



①9



CONFEDERAZIONE SVIZZERA
ISTITUTO FEDERALE DELLA PROPRIETÀ INTELLETTUALE

①1 **CH 694 696 A5**

Brevetto d'invenzione rilasciato per la Svizzera ed il Liechtenstein

Treatato sui brevetti, del 22 dicembre 1978, fra la Svizzera ed il Liechtenstein

⑤1 Int. Cl.⁷: C 01 B 003/22
C 10 G 001/00
C 10 J 003/08
C 10 J 003/66

①2 **FASCICOLO DEL BREVETTO A5**

②1 Numero della domanda: 02495/00

②2 Data di deposito: 21.12.2000

②4 Brevetto rilasciato il: 15.06.2005

④5 Fascicolo del
brevetto pubblicato il: 15.06.2005

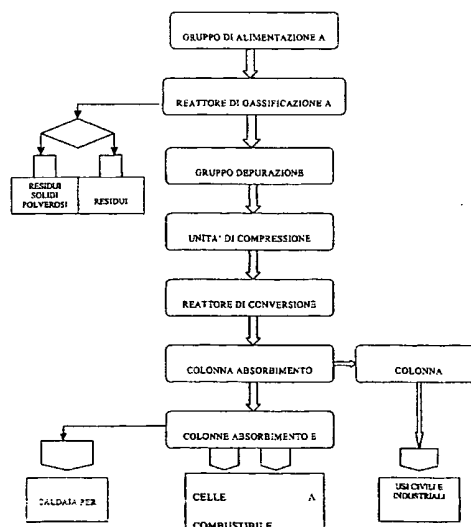
⑦3 Titolare/Titolari:
NESI PLANT S.A., Via Cattori, 5
6900 Lugano (CH)

⑦2 Inventore/Inventori:
Vincenzo Sorace
6900 Lugano (CH)

⑦4 Mandatario:
Hug Interlizen AG, Nordstrasse 31, Postfach 127
8035 Zürich (CH)

⑤4 **Procedimento e dispositivo per la produzione di idrogeno e anidride carbonica da gassificazione di materie prime.**

⑤7 Viene descritto un processo per la produzione di syngas puri (idrogeno e anidride carbonica) da gassificazione di materie prime. Il procedimento avviene in un reattore monotubolare comprendente la sezione di alimentazione delle materie prime, la sezione di massificazione, la sezione di estrazione dei residui in forma polverosa, oppure in forma vetrificata. I syngas ottenuti sono inviati alla fase di purificazione e di compressione per alimentarli nel reattore di conversione catalitica del CO in $H_2 + CO_2$, nelle torri per la separazione della CO_2 , e per la separazione di H_2 , effettuato con setacci molecolari. Il dispositivo è costituito: da una sezione di alimentazione, da una sezione di gassificazione a stadi progressivi con profilo termico variabile, da una serie di torce termiche alimentate con combustibile e ossigeno, da una sezione di evacuazione dei residui solidi di gassificazione realizzabile, sia in fase polverosa che in fase vetrificata, da un'unità ad alta efficienza per la depurazione la compressione del syngas.



Descrizione

La presente invenzione concerne un procedimento e un dispositivo per la gassificazione dell'idrogeno e del carbonio contenuti nelle molecole di sostanze alimentate. Tali sostanze possono indifferentemente essere di natura liquida, solida e fangosa e provenire da processi industriali e da processi di selezione e trattamento dei rifiuti urbani e assimilabili a essi. Nel seguito di questa descrizione le sostanze di cui sopra verranno definite «materie prime».

