



Ricerca di Sistema elettrico

Produzione di combustibili gassosi presso l'impianto GESSYCA

P. Deiana, C. Bassano, M. Subrizi, G. Guidarelli, F. Donato

Produzione di combustibili gassosi presso l'impianto GESSYCA

P. Deiana, C. Bassano, M. Subrizi, G. Guidarelli, F. Donato (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO

Progetto: CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂ PRODOTTA DALL'UTILIZZO DI COMBUSTIBILI FOSSILI

Obiettivo: B2a

Responsabile del Progetto: Franca Rita Picchia ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
2 L'IMPIANTO GESSYCA	5
2.1 DESCRIZIONE DELLA FACILITY	6
3 MODIFICHE IMPIANTO.....	10
4 ATTIVITÀ SPERIMENTALE PRESSO L'IMPIANTO GESSYCA	12
5 CONCLUSIONI.....	15
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	15

Sommario

Il presente Rapporto descrive le attività svolte nell'ambito del progetto di Ricerca di Sistema, Piano Annuale di Realizzazione 2015, in particolare per quanto riguarda l'Area "Generazione di Energia Elettrica con Basse Emissioni di Carbonio" del Progetto "Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili", obiettivo B2.a.

Si è dato corso in quest'ambito alla prosecuzione delle attività avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO₂ da syngas e fumi con solventi liquidi. Le attività sono state svolte sia presso il Centro Ricerche Sotacarbo, che in parallelo presso ENEA Centro Ricerche di Casaccia. Nello specifico, sulla base delle esperienze precedentemente condotte, una task force di personale ENEA ad hoc costituita, ha collaborato alle attività svolte presso gli impianti ed i laboratori della Piattaforma Pilota per la gassificazione del carbone ed il trattamento del syngas prodotto a Carbonia.

Il contributo specifico ha riguardato da un lato l'analisi dello stato degli impianti e la proposta di modifiche e migliorie che sono state poi seguite passo passo lungo tutto l'iter realizzativo fino al commissioning ed ai successivi collaudi di concerto con il personale Sotacarbo.

Dall'altro lato la collaborazione si è concretizzata nella predisposizione delle matrici sperimentali e nella stesura delle specifiche di prova, fornendo supporto alla conduzione degli impianti durante la sperimentazione e partecipando all'elaborazione dei dati a valle.

Un maggior dettaglio delle attività svolte c/o Sotacarbo sono fornite nei Rapporti Tecnici dedicati:

- "Attività sperimentali relative a tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione e post combustione", G. Calì, F. Tedde, D. Marotto, P. Deiana, C. Bassano, M. Subrizi, RdS/PAR2015/240;
- "Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse", G. Calì, P. Miraglia, D. Marotto, P. Deiana, M. Subrizi, C. Bassano, RdS/PAR2015/243.

In parallelo, sono state svolte presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia, attività di produzione di combustibili gassosi per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica a supporto delle attività svolte su scala maggiore presso Sotacarbo. Tali attività hanno in particolare riguardato il progetto e la realizzazione di una nuova griglia di scarico ceneri sull'impianto GESSYCA (GGeneratore Sperimentale di SYngas da Carbone). Altre attività hanno contemplato il progetto e la modifica del sistema di acquisizione e controllo. A valle dei primi test a freddo, è stato testato a caldo il comportamento dell'impianto che equipaggiato con la griglia rotante motorizzata ha dimostrato buone abilità di funzionamento anche con spessori del letto prossimi all'ingombro massimo del reattore.

A conclusione dell'attività sono stati elaborati e analizzati i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test. Attività a proseguo prevedono l'ottimizzazione del sistema ed il miglioramento della performance di durata dei materiali soggetti a strisciamento in zone critiche a causa della presenza di atmosfere chimicamente aggressive e caratterizzate da elevate temperature.

1 Introduzione

L'attività sperimentale è stata condotta presso l'impianto GESSYCA (Generatore Sperimentale di Syngas da Carbone) del Centro Ricerche ENEA di Casaccia. Su di esso sono state condotte delle prove di gassificazione di biomassa legnosa in pellets, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso delle prove.

Nel particolare le attività svolte si sono sviluppate nell'ottica di perseguire l'obiettivo relativo alla sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione alimentati a carbone e a biomasse. L'obiettivo ambizioso, che proseguirà in prospettiva nei prossimi PAR, è quello di sviluppare procedure automatiche di conduzione ed esercizio degli impianti di gassificazione. Un passo ulteriore in questa direzione è stato fatto grazie all'adozione di un nuovo sistema di scarico delle ceneri dotato di griglia rotante motorizzata. I primi test a caldo hanno consentito l'accensione e l'esercizio del gassificatore in una prima verifica di tutta la componentistica e dei sistemi di misura.

2 L'impianto GESSYCA

L'impianto GESSYCA (Generatore Sperimentale di SYngas da CARbone) è una facility sperimentale realizzata per condurre prove di produzione e trattamento di gas di sintesi proveniente dalla gassificazione di carbone/biomasse e la sua implementazione fino alla produzione di un gas ad elevato tenore di metano di interesse in particolare nel settore del "Power to gas".

