

RELAZIONE TECNICA GENERALE

IMPIANTO DI GASSIFICAZIONE

OGGETTO:

**Progetto di ricerca e di sperimentazione sulla gassificazione di CSS,
combustibile solido secondario, definito e classificato dalla norma
UNI CEN/TS 15359 e successive modifiche e integrazioni,
ai sensi dell'art.211 del D.Lgs 152/2006
(attività di gestione che non comporta utile economico;
impianto di potenzialità non superiore a 5ton/g).**

Diritti di Proprietà Riservati

L'uso e/o la copia del presente documento e di ogni suo allegato sono limitati
esclusivamente ai fini della presente domanda di autorizzazione
di impianti di ricerca e sperimentazione sullo smaltimento di rifiuti
ai sensi della L.248/2000

SCOPI ED OBIETTIVI DELLA SPERIMENTAZIONE

Le finalità della presente iniziativa sono di testare alcune tipologie di CSS (combustibili solidi secondari) per ottenere dati e informazioni sul funzionamento, sul rendimento, e sul comportamento termo-meccanico di un impianto pilota di pirogassificazione esistente, e per caratterizzare chimicamente ed energeticamente il syngas che ne deriva, allo scopo di verificarne la compatibilità con i requisiti di accettabilità dei motori a combustione interna adoperati nella cogenerazione di energia elettrica e calore, predisponendo un adeguato filtraggio.

L'impianto di pirogassificazione è stato progettato e realizzato dalla F.Ili Fragola S.p.a. dopo un approfondito studio dello stato dell'arte, e la successiva sperimentazione ne ha permesso lo sviluppo verso l'attuale configurazione, migliorandone l'efficienza e l'affidabilità.

L'ottimizzazione dei processi, derivante dalla interpretazione dei parametri misurati e acquisiti dalle strumentazioni installate per il monitoraggio e la gestione dell'impianto, ha permesso di raggiungere soddisfacenti risultati qualitativi e quantitativi del syngas prodotto, nonché degli scarti di processo, a partire da cippato di legno come combustibile alimentato.

L'installazione ha una potenzialità di 200kg/h, riferiti al cippato di legno, che la colloca nella fascia di impianti di gassificazione di taglia medio-piccola.

La tipologia di gassificatore, a letto fisso downdraft, impone precisi requisiti al combustibile in ingresso, in particolare, sulla pezzatura e sul contenuto di umidità; tuttavia, l'assetto bi-stadio dell'unità pirolizzatore-gassificatore, ha dimostrato di tollerare variazioni di umidità, che altri impianti non accettano.

Pertanto, la pezzatura rimarrà l'unico principale vincolo a cui sottostare nella definizione geometrico dimensionale del CSS; infatti, i rifiuti con cui preparare il CSS, dovranno essere adeguatamente selezionati, triturati, miscelati ed estrusi, proprio per meglio rispondere alla specificità dell'applicazione.

Benché in letteratura esistano delle indicazioni generiche sul confezionamento del combustibile, sarà indispensabile effettuare delle prove preliminari per definire la miscela e i parametri di processo al fine di ottenere determinate caratteristiche fisiche e meccaniche del prodotto, interagendo con il produttore del CSS.

In ogni caso, il CSS rientrerà in una delle 125 tipologie normate dalla UNI CEN/TS 15359:2011 e classificate sulla base di tre parametri (PCI, potere calorifico inferiore; Cl, cloro; Hg, mercurio).

Tale combustibile dovrà subire gli stessi processi di pirolisi e gassificazione finora condotti e messi a punto con il cippato di legno, che rimarrà il combustibile ausiliario con cui avviare l'impianto, prima del passaggio all'alimentazione esclusiva o parziale a CSS; infatti, nonostante la priorità sia lo sviluppo di un impianto adatto alla gassificazione di rifiuti, soprattutto per ragioni economiche legate alla convenienza del combustibile, tuttavia, per studiarne la fattibilità non si può prescindere da una conduzione ibrida, potendo essere difficile o impossibile una gassificazione "soddisfacente" con un combustibile completamente diverso da quello già noto.

Cioè, variando il combustibile, potrebbero variare in modo sensibile i parametri di pirolisi e di gassificazione per la produzione di un syngas pulito, ovvero quasi esente da catrami, e per una conversione energetica efficiente, ovvero che limiti la produzione di ceneri a percentuali in peso modeste del combustibile alimentato e classificabili come inerti.

Seppure la gassificazione sia un processo noto da secoli, il suo utilizzo è stato ed è limitato per le notevoli problematiche connesse ai prodotti indesiderati che si originano: in primis, i tar (o catrami) che trasportati in fase gassosa dal syngas, durante il suo raffreddamento, condensano o addirittura solidificano producendo accumuli che possono pregiudicare il corretto funzionamento dell'impianto fino a causarne la fermata.

