



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ACCORDO DI PROGRAMMA
TRA MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO ED ENEA
PER LA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO
ATTIVITÀ ENEA 2013-2017
NELL'AMBITO DEL POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

RELAZIONE

Dicembre 2017

1. Premessa

Le attività ENEA relative alla Ricerca di Sistema Elettrico (RdS) tengono conto a partire dal Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2013 di quanto stabilito *dall'Accordo per l'attuazione del Protocollo d'intesa MiSE/RAS* del 2 agosto 2013, stipulato tra MiSE, RAS, ENEA e Sotacarbo in data 7 agosto 2014, e del documento *"Proposta di linee di attività per il Polo tecnologico del Sulcis – Accordo di Programma Ricerca di Sistema Elettrico"*.

In ottemperanza all'Accordo MiSE/RAS sopra citato, i finanziamenti annuali previsti per le attività relative al Polo tecnologico del Sulcis sono stati di 3000 k€, di cui 2200 k€ per attività Sotacarbo e 800 k€ per attività ENEA.

Specificatamente nei diversi Piani Annuali di Realizzazione le tematiche dei Piani Triennali della RdS interessate dalle attività del Polo sono state le seguenti:

PAR 2013, attività svolte nel periodo 1 ottobre 2013-30 settembre 2014

- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili (ENEA 800 k€)

PAR 2014, attività svolte nel periodo 1 ottobre 2014-30 settembre 2015

- Energia elettrica da biomasse (ENEA 100 k€)
- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili (ENEA 500 k€)
- Studio e progettazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico (ENEA 200 k€)

PAR 2015, attività svolte nel periodo 1 ottobre 2015-30 settembre 2016

- Bioenergia (ENEA 100 k€)
- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili (ENEA 500 k€)
- Edifici ad energia quasi Zero (nZEB) (ENEA 200 k€)

PAR 2016, attività svolte nel periodo 1 ottobre 2016-30 settembre 2017

- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili (ENEA 800 k€)
- Edifici ad energia quasi Zero (nZEB) (attività solo Sotacarbo)

In ogni annualità, con l'eccezione del PAR 2016 che è tuttora in fase di approvazione, le attività proposte sono state valutate positivamente ed approvate dagli esperti incaricati dalla AEEGSI.

Di seguito si riporta il dettaglio delle sole attività ENEA svolte nei diversi PAR.

2. Piano Annuale di Realizzazione 2013

Il Piano Annuale di Realizzazione 2013, è relativo al periodo 1 ottobre 2013 - 30 settembre 2014, rappresenta la seconda annualità del Piano Triennale 2012-2014 e prevedeva lo svolgimento delle attività del Polo all'interno del Progetto B.2 **"Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili"**, di cui si riporta il dettaglio.

Progetto B.2 "Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili"

a. Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi e liquidi

Erano previsti i seguenti sotto-obiettivi:

Tecnologie avanzate di gassificazione presso impianto GESSYCA

L'attività sperimentale di gassificazione è stata condotta presso l'impianto GESSYCA (GEneratore 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, a supporto delle attività e dell'upgrade delle facility sperimentali di più ampia scala disponibili e realizzate presso SOTACARBO. 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 sono state testate differenti tipologie di carbone, biomasse (cippato di legno) e loro miscele, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test, Parallelamente sono state svolte attività a supporto dei "Test di gassificazione presso la piattaforma pilota Sotacarbo" e di quelli "di separazione della CO₂ da syngas" per quanto attiene alla pianificazione e conduzione delle esperienze. In particolare, il monitoraggio delle temperature della piattaforma pilota SOTACARBO è stato effettuato a cura di ENEA, e condotto attraverso la strumentazione del mantello e della griglia.

Partecipazione alle attività di progettazione delle modifiche all'impianto dimostrativo SOTACARBO per co-gassificazione di carbone e biomasse

ENEA ha curato 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.

Sperimentazione relativa alla produzione SNG da CO e CO₂: Metodi innovativi per la purificazione dal TAR e sintesi di nuovi catalizzatori

Sono state 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 CO₂, deve essere in purezza tale da rispettare le specifiche della rete gas. È stato sviluppato e sintetizzato in laboratorio un nuovo catalizzatore, caratterizzato da prestazioni (efficienza) superiori e 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 è proseguita per definire le differenti problematiche e per fornire una prima stima dei costi di produzione dell'SNG a partire da diversi materiali.