I potenziali utenti sono operatori del settore energetico; sviluppatori di tecnologie; costruttori di macchine e impianti; enti di ricerca pubblici e privati, interessati al settore della conversione termochimica del carbone e delle biomasse, della gassificazione, del trattamento del gas di sintesi e della cattura della CO₂ o impegnati nello sviluppo di tecnologie attinenti.

Diverse configurazioni impiantistiche sono state recentemente studiate come alternative favorevoli alle tecnologie convenzionali nel campo della conversione energetica del carbone e/o biomasse. Tale sviluppo sta portando anche a un grande interesse nei confronti dei cosiddetti combustibili alternativi (Alternative Fuels) tra i quali sono annoverabili anche quelli derivanti dalla gassificazione del carbone come il SNG (Substitute Natural Gas). Il gas sintetico naturale ha grandi possibilità di mercato sia nel mondo del refining (utilizzato come fuel gas) che nell'automotive, ma soprattutto può essere utilizzato localmente o immesso direttamente nei gasdotti per il potenziamento delle reti di distribuzione. Tale tecnologia consente di differenziare le fonti di approvvigionamento del gas naturale ed incrementare la sicurezza energetica.

Negli scenari delineati dall'Energy Roadmap 2050 la quota di energia rinnovabile (FER) aumenta notevolmente, per attestarsi almeno al 55% del consumo finale lordo di energia nel 2050 rispetto ai valori del 1990. Questo implica la necessità di adottare soluzioni tecnologiche che consentano al sistema elettrico di adeguarsi ad una forte presenza di fonti rinnovabili non programmabili. Esistono più tipologie di sistemi di accumulo energetico tra queste il Power To Gas (P2G) prevede la conversione del surplus di energia elettrica in uno stoccaggio di tipo chimico costituito da idrogeno o metano.

Più in particolare l'eccesso di energia elettrica può essere utilizzata per produrre H₂ (mediante elettrolisi) che reagisce con CO e CO₂, contenute nel gas di sintesi provenienti dal processo di gassificazione, per produrre un gas sintetico (SNG) ad alto contenuto di metano. In tale configurazione impiantistica si ha un utilizzo della CO₂ che viene convertita in un combustibile.

L'impianto Gessyca è idoneo per sperimentare differenti processi e per condurre test quali:

1. Test dei processi di gassificazione con differenti tipologie di combustibili in configurazione sia updraft che downdraft

2. Test di differenti processi e tecnologie di abbattimento del tar
3. Test di differenti sorbenti per la desolfurazione a caldo
4. Test di differenti catalizzatori per la metanazione
5. Test di differenti tecnologie di upgrading del SNG (p.es. membrane)

2.1 Descrizione della facility

L'impianto GESSYCA include un gassificatore a letto fisso del tipo updraf alimentato ad aria e/o O₂ con una potenza teorica di 70-80 kWth. L'impianto è caratterizzato dal fatto di essere alloggiato su di uno skid mobile, il cui ingombro ricade all'interno della sagoma standard trasportabile su di un camion. Il sistema è equipaggiato di un gassificatore refrattariato a letto fisso, di uno scrubber per la pulizia del syngas, di un reattore di desolfurazione, di un reattore di shift, di tre reattori di metanazione atti ad effettuare la conversione del syngas in gas naturale sintetico e di una torcia di smaltimento del gas prodotto. Il gassificatore di tipo updraft è dotato di un sistema di carico e scarico che permette di operare in continuo.



Figura 1: Test di produzione di combustibili gassosi presso l'impianto GESSYCA

Il combustibile, in pezzatura dell'ordine di qualche centimetro, è alimentato in continuo mediante un dosatore volumetrico costituito da un sistema a coclea motorizzata gestita da inverter. Un sistema a doppia ghigliottina permette di caricare il reattore isolando l'ambiente di reazione dall'ambiente di stoccaggio della carica. Un sistema ausiliario alimentato elettricamente provvede alla produzione del vapore necessario al processo. L'estrazione delle ceneri è resa possibile da una griglia mobile posizionata sul fondo. L'alimentazione degli agenti gassificanti è garantita da diverse linee di adduzione dei gas di processo, collegate tramite riduttori di pressione ad opportune bombole e alla rete dell'aria compressa. Completa le dotazioni di impianto una linea di allaccio dell'acqua che serve da alimentazione per la caldaia a vapore e per le previste necessità di raffreddatori e torri di lavaggio.

Tutte le linee (vapore, ossigeno, aria, CO₂ e azoto di purge) sono opportunamente strumentate al fine di monitorare in continuo pressione, temperatura e portata.