La loro presenza va gestita in modo tale da limitarne innanzitutto la produzione e successivamente da intercettarli in apposite sezioni, allo scopo di separarli dal flusso gassoso o di demolirli (cracking) al suo interno in specie compatibili con l'applicazione.

La misura e la caratterizzazione dei tar rappresenta un aspetto essenziale nella valutazione della bontà dei processi di pirolisi e gassificazione, pertanto sarà centrale anche nella sperimentazione di CSS.

Inoltre, preme sottolineare che l'unità di pulizia del syngas è complementare in importanza a quella della sua produzione, dovendo completare il raggiungimento delle specifiche di utilizzo del gas: valutarne l'efficacia è uno degli scopi della presente iniziativa, per poter migliorarne le prestazioni, l'affidabilità e la flessibilità al variare del combustibile di partenza.

Ciò si tradurrà in una serie di indagini specialistiche di laboratorio, in cui dovranno essere coinvolti per il loro grado di competenza sia università (Università degli studi di Perugia, Facoltà di Fisica), sia istituti di ricerca accreditati in conformità alla norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005 (Innovhub SSI Divisione Combustibili - Azienda Speciale della Camera di Commercio di Milano), sia gli stessi fornitori dei materiali con cui sono realizzate le unità di trattamento (ad es. il catalizzatore per la conversione dei catrami).

Durante le campagne di sperimentazione il flusso di syngas dopo essere stato campionato e misurato verrà interamente bruciato in torcia, essendo estraneo alla presente attività l'utilizzo energetico di tale combustibile.

Le emissioni in atmosfera costituite dai fumi di combustione del syngas vengono controllate installando un'apposita centralina mobile per il monitoraggio dell'aria ambiente, quindi misurando i valori di concentrazione di monossido di carbonio, di diossine, di particolato, di IPA, etc. secondo metodi standardizzati dalle normative tecniche (UNI / EN / ISO).

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO, DEL PROCESSO E DEI RELATIVI STADI

L'impianto è costituito da:

- 1) deposito di combustibile solido
- 2) sistema di trasferimento
- 3) sistema di carico
- 4) pirolizzatore
- 5) gassificatore
- 6) sistema di estrazione ceneri

Linea 1:

- 7) sistema di pulizia del gas
- 8) torcia

Linea 2:

- 9) ciclone
- 10) torcia

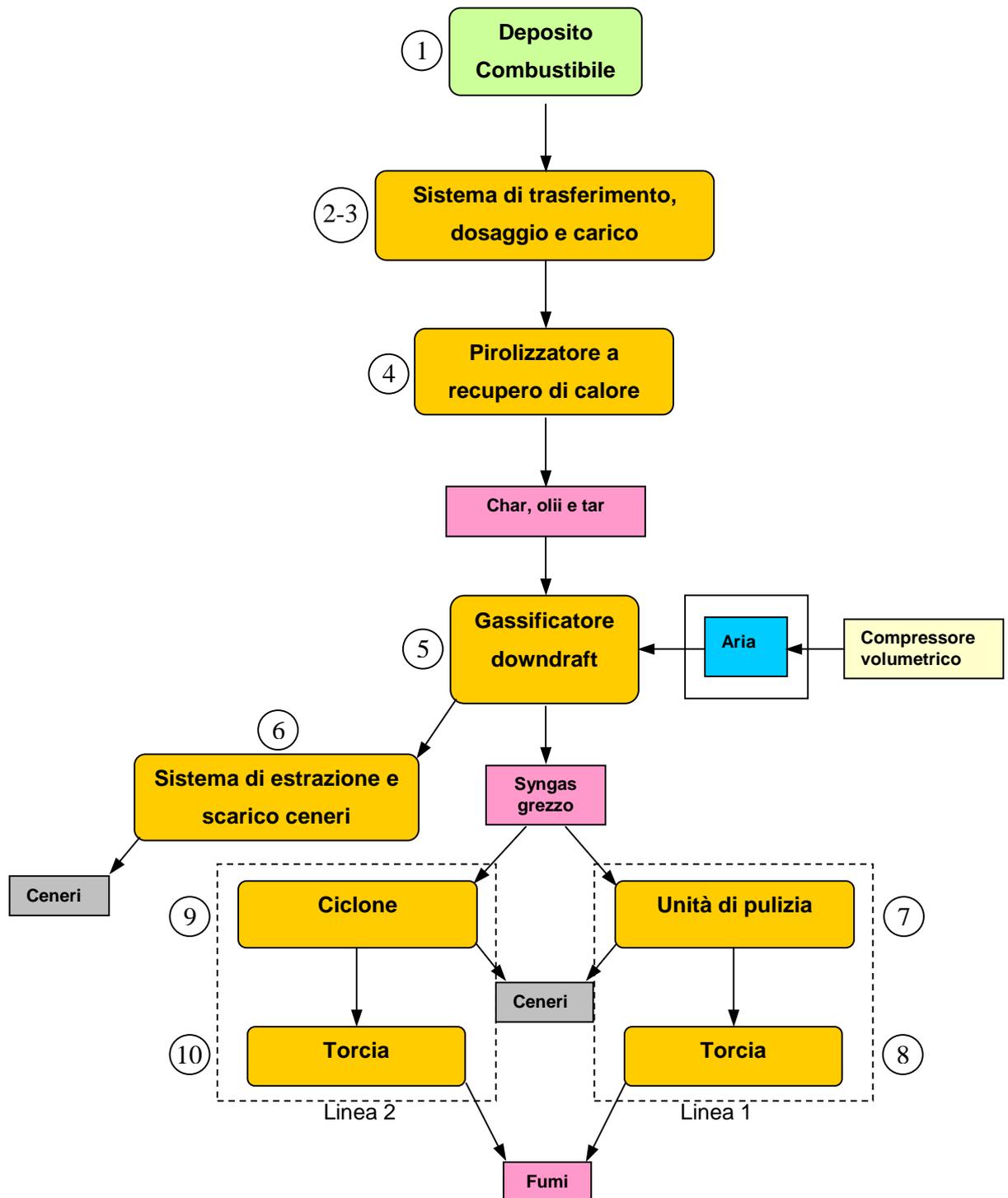
- 1) Nel deposito viene stoccato il combustibile da gassificare, al fine di preservarlo dagli agenti atmosferici, conservandone le caratteristiche chimico fisiche di origine.
- 2) Il sistema di trasferimento preleva il combustibile dal deposito convogliandolo in un contenitore di processo.
- 3) Il sistema di carico è costituito da un trasportatore a coclea, che alimenta uno speciale dispositivo a tenuta di trasferimento del combustibile nel pirolizzatore, per impedire la fuga di gas dall'interno, a causa della leggera sovrappressione, e per evitare l'ingresso di aria insieme al materiale.
- 4) Il pirolizzatore è composto da un trasportatore orizzontale dotato di un aspo rotante, per l'avanzamento e la miscelazione della carica, e di una cassa cilindrica esterna, riscaldata con il gas caldo prodotto dal gassificatore, per trasferire il calore al combustibile, e coibentata verso l'ambiente esterno.
- 5) Il gassificatore è costituito da un cilindro ad asse verticale in materiali speciali, resistenti alle alte temperature; disposti su più livelli in altezza si trovano dei collettori di distribuzione, che tramite degli ugelli, convogliano l'aria nel combustibile da gassificare. Tutta questa sezione è coibentata sia internamente che esternamente per garantire basse dispersioni di calore e quindi elevati rendimenti. Numerosi sensori sono stati montati sull'intero involucro per la misura di temperatura e pressione: con i dati acquisiti dal sistema di controllo e regolazione, è possibile modulare la quantità di aria da inviare ad ogni singolo collettore di distribuzione, così da poter ottimizzare il processo di gassificazione.
- 6) Il sistema di estrazione delle ceneri è posizionato nella parte inferiore del gassificatore, ed ha il compito di sostenere il materiale da gassificare, permettere al gas generato di defluire a valle, e raccogliere le ceneri, limitando il più possibile il loro trascinarsi nel gas. Successivamente, le ceneri passano attraverso un dispositivo a tenuta, simile a quello di ingresso del combustibile, ma di dimensioni inferiori, che le trasferisce in un contenitore di accumulo a pressione ambiente, prima dello smaltimento in discarica come rifiuto.

Linea A: in questa linea, che costituisce oggetto di studio, una parte del flusso di gas viene convogliata e trattata per essere purificata dai principali contaminanti, polveri e tar.

- 7) Il sistema di pulizia del gas è costituito da tre stadi: il primo di filtrazione dalle ceneri; il secondo di cracking termico dei tar; il terzo di cracking catalitico dei tar.
- 8) La torcia è il dispositivo che effettua la combustione completa del syngas in eccesso d'aria, per il suo totale smaltimento.

Linea B: è la linea principale dell'impianto, dove la frazione principale del flusso di gas, dopo aver ceduto calore al pirolizzatore, viene depolverata e smaltita in torcia.

- 9) Il ciclone effettua la depolverazione del syngas.
- 10) La torcia, come sopra, brucia completamente il syngas.



