



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

## Sperimentazione del sistema di depolverazione elettrostatica del syngas

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



Report RdS/2010/12

## SPERIMENTAZIONE DEL SISTEMA DI DEPOLVERAZIONE ELETTROSTATICA DEL SYNGAS

Fabrizio Tedde, Monica Caboni, 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 CO<sub>2</sub>

Responsabile Tema: Paolo Deiana, ENEA

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

**PROGETTO DI RICERCA CERSE 2<sup>^</sup> ANNUALITA'**

**OR 2: SPERIMENTAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI PULIZIA A  
FREDDO DEL SYNGAS**

**RELAZIONE TECNICA**

**SPERIMENTAZIONE DEL SISTEMA DI DEPOLVERAZIONE  
ELETTROSTATICA DEL SYNGAS**

 <b>SOTACARBO</b> SOCIETÀ TECNOLOGIE AVANZATE CARBONE S.P.A.		<b>PROGETTO DI RICERCA CERSE 2</b>
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	Fabrizio Tedde, Monica Caboni, Gabriele Calì, Paolo Miraglia
	30.09.2010	

## **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 "OR2 – sperimentazione e ottimizzazione degli impianti di gassificazione" sono state previste una serie di attività volte a consentire il funzionamento in sicurezza del sistema di depolverazione ed il successivo svolgimento delle attività sperimentali.

Le modifiche considerate sono necessarie per il raggiungimento degli obiettivi previsti nel AdP Enea- Sotacarbo nella seconda fase della RdS (2009-2010).

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'OR2.

## Indice

<b>Premessa</b> .....	2
<b>1. Introduzione</b> .....	4
<b>2. La sezione di depolverazione dell'impianto pilota Sotacarbo</b> .....	6
<b>3. Problematiche riscontrate</b> .....	8
<b>4. Soluzioni adottate</b> .....	8
4.1 Modifiche al sistema di regolazione e controllo .....	8
4.1.1 Descrizione della logica di sicurezza .....	9
4.1.2 Verifiche post intervento .....	10
4.2 Manutenzione degli analizzatori di ossigeno .....	12
<b>5. Prova sperimentale</b> .....	12
<b>6. Valutazione economica</b> .....	14
<b>7. Tempistiche di realizzazione</b> .....	14

# SISTEMA DI DEPOLVERAZIONE ELETTROSTATICA DEL SYNGAS

## 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 sperimentazioni di cui è oggetto il presente documento sono state effettuate nell'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.

Con riferimento alla figura 2, il syngas proveniente dal gassificatore pilota viene inviato a una unità compatta che è composta da tre differenti colonne: una torre di lavaggio (scrubber) per il raffreddamento del syngas e la prima rimozione di polveri e tar; un primo stadio di desolforazione a freddo (necessario per il funzionamento con carboni ad alto tenore di zolfo), utilizzando una soluzione acquosa di soda; un precipitatore elettrostatico (ESP) per la rimozione delle polveri e del tar residui.

