Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile

Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studio sul processo di devolatilizzazione del carbone Sulcis
Primi risultati

S. Cassani, L. Pagliari, P. Garzone, I. Cassani

Report RdS/2012/179

STUDIO SUL PROCESSO DI DEVOLATILIZZAZIONE DEL CARBONE SULCIS
PRIMI RISULTATI

Cassani Stefano, Pagliari Leandro, Garzone Pietro (ENEA)
Cassani Ivano (Universita' Tor Vergata Roma)

Settembre 2012

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 CO_2

Responsabile del Progetto: Stefano Giammartini, ENEA

INDICE

1 PREMESSA

2 ATTIVITA' DI RICERCA

3 IL CARBONE

3.1 Caratterizzazione del carbone

3.2 La pirolisi

4 PROVE SPERIMENTALI SU IMPIANTO LABORATORIO

4.1 Impianto di riferimento

4.2 Interventi propedeutici

4.3 Procedura sperimentale

4.4 Campagna sperimentale

5 ALLEGATI

PREMESSA

Il carbone oggi rappresenta la fonte energetica fossile maggiormente presente in natura che per i suoi costi di estrazione e per la sua diffusione crea meno problemi a carattere economico e politico.

In uno scenario in cui i prezzi dei combustibili fossili definiti nobili (petrolio, gas naturale) tendono a lievitare continuamente a fronte di una loro non definita giacenza in natura, si rende sempre più necessaria la ricerca in campo energetico rivolta a fonti maggiormente presenti come il carbone, attraverso il quale, mediante processi di trasformazione chimico-fisica, si riesce a produrre un vettore energetico definito pulito per eccellenza quale l'idrogeno.

La presenza di giacimenti minerari di carbone nell'area sud-occidentale della Sardegna non ci garantisce un sufficiente sfruttamento di tale fonte energetica a causa della composizione chimico-fisica che ne limita lo sfruttamento, soprattutto per l'eccessiva presenza di zolfo e di tar.

Nel corso degli ultimi anni l'ENEA ha sviluppato una serie di studi e ricerche inerenti la specifica valorizzazione energetica del carbone per la produzione di idrogeno attraverso il processo termico di gassificazione.

Il syngas prodotto dalla gassificazione del carbone e della biomassa è normalmente inquinato dalla presenza di idrocarburi che condensando a bassa temperatura (tars) hanno un effetto estremamente dannoso sulle apparecchiature ed i condotti su cui si depositano.

Nel caso poi, ancora più gravoso, in cui vengono utilizzati carboni particolarmente sporchi e ricchi di componenti volatili, come nel caso del carbone del Sulcis, la presenza del tar può compromettere seriamente la funzionalità dell'impianto, come del resto dimostrato dai primi tests sperimentali eseguiti con il carbone del Sulcis presso l'impianto di laboratorio di Sotacarbo.

Per questo motivo si rende necessaria la definizione di un'attività avente come obiettivo quello di fornire le indicazioni teorico-sperimentali sullo sviluppo della devolatilizzazione/pirolisi del carbone in funzione delle condizioni operative di funzionamento, quali pezzatura del carbone, temperatura del forno, tempo di residenza del solido, ecc.

Gli interessi sinergici sul processo di pirolisi che legano le Unità UTTEI e UTTRI nel suo complesso, e lo studio sulla ottimizzazione della diagnostica ad esso connessa, offrono l'opportunità di realizzare un'attività di ricerca sulla pirolisi del carbone utilizzando in sintonia le attrezzature di laboratorio UTTEI-COMSO e le strutture impiantistiche che UTTRI-RIF gestisce presso il Centro di Ricerche Enea Trisaia.

Risultano di particolare interesse in tal senso le attrezzature da laboratorio per la caratterizzazione dei materiali da processare (nel nostro caso varie tipologie di carbone), il forno a tamburo rotante da banco ed il forno a tamburo rotante in scala pilota.

ATTIVITA' DI RICERCA

Il presente documento tecnico descrive le attività che ci si propone di eseguire con l'obiettivo finale di approfondire le conoscenze sul processo di devolatilizzazione e pirolisi del carbone al fine, da un lato di ottimizzare la formazione di un gas costituito dai volatili del carbone per sfruttarne termicamente il potere calorifico, dall'altro di ottenere un residuo solido ("char") da poter utilizzare in un processo di gassificazione più stabile e pulito.
La ricerca riguarderà essenzialmente le seguenti attività:

Attività A - Caratterizzazione del materiale di alimento

Nel rispetto della documentazione redatta in precedenza andranno effettuate le seguenti caratterizzazioni riferite sia al carbone Sulcis che al carbone commerciale da utilizzare come riferimento:

- analisi elementare (C, N, H, O, S, ecc.);
- analisi immediata (umidità, volatili, ceneri);
- potere calorifico;
- analisi termica con apparecchiature speciali; Termogravimetria(TGA), Analisi Termica Differenziale(DTA), Calorimetria Differenziale a Scansione(DSC).

A seguito di uno studio sulle risultanze derivanti dalla caratterizzazione del materiale, individuazione dei valori dei parametri operativi di prova significativi, quali: temperatura di processo e tempo di permanenza.

Attività B - Prove sperimentali su impianto di laboratorio

Pianificazione delle prove sperimentali su impianto scala banco definendo tutti i parametri operativi e le procedure di funzionamento come riportato sulla documentazione di prova:

- programmare eventuali modifiche di impianto;
- allestire eventuale componentistica mancante;
- allestire strumentazione speciale di acquisizione dati;
- allestire strumentazione analitica e punti di campionamento per analitica off-shore.

Eseguire le prove sperimentali attenendosi alla documentazione di prova.
Considerando soltanto 3 le variabili, si può ipotizzare di prendere una temperatura T di riferimento, t un tempo di residenza del solido e un tempo t' di permanenza del gas, e su questi apportare una variazione in eccesso e/o in difetto, per una sequenza totale di 8 prove su carbone Sulcis, eventualmente replicabili su carbone commerciale e/o su carbone Sulcis con pezzatura diversa, per un totale di circa 12 prove.

Attività C - Prove sperimentali su impianto pilota

Pianificazione delle prove sperimentali su impianto pilota definendo tutti i parametri operativi e le procedure di funzionamento come riportato sulla documentazione di prova. Le prove su impianto scala banco saranno servite per fornire le prime indicazioni sui valori dei parametri operativi ottimali, a tale scopo uno studio attento sui risultati ottenuti ci può permettere di limitare il numero di prove sperimentali da effettuare sull'impianto pilota di dimensione superiori, con un rapporto sull'alimentazione materiale di circa 1:50, e di conseguenza con problemi gestionali significativamente superiori.

Le procedure per pianificare le prove saranno orientativamente le stesse:

- programmare eventuali modifiche di impianto;
- allestire eventuale componentistica mancante;
- allestire strumentazione speciale di acquisizione dati;
- allestire strumentazione analitica e punti di campionamento per analitica off-shore.

Eseguire le prove sperimentali attenendosi alla documentazione di prova.

Allo scopo di ridurre il numero di prove si può ipotizzare di eliminare una variante dei tre parametri di riferimento, individuando e ottimizzando il tempo di permanenza del gas (t') per un totale di 4 prove da replicare parzialmente con pezzatura diversa e da comparare, eventualmente, con una prova utilizzando carbone commerciale, per un totale di circa 7 prove.

Controllo e caratterizzazione degli effluenti

Le attività connesse al controllo ed alla caratterizzazione dei flussi solidi e gassosi si riducono essenzialmente al monitoraggio ed alla determinazione dei parametri analitici necessari, unitamente ai rilievi effettuati sui parametri operativi, ad acquisire ulteriori elementi utili alla valutazione del processo.

L'insieme delle attività connesse alla supervisione ed al monitoraggio dell'impianto si pone infatti l'obiettivo di un costante e progressivo affinamento, nel corso delle prove, delle migliori condizioni di trattamento termico del materiale in esame.

