



Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

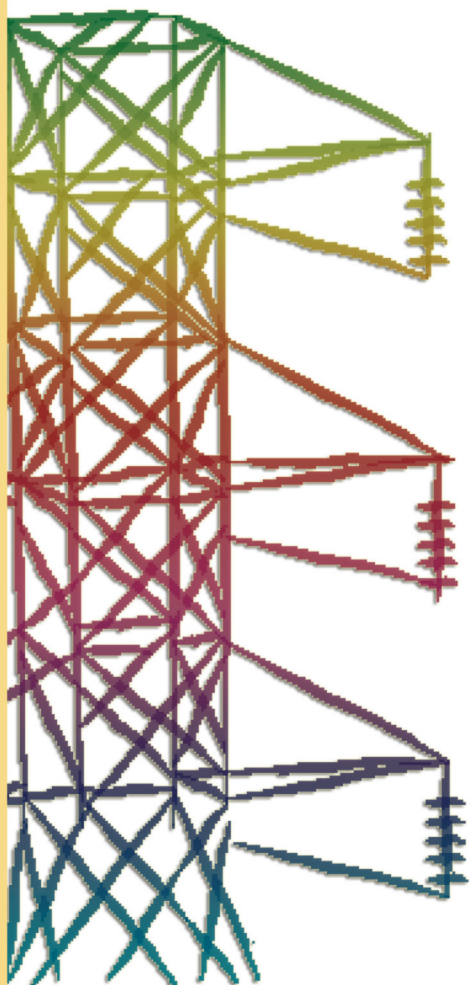


Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Attività preliminari alla applicazione delle tecniche ECBM al bacino del Sulcis

R. Cara, C. Frau, A. Plaisant





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Attività preliminari alla applicazione delle tecniche ECBM al bacino
del Sulcis

R. Cara, C. Frau, A. Plaisant

ATTIVITÀ PRELIMINARI ALLA APPLICAZIONE DELLE TECNICHE ECBM AL BACINO DEL SULCIS

R. Cara, C. Frau, A. Plaisant (SOTACARBO)

Marzo 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Tecnologie innovative che consentano una riduzione dei costi di investimento delle centrali a polverino di carbone. Sviluppo di tecnologie di impiego del polverino di carbone a differenti granulometrie con cattura e sequestro della CO₂

Responsabile Tema: Paolo Deiana, ENEA

Accordo di collaborazione tra ENEA e SOTACARBO per l'attività di ricerca dal titolo "Tecnologie di impiego del polverino di carbone a differenti granulometrie con cattura e sequestro della CO₂"

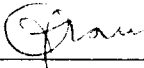
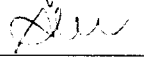
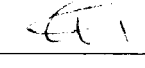
nell'ambito del tema di ricerca 5.2.5.2.

"Tecnologie innovative che consentano una riduzione dei costi di investimento delle centrali a polverino di carbone" dell'accordo di programma MSE-ENEA

Rapporto tecnico

Attività 5.2.5.2. - F2

Attività preliminari alla applicazione delle tecniche ECBM al bacino del Sulcis

Eseguito da:	Cara; Frau; Plaisant	
Verifica	Alessandra Madeddu	
Supervisione	Carlo Amorino	

PREMESSA

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE-ENEA relativamente al tema di ricerca 5.2.5.2 "Tecnologie innovative che consentano una riduzione dei costi di investimento delle centrali a polverino di carbone" e riguarda le attività F2 "Sviluppo di modelli teorici e simulazioni numeriche, effettuazione di indagini geologiche, avvio di attività analitiche di laboratorio mirate all'applicazione delle tecniche ECBM all'interno del bacino carbonifero del Sulcis".

L'allegato tecnico all'Accordo di Programma specifica che "verrà eseguita in questo frangente la progettazione e la realizzazione delle prime infrastrutture di iniezione e monitoraggio dell'impianto prova Test Site a cui farà seguito una prima campagna sperimentale di iniezione e monitoraggio".

Tali attività richiedono la disponibilità del sito su cui realizzare il test site nonché le relative concessioni di ricerca che attualmente sono di proprietà della società che estrae il carbone Sulcis.

In tale frangente e con particolare riferimento alla progettazione, Sotacarbo si è proposta per studiare un progetto di massima di un sistema di separazione e cattura della CO₂ da applicarsi all'impianto su scala pilota della Piattaforma Sotacarbo in grado di fornire il gas da iniettare, con l'impiego delle tecniche ECBM, al bacino carbonifero del Sulcis.

Si è pertanto proceduto alla realizzazione di un progetto di massima che comprende:

- Completamento del sistema di pulizia del syngas dell'impianto su scala pilota;
- Sviluppo del sistema di cattura e separazione della CO₂ da uno "stream" del syngas prodotto;
- Ipotesi di sistema di trasporto della CO₂ dalla piattaforma pilota al test site di iniezione;
- Valutazione economica del progetto (si è fatto riferimento all'offerta del 04.11.2008 richiesta alla TPI di Bergamo per un impianto di cattura e recupero di CO₂ da syngas, che qui si allega).