I confini, mai ben definiti, del cosiddetto «sviluppo sostenibile» si scontrano ogni giorno con il sempre crescente fabbisogno di energia pulita, e con la necessità di eliminare tutte le sostanze non più riutilizzabili nei processi da cui sono state generate, o per gli scopi per cui sono state prodotte, troppo genericamente chiamate rifiuti e come tali trattati in processi utilizzando tecnologie alquanto scadenti. La costruzione di enormi discariche fu la prima risposta «tecnologica» allo smaltimento dei «rifiuti». La realizzazione di impianti di incenerimento dove l'alternativa tecnologica era (ed è) costituita dalla scelta tra la «griglia» o il «letto fluido», facendo passare in secondo piano il grande problema dell'impianto per il trattamento dei gas di combustione che comunque rappresenta il problema maggiore, sia in termini di rendimento ecologico (volume di emissioni molto consistenti), di recupero energetico (scarso rendimento di energia recuperata), di dimensioni di impianto (l'impianto di abbattimento è molto più grande della sezione di incenerimento), di costi di esercizio (il costo di neutralizzazione dei gas supera il costo di incenerimento). Da queste considerazioni emerge chiaramente che l'attuale tecnologia di incenerimento ha dei grossi limiti che non potranno più essere tollerati a lungo.

La presente invenzione si propone come obiettivo di realizzare un processo che permetta, a partire da materie prime, appositamente prodotte e/o ricavate direttamente da rifiuti, di produrre idrogeno e anidride carbonica ad alta percentuale di purezza, utilizzabili in qualsiasi attività industriale o civile come materia prima, senza produrre inquinamento atmosferico. Particolare attenzione è stata dedicata alla ricerca di anteriorità del brevetto. Dall'analisi comparativa effettuata emergono chiaramente le sostanziali novità apportate nella presente invenzione. A sostegno di questa affermazione vedasi la Tabella allegata, dove sono state messe a confronto le caratteristiche principali dei 10 brevetti, ritenuti più significativi e affini, con le caratteristiche della presente domanda di brevetto.

65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5

Tabella

N° Brevetto Inventore	EP 0 292 987 Tognazzo Val.	EP 0 545 241 Goehler Peter	JP 6 009 967 Takeuchi Y.	DE 4 313 613 Eichler Diet.	EP 0 653 478 Jungk Klaus	DE 4 412 360 Rabe Wolfgang
Pubblicazione	1988-11-30	1993-06-09	1994-01-18	1994-10-27	1995-05-17	1995-10-19
Modalità di alimentazione Materie prime	Disgregatore termico	Triturazione	Non dichiarata	Macinazione	Non dichiarata	Atomizzazione in fase liquida
Combustibile	Idrogeno	Syngas	Gas naturale Materie prime	Gas naturale	Gas naturale Materie prime	Materie prime
Comburente	Ossigeno	Ossigeno	Ossigeno	Aria	Aria	Ossigeno
Temperatura esercizio	>1600°C	650° Cpirolisi 1400° Cgass.	800/1000°C	1200°C	Low temp.	1300/2000
Profilo term. Variabile	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tipologia reattore	Verticale, tripla camera	Orizzon. Pirol. Verticale gass	?	Cilindrico ?	Orizzontale Rotante	Verticale
Residui del processo	Vetrificati	Vetrificati	Ceneri	Carboniosi	Carboniosi	Vetrificati
Forma rec. Energetico	H ₂ , CO ₂ , H ₂ O	Syngas	Fuel per turbina a gas Metanolo	H ₂ e CO ₂	Syngas	Syngas
Accumulo in camera	NO	SI (pirolisi)	SI	SI	SI	NO
Tipo di reazione	gassificazione	Pirolisi Gassificazione	gassificazione	gassificazione	Pirolisi	gassificazione

