



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di un modulo filtrante catalitico per l'abbattimento del particolato e del tar

B. de Caprariis, P. De Filippis, M. Scarsella, N. Verdone, C.
Bassano, P. Deiana



SVILUPPO DI UN MODULO FILTRANTE CATALITICO PER L'ABBATTIMENTO DEL PARTICOLATO E DEL TAR
B. de Caprariis (Sapienza), P. De Filippis (Sapienza) , M. Scarsella (Sapienza), N. Verdone (Sapienza) , C.
Bassano (ENEA) , P. Deiana (ENEA)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto B.2: Polo Tecnologico del Sulcis: Tecnologie e Metodologie 'Low Carbon' e Edifici ad energia quasi zero(nZEB)

Parte A1: Tecnologie per impiantistica energetica 'Low carbon'

Obiettivo c.3: Processi di cattura della CO2 in pre e post combustione e trattamento di syngas

Task3: Produzione e trattamento di syngas ed energia elettrica presso l'impianto GESSYCA

Responsabile contratto di ricerca ENEA con Università di Roma Sapienza: Ing. C. Bassano

Responsabile della ricerca per Università di Roma Sapienza: Prof. P. De Filippis

Responsabile del Progetto: Dott.ssa Franca Rita Picchia

Indice

| | |
|---|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 REALIZZAZIONE DI UN MODULO FILTRANTE CATALITICO..... | 7 |
| 2.1 CARATTERISTICHE DEL FILTRO UTILIZZATO..... | 7 |
| 2.2 IMPIANTO DI LABORATORIO..... | 8 |
| 3 RISULTATI E DISCUSSIONE: VALUTAZIONE SPERIMENTALE DEI MODULI FILTRANTI..... | 11 |
| 3.1 PROVE SPERIMENTALI DI ABBATTIMENTO DEL TAR..... | 11 |
| 3.2 DISATTIVAZIONE DEL MEZZO FILTRANTE..... | 13 |
| 4 CONCLUSIONI..... | 16 |
| 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 16 |

Sommario

I processi di gassificazione per la produzione di syngas sono tra le tecnologie più promettenti per lo sfruttamento delle biomasse. Tuttavia, il loro sviluppo a livello industriale non è ancora maturo; uno dei maggiori problemi è rappresentato dall'elevata produzione di tar insieme al syngas. L'attività svolta nell'ambito di questo progetto riguarda lo studio di un sistema di filtrazione catalitica a caldo per l'eliminazione contemporanea di particolato e tar dal syngas. Il sistema di filtrazione che è stato utilizzato per questo scopo è un filtro industriale a candele della Unifrac che è stato attivato cataliticamente nella parte interna per impregnazione di nichel.

Sono state condotte prove in condizioni di pirolisi in modo da sfruttare il massimo carico di tar prodotto dalla biomassa (sansa di olive) ed è stato valutato l'efficacia del filtro senza catalizzatore e con catalizzatore per l'abbattimento del tar. È stato inoltre studiato l'effetto della temperatura sulla rimozione del tar e la disattivazione del mezzo filtrante.

I risultati hanno dimostrato l'efficacia di questi sistemi filtranti soprattutto se attivati cataliticamente con aggiunta di nichel; l'abbattimento di tar ottenuto è del 85 %. Inoltre il syngas prodotto si arricchisce in idrogeno e monossido di carbonio per effetto dello steam reforming del tar e del metano. Le prove hanno mostrato che questo sistema filtrante si disattiva velocemente a causa del coke che si deposita infatti le perdite di carico aumentano molto soprattutto nel caso di utilizzo del filtro non catalitico. Per questo motivo è stata studiata la possibilità di rigenerare i filtri bruciando il coke depositatovi. I due filtri studiati, quello catalitico e non dopo rigenerazione hanno mostrato la stessa efficacia nella rimozione del tar.

1 Introduzione

La produzione di syngas a partire da biomasse pone l'importante problema della sua pulizia visti gli alti contenuti di tar e particolato che esso contiene [1]. Le tecniche normalmente adottate per la loro rimozione consistono in complessi sistemi di lavaggio. Una via alternativa che può essere perseguita allo scopo è quella della trasformazione del tar in prodotti gassosi e di una successiva filtrazione dei gas per la rimozione del particolato. Benché i sistemi filtranti siano abbastanza comuni nella pratica industriale, essi non hanno ancora trovato applicazione, se non a livello di studio, nei processi di gassificazione. Ciò è dovuto principalmente alle condizioni operative a cui essi devono essere eserciti. I sistemi filtranti sono, infatti, per lo più utilizzati a temperature prossime a quelle ambientali, ma ciò obbliga a lavorare con gas secchi o comunque con un dew point piuttosto basso onde evitare ostruzioni del filtro, condizioni queste ultime difficilmente realizzabili con un syngas da gassificazione di biomasse. In tali circostanze è pertanto necessario operare in condizioni più drastiche soprattutto per quel che riguarda la temperatura, che deve essere sufficientemente alta ($>400^{\circ}\text{C}$) in modo da evitare la deposizione di tar e la conseguente ostruzione del filtro. E' inoltre da considerare che ad alta temperatura le caratteristiche di viscosità del gas sono molto diverse (maggiori) da quelle che essi hanno a temperatura ambiente e per mantenere basse le perdite di carico è necessario operare con superfici filtranti piuttosto estese. Negli ultimi anni sono comparsi sul mercato sistemi di filtrazione in grado di operare a temperature medio elevate (Figura 1).