INDICE

INTRODUZIONE	3
1. INDIVIDUAZIONE DELLA SORGENTE.....	4
2. L'IMPIANTO DI GASSIFICAZIONE SOTACARBO	6
2.1 SISTEMA DI CARICAMENTO ED ALIMENTAZIONE DEL CARBONE	6
2.2 GASSIFICATORE	6
2.3 SCRUBBER.....	9
2.4 TORCIA.....	10
3. SEZIONE DI PURIFICAZIONE ED ARRICCHIMENTO DEL SYNGAS	11
3.1 SEZIONE DI DESOLFORAZIONE A FREDDO.....	11
3.2 SEZIONE DI ARRICCHIMENTO (CO-SHIFT)	12
4. SEZIONE DI CATTURA/RECUPERO DELLA CO₂.....	13
4.1 SEZIONE DI CATTURA E RECUPERO.....	15
4.1.1 <i>Torre di Assorbimento.....</i>	<i>15</i>
4.1.2 <i>Torre di Strippaggio.....</i>	<i>16</i>
4.2 SISTEMA DI TRATTAMENTO E LIQUEFAZIONE DELLA CO₂	17
4.2.1 <i>Compressore.....</i>	<i>17</i>
4.2.2 <i>Sezione di essiccamento.....</i>	<i>18</i>
4.2.3 <i>Torre a carboni attivi.....</i>	<i>19</i>
4.2.4 <i>Sistema di liquefazione.....</i>	<i>20</i>
4.3 SEZIONE STOCCAGGIO CO₂.....	20
5. APPARECCHIATURE ANALITICHE	21
6. IPOTESI DI SISTEMA DI TRASPORTO DELLA CO₂.....	22
7. VALUTAZIONI ECONOMICHE.....	23

INTRODUZIONE

Lo studio riguarda l'impostazione del progetto di massima per la realizzazione di un impianto di recupero della CO₂ contenuta nel syngas da carbone prodotto da un gassificatore a letto fisso up-draft a ceneri secche di tecnologia Wellman-Galusha, avente potenzialità di 700 kg/h di carbone (corrispondenti a 4,8 MW termici), facente parte della Piattaforma Pilota della Sotacarbo S.p.A..

Inizialmente l'accordo di programma di cui sopra, prevedeva lo sviluppo di modelli teorici e simulazioni numeriche, l'effettuazione di indagini geologiche, l'avvio di attività analitiche di laboratorio mirate all'applicazione delle tecniche ECBM all'interno del Bacino Carbonifero del Sulcis.

Successivamente, vista l'impossibilità di predisporre il rapporto di cui sopra, in quanto necessiterebbe di analisi in campo e di specifiche concessioni per la ricerca di metano nel bacino carbonifero del Sulcis, concesse attualmente alla Carbosulcis, si è deciso di sviluppare un altro documento sulla progettazione di massima di un sistema di cattura e recupero della CO₂ da syngas da installare nell'impianto di gassificazione di taglia pilota, già presente nella piattaforma pilota Sotacarbo.

L'attuale lavoro si propone, pertanto, di definire una configurazione di massima di un impianto di recupero della CO₂ con capacità pari a 250 kg/h (quantitativo stimato per l'applicazione delle tecniche ECBM), utilizzando il syngas proveniente dal gassificatore pilota da 700 kg/h di carbone.

In particolare nello studio sono contenute informazioni riguardanti:

- Individuazione della sorgente di CO₂ e delle sue caratteristiche.
- Descrizione dell'impianto.
- Valutazioni economiche per la realizzazione della sezione di cattura e recupero della CO₂.

Il progetto di massima che di seguito verrà trattato costituisce l'integrazione per il recupero della CO₂. In prospettiva futura, per completare le attività di ricerca, l'integrazione dovrà riguardare anche un sistema di utilizzo dell'idrogeno che verrà prodotto dall'impianto, previa sua depurazione.

1. INDIVIDUAZIONE DELLA SORGENTE

Lo scopo principale dello studio, è quello di fornire indicazioni per la realizzazione di un sistema di cattura e recupero della CO₂ che potrà essere utilizzata in applicazioni della tecnologia ECBM al bacino carbonifero del Sulcis.

La CO₂ che potrà essere impiegata per applicazioni ECBM verrà estratta dal syngas prodotto nell'impianto di gassificazione pilota da 700 kg/h di carbone, preventivamente trattato con sistemi di depurazione ed arricchito nel suo contenuto in CO₂ attraverso trattamento chimico.

L'impianto di gassificazione della Piattaforma Pilota Sotacarbo risulta attualmente costituito dalle seguenti unità principali:

- Sistema di caricamento e alimentazione carbone.
- Gassificatore.
- Scrubber.
- Torcia.

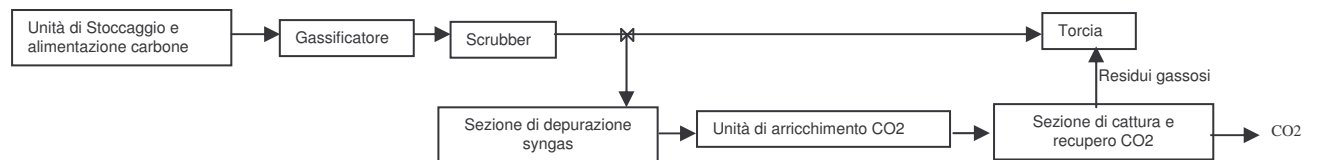


Fig.1 Schema a blocchi dell'impianto

Al fine di assicurare la portata di CO₂ necessaria ad alimentare un test site ECBM, il progetto sviluppato prevede l'integrazione di quanto già esistente con una sezione di trattamento syngas e recupero/cattura della CO₂. La sezione di completamento prevede l'inserimento delle seguenti unità principali:

- Sezione di depurazione;
- Sezione di arricchimento di CO₂
- Sezione di recupero/cattura CO₂;
- Sezione di stoccaggio e trasporto della CO₂.

