



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Ottimizzazione dei sistemi di scarico ceneri

G. Calì, P. Miraglia



OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SCARICO CENERI

Gabriele Calì, Paolo Miraglia

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e Fonti Energetiche

Tema: Tecnologie di gassificazione del carbone con cattura e sequestro della CO₂

Responsabile Tema: Paolo Deiana, ENEA

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

PROGETTO DI RICERCA CERSE 2[^] ANNUALITA'

**OR 1: SPERIMENTAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DI IMPIANTI DI
GASSIFICAZIONE**

RELAZIONE TECNICA

OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SCARICO CENERI

 SOTACARBO		PROGETTO DI RICERCA CERSE 2
Rev.	Data	Gabriele Cali, Paolo Miraglia
	30.09.2010	

Indice

PREMESSA	3
1. INTRODUZIONE.....	4
2. LA SEZIONE DI GASSIFICAZIONE DELL'IMPIANTO PILOTA SOTACARBO	5
2.1 IL REATTORE DI GASSIFICAZIONE	5
1.2 APPARECCHIATURE AUSILIARIE.....	7
1.3 SVILUPPI E ADATTAMENTI APPORTATI NEL CORSO DEL PROGETTO	8
3. PROGETTO DI MODIFICA DELLA GRIGLIA DI SCARICO CENERI.....	9
3.1 DESCRIZIONE DELLA GRIGLIA DI SCARICO CENERI PRIMA DELLE MODIFICHE	9
3.2. SCELTA DEI PARAMETRI PROGETTUALI PER LA MODIFICA DELLA GRIGLIA	10
3.3. MODIFICHE DELLA PARTE MOBILE DELLA GRIGLIA	10
3.4. MODIFICA DELLA PARTE FISSA DELLA GRIGLIA	13
3.5. PROVE DI FUNZIONALITÀ DELLA GRIGLIA IN OFFICINA A FREDDO	13
Prova del 27/08/09.....	15
Prova del 08/09/09.....	15
Prova del 09/09/09.....	16
Prova del 10/09/09.....	17
3.6 PROVE DI FUNZIONALITÀ DELLA GRIGLIA A CALDO	18
4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA PNEUMATICO PER LA MOVIMENTAZIONE DELLA GRIGLIA	20
4.1. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO DEL PISTONE PNEUMATICO	20
4.2. SCHEMA FUNZIONALE DEL SISTEMA PNEUMATICO PER LA MOVIMENTAZIONE DELLA GRIGLIA.....	23
4.3. SCHEMA FUNZIONALE DEL PISTONE PNEUMATICO	24
5. VALUTAZIONE ECONOMICA E TEMPI DI REALIZZAZIONE	27
6. PROVE DI FUNZIONALITÀ.....	28
7. OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA.....	30
8. MODIFICHE ULTERIORI APPORTATE ALLA GRIGLIA DI SCARICO CENERI	30
9. SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE DEL LETTO DEL GASSIFICATORE	33

Premessa

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Tecnologie innovative che consentono la riduzione dei costi di investimento delle centrali a polverino di carbone".

In particolare per il raggiungimento dell'obiettivo "OR1 – sperimentazione e ottimizzazione degli impianti di gassificazione" sono state previste una serie di attività relative all'adeguamento dell'impianto sia attraverso il completamento delle dotazioni e dei requisiti di sicurezza di impianto sia con la realizzazione di migliorie alla componentistica.

Ogni modifica studiata deriva da un'analisi delle problematiche riscontrate nello svolgimento delle attività sperimentali effettuate per il raggiungimento degli obiettivi previsti nell'AdP Enea-Sotacarbo nella prima fase della RdS (2008-2009).

Le attività descritte nel presente rapporto sono state realizzate sino al 30 settembre 2010.

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

Alla stesura del presente documento ha partecipato tutto il personale dell'area 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 pilota (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 sperimentazioni di cui è oggetto il presente documento sono state effettuate nella sezione di gassificazione dell'impianto pilota della piattaforma.

Tale impianto, oltre alla sezione 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.

2. La sezione di gassificazione dell'impianto pilota Sotacarbo

La sezione di gassificazione dell'impianto pilota Sotacarbo è costituita principalmente da un reattore di gassificazione di tecnologia Wellman-Galusha (opportunamente adattata alla taglia pilota), progettato da Ansaldo Ricerche. Il reattore è poi 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 e il caricamento del combustibile.

2.1 IL REATTORE DI GASSIFICAZIONE

Il gassificatore pilota (figura 2.1) della piattaforma Sotacarbo è un letto fisso up-draft di tecnologia Wellman-Galusha (opportunamente adattata alla taglia), progettato per operare con alimentazione ad aria e a pressione pressoché atmosferica. Il reattore è poi 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 e lo scarico delle ceneri. La scelta di tale tecnologia deriva da un particolare interesse alla applicazione della tecnologia a impianti commerciali di piccola e media taglia.

Il reattore ha un diametro interno di 300 mm e un'altezza complessiva pari a 2000 mm, con un'altezza massima del letto di combustibile pari a circa 1300 mm (per un totale di circa 90 dm³). A differenza delle configurazioni convenzionali Wellman-Galusha, il gassificatore non è dotato né della camicia di raffreddamento (le pareti interne sono rivestite in materiale refrattario), né dell'agitatore interno, difficilmente realizzabili in un reattore di piccole dimensioni. Pertanto il comportamento termodinamico dell'apparecchiatura risulta essere differente rispetto agli analoghi gassificatori di taglia commerciale.

Il combustibile viene introdotto all'interno del gassificatore attraverso un unico condotto coassiale allo stesso reattore; il profilo termico è determinato mediante una termocoppia multipla dotata di 11 sensori distribuiti lungo tutta l'altezza del reattore, in prossimità dell'asse.



Figura 2.1 La parte inferiore del gassificatore pilota.

La fase di avviamento avviene mediante l'inserimento di un letto composto da uno strato di materiale inerte (argilla espansa), a protezione della griglia, sopra il quale è posizionato uno strato di cippato di legno (additivato con un materiale altamente infiammabile per favorire l'avvio delle reazioni di combustione) e uno strato di coke, per un totale di 30 dm³ di carica iniziale (tale modalità di avviamento è stata perfezionata nel corso della campagna sperimentale in oggetto, come illustrato nel seguito).

L'accensione vera e propria del letto avviene con l'ausilio di tre lampade ceramiche a irraggiamento, che riscaldano il legno in loro prossimità favorendo l'avvio delle reazioni di combustione (Ferrara et al., 2009).

Il letto di combustibile poggia sopra una griglia metallica (il cui perfezionamento è oggetto del presente documento) che consente lo scarico temporizzato delle ceneri dal fondo del reattore. Gli agenti gassificanti (aria e vapore, nelle condizioni nominali di funzionamento) vengono miscelati all'esterno del reattore e immessi al di sotto della griglia di sostegno del letto (figura 2.1 in alto a sinistra), laddove è presente un sistema di due valvole a ghigliottina per l'estrazione delle ceneri.



Figura 2.2. Condotto di adduzione degli agenti gassificanti e ghigliottine per lo scarico delle ceneri.

1.2 APPARECCHIATURE AUSILIARIE

Il gassificatore pilota è dotato di una serie di apparecchiature ausiliarie per lo svolgimento delle varie funzioni necessarie all'esercizio dello stesso. Di seguito è presentata, in breve sintesi, una descrizione delle apparecchiature principali.

Sono presenti:

- sistema di caricamento del carbone, con relativo sistema di aspirazione delle polveri;
- compressore d'aria e generatore di vapore che forniscono gli agenti gassificanti;
- scrubber e torcia, che consentono la depurazione e la combustione del syngas prodotto.
- diversi sistemi di campionamento e analisi del syngas prodotto, che permettono il monitoraggio continuo dei parametri, quali pressioni, temperature e portate del syngas e, tramite le analisi di un gas cromatografo portatile, la composizione dello stesso.