Elaborazione dei risultati

Un'analisi accurata sull'acquisizione dei dati relativi agli effluenti in ingresso e uscita dall'impianto in relazione alle variazioni applicate ai parametri operativi, ci dovrà fornire tutte le informazioni possibili al fine di definire un esaustivo studio sulla devolatilizzazione/pirolisi del carbone in funzione delle condizioni di processo e ci permetterà la redazione di un elaborato "Report Finale di Prova".

IL CARBONE

Il carbone rappresenta una delle principali fonti di energia elettrica e lo scenario prospettato nel World Energy Outlook 2008 prevede una ulteriore forte crescita della sua domanda nei prossimi anni. Il carbone è un solido costituito da numerosi composti chimici di elevato peso molecolare, formatosi nel corso di milioni di anni per l'azione di calore e pressione su residui vegetali inizialmente umificati. Il suo rango è determinato dal livello della conversione del materiale organico originale in carbone e dipende sia dal tipo di vegetazione da cui si è originato che dalla profondità del giacimento, dalle pressioni e temperature a cui è stato sottoposto e dalla durata del processo. Infatti al crescere della durata del processo di carbonizzazione, il carbone che si ottiene presenta minore umidità, un maggior contenuto di carbonio, un maggiore potere calorifico e maggiore durezza. La lignite è il carbone più giovane e di minor rango, poi si trova il carbone sub-bituminoso come quello del Sulcis, il carbone bituminoso e infine il carbone antracitico (Vancini, 1961, Nowacki, 1981).

Caratterizzazione del carbone

Da una prima visione delle analisi elementare e immediata si può notare la differenza tra il carbone del Sulcis sub-bituminoso e un carbone commerciale antracitico tipico (es. carbone Russo).
Sono molto evidenti, a discapito del Carbone Sulcis, i differenti valori di "Volatile" nell'analisi immediata, che di conseguenza comporta un elevata produzione di "tar" da condensazione ed una elevata presenza di zolfo nell'analisi elementare con conseguente problema di impatto ambientale.

Analisi immediata ed elementare del carbone Sulcis (A) e del carbone Russo (B).

A	Analisi immediata		Umidità	Volatile	Carbone fisso	Ceneri
		%	1.8	40.1	44.2	13.9
	Analisi elementare		C	H	N	S
		%	58.0	4.4	1.5	6.3
B	Analisi immediata		Umidità	Volatile	Carbone fisso	Ceneri
		%	1.4	9.0	91.0	6.6
	Analisi elementare		C	H	N	S
		%	80.9	1.1	1.0	0.6

La pirolisi

Il processo della pirolisi consiste nella degradazione termica di un materiale ottenuta in assenza di agenti ossidanti. L'azione del calore si esplica attraverso la rottura delle molecole complesse e la formazione di un prodotto più leggero. I prodotti della pirolisi sono un syngas di pirolisi, una frazione liquida ottenibile per condensazione dei vapori (tar) e un residuo solido ancora combustibile (char). La distribuzione delle tre fasi dipende oltre che dal tipo di materiale trattato, dalle condizione operative con cui viene condotta la pirolisi, in particolare dalla temperatura e dal tempo di esposizione del materiale a tale trattamento. Tempi lunghi (ordine dei minuti) e temperature moderate (intorno ai 500°C) favoriscono la produzione di residuo solido (char), mentre tempi brevi (ordine dei secondi) e temperature medio-elevate (intorno ai 600°C) favoriscono la formazione della frazione liquida e tempi brevi (ordine dei secondi) ad altissime temperature (intorno ai 1000°C) quella della frazione gassosa.

La pirolisi del carbone è un processo importante in quanto costituisce il primo passo di processi come la gassificazione, il "coal to liquid", la combustione, ecc..

Sebbene in questi processi la pirolisi avvenga in intervalli di tempo molto brevi e a temperature molto elevate, come nel caso della combustione del polverino di carbone o nella gassificazione in letto fluido, è noto quanto questa fase possa globalmente influenzare il processo successivo.

Pirolisi e devolatilizzazione del Carbone Sulcis

L'oggetto della presente sperimentazione è quello di aumentare le conoscenze relative al comportamento di un carbone di basso rango come quello del Sulcis in fase di pirolisi, con il fine di individuare le variabili che caratterizzano il processo e scegliere i parametri di processo più significativi da indagare sugli impianti presenti presso il Centro Enea Trisaia con il fine ultimo di sviluppare un pre-trattamento che permetta di ottenere mediante la pirolisi: un char di migliore qualità per i processi di gassificazione, l'allontanamento del tar e la sua successiva valorizzazione termica.

PROVE SPERIMENTALI SU IMPIANTO LABORATORIO

Le prime prove sono state effettuate utilizzando il forno a tamburo rotante situato presso i laboratori UTTRI-RIF all'interno della hall tecnologica di ENEA Trisaia.

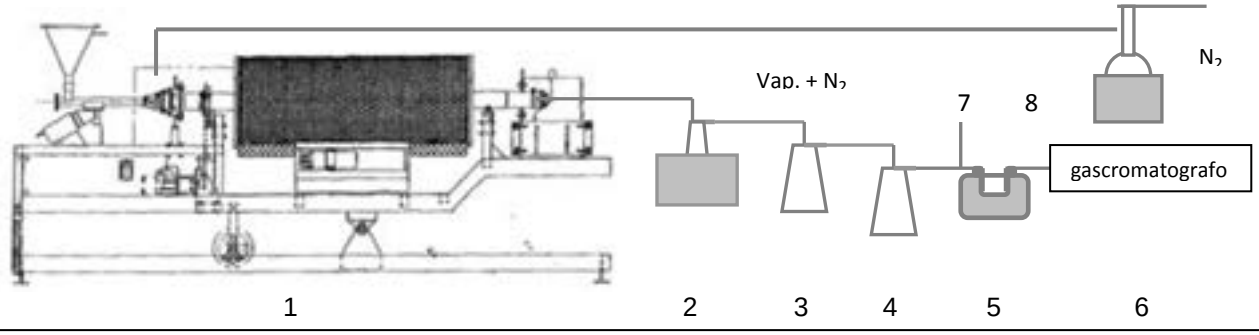
Le condizioni operative ed altri parametri di riferimento, quali la pezzatura, verranno definiti a valle della attività di caratterizzazione (attività A) e studio sui risultati ottenuti.

Impianto di riferimento

Il forno a tamburo rotante è di marca Lenton modello PTF 16\75\610; di seguito vengono indicate le principali caratteristiche:

Riscaldamento forno	Elettrico, tre zone indipendenti
Potenza massima	9.2 kw
Temperatura massima	1600°C
Temperatura di lavoro max.	1550°C
Lunghezza zona riscaldata	610 mm
Materiale Reattore	Allumina ricristallizzata
Lunghezza	1550 mm
Diametro interno	80 mm
Diametro esterno	94 mm
Volume reattore	7.79 dm^3

Nella figura di seguito viene raffigurato uno schema classico di impianto per una prova di pirolisi dove il materiale, caricato in una tramoggia della capacità massima di 5 litri, è alimentato al forno attraverso una coclea di carico, la cui rotazione è regolata da un inverter che porta l'alimentazione all'inizio del reattore in allumina ricristallizzata.



1. Reattore; 2. Trappola a freddo (ghiaccio); 3. Primo abbattimento vapori acidi; 4. Secondo abbattimento; 5. Totalizzatore; 6. Gascromatografo in linea; 7. Campionamento busta; 8. Bollitore.

L'alimentazione del refluo può essere effettuata anche tramite una camera montata in alternativa alla coclea, all'interno della quale uno stantuffo azionato da un motoriduttore tramite asta filettata, spinge il materiale nel forno.

