



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Test ed analisi su combustore semi-industriale per lo sviluppo di metodologie diagnostiche ottiche avanzate per il controllo della ossi-combustione di carbone.

Parte 1: Campagna di misure

Parte 2: Analisi e sviluppo di metodologie diagnostiche

Romano Bruschi (EN.SY.EN srl)



Test ed analisi su combustore semi-industriale per lo sviluppo di metodologie diagnostiche ottiche avanzate per il controllo della ossi-combustione di carbone.

Parte 1: Campagna di misure

Parte 2: Analisi e sviluppo di metodologie diagnostiche

Romano Bruschi (EN.SY.EN. srl)

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: 2.2 – Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, cattura e sequestro della CO₂

Responsabile Progetto: Antonio Calabrò, ENEA

SOMMARIO

Nel presente report vengono riportati sia i risultati delle attività svolte sull'impianto FOSPER, impianto di scala semi-industriale, sito presso il Centro Ricerca ENEL, che le analisi a fine diagnostico effettuate su questi. La matrice sperimentale delle campagne di acquisizione è stata definita con il supporto dell'IFRF ed è finalizzata allo studio dei comportamenti dinamici del processo ossi-combustivo con alimentazione a metano, potenza termica 2.7 Mwt. Il setup strumentale prevede l'uso del sistema Enea ODC, per diagnostica ottica della combustione, e della strumentazione Enea Elpy ed Airsense, per l'analisi dei fumi (particolato e chimica).



Figura 1 a, Sistema ODC in sala controllo; b, furgone Enea con i sistemi Elpy e Airsense



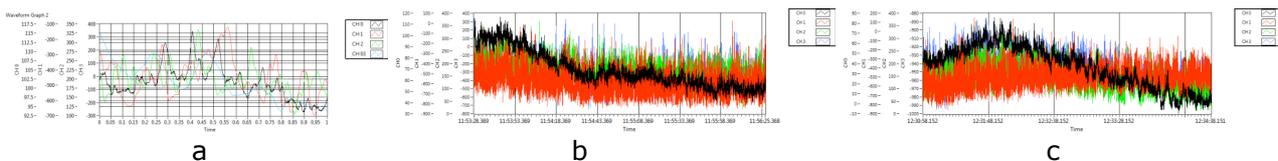
Figura 2 Nelle foto a, particolare sonda ODC. Foto b e c sono riportati i punti di accesso per le sonde ODC. Foto b sono bocchelli radiali, foto c è il bocchello per l'osservazione assiale-frontale

Sono state effettuate misure:

- in condizioni di processo diffusivo, oxy e durante il transitorio diffusivo-oxy.
- e a diversa concentrazione di ossigeno nei fumi: da 0% al 6 - 7 %

Per disporre di una stima sulla variabilità (per confronto) delle emissioni radiative nelle varie condizioni del processo è stata effettuata una sola impostazione della compensazione off-set dell'apparato ODC, impostazione che è stata mantenuta per tutta la campagna di misure. Inoltre, per avere una stima dell'emissione radiativa delle pareti è stata effettuata una misura subito dopo uno spegnimento accidentale del forno.

Le sonde sono state disposte tre radialmente al processo ed una assial-frontale. Questo ha permesso di rilevare non solo la dinamica della processo, ma anche la variazione della posizione di fiamma, durante le variazioni delle condizioni processo.



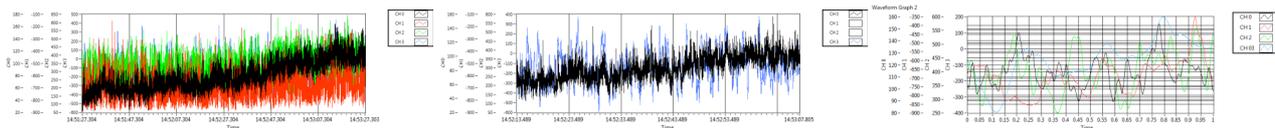
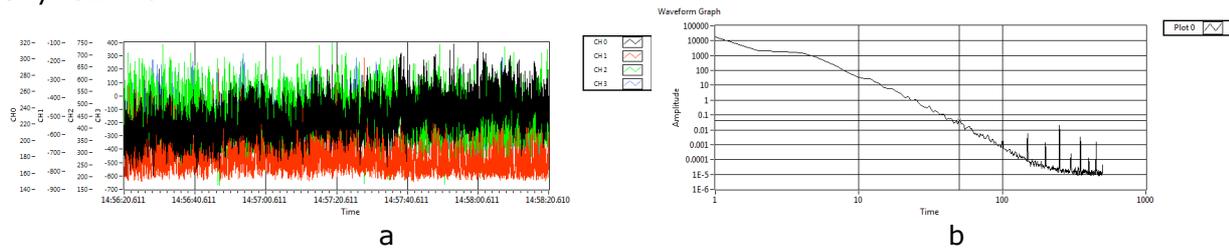


Figura 3 Transitorio da diffusivo ad oxy, O2 nei fumi dal 3.8 a 7%

Interessante è notare come il sistema ODC, tramite la sonda nella portina 2, rilevi anche il trend termico del bruciatore quando si passa dal 3.5 al 6-7 % di O2: la miscela è più reattiva, la fiamma retrocede e tende ad attaccarsi al bruciatore (condizione di pericolo). Interessante è anche vedere la sensibilità del sistema ottico a rilevare la differenza dinamica del processo oxy passando da una concentrazione del 7 allo 0.2 % di O2.