**Diagramma di flusso
dell'impianto pilota di pirogassificazione downdraft
e del sistema di pulizia del syngas.**

Il sistema di alimentazione di combustibile nell'impianto è semiautomatizzato: un operatore si occupa di riempire manualmente la zona di carico del trasportatore che trasferisce il combustibile dal deposito alla tramoggia di accumulo del sistema di carico ogniqualvolta il suo livello di minimo si scopre, richiamando il trasportatore stesso; quando il livello di massimo del contenitore di accumulo si impegna, il trasportatore viene arrestato.

Successivamente, un trasportatore a coclea dosa il combustibile sul dispositivo a tenuta di trasferimento del materiale nel pirolizzatore, ed è gestito a mezzo di un inverter che viene pilotato da un controllo elettronico in retroazione di tipo P.I.D. associato al livello di riempimento del gassificatore misurato in continuo.

Anche il pirolizzatore è gestito in automatico via PLC e tramite un inverter viene modificata la velocità di rotazione del suo aspo in modo da seguire le fluttuazioni di consumo di combustibile nel gassificatore, garantendo in ogni caso dei tempi di permanenza ottimali del combustibile al suo interno per dar luogo alle reazioni di pirolisi.

Pertanto, prima di entrare nel gassificatore la carica subisce un primo processo di modificazione, chiamato pirolisi, ovvero una demolizione della materia in assenza di ossigeno e con apporto di calore (temperature comprese tra i 300 e i 500°C), allo scopo di ottenere sottoprodotti più facilmente gassificabili, cioè vapori e olii di pirolisi insieme a un residuo solido carbonioso (char).

Lungo il pirolizzatore vengono rilevate a mezzo di sensori disposti in più zone, temperature e pressioni, al fine di controllare i corretti parametri di processo.

All'ingresso del gassificatore, il materiale riceve aria in rapporto sottostechiometrico (circa un quarto del valore teorico), a mezzo di ugelli che creano getti che penetrano dall'esterno fino all'interno della massa, determinandone nella discesa verso il basso fino alla griglia, un rapido incremento di temperatura e pressione, in conseguenza della combustione parziale e dello sviluppo di syngas (gas combustibili leggeri, principalmente monossido di carbonio e idrogeno).

L'aria è fornita e dosata a mezzo di un compressore volumetrico regolato da inverter via PLC; la portata di aria è inviata a un collettore e suddivisa attraverso una serie di stacchi provvisti ciascuno di un misuratore di portata e di una valvola di regolazione.

La gassificazione viene controllata da sonde di temperatura e pressione distribuite su tutto il mantello dell'unità.

Le ceneri che si originano dalla gassificazione del combustibile, vengono scaricate attraverso una griglia mobile che permette il deflusso stesso del gas; l'ampia zona sottostante raccoglie le ceneri in caduta e le convoglia verso il sistema di scarico nell'ambiente esterno, mentre il gas espande prima di entrare nel condotto che lo immette nello scambiatore di calore, cioè nella cassa esterna del pirolizzatore, o nell'altro condotto che lo immette nel sistema di pulizia pilota.

Il flusso principale di syngas, uscendo dallo scambiatore del pirolizzatore, viene liberato dal particolato fine passando attraverso un ciclone e infine bruciato nella torcia, dopo che lungo la tubazione rettilinea di adduzione ne è stata misurata la portata.

Anche nella torcia è presente una termocoppia per rilevare la presenza della fiamma e controllare la temperatura di combustione del gas.

Nell'altro ramo di tubazione, in parallelo rispetto alla precedente, una quota di syngas pari a 50Nmc/h attraversa il sistema di pulizia pilota, composto da una serie di tre contenitori, ciascuno con un preciso scopo: il primo effettua una filtrazione fine del syngas, per eliminare il 99% del particolato di dimensioni superiori a 5µm; il secondo realizza una combustione parziale (circa il 20%) del syngas per distruggere termicamente una frazione dei tar; il terzo si occupa di convertire per via catalitica la restante parte di tar e raggiungere una concentrazione compatibile con i requisiti di accettabilità di un motore a combustione interna.

Tale sistema è stato progettato, realizzato e messo a punto dalla F.lli Fragola S.p.a., sviluppando idee originali e soluzioni innovative a partire da argomenti trattati in pubblicazioni derivanti principalmente da ricerche e sperimentazioni in scala di laboratorio o da modellazioni matematiche; quindi, il presente documento e ogni suo allegato, contengono informazioni

riservate, di cui è vietato l'uso, la diffusione, la distribuzione o la riproduzione se non per i fini legati alla presente richiesta di autorizzazione, ai sensi delle vigenti normative in materia di protezione del diritto d'autore e di protezione dei dati personali, rispettivamente L.248/2000 e D.Lgs.196/2003 e ss.mm.ii.

Il sistema di pulizia pilota è gestito da un PLC apposito, che lo controlla stabilizzandone il funzionamento, attraverso la misura in continuo dei principali parametri, ovvero temperature pressioni e portate nelle varie sezioni di interesse.

