



Ricerca di Sistema elettrico

Caratterizzazione Impianto VAL.CH.I.RI.A. (VALorizzazione CHar Impianto Ricerche Avanzate). Prime prove di Pirolisi

A. Assettati, S. Cassani, M. Nobili, L. Pagliari, S. Scaccia,
G. Vanga S. Stendardo

CARATTERIZZAZIONE IMPIANTO VAL.CH.I.RI.A (VALORIZZAZIONE CHAR IMPIANTO RICERCHE AVANZATE).
PRIME PROVE DI PIROLISI

S. Cassani, M. Nobili, L. Pagliari, S. Scaccia, G. Vanga, S. Stendardo (ENEA)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

Parte A

Obiettivo a2: Ciclo pirolisi e gassificazione

Responsabile del Progetto: Ing. Stefano Giammartini, ENEA

Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO.....	5
2.1	PIROLIZZATORE	5
2.1.1	<i>Sistema di alimentazione del pirolizzatore</i>	6
2.2	GASSIFICATORE.....	6
2.2.1	<i>Sistema di alimentazione del gassificatore</i>	6
2.3	IMPIANTI AUSILIARI	6
2.3.1	<i>Riscaldatore ossigeno/aria/azoto</i>	7
2.3.2	<i>Torcia</i>	7
2.3.3	<i>Caldaia</i>	7
2.3.4	<i>Rampa gas</i>	7
2.3.5	<i>Circuito di raffreddamento</i>	7
2.3.6	<i>Soffiante</i>	7
2.3.7	<i>Piping</i>	7
2.4	STRUMENTAZIONE E SISTEMA DI CONTROLLO	7
3	ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE.....	8
3.1	ROTAZIONE TAMBURO PIROLIZZATORE.....	8
3.2	TARATURA COCLEE	9
3.2.1	<i>Coclea di alimentazione pirolizzatore</i>	9
	Ossido di Calcio	9
	Carbonato di calcio (dolomite).....	10
	Carbone.....	11
	Miscela carbone/olivina rapporto 1:4.....	12
	Miscela carbone/olivina rapporto 1:8.....	13
3.2.2	<i>Coclea di alimentazione char al gassificatore (C2)</i>	14
3.2.3	<i>Coclea di alimentazione reagenti al gassificatore (C3)</i>	15
3.3	TEMPI DI RESIDENZA PIROLIZZATORE	15
	Ossido di calcio.....	16
	Carbone (pezzatura 1-6 mm)	18
	Miscela carbone/olivina rapporto 1:4.....	19
	Miscela carbone/olivina rapporto 1:8.....	20
3.4	PROFILO DI TEMPERATURA NEL PIROLIZZATORE A TAMBURO ROTANTE.....	22
3.5	SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO	26
4	PROVE DI PIROLISI.....	28
	Prova A.....	28
	Prova B.....	29
5	CONCLUSIONI.....	31
6	APPENDICE	33
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	39

1 Introduzione

Il presente documento ha lo scopo di fornire le informazioni utili alla definizione e impostazione dei parametri di prova necessari per l'esercizio dell'impianto nel corso delle campagne sperimentali.

L'impianto è stato realizzato al fine di fornire informazioni utili all'approfondimento delle tematiche scientifiche affrontate nella piattaforma ZECOMIX, nei processi di gassificazione e carbonatazione con utilizzo di diverse tipologie di carbone, sorbenti solidi e di reagenti e/o catalizzatori.

Sarà inoltre utilizzato come facility per lo studio di un ciclo integrato pirolisi/gassificazione/combustione per l'ottimizzazione della produzione di syngas ad alto contenuto d'idrogeno da carboni anche di basso rango, a limitato impatto ambientale.

L'impianto denominato VAL.CH.I.R.I.A (VALorizzazione CHar, Impianto Ricerche Avanzate) è costituito dai componenti minimi rappresentati nello schema riportato in appendice (vedi Figura 12) e parte integrante del presente studio.

La versatilità dell'impianto permetterà l'utilizzo dello stesso anche per lo studio del comportamento di combustibili non convenzionali come biomasse, miscele carbone/biomasse ed altre.

Sarà inoltre possibile utilizzare i vari componenti in modo separato ed in modo integrato come riportato secondo le seguenti modalità:

- alimentazione – pirolisi – torcia,
- alimentazione – gassificazione – torcia,
- alimentazione – pirolisi – gassificazione – torcia,
- cattura CO₂ – torcia,
- alimentazione – gassificazione – cattura CO₂ – torcia.

La pressione di esercizio sarà prossima a quella atmosferica per facilitare l'esecuzione delle prove e la realizzazione strutturale della componentistica.



Figura 1 - Impianto VALCHIRIA; lato raffreddamento fumi.

2 Descrizione dell' impianto

L'impianto è costituito essenzialmente dai seguenti componenti:

1. **Pirolizzatore,**
2. **Gassificatore,**
3. **Impianti Ausiliari.**

2.1 Pirolizzatore

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 condizioni operative con cui viene condotta la pirolisi, in particolare dalla temperatura e dal tempo di esposizione del materiale a tale trattamento (tempo di residenza). 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.

Il pirolizzatore è realizzato con tecnologia a tamburo rotante. Questa tecnologia permette l'utilizzo di diverse tipologie di materiali da trattare termicamente a prescindere dalle caratteristiche strutturali, inoltre permette la realizzazione di diverse tipologie di pirolisi; a seconda dei parametri operativi quali, tempo di residenza, temperatura, ecc, si possono avere *pirolisi fast* e *pirolisi slow*, che di conseguenza avranno diversi prodotti in uscita dal combustore con più o meno presenza di materiale solido (denominato *char*) rispetto al gassoso condensabile (denominato *tar*) ed al gassoso incondensabile (*syngas*).

Il tamburo, realizzato in Alloy, è collegato ad una corona che ne determina la rotazione realizzata mediante un motore elettrico controllato da inverter, che permetterà una variazione di rotazione oscillante da 1 a 10 giri al minuto.

Questo parametro, accoppiato all'inclinazione del tamburo darà origine a uno dei parametri più importanti del processo di pirolisi, il tempo di permanenza del solido.

A tal riguardo il combustore è realizzato su una struttura adeguata alla necessità di variazione di inclinazione del combustore che può variare da 0° a 7° a seconda delle necessità operative e delle caratteristiche fisiche e strutturali del materiale da trattare.

Al fine di migliorare lo scambio termico e il miscelamento, la superficie interna del tamburo è munita di un sistema di alettatura saldato.

Il tamburo è riscaldato tramite 3 coppie di semigusci elettrici della potenza complessiva di 12 kW. Ogni coppia di semigusci controllata da un termoregolatore e una termocoppia posta in prossimità del tamburo in corrispondenza dei semigusci. I semigusci consentiranno di raggiungere le temperature di circa 1200°C.

La necessità di avere un riscaldamento distribuito deriva dalla necessità di omogeneizzare la temperatura all'interno del combustore che tenderebbe a diminuire nel primo tratto per effetto dell'immissione del materiale freddo e del gas di trasporto (azoto).

Al termine del pirolizzatore è presente una camera di calma, all'interno della quale saranno scaricati i prodotti solidi, e le cui pareti laterali sono riscaldate mediante quattro piastre riscaldanti della potenza complessiva di 4 kW provviste di termocoppia e termoregolatore per mantenere la temperatura della camera al di sopra dei 300°C.

Questo parametro è di essenziale importanza perché impedisce ai prodotti di pirolisi gassosi condensabili (*tar*) di condensare e depositarsi sulle pareti e/o sulle linee poste a valle.

Il pannello della camera opposto al tamburo è apribile in prossimità della clappa di tenuta per consentirne l'ispezione. Sul portello di ispezione è allocato un canotto per il passaggio di una termocoppia che rileverà la temperatura interna del tamburo. La parte superiore comprende la linea per l'uscita del gas di pirolisi. La parte inferiore della camera è rastremata per convogliare il *char* alla coclea posta inferiormente.

La tenuta tra la camera di calma e la coclea sottostante è garantita da una clappa manuale che convoglierà il *char* verso un serbatoio con due possibili alternative:

- il contenitore di stoccaggio posto fuori linea;
- il contenitore char di alimentazione alla coclea che a sua volta alimenterà il gassificatore.

Un mantello di contenimento realizzato in acciaio inox e materiale coibente racchiude il pirolizzatore, ad esclusione della corona di rotolamento, e la camera di calma.

In testa al pirolizzatore sono previsti una serie di bocchelli per alimentare lo stesso con flussi di azoto e aria/ossigeno e vapore proveniente dalla caldaia.

2.1.1 Sistema di alimentazione del pirolizzatore

Il pirolizzatore sarà alimentato mediante una tramoggia di carico e una coclea. La coclea, posta al di sotto della tramoggia è provvista di una camicia di raffreddamento ad acqua corrente e di una serie di canali atti al flussaggio di fluidi gassosi e vapore. Essa convoglia all'interno del pirolizzatore il carbone o altro materiale solido avente pezzatura variabile attraverso l'accoppiamento con un motore elettrico con riduttore azionato mediante inverter che consentirà quindi di variare la portata d'alimentazione.

2.2 Gassificatore

Il gassificatore è concepito con tecnologia a letto fluido, costituito da un tubo posto in posizione verticale di diametro interno pari a 150 mm e alto 1900 mm. E' suddiviso in due parti da una piastra distributrice (setto poroso) aventi caratteristiche tali da permettere la realizzazione di un letto fluidizzato di circa 10cm alla temperatura di circa 800 °C. Le sezioni metalliche, superiore e inferiore, saranno flangiate, per consentirne l'ispezione e l'eventuale sostituzione della piastra.

E' previsto inoltre nella parte bassa una camera per il convogliamento dei fluidi gassosi fluidificanti e per il vapore agente gassificante, quest'ultimo attraverso una corona munita di iniettori.

E' prevista la presenza di un'ulteriore tramoggia per il reagente e/o catalizzatore da immettere nel gassificatore. La coclea, posta al di sotto della tramoggia, convoglierà il reagente all'interno del gassificatore e verrà posta in rotazione da un motore elettrico con riduttore azionato mediante inverter che consentirà quindi di variare la portata a seconda delle esigenze.

Prima di immettersi nella linea di uscita, il syngas prodotto nel gassificatore attraversa un piccolo ciclone che garantirà l'abbattimento dell'eventuale particolato presente nel flusso.

2.2.1 Sistema di alimentazione del gassificatore

La coclea per il convogliamento del char dalla tramoggia posta sotto la camera di calma e il gassificatore è azionata da un motoriduttore elettrico provvisto di inverter per il controllo della velocità e di conseguenza della portata di alimento al gassificatore.

La posizione della coclea è inclinata rispetto al gassificatore al fine di realizzare una tenuta meccanica verso la tramoggia di carico con il materiale presente nel condotto.

2.3 Impianti ausiliari

L'impianto VAL.CH.I.RI.A oltre ai componenti principali riportati sopra è asservito da ulteriori componenti necessari per i processi di studio:

1. riscaldatore fluidi,
2. torcia,
3. caldaia,
4. rampa gas,
5. circuito di raffreddamento,
6. soffiante,
7. piping,
8. strumentazione e sistema di controllo.

2.3.1 Riscaldatore ossigeno/aria/azoto

I gas immessi nel pirolizzatore e nel gassificatore (ossigeno, aria, azoto), necessari come gas di trasporto, per la combustione parziale del syngas prodotto dal pirolizzatore, e/o per la fluidizzazione all'interno del gassificatore possono essere preriscaldati passando attraverso un riscaldatore costituito da una resistenza elettrica da 4 kw controllata da termocoppia e posizionata all'interno di un componente orizzontale refrattariato internamente.

2.3.2 Torcia

L'impianto è dotato di torcia con fiamma pilota e accenditore piezoelettrico, è presente inoltre una specola visiva per il controllo fiamma. Il condotto è munito anche di un bocchello per l'installazione di una sonda per l'analisi dei fumi. Nel condotto del gas che conduce alla torcia sarà previsto l'inserimento di un arrestatore di fiamma.

2.3.3 Caldaia

Una caldaia per la produzione di 3 kg/h di vapore a 220°C 0,5 barg sarà asservita all'impianto. La caldaia, dotata di riscaldatore elettrico e sistema di regolazione nonché di sistemi di sicurezza necessari alla generazione del vapore alla pressione e temperatura fissata, è fornita anche di un regolatore di pressione in uscita e di un surriscaldatore elettrico che garantisce il mantenimento della temperatura di esercizio.

2.3.4 Rampa gas

Come descritto precedentemente l'impianto deve essere asservito da una serie di gas tecnici; per cui in prossimità dello skid è stata realizzata una rampa gas presso la quale confluiscono: aria, azoto e ossigeno; per motivi di sicurezza il metano è posizionato distante da tale rampa.

I gas giunti alla rampa di distribuzione sono ridotti in pressione tramite PCV ai valori di esercizio che vanno da 0,1 a 0,5 bar .

2.3.5 Circuito di raffreddamento

Allo scopo di raffreddare il syngas prima del suo convogliamento al rompi fiamma, e/o alla soffiante, sono state realizzate due colonne di raffreddamento con scambiatori indiretti ad acqua.

2.3.6 Soffiante

Al fine di sopperire ad eventuali perdite di carico dovute al piping ed in particolare al sistema di raffreddamento, è stata installata una soffiante con linea di by-pass per la sua esclusione.

2.3.7 Piping

Completano l'impianto le varie valvole manuali di regolazione (VR), le valvole manuali on/off (V) e il piping di raccordo tra i vari componenti.

2.4 Strumentazione e sistema di controllo

L'impianto è dotato di quadro elettrico di alimentazione generale in campo. La gestione delle logiche è implementata su PLC. Anche il quadro di controllo (PLC e moduli di acquisizione) è in campo e l'interfaccia operatore è remotizzata nella sala controllo ZECOMIX su due stazioni operatore dedicate (vedi sinottico in Appendice, Figura 13). Tutto il sistema di controllo è stato realizzato su hardware ABB in ambiente ABB – Freelance.