Oxy o2 7%



Oxy o2 0.2%

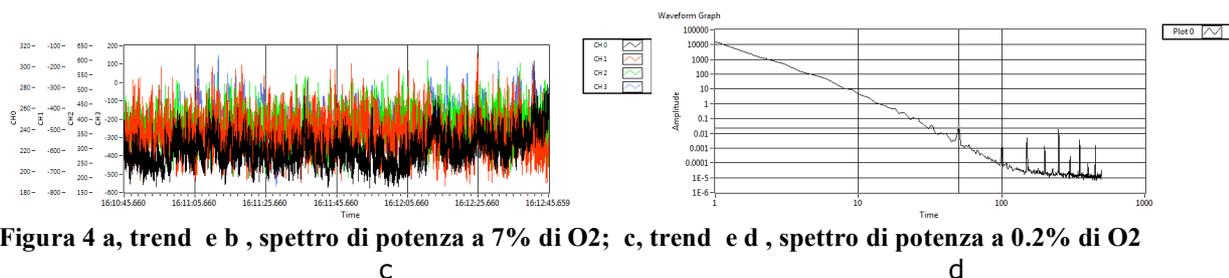


Figura 4 a, trend e b , spettro di potenza a 7% di O2; c, trend e d , spettro di potenza a 0.2% di O2

Questo evidenzia come il sistema monitorando il processo ha sensibilità diagnostica alle variazioni della concentrazione di ossigeno.

Nel report vengono messi a confronto i trend dell'ODC con quelli acquisiti dal controllo di processo e dagli altri sistemi, Elpy e Airsense, che analizzano i fumi. Questo confronto viene, necessariamente, effettuato per stimare la consistenza e la sensibilità del sistema ODC alle possibili variazioni di processo.

1. Sintesi descrittiva dell'impianto FOSPER

Questo impianto è situato presso il centro sperimentale dell' ENEL di Livorno. E' un forno di scala semi-industriale (3 MWat termici) e per questo si presta ottimamente a sperimentazioni particolari fortemente dipendenti dalla dimensione e dagli apparati di supporto al processo di impianto.

Le sperimentazioni in atto hanno la finalità di testare l'efficienza di processi combustivi di tipo oxy utilizzando combustibili fossili solidi, come il polverino di carbone. Fase preliminare a queste esperienze è verificare la funzionalità dell'impianto nel gestire comunque un processo di ossi-combustione e contemporaneamente di mettere a punto strumentazioni e metodologie diagnostiche innovative.



Figura 5 Fianco del forno FOSPER su cui sono disponibili i bocchelli per effettuare osservazioni dirette in camera di combustione

2. La campagna di acquisizione dati

La campagna sarà effettuata acquisendo informazioni, di tipo ottico, direttamente dalla fornace. Il sistema di acquisizione è un ODC, un sistema che utilizza particolari sonde ottiche capaci di essere esposte direttamente alle elevate temperature della camera di combustione. Di interesse sarà acquisire le condizioni di emissione radiativa negli stati stazionari e transitori dei processi combustivi di tipo diffusivo e oxy. Il tipo di informazione che si otterrà da questa campagna permetterà di conoscere, senza particolare intrusioni, la dislocazione della fiamma, la sua estensione e la fluidodinamica associata. Le condizioni imposte al forno sono state:

- raggiungimento di una condizione di combustione diffusiva stabile
- transitorio verso l'ossi-combustione
- variazione della concentrazione di ossigeno andando da una percentuale normale del 3% verso il 7-8% per poi scendere a valori prossimi a 0% cercando di raggiungere il punto di fumo
- ritorno alla combustione diffusiva e spegnimento.

3. Il setup strumentale

Come già accennato viene utilizzato un sistema ODC con quattro sonde ad alta temperatura, (per le caratteristiche tecniche del sistema ODC si rimanda alla documentazione Enea). Queste sonde sono state inserite nei bocchelli di osservazione come segue:

Canale ODC	Portina FOSPER
CH0	P2
CH2	P5
CH1	P7
CH3	Fondo combustore, vista assiale



Figura 6 Sonda ad alta temperatura (zaffiro) con relativo cavo in fibra ottica corazzata



Figura 7 Bocchelli dedicati alle sonde ODC, cerchiati in rosso

La dislocazione delle sonde deve tener conto anche di una limitazione funzionale del sistema di acquisizione: per ottenere il massimo delle prestazioni dinamiche è necessario compensare la componente continua data dal fondo luminoso delle pareti. Attualmente sono disponibili solo due generatori, pertanto i due segnali devono gestire una coppia di canali ODC. Questo implica che non è possibile far lavorare le sonde in modo autonomo, l'autonomia è solo tra le due coppie.

