



Ricerca di Sistema elettrico

## Modifiche ed adeguamento dell'impianto dimostrativo di gassificazione di biomasse per la produzione elettrica

G.Cali, F.Tedde, S.Meloni, E.Maggio, P.Deiana,  
M.Subrizi, C.Bassano

## MODIFICHE ED ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DIMOSTRATIVO DI GASSIFICAZIONE DI BIOMASSE PER LA PRODUZIONE ELETTRICA

G.Cali, F.Tedde, S.Meloni, E.Maggio, M.Subrizi (SOTACARBO)  
P.Deiana, C.Bassano (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili

Obiettivo: Studi sullo sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse

Responsabile del Progetto: Vito Pignatelli

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studi sullo sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana

Responsabile scientifico Sotacarbo: Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 IL REATTORE DI GASSIFICAZIONE .....	6
2 PROBLEMI IMPIANTISTICI RILEVATI E SOLUZIONI ADOTTATE .....	9
2.1 SISTEMA DI CARICAMENTO COMBUSTIBILE AL GASSIFICATORE .....	9
2.2 SISTEMA DI SCARICO CENERI DEL GASSIFICATORE.....	12
2.3 SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DELLA CAMICIA DEL GASSIFICATORE.....	14
2.4 SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DEL LETTO DEL GASSIFICATORE (STIRRER) .....	17
2.5 SISTEMA DI ACCENSIONE DEL GASSIFICATORE .....	20
2.6 SISTEMA DI ADDUZIONE ARIA PROCESSO.....	21
2.7 SCRUBBER E SISTEMI DI SCARICO E STOCCAGGIO REFLUI .....	24
2.8 LINEA VENT .....	25
2.9 SISTEMA TORCIA .....	27
2.10 SISTEMA DI REGOLAZIONE A CONTROLLO .....	29
3 CONCLUSIONI.....	31
4 CURRICULUM .....	32

## Sommario

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili". In particolare, nell'ambito dell'obiettivo a.1 "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 5 MWt), al fine di renderlo adatto al funzionamento in continuo per la produzione di energia elettrica da biomasse (cippato di legno) miscelate con carbone. In particolare, dovranno essere progettati ed implementati il sistema di caricamento automatico del combustibile e l'impianto per il trattamento dei reflui, necessari al funzionamento in continuo ed alla produzione di energia elettrica.

L'attività ha visto la partecipazione del personale ENEA nella predisposizione e verifica delle modifiche attuate in impianto. Una task force dedicata alla modifica, allo start up e alla gestione dell'impianto di gassificazione dimostrativo è stata istituita con la partecipazione di personale ENEA e Sotacarbo che ha studiato e messo in atto nel dettaglio gli interventi necessari per l'effettuazione delle campagne sperimentali sull'impianto dimostrativo di gassificazione.

## 1 Introduzione

Nell'ambito delle attività di ricerca per lo sviluppo di un processo di co-gassificazione di carbone e biomasse a emissioni di agenti inquinanti estremamente ridotte, Sotacarbo, di concerto con ENEA, ha sviluppato una Piattaforma Sperimentale comprendente due impianti di gassificazione a 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 visibile sulla sinistra nella Figura 1.1.

Tale impianto è essenzialmente costituito da: una sezione di gassificazione; un sistema di lavaggio del syngas scrubber; una torcia. Nello specifico la sezione di gassificazione è costituita principalmente da un reattore a letto fisso up-draft di taglia 5 MW<sub>t</sub> con una camicia di raffreddamento in sostituzione del materiale refrattario presente in molti gassificatori della medesima taglia.

Il reattore di gassificazione utilizza aria e vapore come agenti gassificanti ed opera a pressione pressoché atmosferica ed è equipaggiato con una serie di apparecchiature ausiliarie a supporto della gassificazione, quali i sistemi per la produzione e l'immissione degli agenti gassificanti, il sistema di caricamento del combustibile, il sistema di regolazione e controllo dei parametri di processo, il sistema di raffreddamento del gassificatore, il sistema di scarico ceneri.

### 1.1 Il reattore di gassificazione

Il gassificatore dimostrativo della piattaforma Sotacarbo (figura 1.2) 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 del caricamento. Il combustibile viene caricato sulla tramoggia (figura 2.1) tramite un paranco adatto al sollevamento dei big bag, con volume pari a 1 m<sup>3</sup>.

Gli agenti gassificanti (aria e vapore) vengono inviati al sistema di distribuzione posto nella parte bassa del reattore di gassificazione, quindi in controcorrente rispetto al combustibile. All'interno del gassificatore avvengono una serie di reazioni in funzione della temperatura raggiunta e della tipologia dei reagenti presenti nelle varie sezioni del letto di gassificazione (riscaldamento, essiccazione, pirolisi, gassificazione, combustione).

Un agitatore (stirrer) immerso nel letto solido provvede, se azionato, ad omogeneizzare il letto medesimo e a limitare la formazione di cammini preferenziali.

Il raffreddamento del gassificatore è assicurato tramite un sistema a circuito chiuso ed a circolazione naturale che utilizza, quale fluido vettore, acqua che viene fatta circolare all'interno della camicia del gassificatore stesso. Successivamente il vapore prodotto viene convogliato in un serbatoio orizzontale (steam drum di volume pari a 0,2 m<sup>3</sup>) progettato per contenere una miscela bifasica di acqua e vapore, collegato con un condensatore ad aria a convezione forzata (aeroterma) costituito da due ventole alimentate da 2 motori elettrici da 1,5 kW. Anche lo stirrer è dotato di sistema di raffreddamento che utilizza, quale fluido vettore, l'acqua fatta circolare tramite delle pompe.