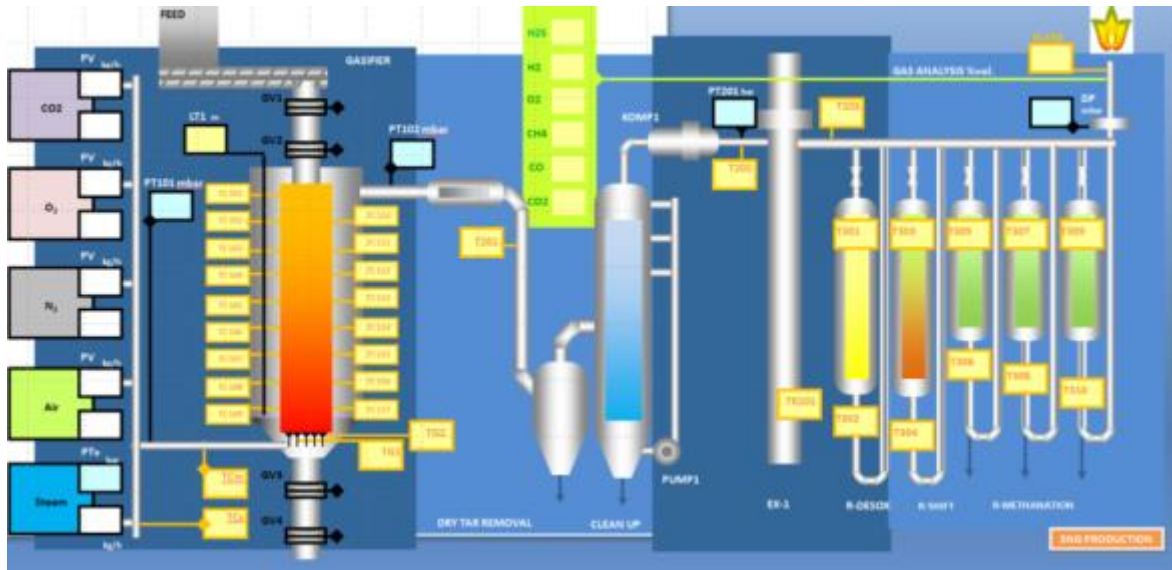


Figura 2. Impianto GESSICA: schema di massima del complessivo della sezione di trattamento del syngas

Al fine di controllare il profilo di temperatura lungo il letto del reattore, il gassificatore è stato equipaggiato con una doppia serie di termocoppie di tipo K alloggiate frontalmente e posteriormente sui due lati del mantello del reattore.

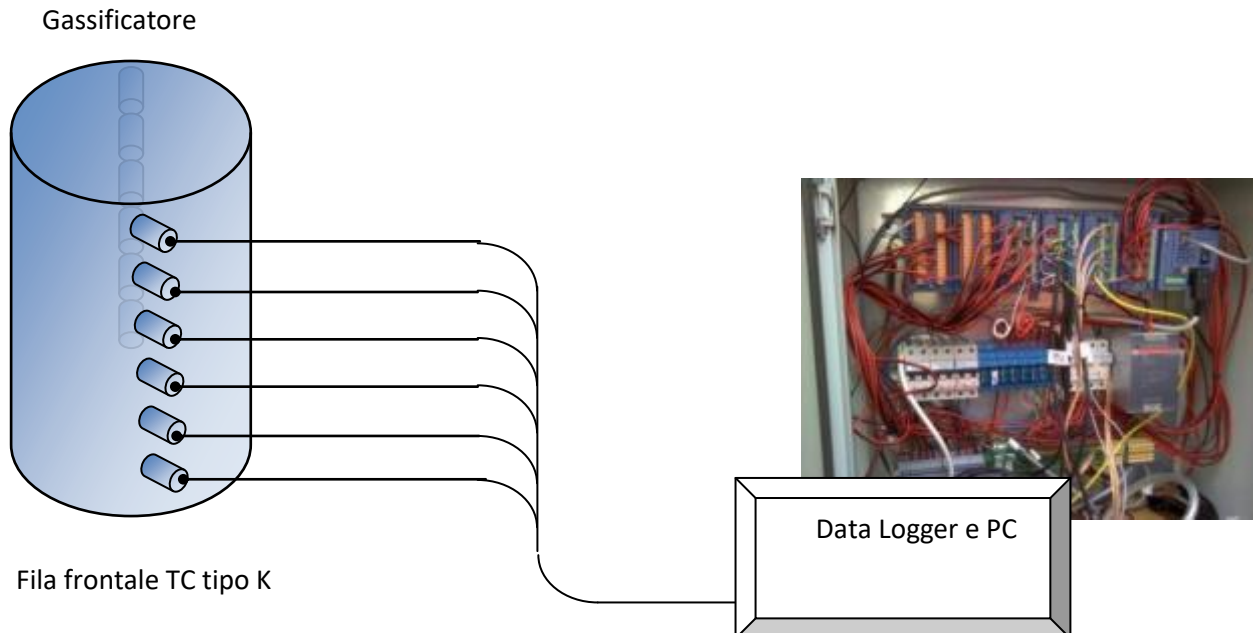


Figura 3: Alloggiamento delle termocoppie lungo il reattore

Il gassificatore è, altresì, dotato di un sensore di livello che, basandosi sul principio delle microonde guidate in barra metallica, misura ogni variazione dell'altezza del letto, monitorando in continuo l'andamento del processo di gassificazione. La finalità è quella di determinare istante per istante l'altezza del letto interno e

quindi l'entità del materiale contenuto nel reattore sulla quale si può agire, con le operazioni di scarico ceneri e carico di nuovo combustibile, in modo da pervenire ad una situazione di processo stazionario.

