gassificazione. Tali tecnologie saranno integrate con la cattura della CO<sub>2</sub>.

#### a.1 Tecnologie avanzate di gassificazione presso impianto GESSYCA

Il Task prevede la prosecuzione delle attività sperimentali avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas con ammine. Le attività saranno prevalentemente svolte presso ENEA, in parallelo a quelle condotte da SOTACARBO nei sub Task a.1.1 (Parte B1, a responsabilità SOTACARBO) o come attività di supporto alle predette.

Nel dettaglio, l'attività sperimentale di gassificazione in oggetto sarà condotta presso l'impianto GESSYCA (GGeneratore Sperimentale di SYngas da CARbone) di ENEA-C.R.Casaccia, messo a punto nel precedente PAR. Il gassificatore a letto fisso, di tipo up-draft, di GESSYCA è nato per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica. Date le piccole dimensioni l'impianto è caratterizzato, rispetto all'impianto Pilota di Sotacarbo, da una maggiore versatilità e flessibilità di uso, ed è caratterizzato da una griglia di tipo innovativo. L'impianto è dotato dei componenti base di un impianto di gassificazione più complesso. Su di esso verranno testate differenti tipologie di carbone, biomasse (cippato di legno) e loro miscele, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test, L'obiettivo ambizioso, che proseguirà anche nel PAR 2014, è quello di sviluppare procedure automatiche di conduzione ed esercizio di impianto. Nel corso dell'attività sperimentale prevista, saranno valutate le prestazioni del processo di gassificazione, la reattività dei vari combustibili e la qualità del syngas prodotto, alla luce in particolare degli interventi migliorativi introdotti sul gassificatore di tipo up-draft di GESSYCA.

I primi test a caldo prevedono l'accensione del gassificatore e una prima verifica di tutta la componentistica e dei sistemi di misura.

Parallelamente saranno svolte attività a supporto dei "Test di gassificazione presso la piattaforma pilota Sotacarbo" e di quelli "di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas" (rif. Task a.1 e a.2, Attività Polo Tecnologico - Parte B1, a responsabilità SOTACARBO) per quanto attiene alla pianificazione e conduzione delle esperienze. In particolare, il monitoraggio delle temperature della piattaforma pilota SOTACARBO sarà a cura di ENEA, e sarà condotto attraverso la strumentazione del mantello e della griglia.

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo:
  - A) dei principali risultati raggiunti in merito alla sperimentazione dei processi di gassificazione condotta c/o impianto "GESSYCA"
  - B) delle attività di supporto alla pianificazione e conduzione delle esperienze relative ai test di

gassificazione e a quelli di separazione della CO<sub>2</sub> da syngas, presso la piattaforma pilota Sotacarbo

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.2 Partecipazione alle attività di progettazione delle modifiche all'impianto dimostrativo SOTACARBO per co-gassificazione di carbone e biomasse**

Con riferimento ai Task a.3 e a.4 (Attività Polo Tecnologico - Parte B1, a responsabilità SOTACARBO), riguardanti l'adattamento dell'impianto "dimostrativo" di gassificazione, già presente presso il Centro Ricerche Sotacarbo, e l'effettuazione di test di co-gassificazione di carbone e biomasse da filiera corta, con produzione di un syngas da impiegarsi per la generazione elettrica, ENEA curerà in particolare la progettazione delle modifiche della griglia di supporto del letto combustibile, sulla base anche delle esperienze condotte sull'impianto GESSYCA, al fine di consentire il funzionamento in continuo dell'apparecchiatura con miscela di biomasse (cippato di legno) e carbone.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività di progettazione relativa alle modifiche dell'Impianto Dimostrativo, di definizione del programma di prove e di partecipazione alla sperimentazione

Durata: dicembre 2013 - settembre 2014

### **Produzione "Substitute Natural Gas" da CO e CO<sub>2</sub>**

Relativamente alle tecnologie di produzione di combustibili gassosi, riveste particolare interesse la **produzione di "Substitute Natural Gas" (SNG) da syngas, principalmente costituito da H<sub>2</sub>, CO e CO<sub>2</sub>**, mediante il processo di metanazione. La produzione di SNG (Substitute Natural Gas) da carbone presenta il vantaggio di ottenere un gas che immediatamente si può collocare sul mercato della distribuzione verso gli usi finali, senza richiedere ulteriori sezioni di raffinazione o upgrading. Tuttavia il processo richiede ancora importanti innovazioni e sviluppi in campo tecnico. Il miglioramento dell'efficienza energetica e la minimizzazione dell'impatto ambientale sono due sfide cruciali. L'obiettivo è quello di migliorare la competitività economica rispetto ai competitors (Gas Naturale e GPL) e ridurre l'utilizzo di "materie prime" ed energia. Nel contesto italiano lo studio di una possibile applicazione di questo genere avrebbe l'importante e ulteriore ricaduta di un impiego massiccio di carboni nazionali di basso rango (Sulcis).

### **a.3 Sperimentazione relativa alla produzione SNG da CO e CO<sub>2</sub>: Metodi innovativi per la purificazione dal TAR e sintesi di nuovi catalizzatori**

Saranno condotte attività di modellazione ed analisi di sistema volte ad individuare i processi e le configurazioni di impianto che si avvalgono di tecnologie ad oggi disponibili e a fornire una prima valutazione comparativa dei principali parametri di performance.

Il metano, prodotto per idrogenazione da CO e CO<sub>2</sub>, deve essere in purezza tale da rispettare le specifiche della rete gas.

A tale scopo il syngas, prodotto dalla gassificazione, sarà purificato da Tar mediante innovativi processi di trattamento (cracking termico/catalitico). A tal fine sarà attivato un Contratto di Collaborazione con l'Università di Roma "Sapienza". Verrà progettato il dispositivo, caratterizzato a freddo e a caldo, condotti test di validazione.

Sarà sviluppato e sintetizzato in laboratorio un nuovo catalizzatore, caratterizzato da prestazioni (efficienza) superiori. Saranno condotti test di caratterizzazione su scala laboratorio, nell'ambito di un Contratto di Collaborazione con l'Università di Cagliari.