1.3 SVILUPPI E ADATTAMENTI APPORTATI NEL CORSO DEL PROGETTO

Al fine di effettuare le prove sperimentali necessarie per la messa a punto del processo di gassificazione, nel corso del progetto di ricerca oggetto del presente documento è stata apportata una serie di modifiche all'impianto, riguardanti, in particolare, i seguenti aspetti:

- modifica della griglia di supporto del letto e di scarico delle ceneri;
- sostituzione del sistema per la misura del livello del letto di combustibile nel gassificatore;
- sostituzione della termocoppia multipla del gassificatore;
- inserimento di un misuratore di portata del syngas grezzo;
- realizzazione di una linea apposita per l'alimentazione della miscela di ossigeno e anidride carbonica al gassificatore;
- introduzione di un sistema per il surriscaldamento del vapore.

Il presente documento si occupa del primo punto. Per una descrizione più dettagliata degli altri aspetti si rimanda al documento "Migliorie dell'impianto pilota e inserimento della nuova strumentazione".

Modifica della griglia di supporto del letto di combustibile

Durante le precedenti campagne sperimentali sono stati riscontrati diversi problemi per lo scarico ceneri. La griglia di supporto del letto di cui era inizialmente dotato il gassificatore non consentiva lo scarico delle ceneri a causa di una insufficiente spaziatura tra gli elementi fissi e mobili. Per ovviare a tale problema, nel corso del progetto di ricerca oggetto del presente documento è stato progettato un nuovo sistema di scarico e le modifiche individuate sono state apportate alla griglia esistente.

Nello specifico si è valutato di movimentare l'apertura e chiusura della griglia tramite un sistema pneumatico automatizzato che permettesse di ottenere una regolazione millimetrica per una migliore funzionalità e che consentisse lo scarico di materiali aventi una pezzatura minore o uguale ai 30 mm.

Tali modifiche sono state testate nelle successive campagne sperimentali e hanno avuto pieno successo, come sarà mostrato nel seguito

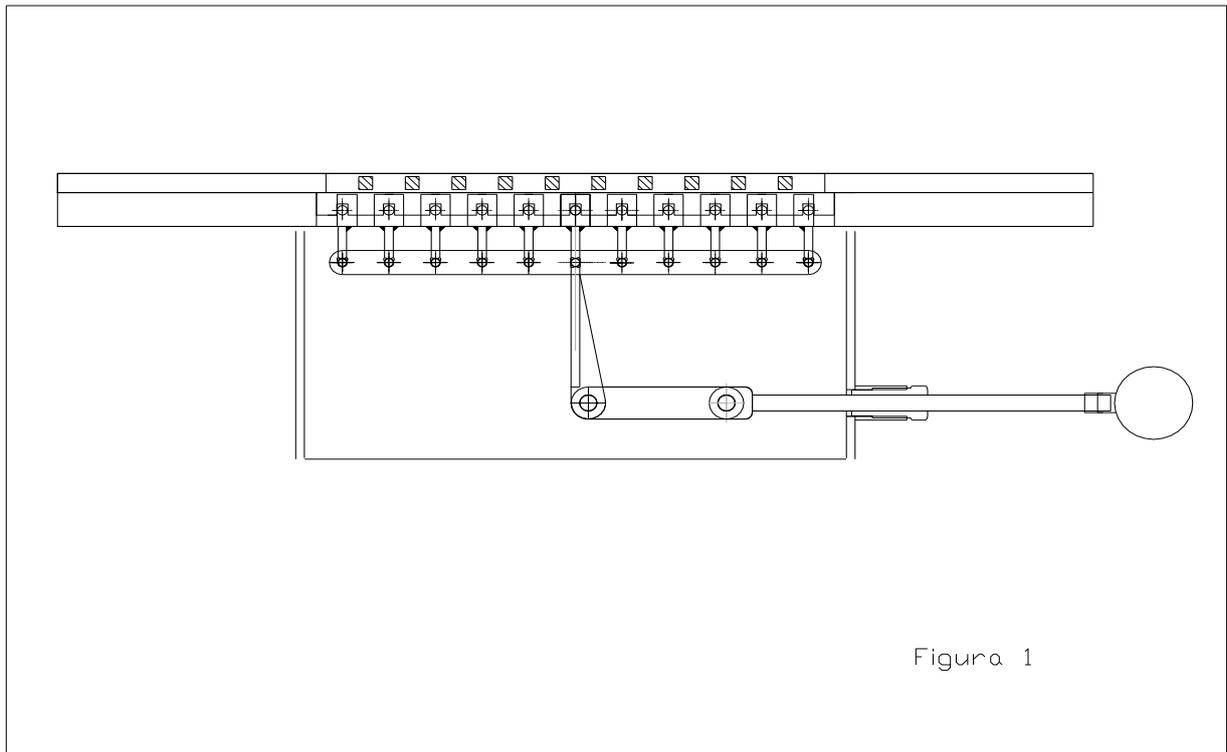


Figura 1

Figura 3.1 layout griglia originale

La parte fissa era costituita da un disco del diametro di 600 mm ed altezza di 12 mm con un foro centrale di 288 mm; erano altresì disposti n. 10 quadrotti delle dimensioni di 8x8 mm distanziati di 19 mm. La parte mobile era invece composta da un disco del diametro di 600 mm e altezza 21 mm con un foro di 298 mm, erano presenti n. 9 quadrotti delle dimensioni di 17x20 mm ed altri due esterni delle dimensioni di 12x20 mm. Il materiale costituente la griglia è in acciaio AISI 304.

I quadrotti mobili erano intercalati con quelli fissi ed imperniati al disco con dei perni del diametro di 6 mm.

Nella posizione di chiusura la dimensione fra gli interstizi tra le due parti era di 1 mm, mentre nella posizione di apertura con la parte mobile tale distanza era pari a 6 mm. Il carbone utilizzato fino a questo momento in gassificazione aveva una pezzatura compresa fra i 20-50 mm. Lo scarico di

materiale incombusto e delle ceneri di dimensione maggiore di 6 mm era di fatto impossibile, come verificatosi anche nella prova di gassificazione del 02/04/09.

3.2. SCELTA DEI PARAMETRI PROGETTUALI PER LA MODIFICA DELLA GRIGLIA

In seguito alle valutazioni effettuate durante le precedenti prove di gassificazione sono state eseguite alcune modifiche alla griglia necessarie per migliorare il sistema di scarico delle ceneri. Tali modifiche sono state eseguite tenendo conto di una dimensione massima di passaggio pari a 30 mm, scelta in base alla granulometria del materiale scaricato nelle precedenti gassificazioni. Per poter avere la dimensione di passaggio sopra indicata è stato necessario diminuire il numero dei quadrotti sia della parte mobile che della parte fissa.

Per poter garantire la chiusura e apertura della griglia è necessario saldare dei piattini ai quadrotti della parte mobile della stessa. Tali piattini verranno realizzati in acciaio AISI 304. Scelta obbligata poiché è il medesimo materiale con cui sono state realizzate tutte le altre parti della griglia.

Inoltre per l'automazione dell'apertura e della chiusura del sistema di scarico ceneri è stato previsto l'utilizzo di un pistone pneumatico con possibilità di remotizzare il comando da sala controllo.

Di seguito sono riportate le modifiche effettuate sulla parte mobile e sulla parte fissa della griglia .

3.3. MODIFICHE DELLA PARTE MOBILE DELLA GRIGLIA

Per modificare la parte mobile della griglia si è ridotto da 11 a 5 il numero dei quadrotti mobili.

In particolare sono stati rimossi:

- n. 4 (da 17x20 mm) dalla parte centrale
- n. 2 (da 12x20 mm) dalle parti esterne.

Si è così ottenuto uno spazio tra gli elementi rimanenti pari a 37 mm (una schematizzazione di tale modifica è riportata in figura 3.2).