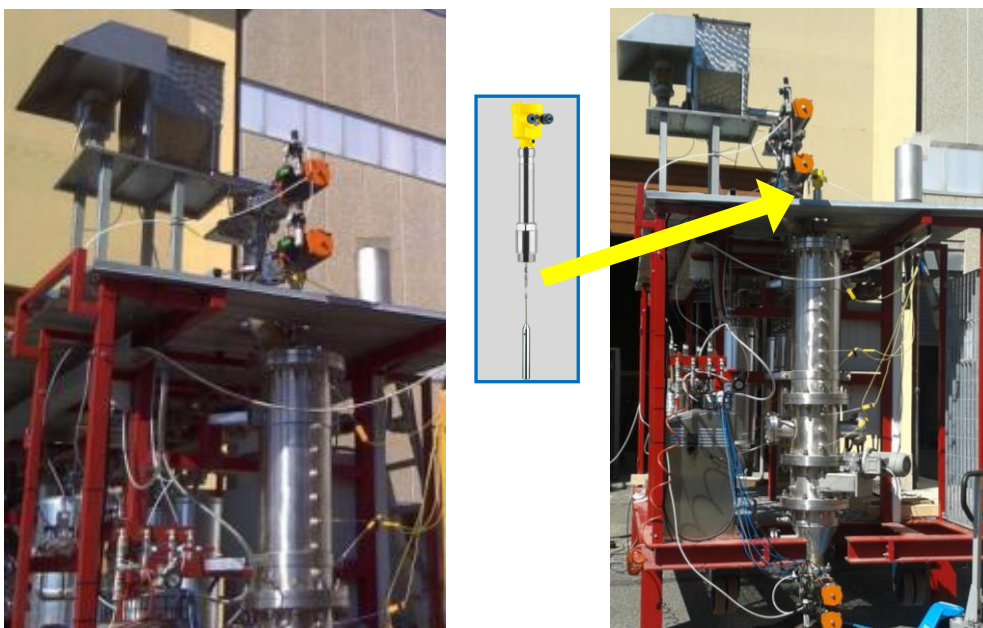


Figura 4: vista frontale con indicazione del sensore di livello

La Figura 2 mostra uno schema di massima del complessivo della sezione di trattamento del syngas a valle del gassificatore. All'interno dei reattori di conversione si va ad operare una trasformazione del syngas in un gas di maggiore qualità attraverso un processo di natura catalitica.

Il reattore di desolfurazione è un reattore tubolare dotato di griglia di sostegno del letto di sorbente e dotato di sistemi compensazione delle dilatazioni dovute all'aumento non uniforme di temperatura.

Il reattore è altresì equipaggiato con un coibente atto a mantenere il sistema auto-termico, data l'endotermicità della reazione di desolfurazione che generalmente avviene su sorbenti commerciali a base di zinco. A valle, un reattore a letto fisso è sede della trasformazione di Water Gas Shift (WGS). Anche questo è provvisto di coibente utile ad evitare di disperdere il calore verso l'esterno. Sui fondelli superiore ed inferiore sono inserite una serie di bocchelli per l'immissione e l'uscita del gas e per il monitoraggio della temperatura interna.

Seguono tre reattori tubulari di metanazione con mantello esterno termostato, dotati di bocchelli idonei ad alloggiare le termocoppie per monitorare il processo dal punto di vista termico e di punti di prelievo del gas tra un reattore e l'altro, per seguire attraverso la misura della composizione come procede il processo di conversione in metano. Uno scaricatore di condensa è stato inserito a valle di ciascun reattore per eliminare l'acqua prodotta nella reazione.

L'intero impianto pilota è dotato di un sistema di acquisizione e controllo dei principali parametri operativi che permette il monitoraggio del processo.

Come riportato nella Figura 2, la pagina principale del sinottico permette di avere sotto controllo tutti i dati strumentali in tempo reale e di controllare il processo nel suo complesso con semplicità e sicurezza in modalità automatica/manuale. Il sistema di regolazione e controllo è dotato anche di allarmi per il blocco del processo in caso di anomalie di funzionamento.

Al fine di monitorare la qualità del syngas prodotto e l'andamento delle concentrazioni dei principali componenti durante l'esercizio, l'impianto è dotato di un sistema di analisi online dei principali gas

prodotti. I gas vengono prelevati mediante una linea di campionamento ed inviati ad un sistema di analisi gas di tipo modulare

In particolare la linea di campionamento è realizzata attraverso una serie di trappole fredde in modo da evitare che composti indesiderati quali tar, particolato e condense possano nuocere alla sensibilità dello strumento. Il gas viene prelevato prima del convogliamento alla torcia e avviato alla linea di campionamento come illustrato in Figura 5.