Questa attività è stata svolta a supporto del parallelo programma sperimentale condotto da SOTACARBO volto alla caratterizzazione e trattamento del syngas da biomassa.

Tecnologie Coal and Biomass to Liquid (CBTL)

Si tratta di un insieme assai vario di tecnologie di potenziale interesse SOTACARBO, 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 CO₂-neutro, caratterizzato da assenza di composti aromatici e zolfo, e da una resa per ettaro confrontabile a quella dei biodiesel.

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 ha previsto, a partire da quanto sviluppato nelle passate annualità, 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. È stata 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. In parallelo all'attività teorica, a cura del Politecnico di Milano nell'ambito di uno specifico Contratto di Collaborazione, sono stati testati sperimentalmente catalizzatori innovativi su un impianto in scala laboratorio operante ad alta pressione.

b. Cattura della CO₂ in Ossi-Combustione

Sviluppo di sistemi diagnostici

Nell'ipotesi realistica di realizzare nel Sulcis un impianto Pilota da 48MWt, dimostratore della tecnologia "ISOTHERM PWR®" è stata pianificata un'attività volta allo sviluppo di una serie di sistemi diagnostici per la misura delle seguenti variabili di processo, fondamentali per il controllo del reattore:

- misura del contenuto di O₂ 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;

Produzione acido solforico dai fumi di ossi-combustione: attività sperimentale di laboratorio

Sono stati effettuati test su scala laboratorio, svolti presso il ENEA C.R.Casaccia, del sistema di conversione di ossidi di zolfo (SO₂ e tracce di SO₃) in acido solforico (H₂SO₄), per individuare e valutare il catalizzatore più idoneo alla sintesi dell'acido solforico, di tipo commerciali e non. E' stato anche previsto un 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.

Analisi di ciclo e studio della soluzione di massimo efficientamento dell'impianto integrato da 48MWt

L'attività ha permesso di 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. Nello specifico, fatti salvi i parametri operativi del sistema di combustione, è stato effettuato un confronto prestazionale tra un ciclo a vapore ultra-super critico (USC) ed una soluzione di prospettiva basata su di un ciclo a CO₂ supercritica (SCO₂).

Il layout impiantistico del ciclo a vapore è stato poi implementato basandosi sulle soluzioni adottate negli impianti di più recente costruzione. Per quando riguarda il ciclo a SCO_2 , non esistendo realizzazioni di taglia significativa, è stata 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.

c. Monitoraggio della CO_2 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_2 . A tal riguardo, le stazioni installate hanno permesso di avviare la costruzione di un database finalizzato a comprendere i valori tipici di CO_2 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_2 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_2 disciolta, il database acquisito ha fornito importanti indicazioni per caratterizzare la baseline nelle diverse stagioni, tenendo conto in questo modo del diverso grado di attività della degradazione della materia organica.

Tutto ciò si renderà utile nelle fasi di iniezione e post-iniezione di CO_2 , per distinguere la presenza di reali fughe dal serbatoio di stoccaggio dalle normali variazioni naturali.

Sperimentazione di una rete fissa e mobile di monitoraggio geochimico nell'area del bacino Sulcis

È stata effettuata 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, ha portato 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.

La rete di monitoraggio fisso esistente è stata ampliata, a cura dell'Università di Roma, 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, ha effettuato un monitoraggio discontinuo dei gas da suolo in singolarità (faglie) del potenziale bacino di stoccaggio, avvalendosi di una stazione di monitoraggio di CO_2 (flussi, concentrazioni), H_2O 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_2 , 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.

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

L'opera di comunicazione e diffusione dei risultati del progetto in diversi ambiti e forme si è esplicata 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 CO₂, organizzata nel mese di Luglio 2014 presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia.

Con questa iniziativa, SOTACARBO ed ENEA, 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'evento 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 CO₂ (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 è stata affidata a professori universitari ed esperti provenienti dal mondo della ricerca e dal settore industriale, con una presenza significativa in particolare di esponenti di SOTACARBO, dell'ENEA, dell'Università di Cagliari.

