



## Ricerca di Sistema elettrico

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

G.Cali, F.Tedde, P.Miraglia, E.Maggio, R.Cara, A. Madeddu,  
M.Fadda, A.Orsini, C.Frau, E.Loria, P.Deiana, M.Subrizi, C.Bassano

PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLE MODIFICHE DELL'IMPIANTO DIMOSTRATIVO PER LA  
COGASSIFICAZIONE DI CARBONE E BIOMASSE

G. Calì, F. Tedde, P. Miraglia, E. Maggio, C. Raffaele, A. Madeddu, M. Fadda, A. Orsini, C. Frau, E. Loria  
(SOTACARBO)

P. Deiana, M. Subrizi, C. Bassano (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.2: Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

Obiettivo: Parte B1- a - Cattura della CO<sub>2</sub> in post e pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi

Task: a3: Progetto e realizzazione delle modifiche dell'impianto Dimostrativo SOTACARBO

Responsabile del Progetto: ing. 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 CO<sub>2</sub>*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico Sotacarbo: ing. Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO .....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
1.1 IL REATTORE DI GASSIFICAZIONE .....	5
2. PROBLEMI IMPIANTISTICI RILEVATI E SOLUZIONI ADOTTATE .....	8
2.1 SISTEMA DI CARICAMENTO COMBUSTIBILE AL GASSIFICATORE .....	8
2.2 SISTEMA DI SCARICO CENERI DEL GASSIFICATORE .....	9
2.3 SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DELLA CAMICIA DEL GASSIFICATORE .....	11
2.4 SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DEL LETTO DEL GASSIFICATORE (STIRRER).....	12
2.6 SISTEMA DI ADDUZIONE AGENTI GASSIFICANTI .....	15
2.7 SCRUBBER E SISTEMI DI SCARICO E STOCCAGGIO REFLUI .....	15
2.8 TORCIA .....	17
2.9 SISTEMA DI STOCCAGGIO E ADDUZIONE AZOTO .....	18
2.11 STRUMENTAZIONI ON-LINE .....	18
2.12 SISTEMA DI REGOLAZIONE A CONTROLLO .....	19
3. CONCLUSIONI .....	21

## 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 CO<sub>2</sub>". In particolare, nell'ambito dell'obiettivo a.3 "Progetto e realizzazione delle modifiche dell'Impianto Dimostrativo SOTACARBO". L'attività riguarda l'adattamento dell'Impianto "Dimostrativo" di gassificazione, già presente presso il Centro Ricerche Sotacarbo, per l'effettuazione di test di co-gassificazione di carbone e biomasse da filiera corta (come il cippato), con produzione di un syngas da impiegarsi per la generazione elettrica.

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

In particolare l'analisi degli interventi di modifica dell'Impianto "Dimostrativo" di gassificazione riguarderà: individuazione e analisi degli interventi necessari per la gestione sperimentale dell'impianto in modo discontinuo. Verranno studiati nel dettaglio gli interventi necessari per l'effettuazione delle prime campagne sperimentali sull'impianto pilota di gassificazione, tra cui la modifica della griglia (e del relativo sistema di movimentazione) e l'adeguamento della strumentazione.

## 1. Introduzione

Nell'ambito delle attività di ricerca per lo sviluppo di un processo di cogassificazione di carbone e biomasse a emissioni estremamente ridotte di agenti inquinanti, 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 Dimostrativo della piattaforma pilota.

L'impianto Dimostrativo della piattaforma Sotacarbo comprende, in estrema sintesi, una sezione di gassificazione, un sistema di primo lavaggio del syngas scrubber ed una Torcia. In particolare, la sezione di gassificazione è costituita principalmente da un reattore a letto fisso up-draft di taglia 5 MWt con una camicia di raffreddamento al posto del materiale refrattario (utilizzato da molti gassificatori di taglia simile). Il reattore di gassificazione utilizza solo aria e vapore come agenti gassificanti ed opera a pressione pressoché atmosferica. Il reattore è equipaggiato con una serie di apparecchiature ausiliarie per lo svolgimento delle varie funzioni a supporto della gassificazione, quali la produzione e l'immissione degli agenti gassificanti, il caricamento del combustibile, il sistema di controllo dei parametri di processo, il sistema di raffreddamento della camicia, il sistema di scarico ceneri.

### 1.1 Il reattore di gassificazione

Il gassificatore Dimostrativo della piattaforma Sotacarbo (figura 1.1) è costituito da un reattore a letto fisso up-draft, progettato per operare con alimentazione ad aria e a pressione pressoché atmosferica. Il gassificatore ha un diametro interno di 1300 mm e un'altezza complessiva pari a 2800 mm, con un'altezza massima del letto di combustibile pari a circa 2400 mm. Il combustibile viene introdotto all'interno del gassificatore dall'alto, attraverso una tramoggia a cui segue un condotto con forma a Y con tre ghigliottine per la gestione della tempistica del caricamento. Il combustibile viene caricato sulla tramoggia attraverso l'utilizzo di big, bag con volume pari a 1 m<sup>3</sup> che ha la possibilità di essere svuotato dal basso. Esso viene posizionato sulla tramoggia tramite l'utilizzo di un paranco (figura 2.2).