Il flusso di syngas passa attraverso tubazioni che dispongono di accessi per il prelievo di campioni che possono essere analizzati in linea e in tempo reale (ad es. con gascromatografi portatili) o in laboratorio. I campionamenti vengono effettuati da tecnici specializzati, secondo procedure standardizzate a livello nazionale e internazionale al fine di garantire la ripetibilità e la confrontabilità dei risultati.

Infine, il syngas pulito raggiunge la torcia che provvede al suo smaltimento.

Lo studio e il miglioramento delle prestazioni di tale sistema di pulizia pilota costituisce il secondo nucleo di indagine, dopo quello relativo al processo di pirolisi e gassificazione del CSS che è ad esso strettamente connesso e correlato.

SISTEMI PER LA SICUREZZA DELLE PERSONE E LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Ai sensi dell'art.28 co.2 del D.Lgs.81/2008 e ss.mm. e ii. è stato redatto il documento di valutazione dei rischi DVR, specifico per l'impianto pilota pirogassificatore che si fornisce in allegato e a cui si rimanda per una trattazione più approfondita.

Le apparecchiature commerciali installate sulle varie parti del sistema rispondono ai requisiti delle direttive europee in materia di atmosfere potenzialmente esplosive ATEX 94/9/CE e ATEX 99/92/CE.

Dal punto di vista della sicurezza dell'esercizio, l'installazione è dotata di un sistema di inertizzazione che interviene in caso di anomalie nel suo funzionamento, immettendo azoto sia nel pirolizzatore che nel gassificatore, immediatamente dopo l'interruzione nell'alimentazione di combustibile e comburente.

L'azoto riempie i volumi fino a quel momento occupati dai gas di pirolisi e dal syngas, raffreddando bruscamente il materiale ancora presente.

L'inertizzazione si aziona (passivamente) anche nel caso di mancanza improvvisa di energia elettrica; normalmente è usata anche a conclusione della procedura di spegnimento dell'impianto, per evitare il ristagno di gas combustibili al suo interno.

Inoltre, il pirogassificatore è fornito di una valvola di sfogo che, in caso di sovrappressioni al suo interno, ne preserva l'integrità, per l'incolumità del personale coinvolto nello svolgimento delle attività di gestione e sperimentazione.

L'impianto è anche dotato di un PLC di sicurezza certificato, a cui sono collegati dei rilevatori di fughe di gas specializzati per specie gassose, ovvero, monossido di carbonio, metano, anidride carbonica e idrogeno, collocati a ridosso del gassificatore, al fine di generare degli allarmi e quindi proteggere il personale dalla respirazione di gas nocivi in concentrazioni pericolose per la salute; al perdurare di una situazione di allarme, il PLC di sicurezza impone l'inertizzazione e quindi l'arresto dell'impianto. Va messo in evidenza che per ragioni di sicurezza l'impianto è collocato all'esterno e la struttura che lo sostiene e delimitata, è rialzata da terra e ha soltanto una copertura sommitale fissa, essendo i lati longitudinali pannellati da porte scorrevoli, che ne permettono un'apertura laterale quasi completa, per una ventilazione naturale dei volumi: ciò al fine di diluire e allontanare in aria ambiente accidentali fughe di gas dall'impianto.

Inoltre, a seguito della valutazione dei rischi, è stata predisposta sui vari componenti dell'impianto, l'opportuna segnaletica verticale indicante i rischi specifici residui (organi meccanici in movimento, superfici calde, etc.). Il sito dell'installazione è stato opportunamente

delimitato, ed è esposto il divieto di accesso al personale non autorizzato. La gestione del rischio incendio viene effettuata con presenza segnalata dei dispositivi antincendio così come previsti ed approvati dai VV.F. (Prat.N.39407 – Prot.16805 del 11/11/2011)

Gli addetti all'impianto, oltre ad essere formati sugli specifici rischi del suo funzionamento e relativamente ai suoi vari componenti, sono stati dotati degli adeguati dispositivi di protezione individuali da impiegare sia nelle attività previste ad impianto acceso che ad impianto spento.

GESTIONE DEI MATERIALI DA GASSIFICARE E DEI RIFIUTI DI PROCESSO. APPROVVIGIONAMENTO DI ACQUA ED ENERGIA ELETTRICA.

Il materiale combustibile è conservato all'interno di depositi coperti, al riparo dalle intemperie, in quantitativi tali da garantire un'autonomia di alcuni di giorni ed ottimizzare le forniture dal punto di vista del trasporto.

Generalmente, un autocarro dotato di cassone ribaltabile, a pieno carico, è in grado di trasportare un quantitativo di cippato di legno vergine pari a 90 quintali.

