

MODIFICHE E MIGLIORIE DEGLI IMPIANTI

G. Calì, F. Tedde, P. Miraglia, D. Multineddu, A. Plaisant (Sotacarbo)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: B.2 – Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili

Obiettivo: Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione

Responsabile del Progetto: Stefano Giammartini, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Studi sull'utilizzo pulito di combustibili fossili, cattura e sequestro della CO₂*"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana

Responsabile scientifico Sotacarbo: Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. PROBLEMI IMPIANTISTICI RILEVATI E SOLUZIONI ADOTTATE	6
2.1 STUDIO E RISOLUZIONE DELLE PROBLEMATICHE DI CONTROLLO DELLA PRESSIONE NELL'IMPIANTO PILOTA	6
2.2 MODIFICHE E MIGLIORIE AL GASSIFICATORE	10
2.3 MODIFICHE ALLE SEZIONI DI ASSORBIMENTO DELLA CO ₂ E DI RIGENERAZIONE.....	12
2.3.1. <i>Sezione di assorbimento costituita da un solo reattore a gorgogliamento.....</i>	12
2.3.2. <i>Sezione di assorbimento costituita da due reattori a bolle in parallelo lato liquido e in equicorrente con la miscela gassosa.....</i>	15
2.3.3. <i>Sezione di assorbimento costituita da due reattori a bolle disposti in serie lato liquido e in controcorrente con la miscela gassosa</i>	15
2.3.4. <i>Sezione di assorbimento costituita dai reattori a bolle disposti in serie lato liquido e in controcorrente con il syngas prodotto dal gassificatore.....</i>	16
2.4 MISURATORE DI ENERGIA E MISURATORI DELLE PERDITE DI CARICO	17
2.5 INSERIMENTO E MIGLIORAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE ESISTENTE.....	18
2.5.1. <i>Misuratore di portata del syngas</i>	18
2.5.2. <i>Inserimento nuovo rotametro nel compressore a monte del PSA</i>	19
2.6 MODIFICHE ALLA LINEA A CALDO	20
3. VERIFICHE FUNZIONALI SULL'IMPIANTO DIMOSTRATIVO.....	22
3.1. SEZIONE DI CARICAMENTO E ALIMENTAZIONE COMBUSTIBILE.....	22
3.2. FLUIDI AUSILIARI	22
3.3. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DEGLI AGENTI GASSIFICANTI (SOFFIANTE ARIA PROCESSO, CALDAIE VAPORE)	23
3.4. SEZIONE DI GASSIFICAZIONE.....	24
3.5. SEZIONE DI PULIZIA SYNGAS: SCRUBBER.....	24
3.6. TORCIA	25
3.7. SISTEMA DI REGOLAZIONE E CONTROLLO	25
3.8. SINTESI DEGLI INTERVENTI NECESSARI E DEI RELATIVI COSTI	25
4. CONCLUSIONI	28

Sommario

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Studi sull'utilizzo pulito di combustibili fossili, cattura e sequestro della CO₂". In particolare, nell'ambito dell'obiettivo OR1 "Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in post-combustione" è stata effettuata la prosecuzione delle attività di miglioramento delle tecnologie di gassificazione del carbone, con produzione, pulizia, trattamento e conversione del syngas prodotto in particolare a partire da carboni a basso rango come quello del Sulcis con prove e test sperimentali di cattura della CO₂ da gas provenienti dal gassificatore.

Le attività di modifica e i conseguenti miglioramenti effettuati sull'impianto pilota hanno riguardato principalmente i seguenti aspetti:

- studio e risoluzione delle problematiche di pressione dell'impianto pilota;
- modifiche e migliorie al gassificatore;
- modifiche alle sezioni di assorbimento e rigenerazione dell'impianto pilota;
- modifiche alla linea a caldo;
- verifiche sull'impianto dimostrativo.

È stata inoltre migliorata e cambiata la strumentazione a corredo dell'impianto.

Le modifiche effettuate durante il presente progetto di ricerca hanno permesso di migliorare la funzionalità dell'impianto incrementando le prestazioni dello stesso e consentendo di ampliare la conoscenza dei processi studiati.

1. Introduzione

Nell'ambito delle attività di ricerca per lo sviluppo di un processo di gassificazione del carbone e trattamento del syngas per una produzione di idrogeno ed energia elettrica a emissioni estremamente ridotte di agenti inquinanti e di anidride carbonica, Sotacarbo ha sviluppato una Piattaforma Sperimentale (Figura 1) comprendente due impianti di gassificazione in letto fisso up-draft e una linea per la depurazione e lo sfruttamento energetico del syngas.



Figura 1.1 - La piattaforma pilota Sotacarbo

In particolare, le modifiche tecniche di cui è oggetto il presente documento sono state effettuate nell'impianto pilota della piattaforma.

Tale impianto, oltre alla sezione di gassificazione (descritta più nel dettaglio nel documento "Sperimentazione dei processi di gassificazione" redatta nell'ambito del medesimo progetto di ricerca), comprende due differenti linee di trattamento del syngas, dedicate una alla produzione di energia elettrica e una al trattamento a caldo del syngas per la produzione di idrogeno.

Il presente documento riguarda la valutazione delle problematiche emerse durante l'esercizio dell'impianto pilota, l'individuazione degli interventi di modifica ed integrazione volti alla soluzione di tali problematiche, nonché gli interventi di ottimizzazione del funzionamento dell'impianto stesso. Si riporta di seguito un elenco degli interventi effettuati, di cui verrà fatta una descrizione più dettagliata nel seguito del presente documento:

- studio e risoluzione delle problematiche di pressione dell'impianto pilota;
- modifiche e migliorie del gassificatore;
- modifiche delle sezioni di assorbimento e rigenerazione dell'impianto pilota;
- modifiche della linea a caldo;
- verifiche sull'impianto dimostrativo.

2. Problemi impiantistici rilevati e soluzioni adottate

Il presente capitolo riporta in sintesi le principali problematiche individuate relativamente all'impiego dell'impianto pilota e le soluzioni adottate.

2.1 Studio e risoluzione delle problematiche di controllo della pressione nell'impianto pilota

In precedenti campagne sperimentali condotte sull'impianto pilota si sono verificati degli aumenti di pressione superiori ai limiti di progetto dell'impianto, che hanno provocato l'intervento dei dispositivi di sicurezza contro le sovrappressioni (guardie idrauliche) di cui l'impianto è dotato. Tali dispositivi permettono al syngas, per pressioni sulla linea del gas superiori ai 50 mbar, di fuoriuscire in atmosfera, riportando le pressioni a valori prossimi a quelli di esercizio. Questo fenomeno si è verificato, principalmente, durante la gassificazione di carboni di basso rango e molto reattivi (carbone Sulcis e carbone ungherese) che hanno prodotto un syngas con elevate percentuali di TAR e con portate massime intorno ai 70-80 m³/h (portata massima di progetto pari a circa 100 m³/h).