In particolare la sezione di recupero/cattura CO₂ effettuerà il trattamento finale del syngas (la cui composizione è di seguito riportata in tabella) al fine di assicurare una produzione di 250 Kg/h di CO₂, quantitativo necessario per consentire il confinamento del gas nel sottosuolo con l'applicazione di tecniche ECBM al bacino del Sulcis.

Caratteristiche corrente gassosa in ingresso alla sezione di recupero/cattura CO₂	
Portata massica	924 Kg/h
Composizione attesa:	
CO	13.76 Kg/h
CO ₂	250.96 Kg/h
H ₂	35.76 Kg/h
CH ₄	3.51 Kg/h
H ₂ S	0.0002 Kg/h
COS	0.0013 Kg/h
N ₂	457.66 Kg/h
H ₂ O	154.49 Kg/h
HCl	0.0008 Kg/h

Tabella 1: caratteristiche corrente gassosa in ingresso alla sezione di recupero/cattura CO₂

2. L'IMPIANTO DI GASSIFICAZIONE SOTACARBO

La CO₂ destinata alla sezione di cattura e recupero sarà ottenuta dal trattamento del syngas da gassificazione di carbone.

L'impianto esistente risulta costituito, nei suoi componenti principali, da:

- Sistema di caricamento e alimentazione carbone.
- Gassificatore.
- Scrubber.
- Torcia.

2.1 Sistema di caricamento ed alimentazione del carbone

Il sistema di caricamento e alimentazione carbone (fornito in big-bags con una percentuale di carbone in pezzatura < 5 mm non superiore al 5%) è costituito dalle seguenti parti:

- Impianto di caricamento e alimentazione del carbone, costituito da un paranco disposto a monte del gassificatore 700 kg/h e da una tramoggia svuota sacconi.
- Impianto di abbattimento polveri, costituito da un ventilatore aspirante, da un filtro a maniche e da un sistema per la raccolta polveri.

2.2 Gassificatore

Il syngas è prodotto in un gassificatore a letto fisso up-draft a ceneri secche, di tecnologia Wellman-Galusha, alimentato con 700 kg/h di carbone (corrispondenti a 4,8 MW termici) di cui si riporta uno schema in figura 2.

La temperatura interna delle pareti del reattore è mantenuta sotto controllo mediante una camicia d'acqua di raffreddamento.

Nella parte alta del gassificatore sono alloggiati le 4 penetrazioni per i condotti di alimento del carbone, il tubo di uscita gas, alcuni bocchelli di servizio e la penetrazione per un rimescolatore ("Stirrer").

L'agitatore o "stirrer", ha lo scopo di rompere gli agglomerati ("ponti") che potrebbero formarsi all'interno del letto di reazione.

Oltre al carbone, in ingresso al gassificatore si ha una corrente d'aria, agente gassificante, e una di vapore, che agisce da moderatore delle reazioni.

All'uscita del gassificatore si ottiene gas di sintesi (syngas), la cenere di gassificazione viene raccolta dal basso mediante opportuno sistema di scarico.

Nel corpo del gassificatore, riempito con carbone, si individuano varie zone caratterizzate da temperature differenti, con relative e conseguenti condizioni operative originate dai diversi fenomeni che in esse si sviluppano. In particolare a contatto con la griglia si ha uno strato di ceneri, ad elevata temperatura, ma costituite sostanzialmente da inerti. Sopra lo strato di ceneri si ha la zona di combustione, costituita da carbone incandescente che brucia ad opera dell'ossigeno contenuto nella miscela gassificante. La temperatura della fase gassosa può raggiungere in questa zona valori compresi tra 1100 °C ed i 1200 °C. Al di sopra di tale strato si trova lo strato di gassificazione vero e proprio, in cui grazie a fenomeni di ossidazione parziale, si generano sostanze chimiche combustibili in fase gassosa costituite principalmente da idrogeno e monossido di carbonio. Tale fenomeno è endotermico e può avvenire solo grazie all'apporto di energia termica fornita dai fenomeni che si svolgono nella sottostante fase di combustione. In tale zona la temperatura del gas può arrivare a valori compresi tra gli 800 °C e 1100 °C.

Al di sopra della zona di gassificazione si trova la zona di essiccamento. In essa il carbone proveniente dal sistema di caricamento viene essiccato ad opera del gas caldo proveniente dalle zone sottostanti. La temperatura si abbassa ulteriormente fino a raggiungere valori compresi tra i 500 °C e 800 °C.

La zona di gassificazione e parte della zona di essiccamento sono soggette all'azione dell'agitatore (stirrer). L'agitatore ha la funzione di omogeneizzare il letto solido, eliminando eventuali vuoti formati in seguito a irregolare o disomogeneo consumo del letto.