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

3. Piano Annuale di Realizzazione 2014

Il Piano Annuale di Realizzazione 2014 è relativo al periodo 1 ottobre 2014 - 30 settembre 2015, rappresenta la terza annualità del Piano Triennale 2012-2014 e prevedeva lo svolgimento delle attività del Polo all'interno dei Progetti B.1.1 **"Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili"**, B.2 **"Cattura e sequestro della CO2 prodotta da combustibili fossili"** e C.2 **"Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico"** di cui si riporta il dettaglio.

Progetto B.1.1 "Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili"

Sono proseguite attività sperimentali relative alle biomasse già avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di trattamento del syngas prodotto, con cui si è potuto verificare la possibilità di utilizzare l'impianto di gassificazione up-draft, producendo un syngas con un buon potere calorifico e qualitativamente costante nel corso di tutta la sperimentazione. L'obiettivo finale è lo sviluppo di tecnologie associate alla gassificazione delle biomasse per le quali è possibile utilizzare gli impianti di gassificazione del carbone.

Le attività hanno previsto tre sotto-obiettivi.

Progetto e realizzazione delle modifiche dell'impianto Dimostrativo SOTACARBO

Sono state apportate modifiche all'impianto dimostrativo per migliorare l'esercizio dello stesso e ottimizzare la fase di sperimentazione.

In particolare:

- Progettazione, modifica ed ottimizzazione del sistema di scarico delle ceneri
- Modifica dei sistemi di venting relativi al syngas
- Progettazione e realizzazione di un sistema di caricamento automatico del combustibile, in sostituzione dell'attuale sistema manuale
- Ottimizzazione del sistema di adduzione aria processo al gassificatore
- Potenziamento dei sistemi di misura dei principali parametri di processo
- Progettazione del sistema di abbattimento degli inquinanti presenti nel syngas

Una significativa partecipazione del personale ENEA è stata necessaria per la fase di progettazione delle modifiche da effettuare e per quanto riguarda il commissioning dell'impianto a valle delle modifiche. In particolare, ENEA ha collaborato alla progettazione e sperimentazione sull'impianto di gassificazione Sotacarbo da 5 MWt. Avvalendosi anche dell'esperienza maturata nell'esercizio di impianti a biomassa presso il C.R. ENEA della Trisaia, è stato dato supporto alle attività di predisposizione delle procedure operative, sperimentazione ed elaborazione dei dati ed alla realizzazione delle modifiche impiantistiche. Nello specifico, ENEA ha curato la progettazione delle modifiche della griglia mobile, del sistema di scarico ceneri e del sistema di monitoraggio termico (mediante l'installazione di termocoppie), al fine di renderla idonea all'esercizio del gassificatore con biomasse e consentirne il funzionamento in continuo.

Sperimentazione presso Impianto Dimostrativo SOTACARBO

Sono state predisposte le procedure operative sia per la fase di sperimentazione, sia per la successiva fase di esercizio per la generazione elettrica in continuo e sono stati effettuati test sperimentali di lunga durata al fine di pervenire ad una prima caratterizzazione dell'impianto in fase di funzionamento in regime stazionario.

Tecnologie avanzate di co-gassificazione e trattamento tar

Sono proseguite le attività sperimentali avviate nel precedente PAR, al fine di ottenere un più approfondito sviluppo e caratterizzazione del processo di co-gassificazione biomassa-carbone. L'attività sperimentale di gassificazione in oggetto è stata condotta presso l'impianto GESSYCA di ENEA, messo a punto nel precedente PAR. Su di esso sono state testate differenti tipologie di biomasse, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso delle prove. Con l'obiettivo di purificare il syngas nel suo contenuto in TAR, è stato progettato, realizzato e caratterizzato con test di validazione, un sistema di abbattimento del tar e del particolato mediante un reattore secondario di reforming catalitico ossidativo che, collocato in serie al gassificatore, andrà a trattare il syngas prodotto al fine di assicurarne la compatibilità con l'utilizzo in motori a combustione interna.