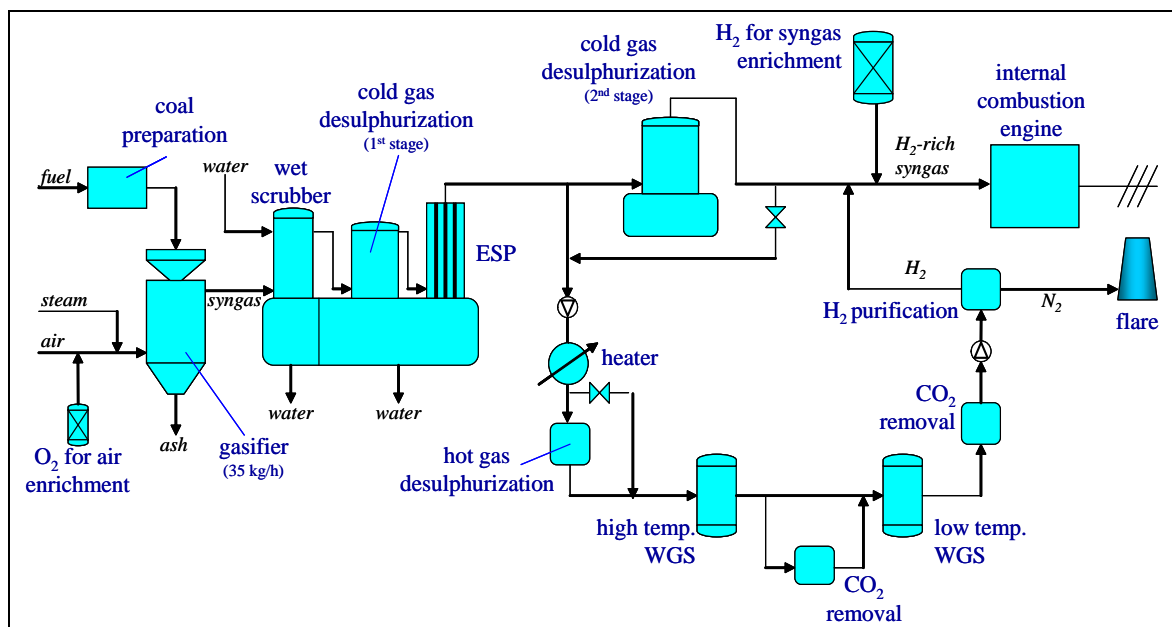


Figura 2 . Schema di flusso semplificato dell'impianto pilota.

A valle del precipitatore elettrostatico, nelle condizioni nominali di funzionamento, il syngas può essere inviato completamente al secondo stadio di desolforazione a freddo, utilizzando una miscela di soda e ipoclorito di sodio in soluzione acquosa e, successivamente, a un motore a combustione interna da circa 24 kW (elettrici) per la produzione di energia elettrica.

Una porzione del syngas prodotto, pari a circa 20-30 Nm<sup>3</sup>/h, può essere inviata, in alternativa, alla linea di trattamento a caldo del syngas per la produzione di idrogeno.

Il presente documento riguarda la valutazione delle problematiche riscontrate durante l'esercizio del sistema di depolverazione, l'individuazione degli interventi volti alla soluzione di tali problematiche, nonché l'analisi delle prove sperimentali effettuate.

## **2. La sezione di depolverazione dell'impianto pilota Sotacarbo**

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 la corrente 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 organo 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 tempi di risposta del sistema di campionamento ed analisi sono tali da garantire la sicurezza nell'utilizzo dell'elettrofiltro dal punto di vista teorico, anche se a riguardo va detto che si sarebbero dovute effettuare delle prove pratiche per valutare i tempi di risposta degli strumenti nelle nuove condizioni di gestione dell'impianto.

La sezione di depolverazione è gestita tramite il sistema di regolazione e controllo a servizio dell'impianto. Si riporta in figura 3 il sinottico relativo all'elettrofiltro nella sua configurazione iniziale (precedente alla modifiche successivamente apportate), nella parte destra del quale si può vedere il blocco di comandi.