Nel corpo riempito la temperatura viene monitorata da termocoppie poste sul mantello del gassificatore. Sono state previste 30 termocoppie, suddivise in cinque gruppi di sei elementi sensibili. I sei elementi di ogni gruppo sono distribuiti lungo la circonferenza del mantello a distanza regolare.

Da un bocchello che si affaccia nella parte superiore, il gas, la cui composizione è di seguito riportata in tabella viene alimentato alla sezione di impianto a valle del gassificatore.

Caratteristiche syngas all'uscita dal gassificatore	
Portata massica	2469,16 Kg/h
Temperatura	300 °C
Pressione	1.07 bar a
Composizione attesa:	
CO	922.6 Kg/h
CO ₂	55
H ₂	36.4 Kg/h
CH ₄	9.8 Kg/h
H ₂ S	3.6 Kg/h
COS	0.80 Kg/h
N ₂	1280.6 Kg/h
H ₂ O	154.8 Kg/h
HCl	0.36 Kg/h
Tar	126.45 Kg/h
Ash	5.2 Kg/h

Tabella 2: caratteristiche principali del syngas all'uscita del gassificatore

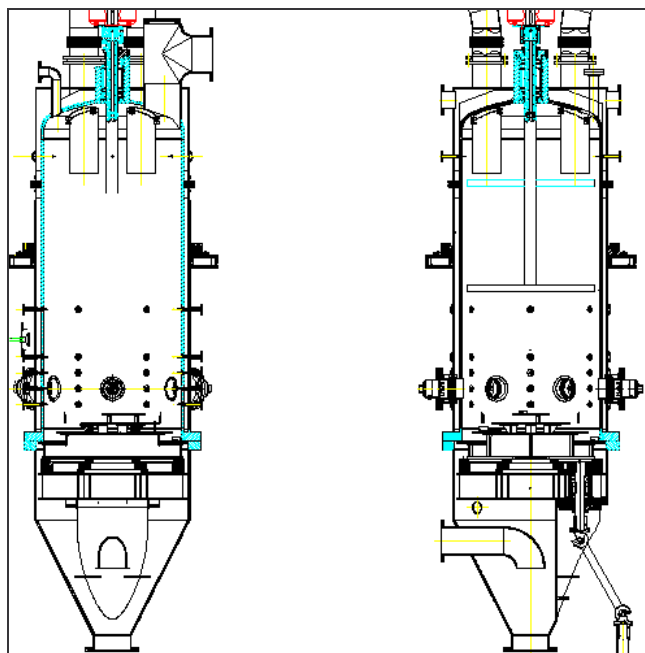


Fig 2: schema gassificatore

2.3 Scrubber

Attualmente la sezione di depurazione del syngas dell'impianto di gassificazione, è costituita unicamente da uno scrubber.

Esso riceve dal gassificatore il gas di sintesi ottenuto, ed è costituito da una spray-tower ad acqua; che provoca un netto abbassamento della temperatura del syngas (45 °C – 80 °C) e permette la condensazione dei composti organici trascinati dal flusso gassoso. (TAR Topping Atmospheric Residue). Il particolato presente viene estratto dalla corrente gassosa mediante trascinamento dell'acqua di lavaggio e l'acido cloridrico per la sua affinità con l'acqua viene abbattuto e segregato in fase liquida.

La corrente gassosa in uscita dallo scrubber ha una portata totale umida pari a circa 2395,46 Kg/h, temperatura pari a 45-80 °C e pressione compresa fra 1.05 e 1.1 bar.

L'acqua di lavaggio dello scrubber, contenente le polveri, il TAR e l'HCl rimossi dal syngas, viene raccolta nel fondo dello stesso componente; lo spurgo viene prelevato dal fondo dello scrubber, stoccato e avviato a impianti esterni per il trattamento.

In uscita dallo scrubber il syngas lavato (la cui composizione è riportata nella tabella seguente) passerà alla sezione di ulteriore depurazione (desolforazione), e, quindi, alla successiva sezione di arricchimento in CO₂ (CO-Shift).

Caratteristiche syngas all'uscita dello scrubber	
Portata massica	2548.36 Kg/h
Temperatura	50 °C
Pressione	1.02 bar a
Composizione attesa:	
CO	922.6 Kg/h
CO ₂	55
H ₂	36.4 Kg/h
CH ₄	9.8 Kg/h
H ₂ S	3.6 Kg/h
COS	0.80 Kg/h
N ₂	1280.6 Kg/h
H ₂ O	11.70 Kg/h
HCl	0.00 Kg/h
Tar	1.80 Kg/h

Tabella 3: caratteristiche principali del syngas all'uscita dello scrubber

2.4 Torcia

A tale sistema, nelle condizioni normali di funzionamento confluiranno i gas reflui provenienti dalle diverse sezioni dell'impianto (composti prevalentemente da azoto e idrogeno con tracce di metano e altri composti).

La torcia opera la combustione completa dei reflui, sostenuta da un combustibile di supporto (GPL).

I fumi derivanti da tale combustione vengono successivamente emessi in atmosfera attraverso il camino. La pressione operativa della torcia è compresa fra 1.05 e 1.1 bar e la temperatura massima che viene raggiunta in camera di combustione è pari a circa 1000 °C.