Inoltre si è osservato che le pressioni aumentano oltre i valori di soglia solo quando il syngas prodotto viene convogliato completamente in torcia, cosa che non avviene con il funzionamento del motore a combustione interna, quando parte del syngas viene bruciato per produrre energia elettrica. Infatti prima dell'ingresso in torcia è presente, sulla linea del syngas, una valvola rompifiamma che ha il compito di arrestare la fiamma ed evitare che questa si propaghi lungo le condotte. Tale valvola è costituita da un setaccio con delle maglie molto fitte (figura 2.1) che, con il passaggio del syngas, si intasano impedendo un flusso continuo del gas con conseguente aumento delle pressioni lungo le condotte.



Figura 2.1- maglie della valvola rompifiamma

Al fine di valutare le perdite di carico nell'impianto pilota è stata eseguita il 05/03/2013 una prova a freddo di misurazione delle pressioni a monte e a valle delle seguenti sezioni di impianto:

- gassificatore, tramite i misuratori di pressione posti all'ingresso degli agenti gassificanti e all'uscita del syngas;
- scrubber, tramite un misuratore di pressione differenziale;
- I stadio di desolfurazione a freddo, tramite un misuratore di pressione differenziale;
- Il stadio di desolfurazione a freddo, tramite un misuratore di pressione differenziale;
- valvola rompifiamma, tramite un misuratore di pressione differenziale posizionato a monte e a valle di tale valvola.

Le pressioni, inoltre, sono state misurate al variare dei seguenti parametri: altezza del letto del gassificatore, portata di aria processo, riempimento dei serbatoi dello scrubber e del I stadio di desolfurazione a freddo.

Si riporta nella tabella 2.1 la variazione dei parametri e il loro valore:

Tabella 2.1 - parametri variati durante il test

Altezza letto gass. (mm)	Riempimento serbatoi (% vol. del totale)	Portata di aria processo (kg/h)
500	Due i valori provati 50% e 75 %	20
		30
		40
		50
		60
700	Due i valori provati 50% e 75 %	20
		30
		40
		50
		60
1300	Due i valori provati 50% e 75 %	20
		30
		40
		50
		60

Dall'analisi dei dati è emerso che il riempimento dei serbatoi dello scrubber e del I e del II stadio di desolfurazione a freddo hanno poca influenza sulle perdite di carico totali.

In figura 2.2 è riportato il grafico delle pressioni rilevate dai misuratori di pressione (PT292 - a monte del gassificatore, PT007 - a valle del gassificatore, PT008 - a valle dell'elettrofiltro) posti lungo la linea testata durante la prova:

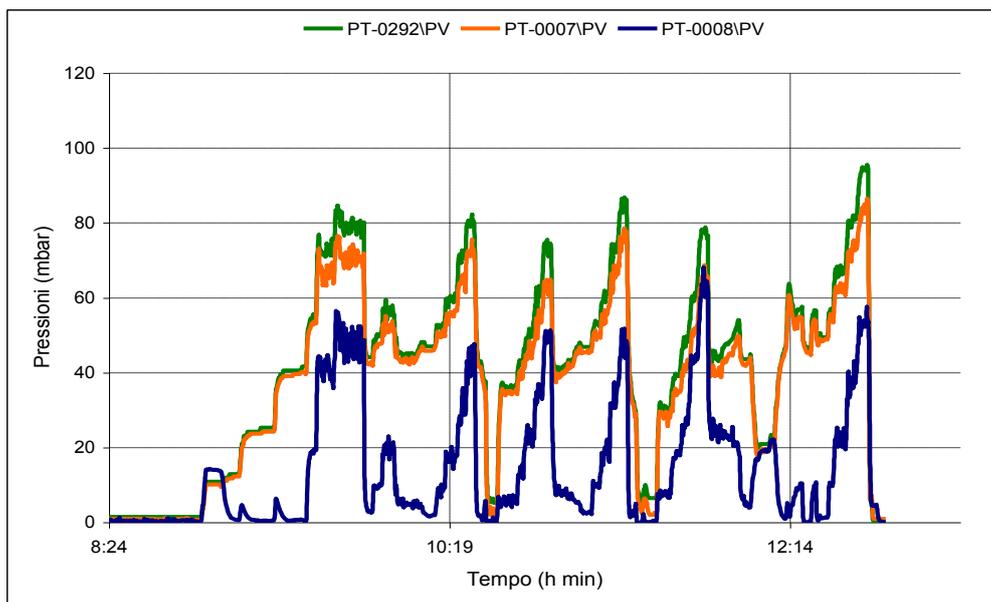


Figura 2.2 - pressioni del syngas

Come si nota dal grafico in figura 2.2, le pressioni raggiungono valori di rottura della guardia idraulica intorno ai 60-80 mbar con una portata pari a 60 kg/h, simile a quella prodotta dal gassificatore. Si può, pertanto, concludere che tale portata è quella limite per il funzionamento dell'impianto pilota con la valvola rompifiamma pulita.

Dal grafico si può estrapolare che i differenti riempimenti del gassificatore contribuiscono in maniera significativa sulle perdite di carico. Ciò è dimostrato dai valori rilevati con un'altezza del letto di gassificazione pari a 1300 mm per il quale risultano perdite di carico superiori rispetto agli altri casi. Durante la prova sono stati rilevati i valori delle perdite di carico riferiti alla sola valvola rompifiamma (figura 2.3) utilizzando un misuratore di differenza di pressione (ΔP).



Figura 2.3 - valvola rompifiamma

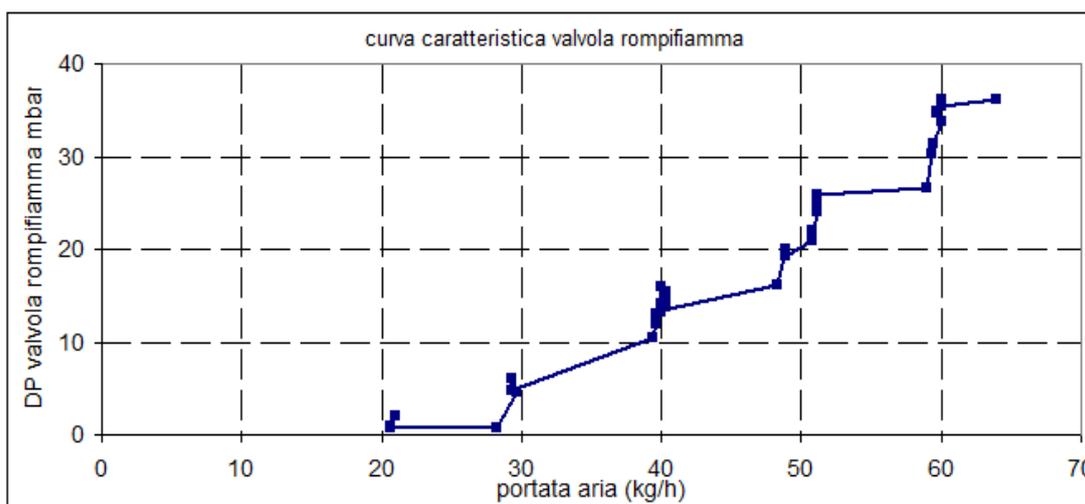


Figura 2.4 - curva caratteristica pressione portata valvola rompifiamma

Dalla figura 2.4, dove è riportato il grafico della curva caratteristica della valvola rompifiamma, si evince che per portate superiori a 60 kg/h la perdita di carico concentrata è pari a circa 35 mbar. Tale valore raggiunge gli 80 mbar (registrati sul PT292 posto a monte del gassificatore) se sommato alle perdite di carico distribuite lungo la linea costituita dal gassificatore, dallo scrubber e dal I stadio di desolfurazione a freddo.