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

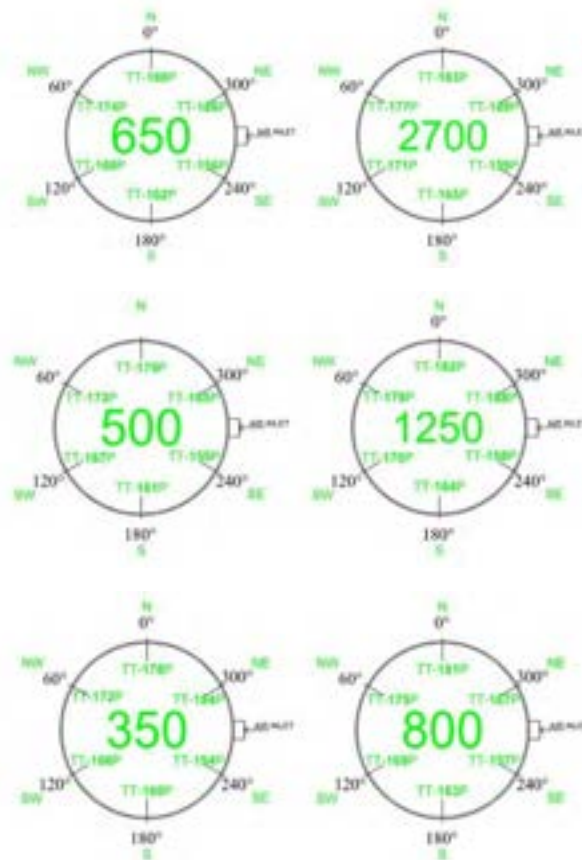
Altezza						
2700	TIT-189P\PV	TIT-183P\PV	TIT-177P\PV	TIT-171P\PV	TIT-165P\PV	TIT-159P\PV
1250	TIT-188P\PV	TIT-182P\PV	TIT-176P\PV	TIT-170P\PV	TIT-164P\PV	TIT-158P\PV
800	TIT-187P\PV	TIT-181P\PV	TIT-175P\PV	TIT-169P\PV	TIT-163P\PV	TIT-157P\PV
650	TIT-186P\PV	TIT-180P\PV	TIT-174P\PV	TIT-168P\PV	TIT-162P\PV	TIT-156P\PV
500	TIT-185P\PV	TIT-179P\PV	TIT-173P\PV	TIT-167P\PV	TIT-161P\PV	TIT-155P\PV
350	TIT-184P\PV	TIT-178P\PV	TIT-172P\PV	TIT-166P\PV	TIT-160P\PV	TIT-154P\PV
Fila	<b>Nord Est</b>	<b>Nord</b>	<b>Nord Ovest</b>	<b>Sud Ovest</b>	<b>Sud</b>	<b>Sud Est</b>
	6	1	2	3	4	5

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 posizionate circolarmente con un angolo di 60° l'una dall'altra.

Riportiamo di seguito un'immagine del gassificatore e una tabella che mostra la disposizione delle termocoppie rispetto all'altezza del gassificatore.



Figura 1.2. Vista frontale de gassificatore dell'impianto dimostrativo



Posizionamento termocoppie alle diverse altezze del gassificatore

Il letto gassificazione è sostenuto da una griglia metallica che consente lo scarico delle ceneri attraverso un sistema composto da più piani concentrici come mostrato nella figura 1.3.

L'accensione avviene tramite sei irradiator ceramiche da 800 W disposti circolarmente ad una altezza di circa 450 mm dal fondo del reattore di gassificazione.

L'impianto dimostrativo è costituito inoltre da una sezione di lavaggio (scrubber) ed una torcia. L'assemblaggio dell'impianto è stato completato nel 2008. Durante il primo test funzionale (2009), un problema al sistema di scaricamento ceneri ha compromesso il cinematisimo della griglia. Nell'ambito di questo progetto si è deciso di testare l'impianto e, pertanto, sono state effettuate tutte le verifiche e le modifiche delle varie sezioni dell'impianto necessarie all'avviamento dell'impianto.



**Figura 1.3. La parte esterna della griglia del gassificatore dimostrativo**

Si riporta di seguito una descrizione approfondita delle sezioni dell'impianto, delle problematiche riscontrate, degli interventi eseguiti e delle modifiche apportate.

## 2 Problemi impiantistici rilevati e soluzioni adottate

Il presente capitolo riporta 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 dai seguenti componenti principali:

- paranco per il sollevamento del combustibile;
- tramoggia per il combustibile da inviare nel gassificatore;
- tre valvole a ghigliottina posizionate lungo le condotte di adduzione del combustibile al gassificatore.

Il combustibile viene inviato verso la tramoggia tramite dei big-bag dotati di apertura sul fondo e di bretelle per il fissaggio al paranco.

Per poter corredare i test sperimentali di dati significativi riguardanti il caricamento, il sistema è stato arricchito con un dinamometro per gru della portata massima di 1500 kg. I singoli big bag, caratterizzati da volume di 1 m<sup>3</sup>, vengono quindi pesati e posizionati sulla tramoggia di caricamento, all'interno della quale viene riversato il combustibile.

A valle della tramoggia è presente una prima ghigliottina che permette il passaggio del combustibile in un condotto a forma di Y del volume di 1,1 m<sup>3</sup>. Infine, due valvole a ghigliottina installate sui bracci inferiori del condotto convogliano il combustibile al gassificatore, il cui riempimento viene monitorato attraverso 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**

La sezione di caricamento è stata recentemente riprogettata per l'implementazione di un sistema automatizzato per la pesatura ed il sollevamento del combustibile. Tale sistema ha le caratteristiche di un trasportatore Redler di tipo monocatena, un convogliatore a catena raschiante generalmente utilizzato per il trasporto meccanico orizzontale o inclinato di prodotti solidi in polvere o granulari sfusi. Esso è costituito da una serie di scomparti (casse metalliche caratterizzate da larghezza di 250 mm, con fondo in lamiera antiusura) e da un sistema a catena snodata costituita da maglie stampate in acciaio di tipo "K", con sistema di tensionamento a vite e molle a tazza. Lo scorrimento della catena provoca il passaggio del combustibile all'interno dei vari scomparti permettendone il trasporto.

Il sistema è stato realizzato a partire dalla base dell'impianto, con l'installazione di una tramoggia di caricamento e di una cella di carico, fino alla tramoggia superiore, atta a ricevere il combustibile dalla bocca di scarico, dotata di convogliatore basculante. L'impianto, caratterizzato da una portata di progetto di  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  e una velocità nominale di trasporto del combustibile di  $0,2 \text{ m/s}$ , è dotato di inverter per la regolazione della portata del combustibile.



**Figura 2.3. Tramoggia di caricamento e sistema di traino con comando a catenaria (a sinistra) e scomparti del sistema Redler (a destra)**

Il sistema di caricamento è inoltre equipaggiato con un sistema di aspirazione con filtro depolveratore a 4 cassette con elementi filtranti in Dantherm®; grazie alle bocche di aspirazione montate sulla tramoggia per il combustibile, esso assicura una efficace rimozione delle polveri garantendo le condizioni di sicurezza durante le operazioni di caricamento.

Con il susseguirsi dei test sperimentali si è potuto osservare come il rendimento di rimozione delle polveri del depolveratore sia gradualmente diminuito nel tempo per la normale usura dei componenti di tenuta e di filtrazione.

Per ripristinare l'efficienza del sistema, si è provveduto a sostituire i seguenti componenti:

- n. 4 cassette filtranti tipo NF-142/6;
- n. 2 set di guarnizioni per portella d'ispezione/accesso agli elementi filtranti;
- n. 1 set di patelle in gomma per rotocella NRSZ3;
- n. 2 membrane per elettrovalvole;
- n.4 piloti per elettrovalvole completi di bobina.