Diamo di seguito una descrizione rapida del funzionamento del gassificatore. Il combustibile solido, attraverso il sistema di caricamento descritto, viene alimentato dall'alto al gassificatore a letto fisso in controcorrente, mentre la miscela gassificante (vapore miscelato alla corrente di aria) viene inviata al sistema distributore del reattore posto nella parte bassa dello stesso, in controcorrente rispetto al combustibile solido. All'interno del reattore si realizzano varie tipologie di reazione in funzione della temperatura raggiunta e della tipologia dei reagenti presenti nelle varie sezioni: riscaldamento, essiccazione, pirolisi, gassificazione, combustione. Un agitatore (stirrer) immerso nel letto solido provvede, se azionato, ad omogeneizzare il letto medesimo e limitando la formazione di zone morte o cammini preferenziali. Il reattore è raffreddato tramite camicia alimentata ad acqua in fase liquida ed il raffreddamento viene effettuato tramite l'evaporazione dell'acqua medesima. Il vapore prodotto va ad un serbatoio orizzontale (Steam drum) di volume  $0,2 \text{ m}^3$  progettato per contenere una miscela bifasica di acqua e vapore, tale corpo cilindrico è in collegamento con un condensatore ad aria a convezione forzata con due ventole con motori da  $1,5 \text{ kW}$  6 poli trifase. Successivamente la fase condensata viene nuovamente alimentata alla camicia. La circolazione dell'acqua nel circuito di raffreddamento (camicia e condensatore) avviene tramite circolazione naturale. Lo stirrer è raffreddato tramite circuito chiuso con acqua in fase liquida che ne percorre l'interno e provvede al raffreddamento dello stirrer medesimo rimanendo in fase liquida. La circolazione dell'acqua avviene tramite pompe. Lo smaltimento dell'energia termica asportata dall'acqua di raffreddamento avviene per dispersione in ambiente in un serbatoio polmone dimensionato opportunamente.

Il profilo termico all'interno del gassificatore è determinato mediante 36 termocoppie posizionate sulle pareti del gassificatore su sei livelli differenti. Su ogni livello sono presenti sei termocoppie a  $60^\circ$  l'una dall'altra. Riportiamo di seguito un'immagine del gassificatore e una tabella della disposizione delle termocoppie rispetto all'altezza del gassificatore.



**Figura 1.1. La parte inferiore del gassificatore Dimostrativo.**

altezza						
2700	TIT-184P\PV	TIT-183P\PV	TIT-172P\PV	TIT-171P\PV	TIT-160P\PV	TIT-154P\PV
1600	TIT-185P\PV	TIT-182P\PV	TIT-173P\PV	TIT-170P\PV	TIT-161P\PV	TIT-155P\PV
800	TIT-186P\PV	TIT-181P\PV	TIT-174P\PV	TIT-169P\PV	TIT-162P\PV	TIT-156P\PV
650	TIT-187P\PV	TIT-180P\PV	TIT-175P\PV	TIT-168P\PV	TIT-163P\PV	TIT-157P\PV
500	TIT-188P\PV	TIT-179P\PV	TIT-176P\PV	TIT-167P\PV	TIT-164P\PV	TIT-158P\PV
350	TIT-189P\PV	TIT-178P\PV	TIT-177P\PV	TIT-166P\PV	TIT-165P\PV	TIT-159P\PV
	Nord Est	Fila NORD	Nord Ovest	Sud OVEST	Sud	Sud EST
Fila	A	B	C	D	E	F

**Tabella 1.1. posizionamento termocoppie alle diverse altezze del gassificatore**

Il letto di combustibile poggia sopra una griglia metallica che fino a questo momento non ha funzionato a causa di problematiche che verranno descritte più avanti. La griglia consente lo scarico delle ceneri attraverso un sistema composto da più piani concentrici come mostrato nella figura 1.2 .



**Figura 1.2. La parte esterna della griglia del gassificatore Dimostrativo.**

La fase di accensione avviene tramite sei irradiator ceramiche nettamente più potenti rispetto a quelli utilizzati sull'impianto Pilota 800 W contro 250 W disposti in maniera concentrica ad una altezza di circa 450 mm dal fondo del reattore di gassificazione.

Oltre il reattore di gassificazione l'impianto comprende una sezione di lavaggio scrubber ed una torcia; l'impianto è stato montato nel 2006-2007 ed è progettato un test sperimentale nel 2008. A causa di differenti problematiche nello scarico ceneri ed anche in altre sezioni dell'impianto il test sperimentale è fallito. Durante l'annualità attuale si è deciso di testare tale impianto e sono state effettuate le verifiche e le modifiche delle varie sezioni dell'impianto per conseguire tale obiettivo. Riportiamo di seguito: una descrizione approfondita delle sezioni dell'impianto, le problematiche riscontrate, gli interventi eseguiti e le modifiche apportate.