L'impianto è strumentato come riportato nelle Tabella 19, Tabella 20, Tabella 21, Tabella 22 e secondo lo schema in Figura 12, (vedi Appendice).

I comandi marcia e arresto sono remotizzati in sala controllo così come le regolazioni di velocità e portate. La strumentazione relativa alle temperature, pressioni, portate è di tipo locale e/o ritrasmesso a seconda delle necessità di processo.

In particolare le regolazioni delle temperature del pirolizzatore e della camera di calma sono implementate sul PLC e disponibili sull'interfaccia operatore, così come la rotazione del tamburo e la velocità di rotazione delle coclee che definiscono le portate.

Anche i consensi all'accensione della Caldaia, del Riscaldatore e della Soffiante vengono effettuati da remoto.

3 Attività di caratterizzazione

3.1 Rotazione tamburo pirolizzatore

La velocità di rotazione tamburo è un dato molto importante per un reattore di questa tipologia perché attraverso questo dato è possibile intervenire su uno dei parametri che caratterizzano il processo di pirolisi: il tempo di residenza.

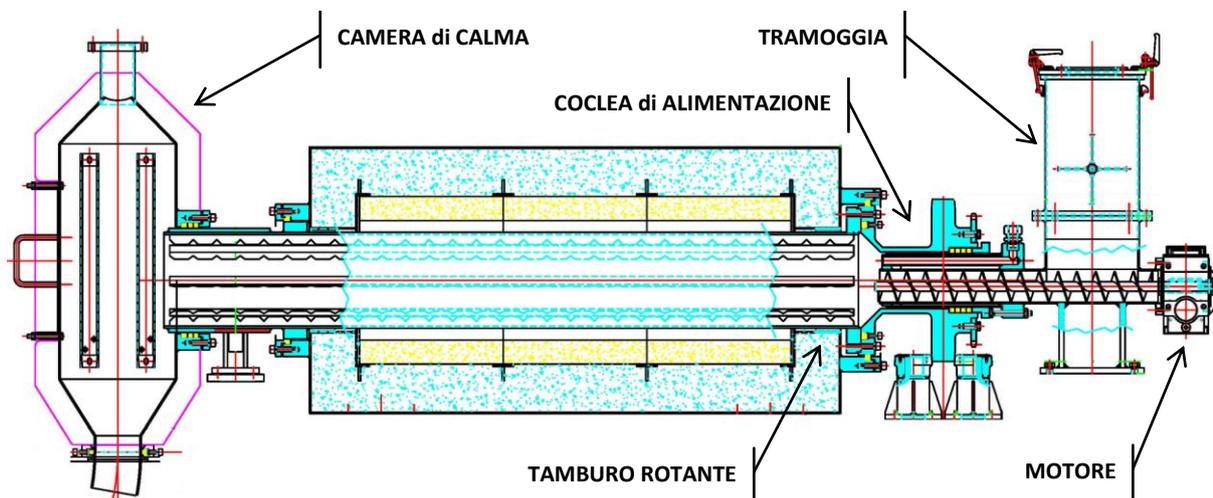


Figura 2- VALCHIRIA - Disegno CAD Pirolizzatore (sezione).

Per la taratura della rotazione tamburo si è proceduto nel seguente modo:

- ✓ avviata rotazione alla massima velocità,
- ✓ conteggiato il numero di giri effettuati alla massima velocità (100%)

Ripetute le operazioni dei punti precedenti impostando la velocità di rotazione tamburo a valori differenti. Da queste operazioni si è potuto estrapolare la Tabella 1 attraverso la quale si è potuto individuare la curva di taratura.

segnale di pilotaggio [%]	frequenza inverter [Hz]	rotazione tamburo [giri/minuto]
100	50	8,2
80	40	6,6
60	30	5
40	20	3,4
20	10	1,6

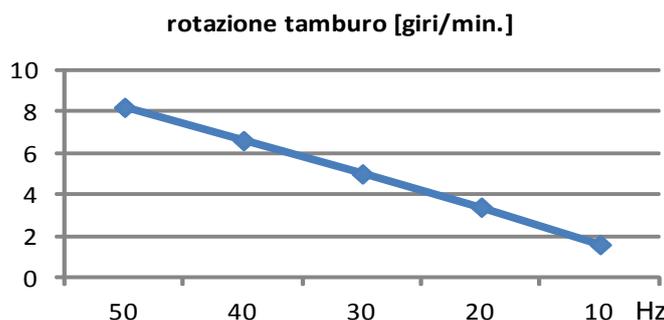


Tabella 1 – VALCHIRIA - Taratura rotazione tamburo pirolizzatore.

3.2 Taratura coclee

3.2.1 Coclea di alimentazione pirolizzatore

Come è stato riportato in premessa, l'impianto VALCHIRIA ha la caratteristica di essere molto versatile per quanto riguarda la possibilità di avere fluidi solidi di alimentazione al pirolizzatore con diverse caratteristiche sia sotto l'aspetto legato alle dimensioni che alla densità; per questo motivo nella campagna di caratterizzazione sono stati inseriti diversi materiali come possibili matrici in ingresso:

1. ossido di Calcio,
2. carbonato di Calcio (dolomite),
3. carbone (1-6 mm),
4. miscela carbone/olivina, rapporto 1:4;
5. miscela carbone /olivina, rapporto 1:8.

Ossido di Calcio

La prima prova di taratura è stata effettuata utilizzando l'ossido di calcio utilizzato nel Carbonatore relativo alla Piattaforma ZECOMIX per la cattura della CO₂, avente uno spessore inferiore a 150 micron.

Le operazioni sono state eseguite secondo una specifica sequenza:

- ✓ caricata la tramoggia con circa 5.000 grammi di materiale,
- ✓ impostata inclinazione tamburo nella posizione intermedia (circa 5°),
- ✓ impostata rotazione tamburo a 50 Hz (circa 8,2 giri/min),
- ✓ avviata la coclea alla massima rotazione (50 Hz),
- ✓ raggiunte le condizioni di pieno carico della coclea (condotto completamente pieno di materiale),
- ✓ effettuate pesate del materiale scaricato dal tamburo ogni 10 minuti,
- ✓ raggiunte le condizioni di equilibrio tra materiale in alimento al tamburo tramite coclea e materiale in uscita dal tamburo (tali condizioni sono state raggiunte con un valore di 550 g dopo tre pesate oscillanti tra i 500g e i 600 g);

Risultato

550g in 10 minuti, quindi **portata = 55 g/min.**

Le operazioni effettuate sopra sono state ripetute cambiando come parametro la rotazione della coclea ottenendo come risultato la Tabella 2.

frequenza inverter coclea [Hz]	portata CaO [g/minuto]
50	55
40	46
30	34
20	23
10	11

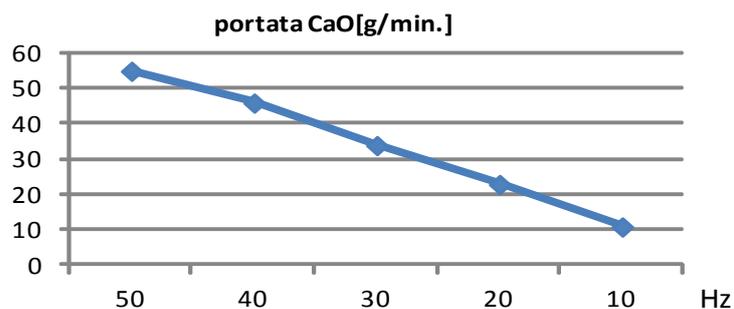


Tabella 2 – VALCHIRIA - Taratura coclea di alimentazione pirolizzatore con CaO.

NOTA: il transitorio coclea da avvio a inizio scarico nel tamburo è di circa 11 min. con coclea a 50 Hz.



Figura 3 - VALCHIRIA; particolare della camera di calma del pirolizzatore durante prove di taratura.

Carbonato di calcio (dolomite)

La prova di taratura è stata effettuata utilizzando una miscela così composta:

- 50% carbonato di calcio utilizzato nel carbonatore dopo essere stato sottoposto a calcinazione e cattura della CO₂, avente uno spessore di circa 500 micron,
- 50% dolomite tal quale di uguale spessore.

Le operazioni sono state eseguite secondo la sequenza seguente.

predisposizione:

- ✓ caricata la tramoggia con circa 8.000 grammi di materiale,
- ✓ impostata inclinazione tamburo a circa 3°,
- ✓ impostata rotazione tamburo a 50 Hz (100%, circa 8,2 giri/min);

procedura:

- ✓ avviata la coclea alla massima rotazione (50 Hz),
- ✓ impostato fluido di trasporto (aria) a 15 lt/min., P= 0,5 bar,
- ✓ impostato battente tramogge (aria) a 8 lt/min.,
- ✓ raggiunte le condizioni di pieno carico della coclea (condotto completamente pieno di materiale),
- ✓ effettuate pesate del materiale scaricato dal tamburo ogni 10 minuti,
- ✓ raggiunte le condizioni di equilibrio tra materiale in alimento al tamburo tramite coclea e materiale in uscita dal tamburo.

Risultato

1750gr in 20 minuti, quindi **portata = 87 g/min**

NOTA: il transitorio coclea da avvio a inizio scarico nel tamburo è di circa 11 minuti con coclea a 50 Hz.

Le operazioni effettuate sopra sono state ripetute cambiando come parametro la rotazione della coclea ottenendo come risultato la Tabella 3.

frequenza inverter coclea [Hz]	portata CaCO ₃ [g/minuto]
50	87
40	65
30	47
20	27
10	15

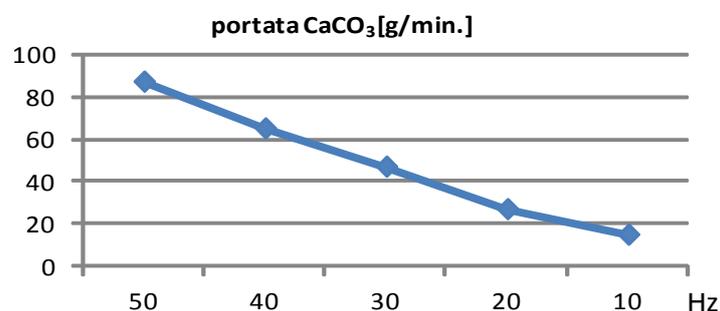


Tabella 3 – VALCHIRIA – Taratura coclea di alimentazione pirolizzatore con CaCO₃.

Carbone

La prova di taratura coclea alimentazione pirolizzatore è stata effettuata utilizzando carbone con pezzatura 1-6 mm. Le operazioni sono state eseguite secondo la sequenza elencata di seguito.

predisposizione:

- ✓ caricata la tramoggia con circa 8.000 grammi di materiale,
- ✓ impostata inclinazione tamburo nella posizione minima (circa 3°),
- ✓ rotazione tamburo variabile,
- ✓ battente aria tramoggia di carico 10 lt/min.,
- ✓ flussaggio aria di trasporto nel tamburo 100 lt/min, P= 1 bar;

procedura:

- ✓ avviata la coclea alla massima rotazione (50 Hz),
- ✓ impostata rotazione tamburo a 50 Hz,
- ✓ raggiunte le condizioni di pieno carico della coclea (condotto completamente pieno di materiale),
- ✓ effettuate pesate del materiale scaricato dal tamburo ogni 20 minuti,
- ✓ raggiunte le condizioni di equilibrio tra materiale in alimento al tamburo tramite coclea e materiale in uscita dal tamburo (tali condizioni sono state raggiunte con un valore medio di 1250g).

Risultato

1250g in 20minuti quindi **portata = 62 g/min.**

Le operazioni effettuate sopra sono state ripetute cambiando come parametro la rotazione della coclea e la rotazione tamburo ottenendo come risultato la Tabella 4.

NOTA: il transitorio coclea da avvio a inizio scarico nel tamburo è di circa 11 minuti con coclea a 50 Hz.

frequenza inverter [Hz]		portata carbone [g/minuto]
coclea	(tamburo)	
50	(50)	62
40	(40)	47
30	(30)	37
20	(20)	22
10	(10)	10

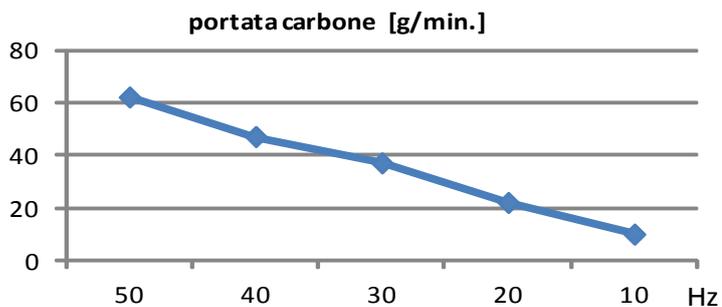


Tabella 4 – VALCHIRIA – Taratura coclea di alimentazione Piroizzatore con carbone.

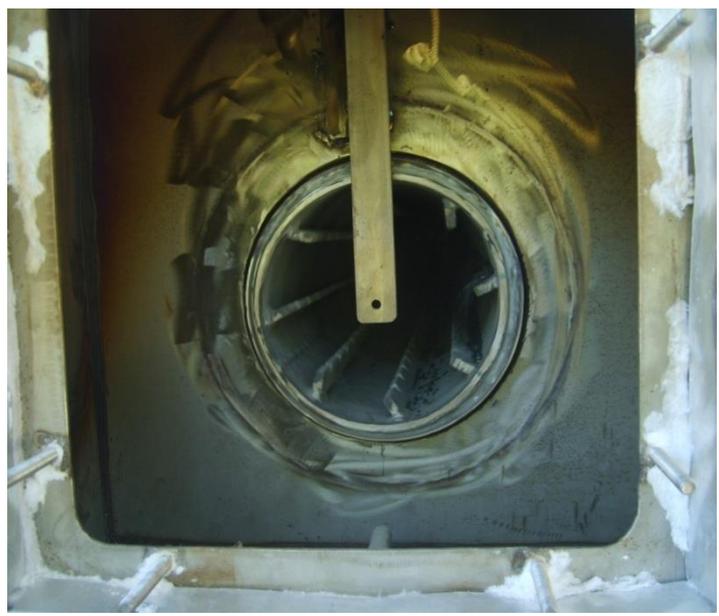


Figura 4 - VALCHIRIA - Piroizzatore; particolare del tamburo rotante dal lato della camera di calma durante la taratura con carbone.