L'approfondimento degli aspetti tecnologici e sperimentali del processo proseguirà per definire le differenti problematiche e per fornire una prima stima dei costi di produzione dell'SNG a partire da diversi materiali. Per la successiva sperimentazione dei processi su scala ridotta (attività PAR 2014), verrà completata la realizzazione della facility di prova - impianto GESSYCA - di ENEA.

L'intera attività è svolta da ENEA nell'ambito del Polo Tecnologico per il Carbone Pulito.

### Risultati/Deliverable:

- Report circa lo sviluppo di tecnologie per l'abbattimento del tar e di composti dello zolfo
- Report sulla messa a punto dei catalizzatori della reazione di metanazione

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

### **Tecnologie Coal and Biomass to Liquid (CBTL)**

Si tratta di un insieme assai vario di tecnologie che consentono, a partire da carbone e/o biomasse, attraverso la gassificazione, la produzione di combustibili liquidi (*Coal to Liquid* o *Biomass to Liquid* che comprendono *diesel*, *benzine*, *DME*, *metanolo* e *altri chemicals*) o gassosi (tra cui principalmente SNG (*Substitute Natural Gas*) e *syngas* con un contenuto più o meno elevato di idrogeno).

Relativamente alla **tecnologia Coal To Liquid (CTL)** si fa riferimento, a processi e soluzioni tecnologiche volte ad allargare lo spettro di impiego del carbone (in particolare di basso rango e quindi di basso costo per il loro ridotto interesse commerciale) nella logica della poligenerazione di energia elettrica, combustibili liquidi e gassosi. La peculiarità invece delle **tecnologie BTL** è quella di produrre un combustibile CO<sub>2</sub>-neutro, caratterizzato da assenza di composti aromatici e zolfo, e da una resa per ettaro confrontabile a quella dei biodiesel.

In entrambi i casi, uno dei processi di riferimento è quello della sintesi di *Fischer Tropsch* ottimizzato nell'uso di nuovi catalizzatori, integrato con tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub> ed eventualmente con l'utilizzo di fonti rinnovabili. Altri processi sono quelli di produzione di DME, di benzine via metanolo (MTG), di alcoli e di altri prodotti liquidi per la chimica di base.

In prospettiva (PAR 2014) l'attività sarà rivolta allo studio sperimentale della produzione di combustibili liquidi da carbone e biomasse in co-gassificazione, effettuato mediante il ricorso ad un impianto pilota appositamente progettato e realizzato presso Sotacarbo. Particolare attenzione nella progettazione sarà dedicata alla selezione della taglia di impianto: questa infatti dovrà, da un lato, essere quanto più piccola possibile al fine di consentire la massima flessibilità operativa al minimo costo; dall'altro dovrà essere comunque significativa per una successiva proiezione dei risultati sperimentali a impianti di taglia commerciale. La progettazione e realizzazione dell'impianto pilota trovano finanziamento nell'ambito di altro programma di ricerca, interamente finanziato dalla Regione Autonoma Sardegna.

#### **a.4 Tecnologie Coal and Biomass to Liquid: Analisi energetiche di processo e indagini sperimentali per lo sviluppo di nuovi catalizzatori della sintesi Fischer-Tropsch**

L'attività ENEA prevede, a partire da quanto sviluppato nelle passate annualità (per es. risultati delle attività sperimentali sui catalizzatori), la predisposizione di analisi energetiche e di processo, svolte con l'ausilio del codice di simulazione impiantistica commerciale Aspen, con l'obiettivo di valutare una configurazione tipo. Verrà altresì indagata, attraverso uno studio di fattibilità, l'integrazione di CTL e BTL in co-gassificazione, con tecnologie CCS, in un impianto per la produzione di combustibili liquidi di taglia industriale, in modo da pervenire a differenti livelli di decarbonizzazione dei combustibili ottenuti. Nello specifico il processo analizzato sarà incentrato sulla sintesi di combustibili per autotrazione attraverso la produzione di metanolo come intermedio di reazione. Le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla combustione della benzina così prodotta saranno compensate sostituendo parte del carbone alimentato con della biomassa. Il processo analizzato sarà sviluppato basandosi su tecnologie consolidate con l'ausilio di codici commerciali di modellazione di impianti e processi industriali (Aspen).

In parallelo all'attività teorica, a cura del Politecnico di Milano nell'ambito di uno specifico Contratto di Collaborazione, saranno testati sperimentalmente catalizzatori innovativi della sintesi di Fischer-Tropsch, su un impianto in scala laboratorio operante ad alta pressione, già realizzato per la messa a punto della sintesi stessa. In essi il promotore zinco sarà sostituito con altro (probabilmente manganese), selezionato sulla base dei risultati dell'attività sperimentale condotta nel corso del PAR 2012.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività di analisi energetica e di processo, in relazione anche all'integrazione con tecnologie CCS
- Report descrittivo dell'attività sperimentale relativa alla messa a punto di catalizzatori

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

**b. Cattura della CO<sub>2</sub> in Ossi-Combustione**

Omesse per brevità le considerazioni generali e di cornice fatte con riferimento all'Obiettivo b dell'Attività Polo Tecnologico - Parte B1, a responsabilità SOTACARBO, vengono condotte altre attività di ricerca a supporto della realizzazione dell'impianto pilota, dimostratore della tecnologia di ossi-combustione pressurizzata, relative allo sviluppo di sistemi diagnostici, alla valorizzazione delle emissioni di ossidi di zolfo e allo studio di cicli di massima efficienza.

Tali azioni sono descritte nei seguenti Task.