All'interno del reattore una serie di scudi sfalsati reciprocamente di 30° favoriscono il trasporto del materiale (funzione da coclea) e limitano la dispersione del calore fuori dal refrattario.
La velocità di rotazione del forno è regolabile tramite un inverter; l'inclinazione del reattore può essere variata fino a 7°.
Il residuo solido di processo è raccolto in un serbatoio posto all'uscita del reattore; i vapori sviluppati sono alimentati ad un sistema di abbattimento: il flusso gassoso raffreddato per passaggio in una trappola fredda (camicia di ghiaccio), subisce poi un lavaggio basico per gorgogliamento in una soluzione 1 M di NaOH. Un secondo gorgogliatore riempito con acqua, successivo alla soda, riduce ulteriormente il trasporto di particelle sottili (carboncino). Il gas così trattato viene misurato con un totalizzatore prima di essere analizzato e successivamente scaricato nel sistema di trattamento reflui della struttura.
L'impianto prevede anche la possibilità di gassificare, in questo caso le prove possono essere condotte utilizzando come agente gassificante il vapor d'acqua. Il vapore è prodotto all'interno di un pallone riscaldato tramite un mantello; la temperatura del vapore è mantenuta sempre tra 100 – 120°C.
Un flusso di azoto è impiegato come trasporto del vapore; l'azoto è fatto gorgogliare all'interno dell'acqua in ebollizione. Il flusso di azoto consente inoltre di lavorare in condizioni di diluizione del syngas prodotto.
I gas di reazione sono monitorati utilizzando due sistemi di campionamento e misura.
Per il primo si impiega un gas-cromatografo di processo, modello 3000A della AGILENT che permette di avere un'analisi di precisione dei principali gas di pirolisi (H_2, O_2, N_2, CO, CO_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6) in un tempo pari a 2-3 minuti.

Lo strumento è equipaggiato con due colonne operanti in parallelo (Molsieve 5A e Poraplot) ed è dotato di rivelatore a conducibilità termica (TCD); il gas di trasporto usato è l'argon.

Figura 1 – L'impianto di laboratorio.

Il secondo sistema è costituito dal prelievo di frazioni del gas di pirolisi in apposite buste; queste ultime sono analizzate successivamente in laboratorio mediante spettrometria infrarossa in trasformata di Fourier accoppiata a spettrometria di massa.
Il potere calorifico del gas si calcola dai dati di composizione.
L'attività in oggetto prevede una serie di interventi propedeutici atti a permettere l'operabilità dei parametri operativi in base a quanto definito.

Interventi propedeutici

Prima della esecuzione della campagna di prove presso l'impianto da laboratorio è stato importante eseguire una serie di interventi e di studi mirati, al fine di ottimizzare la struttura impiantistica e renderla compatibile con le prove oggetto di studio e le azioni che ci si è prefigge di compiere.
Essenzialmente queste azioni sono limitate alle seguenti tematiche:

B1. – Alimentazione;
B2. – Tipologia di Pirolisi (T, t, Q);
B3. – Strumentazione;
B4. – Modifiche impianto;
B5. – Trattamento syngas.

B1. – Alimentazione

La pezzatura del carbone, e quindi le sue dimensioni, è uno dei parametri di riferimento necessari per ottimizzare lo studio che ci si appresta ad affrontare.
Per questo motivo è opportuno replicare le prove sperimentali utilizzando la stessa matrice di carbone del sulcis, ma con due diverse dimensioni; a tal riguardo sono stati approvvigionati due quantitativi di materiali, uno inferiore a 0,4 cm.e uno compreso tra 0,4 e 0,9 cm.
A questo punto si è reso indispensabile effettuare una prova di taratura per la portata di alimento carbone.
Dopo aver sflangiato la coclea dal resto dell'impianto è stato caratterizzato il sistema di alimentazione a coclea.
Alimentata la tramoggia di carico con circa 350 grammi di carbone con pezzatura inferiore a 4 mm, si è proceduto all'azionamento della coclea alimentando l'inverter con uscita a 23 Hz.
Il materiale in uscita dalla coclea è stato pesato periodicamente fino a trovare una portata media omogenea di circa 7 grammi/minuto raggiunta dopo circa 10 minuti dall'avvio della coclea.

La stessa prova è stata effettuata riducendo l'alimentazione elettrica della coclea fino a raggiungere un'uscita di circa 11,5 Hz; con questo valore si è potuto raggiungere un'alimentazione di materiale costante di circa 5 grammi/minuto.

B2. – Tipologia di pirolisi

Lo studio precedentemente svolto (Attività A) utilizzando le apparecchiature da laboratorio ci ha permesso di individuare la tipologia di pirolisi da eseguire (fast – intermedia – slow), ed individuare i parametri operativi variabili, quali T (temperatura), t (tempo di residenza del solido) e Q (portata del gas di trasporto).

Per permettere le necessarie variazioni è opportuno intervenire sulle variabili gestibili tramite impianto.

Per la T (temperatura) non ci sono problemi tecnici operativi, è sufficiente variare l'intervento del riscaldatore elettrico.

Per il t (tempo di residenza del solido) si deve intervenire sulla velocità di rotazione del tamburo e/o sull'inclinazione dello stesso (parametri variabili nella conformazione dell'impianto). A tale scopo si rende necessario effettuare alcune prove a freddo per trovare i giusti valori e le possibilità di variazione che legano la variabile di processo alle variabili dello stato di impianto. Nel corso di queste prove bisogna verificare se la conformazione geometrica del reattore in allumina permette il rimescolamento e quindi lo scambio termico durante il processo; potrebbe verificarsi che il carbone invece di mescolarsi scivola verso lo scarico, in questo caso provvedere ad apportare, se possibile, modifiche al sistema di alimentazione e trascinamento o intervenire sulla inclinazione del reattore e/o sulla velocità di rotazione.

Per la taratura sul tempo di permanenza del solido si è proceduto mantenendo fissa l'inclinazione del tamburo rotante (5°) e variando il numero di giri al minuti.

Sono state eseguite due prove utilizzando sia il carbone di pezzatura fine (inferiore a 4mm) sia il ,carbone di pezzatura grande (compresa tra 4 e 10mm), facendo ruotare il tamburo a 2 giri/minuto e 4 giri/minuto.

In entrambe i casi si è notato che con il raddoppiare della rotazione il tempo di permanenza era circa la metà; in particolare per la pezzatura fine con 4 giri al minuto si aveva un tempo di permanenza di circa 45 minuti, mentre per la pezzatura grande con 4 giri al minuto si è avuto un tempo di permanenza di circa 50 minuti.

Per Q (portata del gas di trasporto) bisogna intervenire sul flussaggio di gas inerte di trasporto (azoto), regolando pressione e portata. L'individuazione di tali valori viene effettuata attraverso lo studio in TGA del processo di pirolisi.

B3. – Strumentazione

Oltre alla strumentazione tipica dell'impianto che rileva temperature, pressioni e portate operative si è valutato di tenere sotto controllo la temperatura della camera di calma posta in uscita dal pirolizzatore ed è stato installato un misuratore volumetrico del gas in uscita mediante il quale quantizzare la portata di syngas.

B4. – Modifiche impianto

Nel corso dell'allestimento dell'impianto sono state studiate alcune modifiche da apportare per ottimizzare le condizioni di processo e di acquisizione dati; tra queste sono state individuate le seguenti criticità:

- riscaldamento camera di calma;
- coibentazione uscita gas dal reattore.

A tal riguardo è stato realizzato un tracciamento scaldante sulla camera di calma e successivamente è stato implementato lo strato di coibentazione.

B5. – Trattamento syngas

In uscita dal reattore, il syngas prodotto deve attraversare una serie di trappole dedicate al raffreddamento, al lavaggio ed alla condensazione del tar prodotto.
A tale scopo ci si è avvalsi dei seguenti sistemi:

- un primo gorgogliatore freddo con camicia di raffreddamento con ghiaccio;
- trappola a secco con cotone e anelli raschin;
- un sistema di lavaggio basico con soda 1 molare per l'abbattimento degli acidi residui contenuti nel syngas;
- gorgogliatore con lavaggio con acqua;
- un sistema filtrante per il particolato fine con cotone e anelli raschin;
- una torcia di smaltimento syngas.