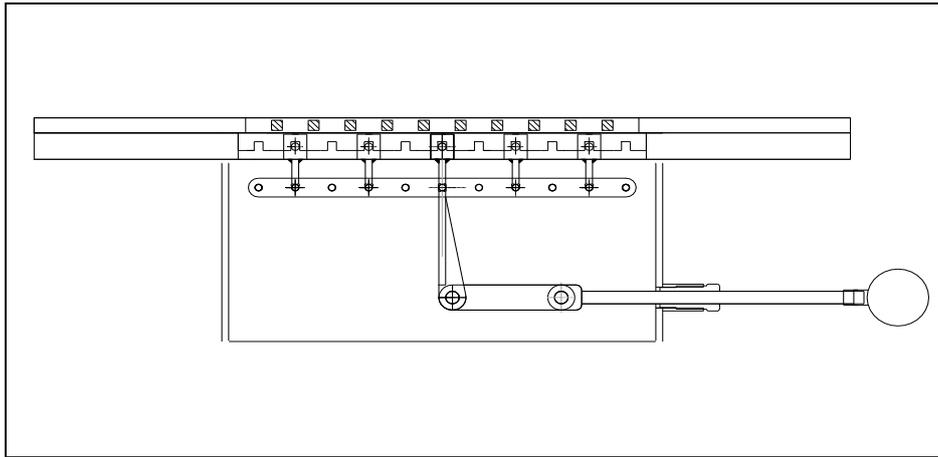


Figura 3.2 layout modifica griglia originale con eliminazione degli elementi mobili

Sono stati poi predisposti dei piattini da 4x25 mm sui quadrotti mobili rimanenti per poter effettuare la chiusura della griglia ed attuare una regolazione per l'apertura. Sono stati collocati sulla faccia superiore e inferiore in configurazione a S, tali da formare delle "alette" sfalsate rispetto all'asse del quadrotto.

Questa modifica permette la completa apertura o chiusura della griglia.

Effettuando una rotazione della parte mobile di circa -26° che posizioni parallelamente le alette adiacenti come riportato in figura 3.3, si ottiene una completa chiusura della griglia.

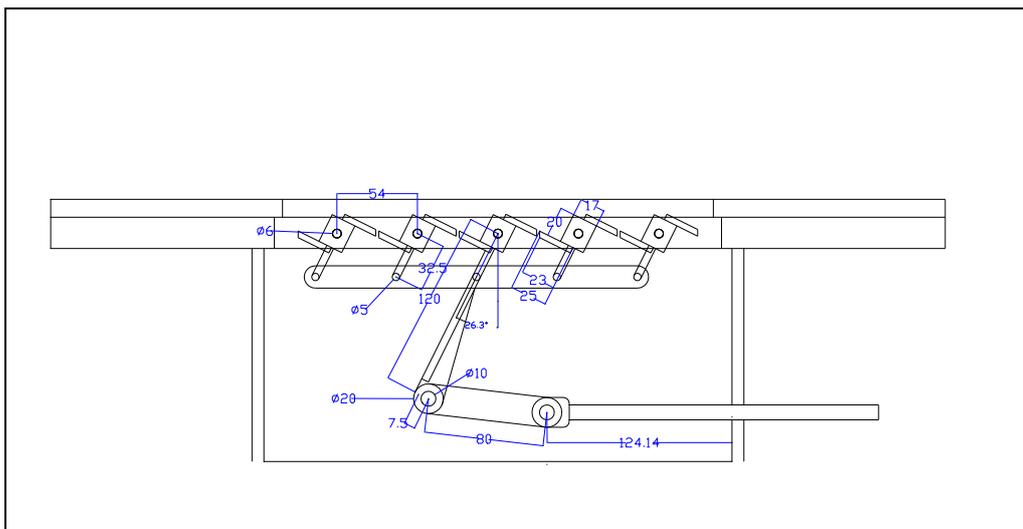


Figura 3.3 layout griglia modificata in posizione di chiusura



Figura 3.6 griglia modificata in posizione di chiusura

3.4. MODIFICA DELLA PARTE FISSA DELLA GRIGLIA

La posizione della griglia fissa è stata ridefinita per evitare eventuali interferenze tra le parti fissa e mobile. Tutti i dieci quadrotti fissi da 8x8 mm sono stati posizionati su una corona dell'altezza di 25 mm, al di sopra delle alette della parte mobile in condizioni di massima apertura

Questa soluzione facilita lo scarico ed evita che il peso del carico superiore gravi sullo spigolo dell'aletta.

Sc...

sf

30

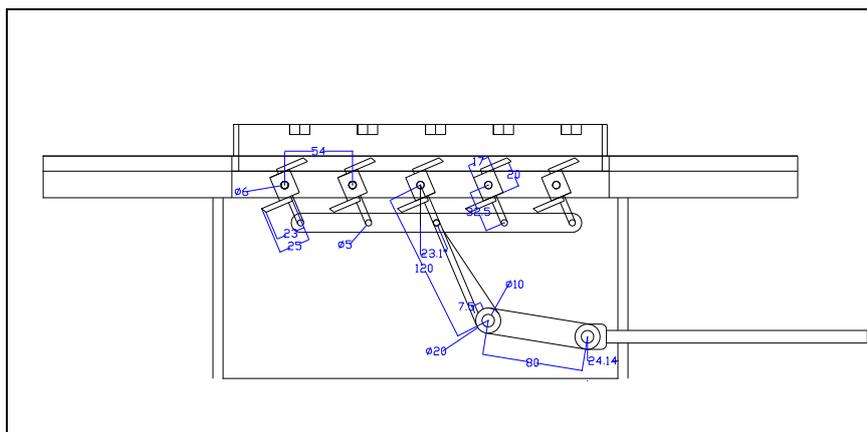


Figura 3.7 layout griglia modificata in posizione di apertura con parte fissa

3.5. PROVE DI FUNZIONALITÀ DELLA GRIGLIA IN OFFICINA A FREDDO

La funzionalità della griglia modificata è stata testata con prove di scarico a freddo. All'interno dell'officina meccanica è stato predisposto un sistema per simulare le condizioni del gassificatore, costituito da un cono di scarico e dalla griglia stessa, al di sopra del quale è stato posizionato un cilindro metallico di diametro 300 mm e altezza 1600 mm simile quindi per dimensioni al gassificatore (figura 3.8).



Figura 3.8 Sistema sperimentale per simulazione scarico ceneri

Durante le prove sono stati analizzati:

- capacità di scarico della griglia in termini di pezzatura del materiale
- tempi di scarico del materiale
- capacità di scarico della griglia con aperture parzializzate.

Sono stati riprodotti gli strati di combustibile ed inerte con cui è riempito il gassificatore durante le sperimentazioni:

- argilla 7,5 litri
- pellet 10 litri
- coke 10 litri
- carbone Sud-Africano per il restante volume, circa 86 litri.

In totale le cariche hanno un peso di circa 80 kg.

Le prove sono state eseguite con differenti modalità e con materiali di diversa pezzatura: i risultati sono riportati di seguito.

Prova del 27/08/09

La prova preliminare è stata condotta utilizzando materiale incombusto proveniente da precedenti gassificazioni, di pezzatura fino a 50 mm e peso 80 kg per simulare la condizione di massimo riempimento del gassificatore.

Durante la prova si è verificato l'impaccamento del materiale tra le parti mobili della griglia, bloccando lo scarico del materiale e il movimento stesso della griglia. Il fenomeno è dovuto alla mancanza di un fermo in posizione di chiusura che ha causato la rotazione delle "alette" in direzione contraria a quella di apertura.

Per ovviare a tale inconveniente è stato predisposto un fermo meccanico installato sull'asta di azionamento del pantografo (figura 3.9).



Figura 3.9 Fermo meccanico

Prova del 08/09/09

Tale prova è stata condotta utilizzando un carico di 76 kg, composto da: 7,5 l di argilla con pezzatura pari a 15 mm; 10 l di pellet; 10 l di coke e un ulteriore carico sovrastante.

Durante tale prova sono stati calcolati i tempi necessari per effettuare lo scarico completo dell'argilla in due posizioni di corsa del manovellismo: una a 101 mm (apertura completa) e l'altra a 70 mm (apertura intermedia) I dati sono riportati in tabella 3.1.

tempo di scarico (s)	Quantità scaricata (dm ³)	Carico gravante (kg)	Corsa del manovellismo (mm)	Portata di scarico (dm ³ /s)
15,4	26	80	101	1,68
20,5	26	80	101	1,26
15,92	26,5	80	101	1,66

Tabella 3.1 dati registrati durante la prova del 08/09/09

Risultati ottenuti durante la prova:

- Scarico con corsa intermedia del manovellismo a 70 mm: incompleto
- Scarico con fine corsa del manovellismo a 101 mm: completo
- Portata media di scarico: 1,5 dm³/s.

Prova del 09/09/09

Per questa prova sono state utilizzate le stesse condizioni di caricamento della prova precedente, sostituendo l'argilla con carbone sudafricano macinato e vagliato con pezzatura inferiore ai 30 mm, e sono state utilizzate le stesse procedure di scarico.