**b.1 Sviluppo di sistemi diagnostici**

Uno degli aspetti di maggiore interesse per la ricerca è quello relativo a misure caratteristiche del processo, ai fini del monitoraggio e controllo dello stesso. In particolare risulta determinate la misura delle seguenti variabili:

- misura del contenuto di O<sub>2</sub> nei fumi post combustione; per esigenze di controllo è auspicabile un punto di misura quanto più possibile prossimo all'uscita del combustore, e comunque, in ordine di interesse decrescente, nei seguenti punti:
  - o uscita fumi dal combustore (1200-1600°C)
  - o condotto fumi post combustione (500-700°C)
  - o uscita turbo espansore (200-300°C)
  - o uscita caldaia (200-300°C)
- misura della temperatura dei fumi in uscita dal combustore, nel range compreso tra i 1200 e i 1600°C;
- visualizzazioni e applicazione di metodi ottici per il monitoraggio interno al reattore, da porre in relazione alle modalità di funzionamento dello stesso;

L'attività, svolta interamente da ENEA nell'ambito del Polo Tecnologico per il Carbone Pulito, prenderà in considerazione differenti soluzioni tecnologiche, valutandone gli effettivi limiti applicativi, individuando le sole più idonee, per affidabilità e precisione, da acquisire o implementare nella prossima annualità.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo del lavoro e delle analisi svolte in riferimento ai tre distinti approcci

Durata: novembre 2013 - settembre 2014

Altra problematica di interesse riguarda il trattamento degli effluenti gassosi del sistema "reattore", e, tra questi ultimi, la **conversione di ossidi di zolfo in acido solforico**.

Circa quest'ultimo aspetto, l'attività riguarda lo sviluppo di un sistema di conversione degli ossidi di zolfo (SO<sub>2</sub> e tracce di SO<sub>3</sub>) presenti negli effluenti gassosi dal reattore a ossi-combustione, che abbia il duplice vantaggio di eliminare tali composti, limitando l'impatto ambientale e rischi di corrosione, producendo al tempo stesso acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) di elevata purezza ed alto valore commerciale.

In relazione al summenzionato tema, è previsto il seguente Task.

**b.2 Produzione acido solforico dai fumi di ossi-combustione: attività sperimentale di laboratorio**

L'attività prevede l'effettuazione di test su scala laboratorio, svolti presso il C.R.Casaccia, del sistema di conversione di ossidi di zolfo (SO<sub>2</sub> e tracce di SO<sub>3</sub>) in acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). I test saranno tesi a individuare

e valutare il catalizzatore più idoneo alla sintesi dell'acido solforico, di tipo commerciali e non. Verrà a tal fine utilizzato un plug-flow reactor in pirex, da banco, già disponibile. Nel corso dello studio verranno ottimizzate le condizioni sperimentali (pressione, temperatura e portate) e verrà messo a punto il sistema analitico di rilevazione dell' SO<sub>3</sub> prodotto, che reagendo con H<sub>2</sub>O sarà poi trasformato in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. E' anche previsto un limitato ma significativo impegno di personale ENEA per il trasferimento a SOTACARBO dell'esperienza acquisita nella progettazione del sistema su scala laboratorio, per la realizzazione della sezione di recupero di piccola taglia.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dei test di laboratorio svolti

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

### **Analisi di ciclo**

Ultimo tema individuato riguarda l'analisi di ciclo. L'attività tende a valutare, dal punto di vista termodinamico, l'accoppiamento tra il sistema di ossi-combustione, denominato "Anello ISOTHERM PWR®", e due diverse configurazioni della sezione di potenza.

### ***b.3 Analisi di ciclo e studio della soluzione di massimo efficientamento dell'impianto integrato da 48MWt***

Nello specifico, fatti salvi i parametri operativi del sistema di combustione, sarà effettuato un confronto prestazionale tra un ciclo a vapore ultra-supercritico (USC) ed una soluzione di prospettiva basata su di un ciclo a CO<sub>2</sub> supercritica (SCO<sub>2</sub>). Il ciclo USC rappresenta lo stato dell'arte con riferimento ai cicli a vapore, oggetto, peraltro, di ulteriori avanzamenti tecnologici con ricadute sfruttabili anche per lo sviluppo dei cicli a SCO<sub>2</sub>, attualmente allo stato embrionale. Ciò in considerazione del fatto che le temperature e le pressioni operative massime di entrambi i cicli sono compatibili e, pertanto, suscettibili delle stesse problematiche in termini di ricerca e sviluppo di nuovi materiali utili all'incremento di tali parametri. La compatibilità dei due cicli in termini di temperature e pressioni operative massime, oltre a rendere efficace la comparazione rappresenta, una ulteriore motivazione alla scelta del ciclo a SCO<sub>2</sub> come confronto tecnologico. Il risultato delle simulazioni fornirà indicazioni in merito ai rendimenti termodinamici ottenibili, mentre risulta evidente, fin da ora la forte semplificazione impiantistica del ciclo a CO<sub>2</sub> supercritica, unitamente ad una marcata riduzione delle dimensioni delle turbomacchine, dovuta alle peculiarità del fluido di lavoro. Entrambi i fattori appena citati, fanno presagire sensibili differenze nel CAPEX a favore del ciclo a CO<sub>2</sub> supercritica, che trae vantaggio dalla maggior compattezza delle turbomacchine, dall'assenza degli spillamenti intermedi e dei relativi scambiatori di calore e, in linea più generale, dal minor volume di fluido di lavoro trattato a pari potenza prodotta. Inoltre, la maggior compattezza del ciclo a SCO<sub>2</sub> si potrà tradurre, in linea di principio, in una sezione di potenza più "agile", sia nella riduzione dei tempi di avviamento, sia in una maggiore propensione alla flessibilità di carico.

In un contesto in cui il peso delle energie rinnovabili non programmabili diviene sempre più importante, la flessibilità di carico richiesta agli impianti di generazione da fonte fossile non può che aumentare, fino a divenire requisito fondamentale per la stabilizzazione della rete elettrica.