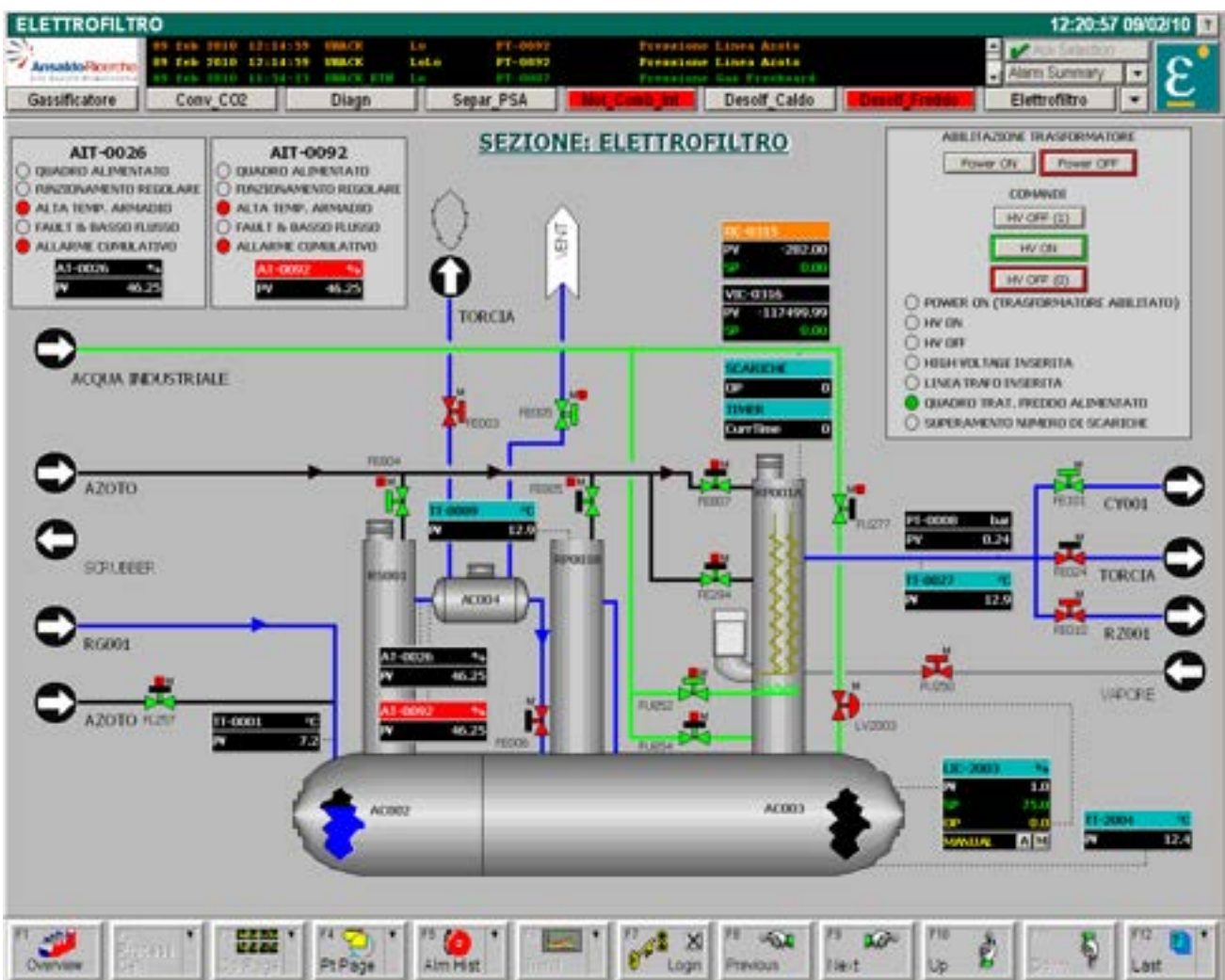


Figura 3 . Sinottico sezione elettrofiltro

Nelle condizioni precedenti agli interventi, di cui si parlerà nel dettaglio nel successivo paragrafo, l'unica sicurezza presente era data da un interblocco che, al superamento del limite di concentrazione di ossigeno impostato, comandava la chiusura della valvola FE006 posta in uscita dallo scrubber, impedendo l'alimentazione del syngas all'elettrofiltro.

### **3. Problematiche riscontrate**

La presenza di gas esplosivi nel syngas ha fatto ritenere opportuno l'inserimento di una sequenza di intervento nel sistema di regolazione e controllo, automatica e indipendente dall'operatore. Per l'inserimento della sequenza automatica è stato necessario apportare al sistema di regolazione e controllo alcune modifiche che hanno lo scopo di interrompere l'alimentazione elettrica dell'apparecchiatura e di mettere in sicurezza la stessa, in caso di superamento del limite di concentrazione di ossigeno nel syngas. Relativamente al sistema di analisi O<sub>2</sub>, durante la prova sperimentale del 17/12/2009, è stato riscontrato un malfunzionamento sugli analizzatori (AIT-0026 e AIT-0092). La concentrazione rilevata dagli stessi, infatti, non corrispondeva a quella presente nel syngas (misurata dal gas-cromatografo) ma era, invece, molto simile a quella caratteristica dell'aria.

### **4. Soluzioni adottate**

#### 4.1 Modifiche al sistema di regolazione e controllo

In base alle modifiche apportate al sistema di regolazione e controllo, quando almeno uno dei due analizzatori di ossigeno a servizio dell'elettrofiltro rileva una concentrazione superiore al valore impostato (pari all'1%), il sistema avvia in automatico la seguente sequenza:

1. disabilitare l'alimentazione dell'elettrofiltro;
2. aprire la valvola FE003 (di invio del syngas a torcia);
3. chiudere la valvola FE006 (di mandata del syngas alla sezione);
4. aprire la valvola FE807 (di invio azoto all'elettrofiltro);
5. aprire la valvola FE294 (di invio azoto all'elettrofiltro).

