



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sperimentazione dei sistemi di lavaggio e dei sistemi di depolverazione elettrostatica

G. Calì, P. Miraglia, D. Multineddu, M. Caboni, F. Tedde



SPERIMENTAZIONE DEI SISTEMI DI LAVAGGIO E DEI SISTEMI DI DEPOLVERAZIONE
ELETTROSTATICA

G. Calì, P. Miraglia, D. Multineddu, M. Caboni, F. Tedde (Sotacarbo)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂

Responsabile Progetto: Antonio Calabrò, ENEA

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

PROGETTO DI RICERCA CERSE 3^a ANNUALITA'

OR1 - SPERIMENTAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DI IMPIANTI DI GASSIFICAZIONE: PRODUZIONE, TRATTAMENTO E CONVERSIONE DEL SYNGAS PRODOTTO DALLA GASSIFICAZIONE DEL CARBONE IN IMPIANTI EQUIPAGGIATI CON CATTURA DELLA CO₂

RELAZIONE TECNICA

Sperimentazione dei sistemi di lavaggio e dei sistemi di depolverazione elettrostatica

 SOTACARBO SOCIETÀ TECNOLOGIE AVANZATE CARBONE S.P.A.		PROGETTO DI RICERCA CERSE 3	
Rev.	Data		
0	30.09.2011	Gabriele Calì Paolo Miraglia Diana Multineddu Monica Caboni Fabrizio Tedde	

Premessa

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Studi e sperimentazione di sistemi e tecnologie applicate ad impianti di produzione energetica da carbone equipaggiati con cattura e sequestro della CO₂".

Nell'ambito dell'obiettivo A1 "Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione" è prevista la prosecuzione delle attività di sperimentazione miglioramento delle tecnologie di gassificazione del carbone, con produzione, pulizia, trattamento e conversione del syngas prodotto in particolare a partire da carboni a basso rango come quello del Sulcis con prove e test sperimentali di cattura della CO₂ da gas provenienti dal gassificatore. In particolare, in questo ambito sono previste sperimentazioni dei sistemi di lavaggio e dei sistemi di depolverazione elettrostatica.

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

Indice

Premessa	2
1. Introduzione	4
2. Descrizione delle sezioni di impianto	6
2.1 Scrubber	6
2.2 I stadio di desolforazione	6
2.3 Elettrofiltro	7
3. Analisi del funzionamento dei sistemi di lavaggio	10
4. Procedure operative di gestione dell'Elettrofiltro a umido	12
4.1 Procedura di messa in funzione dell'elettrofiltro	12
4.2 Procedura di messa in sicurezza dell'elettrofiltro	14
5. Analisi del funzionamento dell'elettrofiltro	15
5.1 Test preliminari sull'elettrofiltro	15
5.2 Campagne sperimentali sull'elettrofiltro	16
6 Conclusioni finali	22

Sperimentazione dei sistemi di lavaggio e dei sistemi di depolverazione elettrostatica

Relazione 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) 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 . La piattaforma pilota Sotacarbo.

In particolare, le modifiche tecniche di cui è oggetto il presente documento sono state effettuate nell'impianto pilota della piattaforma.

Tale impianto, oltre alla sezione di gassificazione (descritta più nel dettaglio nel documento “Sperimentazione in continuo dei processi 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.

Il presente documento riguarda la valutazione del funzionamento delle sezioni d'impianto deputate al lavaggio del syngas: scrubber, primo stadio di desolforazione. Inoltre verrà valutata la funzionalità del filtro elettrostatico e la sua capacità di depolverare il syngas.

2. Descrizione delle sezioni di impianto

Le sezioni di impianto adibite al lavaggio e alla depolverazione elettrostatica del syngas sono: Scrubber, I stadio di desolforazione, precipitatore elettrostatico.

2.1 Scrubber

Il syngas proveniente dall'impianto di gassificazione entra nello scrubber attraverso una tubazione immersa nella vasca di raccolta della soluzione ricircolante. Il tubo immerso svolge in questo modo la funzione di dispositivo antiritorno di fiamma. Un controllo di livello assicura che ci sia un livello di liquido sufficiente a garantire questa funzione.

Lo scrubber a sua volta deve assolvere alle funzioni di raffreddamento del syngas dalla temperatura di ingresso (200-400 °C) e temperatura adiabatica del gas (70-80°C) e di assorbimento dell'acido cloridrico e di parte del Tar presente nel syngas. Questi risultati sono ottenuti tramite lavaggio del syngas in una colonna vuota per mezzo di una soluzione acquosa nebulizzata con opportuni ugelli; l'evaporazione di parte dell'acqua produce il raffreddamento della corrente e il contatto liquido-gas assicura l'assorbimento dell'acido cloridrico. La soluzione di lavaggio è costantemente ricircolata tramite le pompe CX001/02 (una in sostituzione dell'altra) e depurata tramite due filtri (uno in sostituzione dell'altro) ed irrorata, tramite rampe e ugelli spruzzatori, il gas fluente in controcorrente. La portata di ricircolo è misurata e regolata agendo, tramite inverter, sulla velocità del motore delle pompe. Il fondo della torre costituisce il serbatoio di stoccaggio del liquido di lavaggio con una capacità pari a 0.6 m³ circa. Un serpentino a vapore, posto sul fondo del serbatoio, tiene la soluzione calda in modo da mantenere i composti più pesanti in soluzione.

Il riempimento del serbatoio è monitorato tramite un misuratore di livello e viene mantenuto costante al valore del 75% del riempimento massimo. Lo scrubber viene esercito in leggera sovrappressione per evitare l'ingresso di aria che potrebbe creare le condizioni di infiammabilità o di esplosività della miscela gassosa. La pressione viene mantenuta costante attraverso una guardia idraulica FK001.

2.2 I stadio di desolforazione

Il syngas proveniente dallo scrubber entra nel I stadio di desolforazione che svolge la funzione di raffreddamento del syngas e di rimozione dei composti acidi, delle polveri e del tar presenti nel syngas. Questo stadio lavora in condizione di pH controllato (alcalino) per rendere

l'assorbimento più efficace e per rimuovere eventuali componenti non assorbiti con la sola acqua. In particolare in questa fase si avrà una prima rimozione del H_2S .

Questi risultati tramite lavaggio del syngas in una colonna riempita di selle ceramiche che pur garantendo una elevata superficie di contatto sono meno critiche dal punto di vista dello sporco e più facilmente pulibili rispetto ad un riempimento strutturato.

La soluzione di lavaggio è costantemente ricircolata tramite due pompe CX003/04 (una in sostituzione dell'altra) e depurata da due filtri ed irrorata, tramite degli ugelli spruzzatori, i corpi di riempimento che sono attraversati dal syngas fluente in controcorrente. La portata di ricircolo è misurata da un trasmettitore di portata e viene regolata agendo sulla velocità delle pompe.