Procedura sperimentale

Al fine di omogeneizzare gli interventi operativi relativi alle diverse prove sperimentali da eseguire è stata predisposta una procedura standard da eseguire per ogni prova:

Predisposizione impianto

Predisporre l'impianto all'avviamento facendo le seguenti verifiche:

- Verificare il collegamento del sistema di alimentazione carbone al forno.
- Approvvigionare la tramoggia di alimentazione coclea del quantitativo e pezzatura di carbone definito dalla prova.
- Verificare collegamento linea uscita forno al sistema di cattura tar adeguatamente allestito avendo l'accortezza di pesare tutti i liquidi utilizzati nei vari contenitori.
- Approvvigionare contatore volumetrico gas e/o misuratore di portata.
- Approvvigionare gascromatografo on-line.
- Approvvigionare sistema smaltimento gas prodotto (torcia).
- Verificare presenza gas di trasporto (azoto) e relativa linea.
- Verificare presenza alimentazione elettrica impianto.

Accensione impianto

- Alimentare il riscaldatore forno secondo le procedure da manuale fino alla temperatura definita di prova.
- Alimentare il riscaldatore zona uscita gas impostando una temperatura di circa 300-350°C.
- Alimentare il flussaggio azoto alla portata massima di 5 lt/min per 10 min per permettere il lavaggio del forno e successivamente alla portata definita dalla prova.
- Alimentare la rotazione tamburo al valore definito in prova.

Al raggiungimento delle temperature impostate attendere alcuni minuti necessari per la omogeneizzazione della temperatura

Inizio prova

- Avviare la coclea alla portata di alimentazione carbone come da prova;
- Trascorsi circa 10 min. verificare la presenza di gas in uscita dal forno;
- Verificare la presenza gas su gascromatografo e su contatore;
- Monitorare su gascromatografo l'andamento dei gas in uscita per verificare il tempo "t" in cui si ipotizza che l'impianto si trova in condizioni di funzionamento a regime;
- Monitorare su gascromatografo l'andamento dei gas in uscita per verificare il tempo "t" in cui si ipotizza che l'impianto abbia abbandonato le condizioni di funzionamento a regime per esaurimento carbone di alimentazione;
- Attendere che tutto il gas prodotto venga acquisito dal sistema e si abbia la certezza che il carbone è stato sottoposto tutto al processo di pirolisi.

Fine prova

- Accertato il fatto che tutto il carbone è defluito dal forno aumentare la temperatura dello stesso fino a 900 °C per permettere al gas di trasporto riscaldato di trasportare fuori dal contenitore di raccolta char parte del tar condensato e rimasto attaccato alle pareti.
- Mantenere questa condizione per circa 20 min.
- Terminata l'operazione precedente alimentare azoto per lavaggio impianto per circa 5 min. alla massima portata (5 lt/min.).
- Disalimentare il riscaldatore forno e il riscaldatore zona scarico char.
- Per accelerare il processo di raffreddamento eventualmente flussare inizialmente azoto e successivamente aria fino al raggiungimento di circa 100 °C nello scarico char.

Campagna sperimentale

La esecuzione della prima prova sperimentale è stata effettuata attenendosi ai parametri sotto riportati:

Parametri operativi da protocollo

- pezzatura carbone piccola– inferiore a 4 mm;
- alimentazione carbone totale 1200 gr;
- portata carbone 6 gr/min;
- rotazione tamburo 2 giri/min;
- tempo di residenza compreso tra 12 min e 45 min;
- flussaggio gas di trasporto – azoto 1lt/min;
- temperatura di pirolisi 600 °C.

Condizioni Impianto

- forno in preriscaldo alla temperatura di 600 °C;
- flussaggio interno di aria 3 lt./min;
- preriscaldo uscita camera gas con set-point 300 °C;
- rotazione tamburo circa 2 giri/min. (1 giro 25 sec.);
- inclinazione tamburo rotante 5°;
- raffreddamento coclea con acqua di rete;
- tramoggia di carico con 1210,9 gr di carbone sulcis pezzatura inferiore a 4 mm;
- alimentazione forno con coclea.

Allestimento sistema pulizia misura anali smaltimento syngas

- 1° beuta: trappola fredda in contenitore con ghiaccio;
- 2° beuta: trappola con anelli raschin e cotone;
- 3° beuta: trappola con soluzione sodica 1% molare;
- 4° beuta: lavaggio in acqua;
- 5° beuta: 2° trappola con anelli raschin e cotone;
- Contatore volumetrico gas;
- Analizzatore gas cromatografico;
- Torcia smaltimento gas.

Operativamente si è proceduto come di seguito riportato:

- Ore 10:00,
    - fine flussaggio con aria;
    - inizio flussaggio con azoto (pressione 1 bar, portata 0,7 lt./min.) per inertizzazione forno e linee;
    - collegamento attrezzature pulizia, misure, analisi e smaltimento gas.

- Ore 10:50,
    - inizio alimentazione carbone:

- inverter coclea impostato a 11,5 corrispondente ad una portata, stimata da prove taratura, di circa 6,2 gr./min;
- pressione forno 5,9 mbar;
- temperatura out forno 234 °C;
- portata gas totale 0,7 lt./min. (da contatore volumetrico).

- ore 11:30,
    - inizio tracce gas su gascromatografo:

- pressione forno 6,5 mbar;
- temperatura out forno 244 °C;
- portata gas totale 0,95 lt./min. (da contatore volumetrico).

- ore 12:15,
    - consistente presenza di gas in uscita e presenza tar in trappola a secco:

- pressione forno 7,5 mbar;
- temperatura out forno 255 °C;
- portata gas totale 1,20 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 33% - azoto 61% - circa.

- ore 12:30,
    - condizioni di marcia a regime:

- pressione forno 7,3 mbar;
- temperatura out forno 258 °C;
- portata gas totale 1,28 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 40% - azoto 54% - circa.

- ore 12:50,
    - affinamento condizioni di funzionamento a regime:

- pressione forno 7,6 mbar;
- temperatura out forno 262 °C;
- portata gas totale 1,40 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 46% - azoto 50% - circa.

- ore 13:10,
    - stazionamento a regime:

- pressione forno 7,7 mbar;
- temperatura out forno 265 °C;
- portata gas totale 1,30 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 49% - azoto 45% - circa.

- ore 13:30,
    - fine carbone nella tramoggia di carico:

- pressione forno 8,6 mbar;
- temperatura out forno 266 °C;
- portata gas totale 1,34 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 47% - azoto 48% - circa.

- ore 14:10,
    - massima produzione di gas:

- pressione forno 9,2 mbar;
- temperatura out forno 268 °C;
- portata gas totale 1,56 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 48% - azoto 44% - circa.

- ore 14:50,
    - inizio flessione produzione gas:

- pressione forno 8,9 mbar;
- temperatura out forno 267 °C;
- portata gas totale 0,88 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 44% - azoto 47% - circa.

- ore 15:15,
    - ulteriore flessione gas:

- pressione forno 8,5 mbar;
- temperatura out forno 266 °C;
- portata gas totale 0,68 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 24% - azoto 69% - circa.

- ore 15:30,
    - scarsa produzione di gas:

- pressione forno 8,5 mbar;
- temperatura out forno 266 °C;
- portata gas totale 0,64 lt./min. (da contatore volumetrico);
- da gascromatografo – gas 16% - azoto 77% - circa.

- ore 16:00,
    - fine prova:

- inizio raffreddamento forno con rampa di discesa idonea per evitare danneggiamento allumina con flussaggio di azoto inertizzante.

Pulizia forno eseguita il giorno successivo:

- Apertura della coclea di alimentazione forno e asportazione del materiale non scaricato nel forno non soggetto a pirolisi – circa 139,4 gr.
- Apertura dello sportello zona scarico char, prelievo e pesatura del char raccolto nell'apposito contenitore – circa 574,1 gr.
- Scollegamento attrezzature pulizia, misura, analisi smaltimenti gas.
- Pesatura di tutti i vari contenitori (beute) inerenti le attrezzature di pulizia gas.

Controllo e caratterizzazione dei flussi gassosi

Le attività connesse al controllo ed alla caratterizzazione dei flussi gassosi si riducono essenzialmente al monitoraggio ed alla determinazione dei parametri analitici necessari ad acquisire ulteriori elementi utili alla valutazione del processo, unitamente ai rilievi effettuati sui parametri operativi

L'insieme delle attività connesse alla supervisione ed al monitoraggio dell'impianto si pone infatti l'obiettivo di un costante e progressivo affinamento, nel corso delle prove, delle migliori condizioni di trattamento termico del materiale in esame.