Durante tale prova sono stati calcolati i tempi necessari per effettuare lo scarico completo dell'argilla in due posizioni di corsa del manovellismo una a 101 mm (apertura completa) e l'altra a 70 mm (apertura intermedia). Di seguito è riportata la tabella 3.2 con i risultati di tale prova:

tempo di scarico (s)	Quantità scaricata (dm ³)	Carico gravante (kg)	Corsa del manovellismo (mm)	Portata di scarico (dm ³ /s)
12,43	24	80	101	1,93
15,04	24,2	80	101	1,6
12,51	21	80	101	1,68

Tabella 3.2 dati registrati durante la prova del 09/09/09

Si riportano di seguito i risultati ottenuti durante la prova:

- Scarico con corsa intermedia del manovellismo a 70 mm: incompleto
- Scarico con fine corsa del manovellismo a 101 mm: completo
- Portata media di scarico: 1,7 dm³/s.

Prova del 10/09/09

In questa prova sono state utilizzate le stesse condizioni di carico della prova del 09/09/09.

Differentemente dalle prove precedenti la quantità scaricata è stata variata ad ogni ciclo di apertura e chiusura della griglia per verificare la sua influenza sulla velocità di scarico. Di seguito è riportata la tabella 3.3 con i risultati di tale prova:

tempo di scarico (s)	Quantità scaricata (dm ³)	Carico gravante (kg)	Corsa del manovellismo (mm)	Portata di scarico (dm ³ /s)
1,59	3	76	101	1,88
1,26	5,1	72	101	4
1,43	4,8	68	101	3,35
1,42	4,3	64	101	3
1,47	4,1	61	101	2,79
1,06	3	58	101	2,8
1,34	2,5	55,6	101	1,8
1,9	1,5	53,6	101	0,79

Tabella 3.3 dati registrati durante la prova del 09/09/09

In questa prova la velocità di scarico del carbone ha un andamento variabile per ogni ciclo di scarico. Ciò è probabilmente dovuto all'intervento dell'operatore nel ciclo di chiusura e apertura della griglia.

Riassumendo i risultati ottenuti nelle prove a freddo effettuate sulla griglia si possono trarre le seguenti considerazioni:

- le modifiche effettuate sulla griglia permettono di scaricare materiale in pezzatura massima di 30 mm in posizione di completa apertura della griglia stessa; non si sono rilevati fenomeni di impaccamento dopo l'inserimento del fermo meccanico
- lo scarico della griglia funziona unicamente in posizione di completa apertura e non in posizioni intermedie
- la portata media di scarico accettabile, ottenuta nella prova del 10/09/09, è stata di 1,7 dm³/s. Le prove andranno però ripetute una volta presente il pistone.

3.6 PROVE DI FUNZIONALITÀ DELLA GRIGLIA A CALDO

La funzionalità a caldo della griglia modificata è stata testata durante un avviamento in data 17/12/2009, con carbone di pezzatura massima 3 cm. Per movimentare manualmente la griglia è stato montato un manubrio in acciaio (figura 3.10).



Figura 3.10 Manubrio per la movimentazione manuale della griglia

Il carico massimo a cui è stata sottoposta la griglia durante il funzionamento è stato di circa 50 kg, pari ad un'altezza massima di carico di circa 90 cm. Durante la prova sono stati effettuati 4 scarichi delle ceneri, i cui parametri più significativi sono riportati in tabella 3.4:

Scarichi delle ceneri	Quantità scaricata (dm ³)	Temperature registrate prima dello scarico (C°)	Temperature registrate dopo lo scarico (C°)	Tipologia del materiale
Scarico n.1	5	200	238	argilla
Scarico n.2	5	217	552	argilla in prevalenza
Scarico n.3	5	469	656	Coke incombusto con ceneri di carbone
Scarico n.4	3	430	637	Carbone incombusto con ceneri di carbone

Tabella 3.4 dati registrati durante la prova del 17/12/09

Come mostrato dai dati riportati in tabella 3.4 la griglia ha scaricato il materiale in quantità uniforme, ciò è dovuto alla facilità di movimentazione della griglia, anche se al momento solo manuale.

Inoltre la griglia ha avuto durante tutta la prova una perfetta tenuta sia con materiale di grossa pezzatura (incombusti 3 cm) che con materiale di pezzatura fine (cenere di carbone)

La temperatura riportata nella tabella è misurata dalla termocoppia all'interno del gassificatore che si trova più vicina alla griglia (15 cm). Bisogna però tener conto che la temperatura registrata non è esattamente quella presente sulla griglia poiché la termocoppia si trova ad una certa distanza dalla stessa e anche perchè è continuamente raffreddata dagli agenti gassificanti (vapore ed aria) che entrano ad una temperatura inferiore ai 100 °C. I dati in tabella 3.4 riportano il valore della temperatura prima dello scarico e il valore massimo della stessa in seguito allo scarico. Il valore massimo di tale temperatura è stato 656 °C, dato corrispondente alla massima temperatura misurata dalla termocoppia durante tutta la prova.

4. Dimensionamento del sistema pneumatico per la movimentazione della griglia

4.1. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO DEL PISTONE PNEUMATICO

È previsto l'inserimento di un pistone pneumatico nel sistema di scarico ceneri per automatizzare l'apertura e la chiusura della griglia.

Il pistone sarà alimentato con aria compressa essiccata a 6 bar e rispetterà le direttive ATEX, che disciplinano la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive.

Tale pistone sarà a doppio effetto e dotato di un trasduttore che permetterà di individuare la posizione dello stesso da sala controllo.

La corsa del pistone sarà pari a 120 mm per garantire lo spostamento massimo dell'asta del manovellismo pari a 101 mm, evitando di arrivare al fine corsa.

Per quanto riguarda il dimensionamento di massima del cilindro meccanico del pistone sono state effettuate le seguenti ipotesi:

- il carico massimo che può gravare sulla griglia è 80 kg. Tale carico grava unicamente sui quattro vani di scarico centrali (da intendersi come spazio interessato da due alette adiacenti che effettuano l'apertura e la chiusura del vano) trascurando i due semi vani delle aperture laterali. Il carico che grava su ogni vano di scarico centrale e dunque sulla coppia di alette adiacenti è di 20 kg.
- il carico di 20 kg del singolo vano si considera uniformemente distribuito sulla singola "aletta" che agisce positivamente sia in condizione di chiusura che in condizione di apertura. La coppia agente sulla singola aletta (lunghezza dell'aletta pari a 25 mm) risulta pari a:

$$coppia = \frac{25mm * 20kg}{2} = 0,25kgm$$

- la distanza tra l'asse di movimento del cilindro del pistone e i perni di rotazione dei quadrotti su cui poggiano le alette è 100 mm e poiché i quadrotti sono 5 la forza totale risultante sul cilindro sarà:

$$Forza = \frac{0,25kgm * 5}{0,1m} = 12,5kg$$

Dunque lo sforzo in condizioni nominali allo stelo del cilindro è di circa 12,5 kg totali. Per raggiungere tale forza sono stati presi in considerazione tre pistoni con diversi alesaggi: 40 mm, 32 mm e 25 mm. La forza di spinta del pistone varia in base alla pressione dell'aria strumenti con cui è

alimentato. Nella tabella 4.1 si riportano i valori della forza di spinta correlati alle pressioni di esercizio:

alesaggio del pistone (mm)	Area tiro/spinta (mm ²)	Forza (kg)				
		Pressione di esercizio 0,2 MPa	Pressione di esercizio 0,3 MPa	Pressione di esercizio 0,4 MPa	Pressione di esercizio 0,5 MPa	Pressione di esercizio 0,6 MPa
40	1055	21,5	32,3	43	53,8	64,5
32	691	14	21	28	35	42
25	412	8,4	12,6	16,8	21	25

Tabella 4.1 valori della forza di spinta correlati alle pressioni di esercizio per tre pistoni con alesaggio 40 mm, 32 mm, 25 mm