3. Sezione di purificazione ed arricchimento del syngas

Il flusso principale di syngas in uscita dallo scrubber verrà suddiviso in due stream: uno pari al 70% sarà inviato in torcia per lo smaltimento; mentre la restante parte 30% (pari ad una portata corrispondente a 750 kg/h) della corrente di syngas totale sarà inviata al sistema di depurazione (desolforazione), arricchimento, recupero/cattura della CO₂.

3.1 Sezione di desolforazione a freddo

La separazione dei composti solforati (acido solfidrico) contenuti nel syngas verrà condotta in un assorbitore (costituito da una torre a riempimento), operante a circa 40 °C, dove entrerà in contatto con una soluzione acquosa a base di solventi basici (soda e ipoclorito di sodio oppure ammine terziarie).

All'uscita dell'assorbitore il syngas avrà una portata e pressione pari rispettivamente a 2.375 Kg/h e 1 bar.

Reattore di desolforazione a freddo		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Desolforatore a freddo
Servizio		Trattamento syngas
Quantità		1
Tipo		Torre riempita per abbattimento H ₂ S
Fluido		Syngas saturo con H ₂ S
<i>PROCESSO</i>		
Temperatura processo	°C	40-50
Pressione processo	bar	atmosferica
<i>SOLUZIONE ACQUOSA</i>		
Agente separatore		(NaOH + HClO)/Ammine
Temperatura soluzione di lavaggio	°C	35 - 45
<i>DATI SUI MATERIALI</i>		
Corpo reattore		AISI 316 L
Riempimento		polipropilene

Tabella 4: caratteristiche del reattore di desolforazione a freddo

3.2 Sezione di arricchimento (CO-Shift)

Il syngas così depurato, proveniente dall'assorbitore, verrà preriscaldato con l'ausilio di un riscaldatore a resistenza elettrica e successivamente mescolato con una corrente di vapore ad alta temperatura (alimentato in proporzione molare $H_2O/CO = 3$) in modo da raggiungere le condizioni operative previste nella successiva sezione di Water gas shift (WGS). Il WGS avente lo scopo di realizzare la reazione di water gas shift, per la quale il monossido di carbonio e il vapore d'acqua presenti nella corrente, reagiscono per formare anidride carbonica ed idrogeno.

Tale sistema prevede l'utilizzo di un processo a singolo stadio, caratterizzato da una efficienza (aspettata) di circa 95-98 %.

All'uscita dal reattore di shift, uno scambiatore di calore a fascio tubero opportunamente dimensionato provvederà a raffreddare il syngas fino al raggiungimento della temperatura di 45-50 °C richiesta per l'operatività delle apparecchiature nelle sezioni di trattamento a valle.

Reattore water gas shift		
GENERALITA'		
Sistema		Water gas shift
Servizio		Trattamento syngas
Quantità		1
Tipo		Conversione CO in CO ₂
Fluido		Syngas/Vapore d'acqua
PROCESSO		
Temperatura processo	°C	350
Pressione processo	bar	1
Efficienza di reazione (valore aspettato)	%	95-98

Tabella 5: caratteristiche del reattore di water gas shift

4. SEZIONE DI CATTURA/RECUPERO DELLA CO₂

Questa sezione costituisce la parte fondamentale del progetto di massima in quanto ha il compito di produrre la CO₂ liquida, e pressoché pura, da impiegare nelle applicazioni delle tecniche ECBM al bacino del Sulcis.

La sezione sarà costituita dalle unità necessarie per ottenere una corrente di CO₂ pressoché pura e alla sua liquefazione necessaria per lo stoccaggio.

Uno schema generale dell'impianto complessivo, comprendente anche la sezione in oggetto, è riportato in figura n. 3.

In particolare, la cattura della CO₂ avverrà in una torre di assorbimento che utilizza una soluzione acquosa assorbente contenente un composto chimico in grado di segregare la CO₂ in fase liquida (ad esempio ammine primarie). La portata del syngas da trattare sarà pari a circa 650 Kg/h.

La soluzione liquida carica di CO₂ verrà inviata per la conseguente estrazione alla torre di stripping grazie al quale si otterrà una corrente gassosa costituita da CO₂, vapore acqueo ed un piccola quantità di incondensabili.

Un compressore provvederà a portare la corrente gassosa alla pressione necessaria per vincere le perdite di carico previste della sezione a valle costituita da un essiccatore per l'eliminazione del vapore acqueo ed un purificatore a carboni attivi.

Il gas, costituito da CO₂ pressoché pura, verrà inviato alla sezione di liquefazione, nella quale sarà sottoposto a stadi alternati di compressione e refrigerazione fino ad essere ridotto allo stato liquido, quindi prelevato e stoccato in appositi serbatoi criogenici.

I gas incondensabili ancora presenti nel flusso di CO₂ saranno rimossi nel sistema di liquefazione.