Il fondo della torre costituisce il serbatoio di stoccaggio del liquido di lavaggio e ha una capacità pari a $1,2 \text{ m}^3$, questo fondo serve anche l'elettrofiltro posto a valle. All'interno del serbatoio è previsto un serpentino a vapore per tenere la soluzione calda in modo da mantenere i composti più pesanti in soluzione. Il livello del liquido sul fondo della colonna è controllato da un trasmettitore di livello e viene mantenuto al 75% della sua capacità massima.

In questa sezione di impianto è previsto il dosaggio di soda per mantenere costante il pH della soluzione circolante. Questo viene realizzato per mezzo di un trasmettitore di pH di una pompa dosatrice che ha il compito di inviare nella soluzione il chemical utilizzato.

Il I stadio di desolforazione viene esercito in leggera sovrappressione per evitare l'ingresso di aria che potrebbe creare le condizioni di infiammabilità o di esplosività della miscela gassosa. La pressione viene mantenuta costante attraverso una guardia idraulica FK002.

2.3 Elettrofiltro

Il sistema di depolverazione dell'impianto pilota Sotacarbo è rappresentato da un filtro elettrostatico ad umido (WESP) che effettua la rimozione del TAR e delle polveri presenti nel syngas in seguito al lavaggio nello scrubber e al trattamento nel I stadio di desolforazione a freddo (con soluzione acquosa di soda).

L'elettrofiltro è costituito da un fascio di 11 tubi. All'interno di ciascuno tubo è presente un elettrodo rigido che genera il campo elettrico ionizzante responsabile della "cattura" delle particelle solide che attraversano l'elettrofiltro. Esternamente al fascio viene fatto circolare vapore in modo da tenere una temperatura di parete sufficiente a mantenere allo stato liquido i composti pesanti catturati. In questo modo si previene lo sporco dei tubi e la conseguente perdita di efficienza dell'elettrofiltro. Gli elettrodi sono collegati e mantenuti in posizione da una struttura di supporto

che è, a sua volta, collegata al mantello tramite due isolatori ceramici che fanno da interfaccia meccanica tra la parte in tensione e la parte "a terra". Alla struttura è poi collegato il trasformatore/rettificatore che fornisce l'energia ad alta tensione necessaria per creare il campo elettrico.

Gli isolatori, che durante il funzionamento sono a contatto col syngas sporco ed umido, vengono flussati con una piccola quantità di azoto in modo da tenerli puliti ed asciutti e quindi in grado di svolgere la loro funzione isolante. L'azoto, prima dell'ingresso nell'elettrofiltro, viene preriscaldato con un serpentino (attraversato da una corrente di vapore) avvolto sulla camicia.

Nella parte inferiore dell'elettrofiltro sono previsti due ingressi d'acqua, uno (FU854) per garantire l'umidificazione del gas prima del suo passaggio nel campo elettrico e l'altro (FU852) per effettuare saltuari lavaggi dell'apparecchio. A valle dell'elettrofiltro vengono rilevate la temperatura (TE027) e la pressione (PT008) del syngas. Come ulteriore sistema di sicurezza, sull'elettrofiltro è installato un disco di rottura (DI003) tarato a 0.3 barg.

Infine è prevista una valvola automatica di ingresso azoto direttamente sulla colonna (FE007), usata sia per i flussaggi dell'impianto prima e dopo l'esercizio che per l'inertizzazione in caso d'emergenza.

Per ragioni di sicurezza l'elettrofiltro può essere utilizzato solo quando la concentrazione di ossigeno presente nel syngas è inferiore all'1%. Attraverso due prese di campionamento, poste a valle dello scrubber, vengono prelevati due campioni di syngas ed inviati a due analizzatori di ossigeno di tipo paramagnetico (AIT-0026 e AIT-0092).

I tre sistemi su descritti sono stati assemblati su un unico skid che li rende molto compatti e semplifica notevolmente la gestione degli stessi riportiamo di seguito uno schema dello skid:

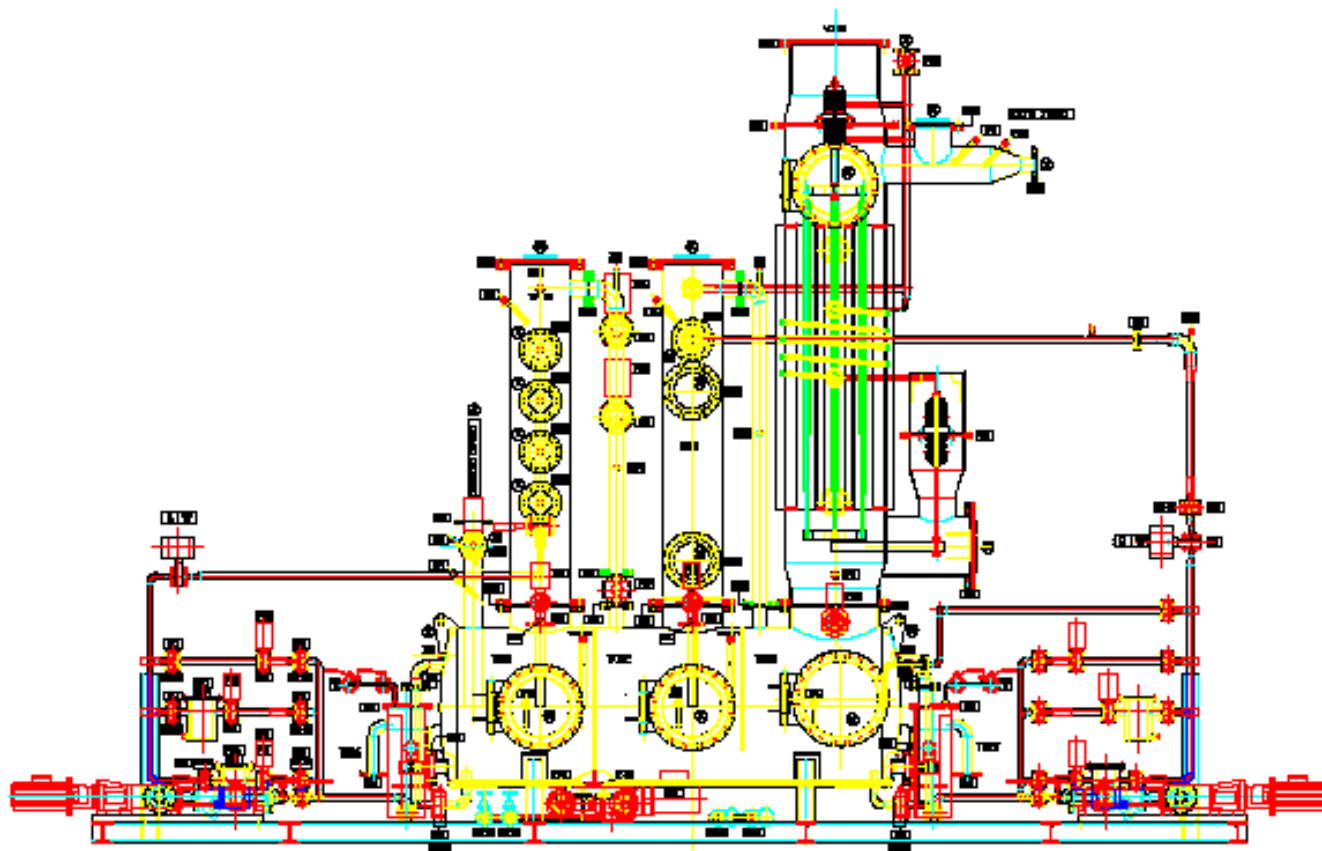


Figura 1. schema dello skid

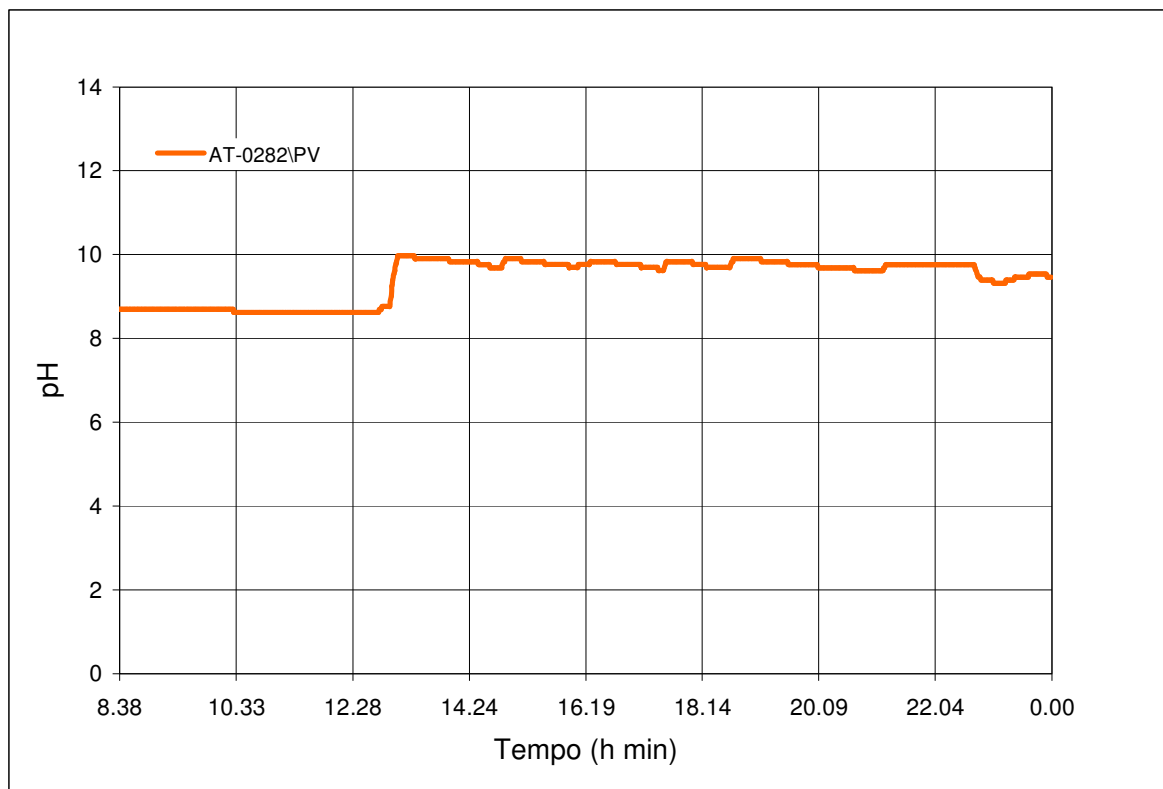
3. Analisi del funzionamento dei sistemi di lavaggio

I sistemi di lavaggio dell'impianto Pilota sono, come già specificato, lo scrubber e il primo stadio di desolforazione. Lo scrubber è una torre di lavaggio che utilizza acqua per la pulizia del syngas ed ha sia il compito di abbattere parte del TAR e l'acido cloridrico presenti nel syngas, sia quello di raffreddare il syngas in ingresso. Quest'ultimo si trova ad una temperatura che al massimo può raggiungere valori compresi fra 100 °C e 150 °C, per quanto la temperatura in uscita dal gassificatore sia intorno di 450 °C. Tale raffreddamento è dovuto alla dispersione del calore lungo la tubazione di trasporto che è lunga una decina di metri ed ha un diametro di 114 mm (diametro esterno) e costituisce una sensibile superficie di scambio termico.

A valle dello scrubber il syngas fuoriesce con valori massimi di temperatura compresi fra 50 e 70 °C in linea con i parametri di progetto.

La portata di acqua utilizzata durante le prove per il lavaggio nello scrubber è normalmente pari a 2 m³/h (inferiore alla portata massima), e può essere regolata tramite gli inverter presenti sui motori delle pompe di ricircolo. Un elemento importante del sistema scrubber è rappresentato dalla guardia idraulica, essa costituisce un'efficiente sistema di controllo della pressione del syngas, infatti quando tale pressione supera i 50-60 mbar tale guardia idraulica si svuota del suo contenuto in acqua scaricando così il syngas all'esterno dell'impianto.

Il primo stadio di desolforazione è una colonna a riempimento che ha il compito di ridurre l'idrogeno solforato (H₂S) presente nel syngas, tramite il lavaggio di una soluzione di acqua e soda in concentrazione al 30%. La verifica dell'efficienza di rimozione del H₂S viene effettuata controllandone la concentrazione nel syngas mediante analisi effettuate mediante l'impiego di un gascromatografo da campo che preleva campioni syngas da alcune prese di campionamento poste a monte e a valle del primo stadio di desolforazione (individuate con le sigle DJ002/03). Per il funzionamento di questa sezione di impianto risulta essere fondamentale la verifica del valore del pH registrato lungo la tubazione di ricircolo della portata di lavaggio. Abitualmente tale valore viene mantenuto tra i valori 9.6 (minimo) e 10 (massimo); all'interno di tale range l'efficienza di rimozione del H₂S è del 95-98%. Riportiamo di seguito un grafico in cui è riportato l'andamento del pH nel primo stadio durante l'avviamento del 15/06/2011.