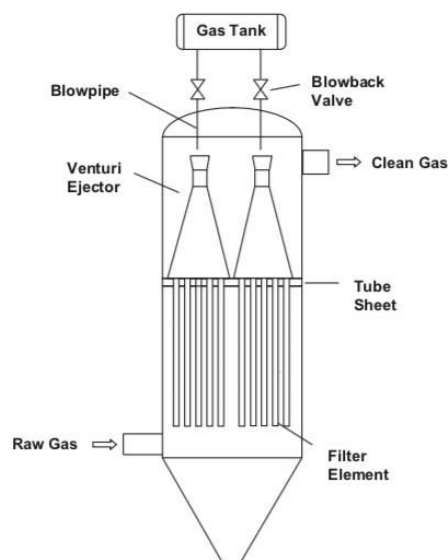


Figura 1: Schema di un'unità di filtrazione catalitica [2].

I principali produttori sono: Unifrax, Rath, Tenmat (Firefly), Glosfume (MetCem filter) e Madison Filter (Cerafil/Clear Edge). Tali sistemi stanno trovando larga diffusione in molte tipologie di industrie e ci si aspetta che possano dare un importante contributo anche nel settore della gassificazione. La corretta scelta del materiale filtrante rappresenta però un aspetto essenziale del processo di pulizia sia in termini di contenuto residuo di particolato, sia in termini di durata del filtro. Il filtro è infatti soggetto ad una forte usura dovuta sia ai cicli di pressione sia ai cicli termici cui è sottoposto durante la rigenerazione. La rigenerazione avviene infatti attraverso due meccanismi: un "reverse gas pulse" per rimuovere il cake di particolato che si viene a formare sulla superficie esterna e attraverso una rigenerazione termica quando, anche a seguito del gas pulse, le perdite di carico raggiungono valori troppo alti. La figura 2 mostra la fase di rigenerazione per impulso di pressione mentre la figura 3 riporta la variazione di perdite di carico con il tempo e con i cicli di rigenerazione

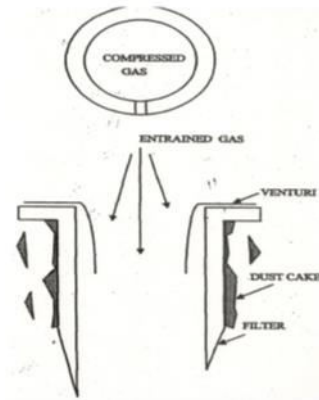


Figura 2 Rigenerazione per impulso di pressione

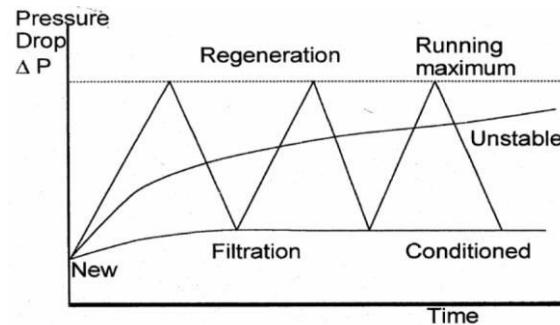


Figura 3. Andamento delle perdite di carico con i cicli di rigenerazione

Il filtro deve quindi possedere adeguate caratteristiche meccaniche, basse perdite di carico, buona resistenza all'usura termica.

Nel caso quindi di filtrazione a caldo del syngas il sistema può funzionare anche come reattore di abbattimento del tar, ci sono casi in cui il filtro viene infatti inserito direttamente nel reattore (Figura 4) così da avere una forte riduzione delle apparecchiature dell'impianto.

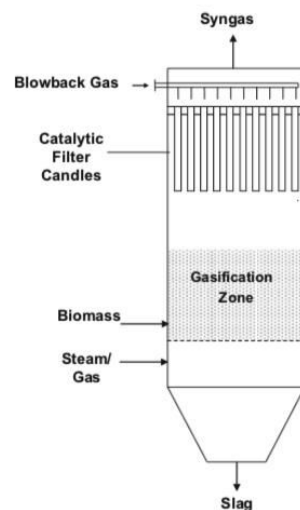


Figura 4. Sistema di filtrazione e abbattimento del tar inserito nel gassificatore [2].

Sulla base delle schede tecniche dei materiali filtranti e di sperimentazioni effettuate a livello semi-industriale, le candele che sembrano possedere le migliori caratteristiche per un utilizzo in gassificazione sono quelle della Unifrax, la sperimentazione è stata quindi condotta con tale materiale filtrante.

2 Realizzazione di un modulo filtrante catalitico

2.1 Caratteristiche del filtro utilizzato

Nello studio sperimentale sono stati usati dei filtri derivati da candele in materiale ceramico (Figura 5). Le candele originarie utilizzate hanno dimensioni pari ai 2 m di lunghezza e 30 cm di diametro, le proprietà del materiale che costituisce le candele sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Proprietà fisiche e chimiche delle candele filtranti.

| | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| Composizione chimica | Allumina | 30% |
| | Silice | 70% |
| Caratteristiche fisiche | Colore | Bianco / Crema |
| | Densità [kg / m ³] | [350 - 400] |
| | Porosità | > 80% |
| | T max [° C] | 1260 |
| | v max filtr. [m/min] | 3 |



Figura 5: Sistema filtrante utilizzato nelle sperimentazioni

Inizialmente sono state condotte prove sul materiale filtrante tal quale successivamente si è aggiunto un elemento catalitico quale il Ni. Si è quindi proceduto alla deposizione del catalizzatore a base nichel sul filtro mediante tecnica dell'impregnazione ad umido. L'impregnazione non è stata eseguita omogeneamente su tutto il filtro, ma solo su una delle superfici. Si è infatti, supposto che la deposizione del catalizzatore sulla superficie a diretto contatto con il particolato e tar sarebbe stata soggetta ad un rapido fenomeno di fouling e quindi rapidamente disattivata. La figura 6 mostra un elemento filtrante su cui è stato depositato il catalizzatore. La figura mostra come la parte impregnata non costituisca l'intera sezione, ma solo una parte. Al fine di favorire l'uniforme distribuzione della fase attiva sul supporto si è proceduto mediante tre fasi di impregnazione, intervallate da due fasi di essiccazione in stufa ad 80 [°C].