**Figura 2.4. Sistema di depolverazione (a sinistra) e dettaglio dei cassettei filtranti (a destra)**

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

Il sistema è composto da un cono di scarico ceneri dove è alloggiata una griglia mobile movimentata da un motore che ne consente la rotazione in entrambi i versi attraverso un albero di trasmissione. Lo scarico delle ceneri dal gassificatore è completato da due ghigliottine che aprendosi alternativamente permettono la fuoriuscita delle ceneri. Alla fine della precedente annualità si sono verificati la rottura dei giunti cardanici dell'albero ed un guasto alla ralla che permette la rotazione della griglia. In seguito ad una attenta valutazione del sistema da parte del gruppo di lavoro ENEA/Sotacarbo si è giunti alle seguenti conclusioni:

- le modifiche precedentemente effettuate sul sistema hanno portato ad un effettivo miglioramento della fase di scarico delle ceneri ed i componenti su cui si è intervenuti non hanno mostrato segni di usura o danneggiamento;
- la ralla è stata esposta a temperature troppo elevate che ne hanno causato il danneggiamento;
- la ralla ha necessità di essere frequentemente ingrassata e non sono attualmente presenti sistemi di ingrassaggio che ne permettano la lubrificazione senza dover ricorrere allo smontaggio dell'intero cono di scarico;
- l'albero di movimentazione della griglia è posizionato in maniera scorretta rispetto alla griglia.

Per garantire una maggiore affidabilità al sistema e ripristinare i componenti danneggiati si sono ritenuti necessari i seguenti interventi di modifica del sistema di scarico ceneri:

- sostituzione della ralla danneggiata con una ralla in bronzo con migliori caratteristiche di resistenza fino ad una temperatura massima di 300 °C e acquisto di una ralla aggiuntiva di riserva;
- sostituzione dei giunti cardanici e rimontaggio dell'albero in maniera corretta rispetto al posizionamento precedente;
- montaggio di due nuovi bocchelli per l'installazione di termocoppie per il monitoraggio della temperatura della griglia di scarico ceneri;

- montaggio di due ingrassatori per la lubrificazione della ralla;
- riposizionamento del bocchello di ispezione, precedentemente installato in posizione inefficace per errore di progettazione;
- costruzione e montaggio di nuovi dischi di protezione del sistema di movimentazione della griglia in AISI 304, (sp. 15 mm e 10 mm);
- montaggio di una tubazione di invio vapore per il raffreddamento della ralla.



*Fig. 2.5. Vista dei dischi di protezione del sistema di movimentazione griglia*



*Fig. 2.6. Smontaggio del cono e del sistema di movimentazione della griglia*

### 2.3 Sistema di raffreddamento della camicia del gassificatore

Il gassificatore dimostrativo, come già descritto nel paragrafo 1.1, possiede un sistema di raffreddamento delle pareti del gassificatore (camicia), non presente nel gassificatore pilota ed in altri gassificatori della medesima taglia. Nella camicia di raffreddamento viene fatta circolare dell'acqua che vaporizza a causa del calore scambiato con le pareti del reattore di gassificazione durante il suo funzionamento. Il vapore, che si forma nella camicia, viene convogliato per circolazione naturale nel corpo cilindrico superiore "steam drum". Si tratta di un serbatoio orizzontale di volume  $0,2 \text{ m}^3$ , con una pressione massima di progetto pari a 0,5 bar e un temperatura massima di  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ , 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.

Nelle figure di seguito sono illustrati lo steam drum ed il condensatore.



Figura 2.7. Steam Drum



Figura 2.8. Condensatore

Il sistema di raffreddamento ha la capacità di dissipare al massimo 500 kWt con una portata massima di 800 kg/h di vapore.

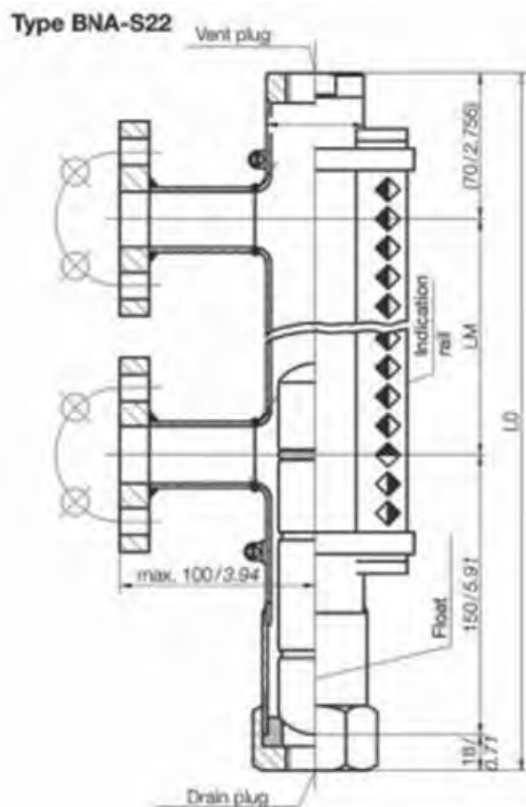
Il controllo dei parametri caratteristici dello steam drum si è rivelato essere, nel corso dei test sperimentali, un fattore critico per la conduzione dell'impianto. Di particolare interesse è la conoscenza dei valori di

temperatura e pressione nel corpo cilindrico e del livello del fluido in esso contenuto così come le portate dei flussi in ingresso ed uscita dallo stesso.

I test effettuati hanno permesso di verificare la bassa affidabilità della misura del livello dell'acqua di raffreddamento raccolta nello steam drum, a causa dell'elevata instabilità dei valori forniti dal trasmettitore di pressione differenziale, attualmente installato.

Al fine di permettere una misurazione più accurata del livello dell'acqua si è provveduto ad installare nel corpo cilindrico un indicatore di livello visivo di tipo magnetico. Esso consiste in una camera di bypass in AISI 316Ti, collegata lateralmente allo steam drum mediante 2 attacchi. Attraverso questo tipo di disposizione, il galleggiante dotato di un sistema magnetico permanente integrato, montato all'interno della camera, trasmette il livello del liquido (corrispondente al livello del recipiente) al display magnetico montato all'esterno. In esso sono montati dei flaps di visualizzazione in policarbonato bicolore Makrolon con barre magnetiche che, sollecitati dal campo magnetico del galleggiante, ruotano di 180°.

L'indicatore di livello bypass non necessita di alimentazione elettrica e consente la misurazione del livello dello steam drum fino ad una quota di misura di 1000 mm, con temperatura di lavoro compresa tra -50 °C e 150 °C, densità minima operativa di 0,85 g/cm<sup>3</sup> e pressione nominale di 16 bar.



**Figura 2.9. Indicatore di livello magnetico dello steam drum**

Per poter monitorare e controllare flusso di condensa proveniente dagli aerotermini e in ingresso allo steam drum si è provveduto ad installare un misuratore di portata sulla linea di uscita del condensatore ad aria forzata. In via preliminare, al fine di individuare la strumentazione più adatta all'applicazione, è stato testato nell'ambito della collaborazione tecnica con ENEA, un misuratore messo a disposizione dall'agenzia stessa.