La formula da cui sono stati calcolati i valori della forza di spinta riportati in tabella 4.1 risulta essere la seguente:

$$Forza = \frac{P_{esercizio} * Area_tiro/spinta}{9,81}$$

I dati della tabella 4.1 sono stati riportati nel grafico di figura 4.1

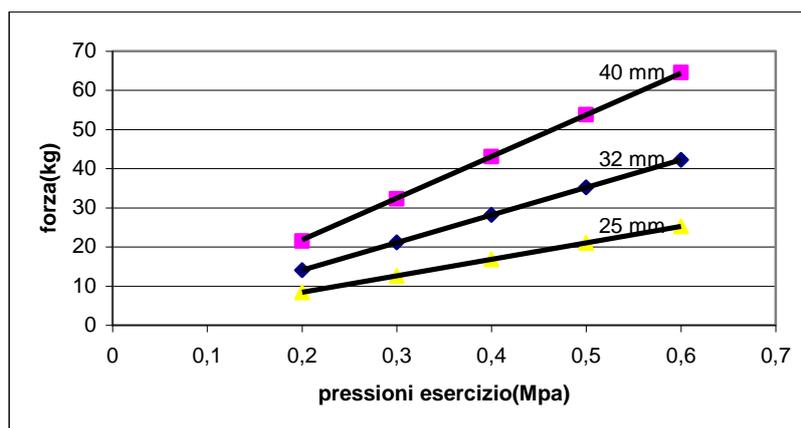


Figura 4.1 valori di forza di spinta correlati alle pressioni di esercizio per tre pistoni con alesaggio: 40 mm, 32 mm, 25 mm

Come si vede dal grafico e dalla tabella 4.1 il pistone con alesaggio 32 mm raggiunge una forza di 14 kg ad una pressione di esercizio pari a 0,2 MPa. Tale forza è simile a quella ottenuta nelle prove sperimentali. Poiché l'aria strumenti presente nell'impianto si trova alla pressione di 0,6 MPa si ha

la possibilità di fornire una forza massima di 42 kg in caso di necessità (la regolazione della pressione dell'aria al pistone viene effettuata con dei riduttori di pressione appositi). Tale pistone risulta essere il più adeguato per l'utilizzo in impianto.

La velocità di apertura e chiusura del pistone è stata calcolata imponendo un tempo massimo di apertura e chiusura pari a 1 s, poiché la corsa massima del pistone è di 101 mm tale pistone si muoverà con una velocità massima di 202 mm/s. Per valutare la portata di aria minima necessaria per avere una velocità massima di 202 mm/s nel caso dell'utilizzo di un pistone con alesaggio 32 mm si utilizza la seguente formula:

$$Q_{aria} = 3.6 * Area_tiro / spinta * V_{max} * ((P + 0.1013) / 0.1013) * 10^{-6}$$

al variare della pressione di esercizio si avranno le portate di aria riportate in tabella 4.2:

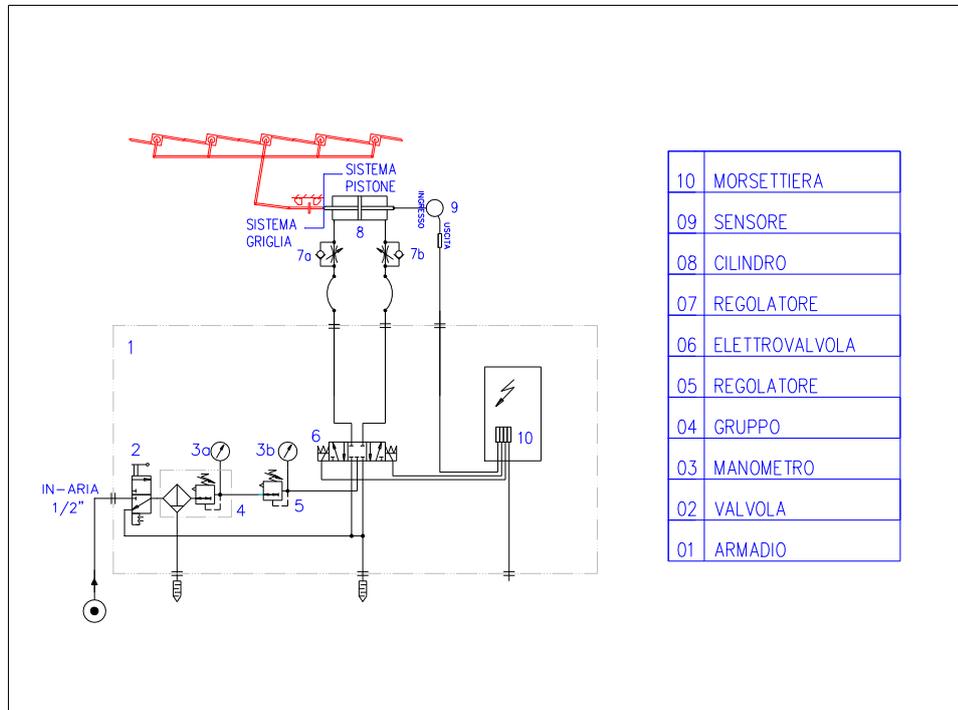
Pressione di esercizio MPa	Q portata di aria (m ³ /h)
0.2	1.5
0.3	2
0.4	2.5
0.5	3
0.6	3.5

Tabella 4.2 valori di portata d'aria correlati alle pressioni di esercizio

L'aria strumenti a disposizione dell'impianto da 35 kg/h ha una portata massima a disposizione pari a 200 m³/h, dunque i consumi di aria strumenti del pistone sono ampiamente soddisfatti sotto qualsiasi condizione di funzionamento.

4.2. SCHEMA FUNZIONALE DEL SISTEMA PNEUMATICO PER LA MOVIMENTAZIONE DELLA GRIGLIA

Si riportano di seguito i principali componenti del pistone selezionato e le caratteristiche



- Cilindro pneumatico:
 - Alesaggio: 32mm
 - Stelo 1: 12mm
 - Stelo 2: 12mm
 - Corsa: 120mm
 - Area tiro/spinta: 691 mm²
 - forza a 5 bar: 52.75 kg
 - Attacco cilindro: piedini
 - Attacchi steli: filetto M12x1,25
 - Regolatori di velocità unidirezionali, su ambo i lati, esterni.
 - Certificazione: Atex
- trasduttore di posizione:
 - Corsa: 150 mm
 - Attacchi: snodo / snodo

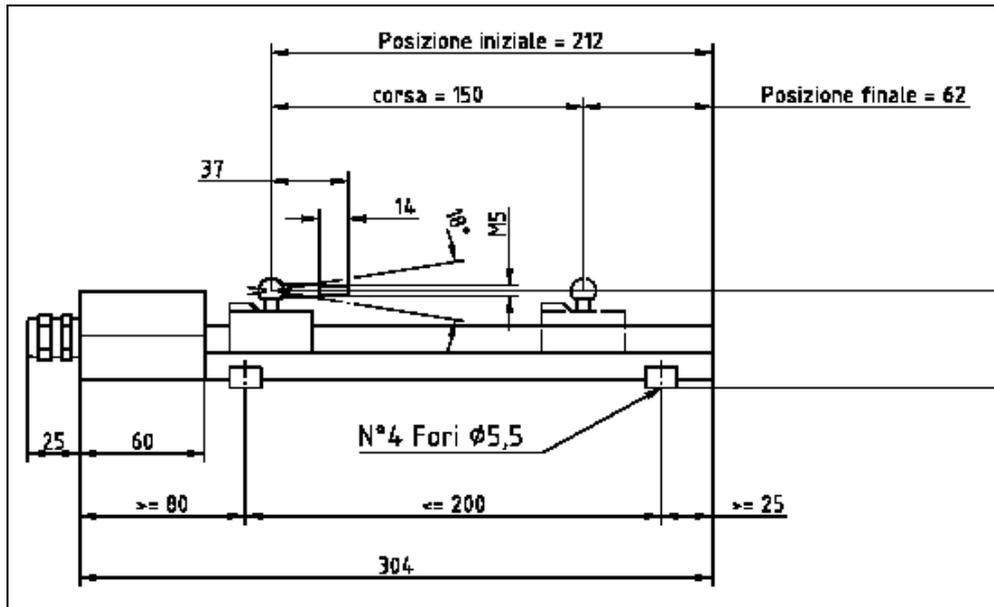


Figura 4.4 sezione laterale del sistema pistone trasduttore di posizione

Il sistema pistone-trasduttore verrà staffato tramite un supporto alla struttura portante dell'impianto di gassificazione posizionando in asse l'asta della griglia con lo stelo del pistone.