## 2. Problemi impiantistici rilevati e soluzioni adottate

Il presente capitolo riporta in sintesi le principali problematiche riscontrate sull'impianto dimostrativo e le soluzioni adottate per la loro risoluzione

### 2.1 Sistema di caricamento combustibile al gassificatore

Il sistema è composto: da un paranco per il sollevamento del combustibile, una tramoggia per contenere il combustibile da inviare nel gassificatore, tre valvole a ghigliottina per effettuare il caricamento del combustibile. Il combustibile viene trasportato in tramoggia tramite dei big-bag; essi sono dei contenitori dotati di bretelle per fissare il sacco al paranco e di un sistema di apertura dal basso del sacco. Il big-bag viene posizionato sulla tramoggia di caricamento da cui viene svuotato il combustibile presente all'interno; successivamente è presente una prima ghigliottina tramite la quale il materiale viene immesso in un sistema a forma di Y del volume di  $1,1 \text{ m}^3$  (un big-bag ha volume  $1 \text{ m}^3$ ) con due valvole a ghigliottine che consentono l'ingresso del combustibile nel gassificatore, il riempimento di tale sistema viene monitorato con dei misuratori di livello. Riportiamo di seguito due immagini del sistema:



Figura 2.1 Tramoggia del sistema di caricamento del gassificatore.





**Figura 2.2 Tubazioni del sistema a Y per il caricamento del combustibile nel gassificatore.**

In tale sistema sono stati revisionati i misuratori di livello e le ghigliottine di caricamento a cui sono stati sostituiti i distributori di aria strumenti inoltre sono state lubrificate ed ingrassate. Il paranco è stato revisionato; poiché a causa degli agenti atmosferici e del non utilizzo inizialmente non funzionava. Prima del test sperimentale a caldo è stato effettuato un test a freddo sul sistema al fine di verificare il funzionamento del sistema. Esso ha avuto esito positivo.

### *2.2 Sistema di scarico ceneri del gassificatore*

Il sistema è composto da un cono di scarico ceneri contenete un griglia mobile la cui parte superiore è stata mostrata nella figura 1.2, tale griglia per poter scaricare le ceneri è movimentata da un motore che gli permette la rotazione sia in senso orario sia in senso antiorario. Lo scarico delle ceneri dal gassificatore è completato da due ghigliottine che aprendosi alternativamente permettono la fuoriuscita delle ceneri. Il problema principale riscontrato in precedenza è quello relativo al deposito di materiale solido fra le dentature di pignone e corona durante lo scarico delle ceneri con conseguente blocco del sistema e danneggiamento della superficie dei denti. Per verificare le condizioni della griglia si è proceduto allo smontaggio del cono e della griglia di scarico ceneri da parte di una ditta specializzata della zona, poiché

risultava bloccata fin dal primo tentativo di accensione avvenuto nella fase di collaudo (anno 2009). Da una prima verifica della griglia e del sistema di movimentazione si è verificato che le problematiche di funzionamento del sistema sono probabilmente imputabili al progetto iniziale. Tutto il sistema di scarico è stato portato in un'officina attrezzata, dove si è proceduto allo smontaggio, alla sabbiatura ed al rilevamento delle misure dei vari componenti.

A valle di ciò, è stato riscontrato un ulteriore problema relativo al piegamento dell'albero del pignone probabilmente imputabile all'accumulo non previsto del materiale solido all'interno delle dentature e ad una possibile incongruità tra la misura reale dell'interasse pignone-corona e la misura teorica da noi calcolata.



**Fig. 2.3 - Viste di insieme del cono di scarico ceneri e basamento griglia mobile**

Tali problematiche sono state analizzate con i tecnici dell'ENEA che hanno progettato con i tecnici SOTACARBO, le seguenti modifiche:

- creare delle vie di fuga per il materiale solido che altrimenti andrebbe ad accumularsi, realizzando delle aperture nella struttura di sostegno della griglia e del pignone che andrebbero così a mettere in comunicazione il vano pignone (attualmente ceco) con il vano conico di scarico ceneri. Realizzare delle nervature per il ripristino delle caratteristiche di rigidità del sistema.
- la realizzazione di raschiatori che, ruotando insieme al pignone, impediscano la formazione di cumuli di materiale di scarico fra pignone e corona.
- riportare del materiale nella sede di alloggiamento del supporto albero pignone per di poterlo lavorare con macchina utensile al fine di poter ricreare l'interasse pignone corona su nostro progetto.
- rifacimento della foratura per il fissaggio del suddetto supporto.

Si allegano di seguito alcune immagini dei componenti smontati in officina.



Fig. 2.4 – Vista di dettaglio della struttura di sostegno della griglia e del pignone



Fig. 2.5 – Vista di dettaglio del pignone e della corona

### 2.3 Sistema di raffreddamento della camicia del gassificatore

Il gassificatore Dimostrativo, come già descritto nel paragrafo 1.1, ha come pareti una camicia di raffreddamento al posto del refrattario come ad esempio nel gassificatore Pilota ed in altri gassificatori della medesima taglia. La camicia di raffreddamento possiede dell'acqua che vaporizza a causa del calore scambiato con il reattore di gassificazione durante il suo funzionamento. Il vapore, che si forma nella camicia, giunge per circolazione naturale nel corpo cilindrico superiore "Steam Drum". Si tratta di un serbatoio orizzontale di volume 0,2 m<sup>3</sup>, con pressione massima ammissibile di progetto pari a 0,5 bar e un temperatura massima di 220 °C, progettato per contenere una miscela bifasica di acqua e vapore. Tale corpo cilindrico è in collegamento con un condensatore ad aria a convezione forzata che possiede due ventole con motori da 1,5 kW.