Lo strumento, un misuratore di portata elettronico Barksdale mod.UQS7-10, è costituito da un corpo di alluminio con protezione IP65 contenente un sensore di flusso ad ultrasuoni specifico per la misurazione di portate di acqua e di emulsioni acquose nei sistemi di raffreddamento ad elevata potenzialità. Lo strumento è caratterizzato da un campo di misura compreso tra 0,4 e 10 L/min e tra i 0,0024 e 0,6 m<sup>3</sup>/h con un'accuratezza del +/- 2,5%, può lavorare in condizioni di temperatura comprese tra i -30 °C e gli 80 °C, per una pressione massima di 25 bar.

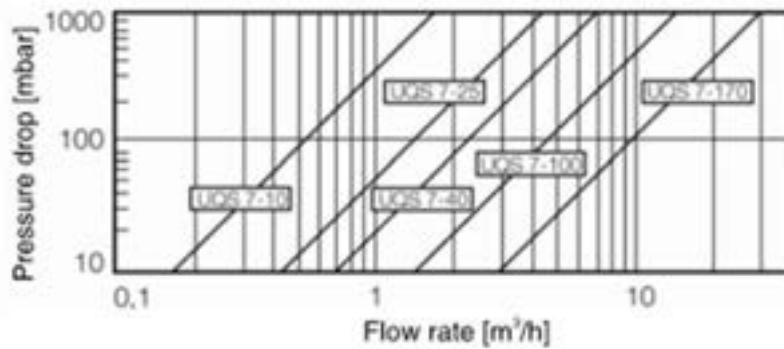


Figura 2.10. Perdite di carico nel flussostato in funzione della portata



Figura 2.11. Misuratore di portata condense ad ultrasuoni

Contestualmente all'implementazione del nuovo misuratore di portata, è stata inoltre riadattata la tubazione di mandata della condensa allo steamdrum; questo ha permesso di montare lo strumento sotto battente e garantire così la costante presenza di fluido necessaria per il corretto funzionamento della tecnologia ad ultrasuoni.

Verificata la validità delle misurazioni effettuate durante i test sperimentali, si è proceduto con l'acquisto e l'installazione di due misuratori di portata dello stesso tipo sul circuito delle condense del vapore prodotto nella camicia di raffreddamento.

Al fine di aumentare la capacità di dissipazione dell'energia termica del gassificatore da parte del sistema di raffreddamento, sono state inoltre introdotte alcune modifiche impiantistiche; per quanto riguarda il

circuito delle condense in uscita dagli aerotermi, il vapore condensato, a seguito delle modifiche apportate, dopo aver attraversato il misuratore di condensa, viene convogliato direttamente nella camicia di raffreddamento senza passare dallo steamdrum.

Un'altra modifica si è resa necessaria per ovviare alle problematiche rilevate durante le sperimentazioni per quanto riguarda la circolazione naturale nel circuito vapore, troppo sensibile alle cadute di pressione generate da alcune strumentazioni lungo le linee interessate; per ridurre tale resistenza alla circolazione naturale del vapore verso lo steam drum sono stati rimossi i misuratori di portata vapore (rotametri) in uscita dalla camicia di raffreddamento.

#### 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 necessaria al raffreddamento;
- un'asta perpendicolare posta all'estremità inferiore dell'albero e dotata di "pettini" per effettuare il mescolamento del letto;
- un pistone oleodinamico dotato di centralina che consente la traslazione verticale dell'albero;
- un motore per la rotazione del sistema, dotato di una cella di carico per la misurazione della resistenza alla rotazione;
- un sistema di circolazione dell'acqua di raffreddamento.

Di seguito si riporta un'immagine in cui è possibile notare i motoriduttori adibiti alla rotazione:



Figura 2.12. Stirrer

Il particolare montaggio di albero verticale e asta inferiore conferisce allo stirrer la tipica forma di una T rovesciata; la sua traslazione verticale varia da quota 1400 mm del reattore di gassificazione fino a quota

2400 mm ed è permessa dall'azionamento di un attuatore idraulico comandato da una centralina oleodinamica.

Lo spostamento viene rilevato da un misuratore con un campo scala 0-1000 mm che invia il segnale alla sala controllo dove viene registrata la misura. Dal sistema di regolazione e controllo è possibile inviare il comando di salita o di discesa attraverso l'immissione diretta del valore numerico. Alle estremità del pistone sono posizionati i finecorsa. Il motore installato in testa allo stirrer permette la rotazione in ambo i sensi e quindi il mescolamento del letto di gassificazione, favorendone l'omogeneizzazione; inoltre la presenza della cella di carico garantisce la protezione del sistema in caso di sovraccarichi.

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 test funzionale dello stirrer.

Dai test sperimentali condotti sull'impianto dimostrativo si è riscontrato un funzionamento errato della sequenza di gestione della rototraslazione dello stirrer. A tale scopo si quindi provveduto con l'assistenza dei tecnici della Eurotherm, fornitrice del sistema di controllo dell'impianto, alla modifica della stessa; nello specifico si è semplificata la sequenza preesistente eliminando tutti quei passaggi che di fatto non consentivano all'apparecchiatura di funzionare correttamente. Grazie alle modifiche apportate, una volta impostate le soglie di salita e discesa, attraverso la loro abilitazione si provoca la movimentazione dello stirrer verso l'alto e verso il basso rispettivamente, con l'unico controllo di raggiungimento della soglia impostata.

In figura 2.13 è riportato il diagramma di flusso della sequenza in oggetto.