4. Analisi dei dati

Misura 2: 21-09-2011-11-53-27.368.tdms

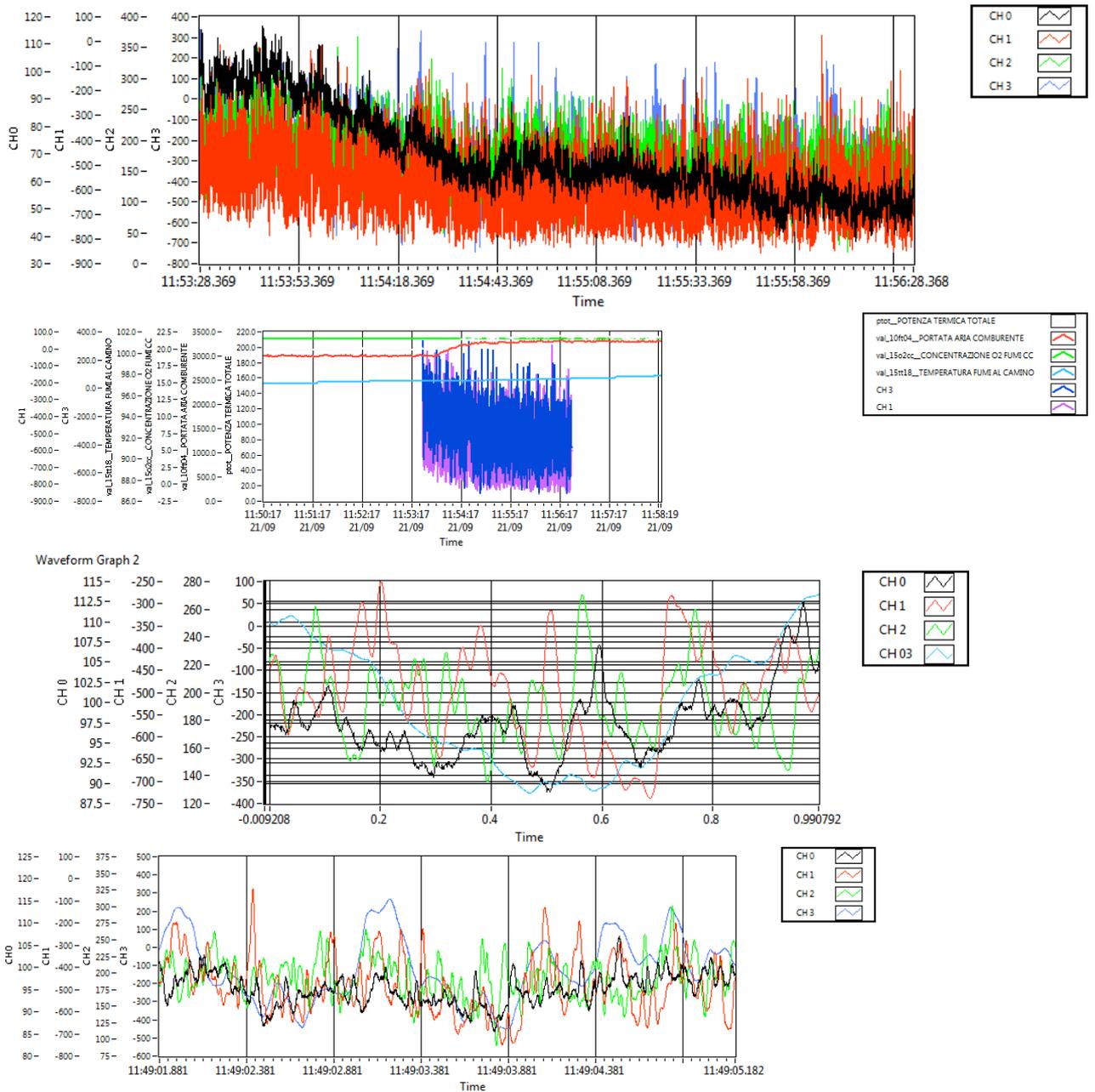
Tipo di combustione: diffusivo

Combustibile: Metano

no ossigeno su aria prim e sec

no ricircolo gas combusti

transitorio % O2 1.8 > 3.1



Osservazioni analitiche: la sonda CH3 con vista assial-frontale vede un pendolamento sostenuto. CH0 prossima al bruciatore vede un segnale minore poichè la fiamma a causa dell'aumento della portata d'aria comburente si allontana.