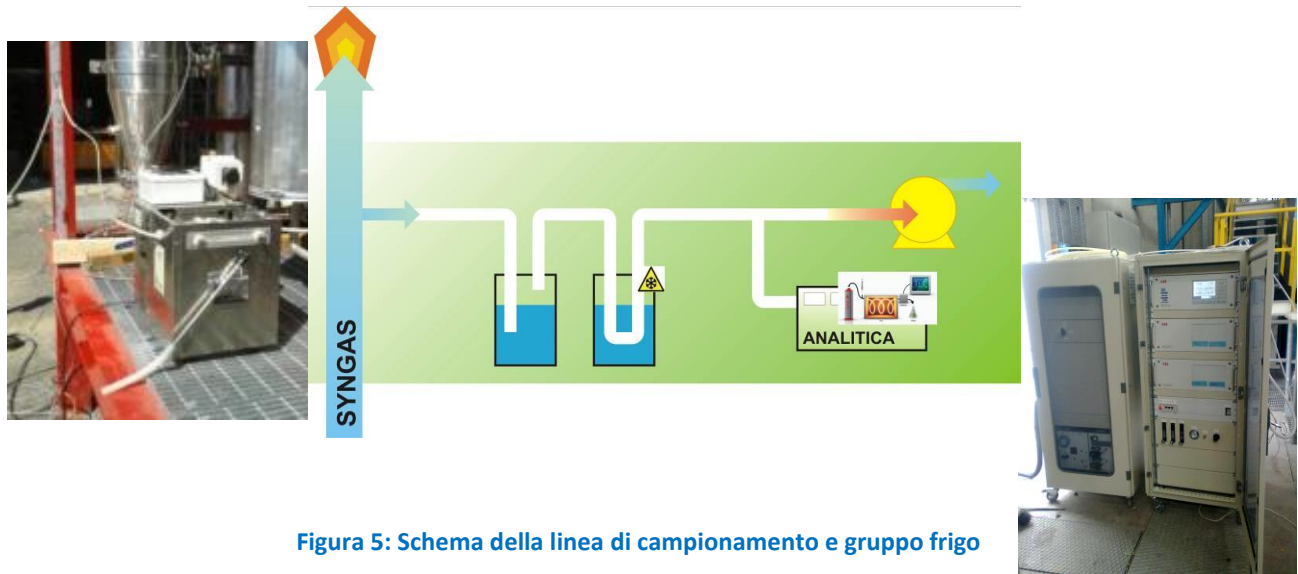


Figura 5: Schema della linea di campionamento e gruppo frigo

Le trappole fredde sono alloggiare all'interno di un gruppo frigo, così da assicurare la condensazione e cattura dei composti condensabili indesiderati di cui sopra. Una pompa di aspirazione assicura il flusso del gas nella linea.

L'analisi modulare è un sistema costituito da più moduli a cella che permette la misura in continuo dei principali composti costituenti il syngas (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , H_2S , O_2) basandosi su differenti principi di misura a seconda del composto che si deve misurare.

Il gas prelevato ed avviato al sistema modulare di analisi dei gas prima di essere avviato agli strumenti viene riscaldato con un'apposita sonda riscaldante. L'acquisizione dei dati dell'analisi modulare avviene con rate di qualche secondo e la composizione è visibile all'operatore in un sinottico su PC, così da avere visione in tempo reale dell'andamento del processo e potere monitorare la conduzione dell'impianto.

3 Modifiche impianto

La griglia di un impianto di gassificazione del tipo updraft rappresenta un elemento cruciale nel funzionamento dell'impianto stesso poiché dato il tipico profilo a naso delle temperature all'interno del reattore, è proprio nella parte inferiore, dove avviene la fase di combustione, che le condizioni risultano essere più critiche. Questo implica di solito che la struttura dedicata allo scarico ceneri si trovi a lavorare con composti che a causa delle elevate temperature possono anche fondere per solidificare una volta entrati in contatto con le parti più fredde.

La progettazione di una griglia richiede conseguentemente particolari accorgimenti tecnologici in quanto deve resistere ad alte temperature, mantenere un costante movimento rotativo per evitare i canali preferenziali nel letto di combustibile e assicurare la continuità dello scarico.



Figura 6. Nuova griglia mobile assemblata sull'impianto GESSYCA

Ulteriore problematica legata alla progettazione è separare l'ambiente del gassificatore dall'ambiente di scarico delle ceneri. La griglia di supporto del letto di cui era inizialmente dotato il gassificatore non consentiva lo scarico completo 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.

Tale componente è stato interamente progettato da personale ENEA sulla base dell'esperienza acquisita nell'esercizio degli impianti di gassificazione di carbone e biomasse. La problematica dello scarico dei solidi e della movimentazione del letto reagente in reattori di gassificazione rappresenta uno degli elementi cruciali per il corretto sviluppo del processo ed il raggiungimento di elevate efficienze.

Nell'esercizio di questo unico componente si cerca da un lato di massimizzare la conversione del materiale solido mentre dall'altro per aumentare la reattività è necessario movimentare il letto scaricando anche parte di materiale non reagito. La pratica più comune e opportuna adotta una situazione di compromesso e si avvale dell'utilizzo di appropriate geometrie e di velocità di rotazione adeguate alla reattività dei materiali alimentati. La presenza di temperature elevate e parti in movimento complica ulteriormente la scelta dei materiali e delle geometrie più funzionali. Il design adottato in questo caso è quello a piatti multipli con asse rotante disposto verticalmente. Il materiale utilizzato per la costruzione è acciaio inox tranne che per qualche componente sottoposto a sforzi particolari. La trasmissione del moto è assicurata da un gruppo pignone-catena-corona pilotati da un motore asincrono trifase.