CH 694 696 A5

65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5

N° Brevetto Inventore	DE4 444 845 Kuehschweiger	WO 9 640 843 Bishop N.	WO 9 715 640 Sharpe John	EP0 837 120 Tomadini	Presente Domanda di Brevetto Sorace Vincenzo
Pubblicazione	1996-07-18	1996-12-19	1997-05-01	1998-04-22	2000-12-XX
Modalità di alimentazione Materie prime	Essiccamento Doppio canale	Triturazione	A spinta	Tal quale con triturazione	Pressione differenziale addensamento macinazione controllata fluidificazione
Combustibile	Solido	Gas naturale	Materie prime	Gas naturale, Materie prime	Gas naturale
Comburente	Aria calda	Ossigeno	Aria	Aria	Ossigeno
Temperatura esercizio	High temp.	650/800	600/1000	700/800 °C	Profilo termico variabile 350/1200°C
Profilo term. variabile	NO	NO	NO	NO	SI
Tipologia reattore	Verticale	Orizzontale rotante	Verticale	Verticale	Monotubolare verticale a sezione variabile
Residui del processo	Vetrificati	Carboniosi	Ceneri	Carboniosi	Polverosi o vetrificati
Forma rec. energetico	Energia termica	Syngas	Energia termica	Syngas Vapore CH ₄	H ₂ , CO ₂
Accumulo in camera	NO	SI	SI	SI	NO
Tipo di reazione	gassificazione combustione	gassificazione	Pirolisi gassificazione combustione	Pirolisi lenta	gassificazione veloce

CH 694 696 A5

In particolare è oggetto della presente invenzione un procedimento, destinato al trattamento e conversione di materie prime, comprendente le seguenti fasi:

1. alimentazione e dosaggio combinato di materie prime
2. piroschissione veloce con gassificazione delle molecole contenute nelle materie alimentate
- 5 3. estrazione dei residui solidi di gassificazione in forma polverosa o vetrificata
4. neutralizzazione e purificazione dei syngas ottenuti
5. compressione dei syngas
6. conversione catalitica del CO in H_2
7. separazione dell'anidride carbonica contenuta nei syngas
- 10 8. separazione dell'idrogeno contenuto nei syngas
9. recupero e riutilizzo della miscela di syngas residua

Altro oggetto dell'invenzione è un dispositivo per la realizzazione del suddetto procedimento.

Le fasi sopra indicate prevedono i seguenti passaggi:

15 1. Procedimento

A. Le materie prime, che possono essere di natura liquida, solida o fangosa, divise in gruppi omogenei, vengono dosate in rapporti qualitativi in modo che la quantità di H_2 e C, in esse contenuta, garantisca la produzione finale di H_2 e CO_2 permettendo il sostentamento economico del processo. In questa sezione di alimentazione, le operazioni e le apparecchiature che permettono di realizzare dette operazioni, sono tutte di per sé note. Risulta nuova, e molto importante per la realizzazione della gassificazione veloce, la sequenza e le modalità con cui vengono attuate dette operazioni per l'alimentazione delle materie prime solide. Infatti la compressione con il relativo addensamento per l'eliminazione dell'aria in essi contenuta, il fatto che le stesse materie prime compresse fungano da sbarramento all'ingresso dell'aria, che successivamente il macinatore ne permetta la fluidificazione a pezzatura controllata, costituiscono una sequenza di operazioni che permettono la reazione di gassificazione nei modi e nei tempi voluti. L'alimentazione delle materie prime viene realizzato con sistemi a pressione differenziale che permettono di impedire all'aria esterna al reattore di penetrare all'interno del reattore e, viceversa che i syngas all'interno del reattore possano fuoriuscire, diffondendosi nell'atmosfera. Per le sostanze liquide o fangose è previsto l'utilizzo di pompe dosatrici a ingranaggi, monovite o a pistoncini in funzione della densità e del contenuto di solidi in sospensione. Per queste sostanze, prima della immissione nel reattore, è previsto un preriscaldamento alla temperatura di $\approx 110^\circ C$ che permette di diminuire il tempo di vaporizzazione, all'interno del reattore, della frazione liquida alimentata. Le sostanze solide, prima dell'alimentazione, devono essere sottoposte, dove necessario, alla separazione delle componenti metalliche e della maggior parte della frazione acquosa. Nel caso di pezzature superiori ai 20 cm si procede alla triturazione primaria, operazione eseguita in prossimità dei bacini di stoccaggio. Un sistema di trasporto, di tipo pneumatico o meccanico (nastri trasportatori, redler, ecc.), provvede a trasportare le materie prime, già pretrattate, in prossimità della bocca di caricamento del reattore. Prima dell'introduzione, le sostanze solide subiscono un addensamento, ottenuto con spintori oleodinamici che comprimono i solidi alimentati, eliminando quasi totalmente l'aria in essi contenuta. I solidi, in fase addensata e per mezzo di una pressione più elevata, rispetto alla pressione di esercizio del reattore, vengono sospinti all'interno del reattore attraverso un orifizio calibrato, realizzando così una pressione differenziale di alimentazione che permette, creando uno sbarramento fisico, l'alimentazione delle sostanze solide senza che l'aria ambiente possa penetrare all'interno del reattore e senza che, viceversa, il syngas possa risalire nel canale di alimentazione. Le materie prime, addensate nel sistema di alimentazione a pressione differenziale, incontrano, quale elemento primario del reattore, un macinatore dotato di vaglio che permette di ottenere granulometrie e pezzature precise e ridotte che sono la condizione essenziale per la realizzazione della reazione di piroschissione veloce, nelle sezioni seguenti del reattore.