Progetto B.2 "Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili"

a. Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi

L'attività sperimentale è stata condotta presso l'impianto GESSYCA di ENEA-C.R.Casaccia, messo a punto nel precedente PAR, testando differenti tipologie di carbone, biomasse (cippato di legno) e loro miscele, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test, con l'obiettivo di sviluppare procedure automatiche di conduzione ed esercizio di impianto. L'attività è svolta a supporto delle attività e dell'upgrade delle facility sperimentali di più ampia scala disponibili e realizzate presso SOTACARBO. Sono state 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. La misura dell'effettiva portata del syngas ha permesso di caratterizzare il processo quantitativamente definendo le prestazioni del gassificatore in termini di efficienza (rendimento di gas caldo e gas freddo) per confrontare le prestazioni dell'impianto a seconda della tipologia di combustibile utilizzato e a seconda delle differenti condizioni di esercizio. Nell'ambito di queste attività, è stato affidato al Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG) dell'Università di Cagliari un'attività di caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse.

b. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂

La produzione di SNG (Substitute Natural Gas) da carbone presenta il vantaggio di ottenere un gas immediatamente collocabile sul mercato della distribuzione verso gli usi finali. 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 PAR 2014 è stata completata la sezione dell'impianto prova GESSYCA per la produzione di SNG da carbone, equipaggiando l'impianto della sensoristica e di tutti gli ausiliari necessari al corretto funzionamento delle sezioni di clean-up, conversione del syngas e upgrading fino a alla produzione di gas ad elevato contenuto di metano.

L'attività ha previsto test sperimentali, svolti presso ENEA-C.R.Casaccia, su catalizzatori di natura commerciale al fine di ottimizzare il processo per un suo successivo upgrade.

c. Sviluppo di diagnostica per applicazioni in ossi-combustione: studio di sistemi ottici per la misura dell'ossigeno nei prodotti di combustione in regime MILD

L'attività di ricerca, proseguendo quanto già impostato nel precedente PAR a supporto del Pilota da 48 MW basato su tecnologia ISOTHERM-PWR da realizzare verosimilmente nel Sulcis, riguarda lo sviluppo di sensori per la misura della percentuale relativa e/o assoluta del contenuto dell'ossigeno molecolare nei fumi di combustione prodotti da un sistema a combustibile fossile, operante in regime MILD, (ovvero in assenza di fronte di fiamma), ad alta temperatura (1600 °C circa) e ad alte pressioni (5-10 bar). Per risolvere il problema è stata proposta una soluzione tecnica nuova, basata sulla spettroscopia ad emissione ottica (OES, Optical Emission Spectroscopy) degli atomi o molecole eccitati, in un ambiente in cui si genera un plasma il più possibile confinato.

Ciò è stato realizzato mediante un impianto in grado di innescare un plasma con un generatore a Radio Frequenza, denominato LS500, che presenta caratteristiche tali da individuare i parametri caratteristici che influenzano l'emissione spettrale del plasma.

Nel PAR corrente sono state avviate due linee di attività, una a carattere sperimentale e l'altra di tipo progettuale per le modifiche all'apparato sperimentale esistente.

La fase sperimentale ha previsto la misura degli spettri emessi dal plasma al variare della pressione e della tensione di bias della camera in cui prodotto il plasma, mentre la fase di studio e progetto ha riguardato la realizzazione di una camera a vuoto compatta, in cui il plasma venga acceso in condizioni di grandi flussi (> 100 sccm) e pressioni nell'intervallo tra 10^{-1} e 10 mbar.

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

L'azione di comunicazione e diffusione dei risultati del progetto in diversi ambiti e forme si è esplicata 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.

In particolare è da sottolineare l'organizzazione della "Sulcis Summer School on CCS Technologies", Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO₂, giunta alla sua terza edizione. L'evento, tenuto presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia nel mese di Luglio 2015, è stato organizzato congiuntamente, e in stretta collaborazione, da SOTACARBO, ENEA e Università di Cagliari nell'ambito delle attività del Polo Tecnologico Carbone Pulito.

Con questa iniziativa gli organizzatori hanno inteso consolidare un evento di valenza internazionale, che si propone come sede stabile di approfondimento e aggiornamento sugli argomenti e le problematiche relative alle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂. L'iniziativa si è rivolta a studenti universitari della laurea magistrale 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.

