



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

### Migliorie dell'impianto pilota ed inserimento della nuova strumentazione

*G. Calì, M. Caboni, F. Tedde, P. Miraglia, E. Maggio,  
M. Fadda, A. Madeddu*



## MIGLIORIE DELL'IMPIANTO PILOTA ED INSERIMENTO DELLA NUOVA STRUMENTAZIONE

G. Calì, M. Caboni, F. Tedde, P. Miraglia, E. Maggio, M. Fadda, A. Madeddu (Sotacarbo)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>

Responsabile Progetto: Antonio Calabrò, ENEA

**PIATTAFORMA PILOTA  
PER LA PRODUZIONE E IL TRATTAMENTO DEL SYNGAS DA CARBONE**

**PROGETTO DI RICERCA CERSE 3<sup>^</sup> ANNUALITA'**

OR1 - SPERIMENTAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DI IMPIANTI DI GASSIFICAZIONE: PRODUZIONE, TRATTAMENTO E CONVERSIONE DEL SYNGAS PRODOTTO DALLA GASSIFICAZIONE DEL CARBONE IN IMPIANTI EQUIPAGGIATI CON CATTURA DELLA CO<sub>2</sub>

**RELAZIONE TECNICA**

**MIGLIORIE DELL'IMPIANTO PILOTA ED INSERIMENTO  
DELLA NUOVA STRUMENTAZIONE**

		<b>PROGETTO DI RICERCA CERSE 3</b>	
<b>Rev.</b>	<b>Data Emissione</b>		
0	30.09.2011	Gabriele Cali Monica Caboni Fabrizio Tedde Paolo Miraglia Enrico Maggio Marcella Fadda Alessandra Madeddu	

## **Premessa**

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Studi e sperimentazione di sistemi e tecnologie applicate ad impianti di produzione energetica da carbone equipaggiati con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>".

Nell'ambito dell'obiettivo A1 "Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione: produzione, trattamento e conversione del syngas prodotto dalla gassificazione del carbone in impianti equipaggiati con cattura della CO<sub>2</sub>" è prevista 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 CO<sub>2</sub> da gas provenienti dal gassificatore. In particolare, in questo ambito sono previste migliorie di impianto ed inserimento di nuova strumentazione.

La rendicontazione economica di tali attività è contenuta nel documento economico relativo all'obiettivo OR1.



## Indice

<b>Premessa</b> .....	2
<b>1. Introduzione</b> .....	4
<b>2. Problemi impiantistici rilevati e soluzioni adottate</b> .....	6
2.1 Modifiche hardware e software del sistema di regolazione e controllo .....	6
2.2 Realizzazione di un sistema di riscaldamento degli agenti gassificanti .....	7
2.3 Sostituzione del refrattario del gassificatore .....	12
2.4 Modifica della linea syngas gassificatore-scrubber .....	16
2.5 Modifica della linea alimentazione syngas e arricchimento H <sub>2</sub> al motore .....	16
2.6 Modifica della linea di scarico della MEA esausta .....	17
2.7 Manutenzione dei misuratori di ossigeno .....	18
2.8 Sostituzione e completamento della coibentazione in alcune parti di impianto .....	18
2.9 Montaggio e regolazione del pistone di apertura della griglia di scarico ceneri .....	20
2.10 Sostituzione compressore syngas (CY001) .....	21
2.11 Sostituzione dischi di rottura .....	22
2.12 Inserimento di due misuratori di portata syngas .....	24
2.13 Sostituzione della termocoppia multipla del gassificatore .....	25
2.14 Realizzazione di una nuova linea per l'adduzione al gassificatore della miscela gassificante CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> .....	26
2.15 Modifica del sistema di caricamento carbone interno al gassificatore .....	27

## **Migliorie dell'impianto pilota ed inserimento della nuova strumentazione**

### **Relazione tecnica**

#### **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 recentemente sviluppato una Piattaforma Sperimentale (figura 1.1) comprendente due impianti di gassificazione in letto fisso up-draft (tecnologia Wellman-Galusha) 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 in continuo dei processi di gassificazione"), 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 riscontrate durante l'esercizio dell'impianto pilota, l'individuazione degli interventi di modifica ed integrazione volti alla soluzione di tali problematiche, nonché gli interventi di miglioramento dell'impianto stesso. Si riporta di seguito un elenco degli interventi effettuati, di cui verrà fatta una descrizione più dettagliata nei successivi paragrafi:

1. modifiche hardware e software del sistema di regolazione e controllo;
2. realizzazione di un sistema di riscaldamento degli agenti gassificanti;
3. manutenzione delle pareti interne del gassificatore: sostituzione del refrattario del gassificatore;
4. modifica della linea syngas gassificatore-scrubber;
5. modifica della linea alimentazione syngas e arricchimento H<sub>2</sub> al motore;
6. modifica della linea di scarico della MEA esausta;
7. manutenzione dei misuratori di ossigeno;
8. sostituzione e completamento della coibentazione in alcune parti di impianto;
9. montaggio e regolazione del pistone di apertura della griglia di scarico ceneri;
10. sostituzione compressore syngas (CY001);
11. sostituzione dischi di rottura;
12. inserimento di due misuratori di portata syngas;
13. sostituzione della termocoppia multipla del gassificatore;
14. realizzazione della linea CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>;
15. riduzione del tratto della tubazione interna al gassificatore di caricamento carbone

## **2. Problemi impiantistici rilevati e soluzioni adottate**

### 2.1 Modifiche hardware e software del sistema di regolazione e controllo

Al fine di migliorare il funzionamento della piattaforma è stato previsto l'inserimento di nuove apparecchiature il cui corretto funzionamento ha richiesto il potenziamento del sistema di regolazione e controllo (SRC) a servizio dell'impianto. Precedentemente il sistema SRC, presentava evidenti limitazioni che non consentivano di acquisire nuovi segnali al quadro esistente per poter gestire le nuove apparecchiature installate pertanto si è resa necessaria l'estensione del quadro di controllo dell'impianto pilota. E' stata pertanto elaborata una soluzione che ha previsto l'acquisto di una nuova base con relativa cassetta di alloggiamento, e di 5 moduli sui quali far arrivare i segnali. Le apparecchiature fornite e installate dalla ditta Eurotherm Srl nel mese di marzo 2011, presentano le seguenti caratteristiche tecniche:

- una base per alloggiare 16 moduli I/O e 2 CPU T2550B/-/16R/C16/CDM/ENG + T2550T/IOC/R/RJ45/NONE
- due CPU Ethernet con seriale Modbus RTU slave T2550/L70/F32/ELIN/SERIAL/NONE
- due moduli 3 ch. per ingressi analogici da mA con alimentazione TX 2500M/AI3UNIV + 2500T/AI3/UNIV/NONE
- due moduli 2 ch. per uscite analogiche per mA e/o V 2500M/AO2UNIV + 2500T/AO2/UNIV/NONE due canali con isolamento canale/canale a 264Vac/50Vac . Uscite -0.1/+20.5mA oppure 0/10Vdc, liberamente impostabile per ciascun canale . Risoluzione migliore di 1parte su 10.000 . Consumo 120mA max
- un modulo 4 ch. per uscite digitali a relè con Fusibile 2500M/RLY4 + 2500T/RLY4/FUSE quattro canali con 3 contatti NO + contatto NO/NC. Fusibile di protezione 3.15A. . Contatti con protezione rimovibile contro l'arco elettrico . Uscite 2A a 240Vac; 0.5A a 200Vdc; 2A a 50Vdc (carico resistivo) . Più di 600.000 cicli a 2A-250Vac (1 milione di cicli a 1A-250Vac) . Riferirsi al manuale o alla specifica tecnica per condizioni d'uso con carichi induttivi
- due cavi di rete rame UTP Category 5 RJ45 3 m TP-Cat5
- una cassetta di contenimento
- una cassetta 600Lx400Px800A IP43 RAL7044
- due interruttori automatici, Mod. 2x10A C60L B 25KAV
- due ventilatori 50m<sup>3</sup>/h 150x150 cuscinetto
- due filtri 150x150

- Sezionatori con fusibili, interruttori magnetotermici e morsetti vari.

Oltre alle modifiche hardware si sono rese necessarie delle modifiche software, che hanno riguardato l'aggiunta di sequenze di gestione dei nuovi misuratori di portata di syngas, della valvola regolatrice della sezione CO<sub>2</sub> - O<sub>2</sub>, nonché la sequenza di gestione del pistone di scarico del gassificatore.

## 2.2 Realizzazione di un sistema di riscaldamento degli agenti gassificanti

Nelle precedenti sperimentazioni si è osservato che, la temperatura media del vapore inviato al gassificatore era pari a circa 100 °C, a seguito del suo miscelamento con l'aria, tale temperatura (della miscela aria+vapore) diminuiva ulteriormente a valori pari a circa 85 - 90 °C. A causa di tale bassa temperatura, parte del vapore condensava comportando problematiche sul processo di gassificazione (come la formazione di conglomerati di ceneri ed il raffreddamento del letto di gassificazione). Pertanto al fine di risolvere le suddette problematiche è stato dimensionato uno scambiatore di calore che, dotato di resistenze elettriche, sia in grado di surriscaldare sia il vapore che l'aria. Per il suo dimensionamento è stato effettuato un bilancio termico dove sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Temperatura all'ingresso del riscaldatore: 100 °C;
- Portata di esercizio vapore: 8 kg/h
- Portata di esercizio aria: 40 kg/h

Utilizzando la seguente equazione di bilancio termico:

$$Q = M_{aria} * C_p * \Delta_T + M_{vapore} * C_p * \Delta_T$$

dove i vari simboli corrispondono:

- Q = calore necessario alla miscela
- Maria = portata massica di aria
- Mvapore = portata massica di vapore
- CP = calore specifico del fluido
- ΔT = differenza di temperatura T finale - T iniziale

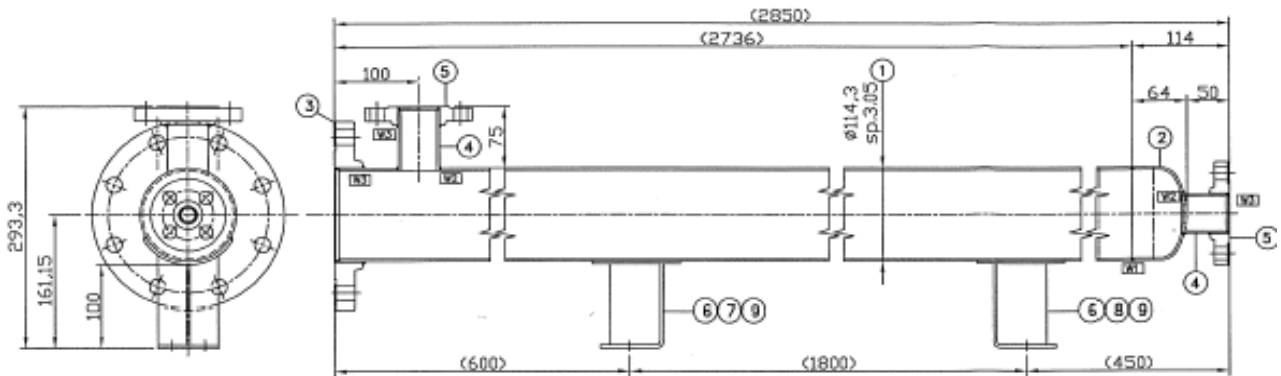
La temperatura minima di riscaldamento della miscela aria/vapore è risultata pari a 250 °C.

Sulla base dei dati sopra esposti è stato progettato lo scambiatore a resistenze elettriche con le seguenti caratteristiche:

- temperatura di ingresso della miscela vapore/aria: +80°C,

- temperatura di uscita della miscela vapore/aria: 250 - 300°C
- tre elementi riscaldanti, serie tubular heaters, piegati ad "U", saldati a TIG alla flangia; procedura di saldatura certificata ed effettuata da operatori qualificati.
- isolante degli elementi riscaldanti: MgO ad elevata purezza (min. 99,4%) ed elevata compattezza, per incrementare le caratteristiche dielettriche e di conducibilità termica, secondo ASTM E-235-82.
- diametro nominale elementi riscaldanti: 16,00 mm -0,02/-0,08 mm
- lunghezza totale degli elementi riscaldanti, sotto flangia:  $\leq 1.000$  mm
- lunghezza della parte fredda degli elementi riscaldanti, sotto flangia: 100 mm
- lunghezza utile riscaldante:  $\leq 900$  mm
- diametro del fascio degli elementi riscaldanti:  $\leq 78$  mm
- standoff, sopra flangia: 100 mm
- spazio per inserimento/rimozione:  $\leq 1.400$  mm
- tensione di alimentazione: 400 Vac  $\pm 5\%$ , 50/60 Hz, trifase delta
- densità di potenza:  $\leq 0,4$  W/cm<sup>2</sup>
- potenza complessiva: 3 kW (3x1000W)
- due guaine per inserimento termostati, realizzate in AISI 304L, con diametro nominale 8 mm x 0,8 mm;
- due sensori di temperatura di tipo rimovibile: uno per controllo della temperatura del fluido, set 200°C con reset automatico (16 A/400 Vac), uno di sovratemperatura del fluido, set a circa 350°C per Classe T1.
- Costruzione: certificata secondo LCIE 07 ATEX 6004X
- quadro di comando e controllo.