B. Gassificazione veloce.

Le materie prime vengono gassificate all'interno di un reattore monotubolare a sviluppo verticale che costituisce un oggetto dell'invenzione. Il processo di piroschissione è un processo di decomposizione chimica generato esclusivamente dall'intervento di energia termica. In assenza di aria (e di ossigeno in eccesso), e quindi in ambiente riducente, la piroschissione provoca la decomposizione termochimica della materia organica. Il processo, per sua natura endotermico, provoca la scissione delle molecole complesse che costituiscono la materia prima alimentata, trasformandola in una fase gassosa incondensabile (syngas) composta principalmente da idrogeno, monossido di carbonio, azoto, anidride carbonica e secondariamente, in percentuali molto basse, da cloro, zolfo, fluoro e da metalli eventualmente presenti nelle materie prime alimentate.

Il reattore è mantenuto a una temperatura programmata il cui profilo termico, sulla lunghezza del reattore, può partire da un valore minimo compreso tra ≈ 350 e $\approx 600^\circ C$, nella sezione di alimentazione (sommità del reattore), e arrivare a $\approx 1200^\circ C$ nella sezione finale di gassificazione (parte bassa del reattore). Nel caso di alimentazione di polveri fini, molto reattive o bassofondenti, la temperatura di partenza e di arrivo può essere inferiore ($\approx 300 - \approx 800^\circ C$). La lunghezza minima della zona di gassificazione del reattore deve essere di circa 8 m, mentre la lunghezza massima può giungere a circa 30 m. La sezione della zona di gassificazione del reattore viene dimensionata in modo che la velocità media