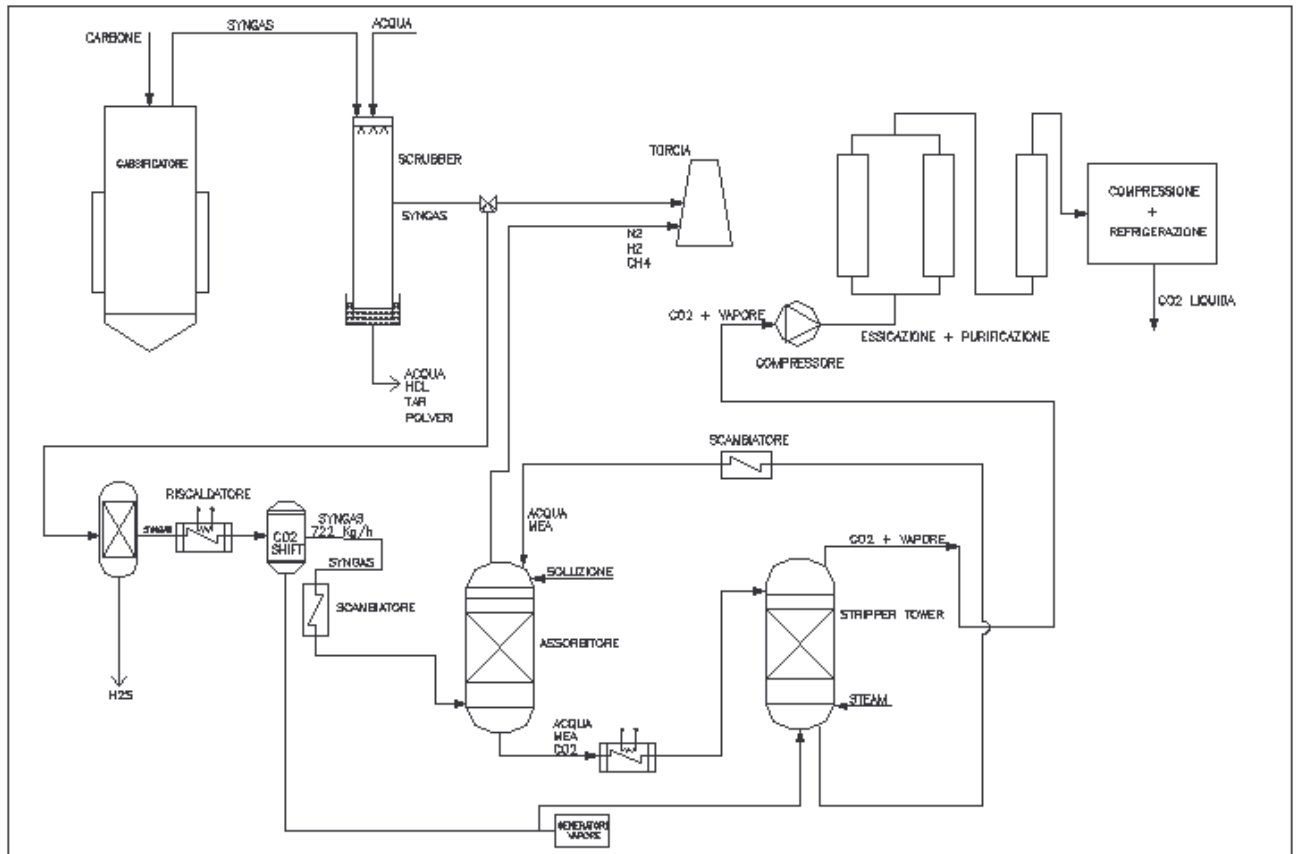


Fig. 3 Schema dell'impianto di produzione di CO₂ da gassificazione del carbone che sarà impiegato per il test site ECBM Sulcis

4.1 Sezione di cattura e recupero

4.1.1 Torre di Assorbimento

La corrente proveniente dalla sezione di CO-Shift (ricca in CO₂), sarà inviata alla torre di assorbimento per il processo di estrazione della CO₂. ad una pressione tale da superare le perdite di carico dovute all'attraversamento dell'apparecchiatura.

La torre di assorbimento, del tipo a riempimento, dovrà essere opportunamente dimensionata per consentire un contatto prolungato tra la soluzione lavante ed il syngas, al fine di ottenere un assorbimento efficace della CO₂. Ciò che rimarrà in fase gassosa dopo il passaggio attraverso il sistema di assorbimento della CO₂, consistente principalmente in azoto, ossigeno, idrogeno e vapore acqueo, verrà infine inviata in torcia per lo smaltimento.

La torre sarà costituita da un dispositivo "a letto impaccato" con alimentazioni in controcorrente dotata di un distributore di soluzione e di un re-distributore di protezione contro l'eventuale canalizzazione della soluzione liquida.

La soluzione lavante da impiegare dovrà essere in grado di trattenerne in fase liquida la CO₂ e in uscita dall'assorbitore sarà poi pompata nello stripper, previo pre-riscaldamento.

Il pre-riscaldamento della soluzione arricchita in CO₂, sarà in grado di:

- diminuire il quantitativo di calore necessario per lo stripping;
- garantire la massima efficienza del processo.

Assorbitore		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Assorbimento
Servizio		Cattura CO ₂
Quantità		1
Tipo		Torre riempita per cattura CO ₂
Fluido		Syngas saturo di CO ₂
<i>PROCESSO</i>		
T Processo	°C	35 - 45
P Processo	bar	1,2
Efficienza di assorbimento CO ₂	%	80
<i>SOLUZIONE ACQUOSA</i>		
Agente separatore		MEA o altro agente
Temperatura soluzione di lavaggio	°C	35 - 45
<i>DATI SUI MATERIALI</i>		
Corpo reattore		Acciaio inossidabile
Riempimento		Acciaio inossidabile

Tabella 6: caratteristiche dell'assorbitore

4.1.2 Torre di Strippaggio

Nella torre di stripping si procede alla separazione della CO₂ dalla soluzione liquida che la contiene mediante un agente separatore (ad es. calore fornito da vapore)

Si prevede di utilizzare per questo processo una torre riempita con materiali (es. anelli Rasching) atti a garantire la superficie di contatto necessaria.