Misura 4: 21-09-2011-12-00-09.421.tdms

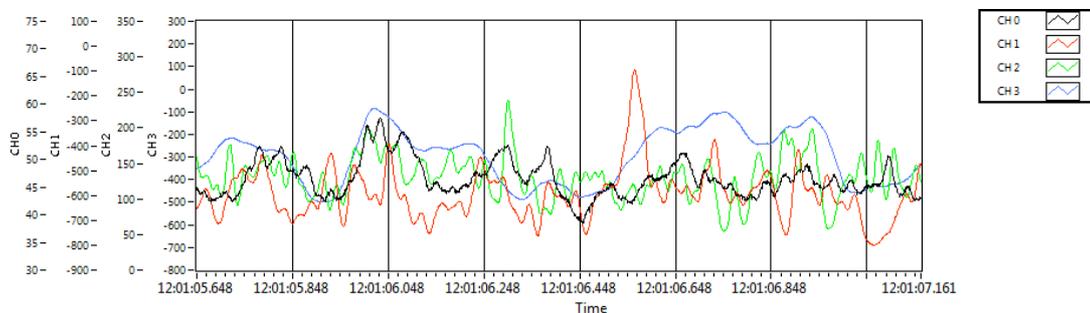
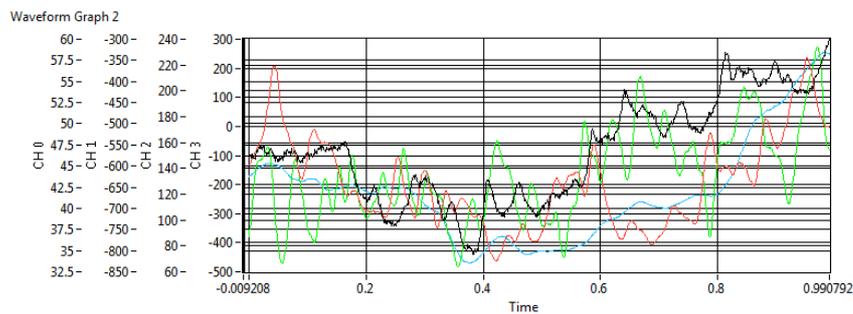
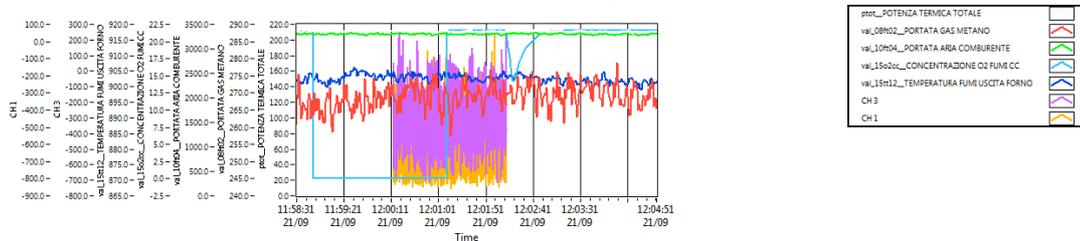
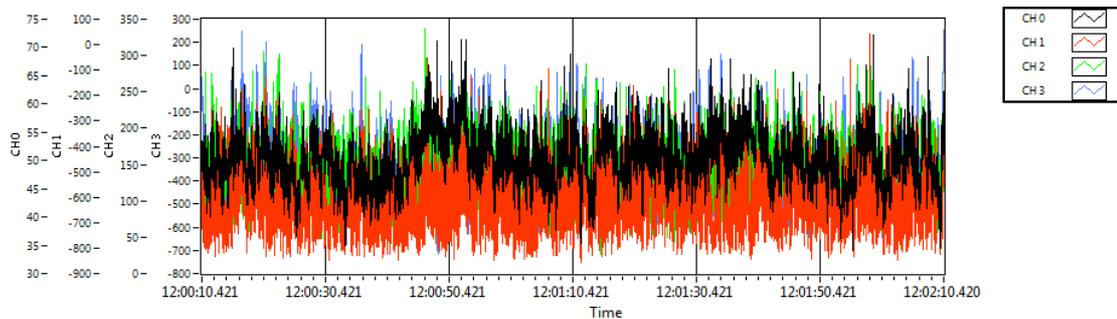
Tipo di combustione: diffusivo