*Figura 2. Andamento del pH all'interno del I stadio di desolforazione
a freddo dalle ore 8.00 alle 24.00 della prova del 15/06/2011*

Come si nota dalla figura, il pH viene sempre mantenuto sotto il valore di 10, per valori superiori a 10 è stato verificato in precedenti prove che anche parte della CO_2 presente nel syngas viene assorbita in fase liquida. Tale fenomeno dà luogo alla formazione di sali all'interno del serbatoio AC003 con la necessità di maggiori interventi di pulizia e manutenzione. La sezione inoltre è dotata di una pompa dosatrice per il reintegro della soluzione di acqua e soda in modo da mantenere costante il pH.

4. Procedure operative di gestione dell'Elettrofiltro a umido

L'elettrofiltro a umido è la sezione che presenta il più alto grado di rischio di esplosione dell'impianto, infatti in esso è presente sia il combustibile costituito dal syngas, che l'innesco rappresentato dalle scariche elettriche. Pertanto per evitare delle esplosioni, la concentrazione del comburente rappresentato dall'ossigeno nel syngas deve essere resa trascurabile. In particolare essa deve essere tenuta sotto l'1%.

Al fine di ridurre il rischio di esplosione, è stata predisposta una procedura articolata in più fasi da applicare per la messa in funzione dell'elettrofiltro.

4.1 Procedura di messa in funzione dell'elettrofiltro

La procedura di messa in funzione dell'elettrofiltro è divisa in più fasi

Fase 1 configurazione impiantistica dell'elettrofiltro:

- ✓ inviare del vapore all'Elettrofiltro al fine di condizionare la temperatura
- ✓ inviare dell'azoto all'isolatore per garantire la sua pulizia
- ✓ inviare dell'azoto di sbarramento sugli isolatori per garantire la loro inertizzazione
- ✓ inviare acqua lavaggio syngas parzializzando la valvola manuale per garantire un cono d'acqua accettabile.

Fase 2 accensione dell'elettrofiltro:

- ✓ Chiusura dell'interruttore su quadro trattamento a freddo ACTEA e verificare abilitazione del segnale "Linea Trafo inserita" su sistema di controllo
- ✓ Selezionare la modalità locale o remoto per utilizzare l'elettrofiltro da campo o da sistema di controllo sul quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori
- ✓ Chiusura dell'interruttore posto su quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori
- ✓ Abilitare il pulsante Power ON da sala controllo
- ✓ Abilitare il pulsante Control Power On dal trasformatore sul quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori e verificare abilitazione del segnale "Power ON" su sistema di controllo
- ✓ Posizionare il commutatore blocco trasformatore dalla posizione 1 (blocco attivo) alla posizione 0 (blocco disattivo) per abilitare l'elettrofiltro al funzionamento

- ✓ Abilitare il pulsante HVOFF(1) da sala controllo
- ✓ Impostazione di un valore minimo di tensione e corrente: 0.5 mA e 1 kV

Eseguita la procedura sopra descritta l'elettrofiltro è pronto a funzionare ma non può generare ancora fra i suoi elettrodi nessuna tensione.

Fase 3 messa in tensione dell'elettrofiltro:

- ✓ Verificare che i valori di concentrazione di ossigeno nel syngas, rilevati dagli analizzatori AIT0026 e AIT0092 siano entrambi inferiori al 1%
- ✓ inviare il syngas all'elettrofiltro
- ✓ Abilitare il pulsante HVON al sistema di controllo, questa operazione attiva dei relè che danno come risposta in sala controllo alta tensione inserita "high voltage ON, l'elettrofiltro si porterà in automatico ai valori di tensione e corrente precedentemente impostati: 0.5 mA e 1 kV
- ✓ Sollevare i valori di tensione e corrente lentamente (passi di 0.5 kV, per volta), fino ai valori per i quali il sistema non avverte scariche.

Nel caso le scariche elettriche siano troppo frequenti diminuire lentamente i valori di tensione e corrente in maniera proporzionale, fino alla diminuzione delle scariche. Nel caso l'elettrofiltro andasse in fault interrompere il passaggio del syngas all'elettrofiltro e ripetere le operazioni della fase 2.

Fase 4 spegnimento dell'elettrofiltro:

- ✓ Interrompere il passaggio del syngas all'elettrofiltro
- ✓ Disabilitare il pulsante HVON al sistema di controllo, il sistema si riporterà nella posizione HVOFF(1), in tale condizione il trasformatore non genera più tensione all'elettrofiltro
- ✓ Impostazione dei valori di tensione e corrente a: 0 mA e 0 kV
- ✓ Abilitare il pulsante HVOFF(0) da sala controllo
- ✓ Posizionare il commutatore blocco trasformatore su posizione 1 (blocco attivo) per disabilitare l'elettrofiltro
- ✓ Disabilitare il pulsante Power ON da sala controllo
- ✓ disabilitare il pulsante Control Power On dal trasformatore sul quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori

- ✓ Apertura l'interruttore posto sul quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori
- ✓ Apertura dell'interruttore sul quadro trattamento a freddo ACTEA

4.2 Procedura di messa in sicurezza dell'elettrofiltro

L'elettrofiltro a umido possiede anche una procedura di messa in sicurezza che si attiva quando almeno uno dei due analizzatori di ossigeno a servizio dell'elettrofiltro rileva una concentrazione superiore al valore impostato (pari all'1%), in tale caso il sistema avvia in automatico la sequenza.

Nel sinottico del sistema di controllo sono stati inseriti i pulsanti *inserita*, *disinserita* e *ripristino* che permettono di inserire/ disinserire la logica di sicurezza e di riportarla alla condizione di attesa iniziale in cui si trova quando viene inserita.

Quando si preme il pulsante *Inserita* il sistema si porta in una situazione di attesa collegata con il valore che viene misurato agli analizzatori di ossigeno AIT-0026 / AIT-0092; quando uno dei due misuratori restituisce un valore superiore al 1% di O₂ nella corrente di syngas, la sequenza esce dalla situazione di attesa ed esegue le seguenti operazioni:

1. disabilitazione corrente all'elettrofiltro mediante il comando Power Off;
2. apertura della valvola FE003 di invio del syngas a torcia;
3. chiusura della valvola FE006 di invio syngas all'elettrofiltro;
4. apertura della valvola FE807 di invio azoto all'elettrofiltro;
5. apertura della valvola FE294 di invio azoto all'elettrofiltro.