Il cippato di legno, approvvigionato in forma sfusa, è stoccato in cumulo, mentre il CSS, confezionato in sacconi da 1,5 metri cubi, è collocato in un'altra area, da cui è movimentato verso la zona di consumo con un carrello elevatore.

Il quantitativo di CSS per cui è richiesta la sperimentazione su base annuale è pari a 50 ton, che possono essere ricevute in tre forniture distinte, per ragioni di spazi di stoccaggio e di opportunità in base al consumo nella singola campagna sperimentale.

Infatti, i rifiuti che giornalmente possono essere gassificati non devono superare il limite di 5 ton/giorno, in conformità all'art.211 del D.Lgs 152/2006, e quindi, in una normale sessione di prove che ha una durata massima di 5 giorni consecutivi e continuativi (da lunedì a venerdì), dei quali il primo e l'ultimo condotti utilizzando come combustibile ausiliario il cippato di legno (rispettivamente durante l'avvio e l'arresto dell'impianto), si stima un consumo complessivo di CSS di circa 15 ton.

Per quanto riguarda il cippato di legno non esistono limiti di utilizzo giornaliero o annuale, ma si ribadisce che la potenzialità dell'impianto è di 200kg/h.

I rifiuti prodotti dal processo di gassificazione del legno, costituiti esclusivamente da ceneri non pericolose, [CER 10 01 01] come determinato attraverso le analisi eseguite secondo la norma UNI 10802:2013 per la caratterizzazione ai fini della classificazione e dello smaltimento (D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii.), in percentuali in peso inferiori al 10% del combustibile in ingresso, vengono dapprima insilati e successivamente insaccati per essere conferiti allo smaltimento presso centri autorizzati.

Invece, i rifiuti prodotti dal processo di gassificazione del CSS, saranno costituiti da ceneri la cui pericolosità dovrà essere appurata con le suddette analisi.

Con l'attuale configurazione impiantistica, il processo non genera alcun altro di tipo di rifiuto, né solido, né liquido: infatti, i tar (circa 1 gr/Nmc syngas) o vengono abbattuti all'interno dell'unità di pulizia (per via termica o catalitica), o in fase vapore, raggiungono la torcia, dove vengono bruciati.

Il funzionamento dell'impianto di gassificazione è condizionato esclusivamente dalla disponibilità di energia elettrica, non essendo richieste altre risorse, quali acqua, altri combustibili ausiliari, additivi., etc.

L'impianto elettrico del pirogassificatore è stato realizzato a regola d'arte conformemente all'all.I di cui all'art.7 del D.M. 37/2008, seguendo la norma tecnica applicabile CEI 64-8 D.P.R. 547-55, installando componenti e materiali adatti al luogo di installazione, come certificato dall'impresa esecutrice dei lavori Elektron S.r.l. iscritta nel registro delle imprese della Camera di Commercio CCIAA di Perugia al n.179635.

L'energia elettrica ai quadri di potenza e ai quadri ausiliari, viene fornita attraverso la rete aziendale che a sua volta si approvvigiona dalla rete di distribuzione nazionale; i quadri elettrici dispongono del pulsante di arresto di emergenza che attiva il dispositivo di sezionamento dei circuiti elettrici.

MODALITA' E FASI OPERATIVE PER LA CONDUZIONE DELL'IMPIANTO.

1) PROCEDURA DI AVVIO

L'impianto viene rifornito di un certo quantitativo di combustibile (cippato di legno) e acceso a mezzo di un circuito di accensione elettrico che innesca la combustione all'interno del gassificatore.

Il raggiungimento delle temperature appropriate determina l'inizio della gassificazione del materiale: a questo punto i fumi si trasformano in syngas, che innescato dà origine a una fiamma autonoma e stabile nella torcia.

Lentamente si incrementano in modo proporzionale le portate di combustibile e di aria nel gassificatore per raggiungere i valori previsti di marcia.

In particolare, l'operatore che supervisiona l'impianto da terminale controlla i grafici tempo-temperatura e tempo-pressioni, verificando il loro assestarsi: la procedura di avvio si conclude non appena si verificano queste condizioni di stabilizzazione del funzionamento.

Il passaggio da un combustibile a un altro, ovvero da cippato di legno a CSS, avviene gradualmente a partire da questo momento: qualora non si riscontri uno scadimento della qualità della gassificazione, la transizione può essere completata; altrimenti va individuato il mix (% di cippato di legno - % di CSS) che permette la condizione di ottimo del processo.

2) ANALISI IN LINEA E CAMPIONAMENTI PER LE ANALISI DI LABORATORIO

Una volta che si sono instaurate le condizioni quasi stazionarie di regime, si può procedere alla fase di sperimentazione che prevede l'esecuzione di analisi in linea (con gascromatografo portatile, fiale Dräger, etc.) e il prelievo di campioni di materiali di diversa natura secondo un protocollo definito congiuntamente con i tecnici e i consulenti esterni che si occupano delle analisi e dell'interpretazione dei risultati.