Il filtro impregnato ed essiccato è stato infine calcinato ponendolo in muffola per 6 [h] alla temperatura di 650 [°C].



Figura 6. Elemento filtrante con catalizzatore

Un aspetto fondamentale da valutare prima ancora di verificare l'efficacia del catalizzatore nella rimozione del tar è stato quello di determinare se la deposizione del catalizzatore avesse alterato in qualche modo le caratteristiche di permeabilità e quindi le perdite di carico del sistema filtrante. Sono stati quindi effettuati dei test per valutare la variazione di perdite di carico. I test sono stati condotti a freddo con aria. La variazione di perdita di carico rispetto al bianco è stata giudicata trascurabile ($<0,005\text{bar}$).la parte

Infine, sono state eseguite delle prove su un classico catalizzatore di steam reforming, cioè Ni-Al₂O₃ per poter confrontare le prestazioni del sistema filtrante catalitico con quelle ottenute usando un classico catalizzatore. Il catalizzatore utilizzato è costituito da cilindretti di Al₂O₃ impregnati con Ni al 10 % in peso.

2.2 Impianto di laboratorio

L'impianto sperimentale su scala di laboratorio è costituito da un reattore a letto fisso in cui la biomassa viene alimentata in continuo e passa attraverso il sistema di abbattimento del tar costituito dal materiale che costituisce le candele. Le prove di abbattimento del tar sono state effettuate in regime di pirolisi in modo da lavorare nelle condizioni peggiori cioè con il massimo carico di tar nel syngas. L'impianto utilizzato per le prove è riportato in Figura 1. Il reattore è costituito da un tubo di acciaio inossidabile AISI 310 L di 50 cm di altezza e 4 cm di diametro interno, riscaldato esternamente mediante una resistenza elettrica fornente il calore necessario affinché abbiano luogo le reazioni endotermiche. La biomassa viene caricata in continuo dall'alto in equicorrente con l'azoto, utilizzato per inertizzare il sistema e come gas di trasporto. Il set-up sperimentale è riportato in figura 7.

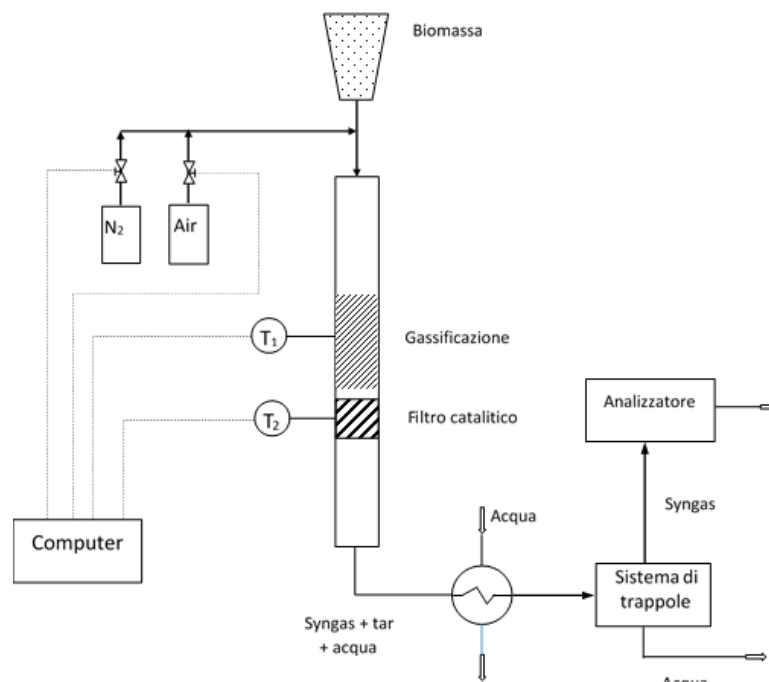


Figura 7: Schema dell'impianto utilizzato per le prove sperimentali.

Il syngas insieme con il tar residuo in uscita dal gassificatore viene raffreddato e fatto passare in una serie di trappole mantenute a 0°C per condensare il tar; in uscita dalle trappole il syngas passa attraverso un misuratore di portata volumetrico ed infine viene inviato ad uno strumento (QGA) per valutare la composizione del gas. La quantità di tar residuo viene misurata per via gravimetrica.

Al fine di valutare l'efficacia del sistema filtrante catalitico, il reattore è stato alimentato da biomassa costituita da sansa di olive in flusso di azoto (pirolisi). La scelta di utilizzare sansa di olive, la cui composizione è riportata in tabella 2 e del solo gas inerte è stata dettata dalla necessità di generare alte percentuali di tar in modo da riuscire ad esaurire la capacità filtrante e catalitica del filtro in tempi ragionevolmente brevi.