Il funzionamento specifico dell'azione di stripping avverrà nel seguente modo: la soluzione arricchita da depurare verrà immessa in testa alla colonna, mentre il vapore verrà immesso alla base. Soluzione e vapore entreranno così in contatto tra loro sui corpi di riempimento e la CO₂ contenuta nella soluzione si trasferirà nella corrente gassosa. Lo stesso processo consente oltre la separazione della CO₂, la rigenerazione della soluzione che, previo raffreddamento, verrà rinviata all'assorbitore.

La torre di strippaggio sarà equipaggiata con un distributore di soluzione e ridistributore (se necessario), a protezione di una eventuale canalizzazione della soluzione liquida.

La corrente gassosa ricca in CO₂ passerà attraverso un raffreddatore munito di serbatoio di condensa, in cui parte del vapore saturo contenuto in essa condenserà.

Torre di stripping		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Separazione gas da liquido
Servizio		Recupero CO ₂
Quantità		1
Tipo		Torre riempita per separazione CO ₂
Fluido		Soluzione acquosa (con additivo chimico) ricca in CO ₂
<i>PROCESSO</i>		
T processo	°C	
P processo	bar	
Agente separatore		Calore (fornito da vapore)
<i>DATI SUI MATERIALI</i>		
Corpo reattore		Acciaio inossidabile
Riempimento		

Tabella 7: caratteristiche della torre di stripping

4.2 Sistema di trattamento e liquefazione della CO₂

A valle dello stripper la corrente gassosa, una volta raggiunte le condizioni operative di pressione con l'ausilio di un compressore, verrà inviata al sistema di trattamento e liquefazione della CO₂ costituito da:

- essiccatore per l'eliminazione del vapore acqueo ancora presente;
- purificatore a carboni attivi per eliminare eventuali contaminanti ancora presenti
- sezione di liquefazione per la produzione di CO₂ liquida da inviare ai serbatoi di stoccaggio.

4.2.1 Compressore

L'impianto sarà provvisto di un compressore sulla linea di purificazione della CO₂ per la fornitura di una sufficiente pressione all'interno delle tubazioni e dei componenti.

Si prevede che il gas debba raggiungere l'essiccatore con una pressione dell'ordine dei 20 bar. Per questo motivo è ipotizzabile l'impiego di un compressore alternativo a due fasi.

Compressore CO₂		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Compressore a secco
Servizio		Compressione CO ₂
Quantità		1
Tipo		Alternativo a 2 fasi
Fluido		CO ₂
<i>PROCESSO</i>		
Portata max in ingresso	Kg/h	250
Pressione di aspirazione	bar	1
Pressione di mandata	bar	20
T di aspirazione	°C	10-20
T di mandata 1°/2° stadio	°C	~140

Tabella 8: caratteristiche del compressore per la CO₂

4.2.2 Sezione di essiccamento

La sezione sarà costituita da due torri di essiccamento funzionanti in maniera alternata in essiccamento e rigenerazione che effettueranno la disidratazione della corrente gassosa. Tale sistema permette di abbassare il punto di rugiada della CO₂ in uscita fino a -60,0 °C.

Le torri avranno una configurazione a letto fisso costituito da materiale adsorbente.

Il funzionamento delle torri prevede:

- fase di essiccamento propriamente detta nella quale il vapore acqueo contenuto nel gas viene trattenuto sul materiale adsorbente che costituisce il letto della torre. La temperatura richiesta durante tale fase è di circa 30 °C;
- fase di rigenerazione del materiale adsorbente che richiede temperature dell'ordine di 160 °C ottenute tramite riscaldamento effettuato con aria.

La torre dopo la rigenerazione viene riportata alle condizioni di processo tramite il raffreddamento ottenuto con uno spillamento effettuato sulla linea di CO₂ secca in uscita.

Sezione di essiccamento		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Essiccatore
Servizio		Eliminazione vapore d'acqua
Quantità		1
Tipo		A due torri
Fluido		Gas ricco in CO ₂
<i>PROCESSO</i>		
Portata max in ingresso	Kg/h	250
T processo	°C	30
T rigenerazione	°C	160
P processo	bar	15

Tabella 9: caratteristiche della sezione di essiccamento

4.2.3 Torre a carboni attivi

La torre è prevista per ovviare al trasporto di eventuali contaminanti ancora presenti nella corrente di CO₂ secca. La torre conterrà una particolare miscela di carboni attivi e una sostanza disidratante (necessaria per l'eliminazione del vapore d'acqua eventualmente ancora presente e che riduce l'efficacia dei carboni attivi) che sarà utilizzata per la rimozione dei contaminanti.

Infatti la capacità di rimozione delle impurità da parte del carbone aumenta con l'eliminazione di vapore d'acqua in esso contenuto.

Il purificatore sarà quindi costituito da un serbatoio riempito di carboni attivi per l'adsorbimento delle impurezze.

Non è prevista la rigenerazione "on line" del riempimento della torre in quanto lo stesso garantisce lunghi periodi di funzionamento. Si prevede pertanto la sostituzione periodica della carica.