Di seguito riportiamo delle figure che illustrano lo steam drum e il condensatore





Figura 2.6 Steam Drum.

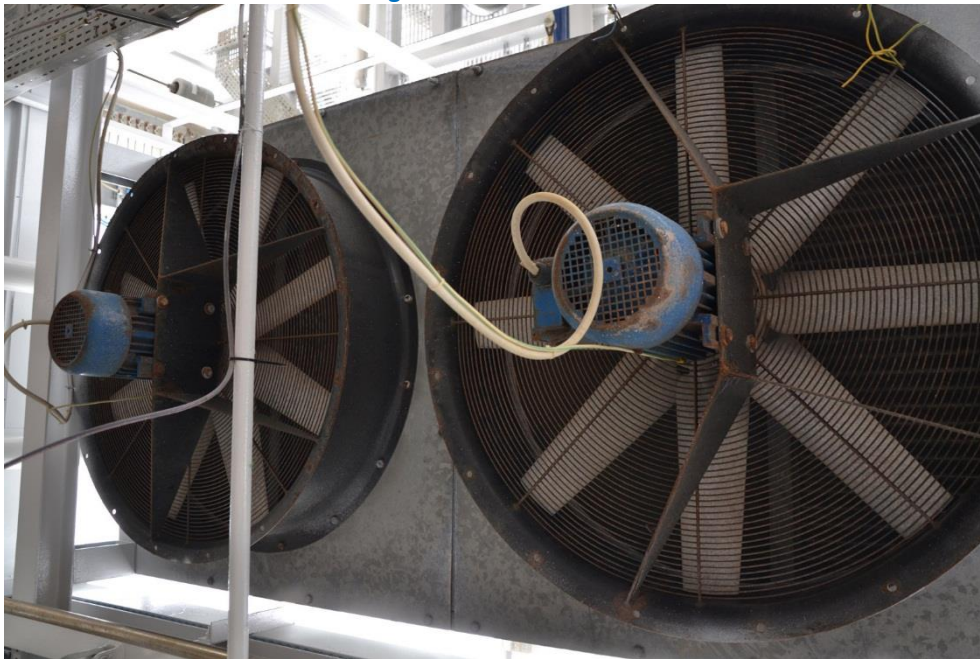


Figura 2.7 Condensatore.

Il sistema di raffreddamento ha la capacità di dissipare al massimo 500 kWt con una portata massima di 800 kg/h di vapore. Il condensatore è stato smontato, revisionato e pulito al suo interno inoltre è stata effettuato un test in pressione con acqua al fine di verificare l'assenza di perdite e l'apertura delle valvole di sicurezza alla pressione corretta (0.5 bar relativi). È stato testato a freddo il funzionamento delle ventole del condensatore.

#### *2.4 Sistema di movimentazione del letto del gassificatore (STIRRER)*

Il sistema di movimentazione del letto del gassificatore (STIRRER) è costituito principalmente da: un albero verticale cavo per assicurare la circolazione interna di acqua a fini di raffreddamento, un' asta perpendicolare posta all' estremità inferiore dell'albero e dotata di "pettini" per effettuare il

mescolamento del letto, pistone oleodinamico dotato di centralina che permette al pistone di salire e scendere, motore di rotazione con una cella di carico per stimare la sua resistenza alla rotazione, un sistema di circolazione di acqua interna allo stirrer per il suo raffreddamento. Lo STIRRER ha la forma di una T rovesciata di seguito riportiamo la figura in cui si notano i motori di rotazione e traslazione insieme al sistema con la corda di acciaio che collega lo stirrer al pistone oleodinamico.



**Figura 2.8 STIRRER.**

Il campo d'azione dello STIRRER varia da quota 1400 mm del reattore di gassificazione fino a quota 2400 mm e la traslazione verticale è effettuata tramite il pistone oleodinamico comandato da una centralina di immissione dell'olio.

Lo spostamento viene rilevato da un misuratore con un campo scala 0-1000 mm che invia il segnale in sala controllo dove si registra la misura. Sul sistema di regolazione e controllo è possibile inviare il comando di salita o di discesa impostando direttamente il valore numerico in mm. Alle estremità del pistone sono posizionati dei finecorsa per bloccarne la corsa stessa. Lo STIRRER è dotato di un motore direttamente posizionato sulla estremità superiore che ne permette la rotazione in ambo i sensi. La rotazione oraria permette allo STIRRER di mescolare il letto al suo interno, ed essendo la concorde con quella della griglia di scarico di agevolarne lo scarico stesso; inoltre grazie alla cella di carico si registra lo sforzo sostenuto dal motore durante la rotazione in maniera tale da bloccarlo se troppo elevata.