La realizzazione del componente è stata effettuata da una ditta specializzata in lavorazioni meccaniche sotto la supervisione dei tecnici ENEA. Per poter alloggiare convenientemente la nuova griglia è stato necessario provvedere alla modifica della geometria interna della parte bassa del reattore di gassificazione procedendo poi al ripristino del materiale refrattario presso i laboratori del C.R.E. di Casaccia.

Anche dal punto di vista elettrico si è dovuto procedere a diverse modifiche dei quadri elettro-strumentali per consentire l'inserimento del motore dedicato al nuovo componente (sezionatori magnetotermici e invertitore delle fasi). A valle di ciò è stato effettuato un primo collaudo a freddo che ha confermato la funzionalità del componente.

Con l'obiettivo di monitorare le temperature durante il funzionamento del gassificatore, sono state poi inserite delle termocoppie di tipo K sulla camera esterna alla parte rotante di sostegno della griglia, al fine di ottenere nelle differenti fasi di conduzione del gassificatore (start-up, esercizio, spegnimento) una mappatura delle temperature. L'obiettivo è quello di accertarsi che durante il funzionamento non si realizzino sovratemperature che potrebbero portare a danneggiamenti della griglia stessa.

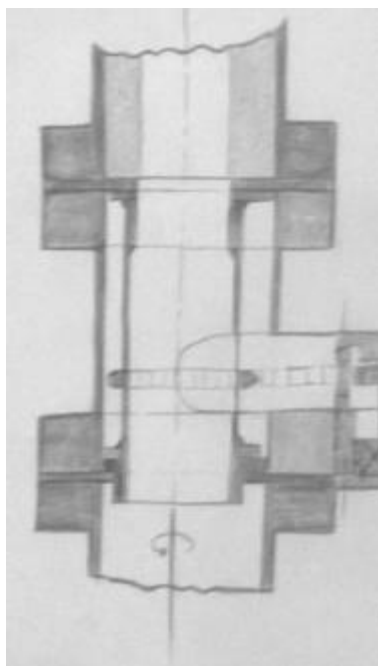
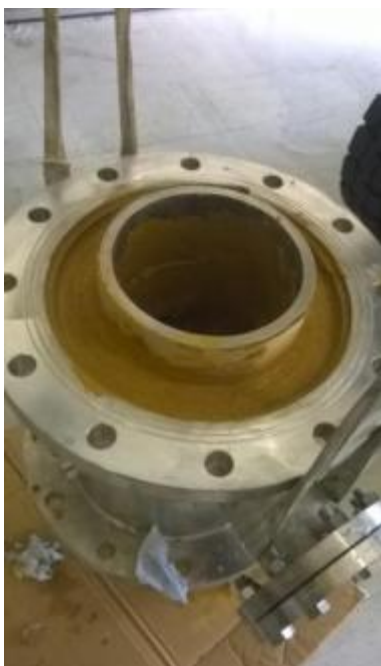


Figura 7. Predisposizione refrattario e schema di massima della griglia rotante

4 Attività sperimentale presso l'impianto GESSYCA

L'attività sperimentale svolta si è posta come finalità l'approfondimento degli aspetti tecnologici e sperimentali del processo di gassificazione per definirne problematiche e vantaggi intrinseci del processo.

L'obiettivo delle attività sperimentali condotte sul impianto è stato quello di testare le modalità di esercizio per il miglioramento del processo di produzione di syngas, nonché di testare strumentazione atta al controllo del processo. Si è quindi condotto un primo test a caldo in diverse condizioni di funzionamento per la messa a punto del processo e delle nuove apparecchiature.

In particolare l'attività si è sviluppata focalizzando l'attenzione sulla qualità del syngas prodotto e sul definire le modalità di conduzione dell'impianto, testando la nuova griglia di cui si è dotato il gassificatore nella presente annualità.

L'obiettivo finale delle attività sperimentali è stato quello di ottenere un insieme di informazioni provenienti dalla misura delle diverse grandezze caratterizzanti l'esercizio del gassificatore (livello, temperature, pressioni, portate in ingresso ed in uscita, composizione syngas) in modo da pervenire, agendo sull'alimentazione degli agenti gassificanti e sulle operazioni di carico/scarico dei solidi, ad una strategia di controllo ottimale del processo che possa garantire innanzi tutto il funzionamento stazionario in continuo e dall'altro la massimizzazione di parametri quali p.es. rendimento di gassificazione, portata totale, potere calorifico, contenuto in idrogeno del syngas e la minimizzazione del contenuto di inquinanti nel syngas e di incombusti nei solidi scaricati.



Figura 8. Sperimentazione sull'impianto GESSYCA

L'impianto equipaggiato con la nuova griglia rotante motorizzata ha dimostrato buone abilità di funzionamento anche con spessori del letto prossimi all'ingombro massimo del reattore.

Il gassificatore è stato alimentato a pellet e ad aria con una portata nel range 2-10 kg/h e un consumo di combustibile medio di 8 kg/h; il potere calorifico del syngas generato presenta valori nel range tra 4-10

MJ/kg. La potenzialità del gassificatore nel test sperimentale si è attestata intorno ai 42 kWt termici. A conclusione dell'attività sono stati elaborati e analizzati i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test.