Il layout impiantistico del ciclo a vapore sarà implementato basandosi sulle soluzioni adottate negli impianti di più recente costruzione. Per quando riguarda il ciclo a SCO<sub>2</sub>, non esistendo realizzazioni di taglia significativa, sarà preliminarmente effettuata un'approfondita ricerca bibliografica per individuare le soluzioni più promettenti in termini di rendimento termodinamico, semplicità impiantistica e compatibilità con i parametri operativi del ciclo a vapore.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dei risultati delle simulazioni comparative condotte

Durata: dicembre 2013 – settembre 2014

## **Monitoraggio della CO<sub>2</sub> nell'area del bacino minerario del Sulcis**

Con riferimento specifico al **monitoraggio nell'area del bacino minerario del Sulcis**, nei precedenti PAR, i sistemi di monitoraggio utilizzati sono risultati idonei allo studio delle aree potenzialmente idonee per lo stoccaggio dell'anidride carbonica. Le tecniche sviluppate hanno dato buoni risultati e si sono mostrate efficaci per la sensibilità dei dati ottenuti, ma soprattutto per il rapporto costo-prestazioni.

Il monitoraggio in continuo è uno strumento irrinunciabile per la comprensione delle oscillazioni naturali della CO<sub>2</sub>. A tal riguardo, le stazioni installate hanno permesso di avviare la costruzione di un database finalizzato a comprendere i valori tipici di CO<sub>2</sub> che caratterizzano il sito in studio (baseline), per poter discriminare variazioni indicatrici di microfughe dal serbatoio da semplici variazioni naturali.

I dati raccolti dalle tre stazioni "Sardegna" (0,1,2) hanno confermato l'elevata variabilità nel tempo delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> misurate e la necessità di acquisire dati per lunghi periodi di tempo per apprezzare in maniera più significativa le variazioni di concentrazioni. Mentre le misure delle sonde sommerse hanno dato utili informazioni sulla CO<sub>2</sub> disciolta, il database acquisito ha fornito importanti indicazioni per caratterizzare il baseline nelle diverse stagioni, tenendo conto in questo modo del diverso grado di attività della degradazione della materia organica.

Sulla base dei risultati ottenuti nei primi tre siti monitorati, si va delineando un primo quadro delle variazioni stagionali di CO<sub>2</sub>. Esso potrà essere confermato sulla base delle nuove acquisizioni che riguarderanno (PAR 2013) numerose stazioni di monitoraggio, secondo un vasto programma di potenziamento della rete, avviato nel PAR precedente a cura dell'Università di Roma "Sapienza" - Consorzio CERI, e attraverso il ricorso ad una stazione mobile di monitoraggio al suolo, gestita da ENEA

Tutto ciò si renderà utile nelle fasi di iniezione e post-iniezione di CO<sub>2</sub>, per distinguere la presenza di reali fughe dal serbatoio di stoccaggio dalle normali variazioni naturali.

### **c. Sperimentazione di una rete fissa e mobile di monitoraggio geochimico nell'area del bacino Sulcis**

Sarà oggetto dell'Obiettivo la caratterizzazione geochimica del bacino carbonifero del Sulcis, con attività di monitoraggio continuo e discontinuo superficiale e in pozzi, nonché la caratterizzazione geologico-strutturale dell'area attraverso l'analisi e la mappatura delle faglie e delle zone di fratturazione superficiale delle formazioni appartenenti al "reservoir", al fine di ricostruire la "permeabilità" ai gas dei suoli.

Il monitoraggio continuo di una vasta serie di punti selezionati, con prospezioni periodiche dei gas nel suolo, unitamente a quello discontinuo condotto da ENEA, e all'accurata indagine geologico-strutturale, porterà alla progressiva comprensione del sistema naturale "bacino carbonifero Sulcis" in condizioni indisturbate, e di conseguenza alla previsione e al riconoscimento di vere anomalie nel caso in cui questo possa rappresentare un sito di stoccaggio.

Queste attività saranno svolte con il fondamentale supporto dell'Università di Roma "Sapienza" - Consorzio CERI, nell'ambito di uno specifico accordo di collaborazione con ENEA.

La rete di monitoraggio fisso esistente sarà ampliata, a cura dell'Università, con l'installazione di numerose stazioni multiparametriche in altrettante postazioni di rilevamento.

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi e della deformazione fragile (faglie e fratture) consentirà di definire lo stile di deformazione dei litotipi in esame, di determinare la densità di fratturazione e di valutare la connettività della rete di fratture.

L'ENEA, nell'ambito delle attività previste dal Polo Tecnologico Carbone Pulito, effettuerà un monitoraggio discontinuo dei gas da suolo in singolarità (faglie) del potenziale bacino di stoccaggio, avvalendosi di una stazione di monitoraggio di CO<sub>2</sub> (flussi, concentrazioni), H<sub>2</sub>O e temperatura, basata su analizzatore all'infrarosso NDIR. Queste misure permetteranno di ampliare grandemente le capacità di descrizione del sistema naturale, specie in una situazione antecedente la fase di iniezione di CO<sub>2</sub>, ove i tempi caratteristici che interessano la variabilità di emissione sono su scala stagionale, e quindi dati acquisiti in tempi diversi, sono tra loro correlabili.

#### Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'attività relativa all'ampliamento, all'installazione e all'esercizio di una vasta rete fissa di monitoraggio, nonché alla caratterizzazione geologico-strutturale dell'area Sulcis
- Report descrittivo dell'attività relativa al monitoraggio discontinuo con stazione mobile.

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **d. Comunicazione e diffusione dei risultati**

L'obiettivo attiene all'opera di comunicazione e diffusione dei risultati del progetto in diversi ambiti e forme.

A questa azione partecipano ENEA, Sotacarbo e gli altri partner scientifici del progetto, in particolare attraverso:

- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari, convegni;
- l'aggiornamento di un sito web sulle tematiche e le tecnologie CCUS;
- altre iniziative.

Particolare menzione meritano due iniziative, di seguito descritte.

La prima iniziativa è relativa alla 2° edizione della "Sulcis Summer School on CCS Technologies", Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO<sub>2</sub>, che si terrà presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia, organizzata nel mese di Luglio 2014.