Le perdite di carico concentrate sulla valvola rompifiamma sono elevate e tendono ad aumentare con lo sporcamento della stessa.

Per risolvere il problema delle sovrappressioni è stata studiata una soluzione che prevede la realizzazione di una nuova linea di invio del syngas alla torcia con l'inserimento, in parallelo, di due valvole rompifiamma, come riportato nello schema di Figura 2.5.

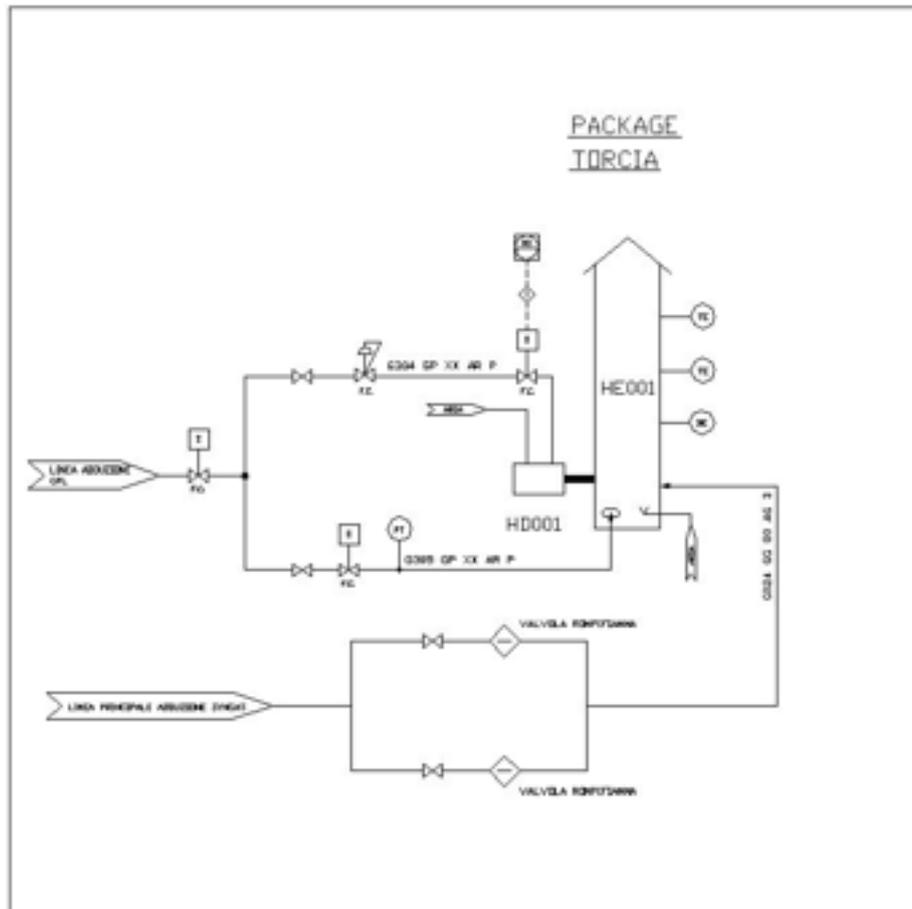


Figura 2.5 - schema modifica impiantistica valvole rompifiamma in parallelo

Con la realizzazione di tale modifica si ottengono anche i seguenti vantaggi:

- riduzione delle perdite di carico dovuta alla ripartizione del flusso di syngas lungo due linee di adduzione;
- possibile manutenzione della valvola rompifiamma durante il funzionamento dell'impianto senza dover interrompere il flusso di syngas alla torcia.

La nuova linea di adduzione di syngas alla torcia con la seconda valvola rompifiamma è stata realizzata il 15-16-17/04/2013. La figura 2.6 mostra il risultato di tale modifica.

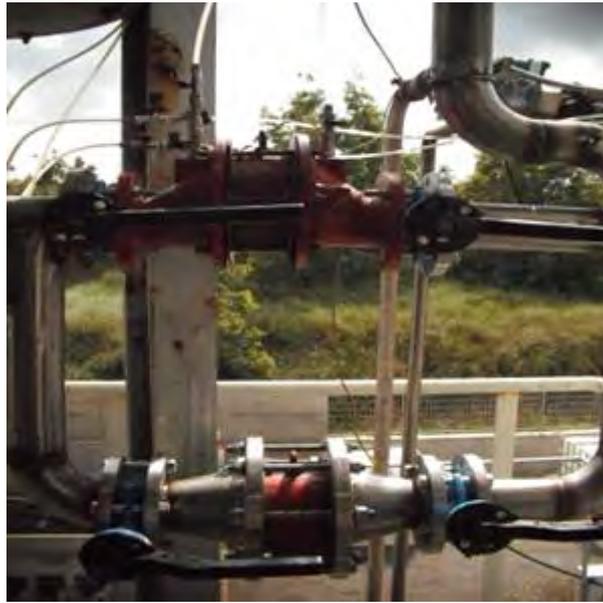


Figura 2.6 – sistema modificato con le valvole rompifiamma in parallelo

La modifica ha dato esito positivo allungando le tempistiche in cui si manifestavano problematiche di sovrappressione legate allo sporcamento delle valvole e mantenendo le pressioni a valori massimi pari a 60-70 mbar (dunque pressioni di massima inferiori rispetto alla situazione precedente).

2.2 Modifiche e migliorie al gassificatore

Nelle campagne sperimentali relative alla presente annualità dell'accordo di programma Enea-Sotacarbo si sono presentate delle problematiche relative agli scarichi delle ceneri dovuti a frequenti impaccamenti del letto di gassificazione. Per tale motivazione è stato deciso di realizzare degli agitatori del letto di gassificazione che potessero movimentare il letto stesso evitandone l'impaccamento con le problematiche conseguenti di scarico delle ceneri.

Si riporta di seguito la figura 2.7 che mostra tali agitatori.