Per completezza, di seguito si riportano alcune modelli di tabelle relative a specifiche analisi.

Durante queste attività gli operatori sia interni che esterni dispongono dei dispositivi di protezione individuale come, ad esempio, guanti termici, maschere facciali per la respirazione, rilevatori di fughe di gas portatili, etc., per poter eseguire le operazioni a bordo macchina in sicurezza.

Ai fini del controllo delle emissioni in atmosfera viene collocata, nei pressi delle torce, una centralina mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria ambiente, in particolare per il rilevamento delle concentrazioni di monossido di carbonio, biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, ozono, polveri sottili e idrocarburi policiclici aromatici.

Alcuni campioni di materiali verranno raccolti durante la fase di check-up successiva allo spegnimento dell'impianto, e inviati in un secondo momento ai laboratori per le analisi.

Allo svolgimento delle analisi partecipano vari soggetti, tra cui il Dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Perugia, Innovhub SSI Divisione per i combustibili, e i reparti di ricerca e sviluppo dei produttori di materiali tecnologici strategici, come ad esempio i catalizzatori dei catrami.

Volume del catalizzatore	m ³	
Peso del catalizzatore	kg	
Portata del gas attraverso il catalizzatore	Nm ³ /hr	
Record di temperatura all'ingresso del catalizzatore	°C	
Record di temperatura all'uscita del catalizzatore	°C	
Record di temperatura del catalizzatore	°C	
Record di pressione all'uscita del catalizzatore	bara	
Perdita di carico attraverso il catalizzatore	bar	
Composizione del gas in ingresso	(% (mol/mol))	
Potere calorifico del gas in ingresso	J/m ³	
Concentrazione tar in ingresso (base secca)	g/Nm ³	
Concentrazione di benzene in ingresso	g/Nm ³	
Concentrazione di fenolo in ingresso	g/Nm ³	
Concentrazione di naftalene in ingresso	g/Nm ³	
Concentrazione di antracene in ingresso	g/Nm ³	
C ₂ + alcani in ingresso	(% (mol/mol))	
C ₂ + olefine in ingresso	(% (mol/mol))	
Contenuto di polvere del gas	g/Nm ³	
Ammoniaca in ingresso	ppmv	
Composizione del gas in uscita	(% (mol/mol))	
Potere calorifico del gas in uscita	J/m ³	
Zolfo totale nel gas in uscita	ppmv	
H ₂ S nel gas in uscita	ppmv	
Concentrazione tar in uscita (base secca)	g/Nm ³	
Concentrazione di benzene in uscita	g/Nm ³	
Concentrazione di fenolo in uscita	g/Nm ³	
Concentrazione di naftalene in uscita	g/Nm ³	
Concentrazione di antracene in uscita	g/Nm ³	
C ₂ + alcani in uscita	(% (mol/mol))	
C ₂ + olefine in uscita	(% (mol/mol))	
COS zolfo organico in uscita (base secca)	ppmv	
Ammoniaca in uscita	ppmv	
Record di portata del combustibile al gassificatore	kg/hr	
Record di portata di aria al gassificatore	kg/hr	
Contenuto di umidità della biomassa	(% (wt/wt))	
Potere calorifico dell'alimentazione al gassificatore	J/kg	
Record di temperatura di gassificazione	°C	
Record di temperatura di uscita dal gassificatore	°C	
Contenuto di acqua nel gas	(% (mol/mol))	
Flusso di condensato	kg/hr	
Punto di rugiada di catrame in uscita	°C	

Tabella per la caratterizzazione del syngas grezzo e pulito

Descrizione		Combustibile	Ceneri
Umidità	% peso	-	-
Volatili	% peso	-	-
Ceneri	% peso	-	-
C	% peso	-	-
H	% peso	-	-
N	% peso	-	-
O	% peso	-	-
PCI	MJ/kg	-	-
F	mg/kg	-	-
Cl	mg/kg	-	-
S	mg/kg	-	-
Be	mg/kg	-	-
V	mg/kg	-	-
Cr	mg/kg	-	-
Mn	mg/kg	-	-
Co	mg/kg	-	-
Ni	mg/kg	-	-
Cu	mg/kg	-	-
Zn	mg/kg	-	-
As	mg/kg	-	-
Se	mg/kg	-	-
Cd	mg/kg	-	-
Sb	mg/kg	-	-
Tl	mg/kg	-	-
Pb	mg/kg	-	-
Hg	mg/kg	-	-
T ramm	°C	-	-
T emis	°C	-	-
T fusione	°C	-	-
Ceneri / Combustibile	% peso	-	-
En. Ceneri / En. Combustibile	%	-	-