Il tempo di invio dell'azoto viene visualizzato attraverso un apposito contatore che si ferma quando si chiudono le valvole di mandata e si resetta e riparte quando la logica entra nuovamente in funzione. La chiusura delle valvole di mandata è affidata all'operatore, il quale deve anche dare il comando di reset della sequenza, tramite l'apposito pulsante *Ripristino*, che riporta la stessa nella situazione di attesa iniziale.

Il pulsante *Disinserita* disinserisce la logica di sicurezza e deve essere premuto ogniqualvolta non si opera con la sezione di depolverazione attiva.

5. Analisi del funzionamento dell'elettrofiltro

Nel CERSE III sono state effettuate tre campagne sperimentali per studiare e verificare il funzionamento dell'elettrofiltro, precedute da test preliminari per verificare la funzionalità e la sicurezza di tale apparecchiatura.

5.1 Test preliminari sull'elettrofiltro

I Test preliminari sono stati eseguiti prima del 10/03/2011 data in cui è stata effettuata la prima campagna sperimentale sull'elettrofiltro. Il primo test preliminare è stato effettuato per verificare l'attendibilità dei misuratori di ossigeno: una bombola tarata con del gas formato da ossigeno al 3.5% ed il resto azoto, è stata collegata all'elettrovalvola di campionamento dei misuratori di ossigeno; successivamente è stato verificato il valore analizzato dai misuratori di ossigeno che hanno fornito la misura corretta nel tempo di 5 secondi (come riportato sul manuale).

Nel secondo test sono stati verificati i tempi di percorrenza del gas dal punto di campionamento dei misuratori di ossigeno, subito dopo lo scrubber, all'ingresso dell'elettrofiltro; nella stessa prova sono stati verificati inoltre i tempi di risposta dell'elettrofiltro. I due misuratori di ossigeno sono stati collegati in due punti differenti dell'impianto: il primo è stato collegato subito dopo lo scrubber (posto abituale) il secondo è stato collegato ad una presa di campionamento posta poco prima dell'entrata del gas all'elettrofiltro. Successivamente sono stati messi in funzione i due misuratori di ossigeno ed è stata inviata una corrente di azoto di $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (portata simile a quella di syngas durante l'accensione dell'impianto pilota). I due misuratori di ossigeno hanno misurato una concentrazione di ossigeno pari a circa zero, a questo punto è stata inviata insieme alla corrente di azoto una corrente di aria con portata pari a 5 kg/h , corrispondente a circa $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ di ossigeno che in concentrazione volumetrica sono pari a 1,6% di ossigeno. È stato verificato, tramite un cronometro, che il misuratore, posto all'ingresso dell'elettrofiltro, ha impiegato 35 secondi per rilevare la concentrazione del 1,6% di ossigeno nel gas dal momento in cui lo stesso valore era stato rilevato dal misuratore di ossigeno posto a valle dello scrubber. Considerando che il tempo di risposta dell'analisi del misuratore di ossigeno è di 5-10 secondi massimo, significa che il tempo a disposizione del gas, dal momento in cui avviene la misurazione di ossigeno (subito a valle dello scrubber) al momento in cui fa ingresso nell'elettrofiltro, è di 25 secondi.

Nel terzo test si è verificato che le sicurezze si attivassero in meno di 25 secondi: è stata fatta passare una corrente di azoto pari a $50 \text{ m}^3/\text{h}$, è stato messo in funzione l'elettrofiltro ed è stata

attivata la sequenza di sicurezza. Successivamente sono stati inviati 5 kg/h di aria; quando i due misuratori (sono stati riposizionati entrambi all'uscita dello scrubber) hanno misurato una concentrazione di ossigeno nel gas di poco superiore al 1% si è attivata la sicurezza, il tempo di risposta è stato inferiore o uguale ad 1 secondo. Considerando che il tempo di analisi dello strumento è pari a 5-10 secondi; si può concludere che il tempo di percorrenza del gas (dall'uscita dello scrubber all'ingresso dell'elettrofiltro) è superiore a quello di risposta dell'intero sistema: 25 secondi contro 1 secondo e dunque ci troviamo in condizione di sicurezza.

Come ultimo test è stato fatto funzionare l'elettrofiltro con una differenza di potenziale di 20 kV e una corrente di 3 mA ed è stata fatta passare una corrente di azoto, il test ha dato esito positivo.

5.2 Campagne sperimentali sull'elettrofiltro

La prima campagna sperimentale sull'Elettrofiltro è stata condotta il 10/03/2011, l'elettrofiltro ha funzionato per un totale di circa tre ore nelle quali il valore della concentrazione di ossigeno si è mantenuto sotto l'1%. In tale prova, a causa di problematiche sul sistema di controllo non è stato possibile riportare i grafici sull'andamento della tensione e della differenza di potenziale; le condizioni utili ad avviare l'elettrofiltro si sono verificate in maniera discontinua dalle 11:53 alle 13:45 e dalle 14:25 alle 15:30 e in maniera continua dalle 22:46 alle 23:00. Questo fenomeno è da correlare con l'andamento delle temperature nel gassificatore, infatti come mostrato dai grafici in figura 3 dal primo delle 11:30 all'ultimo delle 22:30 il gassificatore si è riscaldato completamente anche al free-board dove si hanno temperature vicine ai 400 °C. Questo fenomeno aggiunto ad uno spostamento del letto di gassificazione verso l'alto ha comportato un aumento dell'estensione della zona reattiva ed il conseguente consumo completo dell'ossigeno inviato al gassificatore.