Combustibile: Metano

no ossigeno su aria prim e sec

no ricircolo gas combusti

% O₂ 3.4 stazionario

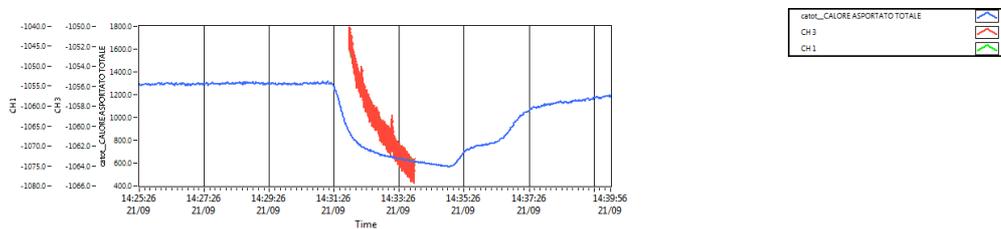
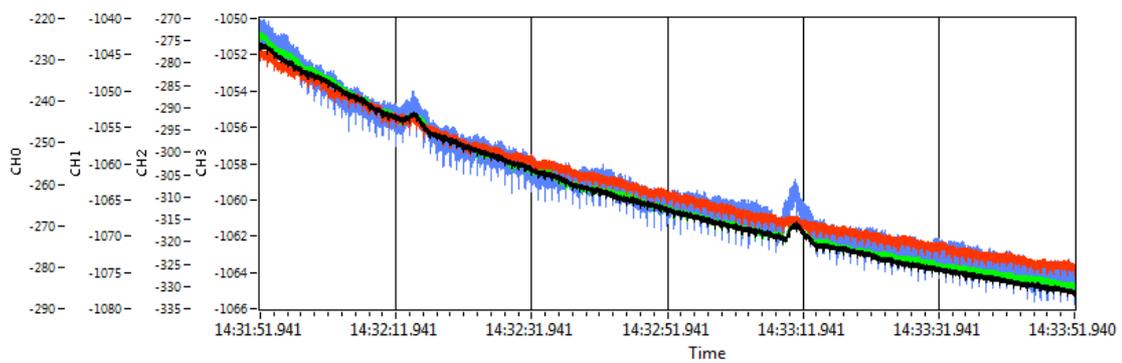


Osservazioni analitiche:

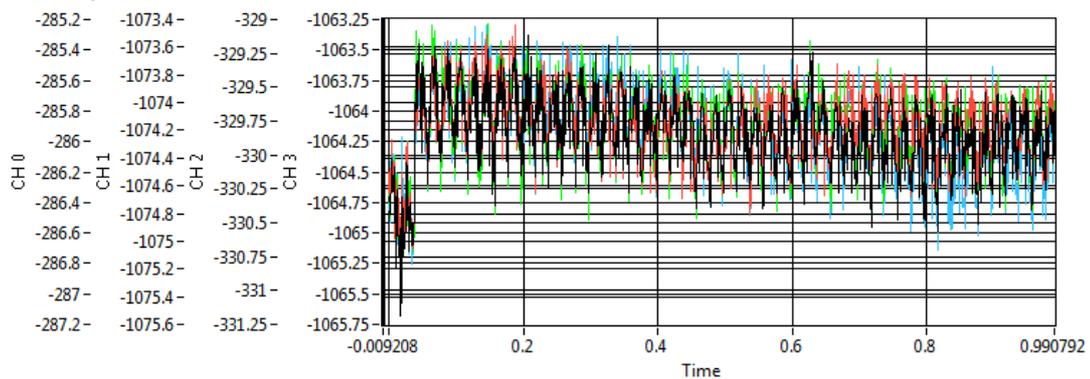
La sonda CH3 continua a vedere il pendolamento. I segnali prodotti dalle sonde rilevano comunque lo stato di stazionarietà.

Misura 12: 21-09-2011-14-31-50.940.tdms

forno spento
misura di fondo



Waveform Graph 2

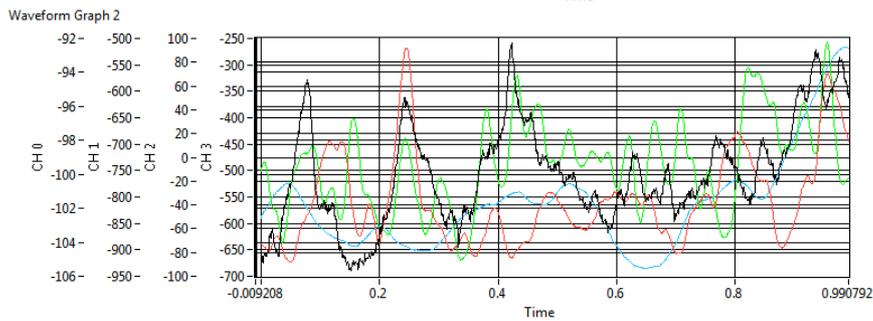
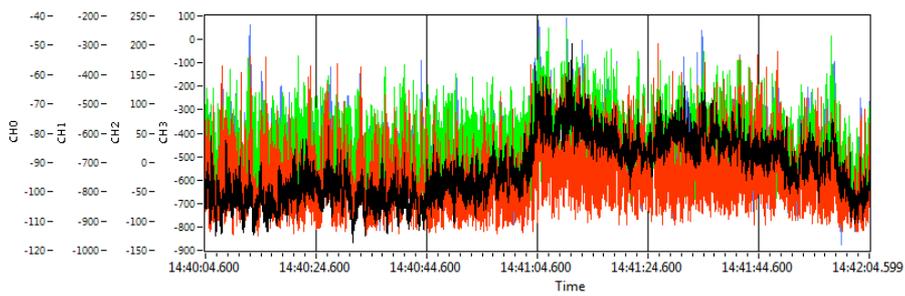
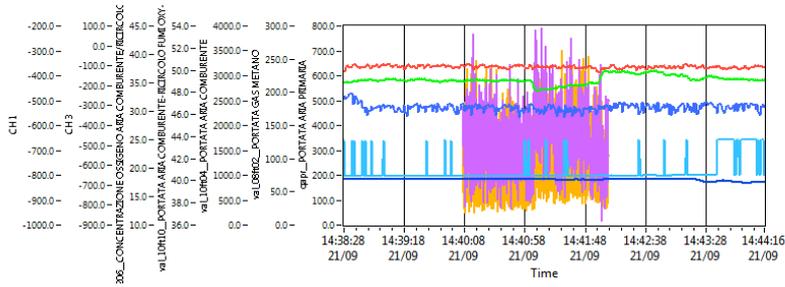