Tabella per l'analisi chimico-fisica del combustibile e delle ceneri

Elemento	In %	Poteri Calorifici [kCal/m3]	Indici di Wobbe [kCal/m3]	Massa	Vol.
Idrogeno	...	Superiore a 15° C	Superiore a 15° C	A 0° C	...
Etilene	...	Inferiore a 15° C	Inferiore a 15° C		
Idrogeno solforato	...	Superiore a 0° C	Superiore a 0° C	A 15° C	...
Anidride carbonica	...	Inferiore a 0° C	Inferiore a 0° C		
Etano	...				
Ossigeno	...	Poteri Calorifici [KJ/m3]	Indici di Wobbe [MJ/m3]		
Azoto	...	Superiore a 15° C	Superiore a 15° C	Densità	Rel.
Metano	...	Inferiore a 15° C	Inferiore a 15° C	A 0° C	...
Propano	...	Superiore a 0° C	Superiore a 0° C		
Propilene	...	Inferiore a 0° C	Inferiore a 0° C	A 15° C	...
i-Butano	...				
n-Butano	...				
iso-Butene+Butene1	...				
trans-Butene-2	...				
cis-Butene-2	...				
i-Pentano	...				
altri Pentani	...				
Esani+idroc.sup.	...				
Ossido di carbonio	...				

Tabella per l'analisi gascromatografica ed energetica del syngas

3) PROCEDURA DI ARRESTO. CHECK-UP A IMPIANTO FERMO. MANUTENZIONE

A conclusione della campagna sperimentale, si procede allo spegnimento delle macchine seguendo un iter che viene di seguito sintetizzato nei passaggi essenziali.

La procedura di arresto ha inizio con il ritorno graduale all'alimentazione esclusiva dell'impianto con cippato di legno.

Successivamente, la portata di combustibile è gradualmente ridotta e corrispondentemente quella di aria, al fine di svuotare il gassificatore fino ad un livello di minimo.

La produzione di syngas si riduce fino ad estinguersi; a questo punto si effettua l'inertizzazione dell'impianto e infine, la sua chiusura ermetica con valvole di intercettazione poste a monte e a valle del pirogassificatore.

A seconda delle zone, l'impianto impiega dalle 24 alle 48 ore per freddarsi completamente e portarsi a temperatura ambiente; raggiunta questa condizione, è possibile procedere ad ispezioni e controlli sullo stato dei materiali e dei componenti interni, nonché alla raccolta di ulteriori campioni da analizzare, come già esposto nel precedente paragrafo.

Questa fase costituisce oggetto centrale della presente attività di ricerca e sperimentazione, fungendo da base per la definizione di un protocollo di manutenzione delle macchine, e per un loro sviluppo progettuale, ponendo in luce le criticità degli apparati che le costituiscono.

4) ORGANIGRAMMA E MANSIONARIO DEL PERSONALE – ORARIO DI LAVORO

Durante le sperimentazioni, la squadra addetta all'esercizio dell'impianto è costituita da due unità: un tecnico responsabile della conduzione, che supervisiona sul terminale video di un PC il pannello di controllo generale, ed un operatore addetto al rifornimento del combustibile sul trasportatore che lo trasferisce dal deposito al sistema di carico, affinché l'alimentazione sia sempre garantita.

L'attività è divisa in tre turni giornalieri di 8 ore ciascuno, rispettivamente dalle 6:00 alle 14:00, dalle 14:00 alle 22:00 e dalle 22:00 alle 6:00.

Il personale esterno autorizzato, costituito da tecnici specializzati che si occupano delle analisi in linea e della raccolta dei campioni di materiali, è normalmente presente nella fascia oraria che va dalle 8:00 alle 20:00. Generalmente, in queste operazioni sono coinvolte 2 o più unità.

Ogni attività viene svolta in modo conforme a quanto illustrato nel documento di valutazione dei rischi specifici DVR, redatto e trasmesso dal RSPP delle rispettive aziende.

Durante ciascun turno è sempre presente un addetto antincendio e un addetto al primo soccorso.

5) PROGRAMMAZIONE DELLE CAMPAGNE SPERIMENTALI

Il coordinamento delle varie figure coinvolte nello svolgimento delle campagne sperimentali richiede una tempistica per la definizione delle attività piuttosto lunga, pertanto viene data notizia e conferma del periodo di esecuzione delle stesse con almeno due settimane di anticipo.

La campagna sperimentale avviene nell'arco di una settimana lavorativa (dal lunedì al venerdì), a meno di avarie o inconvenienti che ne causino l'interruzione anticipata, indipendenti dalla volontà degli organizzatori.