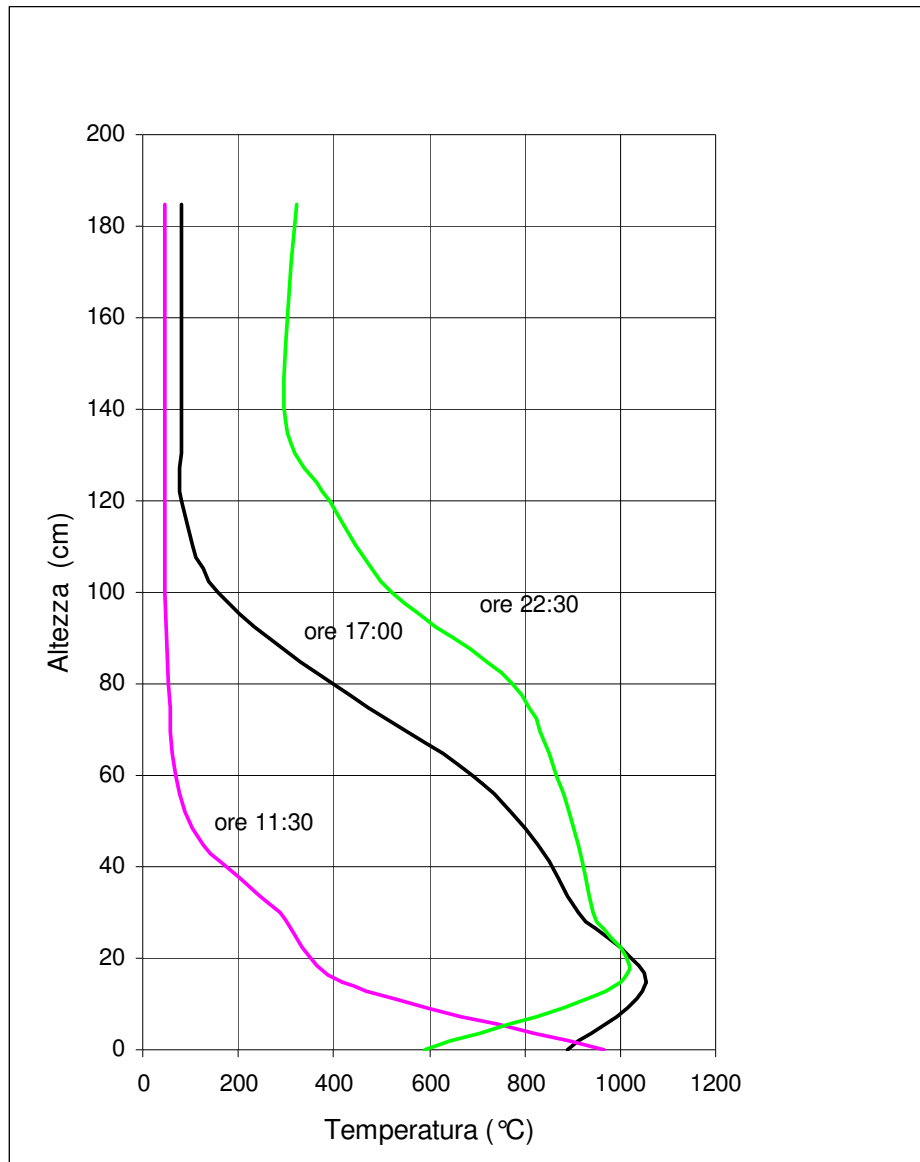


Figura 3. andamento delle temperature lungo l'altezza del gassificatore

Nella prova successiva relativa al 14/04/2011, l'elettrofiltro, dopo aver funzionato per un breve periodo dalle ore 11:23 alle ore 11:50, viene riaccessato alle 17:45 in cui si ha la concentrazione corretta di ossigeno. Esso rimarrà acceso sino alle ore 18:23 momento in cui si avrà una breve interruzione nel funzionamento a causa dell'inserimento della sicurezza. Il funzionamento sarà però ripreso immediatamente e continuerà a funzionare sino alle ore 19:10. Da questo momento si ha un funzionamento della sezione molto discontinuo a causa dello sporcamento degli analizzatori di ossigeno che verranno disinseriti e puliti. Per valutare l'efficienza di abbattimento dell'elettrofiltro si è utilizzato un opacimetro portatile dell'ENEA. Poiché dalle

prime analisi è risultato che le polveri presenti nel syngas all'uscita del gassificatore venivano in gran parte abbattute nei lavaggi dello scrubber e del primo stadio di desolforazione si è deciso di interrompere il ricircolo allo scrubber fermando la pompa CX002 e di svuotare il serbatoio dello scrubber AC002 sino a portarne il livello al 30%; inoltre di svuotare anche il serbatoio AC003 del primo stadio di desolforazione al 30% di riempimento. Tale decisione ha comportato di valutare meglio il funzionamento dell'elettrofiltro con un syngas più sporco, come contro indicazione però ha sporcato più rapidamente i filtri sui misuratori di ossigeno e dalle 20:09 in poi a causa del loro malfunzionamento si è interrotto il funzionamento dell'elettrofiltro.

Nei grafici 4 e 5 si riporta l'andamento della differenza di potenziale e della corrente nell'elettrofiltro.