Progetto C.2 "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico"

Efficienza energetica negli edifici del territorio del Sulcis

L'obiettivo ha riguardato lo svolgimento di due macro attività relative alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico e lo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis.

Realizzazione un data base degli edifici pubblici

Sviluppo di una metodologia di indagine finalizzata alla creazione di una banca dati regionale, realizzazione di schede tecniche per la caratterizzazione degli edifici, utilizzo di strumenti informatici per la valutazione degli interventi e realizzazione di corsi di formazione al personale Sotacarbo o personale da questa coinvolti per l'indagine conoscitiva e realizzazione di un primo inventario degli edifici pubblici del Sulcis. In questo ambito è stata effettuata anche l'organizzazione di seminario aperto a tutti gli operatori per la comunicazione dell'attività.

Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati

Si è sviluppata, nell'ambito della certificazione energetica di edifici vincolati (di valenza storica e/o culturale) una metodologia di analisi del sistema edificio/impianto finalizzata all'individuazione di soluzioni tecniche impiantistiche per l'efficientamento energetico di edifici con queste caratteristiche. In pratica si opera sugli impianti energetici e sull'integrazione di fonti rinnovabili integrate. Tra le diverse soluzioni investigate quelle relative ai sistemi basati su pompe di calore geotermiche che ben si prestano all'integrazione con questo tipo di edifici grazie al ridotto impatto visivo. Una soluzione ulteriore è invece quella che prevede l'integrazione di impianti di illuminazione e di produzione di energia elettrica con sistemi di arredo urbano opportunamente integrati in aree verdi prospicienti agli edifici o in prossimità delle vie di accesso e dei percorsi pedonali. L'ENEA ha affiancato la Sotacarbo nella fase di scelta e acquisto della sensoristica e svolto attività di training ai tecnici Sotacarbo per le modalità di installazione dei dispositivi, il loro funzionamento per l'acquisizione dei dati e le relative elaborazioni. ENEA inoltre ha sviluppato una metodologia che prevede la realizzazione di un sistema georeferenziato per la localizzazione dei singoli edifici e una scheda di sintesi per la loro caratterizzazione organizzando anche corsi di formazione al personale Sotacarbo per l'indagine conoscitiva e realizzazione di un primo inventario degli edifici pubblici del territorio del Sulcis.

Si sono organizzati corsi di formazione sul tema dell'efficienza energetica degli edifici vincolati anche alla luce di quanto sta maturando nel contesto della Concerted Action su questi temi, affiancando il personale Sotacarbo per i criteri da seguire e le tecnologie da valutare in relazione alle zone climatiche e alle tipologie di edificio su cui intervenire.

4. Piano Annuale di Realizzazione 2015

Il Piano Annuale di Realizzazione 2015 è relativo al periodo 1 ottobre 2015 - 30 settembre 2016, rappresenta la prima annualità del Piano Triennale 2015-2017 e prevedeva lo svolgimento delle attività del Polo all'interno dei Progetto B.1.1 **"Bioenergia "**, B.2 **"Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili"** e D.2 **"Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (NZEB)"** di cui si riporta il dettaglio.

Progetto B.1.1 "Bioenergia "

Le attività svolte nell'ambito dell'Accordo MiSE/Regione Autonoma della Sardegna/ENEA/Sotacarbo per lo sviluppo del Polo Tecnologico del Sulcis hanno riguardato in particolare lo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione di biomasse e di trattamento del syngas prodotto, con l'obiettivo finale di verificare la possibilità di utilizzare impianti di gassificazione concepiti originariamente per il solo utilizzo di carbone, come il gassificatore a letto fisso updraft da 5 MWt presente nel Centro Ricerche Sotacarbo, con un'alimentazione con la sola biomassa o, in prospettiva, mista biomassa-carbone.

Le attività sono state svolte prevalentemente presso il Centro Ricerche Sotacarbo di Carbonia, con il supporto e la collaborazione tecnica e scientifica dell'ENEA e si sono articolate in tre sotto-obiettivi, di cui solo l'ultimo, quello riguardante l'attività sulle tecnologie avanzate di gassificazione e abbattimento dei tar, è stato in parte svolto presso l'impianto GESSYCA del C.R. ENEA Casaccia. ENEA ha collaborato nei vari interventi di implementazione e di modifiche all'impianto Dimostrativo Sotacarbo, per poterne migliorare l'esercizio e ottimizzato la fase di sperimentazione, partecipando inoltre alla sperimentazione dei processi di gassificazione di biomasse sul suddetto impianto.