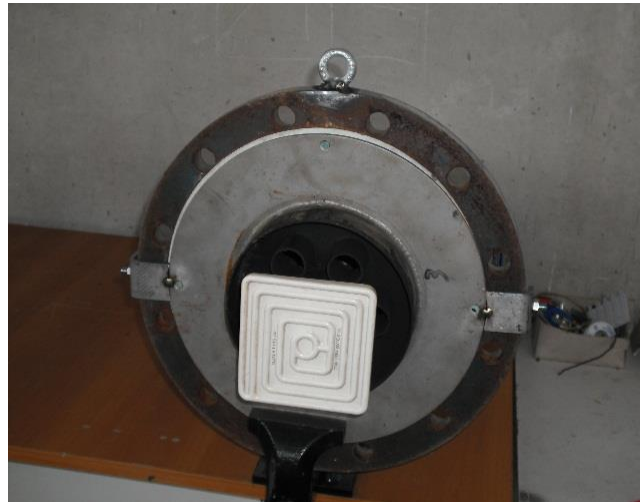
Viceversa in senso antiorario lo STIRRER si posiziona sulla superficie del letto permettendone il suo livellamento. Il sistema è stato completamente revisionato e sono state risolte diverse problematiche riguardanti le logiche di funzionamento ed il trasferimento di segnale al sistema di regolazione e controllo. È stato effettuato un collaudo a freddo sia sulla traslazione che sulla rotazione dello stirrer.

### *2.5 Sistema di accensione del gassificatore*

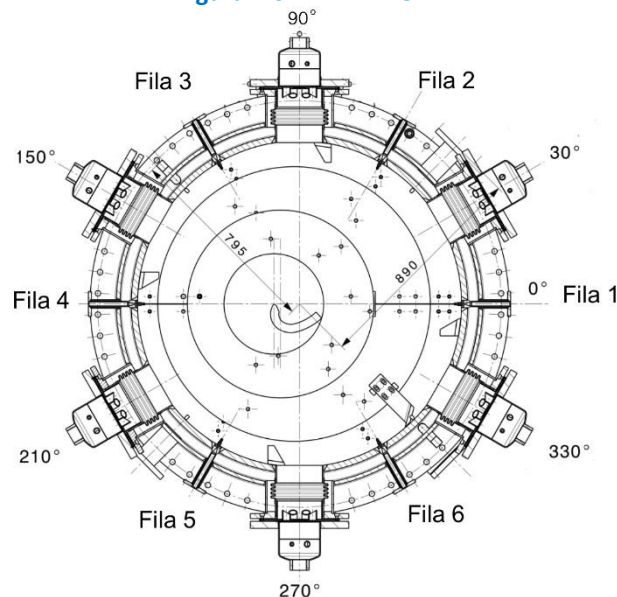
Il sistema di accensione del gassificatore dell'impianto dimostrativo è costituito da sei irradiatori ceramici ad infrarosso della potenza monofase di 800 W ciascuna marca Elstein modello HTS con dimensioni 125\*125 mm dotate di termocoppia interna di tipo K (0-1000 °C). L'irradiatore è inserito in una custodia metallica realizzata per il suo montaggio sul gassificatore a forma di lampada. Nel gassificatore gli irradiatori sono disposte su una corona circolare a quota 500 mm formando dei settori di 60 gradi l'una dall'altra.



Riportiamo di seguito un'immagine di un irradiatore con la sua lampada e della sezione del gassificatore dove sono posizionati gli irradiatori:



**Figura 2.6 IRRADIATORE.**



**Figura 2.7. Sezione del gassificatore dove sono presenti gli irradiatori di accensione.**

Gli irradiatori sono alimentati da tre SCR monofase della potenza di 2 kW con controllo della potenza da sistema di regolazione e controllo in relazione al set point di temperatura impostata. Ciascun SCR comanda una coppia di lampade, nello specifico:

- la fase R alimenta SCR1 che gestisce la coppia di irradiatori denominati HD406 e HD412
- la fase S alimenta SCR2 che gestisce la coppia di irradiatori denominati HD408 e HD414
- la fase T alimenta SCR3 che gestisce la coppia di irradiatori denominati HD410 e HD416

Per ovviare alle problematiche relative alla dispersione elettrica, già evidenziati sull'impianto Pilota (con sistema di accensione similare) sono stati introdotti 3 magnetotermici differenziali del tipo Bticino con In 16A e Id 0,03 A, posti a valle dei relativi SCR.

Tale modifica permette durante la fase di accensione di disalimentare selettivamente le coppie di irradiatori ceramici in dispersione senza pregiudicare il funzionamento delle altre e mantenere la temperatura degli stessi costante. Inoltre per rendere stagni i collegamenti dai connettori fino ai morsetti delle lampade è stata realizzata una camicia sui cavi dei conduttori con della guaina termo restringente per

alta temperatura. È stato effettuato su tale sistema un test di verifica a freddo con accensione degli irradiatori e regolazione per step di 100 °C ciascuno fino ad un massimo di 500 °C il test ha dato esito positivo.

## 2.6 Sistema di adduzione agenti gassificanti

Gli agenti gassificanti necessari al funzionamento del gassificatore dell'impianto dimostrativo sono aria processo e vapore, forniti rispettivamente da una soffiante con una portata massima di 1100 m<sup>3</sup>/h e da due caldaie per la generazione di vapore con una potenzialità di 250 kg/h ciascuna a 4 bar, successivamente è presente una valvola di laminazione della pressione fino ai 0.5 bar come previsto dal progetto.