Con questa iniziativa, ENEA e SOTACARBO, in collaborazione con l'Università di Cagliari-Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali (che riconosce crediti formativi agli studenti che hanno frequentato con profitto l'intero pacchetto di lezioni), ripropongono l'iniziativa di valenza internazionale con l'obiettivo dichiarato di realizzare una sede stabile di approfondimento degli argomenti e delle problematiche relative al campo delle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub> (CCS), e si rivolge a studenti universitari della laurea magistrale (o corsi equipollenti) e del dottorato di ricerca provenienti da diversi percorsi formativi, oltre che a operatori ed esperti di impiantistica energetica, al fine di promuovere la loro partecipazione attiva in questo settore.

La docenza verrà affidata a professori universitari ed esperti provenienti dal mondo della ricerca e dal settore industriale, con una presenza significativa in particolare di esponenti dell'ENEA, dell'Università di Cagliari e di Sotacarbo.

La seconda iniziativa è relativa alla partecipazione di ENEA a numerosi gruppi di lavoro internazionali sul tema CCS.

Le attività svolte da ENEA sono inserite nel complesso contesto internazionale nel quale operano governi, istituzioni pubbliche e operatori privati, con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo e l'ingegnerizzazione delle tecnologie per l'impiego sostenibile dei combustibili fossili e, in questo ambito, operare per rendere competitive le tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica (CCS) in grado di consentire l'impiego dei combustibili fossili, specialmente il carbone, con una drastica riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Tra gli organismi internazionali per i quali è prevista una partecipazione ENEA citiamo:

- *Partecipazione, quale delegato italiano, a organismi della IEA:*
  - *Working Party on Fossil Fuels*
  - *Implementing Agreement Clean Coal Centre (CCC)*
  - *Implementing Agreement Gas and Oil Technologies (GOT)*
- *Partecipazione al Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI).* Il GCCSI è un'organizzazione nata su iniziativa del Governo australiano il cui obiettivo è mobilitare risorse pubbliche e private per diffondere le tecniche CCS. L'impegno immediato è quello di accelerare l'avvio di oltre venti progetti pilota. E' in discussione il piano strategico.

- *Partecipazione, quale Membro italiano, alla piattaforma tecnologica europea ZEP (Zero Emission Fossil Fuels Power Plants). La piattaforma tecnologica ZEP unisce e rappresenta gli operatori industriali europei impegnati nelle tecnologie CCS; partecipano rappresentanti del mondo della ricerca e vari operatori; è diretta da un “ministerial group” ed è organizzata in task force. La partecipazione ENEA ha in passato consentito di discutere delle priorità di politica energetica italiana e degli aspetti tecnici legati alle esigenze di ricerca e sviluppo e di diminuzione dei costi.*
- *Partecipazione, quale delegato italiano, al CCS-EII Team, team della Iniziativa Industriale Europea (EII) per la cattura, trasporto e stoccaggio della CO2 (CCS) del SET Plan (Strategic Energy technologies). Opera, in particolare, per l’individuazione di strategie europee e sui finanziamenti europei, specialmente quelli per attività di sviluppo e dimostrative. Particolare attenzione è stata posta alla definizione dei nuovi indirizzi di politica europea della ricerca (Horizon 2020)*
- *Partecipazione, quale coordinatore nazionale, a EERA (European Energy research Alliance) per le tecnologie CCS. E’ un organismo analogo alla piattaforma ZEP ma riunisce gli operatori del mondo della ricerca. Sono stati lanciati Joint Programmes, fra cui quello sulle CCS di cui ENEA è uno dei partner principali (prossima programmazione dello “Steering Committee JP on CCS” c/o ENEA, Dicembre 2013)*

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo del lavoro svolto da ENEA in riferimento alle attività di divulgazione e diffusione

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

## PROGRAMMA TEMPORALE E PREVENTIVI ECONOMICI

### Parte A: Attività ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>a</b>	<b>Tecnologie innovative per la cattura della CO2 in Pre-combustione</b>												
	<i>a.1 Sorbenti solidi avanzati per cattura ad alta temperatura</i>												
	<i>a.2 Ciclo pirolisi e gassificazione</i>												
<b>b</b>	<b>Tecnologie ottimizzazione processi combustione</b>												
	<i>b.1 Metodologie numeriche avanzate per simulazione</i>												
	<i>b.2 Simulazioni CFD con metodi RANS</i>												
	<i>b.3 Sviluppo, progettazione e test bruciatori avanzati per TG</i>												
<b>c</b>	<b>Cicli a CO<sub>2</sub></b>												
<b>d</b>	<b>Utilizzo della CO<sub>2</sub> per produzione combustibili</b>												
<b>f</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>												

## POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

### Parte B1: Attività SOTACARBO

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>a</b>	<b>Cattura della CO2 in Post e Pre-combustione con produzione di combustibili gassosi</b>												
	<i>a.1 Test di gassificazione presso piattaforma pilota Sotacarbo</i>												
	<i>a.2 Test di separazione della CO2 presso impianto Pilota Sotacarbo</i>												
	<i>a.3 Co-gassificazione: progetto e realizzazione modifiche Impianto Dimostrativo Sotacarbo</i>												
	<i>a.4 Co-gassificazione: sperimentazione presso Impianto Dimostrativo Sotacarbo</i>												
<b>b</b>	<b>Cattura della CO<sub>2</sub> in ossi-combustione</b>												
	<i>b.1 Caratterizzazione "coal slurry" ed effluenti dal reattore</i>												
	<i>b.2 Progettazione sezione di recupero H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>												
<b>c</b>	<b>Monitoraggio e storage della CO<sub>2</sub></b>												
	<i>c.1 Raccolta delle informazioni, ricostruzione critica delle attività pregresse e rilievo geostrutturale</i>												
	<i>c.2 Procedure autorizzative, richieste concessioni per attività di ricerca e prospezione</i>												
	<i>c.3 Analisi geofisiche e caratterizzazione base-line dell'area Sulcis</i>												
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>												



## Parte A: Attività ENEA

Per il calcolo delle spese del personale ENEA è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.2 del PAR 2012), pari a 38,9 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 23,3 €/h