Tale sequenza può essere inserita o disinserita dall'operatore mediante appositi comandi a schermo, così come mostrato in figura 4.

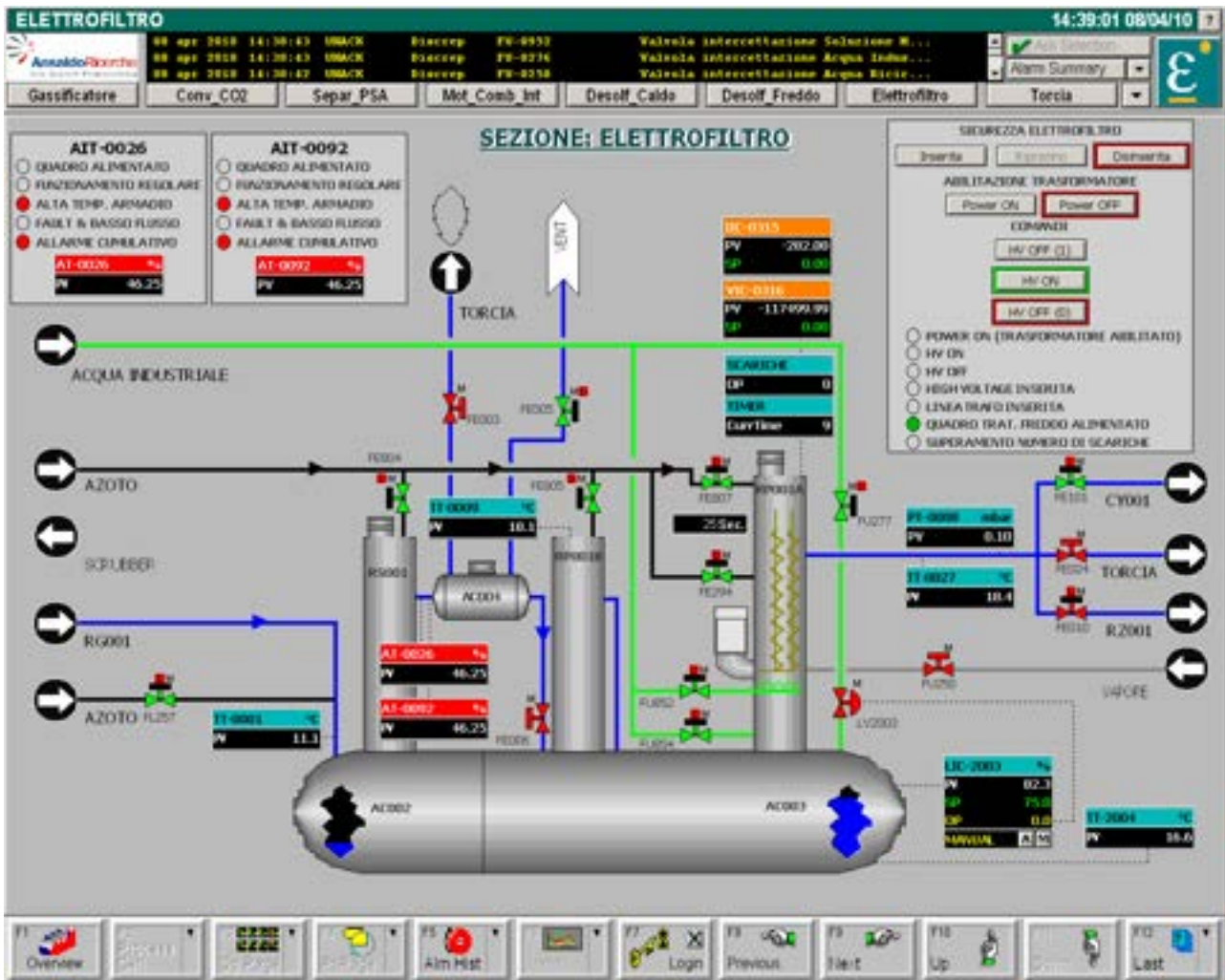


Figura 4. Sinottico sezione elettrofiltro modificata

In figura si possono vedere 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.