In particolare sono state effettuate le seguenti attività:

- Verifica della funzionalità del circuito aria processo: è stata testata la funzionalità della soffiante mettendola in marcia con regolazione del flusso d'aria inviato al gassificatore e alle lampade attraverso le valvole on/off e regolatrici poste sulla linea.
- Verifica della funzionalità delle condotte di alimentazione dell'aria processo al sistema di accensione e al sistema di scarico ceneri del gassificatore: tale verifica si può considerare parte integrante del punto sopra descritto, l'aria inviata dal ventilatore passa attraverso queste due linee in modo regolare.
- Verifica della funzionalità dei due generatori di vapore: i generatori di vapore sono stati inviati presso la ditta LPV Caldaie fornitrice e produttrice delle stesse al fine di revisionarli. I generatori di vapore sono stati rimessi in funzione dopo tale operazione.
- Verifica della funzionalità delle condotte di alimentazione del vapore al gassificatore (tale verifica è parte integrante della precedente): il vapore prodotto dalle caldaie è stato inviato in linea testando così la linea stessa nonché gli strumenti e le valvole (on/off e regolatrici) presenti sulla linea stessa. Durante tale test è stata riscontrata una inadeguatezza degli scarichi condensa che sono stati modificati aumentando il diametro della tubazione e delle valvole di evacuazione condense. Dalla verifica effettuata si è riscontrata la necessità della sostituzione integrale della coibentazione sull'intera linea vapore partendo dall'uscita caldaie per arrivare all'ingresso del gassificatore.

## 2.7 Scrubber e sistemi di scarico e stoccaggio reflui

Lo scrubber ha lo scopo di effettuare un lavaggio ad acqua del syngas tramite un flusso equi corrente immesso mediante tre ugelli conici. Al fine di migliorare il lavaggio gli ugelli sono di tipo cono pieno e sono stati posizionati su tre rampe sovrapposte. Lo scrubber svolge anche la funzione di guardia idraulica antiritorno di fiamma; essa è dovuta dalla parte del corpo cilindrico della torre di lavaggio che è immersa per 200 mm al di sotto del pelo libero dell'acqua. Il syngas in uscita attraversa un demister costituito da 8 dischi forati sovrapposti al fine di eliminare l'acqua eventualmente trascinata. Il TAR separato dal syngas confluisce nella parte conica inferiore dello scrubber; da qui mediante una pompa monovite viene rimosso. Il volume di acqua contenuto nello scrubber è di 6 m<sup>3</sup>; tale invaso unito a quello del contenitore di accumulo (successivamente descritto), consente di avere un discreto volano termico e di mantenere efficiente il potere lavante dell'acqua, evitando fenomeni repentini di saturazione sia in rapporto all'acidità cloridrica sia alla concentrazione salina.

La vasca di accumulo ha un volume di 6 m<sup>3</sup> è collegata allo scrubber mediante una tubazione, internamente è divisa da due setti che fungono da barriere per il trattenimento dell'eventuale frazione saturante o di quella sedimentabile. La vasca di accumulo ha nella parte bassa una valvola per lo scarico dei sedimenti, inoltre è dotata di una presa di reintegro dell'acqua evaporata durante il lavaggio del syngas e dell'acqua scaricata come refluo.

L'acqua proveniente dalla vasca di accumulo viene rilanciata alla colonna di lavaggio tramite un sistema di pompe e di filtri. Riportiamo di seguito due immagini dello scrubber e della vasca di accumulo insieme al sistema di ricircolo e lavaggio acqua:



*Figura 2.8 Scrubber.*



*Figura 2.9 vasca di accumulo e sistema di ricircolo acqua di lavaggio.*

Sullo scrubber sono state eseguite le seguenti attività:

- Verifica della funzionalità del sistema di ricircolo acqua di lavaggio del syngas: tale prova è stata condotta a freddo: sono stati riempiti i serbatoi di ricircolo e di lavaggio dello scrubber al livello di funzionamento di 1700 mm, successivamente sono state messe in marcia alternativamente le due pompe di ricircolo verificandone così il corretto funzionamento.
- Verifica della funzionalità delle strumentazioni a servizio dello scrubber; mediante la prova prima descritta si è potuto verificare il funzionamento delle strumentazioni presenti in tale sezione, in particolare il misuratore di portata di ricircolo, i misuratori di pressione posti nei filtri delle pompe, e i misuratori di livello dei serbatoi. Da tali verifiche si è potuto constatare il corretto funzionamento del misuratore di portata e dei misuratori di livello, mentre si sono rilevati dei problemi ai misuratori di pressione, risolti tramite la sostituzione del misuratore di pressione interessato.
- Verifica della funzionalità del sistema di scarico reflui: è stata messa in marcia la pompa di eliminazione reflui posta al fondo del serbatoio di lavaggio dello scrubber. Lo scarico di tale pompa avviene in un pozzetto da cui tramite una pompa di rilancio il refluo viene inviato ad una vasca di

raccolta temporanea. A seguito di tale test è stato valutato necessario potenziare le pompe di rilancio ed aumentare volume del pozzetto passando  $0,5 \text{ m}^3$  a  $3 \text{ m}^3$ .