Figura 2.7 - agitatori del letto di gassificazione

Come si nota dalla figura gli agitatori sono tre:

- il primo movimentata il letto pochi centimetri sopra la griglia di scarico ceneri
- il secondo movimentata il letto di gassificazione alla stessa altezza degli irradiator di accensione del gassificatore
- il terzo movimentata gli strati di carbone che si trovano 10-30 cm sopra gli irradiator di accensione del gassificatore.

Tali sistemi testati nella nuova campagna sperimentale stanno dando buoni risultati evitando gli impaccamenti alle differenti altezze del gassificatore.

Inoltre per migliorare lo scarico delle ceneri sono stati diminuiti i quadrotti della griglia fissa portandoli da 5 a 3. Nella seguente figura 2.8 si riporta un'immagine della griglia di scarico ceneri modificata.



Figura 2.8- griglia modificata

A seguito delle modifiche sopra indicate lo scarico delle ceneri è migliorato ma i problemi di impaccamento non sono stati definitivamente risolti; per tale motivazione e considerando di dover effettuare dei test sperimentali di maggior durata rispetto a quelli di 16 ore (il 12-13/06/2013 è stato effettuato un test sperimentale di 36 ore) è stata sostituita la termocoppia multipla con un sistema di agitazione del letto di gassificazione simile a quello presente nell'impianto dimostrativo (stirrer). Si riporta di seguito una figura di tale apparecchiatura:



Figura 2.9 - stirrer manuale

"Lo stirrer manuale" è costituito da una barra metallica in acciaio AISI 304 da 1/2" della lunghezza di 2700 mm inserita al posto della termocoppia multipla. Tale barra è movimentata in testa al gassificatore manualmente (in rotazione e traslazione) tramite un manico orizzontale e termina con una punta metallica. Essa non rimane costantemente mantenuta all'interno del letto di gassificazione ma viene utilizzata all'occorrenza.

2.3 Modifiche alle sezioni di assorbimento della CO₂ e di rigenerazione.

Nell'ambito delle attività previste nel presente progetto sono stati utilizzati i reattori a bolle presenti nella "linea a caldo" dell'impianto pilota per i test di assorbimento della CO₂. Al fine di rendere tali reattori adatti allo svolgimento delle sperimentazioni, sono state apportate modifiche al sistema di distribuzione e di ricircolo del solvente amminico e al sistema di invio del gas.

Le modifiche effettuate permettono di inviare una miscela del gas che simuli alternativamente fumi di combustione o un syngas da gassificazione; inoltre le sezioni di assorbimento e di rigenerazione sono state collegate in modo da poter effettuare le prove a ciclo chiuso in continuo. Di seguito si riporta la descrizione delle diverse configurazioni adottate e le modifiche di impianto conseguenti.

2.3.1. Sezione di assorbimento costituita da un solo reattore a gorgogliamento

Lo schema semplificato della configurazione impiantistica adottata nel corso del test sperimentale dell'11/04/2013 è riportato in figura 2.10.

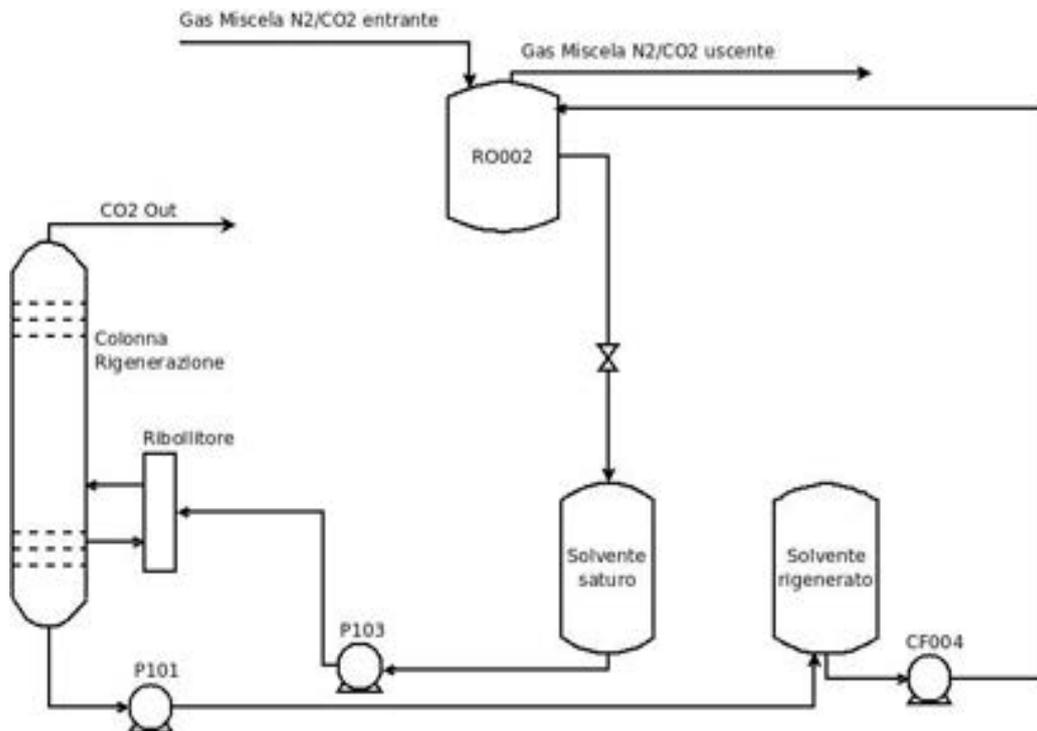


Figura 2.10 - Schema assorbimento CO₂ e rigenerazione provato nel test sperimentale del 11/04/2013

Il sistema di assorbimento della CO₂ è rappresentato da un solo reattore a bolle (RO002) in cui il circuito della soluzione amminica esausta è stato collegato al sistema di rigenerazione per poter operare in continuo.

L'alimentazione di MEA (monoetanolammina) saturo al sistema di rigenerazione avviene con l'ausilio della pompa di aspirazione (P103) tramite la linea di prelievo del solvente dal reattore a bolle, fornita di valvola di non ritorno; la soluzione saturo viene alimentata nel ribollitore e prelevata rigenerata nel fondo della colonna.

La soluzione amminica viene poi inviata tramite la pompa di mandata (P101) al serbatoio di solvente rigenerato e infine, tramite la pompa di rilancio (CF004), reimmessa nel reattore a bolle. La CO₂ desorbita viene evacuata in testa alla colonna di rigenerazione.

I serbatoi di accumulo della soluzione amminica a monte e a valle del reattore a bolle hanno la funzione di polmone in modo da garantire il livello costante (350-370 mm) all'interno dello stesso.

La miscela di gas (CO₂ e N₂) viene inviata, tramite una linea appositamente costruita, al reattore a bolle. Durante le prime prove funzionali si sono verificate delle problematiche relative alle eccessive perdite lato gas. La fase gas, costituita dal gas di simulazione, entra in contatto con la fase liquida, costituita dal solvente a base di ammine, attraverso 40 tubicini che terminano con dei diffusori ceramici. Tali diffusori hanno il compito di generare delle microbolle sulla cui superficie avviene l'assorbimento della CO₂ nella fase liquida.