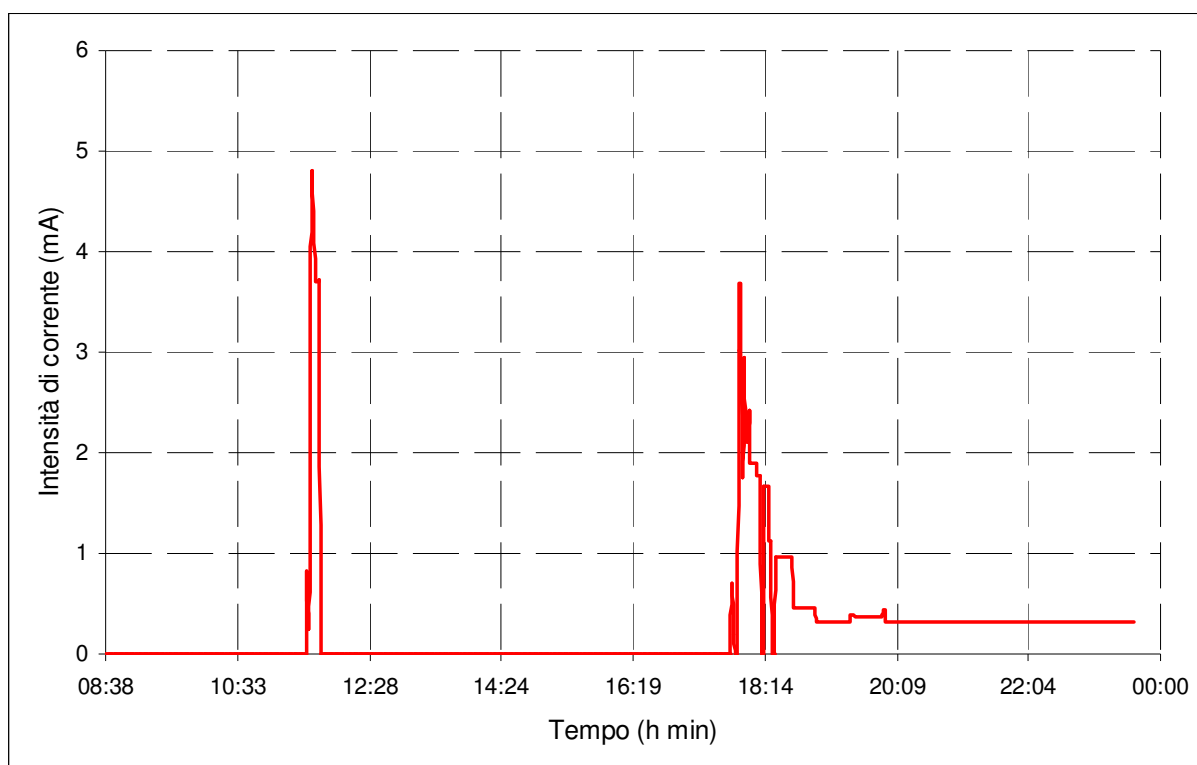


Figura 4: andamento della corrente nell'elettrofiltro nella prova del 14/04/2011

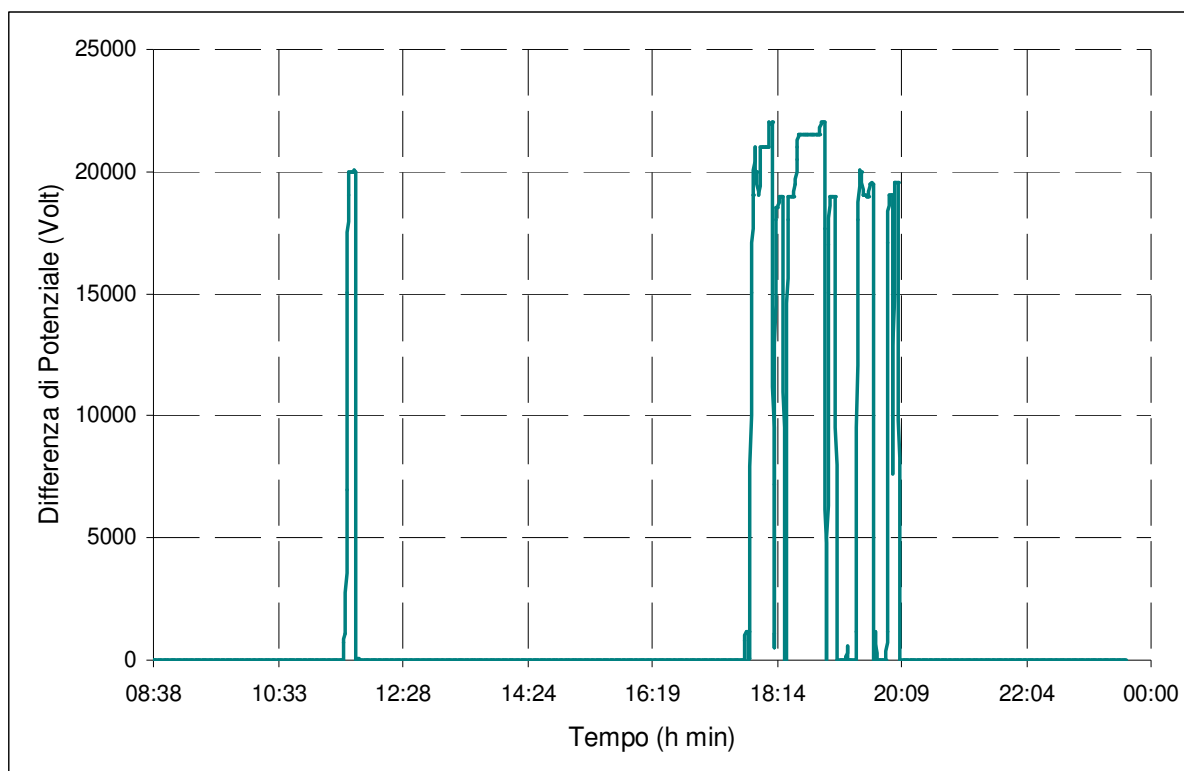


Figura 5: andamento della tensione nell'elettrofiltro nella prova del 14/04/2011

Dalla figura 5 si nota come la differenza di potenziale è stata regolata ad un valori tra i 19 kV e 22 kV. Tali valori sono riportati sul manuale per ottenere una depolverazione ottimale e per non mandare il sistema in “fault”. Infatti se l'elettrofiltro genera un numero di scariche (archi fra gli elettrodi) pari o superiore ad 8 scariche in 20 secondi il quadro di gestione è programmato per togliere la tensione all'elettrofiltro ed inviare il messaggio di fault sul quadro stesso. A questo punto è necessario rifare l'intera procedura di accensione dell'elettrofiltro.

Gli archi elettrici o scariche elettriche fra gli elettrodi dell'elettrofiltro sono dovute alla ionizzazione del syngas conseguenza della rottura del dielettrico (syngas inizialmente neutro) perché sottoposto ad una differenza di potenziale sufficientemente elevata. Dunque quando l'elettrofiltro genera un numero di scariche (vicino alle 8 scariche in 20 secondi) è necessario diminuire la differenza di potenziale fra gli elettrodi. Il numero di scariche non è registrabile tramite il sistema di regolazione e controllo poiché esse avvengono più rapidamente del tempo di trasmissione e di rilevazione del segnale.

Nell'ultima prova del 01/06/2011 l'elettrofiltro ha funzionato per 5 ore quasi il doppio rispetto alle precedenti prove, ciò è dovuto al preriscaldamento dell'aria inviata al gassificatore (le settimane

precedenti la prova è stato inserito uno scambiatore a resistenze elettriche per riscaldare gli agenti gassificanti) e alla sua conseguente maggiore reattività (la concentrazione dell'ossigeno nel syngas si è mantenuta bassa durante quasi tutta la prova). Riportiamo di seguito grafici dell'andamento della Tensione e dell'intensità di corrente:

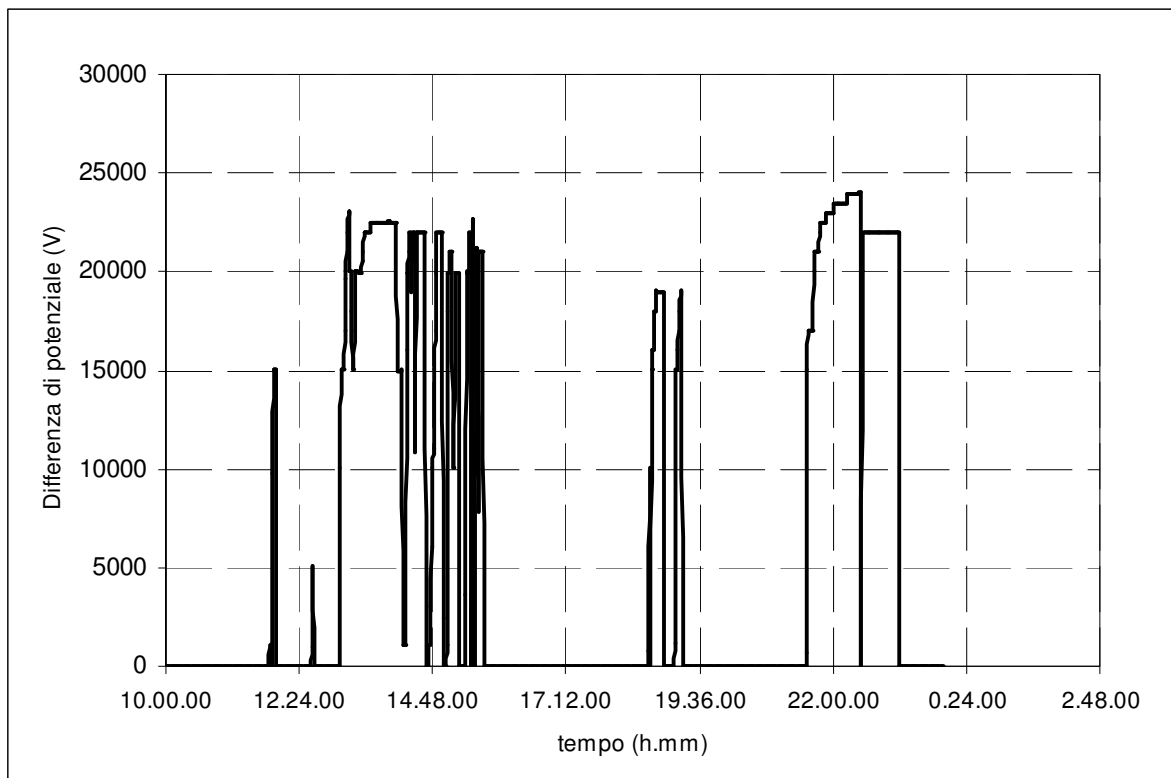


Figura 5. Andamento della differenza di potenziale nell'elettrofiltro nella prova del 01/06/2011.

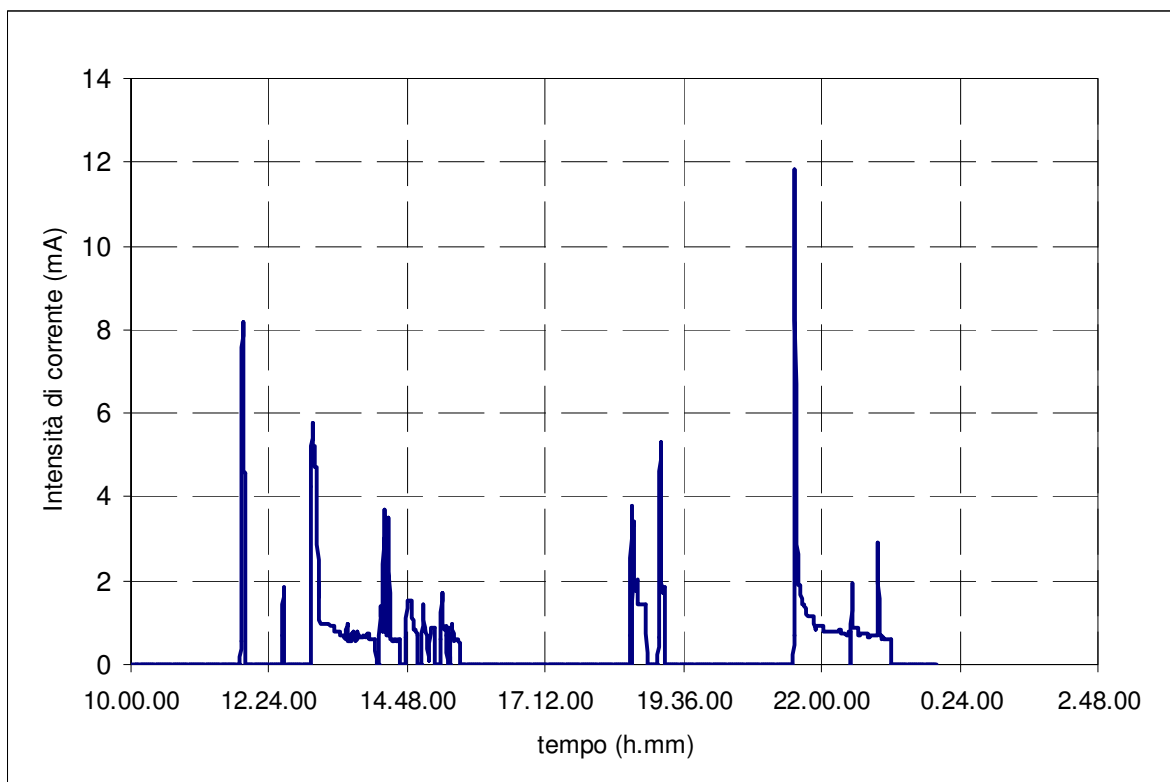


Figura 6. Andamento dell'intensità di corrente nell'elettrofiltro nella prova del 01/06/2011

Dal grafico di figura 6 si nota che anche in questa prova sperimentale la differenza di potenziale è stata regolata ad un valori tra i 19 kV e 23 kV. L'andamento dell'intensità di corrente è mostrato in figura 5, si rileva come in accensione dell'elettrofiltro l'intensità di corrente raggiunga valori elevati dell'ordine dei 12-6 mA per poi attestarsi a valori di 1 mA – 1.5 mA quando l'elettrofiltro entra in condizioni di “regime” (differenza di tensione 19-23 kV). Inoltre si può verificare come l'intensità di corrente non si mantenga mai costante ma oscilli. Le oscillazioni stanno ad indicare un passaggio di corrente più intenso, esso corrisponde ad un arco elettrico, maggiore è l'oscillazione più intenso è l'arco.

6 Conclusioni finali

Dello skid a freddo la sezione di impianto di maggiore interesse è l'elettrofiltro a umido, la sua gestione è molto difficoltosa a causa dell'alto rischio di esplosività in esso presente. Durante queste campagne sperimentali si è riusciti a gestirlo in condizioni di sicurezza, il suo funzionamento non ha provocato particolari difficoltà, l'unica criticità è stata la difficoltà di controllare l'ossigeno nel syngas a monte dell'elettrofiltro, precisamente nel gassificatore.

I valori di intensità di corrente e di differenza di potenziale corretti da utilizzarsi sono:

1. intensità di corrente: 1-1.5 mA
2. differenza di potenziale 19-23 kV

Al fine di avere più informazioni sull'efficienza di abbattimento delle polveri sarà necessario dotarsi di opacimetri adatti ad effettuare misure a monte e a valle dell'elettrofiltro; inoltre dovrà essere migliorato l'abbattimento delle polveri e delle condense lungo la linea di campionamento syngas dall'impianto ai misuratori di ossigeno, in quanto un loro mal funzionamento blocca il funzionamento dell'elettrofiltro stesso.