Il riscaldatore è inserito all'interno di un vessel, isolato termicamente, con lamiera di protezione in acciaio inox. Nella figura seguente è riportato il disegno del progetto dello scambiatore a resistenze elettriche:



*Figura 2.2.1 .schema dello scambiatore a resistenze elettriche*

La lunghezza totale dello scambiatore, come si evince dal disegno, è pari a 3.250 mm e il diametro è di 114 mm.

Il sistema di riscaldamento della miscela acquisito è caratterizzato da resistenze elettriche che potrebbero arrivare ad una Tmax di 900 °C, ma a causa del rispetto della normativa sulle zone a rischio esplosione (Normativa ATEX), la temperatura massima non può superare i 450°C. Questo ha determinato l'aumento dell'area di scambio termico delle resistenze elettriche.

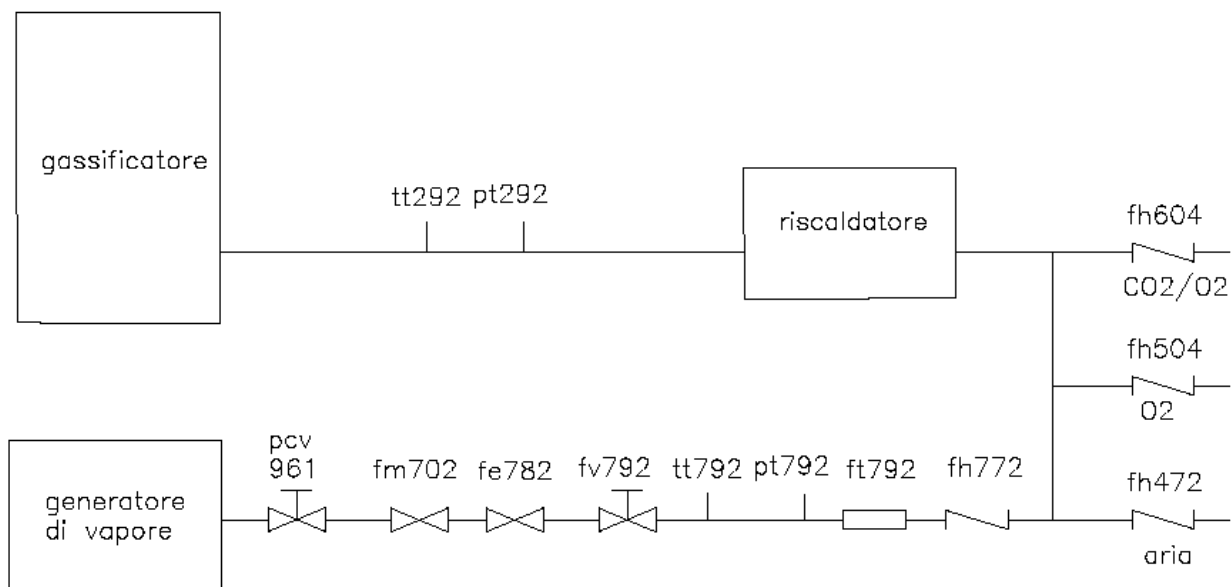
La gestione dello scambiatore è effettuata da un quadro di regolazione e controllo riportato in figura:



*Figura 2.2.2 .quadro di regolazione e controllo surriscaldatore elettrico*

Esso prevede l'utilizzo di un inverter di potenza gestito da un termoregolatore, tale inverter ha il compito di modulare la potenza elettrica fornita alle resistenze del surriscaldatore in funzione: della

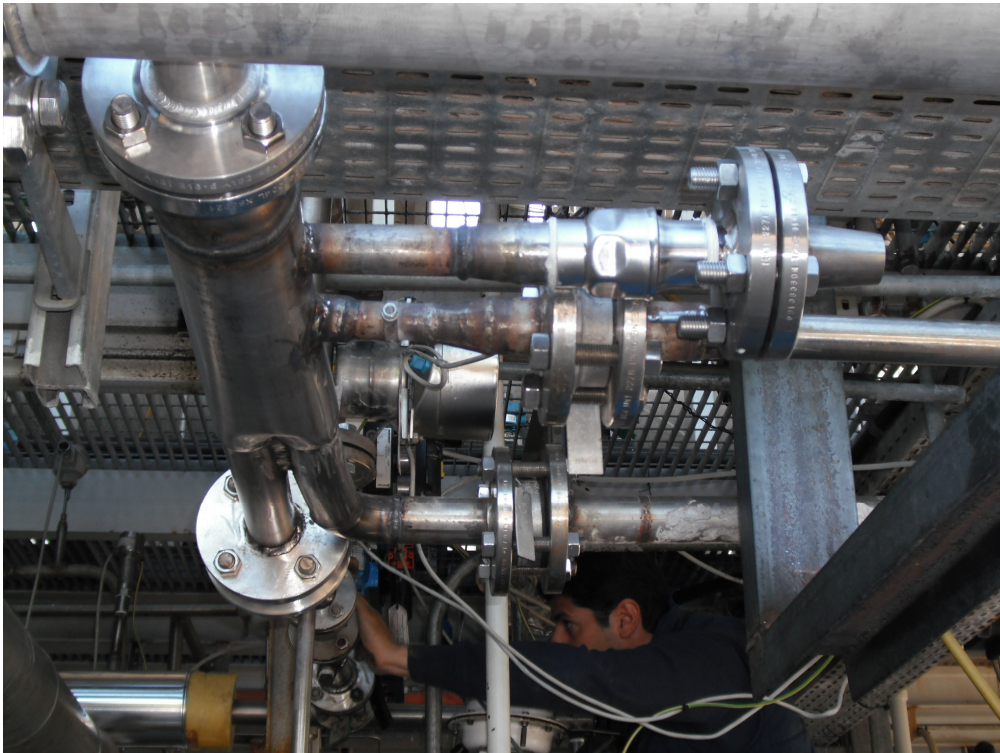
temperatura impostata sul termoregolatore (set point impostato dall'operatore) e della temperatura della resistenza elettrica presente all'interno del surriscaldatore. Sono inoltre presenti dei sistemi di sicurezza in caso di surriscaldamento del sistema e in caso di superamento della temperatura massima prevista dalla normativa ATEX. Per poter utilizzare il sistema di riscaldamento con qualsiasi agente gassificante (aria, vapore, ossigeno, anidride carbonica) è stata modificata la linea di adduzione degli stessi al reattore di gassificazione secondo lo schema riportato nella seguente figura 2.2.3, dove tutti gli agenti gassificanti vengono convogliati allo scambiatore (nel disegno nominato come riscaldatore) tramite un collettore. Ogni agente gassificante, per motivi di sicurezza, possiede una valvola di non ritorno posta prima del collettore stesso per evitare ritorni di altri fluidi lungo le tubazioni di adduzione.