Miscela carbone/olivina rapporto 1:4

Allo scopo di favorire la reazione di cracking del Tar prodotto nel corso del processo di pirolisi del Carbone si ipotizza la necessità di utilizzare in alimentazione una miscela carbone/olivina con rapporto di miscela 1:4.

Inoltre ipotizzando di raggiungere le condizioni di ciclo integrato: pirolizzatore/gassificatore, e riscontrando la necessità di avere nel combustore di gassificazione a letto fluido una miscela di char da carbone/olivina con rapporto 1:8, e calcolando che nel processo di pirolisi del carbone e trasformazione a char dello stesso, per effetto termico si verifica una riduzione di peso di circa il 50%, è comunque ipotizzabile prevedere una alimentazione al pirolizzatore con una miscela carbone/olivina, con rapporto in peso 1:4.

La prova di taratura coclea alimentazione pirolizzatore è stata effettuata utilizzando una miscela carbone 1-6 mm/olivina 0,5 mm.

Le operazioni sono state eseguite secondo la sequenza elencata di seguito.

predisposizione:

- ✓ caricata la tramoggia con circa 8.000 grammi di materiale miscelato preventivamente,
- ✓ impostata inclinazione tamburo nella posizione minima (circa 3°),
- ✓ rotazione tamburo variabile,
- ✓ battente aria tramoggia di carico 10 lt/min,
- ✓ flussaggio aria di trasporto nel tamburo 30 lt/min P= 1 bar;

procedura:

- ✓ avviata la coclea alla massima rotazione (50 Hz),
- ✓ raggiunte le condizioni di pieno carico della coclea (condotto completamente pieno di materiale),
- ✓ effettuate pesate del materiale scaricato dal tamburo ogni 20 minuti,
- ✓ raggiunte le condizioni di equilibrio tra materiale in alimento al tamburo tramite coclea e materiale in uscita dal tamburo (tali condizioni sono state raggiunte con un valore medio di 1900 g dopo tre pesate oscillanti tra i 1900g e i 1850g).

Risultato

1900gr in 2 0minuti quindi **portata = 95gr/min.**

Le operazioni effettuate sopra sono state ripetute cambiando come parametro la rotazione della coclea ottenendo come risultato la Tabella 5.

NOTA: il transitorio coclea da avvio a inizio scarico nel tamburo è di circa 11 minuti con coclea a 50 Hz.

frequenza inverter [Hz] coclea	(tamburo)	portata carbone/olivina 1:4 [g/minuto]
50	(50)	100
40	(40)	80
30	(30)	60
20	(20)	40
10	(10)	20

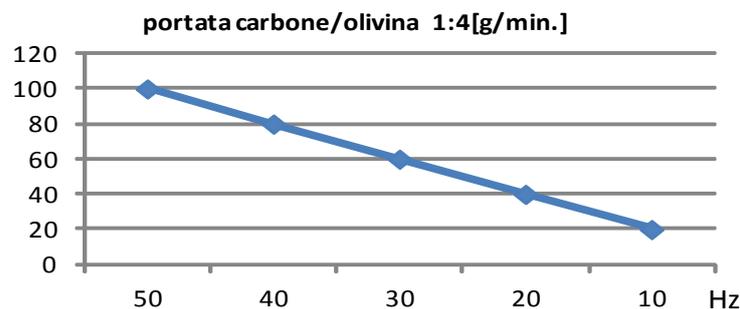


Tabella 5 - VALCHIRIA – Taratura coclea di alimentazione Pirolizzatore con miscela carbone/olivina 1:4.

Miscela carbone/olivina rapporto 1:8

Prevedendo di optare anche per un processo di pirolisi o gassificazione con una maggiore diluizione del combustibile (carbone), è stata effettuata una ulteriore taratura utilizzando una miscela carbone 1-6 mm/olivina 0,5 mm con rapporto 1:8.

Le operazioni sono state eseguite secondo la seguente sequenza.

predisposizione:

- ✓ caricata la tramoggia con circa 8.000 grammi di materiale miscelato preventivamente,
- ✓ inclinazione tamburo nella posizione intermedia (circa 5°),
- ✓ rotazione tamburo a 50 Hz (circa 8,2 giri/min),
- ✓ flussaggio aria trasporto 15 lt/min P= 0,150 bar;

procedura:

- ✓ avviata la coclea alla massima rotazione (50 Hz),
- ✓ raggiunte le condizioni di pieno carico della coclea (condotto completamente pieno di materiale),
- ✓ effettuate pesate del materiale scaricato dal tamburo ogni 20 minuti,
- ✓ raggiunte le condizioni di equilibrio tra materiale in alimento al tamburo tramite coclea e materiale in uscita dal tamburo (tali condizioni sono state raggiunte con un valore medio di 1900 g dopo tre pesate oscillanti tra i 1900 g e i 1850 g).

Risultato

1900gr in 20 minuti quindi **portata = 95gr/min.**

Le operazioni effettuate sopra sono state ripetute cambiando come parametro la rotazione della coclea ottenendo come risultato la taratura riportata in Tabella 6.

frequenza inverter [Hz] coclea	(tamburo)	portata carbone/olivina 1:8 [g/minuto]
50	(50)	95
40	(40)	75
30	(30)	56
20	(20)	35
10	(10)	14

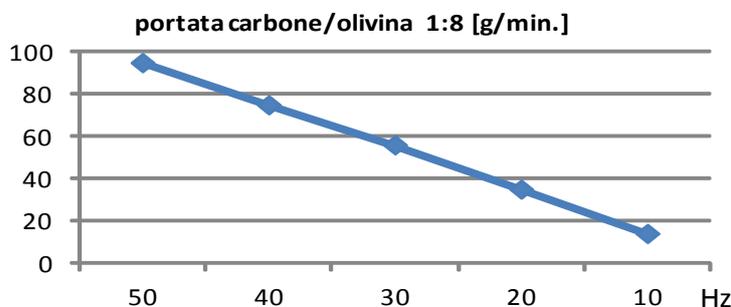


Tabella 6 - VALCHIRIA – Taratura coclea di alimentazione Pirolizzatore con miscela carbone/olivina 1:8.

3.2.2 Coclea di alimentazione char al gassificatore (C2)

Anche per la coclea di alimentazione al gassificatore, denominata coclea char (C2), saranno previste diverse tarature utilizzando materiali con densità e granulometria diversa al fine di avere uno spettro completo del materiale da utilizzare nel combustore.

Dopo aver caricato la tramoggia in uscita al pirolizzatore con ossido di calcio, ed avviata la coclea C2, si è atteso il raggiungimento delle condizioni di alimentazione stazionaria, verificando il materiale in uscita dalla coclea stessa; per fare ciò si è reso necessario asportare la parte bassa del gassificatore dove è previsto l'alloggiamento del piatto poroso e il collegamento con le varie alimentazioni: vapore e linee in uscita dal riscaldatore.

Raggiunte le condizioni di cui sopra è stata avviata la coclea variando sistematicamente la rotazione del motore di alimentazione coclea e pesando il quantitativo di materiale in uscita.

Da ciò è emersa la Tabella 7 sotto riportata e la relativa curva di taratura.

frequenza inverter coclea [Hz]	portata CaO [g/minuto]
50	60
40	45
30	35
20	22
10	10

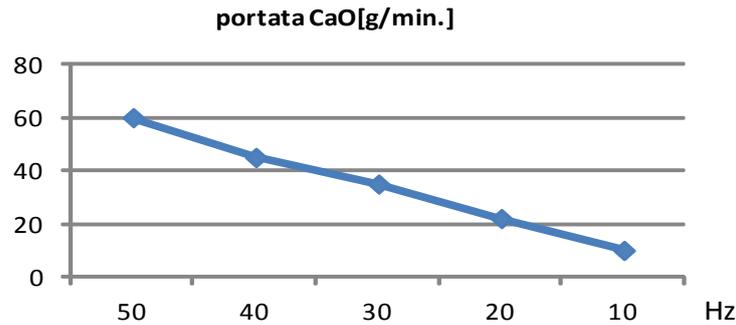


Tabella 7 – VALCHIRIA - Taratura coclea di alimentazione char al gassificatore con CaO.

3.2.3 Coclea di alimentazione reagenti al gassificatore (C3)

Anche per la coclea di alimentazione reagenti al gassificatore (C3), sono state effettuate diverse curve di taratura a seconda del materiale di alimentazione seguendo le procedure utilizzate in precedenza.

Di seguito riportiamo la taratura per l'ossido di calcio.

frequenza inverter coclea [Hz]	portata CaO [g/minuto]
50	33
40	25
30	18
20	12,5
10	5

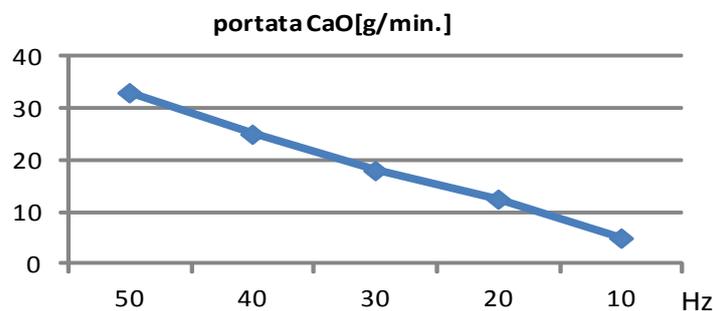


Tabella 8 – VALCHIRIA - Taratura coclea di alimentazione reagenti al gassificatore con CaO.

3.3 Tempi di residenza pirolizzatore

Il tempo di residenza è uno dei parametri operativi più importanti legati al processo di trattamento termico in un combustore a tecnologia "tamburo rotante" di un qualsiasi materiale sottoposto a combustione, gassificazione, pirolisi o anche semplice miscelazione/agglomerazione perché lo stazionamento più o meno lungo di un materiale ad una data temperatura può determinare una diversa scomposizione molecolare tipica del processo e dello stesso materiale oggetto di studio.

Il tempo di residenza dipende da diversi fattori che caratterizzano il materiale:

- dimensioni,
- densità,
- conformazione fisica,
- peso;

e il combustore:

- dimensione – lunghezza,
- dimensione – diametro,
- inclinazione del tamburo,
- velocità di rotazione,
- conformazione interna del tamburo.

Al fine di avere valori il più possibile vicini alla realtà si è proceduto ad effettuare una serie di prove sperimentali secondo le procedure sequenziali di seguito riportate:

- ✓ impostazione dell'inclinazione,
- ✓ impostazione della rotazione tamburo,
- ✓ impostazione del flusso di gas di trasporto,
- ✓ impostazione del flusso del gas battente,
- ✓ impostazione di una portata standard di materiale ($Q_a=g/min$),
- ✓ raggiungimento delle condizioni stazionarie (scarico costante del materiale dal tamburo),
- ✓ arresto della alimentazione al tamburo (fermata coclea),
- ✓ svuotamento tamburo e determinazione della massa ($M_s=g$).

Si definisce il "Tempo di Residenza" di un materiale il rapporto tra M_s e Q_a

$$t_r = \frac{M_s}{Q_a} = \frac{[g]}{\left[\frac{g}{min}\right]} = [min]$$

Lo studio sui tempi di residenza è stato effettuato prendendo in considerazione le seguenti matrici in alimento al tamburo rotante:

- ossido di calcio,
- carbonato di calcio,
- carbone pezzatura 1-6 mm,
- miscela carbone/olivina rapporto 1:4,
- miscela carbone/olivina rapporto 1:8.

Ossido di calcio

Sperimentalmente sono stati impostati i seguenti parametri:

- inclinazione di 5°,
- portata massica 55 gr/min,
- rotazione tamburo variabile.

Utilizzando l'Ossido di Calcio (CaO) come materiale di alimento sono stati definiti i valori medi di tempo di residenza come da Tabella 9

inclinazione tamburo [gradi]	portata massica [g/min]	rotazione tamburo		massa scaricata [g]	tempo di residenza [min]
		[giri/min]	[Hz]		
5	56	8,2	50	150	02:45,0
5	56	6,6	40	220	04:00,0
5	56	5	30	300	05:30,0
5	56	3,4	20	400	07:30,0
5	56	1,6	10	700	15:00,0

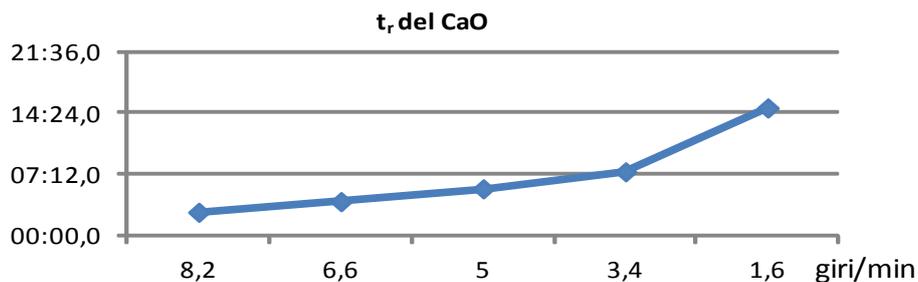


Tabella 9 – VALCHIRIA – Pirolizzatore; tempi di residenza del CaO in funzione della velocità di rotazione del tamburo.

A conferma di quanto riscontrato sperimentalmente è stata effettuata una verifica risalendo al tempo di residenza applicando una delle diverse equazioni che si trovano in letteratura; nello specifico è stata applicata l'equazione risultante dal Perry's Chemical Engineers' Handbook:

$$t_r = \frac{L}{\pi \cdot d \cdot n \cdot \text{tg}\beta}$$

dove:

t_r tempo di residenza [min],

L lunghezza tamburo [m],

d diametro tamburo [m], n rotazione [giri/min],

β inclinazione tamburo [gradi].