Osservazioni analitiche

Il forno è spento, gli andamenti delle sonde CH1 e CH3 seguono il decadimento termico: l'intensità del segnale si riduce proporzionalmente alla quantità di calore asportato .

Misura 14: 21-09-2011-14-40-03.599.tdms

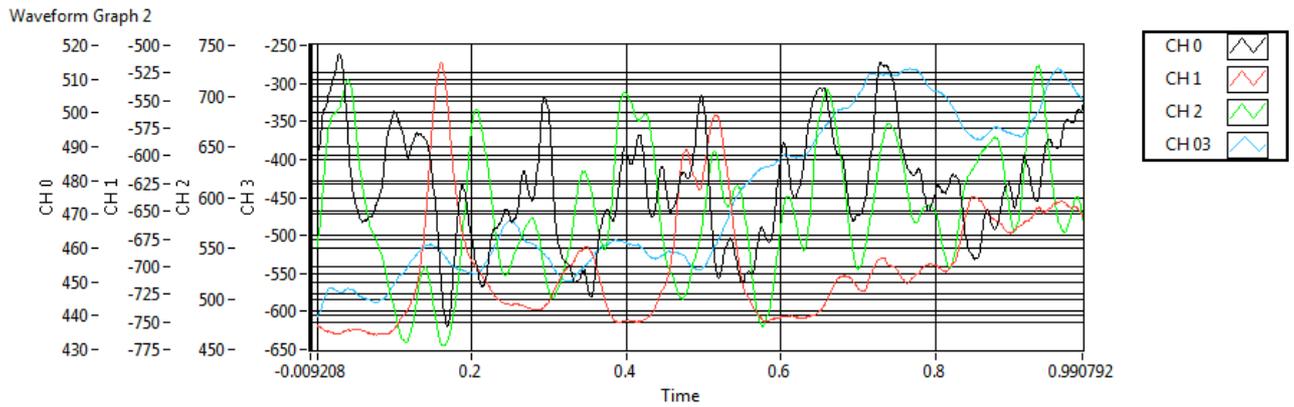
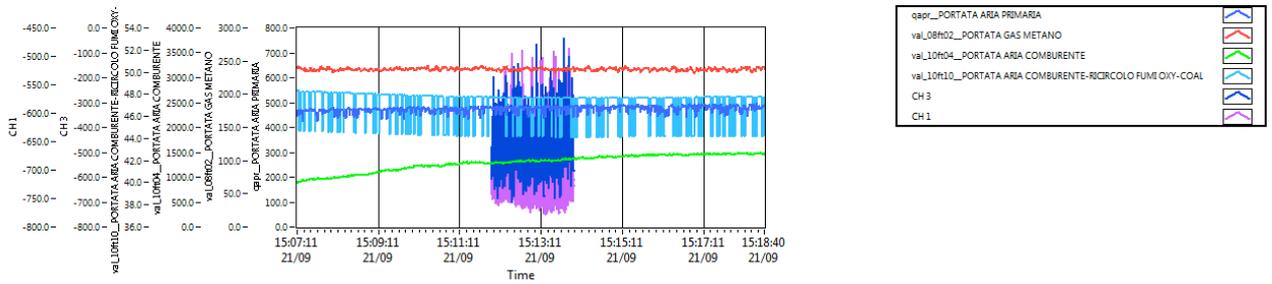
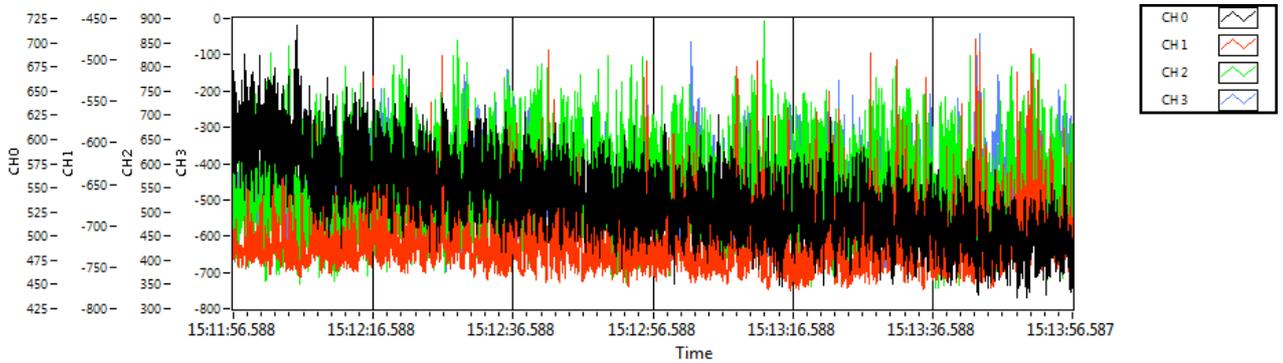
transitorio verso oxy