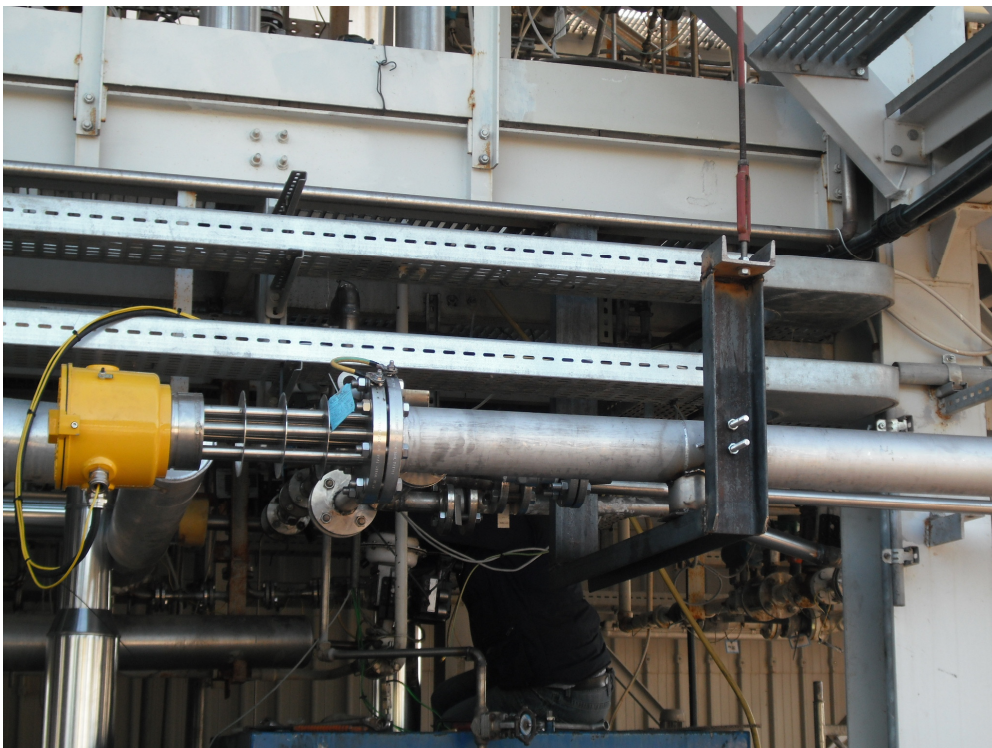
*Figura 2.2.3 .schema della modifica della linea di adduzione agenti gassificanti a motore*

Si riportano di seguito alcune immagini delle parti (collettore, scambiatore a resistenze elettriche) costituenti il sistema di riscaldamento installato nel mese di maggio nell'impianto pilota.





*Figura 2.2.4 .collettore degli agenti gassificanti*



*Figura 2.2.5 .scambiatore a resistenze elettriche*

Come mostrato in figura 2.2.4 il collettore è rappresentato da una tubazione di tre pollici di diametro e un metro di lunghezza in cui aria e vapore entrano dalla parte anteriore mentre l'ossigeno e la miscela di CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> entrano lateralmente. Nella figura 2.2.5 viene mostrato lo scambiatore che è stato ancorato alla struttura dell'impianto tramite due staffe.

L'installazione dello scambiatore e le conseguenti modifiche alle linee degli agenti gassificanti sono state eseguite nel periodo 2 – 13 maggio 2011, i cui risultati sono stati verificati nelle prove successive. In particolare dai dati rilevati in tali prove si è potuto verificare che:

1. nel gassificatore vengono inviati 40 kg/h di aria miscelati a 6-8 kg /h di vapore, lo scambiatore riesce a portare tale miscela alla temperatura di massima di 350 °C-360 °C tale miscela entra nel gassificatore alla temperatura di 270-290 °C (temperatura monitorata dalla termocoppia TT292 posta all'ingresso del gassificatore);
2. nel gassificatore vengono inviati 35-40 kg/h di aria insieme a 4-5 kg/h di vapore, lo scambiatore riesce a portare tale miscela alla temperatura di massima di 400 °C - 420 °C tale miscela entra nel gassificatore alla temperatura di 300 °C (temperatura monitorata dalla termocoppia TT292 posta all' ingresso del gassificatore);
3. nel gassificatore vengono inviati 25-28 kg/h di miscela CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> con CO<sub>2</sub> al 80% di concentrazione in volume e O<sub>2</sub> al 20%, lo scambiatore riesce a portare tale miscela alla temperatura di massima di 410°C - 430 °C tale miscela entra nel gassificatore alla temperatura di 310 °C (temperatura monitorata dalla termocoppia TT292 posta all' ingresso del gassificatore).

In tutti i casi sopra riportati è stato risolto il problema delle condense di vapore, inoltre è stata aumentata la loro reattività inviando aria e vapore a temperature più elevate. In tutte le prove effettuate si è avuta una perdita di temperatura di circa 70 - 80 °C tra quella di uscita dallo scambiatore e quella di ingresso al gassificatore.

### 2.3 Sostituzione del refrattario del gassificatore

Il materiale refrattario che riveste internamente le pareti del gassificatore, alla conclusione delle precedenti prove sperimentali, è risultato ricoperto da uno strato di ceneri che si sono fuse e, risolidificate sullo stesso, formando una superficie irregolare, come mostrato in figura 2.3.1.





*Figura 2.3.1 .refrattario pareti interne del gassificatore*

Tale fenomeno, favorito da irregolarità presenti nelle pareti interne del gassificatore, ha provocato la progressiva diminuzione del diametro interno del reattore, come evidenziato nella figura 2.3.2.