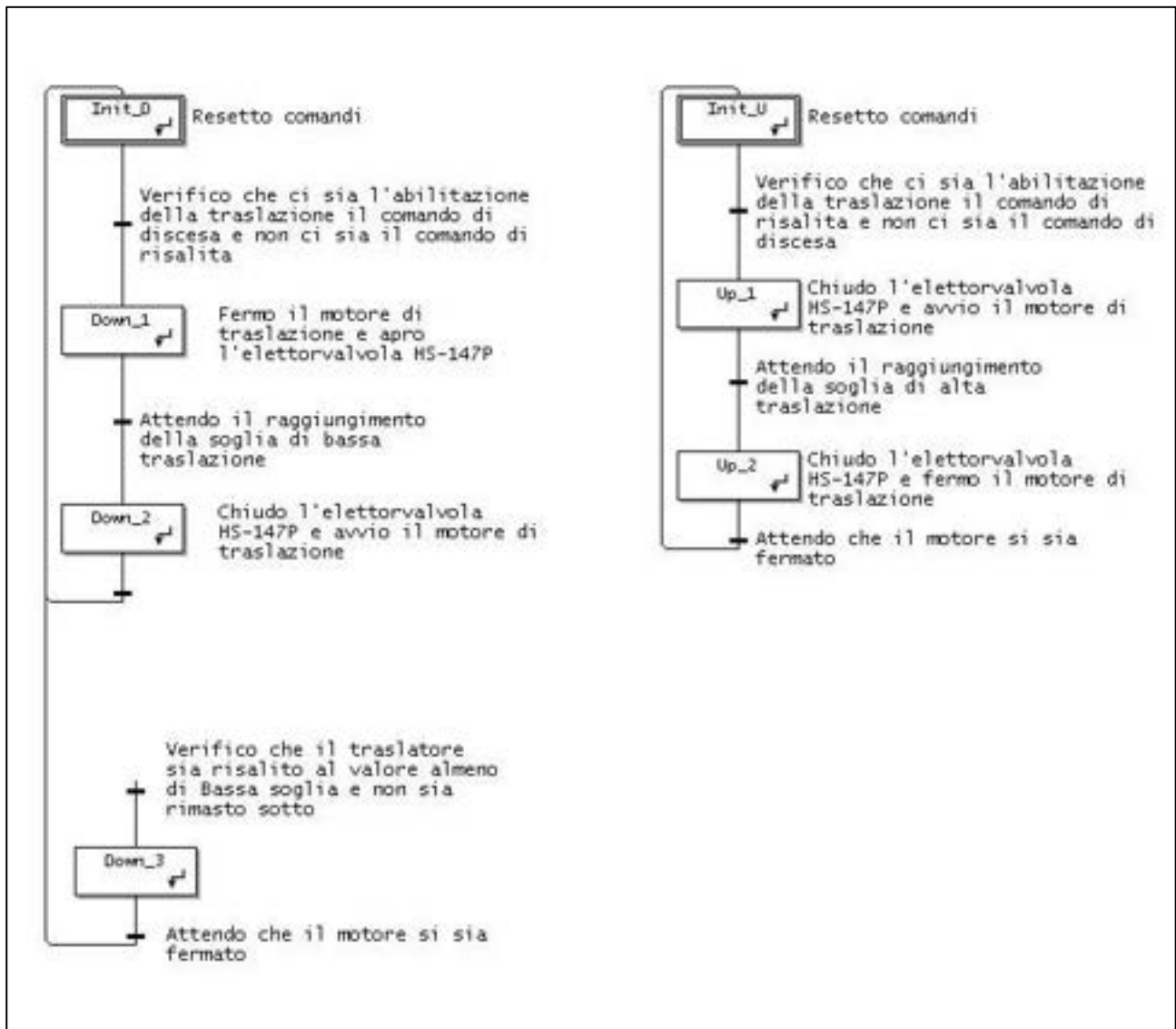


Figura 2.13 Sequenza funzionamento Stirrer.

## 2.5 Sistema di accensione del gassificatore

Il sistema di accensione del gassificatore è costituito da sei irradiatori ceramici ad infrarossi della potenza monofase di 800 W ciascuna, marca Elstein modello HTS, con dimensioni 125x125 mm dotate di termocoppia interna di tipo K (0-1000 °C). Gli irradiatori sono inseriti in un alloggiamento metallico e disposti circolarmente con angoli di 60° tra loro e posizionati a quota 500 mm. Riportiamo di seguito un'immagine di un irradiatore con la sua lampada e della sezione del gassificatore dove sono posizionati gli irradiatori.



Figura 2.14. Irradiatore

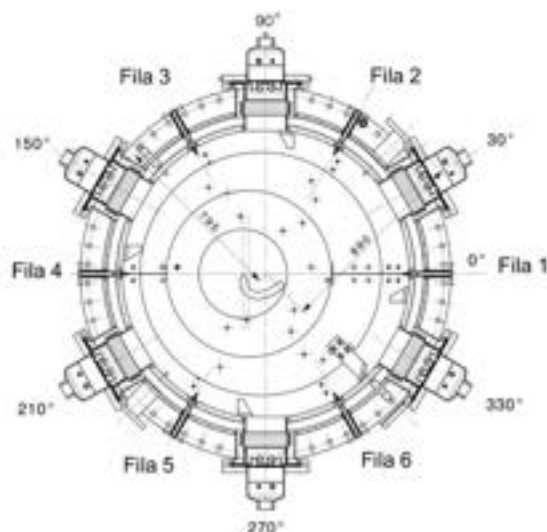


Figura 2.15. Sezione del gassificatore dove sono presenti gli irradiator di accensione

Gli irradiator 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.

## 2.6 Sistema di adduzione aria processo

La soffiante, di tipo centrifugo a più giranti coassiali, agisce prelevando energia da un motore elettrico accoppiato a mezzo di trasmissione a cinghia e creando una variazione di pressione tra la bocca aspirante e la bocca premente. Il dato relativo alla portata massima di 1100 m<sup>3</sup>/h è ottenuto in corrispondenza di una velocità di rotazione della girante pari a 5300 RPM, per una prevalenza di 42,50 kPa.

Le principali attività sul sistema di adduzione dell'aria processo hanno riguardato la verifica della funzionalità del circuito aria processo e della soffiante; in particolare si è verificata la regolazione del flusso d'aria al gassificatore e alle lampade con funzionamento in mandata. Questo tipo di regolazione è realizzato attraverso una variazione della pressione a valle della soffiante ottenuto parzializzando la portata del fluido alla mandata della macchina, nel caso specifico attraverso le valvole on/off e regolatrici poste sulla linea.

I test hanno evidenziato una scarsa capacità di modulazione del flusso d'aria al gassificatore. Questa difficoltà nel controllo del flusso appariva evidente in corrispondenza delle basse portate, in particolare sotto i 400 kg/h, rendendo impossibile l'invio di una portata d'aria di 50 kg/h come richiesto in particolari fasi di conduzione dell'impianto.

Anche con l'apertura contemporanea della valvola di riciclo d'aria dalla mandata all'aspirazione e dei due vent posti a valle della soffiante, non si riusciva a raggiungere la regolazione desiderata attraverso la valvola manuale a farfalla posta a monte della griglia.

La possibilità di raggiungimento delle condizioni di pompaggio, e quindi il rischio di generazione di onde di pressione nocive per le parti meccaniche, ha portato ad escludere la soluzione di uno strozzamento della mandata attraverso una valvola pneumatica di regolazione.