Analizzando i valori calcolati con l'equazione riportata sopra con quelli riscontrati sperimentalmente si nota una sostanziale congruenza come si evince dalla Tabella 10.

rotazione tamburo [giri/min]	valori sperimentali [min]	valori Perry [min]
8,2	02:45,0	03:00,0
6,6	04:00,0	03:50,0
5	05:30,0	05:00,0
3,4	07:30,0	07:25,0
1,6	15:00,0	15:30,0

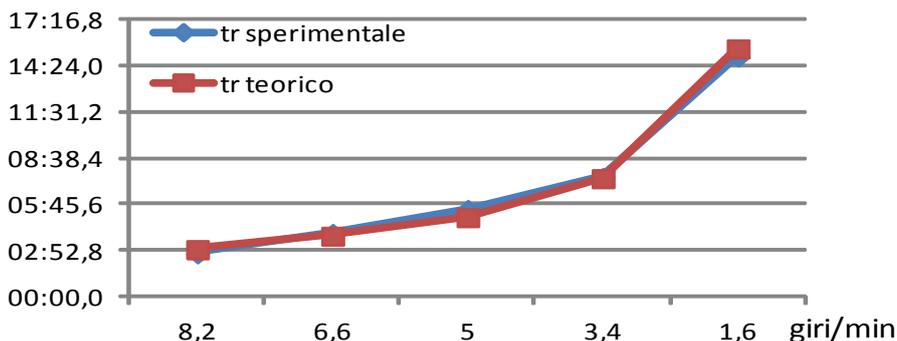


Tabella 10 – VALCHIRIA - Pirolizzatore; tempi di residenza in funzione della velocità di rotazione del tamburo. Confronto tra valori sperimentali e valori teorici.

Carbone (pezzatura 1-6 mm)

Sperimentalmente sono stati impostati i seguenti parametri:

- ✓ inclinazione di 3°,
- ✓ portata massica variabile,
- ✓ rotazione tamburo variabile.

Allo scopo di simulare in modo il più possibile prossimo alle condizioni operative, nello studio del tempo di residenza medio sono stati apportati ulteriori parametri operativi di riferimento:

- ✓ flussaggio di aria, circa 100 lt/min alla pressione di 1 bar allo scopo di simulare il flussaggio di azoto di trasporto,
- ✓ flussaggio battente tramoggia di carico 10 lt/min,
- ✓ riscaldamento combustore rotante a circa 150 °C,
- ✓ riscaldamento camera di calma a circa 80÷100 °C.

Utilizzando carbone come materiale di alimento sono stati definiti i valori medi di tempo di residenza come da Tabella 11.

inclinazione tamburo [gradi]	portata massica [g/min]	rotazione tamburo		massa scaricata [g]	tempo di residenza [min]
		[giri/min]	[Hz]		
3	62	8,2	50	200	03:15,0
3	47	6,6	40	200	04:15,0
3	35	5	30	200	05:30,0
3	22	3,4	20	170	08:00,0
3	10	1,6	10	150	15:00,0

t_r del carbone 1-6 mm

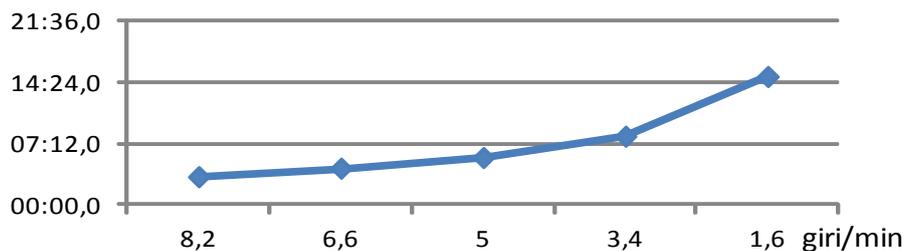


Tabella 11 – VALCHIRIA – Pirolizzatore; tempi di residenza del carbone 1-6mm in funzione della velocità di rotazione del tamburo.

Miscela carbone/olivina rapporto 1:4

Sperimentalmente sono stati impostati i seguenti parametri:

- ✓ inclinazione di 3°,
- ✓ portata massica variabile,
- ✓ rotazione tamburo variabile.

Allo scopo di simulare in modo il più possibile prossimo alle condizioni operative, nello studio del tempo di residenza medio sono stati apportati ulteriori parametri operativi di riferimento:

- ✓ flussaggio di aria, circa 30 lt/min alla pressione di 1 bar allo scopo di simulare il flussaggio di azoto di trasporto,
- ✓ flussaggio battente su tramoggia di carico 10 lt/min,
- ✓ riscaldamento combustore rotante a circa 150 °C,
- ✓ riscaldamento camera di calma a circa 80/100 °C.

Utilizzando la miscela carbone/olivina come materiale di alimento sono stati definiti i valori medi di tempo di residenza come da Tabella 12.

inclinazione tamburo [gradi]	portata massica [g/min]	rotazione tamburo		massa scaricata [g]	tempo di residenza [min]
		[giri/min]	[Hz]		
3	100	8,2	50	450	04:30,0
3	80	6,6	40	400	05:00,0
3	60	5	30	400	06:40,0
3	40	3,4	20	400	10:00,0
3	20	1,6	10	400	20:00,0

t_r del carbone/olivina 1:4

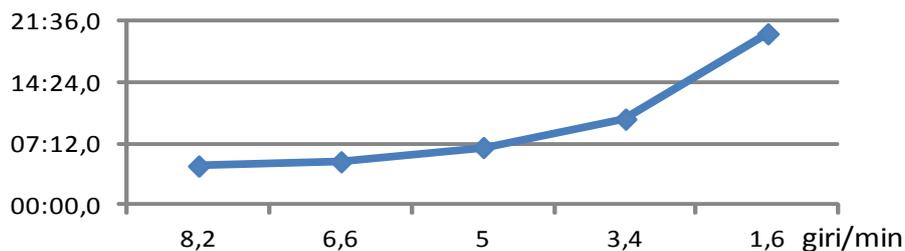


Tabella 12 – VALCHIRIA – Pirolizzatore; tempi di residenza della miscela carbone/olivina rapporto 1:4 in funzione della velocità di rotazione del tamburo.

Miscela carbone/olivina rapporto 1:8

Sperimentalmente sono stati impostati i seguenti parametri:

- ✓ inclinazione di 5°,
- ✓ portata massica 95 g/min,
- ✓ rotazione tamburo variabile.

Allo scopo di simulare in modo il più possibile prossimo alle condizioni operative, nello studio del tempo di residenza medio sono stati apportati ulteriori parametri operativi di riferimento:

- ✓ flussaggio di aria , circa 15 lt/min alla pressione di 150 mbar allo scopo di simulare il flussaggio di azoto di trasporto,
- ✓ riscaldamento combustore rotante a circa 150 °C,
- ✓ riscaldamento camera di calma a circa 80/100 °C.

Utilizzando la miscela carbone/olivina come materiale di alimento sono stati definiti i valori medi di tempo di residenza come da Tabella 13.

inclinazione tamburo [gradi]	portata massica [g/min]	rotazione tamburo		massa scaricata [g]	tempo di residenza [min]
		[giri/min]	[Hz]		
5	95	8,2	50	250	02:40,0
5	95	6,6	40	300	03:10,0
5	95	5	30	450	04:50,0
5	95	3,4	20	650	06:55,0
5	95	1,6	10	1200	12:50,0

t_r del carbone/olivina 1:8

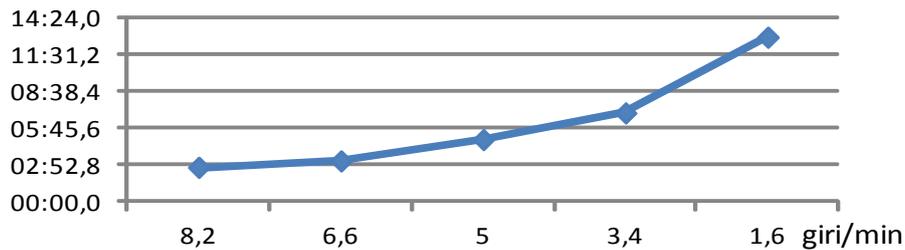


Tabella 13 – VALCHIRIA – Pirolizzatore; tempi di residenza della miscela carbone/olivina rapporto 1:8 in funzione della velocità di rotazione del tamburo.

Considerando che il tempo di residenza massimo ottenuto alle condizioni sopra riportate non soddisfa le esigenze impiantistiche per attività sperimentali ad ampio spettro di parametrizzazione, sono state effettuate ulteriori prove variando l'inclinazione del tamburo alla posizione di minima inclinazione possibile con blocchi di sicurezza (3°).

Sono state replicate le prove effettuate con inclinazione a 5°, con gli stessi parametri di riferimento, variando però in modo sistematico la portata della coclea di alimentazione al fine di effettuare una ulteriore verifica sulla taratura della stessa.

Come risultato finale si è avuto quanto riportato nella Tabella 14.

inclinazione tamburo [gradi]	portata massica [g/min]	rotazione tamburo		massa scaricata [g]	tempo di residenza [min]
		[giri/min]	[Hz]		
3	95	8,2	50	450	04:55,0
3	75	6,6	40	400	05:20,0
3	56	5	30	450	08:00,0
3	35	3,4	20	400	11:25,0
3	14	1,6	10	350	25:00,0

t_r del carbone/olivina 1:8

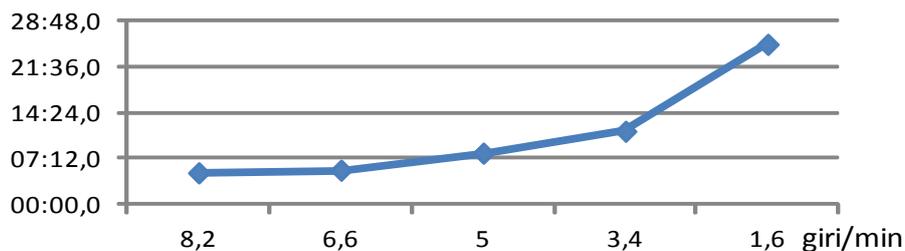


Tabella 14 – VALCHIRIA – Pirolizzatore; tempi di residenza della miscela carbone/olivina rapporto 1:8 in funzione della velocità di rotazione del tamburo e con portata variabile.

3.4 Profilo di temperatura nel pirolizzatore a tamburo rotante

Il tamburo rotante, come riportato nel capitolo descrittivo dell'impianto, è riscaldato da tre fasce scaldanti controllate rispettivamente da tre termocoppie, collegate al mantello esterno del tamburo, mentre la temperatura che viene utilizzata come riferimento durante il processo è inserita all'interno del combustore e penetra fino a circa metà dello stesso, a circa 75 cm dalla coclea di alimentazione.

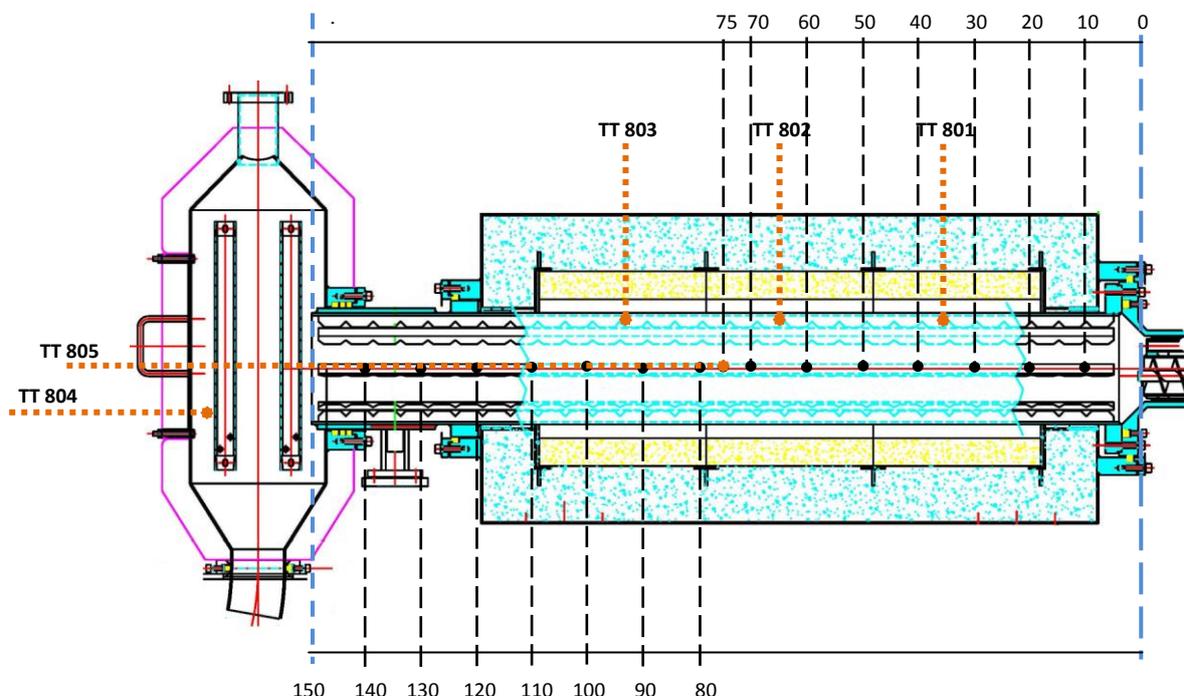


Figura 5 - VALCHIRIA – Pirolizzatore; rappresentazione dei punti di misura.

Al fine di verificare la corrispondenza in termini di temperatura tra il mantello e la zona interna di processo, sono state eseguite una serie di verifiche termometriche per individuare sia il delta tra i due che il profilo termico tra la zona di alimentazione e la zona di scarico.