Tabella 2: Proprietà della sansa di olive

| Analisi Immediata | |
|------------------------------------|---------|
| Umidità [% in peso] | 10 – 20 |
| Volatili [% in peso dry] | 65 |
| Carbonio fisso [% in peso dry] | 29.6 |
| Ceneri [% in peso dry] | 5.4 |
| Analisi elementare [% in peso daf] | |
| C | 44.2 |
| H | 5.8 |
| S | 0.5 |
| N | 1.8 |
| O | 48.2 |
| Potere calorifico [MJ/kg] | 17.6 |

Le condizioni operative utilizzate sono riportate in tabella 3. Le prove sono state effettuate a tre diverse temperature per valutare l'influenza di tale parametro sull'abbattimento del tar. Prove preliminari sono state condotte senza materiale filtrante in modo da poter misurare la quantità di tar e particolato prodotti dalla biomassa utilizzata. Successivamente sono state condotte prove con il solo materiale filtrante. In queste prove è stata valutata l'efficienza di filtrazione nei confronti del particolato e l'eventuale effetto del materiale costituente il filtro sulla rimozione di tar. Infine, sono state eseguite prove con il mezzo filtrante impregnato di Ni per andare a valutare l'effetto dell'aggiunta di Ni sull'abbattimento del tar e la qualità del syngas.

Prove di disattivazione del materiale filtrante inoltre sono state condotte alimentando la biomassa in due fasi, alla fine della prima viene valutato il tar residuo poi viene effettuata una seconda fase di alimentazione e viene di nuovo misurato il tar residuo.

In tutte le prove effettuate sono state monitorate costantemente le perdite di carico lungo il letto.

Tabella 3: Condizioni operative.

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Portata di sansa (kg/h) | 0.15 |
| Temperatura (°C) | 650 -700 – 750 [°C] |
| Pressione (bar) | 1 |
| Portata azoto (l/h) | 30 |
| Altezza letto filtrante (cm) | 4 |

Il filtro esausto è stato rigenerato per via termica mediante combustione a 650°C per 4 ore. La Figura 8 mostra il filtro prima dell'uso, dopo l'uso e dopo rigenerazione termica. Sono state eseguite prove sul filtro rigenerato in modo da valutare il tempo di vita del filtro dopo vari utilizzi.

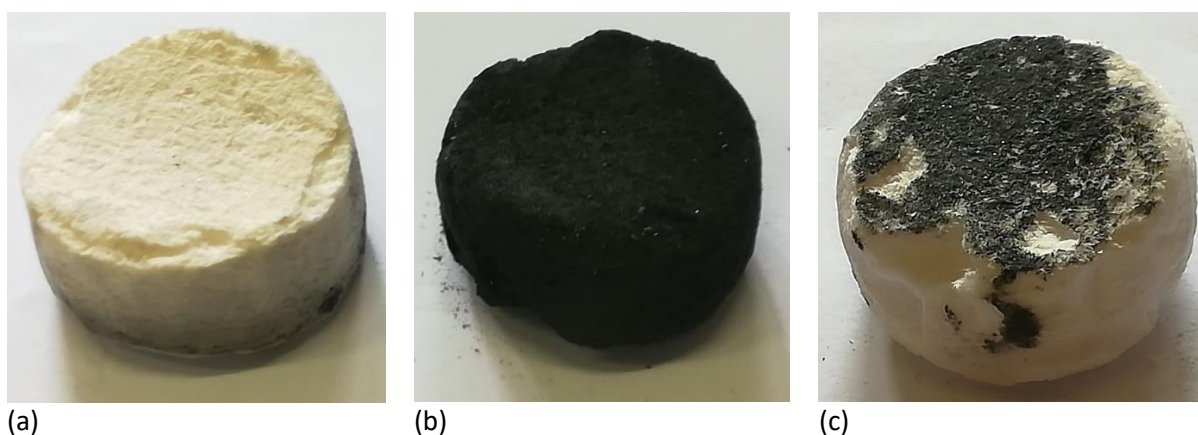


Figura 8 . Filtro prima dell'uso (a), dopo l'uso (b) e dopo rigenerazione termica (c)

3 Risultati e discussione: Valutazione sperimentale dei moduli filtranti

3.1 Prove sperimentali di abbattimento del tar

Le prime prove effettuate hanno permesso di valutare il quantitativo di tar prodotto dalla biomassa utilizzata in condizioni di pirolisi e valutare inoltre l'effetto della temperatura sulla sua produzione. In Figura 9 sono riportati i dati relativi al quantitativo di tar misurato come rapporto tra la somma della fase organica insolubile e della fase acquosa condensata nelle trappole e la biomassa di partenza. Come si vede dal grafico, la temperatura non ha un effetto significativo sul quantitativo di tar prodotto dalla biomassa. Inserendo il filtro ceramico si ottiene una riduzione della quantità di tar in uscita che aumenta man mano che la temperatura cresce. Le reazioni di cracking e reforming sono reazioni endotermiche favorite dall'aumento della temperatura. La riduzione di tar risulta essere più marcata a 750 °C dove si passa da un 38% di tar in uscita con il syngas ad un 30% pari ad una riduzione del 20%. Utilizzando il filtro impregnato con nichel la riduzione di tar è ancora maggiore; a 750 °C rispetto al filtro non catalitico il tar in uscita è il circa il 25% di meno.