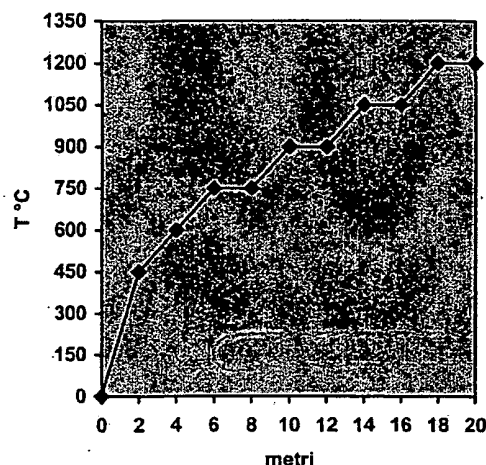
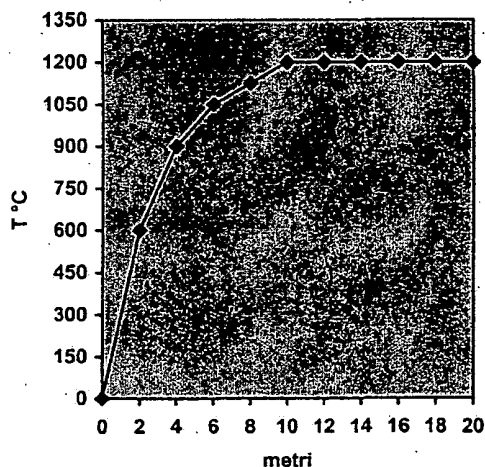
del syngas generato sia da 3 a 4 m/sec. Conseguentemente la sezione di questa zona del reattore è variabile in quanto ogni tronco viene dimensionato in funzione della portata media di gas calcolata in quel punto, legata alla temperatura di esercizio locale. Il profilo termico del reattore viene realizzato suddividendo la parte di reattore adibita alla gassificazione, in zone termiche lunghe ciascuna almeno 1 metro. In corrispondenza di ogni zona termica viene posizionata una o più torce. Per garantire il raggiungimento della temperatura programmata il numero delle torce può aumentare con l'aumentare della sezione del tronco e della capacità dell'impianto. Le torce sono alimentate con ossigeno quale comburente e con gas combustibile, dosati in rapporto sostanzialmente stechiometrico. La sezione di gassificazione del reattore, lunga come si è detto almeno circa 8 metri risulta così composto da 8 zone termiche di uguale lunghezza. L'andamento del profilo termico viene dettato dalla tipologia della materia prima alimentata o eventualmente dal mix delle stesse. In funzione della quantità di acqua presente, della quantità e della tipologia di inorganici presenti, della granulometria e conseguentemente della reattività delle sostanze alimentate, può risultare necessario, in alcuni casi, impostare un profilo termico tendente a raggiungere la massima temperatura nel minimo tempo possibile (vedi grafico 1), mentre in altri casi può risultare più conveniente raggiungere la massima temperatura solo nella parte finale della sezione di gassificazione (vedi grafico 2).

I due esempi di profilo termico per la sezione di gassificazione, ipotizzata con una lunghezza di 20 metri, sono i seguenti:

Profilo termico:

Grafico 1 Profilo

termico: Grafico 2



C. Sezione di evacuazione dei residui solidi di gassificazione

Questo passaggio può avvenire in due modi diversi e la scelta dipende soprattutto dalla tipologia media di materie prime alimentate all'impianto e dalla destinazione finale dei residui ottenuti. Le tecnologie utilizzate per l'estrazione di questi residui sono di per sé note. Nuova invece è la possibilità di applicazione, in alternativa, di due sistemi così diversi alla sezione di gassificazione dello stesso reattore. Infatti con l'adozione del profilo termico variabile risulta possibile ottenere i residui solidi in ingresso a questo passaggio, alla temperatura più idonea al trattamento da eseguire. Ulteriore novità è costituita dal fatto che i residui solidi passano da una atmosfera riducente ad una atmosfera ossidante, a percentuale controllata, favorendo la termoossidazione del carbonio in essi inglobato.

C1. Estrazione in forma polverosa

Il sistema di estrazione in forma polverosa risulta preferibile quando la sostanza inorganica estratta può facilmente essere riutilizzata in processi industriali. Questo risultato si ottiene se vengono alimentate all'impianto materie prime molto omogenee e in rapporti predeterminati. L'estrazione di questi residui, in forma polverosa, viene ottenuta per mezzo di una camera di ossidazione finale, a sviluppo orizzontale, ricavata sotto la sezione di gassificazione del reattore. Questa camera, rivestita con materiale refrattario, è dotata di due o più torce, alimentate con comburente in eccesso, per garantire la termoossidazione dei residui estratti. Una coclea, ubicata nella parte inferiore di questa camera, spinge i residui della gassificazione in un apposito contenitore fuori dal reattore. La coclea viene mantenuta a temperatura costante da un circuito di raffreddamento, ad olio diatermico, di cui è dotata.