Figura 9. Sperimentazione sull'impianto GESSYCA: vista esterna

Come detto l'alimentazione di materiale combustibile solido al reattore e lo scarico delle ceneri determinano (insieme alla velocità con la quale avanza il processo) il riempimento del reattore che come riportato in Figura 10 è direttamente legato all'altezza del letto interno del gassificatore.

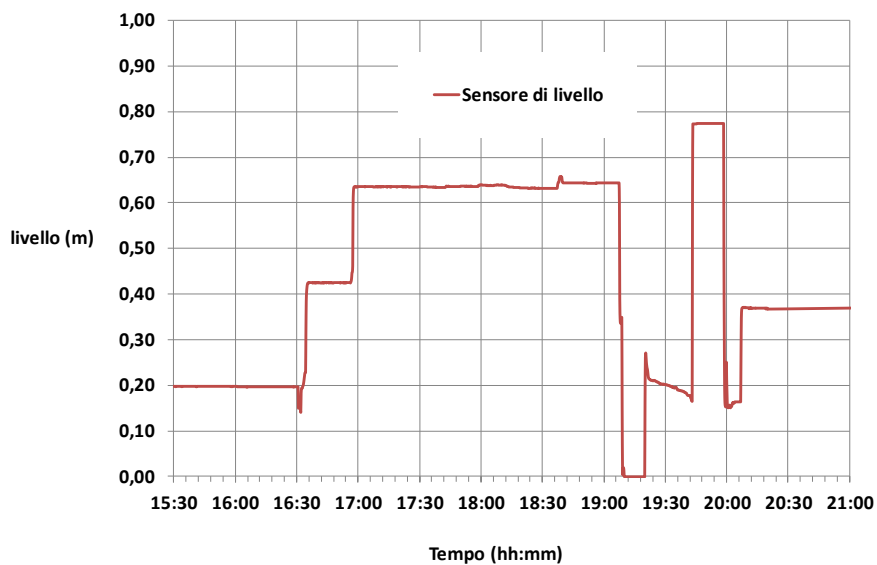


Figura 10. Variazione del livello all'interno del gassificatore

Le temperature monitorate lungo l'asse del gassificatore non hanno mostrato hot spot di rilievo come mostrato in Figura 11 ove vengono mostrati i profili termici lungo le due direttrici del gassificatore (frontale e posteriore) dove sono posizionate le termocoppie, con il tipico diagramma a naso e picchi di temperatura sul mantello del reattore intorno ai 700°C.

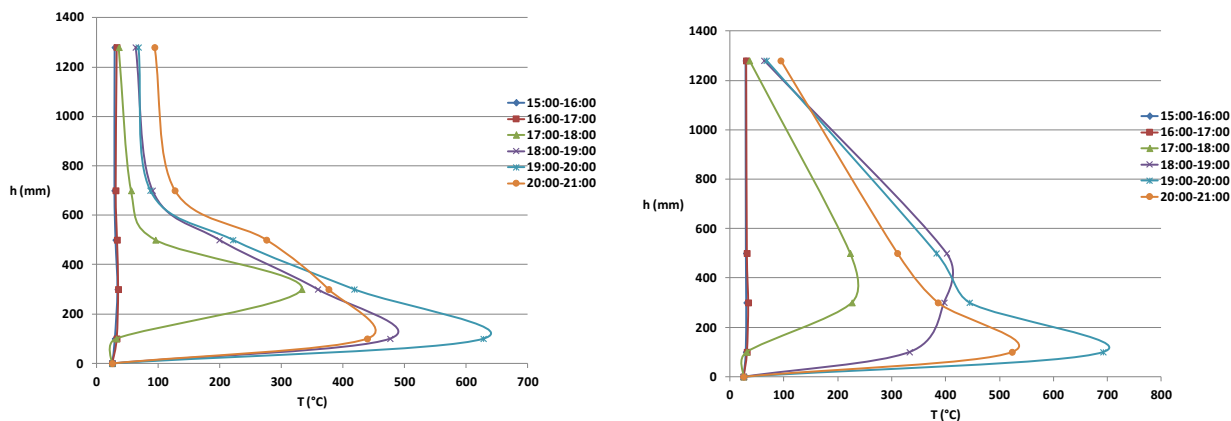


Figura 11. Profilo di temperatura TC frontali e posteriori

Anche le temperature del vano sottostante l'esterno della griglia sono state monitorate e registrate. I picchi di temperatura sono dovuti alle fasi di scarico di materiale caldo dal reattore. Comunque si sono sempre mantenute al di sotto dei valori di guardia come riportato in Figura 12.