#### 4.1.1 Descrizione della logica di sicurezza

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 O<sub>2</sub> 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 *Rirpistino*, 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.

#### 4.1.2 Verifiche post intervento

Nel mese di luglio sono state effettuate una serie di verifiche riguardanti la coerenza tra i segnali provenienti da campo e quelli rilevati dal sistema di controllo. Tali prove hanno riguardato i seguenti stati e comandi:

- comando HVON;
- comando HVOFF;
- comando Power On;
- stato linea trafo alimentato;
- stato HVON Elettrofiltro;
- stato HVOFF;
- stato HVINSERITA;
- stato Linea Trafo Inserita;
- numero scariche Elettrofiltro.

Tutte le verifiche sopra descritte hanno dato esito positivo.

In vista della prova sperimentale prevista per il mese di settembre, il 20/09/2010 è stata effettuata una prova di funzionamento a freddo dell'elettrofiltro utilizzando una corrente di azoto, in modo tale da testare sia il funzionamento dello stesso che la procedura di accensione. Tale procedura prevede i seguenti passaggi:

- chiusura dell'interruttore 4Q2C (sigla da schema elettrico) su quadro trattamento a freddo ACTEA e verifica dell'abilitazione del segnale "Linea Trafo inserita" al 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 2Q2C (sigla da schema elettrico) posto su quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori;
- abilitazione del pulsante Control Power On dal trasformatore sul quadro elettrico gestione trasformatore presente nel box compressori e verifica dell'abilitazione del segnale "Power ON" al sistema di controllo;
- abilitazione del pulsante Power ON da sala controllo;
- posizionare il commutatore blocco trasformatore dalla posizione 1 (blocco attivo) alla posizione 0 (blocco disattivo) per abilitare l'elettrofiltro al funzionamento;
- abilitazione del 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 per funzionare ma non può generare ancora fra i suoi elettrodi nessuna tensione, i valori di corrente e tensione sono nulli. Per fare ciò si dovranno effettuare gli ulteriori passaggi sotto descritti:

- verificare che i valori di concentrazione di ossigeno nel syngas, rilevati dagli analizzatori AIT0026 e AIT0092 siano entrambi inferiori al 1%;
- apertura della valvola FE015 invio del syngas a torcia dopo l'elettrofiltro;
- apertura della valvola FE006 invio del syngas all'elettrofiltro;
- chiusura della valvola FE003 invio del syngas a torcia prima dell'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 in 6 secondi;
- 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 scomparsa delle scariche. Nel caso l'elettrofiltro andasse in fault interrompere il passaggio del syngas all'elettrofiltro e ripetere la procedura di accensione.

#### 4.2 Manutenzione degli analizzatori di ossigeno

In seguito al malfunzionamento degli analizzatori rilevato durante la prova sperimentale del 17/12/2009, gli stessi sono stati sottoposti ad interventi di manutenzione ordinaria. Da un'analisi delle problematiche riscontrate è scaturita la necessità di effettuare i seguenti ulteriori interventi:

- sostituzione della pompa di aspirazione del campione di syngas in entrambi gli analizzatori;
- pulizia delle elettrovalvole di ingresso syngas agli analizzatori a causa di deposito di tar all'interno;
- verifica complessiva del sistema di adduzione syngas dall'impianto fino all'analizzatore (OXIMAT 61).

Successivamente a tali interventi è stata effettuata una prova di funzionamento degli analizzatori utilizzando la miscela di taratura (3.2% O<sub>2</sub> – 93.8% N<sub>2</sub>). Uno dei due analizzatori ha fornito una risposta corretta, anche se in tempi valutati troppo lunghi, il secondo non è stato in grado di effettuare la misura correttamente.

Da quanto rilevato durante le suddette analisi e da quanto valutato dal fornitore del sistema di misura (Fer Strumenti), è scaturita la necessità di inviare lo strumento (OXIMAT 61) alla ditta produttrice (Siemens), i tempi necessari per tale intervento non consentono una risoluzione del problema entro il mese di settembre p.v..