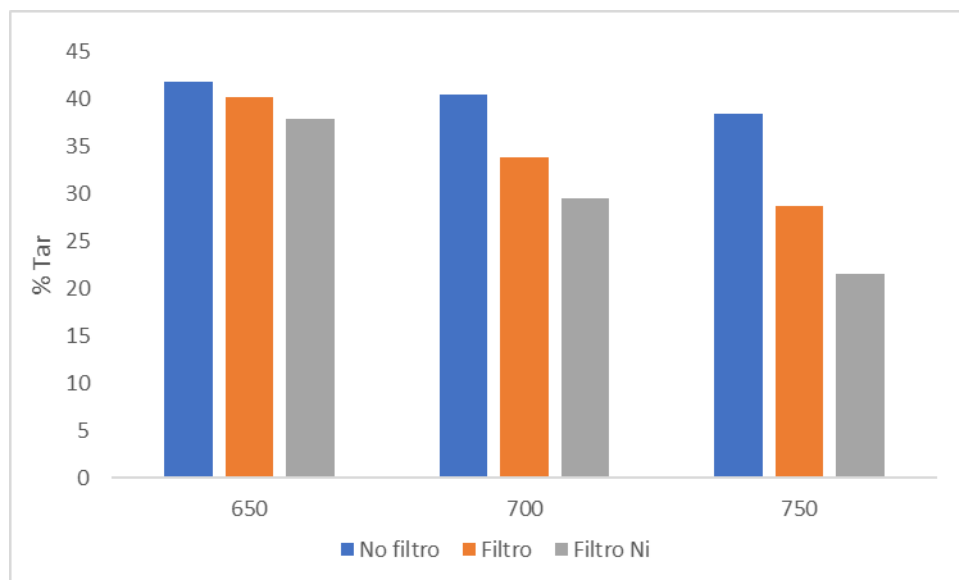
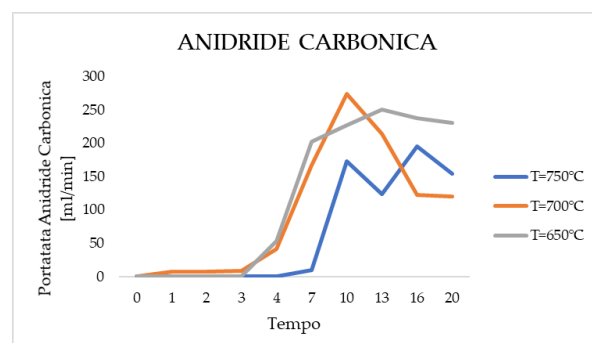
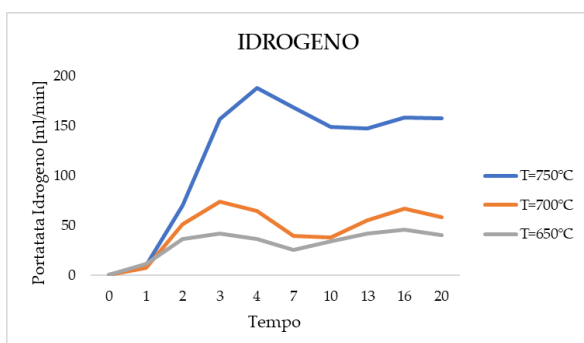


Figura 9: Contenuto di tar (fase organico + acqua) a tre diverse temperature e per i diversi sistemi filtranti utilizzati.

In Figura 10 è riportata la qualità del syngas in funzione della temperatura ottenuto dalle prove effettuate con il filtro non catalitico. A 750 °C le reazioni di cracking sono favorite e quindi si ottiene un aumento del quantitativo di idrogeno e metano nonché di quello di etilene che è considerato un precursore del coke.



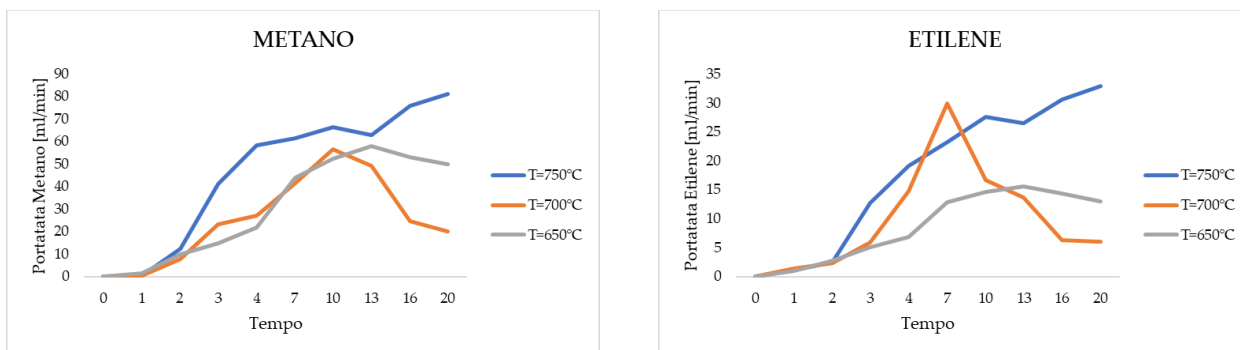


Figura 10: Andamento delle portate dei gas contenuti nel syngas in funzione del tempo della prova e della temperatura utilizzando il filtro non catalitico nel reattore.

In Tabella 4 è riportata la qualità del gas in uscita a seconda del mezzo filtrante utilizzato. Si nota come inserendo il filtro catalitico il quantitativo di idrogeno aumenta di 7 volte in quanto vengono attivate le reazioni di steam reforming. Si ottiene inoltre una diminuzione del contenuto di etilene dovuta all’insorgere delle reazioni di steam reforming rispetto a quelle di cracking che sono invece quelle predominanti nel caso di utilizzo di sistema filtrante non catalitico.