Il sistema sarà fornito di due alimentazioni di aria compressa essiccata collegate alla due camere del cilindro, e da un cavo di segnale collegato al trasduttore di posizione.

I collegamenti faranno capo al pannello di controllo (vedasi figura 4.5) composto da un quadro pneumatico e da uno elettrico, che andrà posizionato nel box compressori.

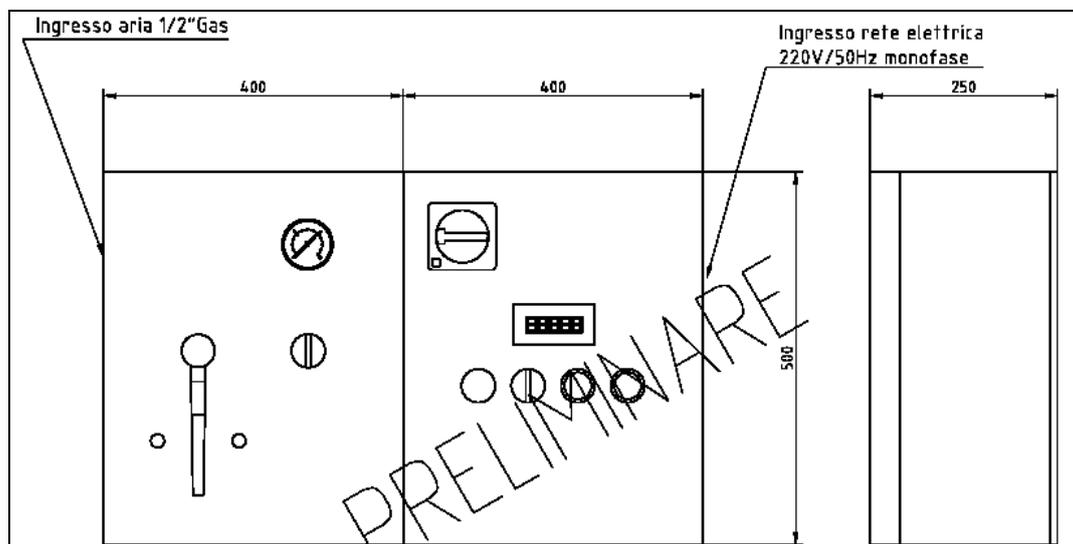


Figura 4.5 pannello di controllo

Il pistone pneumatico può essere movimentato direttamente da sala controllo tramite un segnale remoto 4-20 mA e inoltre può essere movimentato in locale tramite pulsantiera, con la possibilità di regolare la velocità tramite display digitale.

Per motivi di sicurezza, il sistema, in mancanza di alimentazione elettrica, permette la chiusura del sistema di scarico ceneri.

Per poter funzionare il pannello di controllo necessita delle seguenti utility:

- Aria strumenti 6 bar minimo
- Alimentazione elettrica 220 Vac
- Segnali strumenti 4-20 mA.

5. Valutazione economica e tempi di realizzazione

Le modifiche apportate alla griglia e descritte nel presente documento sono state realizzate da personale Sotacarbo ed è stato acquistato solo il materiale necessario per l'esecuzione delle stesse. Il sistema di automazione è stato invece fornito dalla ditta Biasetton oleodinamica. Il sistema è stato montato solo ultimamente e non vi è stato il tempo tecnico perché potesse essere testato.

6. Prove di funzionalità

Nel test preliminare del 17/12/2010 e nei successivi test (dal 24/02/2010 al 01/04/2010) è stato anche verificato il funzionamento in modalità manuale del sistema di scarico delle ceneri.

In particolare è stato possibile scaricare il materiale presente nel gassificatore pilota (costituito da argilla, incombusti e ceneri) migliorando il processo di gassificazione. Lo scarico ha permesso in particolare di regolare la quota del letto di gassificazione e di omogeneizzare il materiale all'interno, riducendo in tal modo la presenza di cammini preferenziali.

Durante il funzionamento, la griglia mobile non ha subito danneggiamenti dovuti ad elevate temperature o a carichi superiori a quelli inizialmente ipotizzati, dimostrando così una buona resistenza sia di tipo termico che di tipo meccanico.

La griglia fissa ha invece subito delle deformazioni dovute alle elevate temperature come mostrato in figura 6.1:



Figura 6.1 Condizioni della griglia dopo le prove sperimentali

Come si nota dall'immagine sopra, mentre le condizioni della parte mobile della griglia non sono variate, la parte fissa della griglia presenta invece una deformazione in tutti i suoi elementi, escluso l'elemento più esterno. Tale deformazione non ha però modificato la funzionalità della griglia stessa.

In posizione di completa chiusura la griglia ha inoltre assicurato una totale tenuta ai materiali solidi (di qualsiasi dimensione).

Durante alcune prove di gassificazione si sono verificati dei problemi legati all'impossibilità di effettuare lo scarico. Tali problemi sono dovuti alla formazione di aggregati di argilla con altri materiali o ad una conglomerazione delle ceneri (vedasi figura 6.2). I meccanismi di creazione di tali conglomerati al momento non sono ancora chiari anche se potrebbero essere imputabili alla contemporaneità di diversi fattori, come ad esempio l'alta temperatura raggiunta sulla griglia, circa 1000 °C, la presenza di cammini preferenziali, variazioni brusche della portata di vapore in ingresso al gassificatore.



Figura 6.2 Conglomerati

Il problema è stato in parte risolto adottando i seguenti accorgimenti:

- scarico dell'argilla subito dopo l'avvenuta accensione
- aumenti contenuti della portata di vapore al gassificatore, evitando in tal modo shock termici.

7. Ottimizzazione del sistema

Al fine di ottimizzare il sistema di scarico ceneri sarà necessario stabilire la frequenza e la quantità degli scarichi, obiettivo questo delle prossime campagne sperimentali.

Un altro obiettivo sarà quello di automatizzare l'apertura e la chiusura della griglia, per ottimizzare il funzionamento del sistema di scarico ceneri.

A tal fine saranno effettuate delle apposite prove a freddo per verificare le condizioni operative del pistone con l'utilizzo di materiali diversi e con caricamenti del gassificatore a diverse altezze, determinando così la regolazione ottimale.

Il primo problema affrontato è stato lo studio di modifiche che potessero evitare la formazione di conglomerati e rendere quindi lo scarico delle ceneri più omogeneo.

8. Modifiche ulteriori apportate alla griglia di scarico ceneri

Al fine di risolvere i problemi legati all'impossibilità di evacuare il materiale di scarico a causa della formazione di conglomerati, presentatisi in alcune prove di Marzo 2010, sono state apportate le seguenti ulteriori modifiche alla griglia di scarico ceneri:

1. sono stati saldati, sui quadrotti mobili della griglia, 12 elementi di geometria quadrangolare con le seguenti dimensioni: 25 mm di larghezza, 35 mm di altezza e spessore 6 mm.
2. la parte fissa della griglia è stata ruotata di 180 gradi rispetto alla parte mobile
3. i quadrotti fissi della griglia di dimensione 16 mm di larghezza e 8 mm di spessore sono stati modificati con dei nuovi quadrotti di 12 mm².

Si riportano di seguito i disegni progettuali della griglia in posizione di apertura e di chiusura ed una foto della stessa dopo aver ultimato le modifiche su elencate.