Al fine di avere un'elevata superficie di contatto gas-liquido i diffusori hanno dei passaggi per il gas dell'ordine dei micron. Si mostra di seguito l'interno del reattore di separazione della CO₂ con i diffusori.



Figura 2.11 - interno del reattore di separazione della CO₂

Per diminuire le perdite di carico eccessive si è deciso di eliminare i diffusori; il gas esce direttamente dai tubicini, ognuno dei quali possiede 5 fori passanti da 1 millimetro. Si riporta di seguito la figura del reattore senza diffusori.



Figura 2.12 - interno del reattore di separazione della CO₂ senza i diffusori

A seguito della modifica, il gas viene diffuso nella fase liquida attraverso i fori posti alla fine di ogni tubicino, le perdite di carico sono fortemente diminuite, mentre il diametro medio della bolla è dell'ordine dei millimetri.

2.3.2. Sezione di assorbimento costituita da due reattori a bolle in parallelo lato liquido e in equicorrente con la miscela gassosa

La figura 2.13 riporta uno schema semplificato della configurazione impiantistica adottata nel corso del test sperimentale del 15/05/2013.

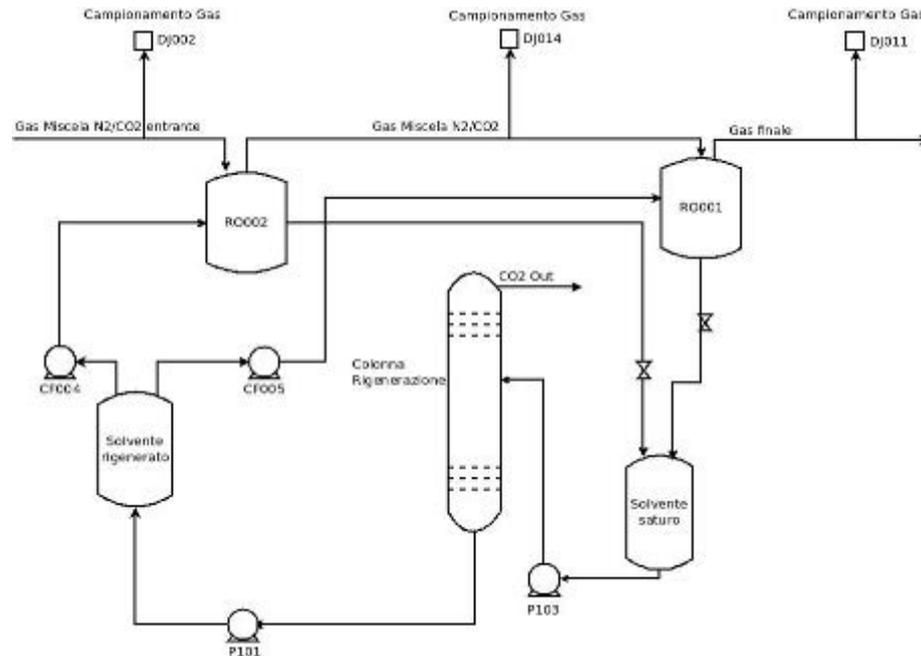


Figura 2.13 - Schema assorbimento CO₂ e rigenerazione provato nel test sperimentale del 15/05/2013

In tale configurazione i reattori a bolle (RO001, RO002) sono stati predisposti in serie relativamente alla miscela di gas. Tramite le prese di campionamento poste a monte e a valle di ciascun assorbitore è stato monitorato l'andamento della concentrazione di CO₂ nella miscela di alimentazione e nelle correnti gassose in uscita dagli stessi assorbitori.

Per quanto riguarda il circuito del liquido, i due reattori sono stati collegati in parallelo e alimentati con soluzione amminica rigenerata con le medesime caratteristiche chimico/fisiche attraverso le pompe di mandata (P101) e di rilancio (CF004/05) e le rispettive valvole manuali in corrispondenza dello scarico dei due reattori confluiscono entrambe nel serbatoio di solvente saturo. La disposizione in parallelo consente di studiare la capacità di assorbimento della soluzione amminica al variare della concentrazione di CO₂ nella corrente gassosa.

L'invio della soluzione amminica saturo alla colonna di rigenerazione avviene tramite la pompa aspirazione (P103) e la CO₂ viene rilasciata dalla testa della colonna; la soluzione amminica fresca prelevata dal fondo viene inviata tramite la pompa di mandata (P101) al serbatoio di accumulo della soluzione amminica rigenerata.

2.3.3. Sezione di assorbimento costituita da due reattori a bolle disposti in serie lato liquido e in controcorrente con la miscela gassosa

La figura 2.14 riporta uno schema semplificato della configurazione impiantistica adottata nel corso del test sperimentale del 23/05/2013.

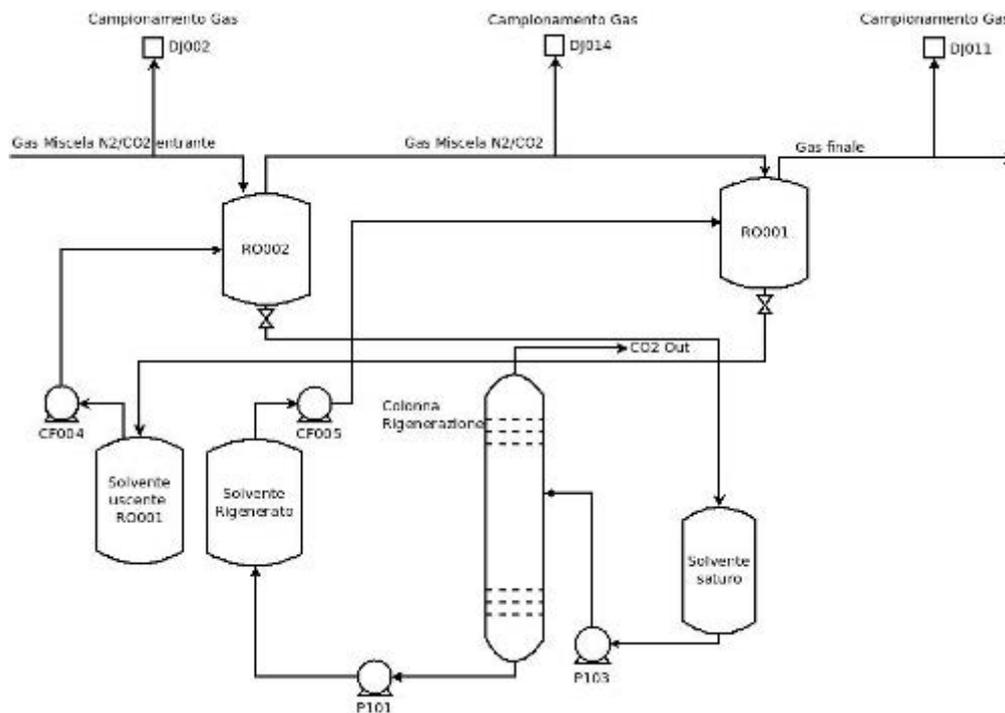


Figura 2.14 - Schema assorbimento CO₂ e rigenerazione provato nel test sperimentale del 23/05/2013

Anche in tale configurazione i due reattori a bolle (RO001, RO002) sono stati disposti in serie rispetto alla miscela di gas. Tramite le prese di campionamento situate a monte e a valle di ciascun componente è stato monitorato l'andamento della concentrazione di CO₂ nella miscela di alimentazione e nelle correnti gassose in uscita dei reattori a bolle.