L'obiettivo dell'attività è riuscire a purificare il syngas dal suo contenuto in tar, per cui sono stati eseguiti test sperimentali sul reattore secondario di reforming catalitico ossidativo realizzato nel corso del precedente PAR e collocato in serie al gassificatore. Il processo di reforming ossidativo è stato studiato utilizzando sia un riempimento inerte che composti di tipo basico. Per ciò è stato affidato un contratto al Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali della Sapienza Università di Roma (DICMA) che, avendo progettato e sperimentato in scala da laboratorio il processo di reforming catalitico ossidativo, ha affiancato l'ENEA anche nella sperimentazione.

Progetto B.2 "Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili"

E' stata effettuata la progettazione, realizzazione e sperimentazione di impianti pilota e dimostrativi di innovazione tecnologica finalizzati allo sviluppo di studi e sperimentazioni sulle nuove tecnologie e la realizzazione di impianti industriali Low Carbon, nella più ampia strategia di sviluppo di nuovi sistemi di separazione e cattura precombustione e postcombustione della CO₂ meno costosi e meno energivori degli attuali, nuove tecniche di rigenerazione dei solventi e di un campo di sperimentazione europeo di diverse tecniche di confinamento in strati sotterranei profondi del bacino carbonifero del Sulcis, delle tecniche di compressione, stoccaggio criogenico, trasporto e confinamento, della CO₂ catturata.

a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione e produzione di combustibili gassosi

Sono proseguite le attività avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO₂ da syngas e fumi con solventi liquidi, svolte presso la piattaforma Pilota ed i laboratori Sotacarbo, collaborando alla predisposizione delle specifiche di prova, alla sperimentazione ed all'elaborazione dei dati.

Sono state inoltre condotte, presso il C.R. Casaccia, attività di produzione di combustibili gassosi per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica a supporto delle attività svolte presso Sotacarbo. In particolare si è acquisita nuova componentistica e sono stati effettuati interventi migliorativi sull'impianto GESSYCA (GEneratore SPerimentale di SYngas da CARbone dotato di un gassificatore a letto fisso up-draft).

È stato affidata al Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG) dell'Università di Cagliari a proseguo di quanto svolto nella passata annualità, un'attività di caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse, nonché del tar e delle ceneri. L'attività ha consentito di ottimizzare la procedura di prelievo del gas per la determinazione dei macrocostituenti e dei principali contaminanti del syngas, con particolare attenzione alla temperatura di prelievo del TAR, per consentire la raccolta delle frazioni più pesanti. Sono stati eseguiti campionamenti finalizzati all'analisi della composizione del syngas relativamente ai macrocostituenti (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , O_2 , H_2O) e contaminanti principali (H_2S , COS , HCl , HF , NH_3), alla presenza di polveri, e alla quantificazione e caratterizzazione composizionale del TAR.

b. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂

L'obiettivo prevede la prosecuzione delle attività svolte nella passata annualità sul medesimo argomento, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica, minimizzando l'impatto ambientale. 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. Ulteriori sviluppi del processo di produzione di SNG prevedono la sua applicazione nell'ambito del Power To Gas, dove il surplus di energia elettrica, tipico di alcune fonti rinnovabili a carattere aleatorio, viene convertito in uno stoccaggio di tipo chimico costituito da metano.

In questa annualità sono stati acquisiti componenti e sensoristica relativi alla sezione per la produzione di SNG da carbone dell'impianto prova GESSYCA necessari al corretto funzionamento delle sezioni di clean-up, conversione del syngas e upgrading fino alla produzione di gas ad elevato contenuto di metano. Sono stati quindi effettuati test sperimentali del processo di produzione di SNG a partire da miscele di idrogeno, monossido di carbonio e CO_2 su catalizzatori di natura commerciale.