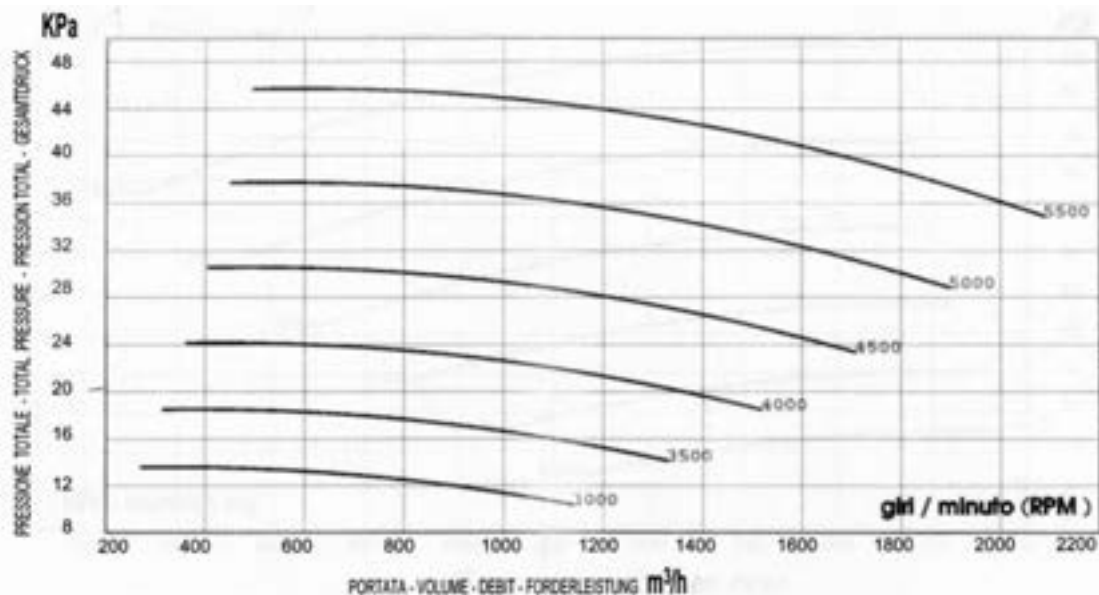


Figura 2.16. Curva caratteristica della soffiante

La possibilità di agire sulla regolazione della velocità di rotazione del motore attraverso l'installazione di un inverter, è stata esclusa per la complessità ed il costo dell'intervento, nonostante dal punto di vista energetico rappresenterebbe la soluzione migliore poiché consentirebbe di far operare la macchina a rendimento costante.

Il rischio nel ridurre in maniera rilevante la velocità di rotazione del motore al di sotto della sua velocità di rotazione nominale, è quello di un aumento delle perdite del motore a causa delle armoniche determinate

dall'onda di tensione generata e dalla relativa corrente non perfettamente sinusoidali. Ciò comporterebbe il riscaldamento del circuito magnetico, oltre che un aumento delle vibrazioni meccaniche e della rumorosità; questo surriscaldamento non sarebbe d'altra parte compensato da un adeguato raffreddamento del sistema, con conseguente danneggiamento della macchina.

Si renderebbe dunque necessaria l'adozione della servoventilazione con il montaggio di un copriventola con ventola e relativo motorino che, indipendentemente dalla velocità regolata dall'inverter, assicurerebbe al motore ed all'apparato elettronico una ventilazione e refrigerazione costante.

Dopo aver avviato temporaneamente al problema ricorrendo, nell'elaborazione di piccole portate, all'invio di aria dal sistema di adduzione dell'aria processo dell'impianto pilota, attraverso la valvola regolatrice FV492, si è infine ricorso alla sostituzione dei due vent a valle della soffiante con un'unica tubazione di sezione maggiore. Quest'ultimo accorgimento, garantendo un più efficace abbattimento del rapporto di compressione a cavallo della soffiante, ha permesso il controllo della portata dell'aria processo fino a valori inferiori ai 30 kg/h, riducendo il rischio di raggiungimento delle condizioni di pompaggio.

Lo scrubber ha lo scopo di effettuare un lavaggio ad acqua del syngas tramite un flusso equicorrente immesso mediante tre ugelli conici. Gli ugelli, di tipo conico pieno e posizionati su tre rampe sovrapposte, garantiscono un adeguato lavaggio della corrente gassosa. Lo scrubber svolge anche la funzione di guardia idraulica anti ritorno di fiamma; essa è assicurata dalla parte del corpo cilindrico della torre di lavaggio che è immersa per 200 mm al di sotto del pelo libero dell'acqua. Una volta subito il lavaggio, il syngas in uscita attraversa un demister costituito da 8 dischi forati sovrapposti al fine di eliminare l'acqua eventualmente trascinata. Il TAR più pesante separato dal syngas confluisce nella parte inferiore dello scrubber; da qui mediante una pompa monovite viene rimosso. L'acqua contenuta nello scrubber è pari a circa 6 m<sup>3</sup>; tale volume, unito a quello del contenitore di accumulo, consente di avere un discreto volano termico e di mantenere un elevato potere lavante, evitando fenomeni repentini di saturazione sia in rapporto all'acidità cloridrica sia alla concentrazione salina.

Anche la vasca di accumulo ha un volume di 6 m<sup>3</sup> ed 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. Si riportano di seguito due immagini dello scrubber e della vasca di accumulo insieme al sistema di ricircolo e lavaggio acqua:



Figura 2.17. Soffiante



Figura 2.18. Valvola di riciclo aria (in basso) e nuovo vent

## 2.7 Scrubber e sistemi di scarico e stoccaggio reflui

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 fino 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 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 il riposizionamento della pompa di rilancio al fine di ridurre lo sporco e la probabilità di guasto. Tale modifica migliorativa ha comportato la realizzazione ed il montaggio di un supporto per il riposizionamento della pompa ad un livello superiore rispetto a quello occupato dai depositi catramosi ed il montaggio di una rete di protezione per il filtraggio del refluo a monte dell'aspirazione.



*Figura 2.19. Scrubber*



*Figura 2.20. Vasca di accumulo e sistema di ricircolo acqua di lavaggio*

Al fine di garantire un più efficace scarico dei reflui dal serbatoio di lavaggio dello scrubber è stata sostituita la tubazione di mandata alla vasca di raccolta temporanea con una tubazione di sezione maggiore.

Si è inoltre verificata una riduzione della funzionalità del sistema di scarico dopo brevi periodi di marcia dell'impianto, per lo sporcamento ed intasamento della pompa di scarico CX003P a causa dei residui catramosi provenienti dal fondo della vasca di lavaggio. L'affidabilità del sistema è stata incrementata attraverso la realizzazione di un circuito che, permettendo l'invio di soda alla pompa monovite attraverso la pompa dosatrice CF001, garantisce il mantenimento dello stato fluido dei residui di TAR all'interno del componente.

- verifica della funzionalità delle strumentazioni a servizio dello scrubber, in particolare dei misuratori di livello dei serbatoi: il misuratore di pressione già installato per tale funzione su ognuno dei due serbatoi, forniva un'indicazione del livello del fluido in essi contenuto attraverso la misurazione della pressione idrostatica dello stesso. Tale sistema è risultato tuttavia "poco funzionale" durante il funzionamento dell'impianto a causa della pressione del syngas presente nella parte superiore del serbatoio che, insistendo sulla superficie del fluido, andava a falsare la misurazione del livello, incrementando la pressione misurata di un  $\Delta p$  pari alla pressione stessa del gas. Per garantire una misurazione più efficace del livello si è sostituito il sistema preesistente con un sistema di sensori compensati costituiti da trasmettitori elettronici di pressione differenziale che, attraverso la differenza tra la pressione misurata sul fondo del serbatoio e quella misurata sulla parte di serbatoio non bagnata dal liquido, fornisce l'indicazione desiderata con buona affidabilità nelle condizioni di lavoro previste (Campo di misura  $\pm 32$  kPa; Pressione massima di lavoro ammissibile: 14 MPa g;).