Il syngas è stato monitorato dalla sua fase di produzione in uscita al tamburo, fino a valle della linea di purificazione e quindi prima della sua combustione in fiaccola.

I risultati gas cromatografici sono riportati nelle tabelle allegate.

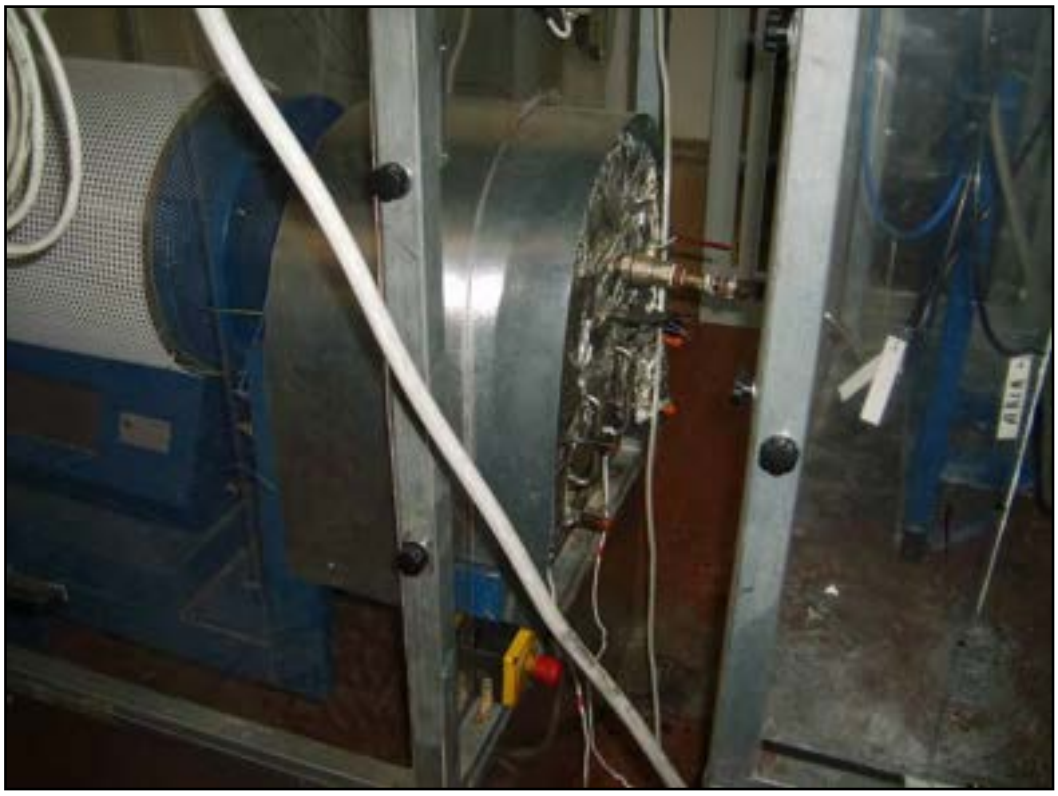
ALLEGATI

Gli allegati al presente documento sono i seguenti:

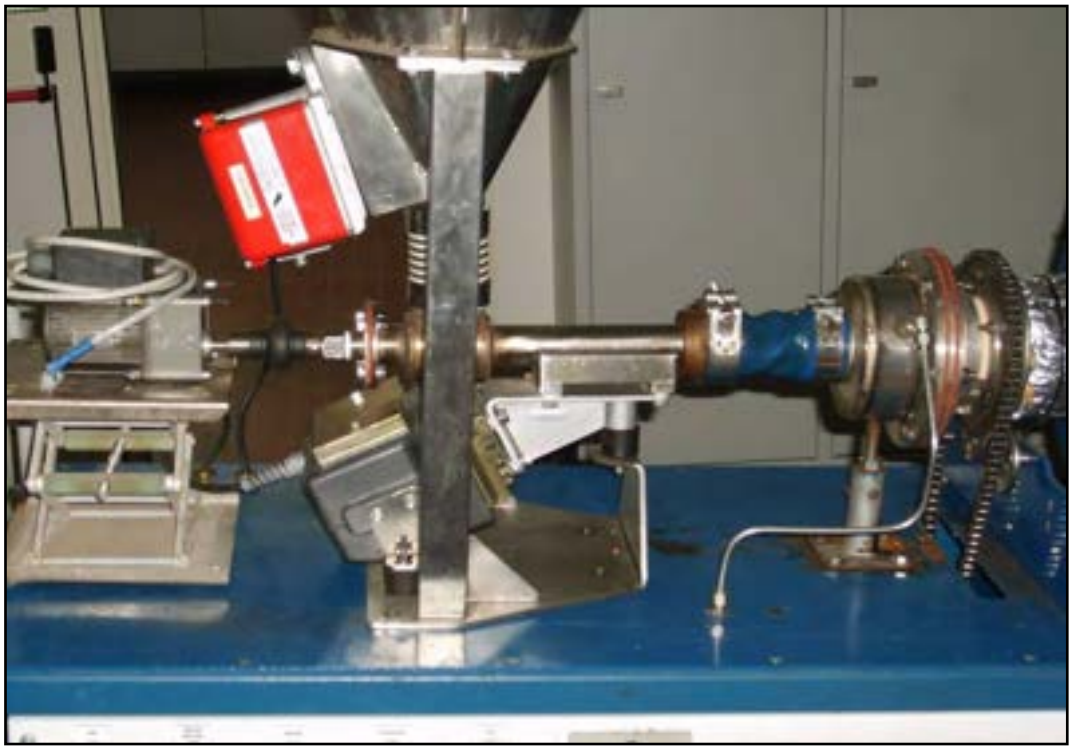
A. Immagini dell'impianto;
B. Tabelle dati;
C. Grafici.