Osservazioni analitiche

Tutte le sonde rilevano la variazione in atto

Misura 19: 21-09-2011-15-11-55.587.tdms
condizione oxy
transitorio verso il 3% di O2

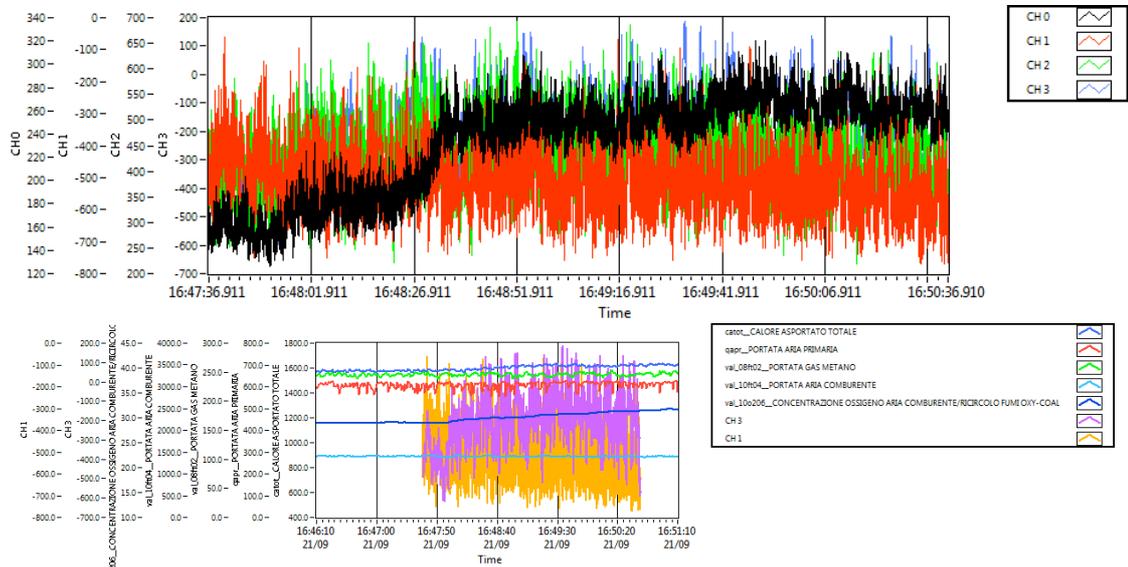


Osservazioni analitiche
La variazione viene percepita solo dalla sonda CH0 (deformazione della fiamma)