*Figura 2.3.2 .refrattario con restringimento del diametro del reattore di gassificazione*

Il materiale del rivestimento refrattario era costituito originariamente da una laterlite cementizia con temperatura massima di rottura pari a 1450 °C e di rammollimento risulta pari a 1000 °C. Ciò ha determinato il verificarsi del fenomeno di saldatura delle ceneri al refrattario, per un'altezza pari a circa 80 cm a partire dal fondo del gassificatore (griglia di scarico ceneri). Pertanto la porzione intaccata è stata sostituita con un materiale composito: ceramico nella parte più esterna a contatto con le ceneri e fibre isolanti nella parte più interna. Tale materiale ha una maggiore resistenza meccanica grazie alla parte ceramica che resiste fino a 1450 °C senza subire fenomeni di rammollimento. L'isolamento termico rimane del tutto inalterato rispetto al precedente materiale, grazie alle fibre isolanti presenti nella parte più interna. Tale modifica ha consentito, come verificato nelle prove sperimentali successive, di risolvere i problemi legati agli accumuli di ceneri fuse e ha reso più omogenei gli scarichi. Gli interventi di ripristino del materiale refrattario sono stati effettuati nel mese di febbraio 2011. Di seguito si riportano alcune immagini che evidenziano: il materiale precedentemente utilizzato, le fibre isolanti nella parte più interna e il nuovo materiale utilizzato.



*Figura 2.3.3 .refrattario lesionato da sostituire*





*Figura 2.3.4 .fibra isolante interna*



*Figura 2.3.5 .nuovo refrattario*

Le immagini sopra riportate evidenziano che il nuovo refrattario è stato realizzato con dei mattoni di dimensioni identiche a quelli precedenti ma di colore differente in particolare nell'immagine 2.3.5 si nota lo stacco fra il vecchio refrattario e il nuovo.

Dalla figura 2.3.4 si nota come il nuovo refrattario è separato dalla parete metallica del gassificatore tramite una fibra ceramica. Le prove sperimentali, effettuate a seguito della

sostituzione (dal 24/02/2011), hanno evidenziato un'ottima resistenza del refrattario ed una diminuzione del quantitativo di ceneri e di incombusti che si depositano sulle pareti del gassificatore, che peraltro sono facilmente rimuovibili e non intaccano il refrattario stesso.

#### 2.4 Modifica della linea syngas gassificatore-scrubber

Durante le campagne sperimentali relative alla seconda annualità del progetto CERSE, è stato verificato il progressivo deposito di polveri e TAR lungo il condotto che trasporta il syngas dal gassificatore allo scrubber. Tale linea è soggetta allo sporcamento perché attraversata dal syngas grezzo (prima di qualsiasi trattamento di pulizia) che, in quel tratto, subisce un sostanziale raffreddamento (causa della condensazione del TAR). Il disegno originale della tubazione non consentiva lo smontaggio della linea in fase di manutenzione per cui la pulizia è stata sempre effettuata utilizzando dell'aria compressa. Questo metodo però, oltre a non essere completamente efficace, causava lo sporcamento degli elementi presenti lungo in condotto (valvole e strumentazione di misura).

Alcuni interventi effettuati sulla linea, hanno evidenziato, inoltre, un importante stato di corrosione del primo tratto della tubazione con conseguente elevata riduzione dello spessore della stessa. Per risolvere i problemi sopra descritti sono stati effettuati, nel mese di marzo, due diversi interventi. Il primo consiste nella sostituzione del tratto iniziale del condotto (immediatamente dopo il gassificare) con uno nuovo, costituito da materiale più resistente alla corrosione (condotto in AISI 316L con 6,03 mm di spessore). Il secondo intervento consiste nel sezionamento del tratto di linea di collegamento tra gassificatore e scrubber, che è stato suddiviso in quattro segmenti uniti da collegamenti flangiati. Tale modifica consente di smontare agevolmente la linea e di effettuarne periodicamente la pulizia in modo efficace.

#### 2.5 Modifica della linea alimentazione syngas e arricchimento H<sub>2</sub> al motore

La linea di alimentazione syngas al motore prevedeva, inizialmente, lo scarico manuale della condensa attraverso una valvola convogliata, posta nella parte bassa del condotto. Tale soluzione non ha impedito, però, che elevate quantità di condensa arrivassero all'alimentazione del motore ed alla linea di arricchimento H<sub>2</sub>. Una simile circostanza ha causato il deperimento della valvola di regolazione di pressione del gas in ingresso al motore. Pertanto per eliminare il fenomeno di formazione delle condense nella linea di alimentazione al MCI ed arricchimento H<sub>2</sub>, è stato previsto

l'inserimento di un polmone dotato di cono di raccolta, realizzato in modo da effettuare una separazione ciclonica delle condense stesse.

Il separatore progettato e inserito nella linea presenta le seguenti caratteristiche principali:

- altezza complessiva: 445 mm;
- diametro: 227 mm;
- materiale: AISI 304;
- spessore minimo: 3 mm;
- ingresso del syngas tangenziale con riduzione del diametro del condotto;
- uscita del syngas (DN 80) posta sulla superficie superiore del separatore, saldata in modo da penetrare all'interno dello stesso 70 mm al disotto dell'ingresso del gas;
- i condotti di ingresso ed uscita presentano collegamento flangiato (flange UNI 2277 PN10 DN80) col resto della tubazione, in modo da consentire lo smontaggio del ciclone.

I dettagli costruttivi sono riportati nell'elaborato grafico allegato al presente rapporto (allegato 1).

A seguito della progettazione è stato affidato l'ordine alla ditta Logal che ha realizzato e ultimato la modifica della linea di alimentazione syngas e arricchimento H<sub>2</sub> al motore nel mese di marzo.

## 2.6 Modifica della linea di scarico della MEA esausta

Il funzionamento dei reattori a bolle per la separazione della CO<sub>2</sub>, presenti nella piattaforma pilota Sotacarbo, prevede l'alimentazione continua del solvente al reattore ed il continuo e contemporaneo scarico del solvente esausto. Tale scarico secondo il progetto originario avviene attraverso il condotto di troppopieno la cui conformazione determina però, la fuoriuscita di syngas e la sua dispersione nell'area dell'impianto. Per risolvere il fenomeno precedentemente descritto è stata adottata la soluzione che prevede lo scarico del solvente esausto attraverso la valvola manuale posta sul fondo dell'apparecchiatura, in modo che, il battente di liquido (solvente) presente nel reattore, impedisca la fuoriuscita del gas. Tale soluzione, realizzata nel mese di marzo dagli operatori d'impianto, è in fase di verifica. Dalle prime sperimentazioni effettuate sono emerse le seguenti principali problematiche:

- sovrappressioni nei condotti syngas;

- eventuali problemi di mescolamento tra solvente fresco e solvente presente nell'apparecchiatura, a causa della posizione troppo ravvicinata dei condotti di alimentazione e scarico (entrambi posti nella parte bassa del reattore).