A. Immagini dell'impianto

Impianto da laboratorio



Impianto da laboratorio – camera di calma



Impianto da laboratorio - alimentazione

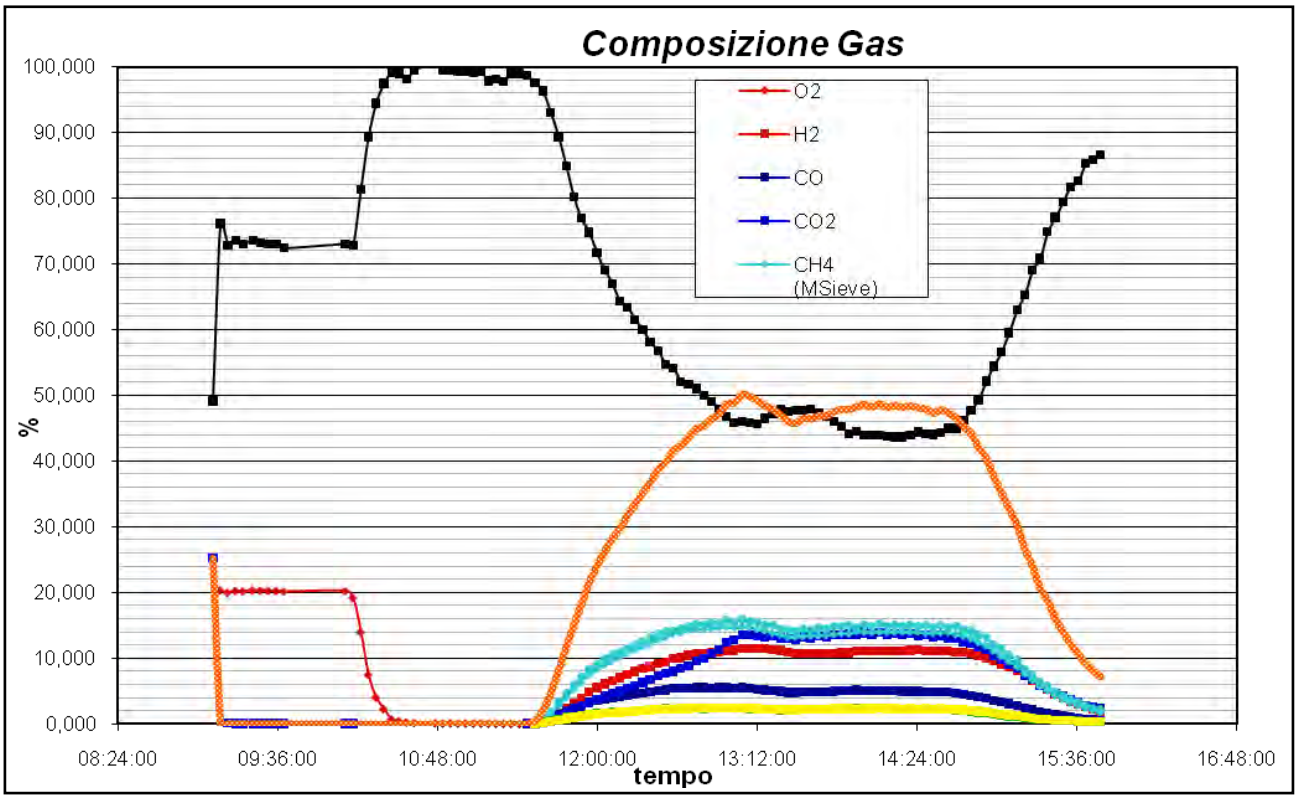
B. Tabelle dati

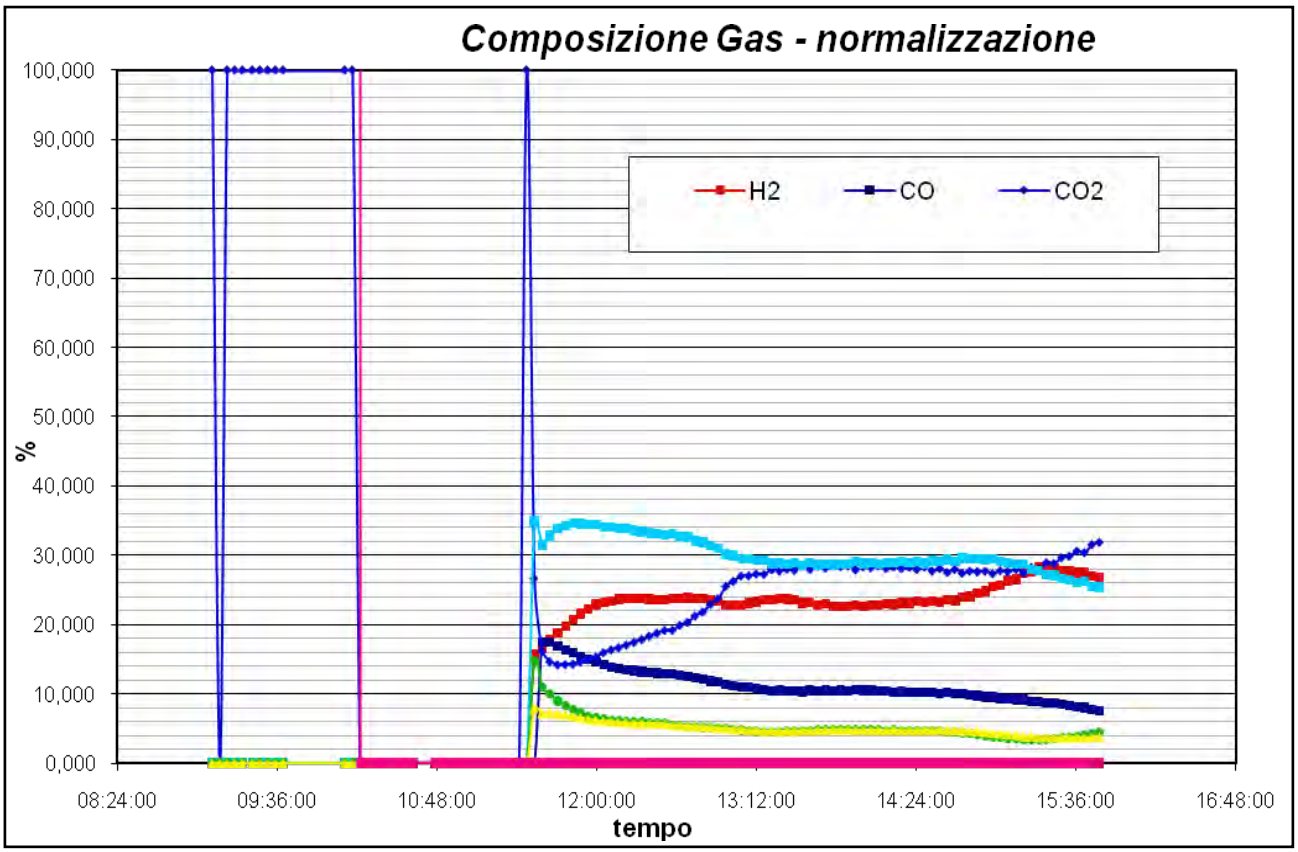
N.	Campione	Ora inizi.	T (°C)	O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4 (Misure)	CH_4 (PPM)	C_2H_4	C_2H_6	H_2S	N_2	Norm		Σ	O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6
1	prova asta 1	09:06:46					23,288						49,140	23,572		23,288	0,000	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
2	prova asta 2	09:10:10		20,413									76,152	3,434		-							
3	prova asta 3	09:13:32		20,020			0,080						72,854	7,041		0,080	23673,568	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
4	prova asta 4	09:16:58		20,313			0,070						73,559	6,033		0,070	28914,418	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
5	prova asta 5	09:20:24		20,226			0,060						73,034	6,669		0,060	32748,750	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
6	prova asta 6	09:24:50		20,415			0,057						73,602	5,932		0,057	35889,279	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
7	prova asta 7	09:28:16		20,368			0,059						73,173	6,387		0,059	34393,701	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
8	prova asta 8	09:31:47		20,348			0,057						73,072	6,522		0,057	35555,313	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
9	prova asta 9	09:35:18		20,344			0,057						73,043	6,534		0,057	35580,570	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
10	prova asta 10	09:38:43		20,200			0,057						72,460	7,353		0,057	35451,895	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
11	camp 1	10:06:31		20,295			0,054						73,063	6,588		0,054	37319,842	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
12	camp 2	10:09:54		19,273			0,049						72,888	7,790		0,049	39444,333	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
13	camp 3	10:13:23		14,032									81,572	4,396		-							
14	camp 4	10:16:48		7,532									89,342	3,125		-							
15	camp 5	10:20:15		4,085									94,428	1,488		-							
16	camp 6	10:23:45		2,306									97,457	0,237		-							
17	camp 7	10:27:15		0,747									99,173	0,080		-							
18	camp 8	10:30:40		0,448									99,984	0,568		-							
19	camp 9	10:34:02		0,293									98,132	1,575		-							
20	camp 10	10:37:29		0,222									99,483	0,295		-							
21	camp 11	10:46:56		0,161									100,705	-0,865		-							
22	camp 12	10:50:28		0,126									99,379	0,494		-							
23	camp 13	10:53:52		0,139									99,480	0,382		-							
24	camp 14	10:57:17		0,123									99,314	0,561		-							
25	camp 15	11:00:43		0,114									99,370	0,516		-							
26	camp 16	11:04:11		0,108									98,999	0,893		-							
27	camp 17	11:07:37		0,109									99,246	0,645		-							
28	camp 18	11:10:59		0,091									97,840	2,069		-							
29	camp 19	11:14:21		0,078									98,112	1,809		-							
30	camp 20	11:17:42		0,067									97,779	2,154		-							
31	camp 21	11:21:10		0,053									98,952	0,995		-							
32	camp 22	11:24:56		0,034									98,987	0,979		-							
33	camp 23	11:28:22					0,054						98,629	1,318		0,054	0,000	0,000	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000
35	*Rielaborato: camp 24	11:31:49			0,094		0,143	0,187	0,295	0,079	0,042		97,390	1,871		0,503	0,000	13,682	0,000	26,698	34,940	14,769	7,930
37	*Rielaborato: camp 25	11:35:19			0,201	0,372	0,340	0,469	0,896	0,210	0,113		96,313	1,562		2,123	0,000	16,537	17,553	16,235	21,479	11,052	7,184
38	camp 26	11:38:54			0,846	0,829	0,698	1,560	1,917	0,474	0,345		93,055	2,194		4,752	0,000	17,796	17,437	14,695	32,832	9,974	7,266
39	camp 27	11:42:28			1,542	1,382	1,168	2,779	3,271	0,738	0,586		89,345	2,450		8,205	0,000	18,795	16,960	14,235	33,874	8,993	7,144
40	camp 28	11:45:54			2,330	1,954	1,655	4,044	4,683	0,980	0,827		84,507	3,343		11,799	0,000	19,744	16,589	14,279	34,275	8,308	7,005