La soluzione amminica in uscita dal primo assorbitore (RO001) confluisce tramite una valvola manuale in un serbatoio da cui, tramite la pompa di rilancio (CF004), viene reintegrato il secondo reattore a bolle (RO002). La soluzione amminica dello scarico del secondo assorbitore confluisce al serbatoio di solvente saturo che alimenta l'unità di rigenerazione; infine, tramite una pompa di rilancio dedicata (CF005), si ripristina il livello del primo reattore a bolle con la soluzione amminica rigenerata.

Per quanto riguarda il circuito del liquido, i due reattori a bolle sono stati collegati in serie e alimentati rispettivamente con una soluzione amminica a rigenerata e con una soluzione a basso caricamento di CO₂. La disposizione in serie lato liquido e in controcorrente con i gas consente di ottimizzare la capacità di assorbimento della soluzione amminica sfruttando la maggiore forza motrice del processo data dalla differenza di concentrazione della CO₂.

2.3.4. Sezione di assorbimento costituita dai reattori a bolle disposti in serie lato liquido e in controcorrente con il syngas prodotto dal gassificatore

La configurazione impiantistica è del tutto simile alla precedente. L'unica differenza consiste nel gas inviato al sistema di assorbimento: se nelle configurazioni precedenti il gas proveniva dalle bombole ed era composto da N₂ e CO₂, nel caso in esame esso proviene dal gassificatore e dalle sezioni di trattamento, (rimozione dell'H₂S e del COS nella sezione di desolforazione a caldo). Superati i reattori di assorbimento il syngas, depurato della CO₂, viene inviato alla torcia per essere bruciato. Si riporta di seguito lo schema semplificato della configurazione in oggetto.

- Contatori di energia parziali azzerabili
- Contatore totale e parziale
- Led frontale a impulsi per energia attiva consumata
- Indicazione consumo istantaneo (potenza attiva)
- Tensione nominale 380-415 V 3N≈
- Frequenza nominale 50/60 Hz
- Potenza assorbita 20 VA
- Corrente minima 0,5 A
- Corrente di riferimento 10 A
- Corrente massima 63 A
- Numero impulsi 1000 imp/kWh
- Durata impulso 30 ms
- Installazione da interno
- Temperatura di impiego -25 +55°C
- Grado di inquinamento 2
- Categoria di sovratensione 3
- Ambiente meccanico Classe M1
- Ambiente elettromagnetico Classe E1
- Isolamento Tensione nominale 250 V≈
- Isolamento Tensione nominale tenuta impulso 6 kV
- Tipo di morsetti a vite
- Numero morsetti 7 (alimentazione e misura)
- Materiale poliammide RAL 7035
- Grado di protezione IP 40
- Peso 360 g
- Conforme a norme IEC/EN 61010-1, EN 50470-3, UL 508, CSA C22.2 n°14

2.5 Inserimento e miglioramento della strumentazione esistente

Al fine di ottimizzare il funzionamento di alcune sezioni dell'impianto pilota si è deciso di migliorare la strumentazione esistente; in particolare è stata effettuata la modifica e la manutenzione del misuratore di portata del syngas e la sostituzione del rotometro posizionato in prossimità del compressore a due stadi posizionato a monte del PSA.

2.5.1. Misuratore di portata del syngas

Le modifiche apportate al misuratore di portata del syngas, posizionato a valle del gassificatore, hanno riguardato, in particolare, la sostituzione del sensore di misura e la modifica di una delle sue curve di taratura.

In particolare il misuratore di portata per syngas è caratterizzato da tre curve di taratura per tre differenti composizioni del syngas in percentuale volumetrica (tabella 2.2).

Tabella 2.2 - composizioni del syngas in percentuale volumetrica per curva di taratura

	Composizione 1	Composizione 2	Composizione 3
H ₂	13	20	33,44
O ₂	0,75	3,95	1,34
N ₂	1,31	52	41,67
CH ₄	0,97	0,38	0,7
CO	25,2	10	12,33
CO ₂	58,59	13,578	10,41
C ₂ H ₆	0,09	0,002	
H ₂ S	0,02	0,02	0,04
COS	0,07	0,07	0,07

Il misuratore di portata di syngas è costituito da un sensore il cui funzionamento è basato sulla conduttività termica dei vari elementi ed è particolarmente sensibile alla concentrazione dell'idrogeno, che presenta la migliore conduttività termica.

Nelle precedenti campagne sperimentali sono state effettuate prove di gassificazione con carboni che hanno prodotto un syngas caratterizzato da basse concentrazioni volumetriche di idrogeno (intorno al 5%) che non possono essere rilevate dal misuratore di portata posto a valle del gassificatore. Pertanto si è deciso di ritarare lo strumento in modo da poter rilevare le basse concentrazioni di idrogeno (al di sotto del 13%) riducendo la percentuale massima di idrogeno misurabile. In particolare è stata modificata la curva caratteristica n.3.

2.5.2. Inserimento nuovo rotametro nel compressore a monte del PSA

Nell'ambito del presente progetto è stato ordinato, e inserito fra i due stadi del compressore posizionato a monte del PSA, un nuovo rotametro (figura 2.17) al fine di ottenere un controllo sulla portata di syngas necessaria all'avviamento del secondo stadio dello stesso compressore.



Figura 2.17 - rotametro posizionato fra i due stadi del compressore

2.6 Modifiche alla linea a caldo

Da precedenti prove effettuate sulla sezione di trattamento a caldo del syngas è emersa una diminuzione dell'efficienza del sistema di purificazione dell'idrogeno (PSA, pressure swing adsorption). Infatti i valori di concentrazione di H_2 all'uscita del PSA sono passati da un valore iniziale di 90-97% ad un valore di circa il 50%.

Da un'attenta analisi svolta sui setacci molecolari a base di composti alluminosilicati (zeoliti), che hanno il compito di filtrare il syngas producendo idrogeno quasi puro, si è osservata la presenza di un'elevata concentrazione di acqua al loro interno, che provoca una sensibile diminuzione del rendimento del PSA. Per tale motivo è in fase di studio la realizzazione e il posizionamento di un filtro anti umidità a monte del PSA stesso, il cui schema è riportato in figura 2.18.