### **5. Prova sperimentale**

In data 23/09/2010, sull'impianto pilota Sotacarbo, è stata effettuata una prova sperimentale dedicata alla valutazione del sistema di depolverazione e alla regolazione dei parametri caratteristici dell'elettrofiltro. In tale prova si è deciso di produrre nel gassificatore un gas simile a quello presente nei gas di combustione al fine di non avere problemi di esplosività, cioè un gas con concentrazioni di CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub> quasi nulle. Tale prova non è, però, andata a buon fine a causa del non corretto funzionamento del gas-cromatografo. Le analisi fornite dallo strumento non sono



risultate attendibili, in tal modo sono venute meno le condizioni minime di sicurezza necessarie alla conduzione della prova.

Si riportano di seguito due cromatogrammi, il primo (figura 5) è relativo al normale funzionamento dello strumento e consente di calcolare un valore corretto della concentrazione di  $H_2$ , il secondo (figura 6), riporta uno dei cromatogrammi tracciati dallo strumento durante la prova del 23/09/2010. Osservando la figura 6 appare evidente un'anomalia nel picco relativo all'idrogeno, tale anomalia ha come conseguenza un errore nell'integrazione dell'area sottesa dal picco e quindi nella valutazione del valore di concentrazione di tale elemento.

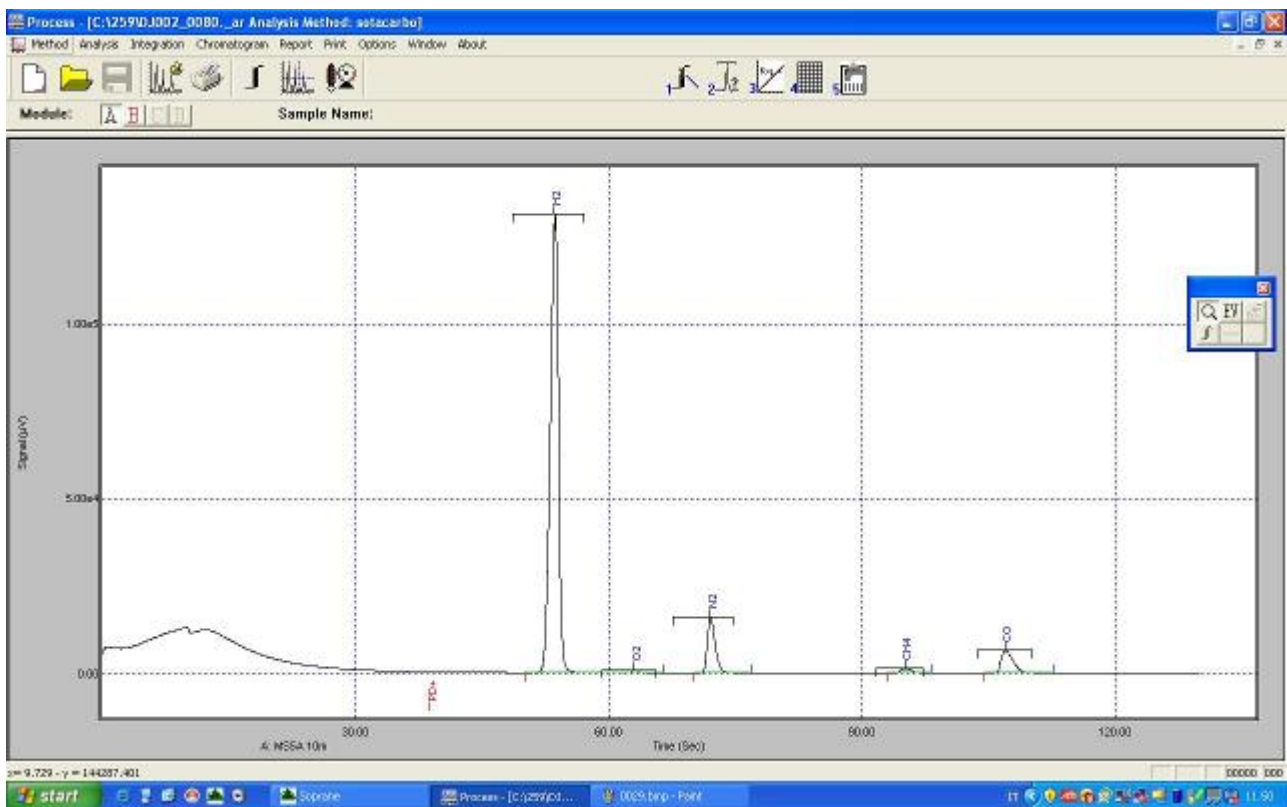


Figura 5 . Cromatogramma corretto

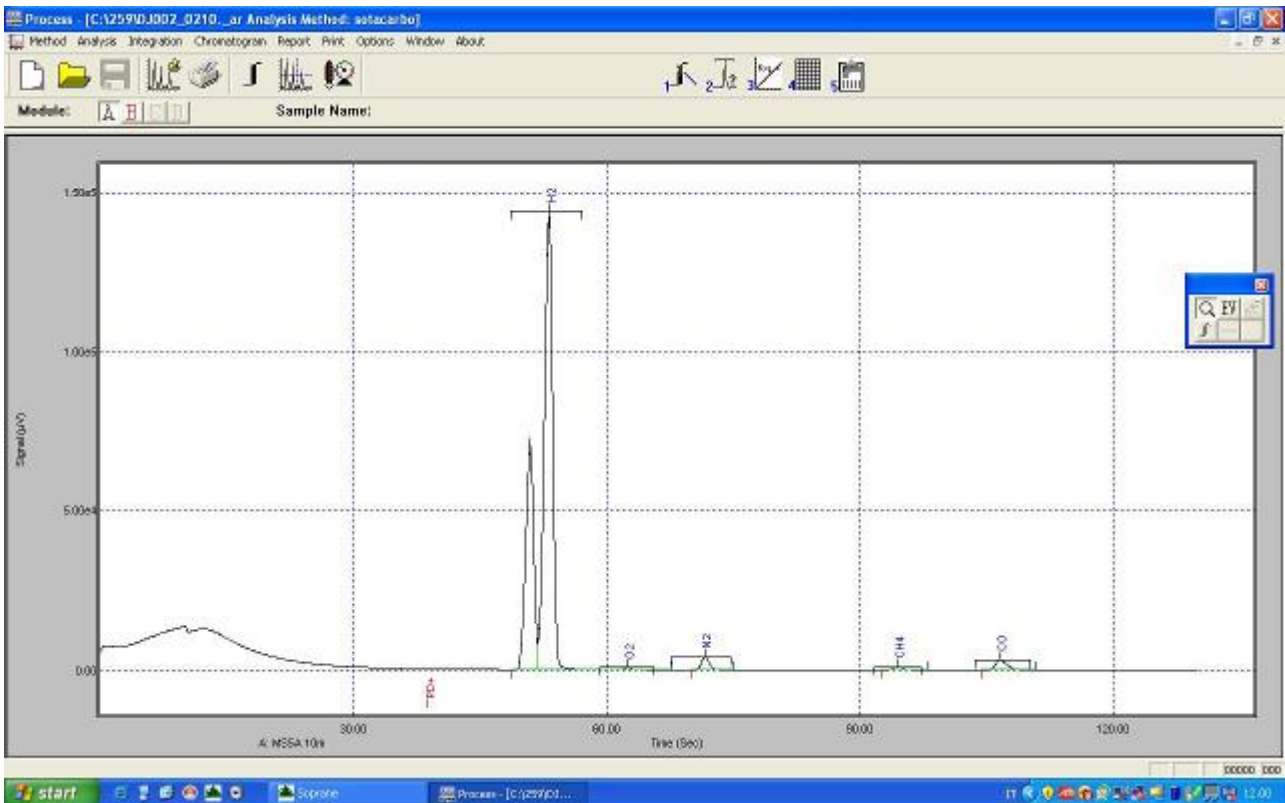


Figura 6 . Cromatogramma anomalo

Durante la prova sperimentale i tecnici ENEA hanno effettuato una misura delle polveri presenti nel gas in ingresso all'elettrofiltro; al momento dell'analisi il gassificatore si trovava in condizioni di combustione.

## 6. Valutazione economica

Per effettuare le modifiche sopra descritte al sistema di regolazione e controllo a servizio dell'impianto pilota è stato emesso in data 15/02/2010 l'ordine n. 12/2010 a favore della ditta Eurotherm Srl.

## 7. Tempistiche di realizzazione

L'intervento in oggetto è stato realizzato tra le giornate del 30 e 31 marzo 2010 dal tecnico inviato dalla società Eurotherm Srl realizzatrice del SRC.

Le prove funzionali e sperimentali effettuate sulla sezione di depolverazione sono state concluse il 23/09/2010.