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
<b>a</b>	<b>Tecnologie innovative per la cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione</b>									
	<i>a.1 Sorbenti solidi avanzati per cattura ad alta temperatura</i>	790	31	18	0	38	0	8	35	130
	<i>a.2 Ciclo pirolisi e gassificazione</i>	350	14	8	16	15	0	0	0	52
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>1140</b>	<b>45</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>53</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>35</b>	<b>183</b>
<b>b</b>	<b>Tecnologie ottimizzazione processi combustione</b>									
	<i>b.1 Metodologie numeriche avanzate per simulazione</i>	450	17	10	0	0	0	8	35	70
	<i>b.2 Simulazioni CFD con metodi RANS</i>	350	14	8	0	0	0	5	0	27
	<i>b.3 Sviluppo, progettazione e test bruciatori avanzati per turbine a gas</i>	350	14	8	0	10	0	3	30	65
	<i>Subtotale Ob. c</i>	<b>1150</b>	<b>45</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>65</b>	<b>162</b>
<b>c</b>	<b>Cicli a CO<sub>2</sub></b>	<b>350</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>74</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>99</b>
<b>d</b>	<b>Tecnologie per rimozione permanente della CO<sub>2</sub></b>									
	<i>e.3 Utilizzo della CO<sub>2</sub> per produzione di combustibili</i>	350	14	8	15	16	0	3	0	56
	<i>Subtotale Ob. e</i>	<b>350</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>56</b>
		<b>2990</b>	<b>118</b>	<b>68</b>	<b>31</b>	<b>153</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>500</b>

in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

- (A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente
- (B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento
- (C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione
- (D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti
- (E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione
- (U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie (100 k€)

## POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

### Parte B.1 - Attività SOTACARBO

Per il calcolo delle spese del personale Sotacarbo è stato utilizzato un costo diretto medio pari a 27,0 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 16,2 €/h, per un totale di 43,2 €/h.

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
<b>a</b>	<b>Cattura della CO<sub>2</sub> in Post e Pre-combustione con produzione di combustibili gassosi</b>									
	<i>a.1 Test di gassificazione presso piattaforma pilota Sotacarbo</i>	3700	100	60	0	156	160	0	0	476
	<i>a.2 Test di separazione della CO<sub>2</sub> presso impianto Pilota Sotacarbo</i>	3130	85	50	10	0	0	0	0	145
	<i>a.3 Co-gassificazione: progetto e realizzazione modifiche Impianto Dimostrativo Sotacarbo</i>	5560	150	90	6	198	0	5	0	449
	<i>a.4 Co-gassificazione: sperimentazione presso Impianto Dimostrativo Sotacarbo</i>	1300	35	21	0	100	0	0	0	156
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>13690</b>	<b>370</b>	<b>221</b>	<b>16</b>	<b>454</b>	<b>160</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1226</b>
<b>b</b>	<b>Cattura della CO<sub>2</sub> in ossi-combustione</b>									
	<i>b.1 Caratterizzazione "coal slurry" ed effluenti dal reattore</i>	1660	45	27	0	0	60	0	0	132
	<i>b.2 Progettazione sezione di recupero H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	560	15	9	0	0	30	3	0	57
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>2220</b>	<b>60</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>189</b>
<b>c</b>	<b>Monitoraggio e storage della CO<sub>2</sub></b>									
	<i>c.1 Raccolta delle informazioni, ricostruzione critica delle attività pregresse e rilievo geostrutturale</i>	1110	30	18	0	0	220	0	0	268
	<i>c.2 Procedure autorizzative, richieste concessioni per attività di ricerca e prospezione</i>	1670	45	27	0	0	0	0	0	72
	<i>c.3 Analisi geofisiche e caratterizzazione base-line dell'area Sulcis</i>	370	10	6	0	0	145	0	0	161
	<i>Subtotale Ob. c</i>	<b>3150</b>	<b>85</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>365</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>501</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>920</b>	<b>24</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>245</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>284</b>
		<b>19980</b>	<b>539</b>	<b>323</b>	<b>16</b>	<b>699</b>	<b>615</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>2200</b>

## Parte B.2 – Attività ENEA

Per il calcolo delle spese del personale ENEA è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.2 del PAR 2012), pari a 38,9 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 23,3 €/h

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
<b>a</b>	<b>Tecnologie innovative per la cattura della CO<sub>2</sub> in pre-combustione con produzione di combustibili gassosi e liquidi</b>									
	<i>a.1 Tecnologie di gassificazione presso impianto GESSYCA</i>	1400	54	32	0	0	0	6	0	92
	<i>a.2 Partecipazione alla progettazione delle modifiche all'impianto dimostrativo SOTACARBO per co-gassificazione</i>	800	31	18	0	0	0	6	0	55
	<i>a.3 Sperimentazione produzione SNG: metodi di purificazione dal TAR e sintesi di nuovi catalizzatori</i>	1100	43	26	0	0	0	1	70	140
	<i>a.4 Tecnologia CBTL: analisi energetiche e sviluppo nuovi catalizzatori</i>	650	25	16	0	0	0	2	40	83
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>3950</b>	<b>153</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>110</b>	<b>370</b>
<b>b</b>	<b>Cattura della CO<sub>2</sub> in ossi-combustione</b>									
	<i>b.1 Sviluppo di sistemi diagnostici</i>	1520	59	35	0	0	0	1	0	95
	<i>b.2 Produzione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dai fumi: attività sperimentale di laboratorio</i>	900	35	21	0	0	0	2	0	58
	<i>b.3 Analisi di ciclo e studio soluzioni di massimo efficientamento</i>	600	23	14	0	0	0	2	0	39
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>3020</b>	<b>117</b>	<b>70</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>192</b>
<b>c</b>	<b>Sperimentazione di una rete fissa e mobile di monitoraggio geochimico</b>	<b>1100</b>	<b>43</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>70</b>	<b>145</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>1400</b>	<b>55</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>93</b>
		<b>9470</b>	<b>368</b>	<b>222</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>180</b>	<b>800</b>