Per fare ciò è stato inserito, attraverso il bocchello della termocoppia interna, un tubo in acciaio (vedi Figura 6) che ha attraversato il centro del tamburo fino a giungere alla estremità opposta dove è presente la coclea di alimentazione. All'interno del tubo è stata inserita una termocoppia sfilabile che ci ha permesso di misurare la temperatura a distanze prefissate.

Operativamente sono stati impostati alcuni parametri standard per simulare le condizioni operative:

- ✓ temperatura camera di calma circa 250÷300 °C,
- ✓ flussaggio 30 lt/min di aria alla pressione di circa 200 mbar,
- ✓ intercettato impianto a valle del pirolizzatore,
- ✓ aperta linea di campionamento post pirolizzatore per sfiato aria,
- ✓ aperta acqua di raffreddamento coclea di alimentazione.

I rilievi delle temperature sono stati effettuati a diverse distanze dalla coclea di alimentazione (vedi Figura 5) , nello specifico:

- 0 cm, immediata vicinanza alla coclea,
- 20 cm, inizio prima fascia scaldante,
- 50 cm, inizio seconda fascia scaldante
- 75 cm, prossimità termocoppia di controllo temperatura processo (TT805),
- 80 cm, inizio terza fascia scaldante,
- 110 cm fine terza fascia scaldante,
- 120 cm, fine zona coibentata,

- 150 cm, fine tamburo, immissione in camera di calma.



Figura 6 - VALCHIRIA - Pirolizzatore lato camera di calma; misure di temperatura.

punti di misura [cm]							set dei regolatori TIC 803,802,801 [°C]	t camera di calma TT804 [°C]
150 [°C]	120 [°C]	90 [°C]	75 [°C]	60 [°C]	30 [°C]	0 [°C]		
240	175	195	190	180	150	115	300	260
250	225	280	285	270	220	155	400	260
270	260	355	375	365	300	200	500	260
285	295	420	440	425	345	210	550	260
295	320	460	490	485	410	255	600	280
330	375	560	595	590	505	300	700	280
370	510	685	700	695	550	160	800	300
450	580	790	810	805	670	180	900	330
510	660	865	895	890	765	200	1000	370

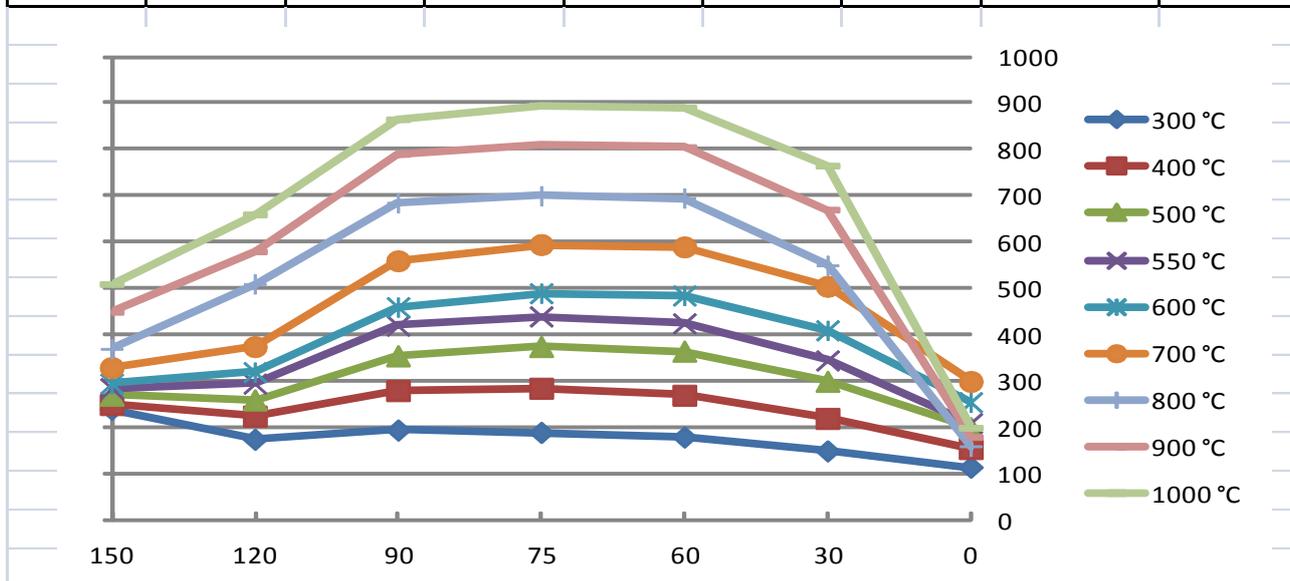


Tabella 15 - VALCHIRIA - Pirolizzatore; profili di temperatura con stessa regolazione sulle tre fasce scaldanti.

Le curve sopra riportate evidenziano una eccessiva differenza di temperatura tra la zona centrale e le zone periferiche se si imposta allo stesso valore il controllo delle tre fasce scaldanti. Le temperature sono comparabili lungo il profilo del tamburo tra 60cm e 90cm dalla coclea di alimentazione, per circa 30 cm. Nello studio del profilo di temperatura per il processo di pirolisi, per evitare questi eccessi di Δt riscontrati tra la zona interna scaldata e le zone periferiche del tamburo, sono stati effettuati rilievi diversificando la temperatura impostata sulle fasce scaldanti esterne e nella camera di calma (vedi Tabella 16).

punti di misura [cm]							camera di calma	set dei regolatori		
150 [°C]	120 [°C]	90 [°C]	75 [°C]	60 [°C]	30 [°C]	0 [°C]	TT804 [°C]	TIC 803 [°C]	TIC 802 [°C]	TIC 801 [°C]
340	405	605	620	610	540	305	295	750	700	750
350	420	635	640	615	545	320	300	800	700	750
310	320	455	470	455	395	215	300	600	550	600
330	355	500	495	480	435	235	320	650	500	650

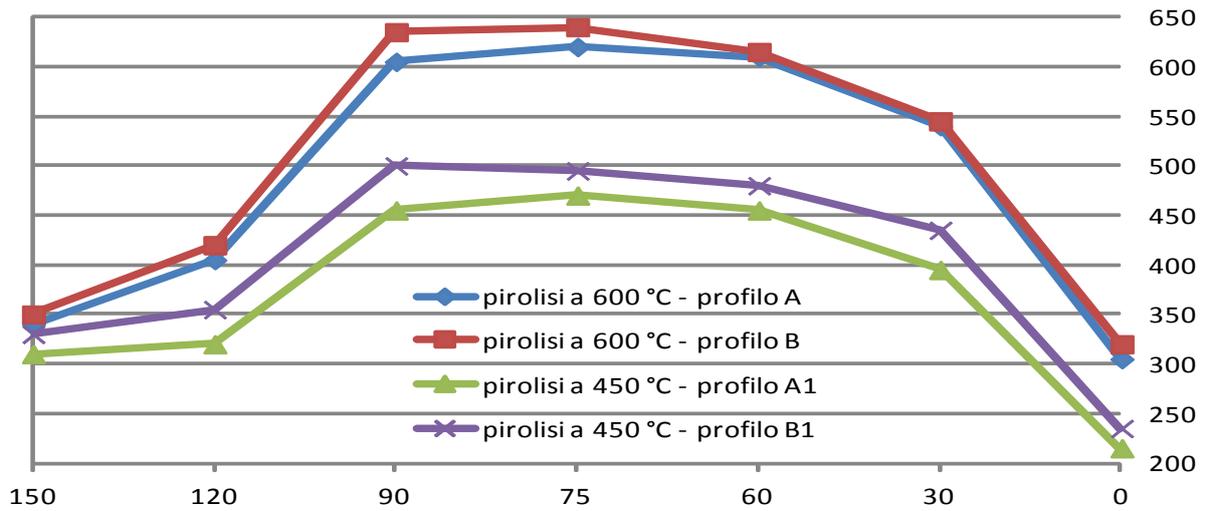


Tabella 16 - VALCHIRIA - Pirolizzatore; profili di temperatura con regolazioni diverse delle tre fasce scaldanti e della camera di calma.

Per evitare il possibile raffreddamento dovuto al flusso del fluido di trasporto, si diminuisce la portata aria da 30 lt/min a 15 lt/min.

Si effettuano inoltre rilievi termometrici anche in posizioni diverse per avere uno spettro più ampio sul profilo termometrico.

punti di misura [cm]								camera di calma	set dei regolatori		
150 [°C]	110 [°C]	100 [°C]	90 [°C]	75 [°C]	60 [°C]	20 [°C]	0 [°C]	TT804 [°C]	TIC 803 [°C]	TIC 802 [°C]	TIC 801 [°C]
340	460	540	600	640	650	570	330	310	750	700	800
350	480	570	630	655	655	570	330	310	780	700	800
310	330	440	480	490	480	465	240	290	650	500	650
325	390	445	490	500	500	450	245	310	650	500	680

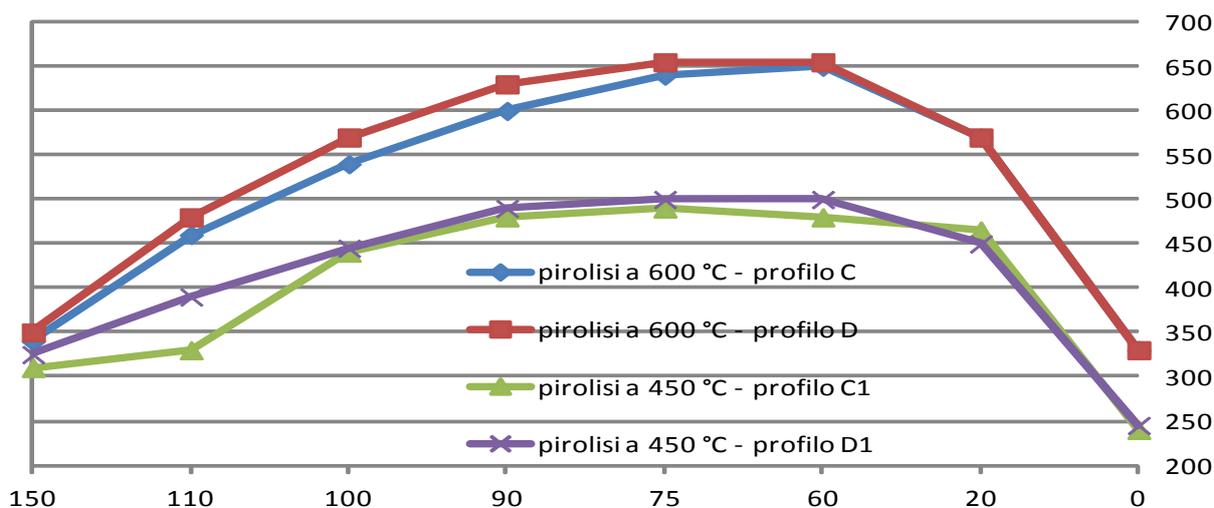


Tabella 17 - VALCHIRIA - Pirolizzatore; profili di temperatura con regolazioni diverse delle tre fasce scaldanti e della camera di calma e spostamenti dei punti di misura.

Le prove effettuate alle temperature di pirolisi evidenziano l'individuazione delle impostazioni termiche nelle prove C,D per la pirolisi a 600 °C e C1, D1 per la pirolisi a 450 °C, fermo restando che le condizioni termiche si ottengono a circa 20 cm dalla coclea di alimentazione e si protraggono per circa 80 cm. Le zone relativamente fredde sono dovute in parte alla mancanza di riscaldamento diretto, in parte alla mancanza di una coibentazione specifica, in particolare nella zona finale del tamburo prima della immissione in camera di calma.

3.5 Sistema di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento gas in uscita dal pirolizzatore e dal gassificatore è costituito da due contenitori in acciaio riempiti di acqua che fungono da raffreddatori/gorgogliatori ed hanno inoltre il compito di condensare i gas condensabili; a tale scopo sono dotati di linee di sfioro posizionate a due livelli ben distinti che però non ci forniscono l'eventuale livello intermedio del liquido.

Allo scopo di avere questa informazione, anche se approssimativa, che si rende utile per avere un parametro di riferimento circa il ΔP necessario per la fuoriuscita del syngas dall'impianto, è stato necessario effettuare una serie di verifiche atte a stabilire la capacità di riempimento del sistema di raffreddamento e di conseguenza il livello, e battente di liquido creato.

Aperta al 100% la valvola di alimentazione acqua, è stato conteggiato il tempo necessario per raggiungere il primo livello di sfioro.

La stessa prova è stata effettuata per raggiungere il secondo livello di sfioro.

Sono stati ottenuti i seguenti risultati:

1° raffreddatore

- raggiunto livello di sfioro a 600 mm in 2 minuti e 15 secondi,
- raggiunto livello di sfioro a 1500 mm in ulteriori 3 minuti e 15 secondi,
- velocità di riempimento circa 22" per 100 mm (circa 1,5 lt/sec).

2° raffreddatore

- raggiunto livello di sfioro 370 mm in 1 minuto e 43 secondi,
- raggiunto livello di sfioro 740 mm in ulteriori 1 minuto e 43 secondi,
- velocità di riempimento circa 28 minuti per 100 mm (1,2 lt/sec).

Altra verifica necessaria da effettuare è lo studio inerente la efficienza di abbattimento in temperatura che i due raffreddatori sono in grado di effettuare contestualmente all'eventuale lavaggio (abbattimento della frazione condensabile -TAR) del syngas compatibilmente con una portata di gas di trasporto.

Tale studio è stato effettuato adottando la seguente procedura:

Raffreddatore 1 - Condizioni impostate:

- ✓ flussaggio gas di processo (simulazione con aria) 175 lt/min P=1,5 bar,
- ✓ flussaggio battente gas 16 lt/min (simulazione con aria strumenti),
- ✓ riscaldamento Camera di Calma con uscita 40%,
- ✓ 1° Raffreddatore con livello acqua circa 20 cm,
- ✓ 2° Raffreddatore con livello acqua circa 20 cm,
- ✓ soffiante in marcia con uscita 30%.