C2. Estrazione in forma vetrificata

Questo sistema di estrazione risulta preferibile quando la sostanza inorganica estratta in forma polverosa non trova un utilizzo diretto ma addirittura costituisce un rischio ambientale. La vetrificazione si ottiene innalzando la temperatura degli inorganici residui fino alla loro fusione ($\approx 1500^{\circ}\text{C}$), e raffreddandoli violentemente in acqua. Sotto la sezione di gassificazione viene installata una apposita camera di fusione

(in alternativa all'estrazione in forma polverosa con l'installazione della coclea) dotata di due o più torce per fornire il calore necessario alla fusione; la massa inerte così liquefatta fluisce, per gravità, sino alla bocca di uscita del reattore.

La camera fusoria, dotata anch'essa di rivestimento refrattario, è a sviluppo orizzontale con opportuna inclinazione; funge da camera di omogeneizzazione e da camera di ossidazione del carbonio inglobato nella massa minerale e metallica fusa. Su questa camera fusoria vengono installate due o più torce alimentate con combustibile e comburente, ma con quest'ultimo in eccesso (2-4%) rispetto al rapporto stechiometrico, per garantire l'ossidazione del carbonio residuo prima dello scarico.

La bocca di scarico, posta all'estremità del canale di omogeneizzazione, permette alla massa fusa grazie all'inclinazione della camera, di defluire nel bacino d'acqua sottostante, dove per il violento raffreddamento avviene la vetrificazione.

D. Recupero del calore

I syngas in uscita dalla camera di gassificazione sono convogliati, in modo di per sé noto, in uno scambiatore di calore a fascio tubiero. In questo modo una parte dell'entalpia dei syngas viene recuperata per produrre vapore. I syngas entrano nello scambiatore a fascio tubiero alla temperatura di circa 1200°C e fuoriescono alla temperatura di circa 250°C. Il vapore prodotto alla pressione di circa 25 bar viene utilizzato nella colonna di conversione del $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ in $\text{H}_2 + \text{CO}_2$.

E. Neutralizzazione e purificazione di syngas

I syngas generati nel reattore di gassificazione possono contenere diverse impurezze provenienti dalle materie prime alimentate. Queste impurezze quali ad esempio acido cloridrico, acido solfidrico, biossido di zolfo, acido fluoridrico, metalli ed eventuale nerofumo, vengono in modo di per sé noto, eliminati nella sezione di neutralizzazione e purificazione costituito da un sistema pluristadio. Il primo stadio è costituito da un quencher dove i syngas vengono sottoposti a un brusco raffreddamento, mediante acqua, portando la temperatura da 250°C a 90°C. Nel secondo stadio i syngas subiscono un lavaggio acido mediante il quale vengono assorbiti i metalli e le polveri. Nel terzo stadio il syngas viene sottoposto a un lavaggio basico, attraverso il quale vengono eliminate tutte le sostanze acide ancora presenti, e raffreddato alla temperatura di 40°C. Le sostanze eliminate tramite i diversi stadi di purificazione si ritrovano nelle acque di lavaggio che vengono a loro volta depurate, separando per precipitazione gli inquinanti presenti in modo di permettere il riciclo dell'acqua.

F. Compressione dei syngas

I syngas completamente neutralizzati e purificati vengono alimentati, in modo di per sé noto, in un compressore pluristadio per comprimerli alla pressione di circa 25 bar.

G. Separazione e stoccaggio dei gas puri prodotti

La miscela di syngas composta da H_2 , CO , CO_2 , N_2 viene inviata in una serie di colonne per i passaggi, di per sé tutti ampiamente noti, di seguito descritti.