## 2.7 Manutenzione dei misuratori di ossigeno

L'Impianto Pilota è dotato di due misuratori di ossigeno che vengono utilizzati per determinare la concentrazione dell'ossigeno nel syngas a valle dello scrubber. Tale concentrazione è un parametro fondamentale per il funzionamento dell'elettrofiltro a umido posto a valle del gassificatore.

L'elettrofiltro, per svolgere la sua funzione di abbattimento delle polveri e del tar contenuti nel syngas, genera una differenza di potenziale tra due elettrodi che da luogo, occasionalmente, a delle scariche elettriche che possono rappresentare fonte di innesco di una esplosione. La concentrazione dell'ossigeno nel syngas deve sempre stare al di sotto del 1% per escludere completamente il rischio di esplosione. Tali misuratori hanno richiesto degli interventi di manutenzione presso il costruttore (Ditta FER Strumenti). Nella diagnosi del guasto è stato riscontrato lo sporcamento della camera di misura e delle tubazioni in *rilsan* di adduzione del syngas allo strumento. L'intervento di riparazione ha riguardato, per entrambi i misuratori, la pulizia della camera di misura, la sostituzione delle tubazioni di adduzione syngas e la taratura dello strumento di analisi. Entrambi i misuratori sono stati montati nel mese di febbraio e testati nei successivi avviamenti.

## 2.8 Sostituzione e completamento della coibentazione in alcune parti di impianto

La coibentazione presente sulle sezioni di CO-shift, desolforazione a caldo e linea vapore ha subito un deperimento causato dall'esposizione agli agenti atmosferici, pertanto si è reso necessario un intervento di sostituzione della stessa. Sono state individuate tre sezioni di impianto dove migliorare o rifare le coibentazioni: Si riporta di seguito l'elenco delle zone di impianto con le relative modifiche effettuate:

- linea di adduzione vapore e riscaldatore elettrico vapore: sostituzione della coibentazione con lana di roccia di spessore 50 mm e densità  $100 \text{ kg/m}^3$  rifinitura finale in alluminio 8/10 mm. Sullo scambiatore elettrico è stato utilizzato come materiale coibente fibraceramica di spessore 50 mm.



- reattori di CO-shift: sostituzione della coibentazione con fibraceramica di spessore 30 mm e due strati di lana di roccia di spessore 50 mm con rifinitura in alluminio
- reattori di desolforazione a caldo: realizzazione di una copertura in alluminio sulla coibentazione esistente (lana di roccia di spessore 100 mm), in quanto non eccessivamente deteriorata.

La sostituzione delle coibentazioni, avvenuta dal 26/05/2011 al 06/06/2011, ha permesso di minimizzare le perdite di calore e, quindi, di raggiungere temperature più elevate. Inoltre grazie alla copertura in alluminio la lana di roccia non è più esposta agli agenti atmosferici (pioggia, vento ecc) responsabili del precedente deperimento.

Si riportano di seguito due immagini rappresentative delle coibentazioni realizzate sui reattori di CO-shift e sul riscaldatore degli agenti gassificanti.



*Figura 2.8.1 . coibentazione reattori di CO-Shift*



*Figura 2.8.2 . coibentazione del riscaldatore degli agenti gassificanti*

## 2.9 Montaggio e regolazione del pistone di apertura della griglia di scarico ceneri

La movimentazione del sistema di scarico ceneri, che inizialmente veniva effettuata in modalità manuale, è stata automatizzata tramite l'inserimento di un sistema di movimentazione pneumatica che è costituito da un pistone direttamente collegato all'asta della griglia e di un quadro di controllo che permette la movimentazione manuale o automatica (sia in locale che in remoto). Nelle figure di seguito riportate sono mostrati i componenti del sistema pneumatico.



*Figura 2.9.1 .pistone pneumatico*

Le caratteristiche tecniche del quadro di comando sono le seguenti:

- |  |              |
|--|--------------|
| - Quadro pneumatico tipo               | PV01/01      |
| - Pressione minima di alimentazione    | 6,5 bar      |
| - Pressione di esercizio aria          | 5,5 bar      |
| - Portata minima di alimentazione      | 200 NI/min   |
| - Tensione di alimentazione quadro el. | 220 V/ 50 Hz |
| - Tensione elettrovalvola              | 24 VDC       |
| - Potenza elettrica installata         | 50 W         |

Lo spostamento del pistone viene comandato dall' operatore in sala direttamente da monitor il quale imposta i valori di spostamento del pistone e visualizza i valori del sensore di posizione. Inoltre per gestire il sistema pneumatico con dei cicli automatici di apertura e chiusura della griglia è stato inserito un temporizzatore che permette di impostare i tempi del ciclo. Durante le prove si è evidenziato che il tempo ottimale per un ciclo di apertura/chiusura standard è risultato pari a 1 secondo, tale ciclo permette uno scarico di ceneri del volume di 2 litri.

La modifica al sistema di regolazione e controllo per poter azionare il sistema pneumatico di movimentazione della griglia da remoto è stato effettuato in data 29/03/2011.

#### 2.10 Sostituzione compressore syngas (CY001)

La tipologia del compressore CY001, posto a monte della sezione di trattamento a caldo del syngas (di tipo rotativo con rotore eccentrico a palette), e le caratteristiche di montaggio all'interno dell'impianto, fanno sì che il syngas in uscita dallo stesso contenga elevate quantità di olio lubrificante. Conseguenza di tale fenomeno sono lo sporcamento dei filtri e delle apparecchiature poste a valle del compressore e, in caso di un elevato numero di ore di funzionamento consecutivo e il verificarsi di sovrappressioni dovute ad intasamento dei filtri e dei condotti. Pertanto si è deciso per la sostituzione del compressore CY001, con uno nuovo e di tipologia diversa. La ricerca è stata effettuata sulla base delle seguenti specifiche:

- portata: 10 - 40 Nm<sup>3</sup>/h;
- pressione di ingresso syngas: 10 - 50 mbar;
- pressione massima di uscita syngas 0.5 bar;
- certificazione ATEX: zona 2.