Determinate queste condizioni si è proceduto ad impostare la temperatura di riscaldamento del pirolizzatore.

TT801,802,803 riscaldamento tamburo rotante [°C]	TT805 interna pirolizzatore [°C]	TT804 camera di calma [°C]	TT407 linea uscita pirolizzatore [°C]	T IN 1° raffredd. [°C]	T OUT 2° raffredd. [°C]	T OUT soffiante [°C]	FT404 portata aria alla torcia
500	375		246			32	2,17
550	440	138	246			32	2,11
600	490	146	256			32	2,11
650		157	281	70	31	34	2,02
700	595	167	295	145	31	34	2,01
750	640	195	338	165	33	35	2,01

Tabella 18 - VALCHIRIA; valutazione dell'abbattimento di temperatura determinato dal sistema di raffreddamento.



Figura 7 - VALCHIRIA - Sistema di raffreddamento.

4 Prove di pirolisi

La Pirolisi

La pirolisi consiste in un trattamento termico in assenza di agente ossidante, al quale può essere sottoposto un materiale solido. Conseguenza di questo processo si ha la formazione di due prodotti, uno solido denominato generalmente char ed uno gassoso, a sua volta composto da una frazione condensabile, denominata Tar ed una tipicamente gassosa incondensabile.

A seconda dei parametri di processo che caratterizzano questo trattamento termico, Temperatura e tempo di residenza, l'equilibrio dei prodotti di pirolisi si può spostare verso la frazione solida, liquida o gassosa.

Le prime prove effettuate su VALCHIRIA sono state eseguite allo scopo di collaudare la funzionalità delle apparecchiature nel corso delle fasi operative interessando esclusivamente la parte riguardante il processo di pirolisi ed hanno avuto i seguenti obiettivi specifici :

- verificare la produzione di metano utilizzando carbone di qualità antracitico (prova A),
- confrontare i risultati delle prove di laboratorio utilizzando carbone di basso rango sub-bituminoso (prova B).

Le prove sono state eseguite monitorando gli effluenti gassosi in uscita attraverso la linea di campionamento, utilizzando analisi gascromatografica e in parallelo analisi a infrarossi (IR).

Prova A

Al fine di rendere maggiormente comparabili i risultati conseguiti con VALCHIRIA, con quelli riscontrati su ZECOMIX, è stata utilizzata in alimentazione la stessa matrice di carbone utilizzata su quest'ultimo, miscelata con olivina in rapporto 1:4; l'utilizzo dell'olivina si è reso necessario al fine di favorire il cracking del tar prodotto nel corso del processo di pirolisi.

Definiti come parametri di processo la temperatura (T) e il tempo di residenza (t) del solido, è stato deciso di impostare il primo ad un valore medio-basso (450-520 C°), ed il secondo ad un valore medio-alto (circa 40 minuti); parametri questi che favoriscono una pirolisi lenta con produzione dei flussi in uscita spostata verso il residuo solido.

I parametri di prova sono stati impostati in base a quanto riscontrato nel corso della “caratterizzazione” riportata dei precedenti capitoli e sono di seguito riportati:

- impostazione riscaldamento fasce reattore rotante in AUT con TT801=650C°, TT802=520C°, TT803=650C°;
- impostazione riscaldamento Camera di calma in Man con uscita 40%,
- inclinazione tamburo 3°,
- rotazione tamburo a 10% con uscita 6 Hz (0,8 giri/min),
- pressione Azoto 2 bar,
- portata azoto battente tramoggia di carico 10 lt/min,
- portata azoto battente scarico char 10 lt/min,
- portata azoto di trasporto 30 lt/min.

La prova è stata eseguita secondo le seguenti *procedure operative*:

- ✓ caricamento della tramoggia di carico con 5 kg di miscela carbone/olivina,
- ✓ riscaldamento reattore fino al raggiungimento delle temperature operative con flussaggio di aria,
- ✓ interruzione flussaggio di aria e inizio flussaggio di azoto per inertizzare il reattore,
- ✓ avviamento rotazione tamburo 10%,
- ✓ raggiunte le condizioni di inertizzazione (O₂ circa 1,5%) avviamento coclea di alimentazione miscela a 20 Hz con portata 40 g/min, corrispondente a circa 8 gr/min di carbone;
- ✓ mantenimento delle condizioni operative e monitoraggio del processo,
- ✓ fine prova all’esaurirsi della miscela.

Risultati:

I risultati ottenuti, riportati di seguito e riscontrati nell’analizzatore a infrarossi sono comparabili con quelli ottenuti nel corso della campagna sperimentale di gassificazione presso l’impianto ZECOMIX, e pubblicati da ELSEVIER su Journal of Analytical and Applied Pyrolysis “TG-FTIR and kinetics of devolatilization of Sulcis coal” (vedi bibliografia punto 1), in particolare per quanto riguarda la limitata presenza di volatili nel carbone oggetto di studio.

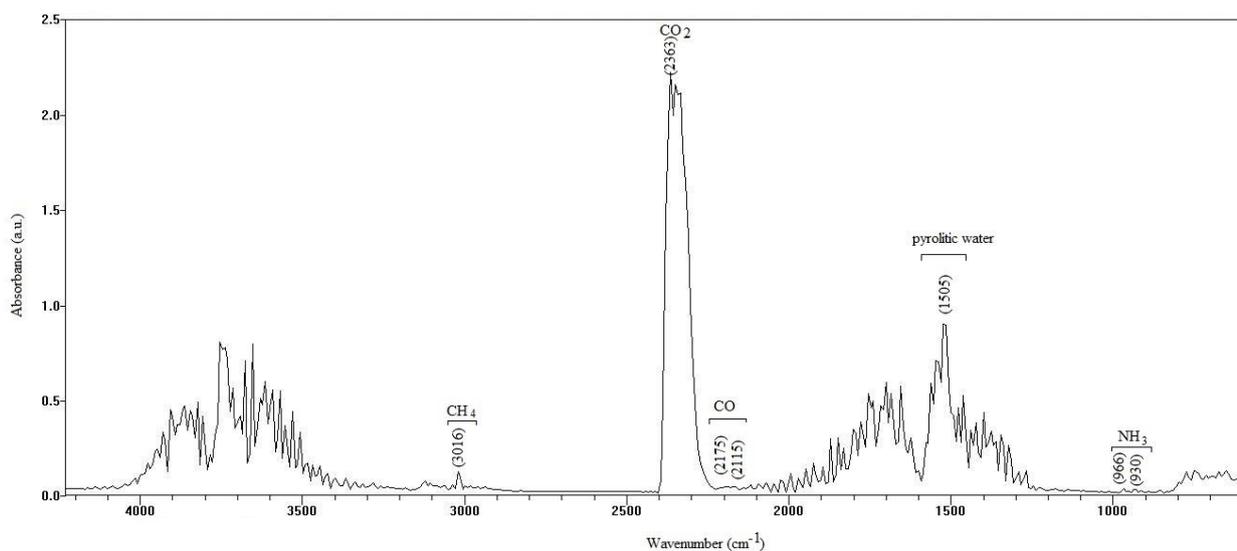


Figura 8 - VALCHIRIA - Prove di pirolisi; analisi IR, prova A.

Prova B

Anche per la prova B, dovendo fare un confronto con i risultati di prove di laboratorio, è stata utilizzata la stessa matrice di carbone di basso rango, sempre miscelata con olivina in rapporto 1:4, in questo caso l’utilizzo dell’olivina si è reso ancora più necessario considerando che il carbone utilizzato dovrebbe avere

una componente volatile superiore al 40%, e la stessa con una componente condensabile (tar) di circa il 40%.

I parametri di processo sono rimasti inalterati rispetto alla prova precedente (T=450/520C°; t=40min), di conseguenza anche i parametri di prova sono rimasti inalterati.

Eseguendo questa prova in coda alla precedente operativamente si è proceduto mantenendo l'impianto nelle stesse condizioni e caricando la tramoggia con circa 2,5 kg di miscela.

Le condizioni operative sono state mantenute fino all'esaurimento di quest'ultima.

Le prove sono terminate con il raffreddamento del reattore e della camera di calma mantenendo il flussaggio di azoto.

Risultati:

I risultati analitici riportati di seguito sono confrontabili con quelli riscontrati in laboratorio e riportati nel documento 2 in Bibliografia, in particolare per quanto riguarda la rilevante presenza di volatili.

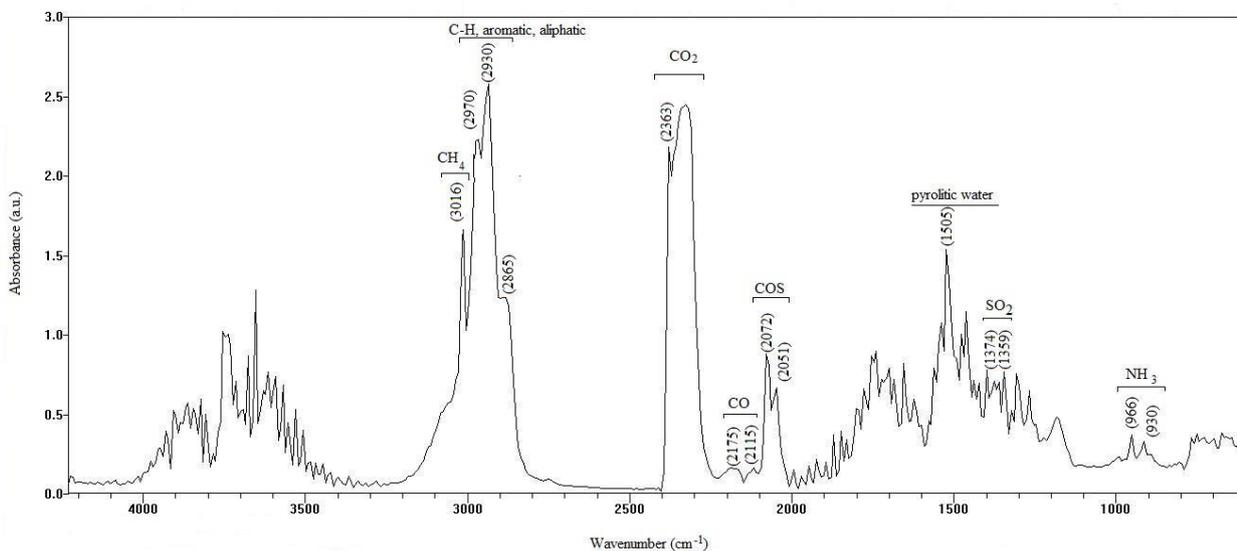


Figura 9 - VALCHIRIA - Prove di pirolisi; analisi IR, prova B.

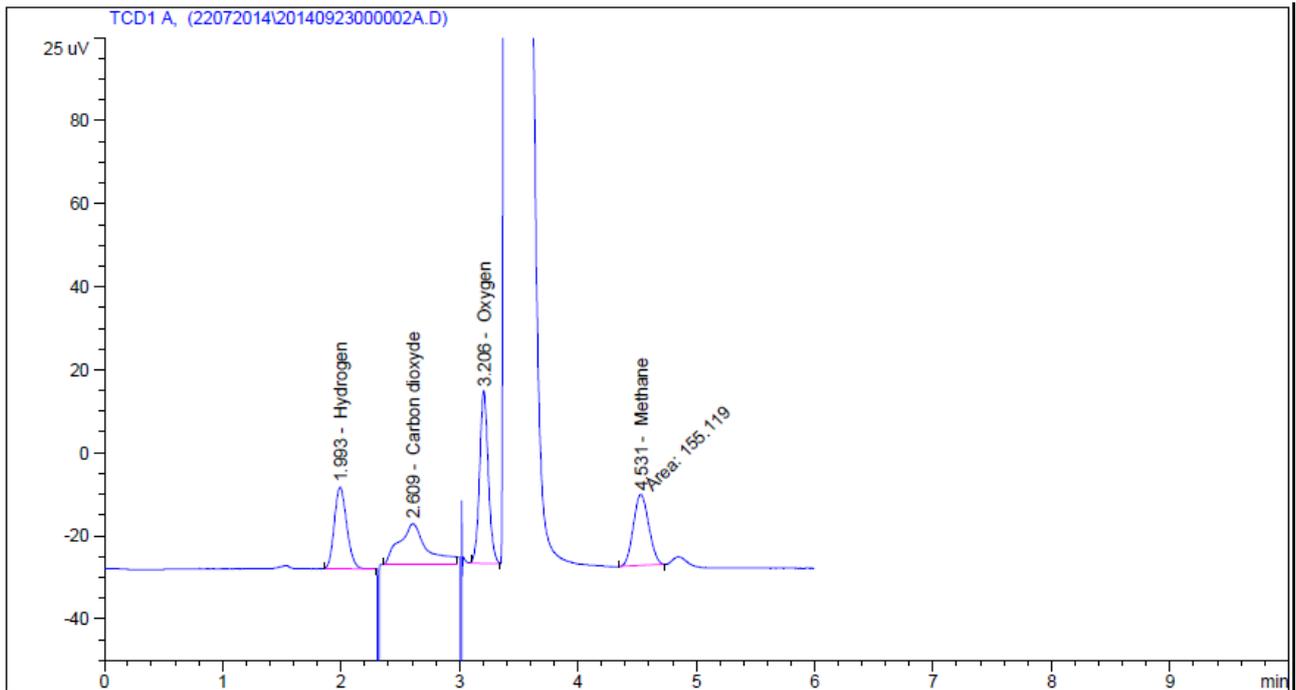


Figura 10 - VALCHIRIA - Prove di pirolisi; cromatogramma prova B.