Sezione di purificazione		
<i>GENERALITA'</i>		
Sistema		Purificatore
Servizio		Eliminazione impurezze
Quantità		1
Tipo		a riempimento (carboni attivi)
Fluido		CO ₂
<i>PROCESSO</i>		
Portata gas esercizio	Kg/h	250
P processo	bar	15
T processo	°C	10
<i>DATI SUI MATERIALI</i>		
Corpo reattore		Acciaio inossidabile

Tabella 10: caratteristiche della sezione di purificazione

4.2.4 Sistema di liquefazione

La liquefazione della CO₂ avverrà con l'ausilio di un sistema di compressione a stadi interrefrigerati, utilizzando un liquido di refrigerazione (es. freon 507), in grado eseguire stadi alternati di compressione e di raffreddamento sulla corrente.

Il sistema di liquefazione avrà un funzionamento in continuo e potrà essere costituito dalle seguenti tre sezioni principali:

La CO₂ liquefatta in uscita dalla sezione, eventualmente depurata dai gas in condensabili tramite un'ulteriore colonna di strippaggio, verrà inviata allo stoccaggio.

4.3 Sezione stoccaggio CO₂

In uscita dalla sezione di liquefazione la CO₂ liquida sarà stoccata in due appositi serbatoi criogenici realizzati a doppia parete.

5. APPARECCHIATURE ANALITICHE

L'impianto comprenderà le seguenti apparecchiature analitiche per il controllo del corretto funzionamento del sistema:

- Sistema di analisi syngas per occasionali controlli manuali dei prodotti di combustione:
 - Ossigeno.
 - Monossido di carbonio.
 - Contenuto di CO₂.
 - CO₂ nel vent dell'assorbitore.
- Analizzatore manuale di punto di rugiada.
- Analizzatore automatico punto di rugiada.
- Analizzatore manuale di CO₂.
- Pompa Draeger per:
 - Ossidi di azoto.
 - Composti di zolfo.
 - Monossido di carbonio.
 - Acetaldeide.

6. IPOTESI DI SISTEMA DI TRASPORTO DELLA CO₂

Nel presente capitolo sarà sviluppata un'ipotesi per il sistema di trasporto della CO₂ dalla piattaforma pilota al test site di iniezione per l'applicazione di tecniche ECBM.

La soluzione più adeguata dal punto di vista economico nella fase iniziale di sperimentazione nel test site, appare quella che prevede il trasporto della CO₂ in autocisterna, anche per i modesti quantitativi utilizzati durante la sperimentazione.

Con il trasporto in autocisterna attraverso l'impiego di ditte specializzate, si è considerato un costo medio della CO₂ pari a circa 1,5 €/kg (fonte SIAD), ipotizzando di immagazzinarla in serbatoi di stoccaggio (ad esempio da 5 m³) nell'area del test site in prossimità del pozzo di iniezione.

Nel caso in cui il progetto dovesse raggiungere dimensioni industriali sarebbe opportuno, visti i maggiori quantitativi della CO₂ prodotta, considerarne il trasporto tramite CO₂-dotto.

Il trasporto della CO₂ mediante gasdotti è una tecnologia molto affermata, che utilizza i metodi costruttivi per un normale gas (gli unici potenziali problemi sono dati dalla corrosione della condotta e dalla presenza nel fluido di due fasi, liquida e gassosa).

In quest'ultima ipotesi il costo di trasporto sarà assunto pari a 1,4 c€/t km), riferito a condotte di terra con un costo di realizzazione della condotta pari a 200.000 €/Km (fonte SIAD).

7. VALUTAZIONI ECONOMICHE

La valutazione dei costi dell'impianto di cattura e recupero della CO₂ prodotta è stata effettuata sulla base di un'offerta economica richiesta alla Tecno Project Industriale s.r.l. di Bergamo.

L'offerta economica pervenuta (che di seguito si allega) ha stimato i seguenti costi di realizzazione dell'impianto di cattura/recupero della CO₂:

- Impianto di cattura/recupero della CO₂ – capacità 250 kg/h:
Euro 280.000,00.

- Due serbatoi per lo stoccaggio della CO₂ – 11.500 cad.:
Euro 60.000,00 cad.

La valutazione economica dovrà tener conto anche dei costi legati al trasporto della CO₂ liquida sino all'area del test site, così come descritto nel capitolo precedente. Ipotizzando di utilizzare un'autocisterna, il costo per il trasporto della CO₂ da stoccare nel sistema di serbatoi previsto in situ (5 m³) è stimabile in circa 4.000 €.

Oltre al costo del sistema di cattura e recupero della CO₂, è necessaria anche una valutazione economica dei sistemi posti a monte, desolforazione e di CO-Shift, di cui è necessaria l'integrazione con le sezioni attualmente esistenti di gassificazione e scrubber.

Sulla base dei dati riferiti alla realizzazione della Piattaforma pilota Sotacarbo, la stima economica per i sistemi di desolforazione e di CO-Shift è di circa 800.000 €

L'impegno finanziario pertanto stimato per la produzione di CO₂ in quantitativi tali da soddisfare le esigenze di un futuro impianto di iniezione di CO₂ nel bacino carbonifero Sulcis, è intorno ai 1,140 M€,