Le ridotte dimensioni del compressore (in termini di prevalenza e portata) e la presenza di umidità nel gas da comprimere, hanno reso piuttosto complicata la ricerca. Nonostante l'elevato

numero di aziende contattate, solo la ditta Matta è stata in grado di proporre due diverse apparecchiature rispondenti alle specifiche richieste. Entrambi i compressori sono prodotti dalla GEV s.r.l.(General Europe Vacuum) e sono del tipo a lobi rotanti, il cui funzionamento non prevede contatto tra lubrificante e fluido aspirato.

Tra le due apparecchiature proposte, è stata scelta quella più adatta all'utilizzo in ambiente aperto. Le principali caratteristiche sono di seguito riportate:

- tipo: soffiante a lobi rotanti tipo 3202;
- potenza 3 kW
- certificazione: ATEX II-3G-IIB T3.
- Inoltre, il compressore è corredato di:
  - valvola di sicurezza di tipo a scarico convogliato con circuito convogliato in aspirazione;
  - filtro di aspirazione a tenuta stagna flangiato;
  - inverter digitale per la regolazione.

Per garantire la completa funzionalità del sistema di compressione syngas si sono rese necessarie le attività di seguito riportate:

- installazione ed inserimenti dell'inverter nel quadro esistente;
- implementazione del blocco di regolazione del compressore nel SRC dell'impianto pilota.

### 2.11 Sostituzione dischi di rottura

La linea di trattamento del syngas è dotata di quattro dischi di rottura, del tipo con rivestimento scanalato piano, tre di essi sono posizionati nella sezione di trattamento a freddo del syngas ed uno posto nella sezione di trattamento a caldo (a valle del compressore CY001 e prima dell'ingresso al riscaldatore BI002). I dischi attualmente montati sono caratterizzati da una pressione di rottura troppo vicina alla pressione di esercizio, tale caratteristica potrebbe esporli più facilmente ad una rottura accidentale, pertanto è stato valutato necessario l'acquisto di alcuni dischi di rottura, a riserva di quelli presenti in impianto. Sono stati quindi acquistati dei dischi di rottura nel rispetto delle seguenti normative:

- UNI EN ISO 4126-2:2003 – Dispositivi di sicurezza per la protezione contro le sovrappressioni – Dispositivi di sicurezza a disco di rottura;

- UNI EN ISO 4126-6:2005 – Dispositivi di sicurezza per la protezione contro le sovrappressioni – Parte6: Applicazione, selezione e installazione dei dispositivi di sicurezza a disco di rottura.

In base alle normative sopra riportate e per la corretta scelta dei dischi di rottura è stato calcolato il rapporto operativo, definito come segue:

$$\text{rapporto operativo} = \frac{\text{pressione di esercizio (bar)}}{\text{limite minimo della pressione di rottura (bar)}}$$

Per un disco di rottura del tipo con rivestimento scanalato, come quelli montati nell'impianto pilota, il rapporto operativo massimo è risultato pari a 0,5.

Considerando una pressione di esercizio pari a 0,4 bar il limite minimo della pressione di rottura è risultato pari a:

$$\text{limite minimo della pressione di rottura (bar)} = \frac{\text{pressione di esercizio (bar)}}{\text{rapporto operativo}} = \frac{0,4\text{bar}}{0,5} = 0,8 \text{ bar}$$

La fornitura di tre dischi di rottura per la sezione di trattamento a freddo, e tre per la sezione di trattamento a caldo è stata affidata alla ditta Donadon SDD, che ha proposto l'offerta più conveniente. Tali dischi hanno le seguenti caratteristiche:

- tipo: C-DIF
- dimensione: DN40 (trattamento a caldo), DN350 (trattamento a freddo);
- materiale: ASTM A 240 316/316L, con membrana di protezione in PTFE lato processo;
- modalità di montaggio: inserimento diretto tra flange UNI PN 10 P;.
- pressione di rottura: 0,8 barg;
- temperatura di rottura: 30 °C;
- pressione di esercizio massima: 0,4 barg;
- tolleranza: +/- 10% sul punto di scoppio.

I dischi di rottura relativi alla sezione di trattamento a caldo sono stati consegnati il 28/03/2011, quelli relativi alla sezione di trattamento a freddo verranno consegnati entro il mese di luglio.



## 2.12 Inserimento di due misuratori di portata syngas

Per meglio monitorare la portata del syngas sono stati inseriti due misuratori di portata posizionati uno a valle dell'elettrofiltro ed uno all'uscita dei reattori di separazione di CO<sub>2</sub>

L'inserimento del misuratore di portata di syngas a valle dell'elettrofiltro si è resa necessaria in quanto le misurazioni effettuate dal misuratore posto a valle del gassificatore risultavano poco attendibili a causa del suo sporcamento dovuto al contatto diretto con il syngas grezzo,.

Inoltre durante le precedenti campagne sperimentali è emersa la necessità di installare in uscita dal reattore di separazione della CO<sub>2</sub> un misuratore di portata syngas al fine di monitorare meglio le prestazioni del suddetto reattore.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche del misuratore posizionato a valle dell'elettrofiltro:

- pressione operativa: 1 / 1,2 BAR A
- pressione massima: 69 BAR G
- temperatura operativa: 0° / 80°C
- range di temperatura: -46° / +177°C
- Protezione locale: IP 66 - ATEX II 2GD EExd IIC T6 (ZONA 1/21)
- segnale di uscita: 2 x 4-20 mA (portata istantanea + temperatura)
- range di portata: 0 (1,4)...100 Nm<sup>3</sup>/h / 0...100°C
- materiali parti bagnate: AISI 316
- accuratezza: +/-1% V.L. +/-0,5% fondo scala
- ripetibilità: < 0,5% V.L.

Per la taratura dello strumento è stata utilizzato un syngas avente la seguente composizione:

Composizioni medie syngas			
Specie chimiche	Frazioni molari		
	Composizione 1	Composizione 2	Composizione 3
H <sub>2</sub>	8-12	17-20	45-55
O <sub>2</sub>	1-2	1-2	1-3
N <sub>2</sub>	1	48-55	15-25
CH <sub>4</sub>	1-1.5	0.5-1.5	0.70
CO	16-22	18-19	22-30
CO <sub>2</sub>	55-50	8-10	4-8
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.09	0.002	0.08
H <sub>2</sub> S	0.02-1	0.02-1	0.02-1
COS	0.01-0.1	0.01-0.1	0.01-0.1
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	trascurabile	trascurabile	trascurabile

Le principali caratteristiche del misuratore posto a valle del sistema di separazione della CO<sub>2</sub> sono di seguito riportate:

- pressione operativa: 1 / 1,6 BAR A
- pressione massima: 16 BAR G
- temperatura operativa: 20 / 50°C
- protezione IP67 - ATEX II 2GD EExd IIC T6
- range di portata: 0 (1,7)...30 Nm<sup>3</sup>/h - 0...100°C
- materiali parti bagnate: AISI 316L
- accuratezza: +/-1% v.l. +0,5% fondo scala
- ripetibilità: +/-0,5% v.l.