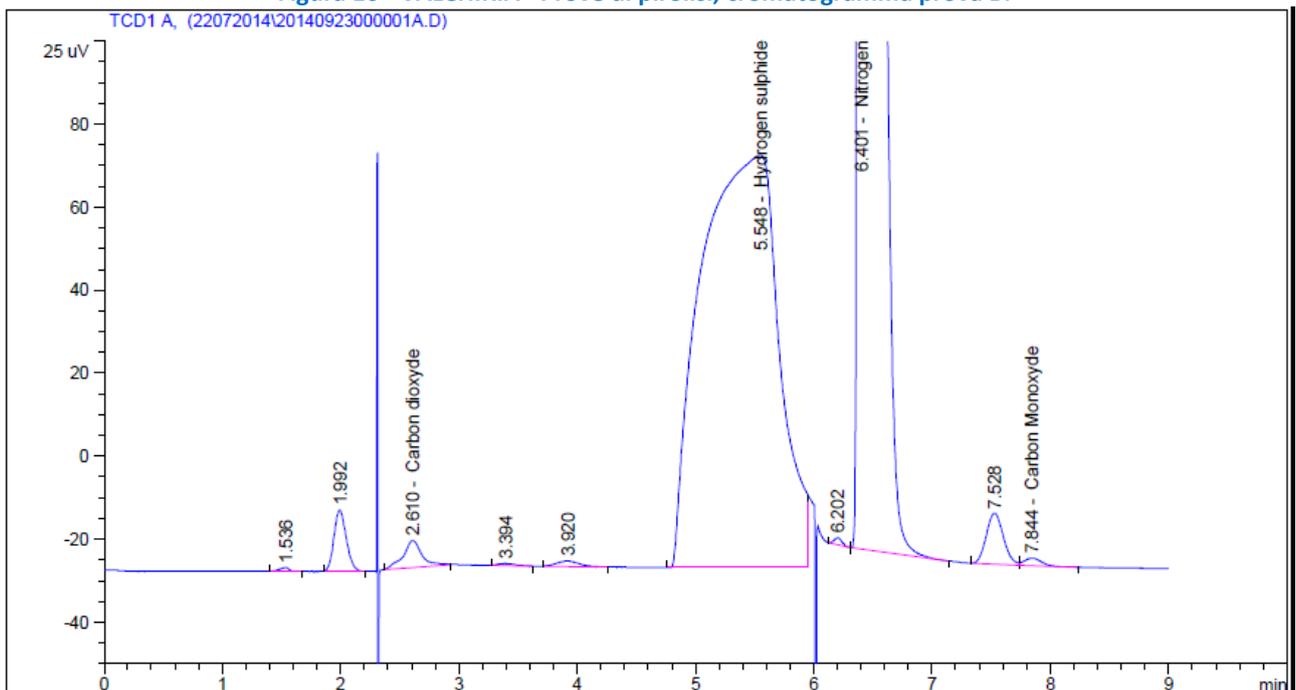


Figura 11 - VALCHIRIA - Prove di pirolisi; cromatogramma prova B.

5 Conclusioni

L'attività di caratterizzazione effettuata sull'impianto Valchiria ha confermato due aspetti particolari:

- ✓ versatilità del reattore di pirolisi a tamburo rotante;
- ✓ corrispondenza dei dati sperimentali con dati analitici.
- ✓

Per quanto riguarda il primo punto è stata riscontrato:

- La possibilità di alimentare il reattore con diverse tipologie di materiali: carbone, miscele carbone-olivina, dolomite, ossido di calcio.
- La possibilità di effettuare trattamenti termici sia a bassa che ad alta temperatura (circa 1000 °C).

- La possibilità di modulare l'intervento delle fasce scaldanti allo scopo di ottimizzare ed uniformare la temperatura all'interno del reattore.
- La possibilità di avere tempi di residenza dell'ordine dei pochi secondi fino a decine di minuti.

Per quanto riguarda il secondo punto è stato verificato:

- Rispetto al tempo di residenza, la conferma dei dati analitici ottenuti dalla applicazione dell'equazione risultante dal Perry's Chemical Engineers' Handbook.

Le prime due prove sperimentali effettuate su impianto Valchiria hanno confermato la corrispondenza con quanto rilevato nel corso di altre attività sperimentali.

In particolare:

- ✓ la prova A di pirolisi con carbone antracitico ha confermato la presenza costante di metano riscontrata nella campagna sperimentale di gassificazione di carbone eseguita nei mesi precedenti presso la Stazione sperimentale Zecomix. In particolare è stato verificato il basso tenore di CH₄ liberato durante la pirolisi del materiale carbonioso (sotto 1.5 v/v%). Questo conferma quanto riportato in letteratura: il metano misurato durante il processo di gassificazione effettuato sul gassificatore di Zecomix viene prevalentemente prodotto durante la pirolisi del carbone.
- ✓ La prova B di pirolisi con carbone del Sulcis, tipicamente sub-bituminoso di basso rango ha confermato i dati analitici riscontrati su attività di laboratorio; nello specifico, presenza di idrocarburi condensabili e di zolfo.

utenza	macchina	ubicazione	ITEM	range di progetto	segnale	caratteristiche	CAMPO (CI801 - nodo PROFIBUS 1)									
							condizionamento		DI 810		DO 810		AI 810		AO 820	
							modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.		
PIROLIZZATORE	RISCALDATORE 1	CAMERA CARICO	RS-801	W 0+100%	4+20 mA	SCR	AO								5	1
PIROLIZZATORE	RISCALDATORE 2	CAMERA CENTRALE	RS-802	W 0+100%	4+20 mA	SCR	AO								5	2
PIROLIZZATORE	RISCALDATORE 3	CAMERA SCARICO	RS-803	W 0+100%	4+20 mA	SCR	AO								5	3
PIROLIZZATORE	RISCALDATORE 4	CAMERA DI CALMA	RS-804	W 0+100%	4+20 mA	SCR	AO								5	4
PIROLIZZATORE	TRASD.TEMPERAT.	CAMERA CARICO	TT-801	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 178 mm - attacco filettato 1/2" maschio scorrevole	AI	morsettiera fusibilata				1	1			
PIROLIZZATORE	TRASD.TEMPERAT.	CAMERA CENTRALE	TT-802	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 178 mm - attacco filettato 1/2" maschio scorrevole	AI	morsettiera fusibilata				1	2			
PIROLIZZATORE	TRASD.TEMPERAT.	CAMERA SCARICO	TT-803	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 178 mm - attacco filettato 1/2" maschio scorrevole	AI	morsettiera fusibilata				1	3			
PIROLIZZATORE	TRASD.TEMPERAT.	CAMERA DI CALMA	TT-804	°C 0+1000	4+20 mA	tipo k - 200 mm - con pozzetto attacco filettato da 1/2"	AI	morsettiera fusibilata				1	4			
PIROLIZZATORE	TRASD.TEMPERAT.	IMMERSA	TT-805	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 900 mm - attacco filettato 3/8" gas maschio	AI	morsettiera fusibilata				1	5			
PIROLIZZATORE	TAMBUR0	MOTORE ROT.	HS-801	HZ 0+50	4+20 mA		AO								6	1
PIROLIZZATORE	TAMBUR0	HZ RITORNO	FX-801	giri/min 0+5	4+20 mA		AI	morsettiera fusibilata				1	6			
GASSIFICATORE	TRASD.PRESSIONE	DOWN GRIGLIA	PT-702	barg 0+1	4+20 mA	attacco 1/4" NPT femmina	AI	morsettiera fusibilata				1	7			
GASSIFICATORE	TRASD.PRESSIONE	UP GRIGLIA	PT-703	barg 0+1	4+20 mA	attacco 1/4" NPT femmina	AI	morsettiera fusibilata				1	8			
GASSIFICATORE	TRASD.PRESSIONE	HH GRIGLIA	PT-704	barg 0+1	4+20 mA	attacco 1/4" NPT femmina	AI	morsettiera fusibilata				2	1			
GASSIFICATORE	TRASD.TEMPERAT.	REGOLAZIONE RISC. ARIA	TT-706	°C 0+1400	4+20 mA	tipo S - 300 mm - attacco filettato 1/2" maschio	AI	morsettiera fusibilata				2	2			
GASSIFICATORE	TRASD.TEMPERAT.	DOWN GRIGLIA	TT-707	°C 0+1400	4+20 mA	tipo S - 300 mm - attacco filettato 1/2" maschio	AI	morsettiera fusibilata				2	3			
GASSIFICATORE	TRASD.TEMPERAT.	UP GRIGLIA	TT-708	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 300 mm - attacco filettato 1/2" maschio	AI	morsettiera fusibilata				2	4			
GASSIFICATORE	TRASD.TEMPERAT.	HH GRIGLIA	TT-709	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - 300 mm - attacco filettato 1/2" maschio	AI	morsettiera fusibilata				2	5			
GASSIFICATORE	RISCALDATORE 5		RS-701	W 0+100%	4+20 mA	SCR	AO								6	2
SYNGAS	TRASD.PRESSIONE	OUT PIROLIZZATORE	PT-401	barg 0+0,5	4+20 mA	attacco 1/4" NPT femmina	AI	morsettiera fusibilata				2	6			
SYNGAS	TRASD.PORTATA	IN GASSIFICATORE	FT-402	kg/h 0,26+2,6	4+20 mA	attacco flangiato EN 1092-2 Form B1 PN40	AI	morsettiera fusibilata				2	7			
SYNGAS	TRASD.PORTATA	INGRESSO TORCIA	FT-404	kg/h 0,4+4	4+20 mA	attacco flangiato EN 1092-2 Form B1 PN40	AI	morsettiera fusibilata				2	8			
SYNGAS	TRASD.PRESSIONE	OUT RAFREDDATORE 2	PT-405	barg 0+0,5	4+20 mA		AI	morsettiera fusibilata				3	1			
SYNGAS	TRASD.PRESSIONE	OUT GASSIFICATORE	PT-406	barg 0+0,5	4+20 mA	attacco 1/4" NPT femmina	AI	morsettiera fusibilata				3	2			
SYNGAS	TRASD.TEMPERAT.	OUT PIROLIZZATORE	TT-407	°C 0+1000	4+20 mA	tipo k - con pozzetto + attacco 3/4" filettato	AI	morsettiera fusibilata				3	3			
SYNGAS	TRASD.TEMPERAT.	OUT GASSIFICATORE	TT-408	°C 0+1100	4+20 mA	tipo k - con pozzetto	AI	morsettiera fusibilata				3	4			
ALIMEN.PIROLIZZ.	COCLEA	MOTORE ROT.	HS-802	HZ 0+50	4+20 mA		AO								6	3
CHAR A GASSIFIC.	COCLEA	MOTORE ROT.	HS-701	HZ 0+50	4+20 mA		AO								6	4
REAGENTI A GASS.	COCLEA	MOTORE ROT.	HS-702	HZ 0+50	4+20 mA		AO								7	1
FUMI	ESTRATTORE	HZ RITORNO	FX-411	HZ 0+50	4+20 mA		AI					3	5			
FUMI	ESTRATTORE	MOTORE ROT.	HS-411	HZ 0+50	4+20 mA		AO								7	2
riserva							AO								7	3
riserva							AO								7	4
riserva							AI					3	6			
riserva							AI					3	7			
riserva							AI					3	8			
riserva							AI					4	1			
riserva							AI					4	2			
riserva							AI					4	3			
riserva							AI					4	4			
riserva							AI					4	5			
riserva							AI					4	6			
riserva							AI					4	7			
riserva							AI					4	8			
			tot. Item	31			tot. AI	21		tot. moduli AI810	4					
			TT	11			tot. AO	10		tot. moduli AO820	3					
			PT	6			tot riserve AI	11		tot. unità di terminaz. TU830	7					
			FT	2			tot riserve AO	2								
			FX	2												
			HS	5												
			RS	5												

Tabella 19 - VALCHIRIA - Tabella dei segnali analogici.