## 2.8 Linea vent

In diverse condizioni di funzionamento dell'impianto si rivela spesso necessario il ricorso all'evacuazione del syngas prodotto in atmosfera attraverso una linea a vent che, intercettando il syngas a valle del reattore di gassificazione, provvede al suo invio in atmosfera attraverso una valvola ad attuazione pneumatica comandata dalla sala controllo. Tale manovra, sebbene inevitabile in certe fasi di conduzione dell'impianto, porta con sé il rischio di emissione di syngas non pulito.

Per ovviare a questo problema si è ritenuta necessaria l'implementazione di una ulteriore linea a vent a valle del serbatoio principale dello scrubber; a partire dalla linea di mandata del syngas alla torcia è stato realizzato il nuovo piping da 10" in AISI 304 (sp. 3 mm) con un sistema di tubazioni che, grazie al supporto di n.2 collari di sostegno, corre parallelo alla vecchia linea di vent andando poi ad intercettare quest'ultima a valle della valvola.

Sulla tubazione si è provveduto ad installare un compensatore di dilatazione assiale in AISI 321 caratterizzato da una lunghezza di 350 mm e corsa assiale di +17/-33 mm.

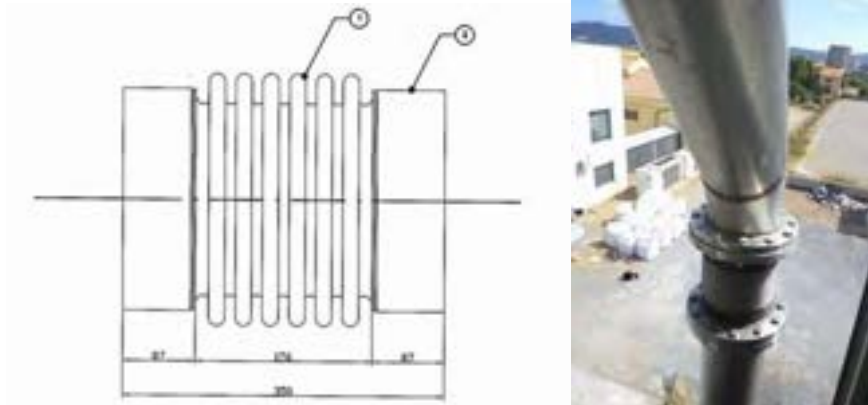
Anche nella nuova tubazione, lo scarico è controllato dalla sala controllo attraverso una valvola a farfalla ad attuazione pneumatica di caratteristiche equivalenti a quella preesistente. L'implementazione di questa linea consente lo scarico del syngas a valle del lavaggio operato dallo scrubber e quindi la riduzione del rischio di immissione del syngas non trattato in atmosfera.



Figura 2.21. Particolare del punto di intercettazione del nuovo vent all'uscita dello scrubber



Figura 2.22. Valvola a farfalla con attuatore pneumatico su vent scrubber



**Figura 2.23. Compensatore di dilatazione**



**Figura 2.24. Linea di vent aggiuntiva (al centro)**

## 2.9 Sistema torcia

La torcia ha il compito di bruciare il syngas prodotto dal gassificatore. Essa è composta da:

- sistema di adduzione GPL;
- sistema di accensione con fiamma pilota;
- camera di combustione;

- camino di evacuazione fumi;
- ventilatore aria comburente.

La torcia funziona in maniera completamente automatica ed è gestita tramite un PLC indipendente dal sistema di regolazione e controllo. L' accensione e lo spegnimento sono invece comandati da sala controllo dall'operatore che ha comunque possibilità di monitorare il funzionamento della torcia; questo può avvenire grazie all'acquisizione dei dati che avviene dal PLC del quadro torcia al sistema di regolazione e controllo.

Durante i test sperimentali si è verificato un frequente intasamento della valvola rompifiamma a monte della torcia; per ovviare a complesse operazioni di pulizia della valvola durante le operazioni sperimentali si è resa necessaria la modifica degli spurghi presenti nella stessa, con maggiorazione dei bocchelli; per motivi di sicurezza si è provveduto inoltre a collegare la valvola di spurgo a monte della rompifiamma con la vasca di raccolta temporanea tramite tubazione in polietilene.



**Figura 2.25. Bocchelli di spurgo della valvola rompifiamma**

L'ottimizzazione dei consumi di GPL di supporto alla combustione da parte del sistema torcia ha reso necessario un intervento di regolazione e taratura da parte di un tecnico specializzato. In particolare si è regolato l'impianto per funzionamento a regime del combustore con temperatura di combustione inferiore a quella precedentemente impostata. Al fine di consentire l'impostazione del valore di temperatura di funzionamento e la modifica degli altri parametri operativi e di processo, si è provveduto ad installare un display di interfacciamento al sistema PLC.



*Figura 2.26. Torcia*

### *2.10 Sistema di regolazione a controllo*

Il sistema di regolazione e controllo è costituito dal quadro di controllo al quale arrivano tutti i segnali dall'impianto e da una postazione di controllo da cui, tramite un software appropriato, vengono inviati i comandi all'impianto ed acquisiti e registrati tutti i segnali provenienti dall'impianto.

È stata eseguita una verifica sul funzionamento dei moduli del sistema di regolazione e controllo e sull'acquisizione dati; in alcuni casi si sono verificate alcune problematiche legate sia all'acquisizione dati sia alla gestione di alcuni strumenti (valvole pneumatiche, valvole di regolazione, strumentazione in generale). Tali inconvenienti sono stati risolti attraverso: battitura dei cavi di trasmissione segnale dai quadri del sistema di regolazione e controllo alle apparecchiature in campo, sostituzione dei moduli malfunzionanti del sistema di regolazione e controllo. La gestione dell'impianto è stata riprogettata durante i test funzionali ed il nuovo "commissioning", prima del test sperimentale, in maniera completamente manuale; questo per avere la massima flessibilità di gestione possibile.

Dai test sperimentali condotti sull'impianto dimostrativo si è riscontrato un funzionamento errato della sequenza di gestione della rototraslazione dello stirrer. A tale scopo si quindi provveduto con l'assistenza dei tecnici della Eurotherm, fornitrice del sistema di controllo dell'impianto, alla modifica della stessa; nello specifico si è semplificata la sequenza preesistente eliminando tutti quei passaggi che di fatto non consentivano all'apparecchiatura di funzionare correttamente. Grazie alle modifiche apportate, una volta impostate le soglie di salita e discesa, attraverso la loro abilitazione si provoca la movimentazione dello stirrer verso l'alto e verso il basso rispettivamente, con l'unico controllo di raggiungimento della soglia impostata.

In figura 2.27 è riportato il diagramma di flusso della sequenza in oggetto.