N.	Campione	Ora (min:s)	T (°C)	O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4 (MSieve)	CH_4 (PPlot)	C_2H_4	C_2H_6	H_2S	N_2	Norm		O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6
41	camp 29	11:49:17			3,120	2,419	2,164	5,210	5,896	1,160	1,021		80,250	4,641		15,109	0,000	20,652	16,093	14,323	34,580	7,678	6,725
42	camp 30	11:52:39			3,933	2,809	2,671	6,300	7,064	1,324	1,205		76,948	4,513		18,229	0,000	23,565	15,400	14,647	34,547	7,257	6,584
43	camp 31	11:56:14			4,818	3,254	3,233	7,458	8,233	1,476	1,378		74,801	3,582		21,617	0,000	22,287	15,005	14,934	34,505	6,829	6,374
44	camp 32	11:59:43			3,542	3,227	3,719	8,328	9,090	1,373	1,498		71,632	4,570		24,198	0,000	22,900	14,617	15,268	34,413	6,507	6,192
45	camp 33	12:03:11			6,102	3,748	4,220	9,002	9,931	1,879	1,620		69,053	4,577		26,170	0,000	23,139	14,253	16,002	34,137	6,303	6,142
46	camp 34	12:06:36			6,603	3,931	4,628	9,836	10,539	1,764	1,710		67,010	4,707		28,283	0,000	23,347	13,898	16,398	34,072	6,238	6,047
48	*Retaboreto: camp 35	12:09:58			7,039	4,060	4,974	10,093	10,908	1,817	1,749		64,359	5,887		29,734	0,000	23,659	13,645	16,716	33,930	6,106	5,943
50	*Retaboreto: camp 36	12:13:24			7,551	4,278	5,433	10,737	11,494	1,908	1,861		63,428	4,782		31,789	0,000	23,739	13,457	17,092	33,838	6,001	5,834
52	*Retaboreto: camp 37	12:16:52			7,876	4,471	5,853	11,241	12,031	1,989	1,945		61,563	4,961		33,476	0,000	23,825	13,257	17,403	33,579	5,943	5,811
54	*Retaboreto: camp 38	12:20:18			8,195	4,648	6,303	11,777	12,588	2,083	2,039		59,974	4,776		35,250	0,000	23,816	13,187	17,587	33,412	5,914	5,784
55	camp 39	12:23:44			8,720	4,693	6,766	12,248	13,099	2,167	2,123		58,034	5,107		36,860	0,000	23,658	13,119	18,334	33,229	5,878	5,760
56	camp 40	12:27:14			9,153	5,028	7,280	12,811	13,708	2,256	2,218		56,847	4,908		38,747	0,000	23,622	12,977	18,780	33,063	5,823	5,725
57	camp 41	12:30:37			9,433	5,150	7,667	13,330	14,040	2,300	2,268		54,633	5,396		39,971	0,000	23,606	12,885	19,182	32,900	5,734	5,674
58	camp 42	12:34:08			9,911	5,365	7,996	13,773	14,348	2,294	2,278		54,099	4,284		41,457	0,000	23,854	12,891	19,214	33,094	5,512	5,473
59	camp 43	12:37:30			10,082	5,410	8,459	13,882	14,345	2,320	2,320		52,091	5,446		42,472	0,000	23,738	12,738	19,916	32,685	5,461	5,462
60	camp 44	12:40:56			10,417	5,457	8,887	14,250	14,755	2,329	2,340		51,617	4,683		43,679	0,000	23,848	12,493	20,346	32,623	5,332	5,358
61	camp 45	12:44:26			10,675	5,528	9,376	14,423	15,267	2,380	2,405		51,023	3,965		44,991	0,000	23,727	12,287	21,283	32,062	5,296	5,340
62	camp 46	12:47:52			10,778	5,511	9,923	14,481	15,313	2,343	2,373		50,020	4,571		45,408	0,000	23,736	12,136	21,852	31,890	5,160	5,227
63	camp 46	12:51:19			10,924	5,503	10,681	14,593	15,430	2,393	2,424		49,061	4,418		46,520	0,000	23,483	11,830	22,960	31,368	5,147	5,211
64	camp 47	12:54:44			11,028	5,528	11,229	14,677	15,231	2,373	2,396		47,873	4,896		47,230	0,000	23,348	11,705	23,776	31,077	5,024	5,073
65	camp 48	12:58:10			11,132	5,524	12,464	14,717	15,785	2,444	2,474		46,728	4,499		48,774	0,000	22,863	11,525	25,515	30,173	5,011	5,073
66	camp 49	13:01:33			11,204	5,463	12,884	14,667	15,495	2,364	2,402		45,867	5,219		48,964	0,000	22,881	11,137	26,272	29,935	4,827	4,906
67	camp 50	13:05:04			11,412	5,514	13,568	14,827	15,819	2,399	2,457		46,024	3,799		50,177	0,000	22,744	10,989	27,040	29,550	4,781	4,896
68	camp 51	13:08:24			11,320	5,454	13,512	14,694	15,617	2,328	2,391		45,790	4,213		49,899	0,000	23,087	10,929	27,079	29,448	4,666	4,781
69	camp 51	13:11:56			11,473	5,287	13,463	14,422	15,442	2,273	2,337		45,588	5,136		49,256	0,000	23,294	10,734	27,332	29,280	4,614	4,745
70	camp 52	13:15:23			11,463	5,191	13,226	14,228	14,999	2,178	2,245		46,479	5,032		48,489	0,000	23,640	10,622	27,276	29,339	4,494	4,629
71	camp 53	13:18:33			11,294	5,051	13,392	13,805	15,030	2,173	2,234		47,293	4,832		47,913	0,000	23,572	10,458	27,931	28,813	4,340	4,607
72	camp 54	13:22:24			11,194	4,950	13,070	13,591	14,856	2,125	2,172		47,852	5,068		47,102	0,000	23,786	10,308	27,748	28,834	4,312	4,612
73	camp 55	13:25:44			10,917	4,778	12,933	13,240	14,333	2,118	2,152		47,564	6,257		46,139	0,000	23,661	10,309	28,030	28,696	4,391	4,664
74	camp 56	13:29:08			10,779	4,778	12,761	13,242	14,041	2,109	2,130		47,768	6,432		45,800	0,000	23,534	10,434	27,863	28,913	4,605	4,651
75	camp 57	13:32:33			10,773	4,803	13,283	13,329	14,333	2,211	2,225		47,777	5,614		46,609	0,000	23,134	10,315	28,437	28,597	4,743	4,774
76	camp 58	13:36:03			10,778	4,896	13,004	13,454	14,230	2,180	2,189		47,818	5,604		46,478	0,000	23,185	10,333	27,978	28,804	4,690	4,709
77	camp 58	13:39:35			10,745	4,904	13,344	13,447	14,393	2,257	2,255		47,342	5,709		46,949	0,000	22,877	10,400	28,422	28,641	4,806	4,803
78	camp 59	13:43:02			10,748	4,930	13,224	13,308	14,458	2,281	2,245		46,750	6,303		46,947	0,000	22,939	10,303	28,189	28,773	4,817	4,782
79	camp 60	13:46:28			10,769	4,982	13,583	13,638	14,863	2,341	2,318		45,970	6,400		47,631	0,000	22,600	10,409	28,518	28,632	4,914	4,866
80	camp 61	13:49:53			10,832	5,036	13,637	13,763	14,897	2,348	2,326		45,271	6,856		47,923	0,000	22,604	10,509	28,415	28,718	4,899	4,834