## 2.8 Torcia

La torcia dell'impianto Dimostrativo ha il compito di bruciare il syngas prodotto dal gassificatore. Essa è composta: da un sistema di adduzione GPL, sistema di accensione con fiamma Pilota, camera di combustione, cammino di evacuazione fumi, ventilatore aria comburente. La torcia funziona in maniera completamente automatica gestita tramite un PLC indipendente dal sistema di regolazione e controllo, L'operatore da sala controllo deve unicamente dare il comando di start per l'accensione e stop per lo spegnimento. L'operatore ha comunque possibilità di monitorare il funzionamento della torcia grazie all'acquisizione dati che avviene dal PLC del quadro torcia al sistema di regolazione e controllo. La torcia non ha funzionato nei primi test funzionali a causa di una problematica al suo PLC per questa motivazione è stato necessario far intervenire il tecnico della ditta fornitrice e ripristinare le funzionalità del PLC; inoltre è stata prevista la sostituzione del PLC in quanto ha mostrato delle problematiche permanenti. Riportiamo di seguito un'immagine della Torcia.



*Figura 2.10 Torcia.*

## 2.9 Sistema di stoccaggio e adduzione azoto

Il sistema di stoccaggio e adduzione Azoto all'impianto di gassificazione Dimostrativo è composto da un serbatoio di stoccaggio dell'azoto in fase liquida di capacità pari 40.000 dm<sup>3</sup> di azoto in fase liquida, un sistema di vaporizzatori per trasformare l'azoto liquido in gas ed un sistema di decompressione per regolare la pressione dell'azoto a circa 0,5 bar come da specifica. L'azoto è necessario per l'inertizzazione dell'impianto prima dell'accensione dell'impianto stesso e alla fine dello spegnimento, inoltre è necessario per uno spegnimento rapido e dunque per motivazioni di sicurezza dell'impianto stesso.

Sulla base dei dati di progetto l'impianto dovrà erogare 2000 m<sup>3</sup>/h alla pressione di 0.5 bar tale portata si è resa necessaria per poter inertizzare l'intero l'impianto in circa 5 minuti in caso di spegnimento rapido. Riportiamo di seguito un'immagine dell'impianto descritto:



**Figura 2.11. Sistema di stoccaggio e adduzione azoto liquido.**

Il sistema di stoccaggio e adduzione azoto è in comodato d'uso, la ditta Rivoira proprietaria dello stesso ha provveduto a verificarlo e rimetterlo in funzione. Dopo aver riempito il serbatoio è stata effettuato un test di inertizzazione a freddo sull'impianto Dimostrativo alla pressione di utilizzo.

## 2.11 Strumentazioni On-Line

Le strumentazioni dell'impianto Dimostrativo sono composte da: misuratori di portata (rotametri, massici) misuratori di pressione, termocoppie, misuratori di sforzo(estensimetri), misuratori di livello. Ciascuna di queste strumentazioni è stata controllata e verificata. Tali strumentazioni hanno dato problematiche di funzionalità, risolte grazie alla ritaratura delle stesse ed ad alcune operazioni di manutenzione. Oltre alle strumentazioni già presenti è stato inserito un nuovo misuratore di portata per syngas posizionato all'uscita dello Scrubber e prima della valvola rompifiamma della torcia; al fine di rilevare un dato molto importante ai fini della sperimentazione che è la quantità di Syngas prodotta dal gassificatore.

Tale strumento è stato posizionato su una tubazione da 12" (300 mm) tramite l'accoppiamento flangiato. Al suo interno è presente un disco calibrato del diametro di 6" (152 mm) e tramite un misuratore di pressione differenziale rileva la pressione a monte e a valle del disco stesso. Secondo gli standard DIN EN ISO 5167 è possibile ricavare la portata  $Q_m$  con la seguente relazione

$$Q_m = k * d_m * \sqrt{\Delta p / \rho}$$

dove:

$k$  = costante

$d_m$  = diametro foro calibrato (mm)

$\Delta p$  = pressione differenziale misurata a cavallo del disco calibrato (mbar)

$\rho$  = densità (kg/m<sup>3</sup>)

La costante  $K$  ha un valore pari a 0,025 ed è caratteristica del disco calibrato con un  $d_m$  pari a 152 mm, mentre per la densità si è assunto un valore pari a 1,07 kg/m<sup>3</sup>.



Lo strumento è stato interfacciato al sistema di controllo utilizzando sul quadro PLC Dimostrativo un canale di ingresso di tipo analogico 4-20 mA con alimentazione 24V interna ed stato denominato FT001P. Riportiamo un'immagine dello strumento descritto



*Figura 2.12. Misuratore di portata syngas.*

## *2.12 Sistema di regolazione a controllo*

Il sistema di regolazione e controllo è costituito dal quadro di controllo a cui arrivano tutti i segnali dall'impianto Dimostrativo e da una postazione di controllo da cui tramite un software appropriato vengono inviati i comandi sull'impianto dimostrativo e tramite il quale vengono acquisiti e registrati tutti i segnali provenienti dall'impianto Dimostrativo.