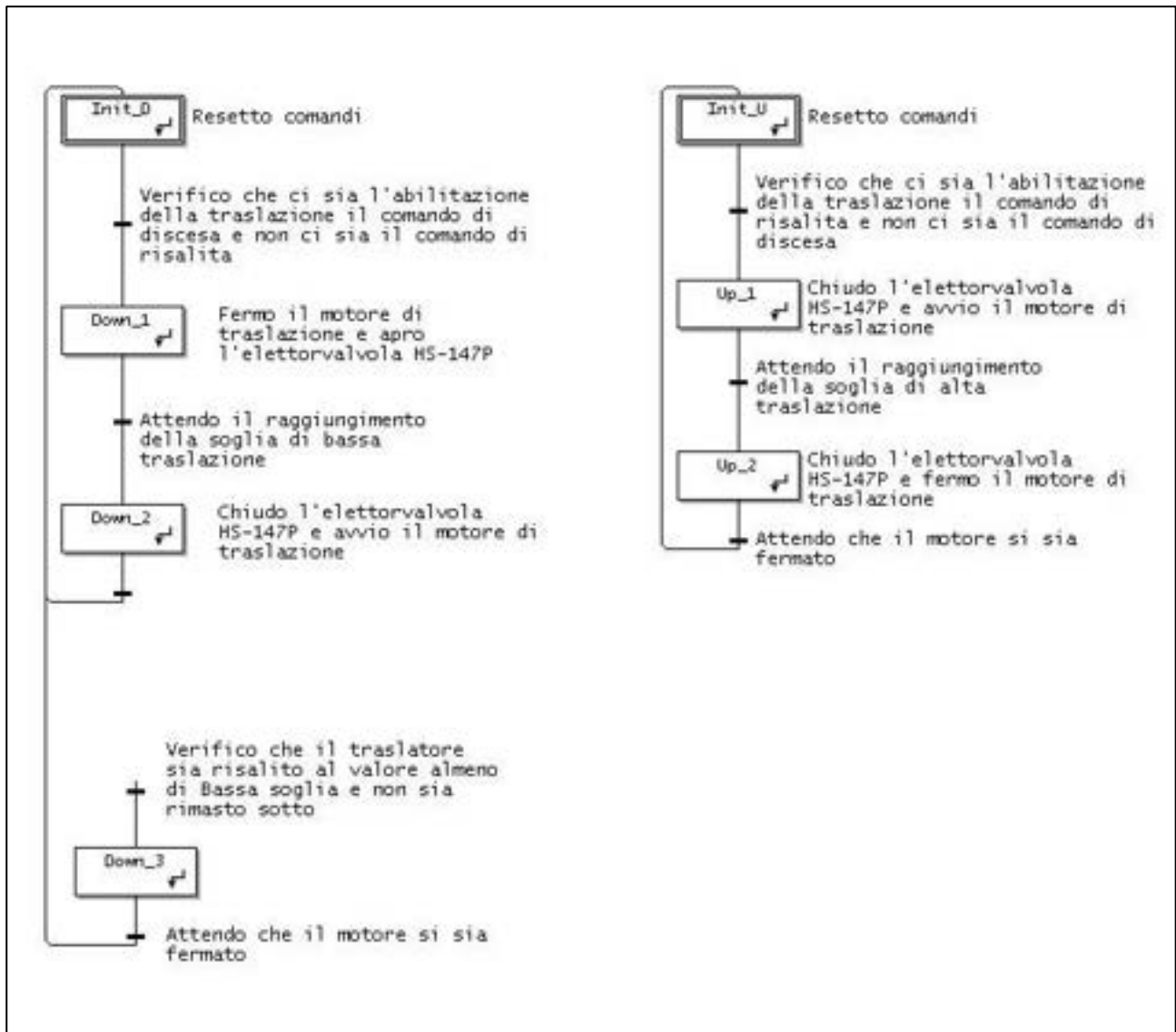


Figura 2.27. Sequenza funzionamento Stirrer

L'implementazione della nuova linea vent all'uscita dello scrubber e della valvola di attuazione pneumatica (FE-003P) così come sopra descritto, ha reso necessaria l'aggiunta di un blocco software di gestione; nello specifico sono stati aggiunti i seguenti segnali e comandi:

- segnale digitale di ingresso di finecorsa di apertura ZHS-003P sulla base 14 modulo 6 canale 8
- segnale digitale di ingresso di finecorsa di chiusura ZLS-003P sulla base 14 modulo 6 canale 7
- segnale digitale di uscita di comando della valvola HS-003P sulla base 14 modulo 14 canale 2
- creazione del blocco valvola FE-003P e sua implementazione sulla pagina di sinottico Scrubber

### 3 Conclusioni

Durante l'annualità in corso il principale obiettivo è stato quello di ottimizzare la sezione di gassificazione e rendere automatiche diverse operazioni in precedenza gestite manualmente. Equipaggiando inoltre l'impianto con diversi strumenti per la misurazione di nuovi parametri è possibile ora ottenere ulteriori dati utili per migliorare la conoscenza del processo. In particolare sono state operate delle importanti modifiche provvedendo ad installare:

- Un nuovo misuratore della portata di condensa del sistema di condensazione collegato alla camicia di raffreddamento del gassificatore.
- Un nuovo misuratore di livello visivo dello steam drum.
- Due nuovi misuratori compensati (DP) per la misura di livello scrubber e tank di decantazione.

Per quanto riguarda le principali modifiche che hanno permesso di ottimizzare il processo e di automatizzare il funzionamento del reattore di gassificazione, riportiamo di seguito le principali:

- Nuove modifiche alla griglia (in maniera particolare sulla ralla) hanno permesso di migliorare ed ottimizzare il funzionamento della griglia di scarico ceneri rispetto alla precedente annualità durante la quale si era già provveduto a riprogettazione e modifica della griglia con ottimi risultati.
- Le modifiche sul sistema di raffreddamento della camicia del gassificatore hanno aumentato la potenzialità dell'intero impianto di gassificazione, attraverso la riduzione delle perdite di carico del circuito vapore/condensa.
- La realizzazione di un nuovo vent ha permesso di condurre le fasi di start-up con invio in atmosfera di un syngas più pulito.
- Le modifiche sul circuito di adduzione aria processo all'impianto dimostrativo hanno permesso di regolare l'aria processo fino alle basse portate, necessarie per le fasi di start-up.
- La progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di pesatura e sollevamento del combustibile ha automatizzato la fase di caricamento.

In generale è possibile concludere che le modifiche progettate e realizzate dal gruppo di lavoro Sotacarbo/ENEA hanno permesso di ottimizzare il funzionamento del reattore di gassificazione e di migliorare il processo di gassificazione. In futuro sarà necessario continuare il lavoro di ottimizzazione del processo di gassificazione e di modifica dell'impianto, anche attraverso l'integrazione del sistema di clean-up allo scopo di ottenere un syngas con le concentrazioni di inquinanti adatte al suo invio ad un sistema di produzione di energia elettrica.

## 4 Curriculum

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