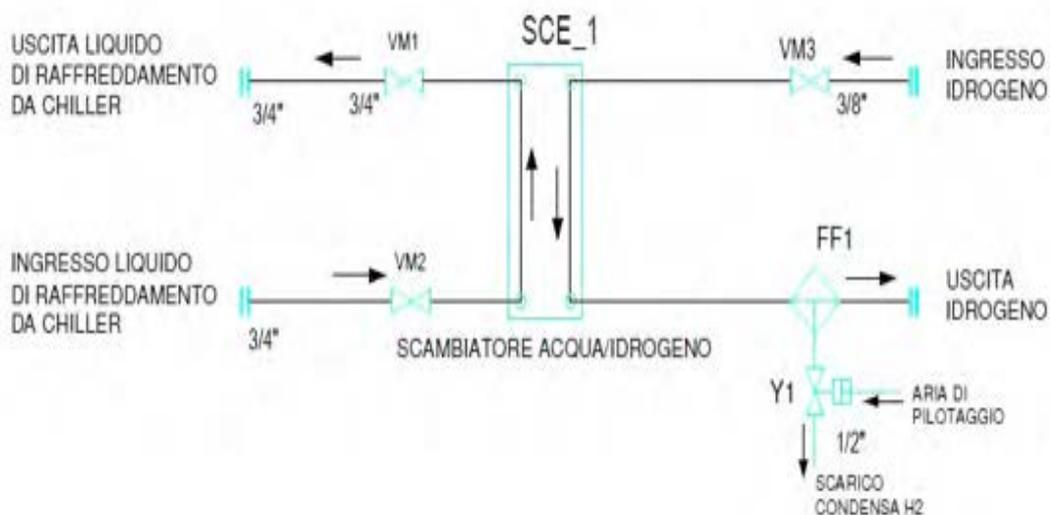


Figura 2.18 - schema del filtro anti umidità per syngas

Come si evince dallo schema, il filtro anti umidità sarà dotato di uno scaricatore di condensa che permette di eliminare automaticamente l'umidità presente nel syngas e di evitare il danneggiamento dei setacci molecolari presenti nel PSA.

3. Verifiche funzionali sull'impianto dimostrativo

A partire dal mese di ottobre 2012 sono state eseguite delle prove su alcuni componenti dell'impianto dimostrativo per verificare il loro funzionamento e valutare gli interventi necessari per l'avviamento dello stesso impianto. In particolare durante tali prove sono state individuate le criticità delle varie apparecchiature e gli interventi di manutenzione da effettuarsi, che sono di seguito descritti.

3.1. Sezione di caricamento e alimentazione combustibile

Sulla sezione di caricamento del combustibile sono state eseguite le seguenti attività:

- verifica della funzionalità del paranco;
- verifica della funzionalità della ghigliottina;
- verifica della funzionalità dei misuratori di livello posizionati sulle condotte di caricamento carbone.

Nella tabella 3.1 sono riportati, per ciascuna apparecchiatura, i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.1 - analisi di funzionamento della sezione di caricamento e alimentazione combustibili

Apparecchiatura	Tipo di test	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Paranco	Movimentazione	Revisione del sistema	€ 2.000
Ghigliottina di caricamento	Movimentazione	Positiva	
Misuratori di livello carbone	Verifica strumentale	Revisione del sistema	€ 2.000
TOTALE COSTI INTERVENTI			€ 4.000

3.2. Fluidi ausiliari

Sono state effettuate delle prove funzionali sulle condotte di adduzione dei fluidi ausiliari (aria strumenti, azoto, acqua e GPL). In particolare sono state effettuate le seguenti attività:

- verifica delle condotte di adduzione del GPL all'impianto per l'individuazione di eventuali perdite.
- verifica delle condotte di adduzione acqua;
- verifica delle condotte di adduzione aria strumenti;

Non sono state effettuate verifiche sull'impianto di stoccaggio e alimentazione dell'azoto in quanto rientranti nel contratto di locazione dell'impianto con la ditta fornitrice.

Nella tabella 3.2 sono riportati, per ciascuna apparecchiatura, i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.2 - analisi di funzionamento della sezione fluidi ausiliari

Apparecchiatura	Tipo di test	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Circuito GPL	Circolazione del GPL nell'impianto dimostrativo	Positiva	
Circuito acqua	Circolazione acqua nell'impianto dimostrativo	Positiva	
Circuito aria strumenti	Circolazione aria strumenti nell'impianto dimostrativo	Positiva	

3.3. Sistema di alimentazione degli agenti gassificanti (soffiante aria processo, caldaie vapore)

Gli agenti gassificanti necessari al funzionamento del gassificatore dell'impianto dimostrativo sono aria processo e vapore, forniti rispettivamente da una soffiante e da due caldaie in grado di produrre una portata pari a 250 kg/h ognuna.

In particolare sono state effettuate le seguenti attività:

- verifica della funzionalità del ventilatore aria processo;
- verifica della funzionalità delle condotte di alimentazione dell'aria processo al sistema di accensione e al sistema di scarico ceneri del gassificatore;
- verifica della funzionalità dei due generatori di vapore da 250 kg/h ciascuno;
- verifica della funzionalità delle condotte di alimentazione del vapore al gassificatore;
- verifica delle strumentazioni presenti lungo la linea del vapore;
- verifica della coibentazione della linea vapore.

Nella tabella 3.3 sono riportati, per ciascuna apparecchiatura, i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.3 - analisi di funzionamento della sezione alimentazione agenti gassificanti

Apparecchiatura	Tipologia di prova	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Ventilatore per la produzione aria processo	Avviamento del sistema	Positiva	
Sistema alimentazione aria processo	Verifica delle strumentazioni	Sostituire la valvola dell'aria agli irradiatori	€ 4.000
Generatori di vapore	Verifica visiva e controllo elettrico	Sostituire il bruciatore e il corpo valvola	€ 12.000
Sistema alimentazione vapore	Verifica delle strumentazioni	Sostituire la coibentazione	€ 12.000
TOTALE COSTI INTERVENTI			€ 26.000

3.4. Sezione di gassificazione

Sul reattore di gassificazione sono state eseguite le seguenti attività:

- verifica della funzionalità del sistema di movimentazione dello stirrer;
- verifica della funzionalità del sistema di raffreddamento dello stirrer;
- verifica della funzionalità del sistema di scarico ceneri, in particolare delle valvole a ghigliottina e della griglia;
- verifica della funzionalità del sistema di accensione del gassificatore (irradiatori);
- verifica della funzionalità del sistema di raffreddamento del gassificatore.