Inizialmente è stata eseguita una verifica sul funzionamento dei moduli del sistema di regolazione e controllo e sull'acquisizione dati in alcuni casi si sono verificati alcune problematiche legate sia all'acquisizione dati ma anche alla gestione di qualche strumento (valvole pneumatiche, di regolazione, strumentazione in generale). Tali inconvenienti sono stati risolti attraverso: la battitura dei cavi di trasmissione segnale dai quadri del sistema di regolazione e controllo alle apparecchiature in campo, la sostituzione di qualche modulo del sistema di regolazione e controllo.

La gestione dell'impianto Dimostrativo è stata progettata durante i test funzionali ed il nuovo "commissionig", prima del test sperimentale, in maniera completamente manuale; questo per avere la massima flessibilità di gestione possibile. Durante il nuovo "commissionig" sono state individuate delle logiche automatiche necessarie per gestire l'impianto Dimostrativo in sicurezza e questo ha comportato delle modifiche software da parte di una ditta specializzata.

Nello specifico le modifiche software individuate sono le seguenti:

- selezione dell'interblocco delle ghigliottine carico: non permette di aprire contemporaneamente le tre ghigliottine di caricamento del combustibile
- selezione dell'interblocco delle ghigliottine di scarico: non permette di aprire contemporaneamente le due ghigliottine di scarico ceneri

- blocco di soglia di alta temperatura lampade di accensione: spegne automaticamente le lampade di accensione al superamento di un valore soglia
- blocco motore rotazione stirrer in caso di superamento della soglia di allarme di alto valore della torsione
- allarme sonoro in caso di spegnimento torcia
- allarme sonoro in caso di bassa portata sul ricircolo scrubber
- allarme sonoro in caso di pressione in uscita al gassificatore maggiore della pressione alla base dello stesso

### 3. Conclusioni

Come illustrato nei paragrafi precedenti, durante il progetto sono state verificate e collaudate a freddo tutte le sezioni dell'impianto Dimostrativo, è stato effettuato un vero e proprio "nuovo commissioning" dell'impianto; inoltre sono state effettuate delle modifiche per risolvere alcune problematiche dell'impianto Dimostrativo che già si erano evidenziate in precedenza.

Di seguito si riporta l'elenco delle principali verifiche e miglioramenti apportati all'impianto Dimostrativo:

- Sistema di caricamento: è stato revisionato il paranco che a causa dell'inutilizzo e della posizione esposta agli agenti atmosferici non funzionava. Prima di effettuare un test a caldo è stato effettuato un test a freddo del intero sistema
- Sistema di scarico ceneri: tale sistema non funzionava è stato modificato e sono stati corretti gli errori progettuali precedenti.
- Sistema di raffreddamento del gassificatore: è stato revisionato il condensatore ed è stata effettuato un test in pressione con acqua per verificare eventuali perdite.
- Sistema di movimentazione del letto del gassificatore (stirrer): è stato revisionato in tutte le sue parti e sono state risolte alcune problematiche riguardanti la sua gestione da sala controllo. Sono stati effettuati dei test a freddo sia sulla traslazione sia sulla rotazione.
- Sistema di accensione gassificatore: revisione del sistema e sua modifica con inserimento di interruttori differenziali per gestire meglio le problematiche
- Sistema di adduzione agenti gassificanti: revisione delle caldaie di generazione vapore con coibentazione della linea di adduzione vapore al gassificatore. Verifica del sistema di produzione aria processo con miglioramento e revisione dello stesso.
- Sistema scrubber e scarico e stoccaggio reflui: lo scrubber è stato verificato e revisionato senza grosse problematiche è stata effettuata un test a freddo con piena funzionalità del sistema. I pozzetti di raccolta reflui, le pompe di rilancio, le linee di adduzione sono stati modificati aumentandone le capacità (le precedenti erano insufficienti per la funzionalità di questo impianto). È stato infine effettuato un test per verificare la funzionalità del sistema di adduzione e stoccaggio reflui.
- Sistema torcia: è stato revisionato con l'intervento di un tecnico specializzato della ditta fornitrice inoltre è stato acquistata un nuovo PLC di gestione per migliorare la stessa
- Sistema di stoccaggio e adduzione azoto: è stato revisionato dalla ditta Rivoira fornitrice del sistema
- Strumentazione dell'impianto Dimostrativo: è stata revisionata tutta la strumentazione dell'impianto e quando necessario ritarata; inoltre è stato acquistato un nuovo misuratore di portata syngas
- Sistema di regolazione e controllo: è stato revisionato e modificato al fine di gestire al meglio ed in sicurezza l'impianto Dimostrativo.

In conclusione le modifiche e le verifiche effettuate hanno migliorato la funzionalità dell'impianto Dimostrativo ed hanno permesso di testare l'impianto con due test sperimentali a caldo di 36 ore ciascuno in cui sono emerse nuovi aspetti e possibilità di ottimizzazione che daranno la possibilità di migliorare l'impianto Dimostrativo.

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