Per la taratura dello strumento è stata utilizzato un syngas avente la seguente composizione:

Composizioni medie syngas	
Specie chimiche	Frazioni molari
	Composizione
H <sub>2</sub>	20-30
O <sub>2</sub>	0.5
N <sub>2</sub>	60-75
CH <sub>4</sub>	1-1.5
CO	4-20
CO <sub>2</sub>	0.01
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.01
H <sub>2</sub> S	0.0
COS	0.0
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	trascurabile

I misuratori di portata posizionati a valle dell'elettrofiltro e a valle del sistema di separazione della CO<sub>2</sub>, sono stati installati rispettivamente nel mese di marzo e nel mese di giugno.

### 2.13 Sostituzione della termocoppia multipla del gassificatore

Durante le precedenti prove, a causa di una variazione nella gestione del processo di gassificazione, la temperatura massima all'interno del gassificatore è aumentata notevolmente attestandosi a 1000-1100 °C. La termocoppia multipla, che registra la temperatura nel letto di gassificazione, ha subito frequenti danni in prossimità della zona combustione, pertanto è stata acquistata e installata nel mese di maggio, una termocoppia multipla di tipo k rinforzata nella sua parte finale e costituita da undici sensori, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- Campo di misura: 0 / 1.200 °C

- Protezione: IP66
- Lunghezza sensore: 2200 mm x 21 mm
- Alimentazione: selezionabile 100 – 260 Vca / 20 – 30 Vcc
- certificazione: ATEX II 2G EEx-e IIC T6
- sensori AISI 446

La nuova termocoppia può lavorare ad una temperatura operativa di 1200°C (temperatura operativa massima del gassificatore 1000-1100 °C), in quanto è dotata di un rivestimento speciale “supertemp”.

#### 2.14 Realizzazione di una nuova linea per l’adduzione al gassificatore della miscela gassificante CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>

Al fine di risolvere le problematiche dovute all’impossibilità di utilizzare contemporaneamente le linee di adduzione della miscela CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> e dell’ossigeno, per problemi impiantistici, si è deciso di realizzare due linee separate che si collegano ad un collettore (Figura 3.15.1) come riportato nel precedente paragrafo 2.2.



*Figura 2.14.1 .schema linea CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>*

Entrambe le linee sono dotate di un misuratore di portata e di una valvola regolatrice, che permettono la regolazione della portata dei due gas da inviare al gassificatore.

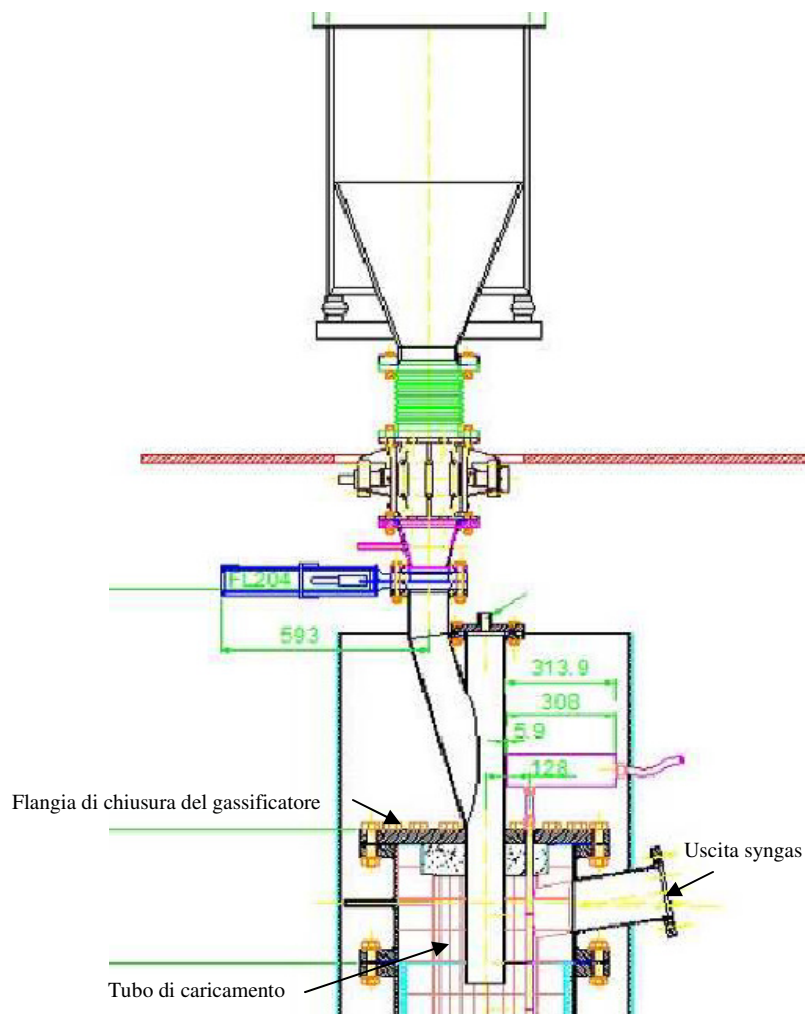
I lavori sopra descritti sono stati eseguiti dal personale interno nel mese di maggio.



### 2.15 Modifica del sistema di caricamento carbone interno al gassificatore

L'alimentazione del carbone all'interno del reattore di gassificazione avviene attraverso una tubazione di caricamento, la cui dimensione è stata ridotta per aumentare l'altezza del letto di gassificazione e conseguentemente i tempi di permanenza del syngas nel reattore di gassificazione.

La riduzione della lunghezza della tubazione è stata di circa 450 mm per evitare di ostruire l'uscita del syngas dal gassificatore, tale modifica ha consentito un incremento del volume corrispondente a circa 32 litri di carbone, passando quindi da una capacità di circa 94 litri ad una di circa 125 litri.



*Figura 3.6.1 .particolare del gassificatore*

Allegato 1