Di seguito si riporta il dettaglio delle principali spese “vive”

## 1. Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

### Parte A – Attività ENEA

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (k€)	Costo PAR 2013 (k€)*
a.2	Torcia per incombusti	3,5	3,5
a.2	scambiatore di calore per impianto (AMARC srl)	12,5	12,5
d	Flussimetri per Laboratorio e impianto FENICE (GAMBETTI srl)	15,0	15,0

(\*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

## 2. Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

### Parte A – Attività ENEA

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Lavori di adeguamento impianto ZECOMIX Consistenti in: modifiche all'impianto, montaggi e montaggi di componenti; fornitura e montaggio di tubazioni; realizzazione di una rampa gas per Ossigeno e di una per CO; fornitura e posa in opera di giunti di dilatazione; fornitura e posa in opera di 2 serbatoi	27,5
a.1	Up-grade sistema di analisi elementare per carbonio, idrogeno e zolfo	7,5
a.1	Finestre per spettrofotometro per analisi IR in laboratorio	2,5
a.2	Rinnovo licenza codice di simulazione ASPEN	6,0
a.2	Catalizzatori	5,5
a.2	Componentistica per linee gas-cromatografiche	3,5
b.3	Celle elettrochimiche per analizzatori gas	3,0
b.3	Work station HP per acquisizione dati e accessori	7,0
c	Rinnovo licenza codice di simulazione impiantistica CHEMCAD	30,0
c	Lavori di adeguamento impianti AGATUR e GESSYCA (COIM 2005 srl) - Consistenti in: realizzazione e messa in opera di supporti antivibranti per il piping; re-routing di linee da e verso $\mu$ TG; coibentazione piping; realizzazione e messa in opera di piattaforma per la movimentazione del gruppo di potenza della $\mu$ TG; realizzazione e posa in opera di n. 5 reattori per trattamento gas e desolfurazione; realizzazione di un loop chimico per idrogenazione CO <sub>2</sub> ; interventi vari connessi con l'esercizio ordinario dell'impianto	44,0
d	demineralizzatore/deionizzatore per impianto FENICE (MERCK SpA)	6,0
d	Materiali di consumo vario - (filtri per separazione gas liquido (POLLUTION srl); connettori Swagelok; tubi in pirex (MARBAGLASS snc); upgrade sistemi di analisi	10,0

**POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS / Parte B1 - Attività Sotacarbo**

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Acquisto consumabili per sperimentazione <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustibili (carbone, GPL e biomasse)</li> <li>- Gas inertizzanti (azoto)</li> <li>- Lampade di accensione del gassificatore pilota</li> <li>- Solventi per rimozione composti solforati (soda e ammine)</li> <li>- Catalizzatori per il processo di CO-shift.</li> <li>- Solventi per cattura CO2 (ammine).</li> <li>- Consumabili per strumentazione di analisi.</li> <li>- Oli e materiali di ricambio</li> </ul>	55,0
a.1	Smaltimento solventi, ceneri da processi di gassificazione, Tar e polveri in fase liquida	25,0
a.1 a.2	Contratto per modifiche e migliorie sezioni impianto pilota Sotacarbo	74,0
a.3	Acquisto consumabili per sperimentazione <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustibili (carbone, biomasse e GPL)</li> <li>- Gas inertizzanti (azoto)</li> <li>- Solventi per rimozione composti solforati (soda)</li> <li>- Lampade di accensione gassificatore</li> <li>- Consumabili per strumentazione di analisi.</li> <li>- Oli e materiali di ricambio</li> </ul>	100,0
a.3	Modifiche sistema di regolazione e controllo impianto dimostrativo Sotacarbo	20,0
a.3 a.4	Contratto per fornitura di prestazione di personale qualificato per lo svolgimento delle attività di modifica e miglioramento delle varie sezioni dell'impianto Dimostrativo e di supporto agli avviamenti.	140,0
d	<u>Attività IEA Clean Coal Centre</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quota membership Italia 2014- 2015</li> <li>- Collaborazione nell'organizzazione del <i>Workshop on Carbon Capture and Storage CO<sub>2</sub> emission reduction through an improvement of power generation efficiency</i>;</li> <li>- Collaborazione nell'organizzazione del <i>Workshop on Advanced Ultra-Supercritical Coal-fired Power Plants</i>;</li> <li>- Collaborazione nelle attività di progettazione e organizzazione del periodico online "Only Natural Energy (ONE)";</li> <li>- Collaborazione nell'organizzazione del programma e degli interventi della Sulcis CCS Summer School 2014;</li> <li>- Progettazione di un Rapporto sul mercato energetico italiano, con particolare attenzione al carbone e ai possibili scenari futuri;</li> <li>- Partecipazione nelle attività del gruppo di lavoro ristretto "Financial Strategy Group" della IEA Clean Coal Centre, impegnato nel ridefinire termini e contenuti della partecipazione dei membri nell'Organizzazione, oltreché ad individuare nuove forme di finanziamento e comunicazione</li> <li>-</li> </ul>	225,0
d	Organizzazione Summer School	20,0

### 3. Attività svolte dalle Università co-beneficiarie e motivazioni della scelta

#### Parte A - Attività ENEA

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.5	<p><b>Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia</b> - Messa a punto del sorbente/catalizzatore attraverso studi di cinetica chimica e validazione dei modelli. Follow-up sperimentale della piattaforma pilota ZECOMIX. Partecipazione alle fasi di avviamento reattori, ottimizzazione delle procedure di start-up,</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università de L'Aquila, ha collaborato allo studio e progettazione dei principali componenti della Piattaforma Zecomix (gassificatore, carbonatore), nonché nello sviluppo di sorbenti solidi per cattura di CO<sub>2</sub>, pertanto vanta competenze specifiche per la loro messa a punto</p>	35
b.3	<p><b>Università di "Roma Tre", Dipartimento di Ingegneria</b> - Caratterizzazione sperimentale di un bruciatore avanzato "Trapped Vortex" per turbina a gas. Supporto alla diagnostica ed al trattamento/elaborazione dati</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Roma TRE, collabora da tempo con ENEA in merito allo sviluppo di bruciatori Trapped Vortex, e vanta competenze di altissimo livello nell'analisi aeroacustica di componenti in combustione e nel trattamento dei segnali con tecniche "wavelet"</p>	30
c.1	<p><b>Università di Roma "Sapienza", Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale</b> - Sviluppo di tecniche e modelli numerici per LES nel codice HeaRT per la simulazione di processi di combustione. Messa a punto e validazione di un solutore per mesh affiancate, e simulazione del mescolamento di due gas in condizioni supercritiche</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Roma, ha partecipato allo sviluppo dei modelli del codice ENEA-HeaRT e pertanto vanta competenze per la sua messa a punto e upgrade</p>	35

#### POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS / Parte B2 - Attività ENEA

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.3	<p><b>Università di Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente</b> - Sviluppo sistema di purificazione del syngas da Tar e composti dello zolfo mediante innovativi processi di trattamento (cracking termico/catalitico).</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Prosecuzione attività avviata nel PAR 2011. Detentore di un processo brevettato per il trattamento del Syngas relativo alla separazione del TAR</p>	35
a.3	<p><b>Università di Cagliari, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche</b> - Sviluppo di un nuovo catalizzatore per reazione di metanazione di CO e CO<sub>2</sub></p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Prosecuzione attività avviata nel PAR 2011. Il gruppo di ricerca vanta riconosciute competenze nel settore del trattamento di syngas e nello sviluppo di catalizzatori per la reazione di metanazione</p>	35
a.4	<p><b>Politecnico di Milano, Dipartimento di Energia</b> - Sviluppo e test sperimentali di catalizzatori innovativi della sintesi di Fischer-Tropsch</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Gruppo leader nel settore del CBTL. Dispone di un test rig per testare catalizzatori in condizioni di pressione elevata. Prosecuzione attività avviata nel PAR 2011</p>	40

c	<p><b>Università di Roma Sapienza, Centro di Ricerca, Previsione e Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici</b> - Sperimentazione di una rete fissa di monitoraggio geochimico nell'area del bacino Sulcis. indagine geologico-strutturale delle faglie per stima permeabilità del sito</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Gruppo leader nel settore del monitoraggio geochimico. Prosecuzione attività di collaborazione avviata nel PAR 2008-20009. La rete fissa di monitoraggio (10 centraline) è di proprietà di Uni Roma</p>	70
---	---	----

#### 4. Elenco collaborazioni per acquisizioni competenze

##### POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS / Parte B1 - Attività Sotacarbo

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p><b>Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali</b> - Modellistica, simulazione dinamica e integrazione di processi di cattura CO2 con fonti rinnovabili, per impianti con cattura post-combustione</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Cagliari vanta una consolidata esperienza nel settore della simulazione di processi industriali complessi. Prosecuzione attività avviata nel PAR 2012 con ENEA</p>	160
b.1	<p><b>Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura</b> - Caratterizzazione slurry in ossi-combustione</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo di ricerca dell'Università di Cagliari vanta una pluriennale esperienza nel settore dello studio e della caratterizzazione di slurry. prosecuzione attività avviata nei precedenti PAR con ENEA</p>	60
c.1	<p><b>Carbosulcis S.p.A.</b>- Condivisione delle informazioni relative ad un decennio di attività pregresse volte alla caratterizzazione geologica del bacino</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Ha svolto nel corso degli ultimi 10 anni attività di studio e caratterizzazione del bacino carbonifero, realizzando anche pozzi profondi che hanno permesso di ottenere carote fino a quote di -800 m. Tutte queste informazioni hanno un valore relevantissimo, e sono considerate indispensabili per un più' rapido ed efficace proseguimento delle attività', con anche un notevole risparmio di risorse economiche (altrimenti necessarie per l'effettuazione di attività' analoghe a quelle già svolte da Carbosulcis). Per questi motivi si è reso necessario coinvolgere la Carbosulcis, per consentire il trasferimento di know how e dei risultati delle ricerche svolte, e per coinvolgere personale altamente qualificato che ha operato nel passato nelle predette attività' di ricerca</p>	50
c.3	<p><b>Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia</b> - Monitoraggio accurato di piccoli micro-sismi eventualmente generati dalla iniezione della CO2. In questo campo INGV vanta un'esperienza indiscussa, legata al monitoraggio di processi di stoccaggio di gas naturale in Italia.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> È essenziale, ai fini della sicurezza e della accettabilità' sociale, effettuare un monitoraggio accurato di possibili micro-sismi generati dalla iniezione della CO2. In questo campo INGV e' leader indiscussa, avendo svolto attività' - di studio, monitoraggio ed analisi dei dati - in relazione ai processi di stoccaggio di gas naturale in Italia.</p>	30
c.3	<p><b>Università di Roma Sapienza, CERi</b> - Indagini geo-strutturali bacino Sulcis</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Gruppo leader nel settore del monitoraggio geo-chimico e geo-strutturale. Le competenze di eccellenza sono testimoniate dalle innumerevoli partecipazioni a progetti di ricerca internazionali. Vengono condotte nuove indagini geo-strutturali nel Bacino Sulcis</p>	170

b.2	Contratto per progettazione reattore per SO <sub>2</sub> - SO <sub>3</sub> Si affiderà ad una ditta esterna la progettazione di base e di dettaglio di un impianto pilota per la produzione di acido solforico da fumi di combustione da carbone	30
c.3	Contratto Consulenza Perforazioni Definizione delle specifiche tecniche da inserire nel capitolato del bando per l'assegnazione dell'incarico per la realizzazione di pozzi di esplorazione profondi. Dovranno inoltre essere sviluppate delle ipotesi per la quantificazione dei costi delle perforazioni profonde (1000/1500 m) tenendo conto di differenti scenari e condizioni (carotaggio continuo, distruzione di nucleo, diametro dei fori, casing, misure in pozzo per la caratterizzazione degli acquiferi, etc.).	45