Nella tabella 3.4 sono riportati, per ciascuna apparecchiatura, i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.4 - Analisi di funzionamento della sezione gassificatore

Apparecchiatura	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Sistema di movimentazione Stirrer	Sostituire il fine corsa	€ 500
Verifica sistema di raffreddamento stirrer	Positiva	
Sistema scarico ceneri: Valvole a ghigliottine	Sostituire il distributore aria	€ 500
Sistema scarico ceneri: griglia	Sostituire o modificare il sistema scarico ceneri	€ 120.000
Sistema accensione gassificatore: Irradiatori	Sostituire il convertitore di temperatura	€ 3.000
Sistema di raffreddamento del gassificatore	Sostituire il misuratore di livello dello steam drum	€ 1.000
TOTALE COSTI INTERVENTI		€ 125.000

3.5. Sezione di pulizia syngas: scrubber

Sullo scrubber sono state eseguite le seguenti attività:

- verifica della funzionalità del sistema di ricircolo acqua di lavaggio del syngas;
- verifica della funzionalità delle strumentazioni a servizio dello scrubber;
- verifica della funzionalità del sistema di circolazione dell'acqua.

Nella tabella 3.5 sono riportati, per ciascuna apparecchiatura, i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.5 - Analisi di funzionamento della sezione di pulizia syngas: scrubber

Apparecchiatura	Tipologia di prova	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Sistema di ricircolo acqua di lavaggio syngas	Avviamento del sistema	Positiva	
Strumentazioni a servizio dello scrubber	Verifica delle strumentazioni	Sostituire il misuratore di pressione	€ 400
Sistema di circolazione dell'acqua	Movimentazione acqua	Positiva	
TOTALE COSTI INTERVENTI			€ 400

3.6. Torcia

Sulla torcia è stata eseguita la verifica della funzionalità del sistema di accensione.

Nella tabella 3.6 sono riportati i test effettuati, i risultati ottenuti, gli interventi da effettuare e la stima dei relativi costi.

Tabella 3.6 - Analisi di funzionamento della torcia

Apparecchiatura	Tipologia di prova	Esito prova/Intervento	Costo stimato
Sistema accensione	Avviamento del sistema	Intervenire sul PLC	€ 10.000
TOTALE COSTI INTERVENTI			€ 10.000

3.7. Sistema di regolazione e controllo

È stata eseguita una verifica di funzionamento del sistema di regolazione e controllo, che ha dato esito positivo. Sarà comunque necessario un intervento, il cui costo è stato stimato pari a € 10.000, da parte di una ditta specializzata per migliorare il software del sistema.

3.8. Sintesi degli interventi necessari e dei relativi costi

Nella tabella 3.7 sono riassunti i costi necessari per la messa in esercizio dell'impianto dimostrativo.

Tabella 3.7 – Stima costi per messa in esercizio impianto dimostrativo

Sezioni di impianto	Costo stimato
Sezione di caricamento e alimentazione combustibile	€ 4.000
Fluidi ausiliari	
Sistema di alimentazione agenti gassificanti	€ 26.000
Sezione di gassificazione	€ 125.000
Sezione di pulizia syngas: scrubber	
Torcia	€ 10.000
Sistema di regolazione e controllo	€ 10.000
Costo totale impianto dimostrativo	€ 175.000

Nella tabella 3.8 sono riportate infine le tempistiche necessarie alla messa in esercizio dell'impianto dimostrativo.

Tabella 3.8 - Tempistiche realizzazioni interventi

Mesi	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Attività di manutenzione												
Alimentazione combustibile					X	X	X					
Fluidi ausiliari				X	X	X						
Sistema di alimentazione agenti gassificanti						X	X	X				
Reattore di gassificazione	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Scrubber			X	X	X	X	X					
Torcia						X	X					
Sistema di regolazione e controllo												
Strumentazione e piping	X	X	X	X	X	X						
Impianto elettrico	X	X	X									
Attività di collaudo									X	X	X	
Avviamento												X

4. Conclusioni

Come illustrato nei paragrafi precedenti, durante il progetto sono state apportate modifiche sulle principali sezioni dell'impianto pilota; esse ne hanno migliorato le prestazioni ed inoltre hanno aumentato il campo delle sperimentazioni da effettuare sull'impianto pilota.

Di seguito si riporta l'elenco delle principali modifiche e dei conseguenti miglioramenti.

- Modifiche al gassificatore: sono stati inseriti due nuovi agitatori del letto di gassificazione per migliorare lo scarico delle ceneri e l'omogeneità del letto di gassificazione, è stata modificata la griglia di scarico ceneri per migliorarne il funzionamento; inoltre è stato inserito uno stirrer manuale al posto della termocoppia multipla. Tali modifiche hanno evitato il blocco dello scarico ceneri ed hanno migliorato l'omogeneità del letto di gassificazione.
- Modifiche al sistema di assorbimento della CO₂ e alla colonna di rigenerazione: sono stati modificati i reattori a bolle presenti lungo la linea a caldo; essi sono stati posti in serie lato gas e lato liquido. Sulle linee di mandata gas ai reattori a bolle sono state effettuate delle modifiche che permettono l'invio sia di gas da bombole che simuli il gas da post combustione, sia l'invio di syngas da gassificazione (come gas da precombustione) attraverso la linea a caldo. Inoltre sono stati inseriti dei contatori di energia per misurare i consumi elettrici dell'unità di rigenerazione per desorbire la CO₂ dall'ammina.
- Inserzione di nuova strumentazione: è stato migliorato e ottimizzato il funzionamento della strumentazione presente nell'impianto pilota.

In conclusione le modifiche effettuate durante il progetto CERSE V hanno migliorato la funzionalità dell'impianto pilota risolvendo diverse problematiche notate nei precedenti test sperimentali; esse inoltre hanno permesso di migliorare la conoscenza dei processi studiati e, in alcune sezioni, di incrementare le prestazioni dell'impianto stesso. Sull'impianto dimostrativo è stata effettuata una valutazione approfondita e puntuale delle azioni da intraprendere e sui costi da affrontare per poter mettere in funzione l'impianto stesso.

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

Le attività della Sotacarbo riguardano soprattutto:

- Sviluppare progetti di R&S e di ricerca applicata sulle nuove tecnologie di utilizzo del carbone, le così dette Clean Coal Technologies (CCTs)
- Operare come punto di riferimento a livello nazionale, per il coordinamento delle attività di R&S sul carbone a sostegno del sistema industriale italiano
- Promuovere e diffondere la conoscenza sulle CCTs, fornendo una corretta visione delle potenzialità del carbone nel panorama energetico italiano e non, con particolare riferimento alla sua compatibilità con l'ambiente
- Monitorare gli sviluppi tecnologici riguardanti l'utilizzo pulito del carbone
- Fornire attività di consulenza ad enti, istituzioni e privati nel campo delle CCTs. Partecipare a meeting internazionali e gestire rapporti con organizzazioni omologhe straniere per contribuire alla diffusione delle CCTs