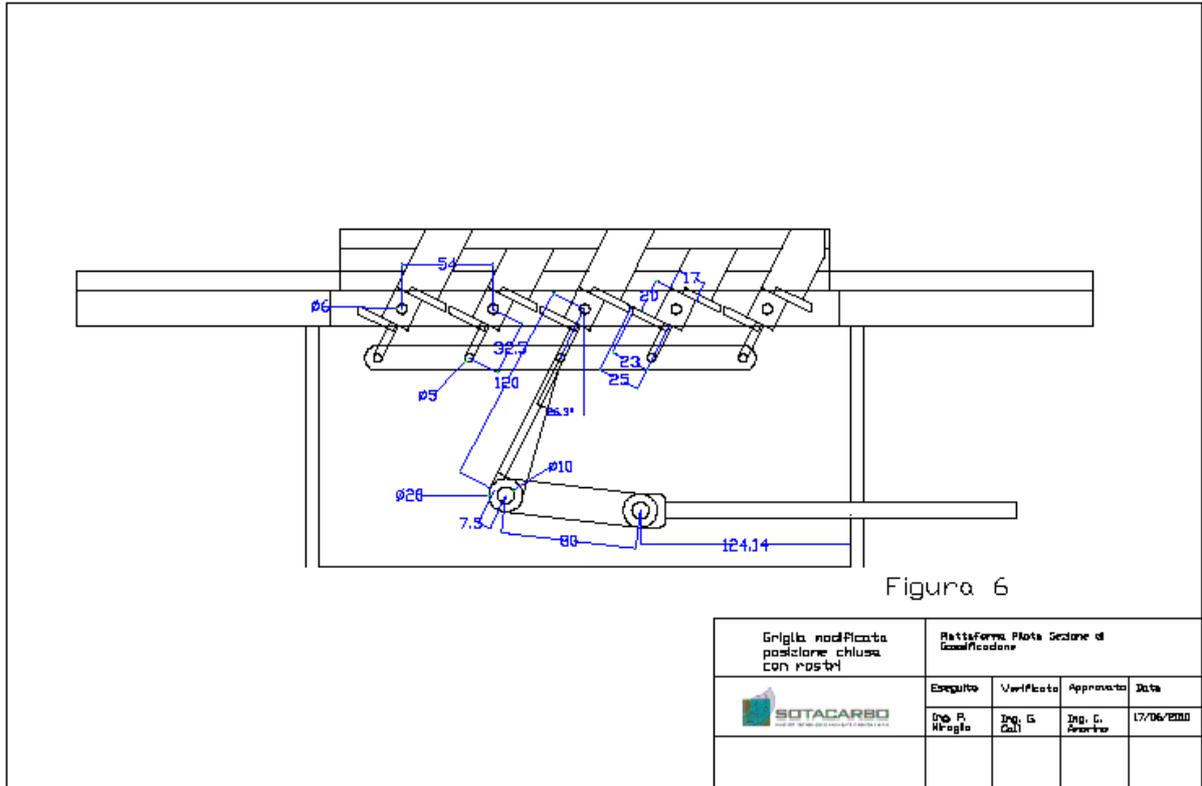


Fig.10 griglia modificata in posizione di chiusura

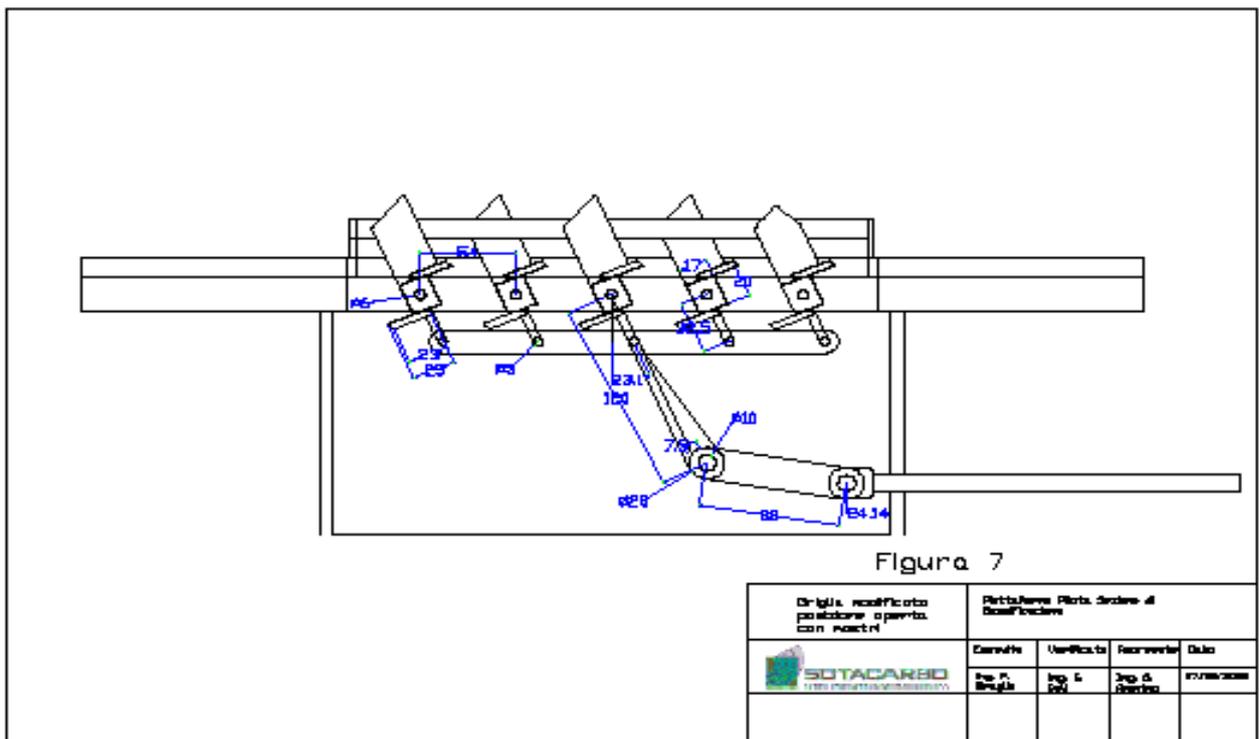


Fig.11 griglia modificata in posizione di apertura



Foto8. griglia complessiva modificata

Come si vede nella Foto 8 gli elementi di geometria quadrangolare terminano con una punta ed hanno la forma all'incirca di un "rostro" tali elementi hanno il compito, tramite il loro movimento, di frantumare eventuali conglomerati o comunque di smuovere le ceneri e gli incombusti presenti subito al di sopra della griglia. Per agevolare il loro movimento dei "rostri" la parte fissa della griglia è stata ruotata di 180 gradi ed i quadrotti fissi sono stati ridotti dalla larghezza da 16 mm a quella 12 mm. I quadrotti fissi sono stati aumentati di spessore da 8 mm a 12 mm al fine diminuire le deformazioni che si sono verificate nelle precedenti prove. Tutti gli elementi modificati sono stati realizzati in acciaio Aisi inox 316l. Tali modifiche sono state testate in quattro successive prove: 06/05/2010 - 12/05/2010 - 17/05/2010 - 27/05/2010, in tali accensioni non si sono verificati problemi di evacuazione del materiale di scarico (ceneri, incombusti, argilla) inoltre il materiale scaricato appare più omogeneo rispetto alle prove precedenti. Dunque si può affermare che tali modifiche hanno migliorato notevolmente il sistema di scarico ceneri, anche se verranno ulteriormente testate nelle successive prove.

9. Sistema di movimentazione del letto del Gassificatore

Nelle prove di funzionalità dell'impianto del 01/07/2010 e del 07/07/2010 si sono verificati dei problemi di scarico materiale a causa della formazione di conglomerati in prossimità dei vani di posizionamento delle lampade. Tali formazioni, a causa della loro posizione, non potevano essere frantumate dai rostri inseriti sulla griglia mobile. La motivazione della formazione di tali conglomerati è da ricercarsi in un deperimento del materiale di coibentazione e alla formazione sulle pareti interne del gassificatore di congregazioni di ceneri e materiale incombusto come mostrato nella seguente fotografia:



Foto9. pareti interne del gassificatore

Come si vede dalla fotografia effettuata da sotto il gassificatore, dopo aver smontato la griglia di scarico ceneri, le pareti interne del gassificatore sono completamente incrostate di materiale simile alla cenere o agli incombusti di carbone: tali incrostazioni sono solo in parte rimovibili, per il resto hanno formato un corpo unico con le pareti del gassificatore. Non potendo in questo caso smontare il gassificatore per poter effettuare un intervento di manutenzione sulle pareti interne si è pensato ad un'alternativa.

È stato modificato il bocchello di ispezione del gassificatore (poke hole) realizzandone uno completamente nuovo, simile a quello presente precedentemente. La fotografia seguente mostra il sistema che ha sostituito dalla prova del 15/07/2010 il vecchio bocchello di ispezione.