Tabella 4: Qualità del syngas ottenuta espressa come percentuale volumetrica su base priva di N2 (T=750 °C)

| % vol | H ₂ | CO ₂ /CO | CH ₄ | C ₂ H ₄ |
|-------------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|
| No filtro | 16.46 | 52.11 | 23.9 | 7.53 |
| Filtro bianco | 23.0 | 53.4 | 17.3 | 6.3 |
| Filtro catalitico | 42.0 | 37.9 | 15.3 | 4.8 |

L’aumento della portata gassosa totale in uscita dall’impianto riportato in Figura 11 in funzione del tempo di prova conferma ancora una volta l’efficacia dell’utilizzo del filtro catalitico nel processo di abbattimento del tar. Si nota come, infatti, passando dal sistema senza filtro al sistema con filtro non catalitico e poi catalitico la portata gassosa aumenta a causa della decomposizione del tar per effetto delle reazioni di cracking e reforming.

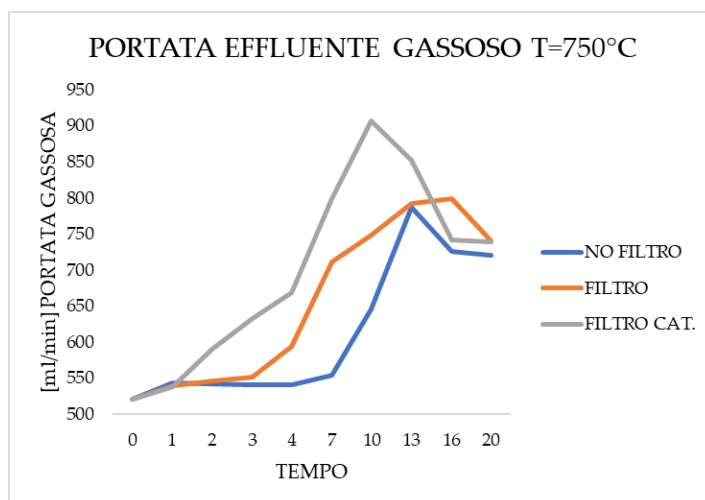


Figura 11: Portata gassosa totale in funzione del tempo e del sistema filtrante utilizzato.

Per valutare l’efficacia del sistema di filtrazione catalitica suggerito, i risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti da un classico catalizzatore di reforming Ni-Al₂O₃. Le prove sono state effettuate a

parità di altezza del letto catalitico in modo da mantenere costante la velocità spaziale. Il catalizzatore Ni-Al₂O₃ è stato prodotto in laboratorio per impregnazione ed è costituito dal 10 % di Ni su Al₂O₃. I risultati, riportati in Figura 12 non mostrano sostanziali differenze, il filtro catalitico mostra un'efficacia leggermente superiore per quel che riguarda l'abbattimento del tar. Questi dati suggeriscono che il sistema filtrante catalitico potrebbe sostituire completamente il reattore di reforming avendo di fatto la stessa capacità di abbattimento del tar. In questo modo si potrebbe ottenere una riduzione delle dimensioni dell'impianto in quanto questo sistema catalitico proposto potrebbe accoppiare due apparecchiature, il sistema filtrante per il particolato a valle del gassificatore e il reattore di reforming.

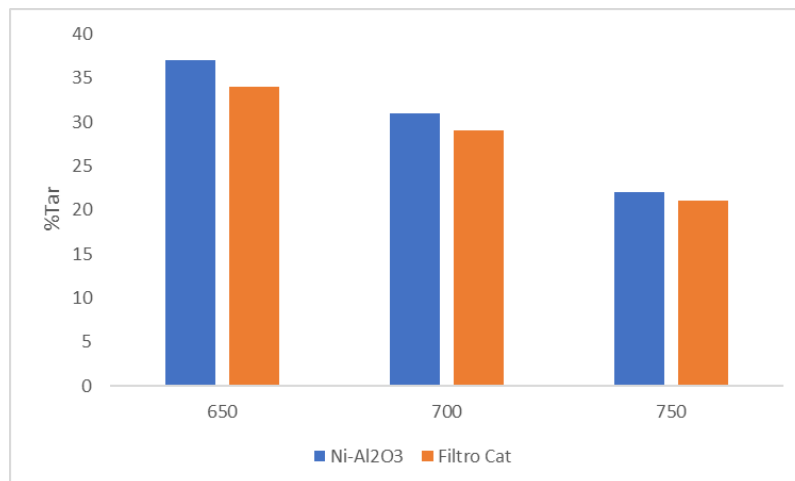


Figura 12: Quantità di tar rispetto alla biomassa alimentata in funzione della temperatura.

3.2 Disattivazione del mezzo filtrante

Per valutare la disattivazione dei sistemi filtranti utilizzati è stato come prima cosa calcolato il coke depositatosi sulla loro superficie, i risultati sono riassunti in Figura 13. Si può notare come con il sistema filtrante catalitico proposto il quantitativo di coke che si deposita per unità di peso è quello più basso mentre il catalizzatore Ni-Al₂O₃ presenta un'elevata percentuale di coke dopo la prova. Il quantitativo di coke depositato aumenta all'aumentare della temperatura a causa dell'aumento della velocità di reazione delle reazioni di cracking; con il mezzo filtrante non catalitico si ottiene infatti il maggiore incremento della percentuale di coke in quanto con l'aumento della temperatura sono favoriti solo i fenomeni di cracking termico invece che quelli di reforming catalitico che producono meno coke.