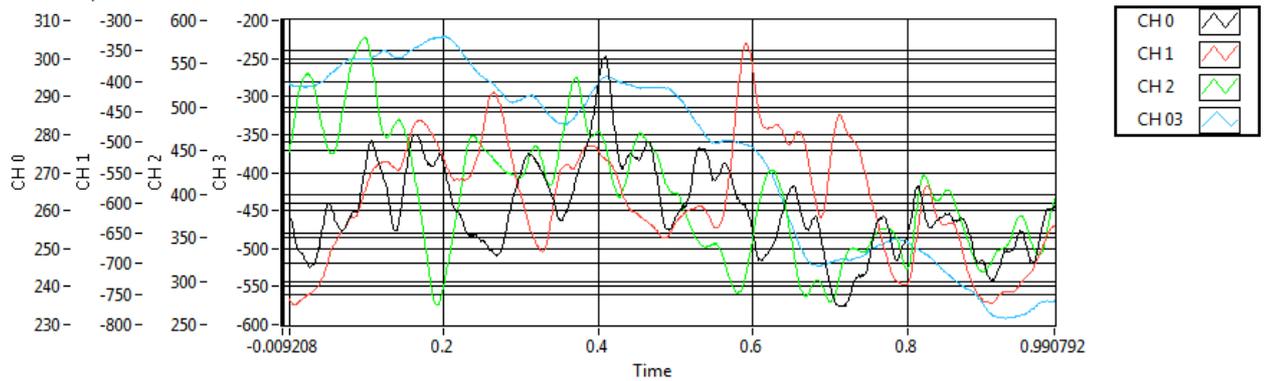
Misura 23: 21-09-2011-16-47-35.910.tdms

Condizione oxy

transitorio verso il punto di fumo O2 0%



Waveform Graph 2



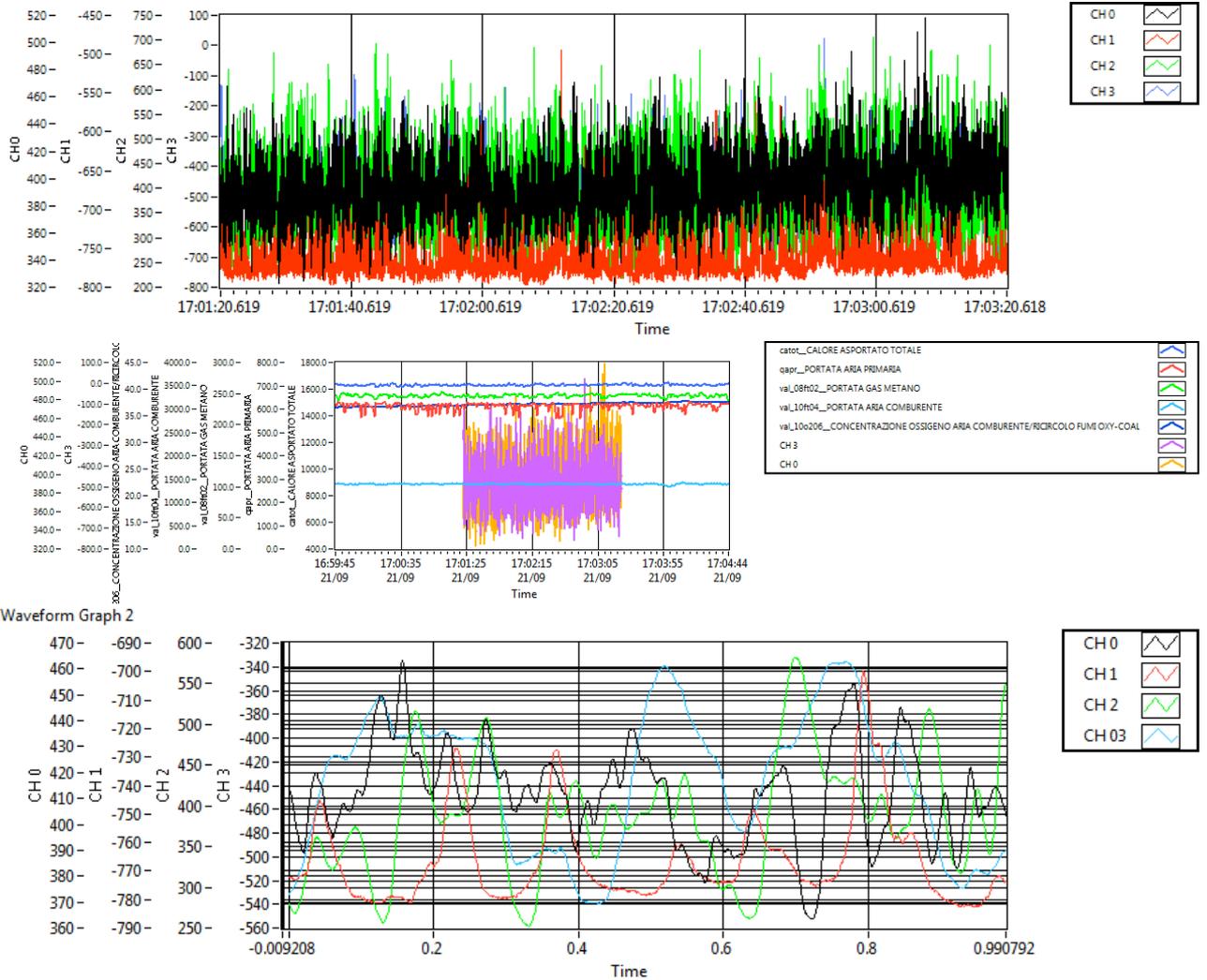
Osservazioni analitiche

Le sonde CH0 e CH3 percepiscono la variazione, la fiamma accorcia

Misura 26: 21-09-2011-17-01-19.618.tdms

Stato combustivo oxy

O2 rimesso al 6%



Osservazioni analitiche

Le sonde CH0 e CH3 sono sensibili alla variazione, si nota un aumento della consistenza luminosa questo implica un aumento della temperatura del bruciatore. Condizione di pericolo.

Conclusioni

Il sistema ODC mostra una discreta sensibilità alle variazioni di stato combustivo e di posizione fiamma. Andrebbero individuate le posizioni più convenienti dal punto di vista informativo.