Foto10. sistema di movimentazione del letto del gassificatore

Come si nota nella foto questo nuovo sistema possiede un'asta con una doppia punta finale che in posizione di riposo risulterà all'interno del vano del bocchello, mentre se dovessero formarsi degli ostacoli allo spegnimento verrà infilato all'interno del combustibile presente nel gassificatore. Tale sistema per come è realizzato assicura alla punta un doppio movimento di rotazione e di traslazione, risultando ottimale per il movimento del combustibile e la rottura di eventuali conglomerati. Tutto il sistema è stato realizzato in acciaio Aisi 316 che assicura una elevata resistenza alle temperature in prossimità del letto di combustione del gassificatore. L'asta, nel suo movimento dalla posizione di riposo alla posizione di massimo prolungamento, agisce all'interno di un tubo del diametro di 9 cm la cui intercapedine è stata riempita con della lana di vetro come isolante per le temperature. Di seguito sono riportate due sezioni di tale sistema con le principali dimensioni:

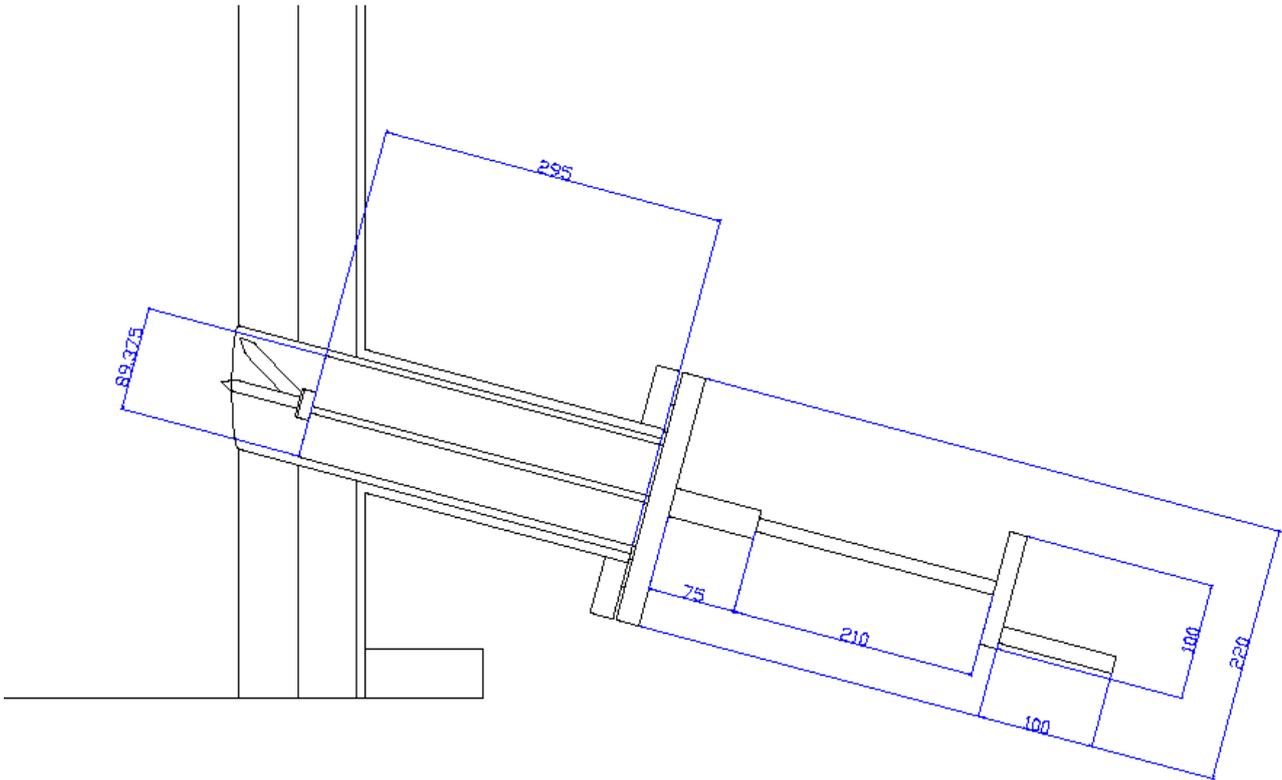


Fig.12 sezione del sistema di movimentazione del letto del gassificatore a riposo

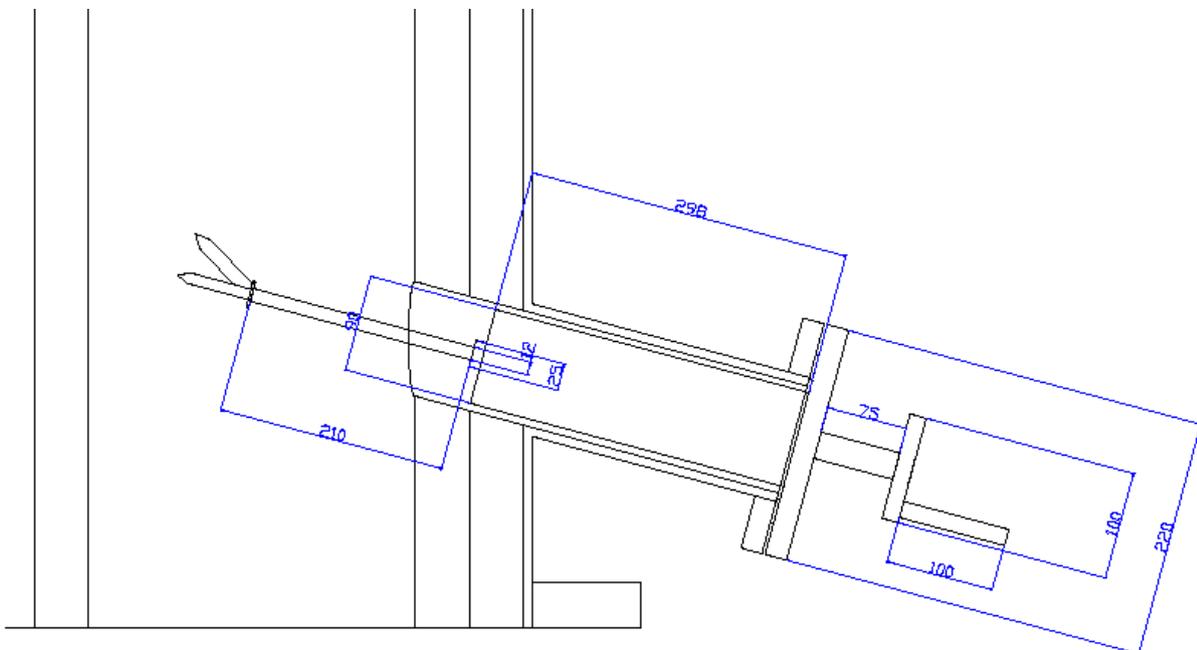


Fig.13 sezione del sistema di movimentazione del letto del gassificatore alla massima estensione

Nelle accensioni seguenti a tale modifica (5/07/2010 – 20/07/2010 – 26/07/2010 – 29/07/2010) è stato utilizzato questo nuovo sistema con i seguenti risultati:

1. sono stati di fatto frantumati i conglomerati formatisi in prossimità delle lampade che avrebbero reso impossibili gli scarichi e dunque bloccato il processo di gassificazione.
2. è stato possibile compattare il materiale all'interno del gassificatore evitando così la formazione di vuoti e zone morte (di non reazione),
3. è stato possibile mescolare il letto di gassificazione permettendo così di far scendere le temperature nelle zone elevate e ristabilendo profili termici corretti.

10. Montaggio del sistema pneumatico per la movimentazione della griglia

Come descritto nel paragrafo 4 è previsto l'inserimento di un pistone pneumatico nel sistema di scarico ceneri per automatizzare l'apertura e la chiusura della griglia. Tale sistema è stato montato solo ultimamente e non vi è stato il tempo tecnico perché potesse essere testato. Infatti la facilità dell'apertura e della chiusura manuale della griglia ha reso meno urgente l'utilizzo del pistone, benché l'apertura e la chiusura manuale durante le prove richiedano l'impiego di un operatore.

Riportiamo di seguito la fotografia del pannello di controllo del pistone:



Foto11. pannello di controllo del pistone

Come ben si nota dalla fotografia il pannello di controllo è composto da due quadri: il quadro di destra gestisce l'input e output dei segnali e l'alimentazione elettrica, mentre il quadro di sinistra gestisce la pneumatica. Tale pannello è stato montato nel capannone dove sono posizionati i compressori al di fuori della zona Atex.

Il pannello di controllo è stato collegato al pistone automatico rappresentato nella figura seguente:



Foto12. pistone automatico