Sulla base di quanto emerso nella passata annualità si è proseguito con le attività sulle membrane polimeriche che si erano mostrate idonee per la purificazione del SNG, studiando ulteriori aspetti quali: la durabilità (resistenza all'invecchiamento), la resistenza all'effetto di altri componenti sulla permeazione (umidità), la scalabilità del sistema e l'effetto di altri componenti sulle proprietà di trasporto.

c. Sviluppo di diagnostica avanzata per applicazioni in ossi-combustione e monitoraggio della CO₂

A supporto del realizzando impianto a ossi-combustione pressurizzata nel Sulcis, è proseguito, dalla annualità precedente, lo studio di sistemi ottici innovativi per la misura in tempo reale dell'ossigeno nei prodotti di ossi combustione, al fine di controllare l'efficienza di combustione. Le attività condotte hanno portato alla individuazione di tecnologie innovative che possono essere applicate allo sviluppo di uno strumento compatto, economico ed utilizzabile in ambito industriale. L'ambiente particolarmente ostile in cui effettuare le misure della concentrazione assoluta e/o relativa dei gas ($T > 700^\circ C$ e $p > 4$ bar), ha fatto ricadere la scelta sulle tecniche di tipo spettroscopico. In particolare, lo strumento il cui sviluppo è in corso è basato sulla spettroscopia ad emissione indotta da plasma RF. È stato effettuato altresì in quest'ambito il progetto, la realizzazione e lo sviluppo di prototipi di filtri ottici per spettrometri ultraleggeri portatili finalizzati al rilevamento della CO_2 per il monitoraggio superficiale di ampie aree insistenti sui siti di stoccaggio geologico.

d. Comunicazione e divulgazione dei risultati

Al fine di valorizzare i risultati dell'attività svolta nell'intero progetto una particolare attenzione è stata rivolta agli aspetti di comunicazione e diffusione dei risultati, in diversi ambiti, forme e con l'organizzazione di iniziative di particolare rilievo.

Questa azione si è articolata attraverso:

- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari, convegni;
- aggiornamento sito web e brochure impianti.

Un discorso a parte merita l'organizzazione della "Sulcis Summer School on CCS Technologies", Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO₂, giunta alla sua terza edizione, che si è tenuta presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia nel mese di Luglio 2016, è organizzato congiuntamente, e in stretta collaborazione, da Sotacarbo, ENEA e Università di Cagliari.

Nel corso dell'annualità è stato effettuato anche un workshop tematico sui risultati ottenuti nel PAR 2014 e sulle attività svolte nell'ambito del PAR 2015.

Progetto D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (NZEB)"

Le conoscenze acquisite dal personale del Polo Tecnologico nel precedente Piano Triennale sono state applicate e ulteriormente sviluppate nell'ambito della riqualificazione energetica nZEB degli edifici pubblici, individuati nel data base realizzato, con particolare riferimento agli edifici scolastici.

Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

ENEA ha eseguito la diagnosi energetica edificio selezionato da SOTACARBO, con l'utilizzo del software ENEA SEAS costruito per semplificare le procedure di diagnosi. In tal modo si amplia lo spettro di tipologie di edifici con le quali si verificherà la validità di questo software per lo studio della riqualificazione a nZEB degli edifici, destinato a diventare uno strumento di riferimento nazionale.

Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

ENEA ha elaborato i dati dei sensori del microclima interno di un edificio, attrezzato con la strumentazione necessaria prevista in accordo alla normativa nazionale del settore, valutando opportuni indicatori della qualità dell'aria interna.

5. Piano Annuale di Realizzazione 2016

Il Piano Annuale di Realizzazione 2016 è relativo al periodo 1 ottobre 2016 - 30 settembre 2017, rappresenta la seconda annualità del Piano Triennale 2015-2017 e prevede lo svolgimento delle attività del Polo all'interno del Progetto **"Polo - Tecnologie e Metodologie 'Low Carbon' e Edifici ad energia quasi Zero (nZEB)"**.

ENEA partecipa solamente alle attività relative a Tecnologie e Metodologie 'Low Carbon', mentre l'attività Edifici ad energia quasi Zero (nZEB) è portata avanti esclusivamente da Sotacarbo.

L'iter di approvazione del PAR 2016 è attualmente in corso, a valle della quale si provvederà a consuntivare le attività effettuate.