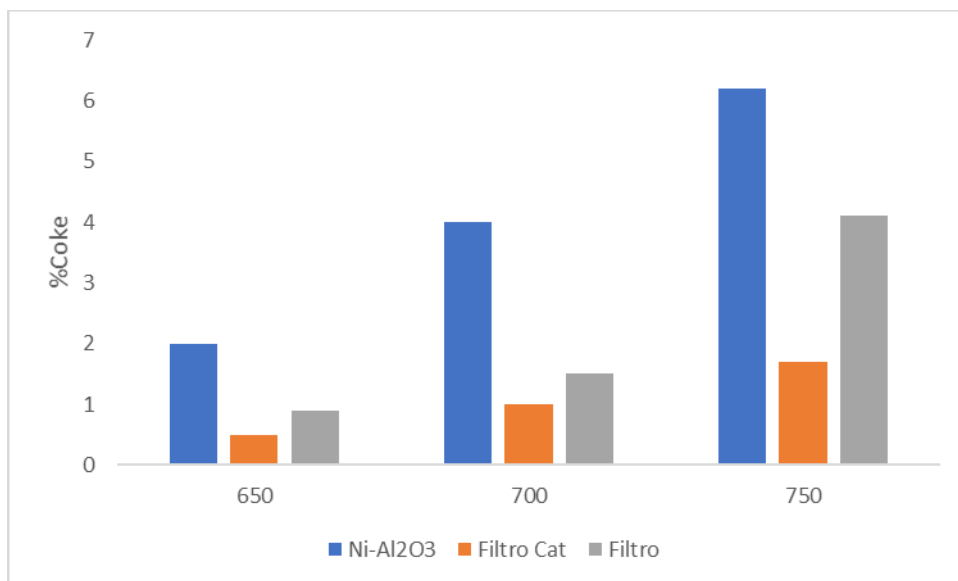


Figura 13: Coke prodotto in funzione della temperatura e del mezzo filtrante adottato

Per valutare se questo quantitativo di coke disattivi il catalizzatore sono state fatte delle prove in due fasi. Nella prima fase sono stati alimentati 50 g di biomassa ed è stato valutato il tar uscente, nella seconda fase sullo stesso sistema filtrante sono stati alimentati altri 50 g di biomassa per valutare la perdita di efficienza del sistema filtrante. Come si può notare dalla Figura 14 la capacità di abbattimento del tar si riduce di molto passando dalla prima fase di alimentazione alla seconda; nel caso del filtro catalitico a 750 °C si ha una perdita di capacità di abbattimento del 50 % mentre nel caso di filtro non catalitico la perdita di capacità è del 70 % alla stessa temperatura.

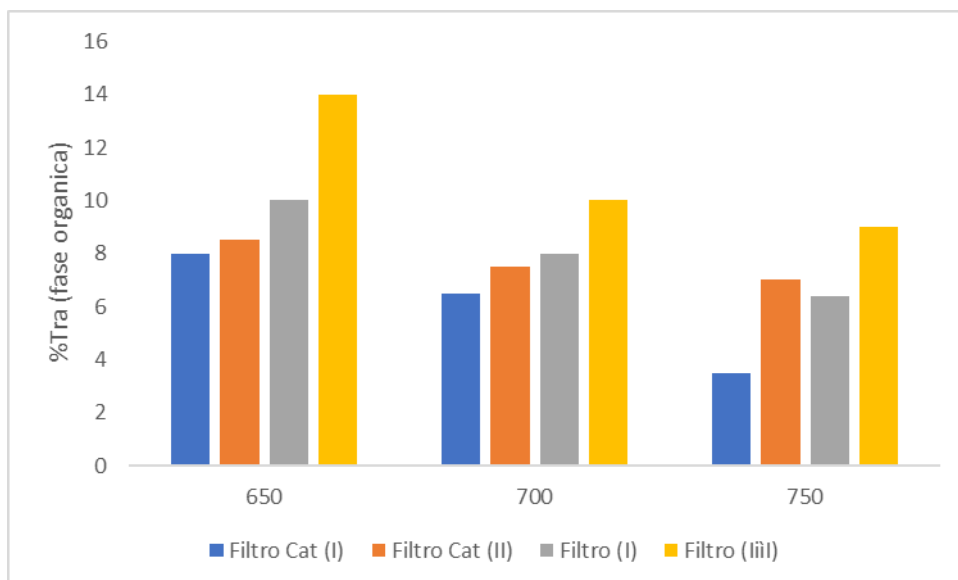


Figura 14: % di tar (fase organica) rispetto al quantitativo di biomassa in funzione della temperatura del mezzo filtrante e del quantitativo di biomassa alimentato.

Il mezzo filtrante viene quindi rapidamente disattivato dopo la prima fase di alimentazione, questo comportamento viene ulteriormente confermato dall’aumento di perdite di carico che si registra tra una fase e l’altra riportato in Figura 15.

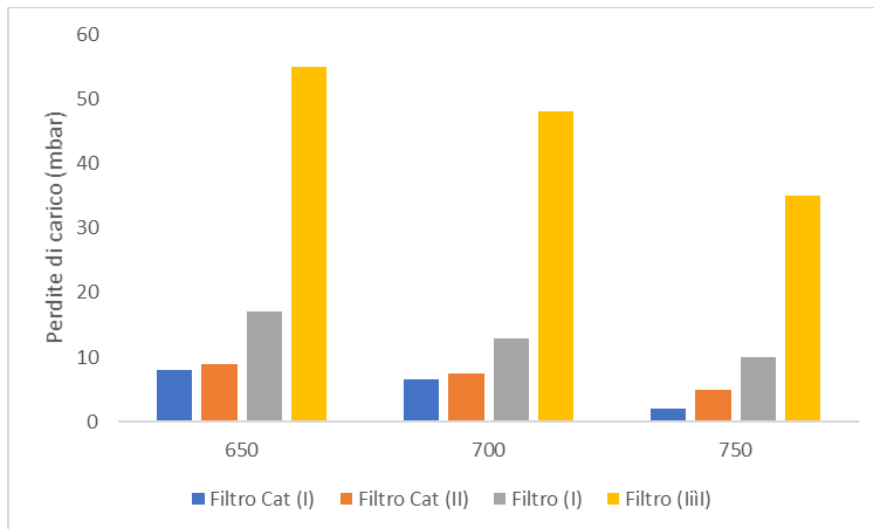


Figura 15: Perdite di carico in funzione della temperatura del mezzo filtrante e del quantitativo di biomassa alimentato.