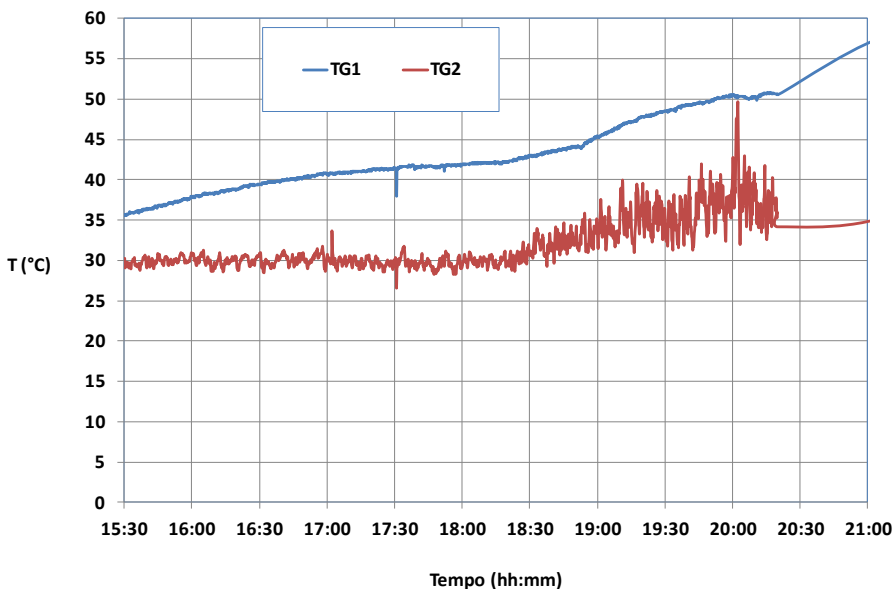


Figura 12: Temperature delle termocoppie alloggiato sul vano griglia

Anche le immagini termografiche acquisite durante il funzionamento hanno confermato l'omogeneità ed il buon funzionamento della barriera termica operata dal nuovo refrattario.

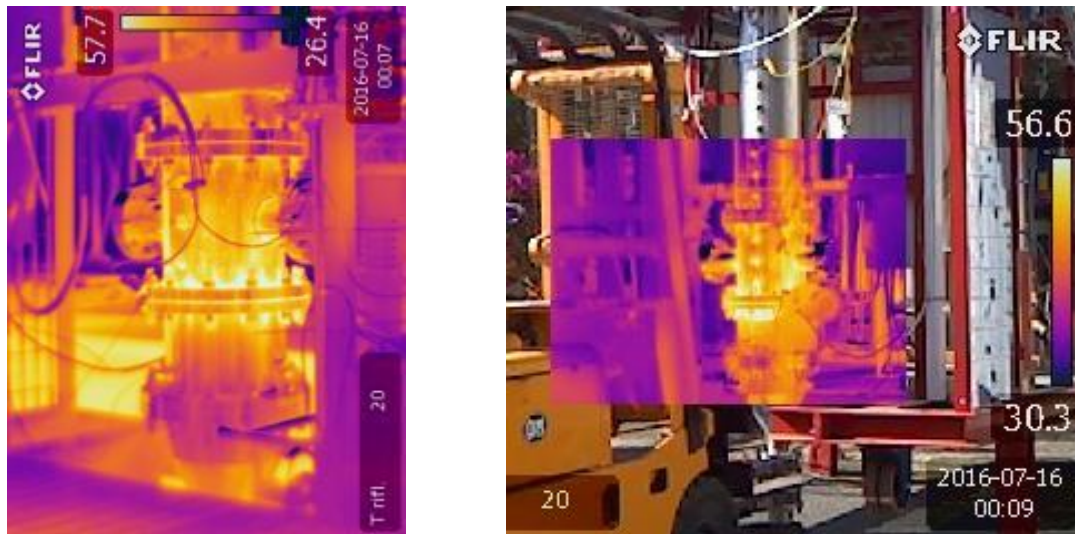


Figura 12. Immagini termografiche della griglia e della zona di reazione del gassificatore.

5 Conclusioni

Sono state svolte presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia, attività di produzione di combustibili gassosi per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica a supporto delle attività svolte su scala maggiore presso Sotacarbo. Tali attività hanno in particolare riguardato il progetto e la realizzazione di una nuova griglia di scarico ceneri sull'impianto GESSYCA (Generatore Sperimentale di SYngas da Carbone). A valle del commissioning il nuovo componente è stato testato dimostrando a caldo buona funzionalità ed efficienza.

Attività a proseguo prevedono l'acquisizione di un inverter per meglio controllare la velocità di rotazione della griglia. Altri aspetti riguarderanno l'ottimizzazione del sistema ed il miglioramento della performance di durata dei materiali soggetti a strisciamento in zone critiche a causa della presenza di atmosfere chimicamente aggressive e caratterizzate da elevate temperature. Rimangono da ridurre le dispersioni termiche e da verificare le prestazioni e l'efficacia di comportamento sul lungo periodo.

6 Riferimenti bibliografici

1. G. Cali, F. Tedde, D. Marotto, P. Deiana, C. Bassano, M. Subrizi, "Attività sperimentali relative a tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione e post combustione", Rapporto Tecnico RdS/PAR2015/240.
2. G. Cali, P. Miraglia, D. Marotto, P. Deiana, M. Subrizi, C. Bassano, "Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse", Rapporto Tecnico RdS/PAR2015/243.
3. C. Bassano, P. Deiana, A. Assettati, M. Subrizi, "Primi risultati dell'analisi sperimentale del processo di gassificazione del carbone in un impianto di piccola scala", 65° Congresso Nazionale ATI.
4. C. Bassano, P. Deiana, A. Assettati, M. Subrizi "First experimental results of coal gasification tests on small scale plant" CCT 2011- Fifth International Conference on Clean Coal Technologies Paper 70316 8-12 May 2011, Zaragoza, Spain