N.	Campione	Ora iniz.	T (°C)	O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4 (MSieve)	CH_4 (PPlot)	C_2H_4	C_2H_6	H_2S	N_2	Norm		Σ	O_2	H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6
81	camp 62	13:53:13			10,817	5,014	13,688	13,744	14,978	2,330	2,330		44,088	7,990		47,924	0,000	22,372	10,462	28,518	28,679	4,904	4,867
82	camp 63	13:56:41			11,031	5,144	13,497	14,039	14,752	2,309	2,296		44,440	7,225		48,335	0,000	22,822	10,642	27,923	29,087	4,778	4,750
83	camp 64	14:00:11			11,040	5,110	13,814	14,019	15,090	2,347	2,343		44,003	7,325		48,672	0,000	22,682	10,498	28,381	28,803	4,823	4,813
84	camp 65	14:03:37			11,030	5,072	13,633	13,949	14,872	2,300	2,304		43,883	7,809		48,309	0,000	22,873	10,498	28,221	28,873	4,763	4,770
85	camp 66	14:07:04			11,119	5,057	13,910	14,023	15,991	2,344	2,330		43,974	7,223		48,803	0,000	22,783	10,362	28,502	28,734	4,802	4,818
86	camp 67	14:10:30			11,092	5,009	13,349	13,970	14,809	2,288	2,299		43,694	8,099		48,207	0,000	23,009	10,392	28,103	28,979	4,746	4,769
87	camp 68	14:13:55			11,136	4,996	13,773	14,022	15,113	2,317	2,340		43,681	7,734		48,583	0,000	22,921	10,284	28,349	28,861	4,768	4,817
88	camp 69	14:17:21			11,137	4,974	13,344	14,018	14,892	2,260	2,293		43,657	8,113		48,233	0,000	23,090	10,317	28,085	29,063	4,686	4,758
89	camp 70	14:20:48			11,209	4,945	13,723	14,018	15,123	2,277	2,321		43,974	7,534		48,493	0,000	23,114	10,197	28,300	28,907	4,695	4,787
90	camp 71	14:24:18			11,233	4,958	13,470	14,000	14,833	2,228	2,280		44,396	7,435		48,168	0,000	23,319	10,294	27,964	29,064	4,626	4,733
91	camp 72	14:27:48			11,134	4,877	13,606	13,831	13,060	2,260	2,014		44,306	7,873		48,022	0,000	23,183	10,155	28,334	28,801	4,706	4,819
92	camp 73	14:31:11			11,092	4,840	13,147	13,818	14,652	2,197	2,254		44,053	8,599		47,347	0,000	23,426	10,222	27,766	29,184	4,641	4,761
93	camp 74	14:34:37			11,109	4,823	13,458	13,917	15,098	2,248	2,321		44,313	7,809		47,879	0,000	23,202	10,077	28,109	29,067	4,696	4,848
94	camp 75	14:38:02			11,140	4,837	13,046	13,934	14,753	2,138	2,248		44,980	7,657		47,363	0,000	23,521	10,213	27,544	29,419	4,358	4,747
95	camp 76	14:41:25			10,966	4,666	15,060	13,613	14,878	2,117	2,236		44,995	8,346		46,659	0,000	23,502	9,999	27,990	29,180	4,538	4,792
96	camp 77	14:44:47			10,860	4,540	12,444	13,401	14,305	1,967	2,115		46,222	8,450		45,328	0,000	23,959	10,016	27,453	29,565	4,340	4,667
97	camp 78	14:48:12			10,458	4,337	12,283	13,026	14,221	1,885	2,065		47,765	7,939		44,277	0,000	24,072	9,841	27,742	29,423	4,258	4,663
98	camp 79	14:51:33			10,329	4,102	11,631	12,419	13,582	1,735	1,932		49,267	8,569		42,164	0,000	24,497	9,729	27,632	29,453	4,105	4,583
99	camp 79	14:55:01			10,064	3,879	11,237	11,906	13,124	1,605	1,825		52,168	7,317		40,515	0,000	24,840	9,574	27,735	29,385	3,962	4,504
100	camp 80	14:58:26			9,634	3,611	10,330	11,312	12,058	1,419	1,634		54,414	7,846		37,741	0,000	25,525	9,568	27,372	29,444	3,761	4,330
101	camp 81	15:01:49			9,094	3,308	9,834	10,286	11,473	1,307	1,519		56,324	8,127		35,349	0,000	25,726	9,359	27,820	29,099	3,698	4,297
102	camp 82	15:05:13			8,648	3,057	9,096	9,317	10,317	1,168	1,363		59,529	7,631		32,840	0,000	26,332	9,310	27,667	28,979	3,555	4,137
103	camp 82	15:09:01			8,030	2,780	8,466	8,691	8,881	1,036	1,234		63,049	6,694		30,257	0,000	26,539	9,190	27,979	28,723	3,490	4,079
104	camp 83	15:12:24			7,340	2,452	7,352	7,666	8,282	0,888	1,034		65,337	7,951		26,712	0,000	27,479	9,178	27,448	28,700	3,325	3,879
105	camp 84	15:15:53			6,649	2,138	6,817	8,732	7,360	0,813	0,916		69,034	6,843		24,103	0,000	27,587	8,915	28,283	27,930	3,381	3,864
106	camp 85	15:19:14			5,879	1,853	5,839	5,783	6,365	0,694	0,775		70,824	8,301		20,823	0,000	28,230	8,906	28,036	27,778	3,330	3,719
107	camp 86	15:22:41			5,254	1,626	5,439	5,102	5,814	0,652	0,706		74,883	6,327		18,780	0,000	27,976	8,658	28,939	27,363	3,474	3,768
108	camp 87	15:26:07			4,545	1,396	4,851	4,372	4,889	0,543	0,594		77,054	6,825		16,121	0,000	28,194	8,658	28,852	27,121	3,493	3,682
109	camp 88	15:29:31			3,937	1,393	4,202	3,768	4,337	0,320	0,329		78,413	6,437		14,150	0,000	27,822	8,448	29,696	26,627	3,672	3,736
110	camp 89	15:32:58			3,418	1,020	3,673	3,252	3,713	0,467	0,439		81,728	5,984		12,288	0,000	27,813	8,300	29,888	26,462	3,803	3,733
111	camp 89	15:36:22			2,953	0,868	3,291	2,806	3,271	0,429	0,406		82,574	6,673		10,750	0,000	27,487	8,073	30,613	26,056	3,991	3,779
112	camp 90	15:39:48			2,563	0,731	2,638	2,434	2,738	0,300	0,346		83,279	3,389		9,333	0,000	27,467	8,047	30,410	26,296	4,078	3,706
113	camp 91	15:43:11			2,218	0,601	2,591	2,096	2,466	0,359	0,313		85,814	5,979		8,297	0,000	27,026	7,685	31,565	25,342	4,370	3,812
114	camp 92	15:46:32			1,933	0,545	2,300	1,831	2,148	0,326	0,273		86,365	6,226		7,208	0,000	26,809	7,365	31,910	25,401	4,527	3,788

C. Grafici.


Composizione Gas
100,000
90,000
80,000
70,000
60,000
50,000
40,000
30,000
20,000
10,000
0,000
%
O2
H2
CO
CO2
CH4
(MSieve)
08:24:00
09:36:00
10:48:00
12:00:00
13:12:00
14:24:00
15:36:00
16:48:00
tempo


Composizione Gas - normalizzazione
100,000
90,000
80,000
70,000
60,000
50,000
40,000
30,000
20,000
10,000
0,000
%
H2
CO
CO2
08:24:00
09:36:00
10:48:00
12:00:00
13:12:00
14:24:00
15:36:00
16:48:00
tempo