Per valutare la vita media del filtro catalitico, i filtri, quello non catalitico e quello catalitico, sono stati rigenerati mettendoli in muffola per 4 ore a 650 °C in atmosfera statica. Una volta rigenerati sono state nuovamente ripetuti i test di abbattimento del tar.

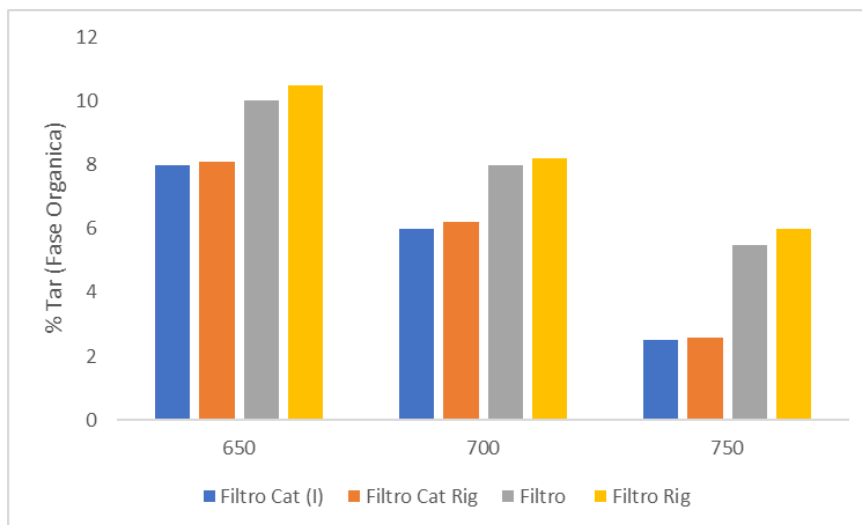


Figura 16: % di tar (fase organica) rispetto al quantitativo di biomassa in funzione della temperatura del mezzo filtrante rigenerato e non.

In Figura 16 è riportato l'andamento del tar in uscita in funzione della temperatura, del tipo di filtro rigenerato e non. Come si può vedere dopo la rigenerazione i dati sono quasi perfettamente riproducibili. Nelle prove eseguite con i filtri rigenerati il quantitativo di tar in uscita risulta essere simile. Si ottiene un leggero aumento del quantitativo di tar nel caso di utilizzo di filtro non catalitico. La possibilità di rigenerare il filtro è inoltre confermata dall'analisi dei gas in uscita dal processo riporta in Tabella 5 dove si osserva che le percentuali di idrogeno sono le stesse nel caso di filtro rigenerato e non. Nel caso di filtro catalitico rigenerato si nota un aumento della percentuale di metano che potrebbe significare un leggera diminuzione dell'attività del catalizzatore nei confronti dello steam reforming.

Tabella 5: Qualità del syngas ottenuta espressa come percentuale volumetrica su base priva di N2 per i filtri rigenerati e non (T=750 °C)

| % vol | H ₂ | CO ₂ /CO | CH ₄ | C ₂ H ₄ |
|-----------------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|
| Filtro catalitico | 42.0 | 37.9 | 15.3 | 4.8 |
| Filtro catalitico Rig | 40.5 | 37.4 | 17.2 | 4.9 |
| Filtro | 23.0 | 53.4 | 17.3 | 6.3 |
| Filtro Rig | 23.1 | 54.2 | 16.9 | 5.9 |

4 Conclusioni

La produzione di tar nei processi di gassificazione rappresenta uno dei maggiori ostacoli alla diffusione di questo tipo di impianti. In questo lavoro è stata valutata la possibilità di utilizzare un sistema di filtrazione a caldo per l'abbattimento contemporaneo di particolato e tar. Il lavoro è incentrato sull'efficienza di abbattimento del tar del filtro testato. Per aumentare tale efficienza il filtro è stato reso catalitico per aggiunta di nichel per impregnazione del filtro.

Il sistema di filtrazione ha permesso di ottenere un abbattimento di tar del 52 % e del 85 % nel caso di utilizzo di sistema di filtrazione non catalitico e catalitico rispettivamente. Nel caso di attivazione catalitica del filtro si ottiene inoltre un arricchimento in idrogeno e monossido di carbonio della corrente gassosa uscente a causa dell'attivazione delle reazioni di steam reforming del tar e del metano presente nel syngas. Andando a valutare la quantità di coke prodotta sul filtro e le perdite di carico si è notato una rapida disattivazione del sistema di filtrazione che però può essere superata andando a rigenerare il filtro ossidando il coke presente sulla sua superficie. Il filtro rigenerato infatti ha mostrato le stesse capacità di abbattimento del tar del filtro al suo primo utilizzo. Questo risultato indica che questi sistemi di abbattimento del tar sono molto promettenti.

5 Riferimenti bibliografici

1. Abu El-Rub, Z.; Bramer, E.A.; Brem, G.; Review of catalyst for tar elimination in biomass gasification processes. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 2004. Vol. 43, pp. 6911-6919.
2. Joo, O., Jung, K.; CH₄ Dry Reforming on Alumina-Supported Nickel Catalyst, *Bulletin of Korean Chemical Society*,. 2002, Vol. 23, No. 8.