utenza	macchina	funzione	ITEM	logica	segnale	caratteristiche	CAMPO (CIB01 - nodo PROFIBUS 2)												
							condizionamento	DI 810		DO 810		AI 810		AO 820					
								modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.				
PIROLIZZATORE	RISCALD. 1,2,3 (HD800)	START/STOP	XA-803	N/A			DO	morsetto			3	1							
PIROLIZZATORE	RISCALD. 1,2,3 (HD800)	IN FUNZIONE	YL-805	N/A			DI	morsetto	1	1									
PIROLIZZATORE	RISCALD. 1,2,3 (HD800)	GUASTO	YA-806	N/C			DI	morsetto	1	2									
PIROLIZZATORE	ROTAZIONE TAMB.(HD805)	MARCIA	XA-813	N/A			DO	morsetto-relè			3	16							
PIROLIZZATORE	ROTAZIONE TAMB.(HD805)	IN FUNZIONE	YL-815	N/A			DI	morsetto	1	15									
PIROLIZZATORE	ROTAZIONE TAMB.(HD805)	GUASTO	YA-816	N/C			DI	morsetto	1	16									
PIROLIZZATORE	COCLEA	MARCIA	XA-807	N/A			DO	morsetto			3	10							
PIROLIZZATORE	COCLEA	IN FUNZIONE	YL-809	N/A			DI	morsetto	1	12									
CAMERA di CALMA	RISCALD. 4 (HD804)	START/STOP	XA-811	N/A			DO	morsetto			3	2							
CAMERA di CALMA	RISCALD. 4 (HD804)	IN FUNZIONE	YL-813	N/A			DI	morsetto	1	3									
CAMERA di CALMA	RISCALD. 4 (HD804)	GUASTO	YA-814	N/C			DI	morsetto	1	4									
LINEA VAPORE	CALDAIA	START/STOP	XA-301				DO				3	3							
LINEA VAPORE	CALDAIA	IN FUNZIONE HD300	YL-303	N/A			DI	morsetto	1	5									
LINEA VAPORE	CALDAIA	GUASTO HD300	YA-304	N/C			DI	morsetto	1	6									
LINEA VAPORE	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	EV-301	N/C			DO	relè			4	4							
GASSIFICATORE	COCLEA CHAR	START	XA-705	N/A			DO	morsetto			3	12							
GASSIFICATORE	COCLEA CHAR	IN FUNZIONE	YL-707	N/A			DI	morsetto	1	13									
GASSIFICATORE	COCLEA REAG.	START	XA-709	N/A			DO	morsetto-relè			3	14							
GASSIFICATORE	COCLEA REAG.	IN FUNZIONE	YL-711	N/A			DI	morsetto	1	14									
GASSIFICATORE	RISCALDATORE	START HD700	XA-701	N/A			DO	morsetto			3	4							
GASSIFICATORE	RISCALDATORE	IN FUNZIONE HD700	YL-703	N/A			DI	morsetto	1	7									
GASSIFICATORE	RISCALDATORE	GUASTO HD700	YA-704	N/A			DI	morsetto	1	8									
FUMI	ESTRATTORE (HD411)	MARCIA	XA-412	N/A			DO				4	2							
FUMI	ESTRATTORE (HD411)	IN FUNZIONE	YL-411				DI	morsetto	2	1									
FUMI	ESTRATTORE (HD411)	GUASTO	YA-411	1 -> guasto			DI		2	2									
SERBATOIO CHAR	LIVELLO	LIVELLO CHAR - alto	LSH-807	N/C		135 mm - attacco filettato 1/2" maschio	DI	morsetto	1	9									
SERBATOIO CHAR	LIVELLO	LIVELLO CHAR - basso	LSL-806	N/C		240 mm - attacco filettato 1/2" maschio	DI	morsetto	1	10									
LINEA ARIA	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	EV-201	N/C			DO	relè			3	5							
LINEA ARIA	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSH-201				DI		2	3									
LINEA ARIA	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSL-201				DI		2	4									
LINEA OSSIGENO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	EV-501	N/C			DO	relè			3	6							
LINEA OSSIGENO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSH-501				DI		2	5									
LINEA OSSIGENO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSL-501				DI		2	6									
*** LINEA AZOTO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	EV-601	N/A			DO	relè			3	7							
*** LINEA AZOTO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSH-601				DI	relè	2	7									
*** LINEA AZOTO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSL-601				DI		2	8									
LINEA METANO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	EV-101	N/C			DO	relè			3	8							
LINEA METANO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSH-101				DI		2	9									
LINEA METANO	ELETTROVALVOLA	VALVOLA DI RADICE	ZSL-101				DI		2	10									
FUNGO EMERGENZA	RELE* di SICUREZZA	ABILITA RIPRISTINO	IG-001	N/C			DO	morsetto-relè			3	9							
FUNGO EMERGENZA	RELE* di SICUREZZA	EMERGENZA INTERVENUTA	PA-001	N/C			DI	morsetto	1	11									
riserva							DO				3	11							
riserva							DO				3	13							
riserva							DO				3	15							
riserva							DO				4	1							
riserva							DO				4	3							
riserva							DO				4	5							
riserva							DO				4	6							
riserva							DO				4	7							
riserva							DO				4	8							
riserva							DO				4	9							

Tabella 20 - VALCHIRIA - Segnali digitali - tab. 1/2.

Impianto VALCHIRIA

segnali digitali IN/OUT - tab. 2/2

utenza	macchina	funzione	ITEM	logica	segnale	caratteristiche	DCS (nodo 2)									
							condizionamento	DI 810		DO 810		AI 810		AO 820		
								modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.	modulo	ch.	
riserva						DO				4	10					
riserva						DO				4	11					
riserva						DO				4	12					
riserva						DO				4	13					
riserva						DO				4	14					
riserva						DO				4	15					
riserva						DO				4	16					
riserva						DI		2	11							
riserva						DI		2	12							
riserva						DI		2	13							
riserva						DI		2	14							
riserva						DI		2	15							
riserva						DI		2	16							
			tot. Item	42			tot. DI	26	tot. moduli DI810		2					
			XA	9			tot. DO	15	tot. moduli DO810		2					
			YL	9			tot. riserve DI		6	tot. unità di terminaz. TU830		4				
			YA	6			tot. riserve DO		17							
			EV	5												
			LSL	1												
			LSH	1												
			ZSL	4												
			ZSH	4												
			PA	1												
			IG	1												

Tabella 21 - VALCHIRIA - Segnali digitali - tab. 2/2.

Impianto VALCHIRIA - strumentazione locale						
UTENZA	STRUMENTO	ITEM	UBICAZIONE	RANGE	diametro tubazione	caratteristiche
METANO	REG.PRESSIONE	PCV-100	INGRESSO IMPIANTO	barg 0,04	3/8"	
METANO	MANOMETRO	PI-101	POST PCV 100	barg 0÷0,15	3/8"	DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
ARIA	REG.PRESSIONE	PCV-200	INGRESSO IMPIANTO	barg 0,5	1"	
ARIA	MANOMETRO	PI-201	POST PCV 200	barg 0÷0,6	1"	
ARIA	FLUSSIMETRO	FI-202	POST PI-201 (RIFERIMENTO A 2 barg TA)	l/min 0÷150	1"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 1/2 "
VAPORE	REG.PRESSIONE	PCV-300	INGRESSO IMPIANTO	barg 0,5	3/4"	
VAPORE	FLUSSIMETRO	FI-303	INGRESSO GASSIFICATORE (RIFERIMENTO A 0,5 barg -200°C)	l/min 0÷15	3/4"	
VAPORE	FLUSSIMETRO	FI-302	INGRESSO PIROLIZZATORE (RIFERIMENTO A 0,5 barg -200°C)	l/min 0÷50	3/4"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 1/2 "
VAPORE	MANOMETRO	PI-301	USCITA CALDAIA	barg 0÷0,6	3/4"	DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
VAPORE	TERMOMETRO	TI-304	INGRESSO PIROLIZZATORE	°C 0÷500	3/4"	DN 63 - acciaio inox
VAPORE	TERMOMETRO	TI-305	INGRESSO GASSIFICATORE	°C 0÷500	3/4"	DN 63 - acciaio inox
SYNGAS	TERMOMETRO	TI-403	USCITA ESTRATTORE	°C 0÷200	DN 40	DN 63 - acciaio inox - espansione di gas - attacco filettato da 1/2 " NPT
SYNGAS	TERMOMETRO	TI-405	SYNGAS INGRESSO TORCIA	°C 0÷200	DN 40	DN 63 - acciaio inox - espansione di gas - attacco filettato da 1/2 " NPT
SYNGAS	MANOMETRO	PI-409	IN ESTRATTORE	barg 0-0,1	DN 40	
SYNGAS	MANOMETRO	PI-410	OUT ESTRATTORE	barg 0-0,2	DN 40	
OSSIGENO	REG.PRESSIONE	PCV-500	INGRESSO IMPIANTO	barg 0,5	DN 65	
OSSIGENO	FLUSSIMETRO	FI-502	POST PCV 500 (RIFERIMENTO A 0,5 barg TA)	l/min 0÷150	1/2"	
OSSIGENO/ARIA	FLUSSIMETRO	FI-504	INGRESSO GASSIFICATORE (RIFERIMENTO A 0,5 barg TA)	l/min 0÷150	1"	
OSSIGENO/ARIA	FLUSSIMETRO	FI-503	INGRESSO PIROLIZZATORE (RIFERIMENTO A 0,5 barg TA)	l/min 0÷150	1"	
OSSIGENO	MANOMETRO	PI-501	POST PCV 500	barg 0÷0,6	1/2"	DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
OSSIGENO/ARIA	TERMOMETRO	TI-505	INGRESSO IMPIANTO	°C 0÷100	1"	DN 63 - acciaio inox
AZOTO	REG.PRESSIONE	PCV-600	INGRESSO IMPIANTO	barg 0,5	3/8"	
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-607	INGRESSO SERBATOI REAGENTI (RIFERIMENTO A 1 barg TA)	l/min 0÷10	3/8"	
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-602	INGRESSO IMPIANTO (RIFERIMENTO A 1 barg TA)	l/min 0÷150	3/8"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 3/8 "
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-603	INGRESSO PIROLIZZATORE (RIFERIMENTO A 1 barg TA)	l/min 0÷15	3/8"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 3/8 "
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-604	INGRESSO GASSIFICATORE (RIFERIMENTO A 1 barg TA)	l/min 0÷15	3/8"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 3/8 "
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-605	INGRESSO SERBATOIO CARBONE	l/min 0÷10	3/8"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 3/8 "
AZOTO	FLUSSIMETRO	FI-606	INGRESSO SERBATOIO CHAR (RIFERIMENTO A 1 barg TA)	l/min 0÷10	3/8"	Attacco a squadra con spillo di regolazione - Attacchi filettati maschi da 3/8 "
AZOTO	MANOMETRO	PI-601	INGRESSO IMPIANTO	barg 0÷0,6	3/8"	DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
AZOTO	TERMOMETRO	TI-608	INGRESSO IMPIANTO	°C 0÷100	3/8"	DN 63 - acciaio inox - inclusa T di installazione
GASSIFICATORE	MANOMETRO	PI-701	RISCALDATORE GASSIFICATORE	barg 0÷0,6		DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
GASSIFICATORE	TERMOMETRO	TI-710	RISCALDATORE GASSIFICATORE	°C 0÷1400		
GASSIFICATORE	MANOMETRO	PI-705	ZONA ALTA GASSIFICATORE	barg 0÷0,6		DN 63 - acciaio inox -attacco filettato G 1/4 B(maschio) - attacco radiale
PIROLIZZATORE	MANOMETRO	PI-800	PRESSIONE PIROLIZZATORE	barg 0÷0,5		
		tot. item	34			

Tabella 22 - VALCHIRIA - Tabella strumentazione locale.

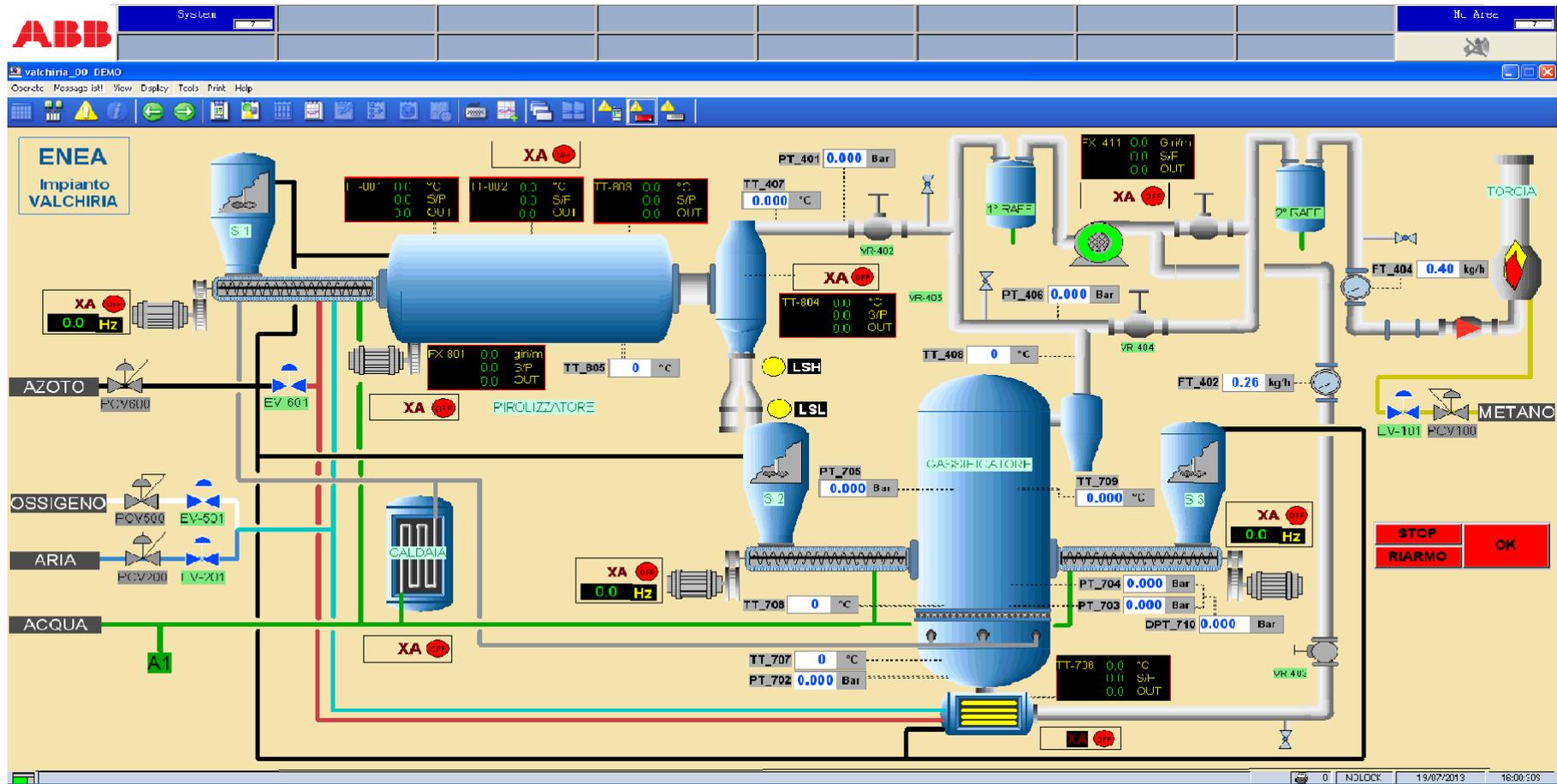


Figura 13 - VALCHIRIA - Sinottico.

7 Riferimenti bibliografici

1. S. Scaccia - "TG-FTIR and kinetics of devolatilization of Sulcis coal" - Journal of Analytical and Applied Pyrolysis – ELSEVIER.
2. S. Stendardo, S. Scaccia, M. Nobili, L. Pagliari, S. Cassani, G. Messina, A. Assettati, G. Guidarelli, S. Attanasi, G. Vanga, P.U. Foscolo - "Analisi sperimentale e parametrica di un gassificatore H₂O/O₂ alimentato a carbone per la produzione di syngas ad alta qualità -Test propedeutici alla prova sperimentali di SE-WGS (Sorption Enhanced Water Gas Shift)"