G1 conversione catalitica del CO in $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ (rendimento di conversione 84%)

G2 separazione della CO_2 (con rendimento 97%) per adsorbimento e invio allo stoccaggio in fase liquida, pronta per la commercializzazione

G3 separazione dell' H_2 (con rendimento 81%) per adsorbimento su setacci molecolari e invio allo stoccaggio, con purezza pari al 99,9%, pronti per la commercializzazione o riutilizzo, quale fonte di energia, all'interno del ciclo.

H. Riutilizzo della miscela residua dei syngas.

Dalle colonne di separazione fuoriesce, per effetto dei vari rendimenti, una miscela residua di syngas composta da H_2 , N_2 , CO e CO_2 che viene inviata al gruppo di produzione di energia termica (caldaia per produzione vapore) o elettrica (turbina - motore a ciclo Otto).

La presente invenzione comprende anche le apparecchiature per la realizzazione del processo secondo la presente invenzione.

2. Apparecchiature

L'apparecchiatura più importante di questo processo è costituita dal reattore di gassificazione. Detto reattore è composto da tre sezioni che sono parte integrante dello stesso. La prima sezione è costituita da un sistema di alimentazione, a pressione differenziale, la seconda sezione è costituita dalla zona di gassificazione, a profilo termico variabile, la terza sezione è costituita dal sistema di estrazione dei residui solidi di gassificazione.

2.1 Sezione di alimentazione materie prime

L'alimentazione e il dosaggio delle materie prime riveste importanza fondamentale per la realizzazione del processo oggetto del presente brevetto. Risulta infatti molto importante la continuità di alimentazione, la pezzatura del materiale solido alimentato e la realizzazione della pressione differenziale di alimentazione quale sistema di sbarramento per evitare la penetrazione dell'aria ambiente all'interno del reattore di gassificazione. Le apparecchiature descritte in questa sezione sono tutte di per sé note mentre nuova risulta la sequenza delle operazioni eseguite in alimentazione di un reattore di gassificazione. Le materie prime, destinate a essere alimentate al reattore di gassificazione, vengono stoccate in bacini

o in sili, divisi in gruppi omogenei, in modo che con sistemi di trasporto tradizionali possono essere facilmente inviati, con pezzatura non superiore ai 20 cm, al gruppo di alimentazione ubicato alla sommità del reattore di gassificazione.

Il gruppo di alimentazione materie prime (vedi fig. 2) è composto dalle seguenti zone:

5 – zona di ricevimento e compattazione

Questa zona è realizzata in doppio per garantire una alimentazione continua al reattore di gassificazione. Le materie prime, provenienti dai bacini di stoccaggio, vengono caricate nel serbatoio polmone del gruppo di alimentazione. Al punto di scarico, di questo serbatoio, è installata una valvola deviatrice che permette di inviare le materie prime nel canale di addensamento 33. Quando questo è pieno si passa al caricamento del canale di addensamento 34. Intanto il canale 33 viene chiuso e azionando lo spintore di cui è dotato si procede all'addensamento delle materie prime in esso contenute. Raggiunto l'addensamento voluto ($0,6-0,8 \text{ kg/dm}^3$) viene arrestato lo spintore, viene aperta la valvola a ghigliottina 36, che collega il canale di addensamento con il canale di alimentazione, la cui sezione è leggermente minore rispetto al canale che la precede. Viene nuovamente azionato lo spintore che prosegue la corsa, precedentemente interrotta per l'apertura della valvola, sospingendo le materie prime addensate fino a poco oltre la valvola a ghigliottina 36, ma fermandosi ad almeno 50 cm dal macinatore. La minore sezione del canale di alimentazione rispetto al canale di ricevimento provoca, con l'azione dello spintore, un ulteriore addensamento delle materie prime, occupando per intero la sezione di passaggio del canale, formando un tappo, ricambiato ad ogni azione dello spintore, che costituisce un efficace sbarramento all'aria ambiente, impedendone così l'ingresso nel reattore. Giunto a fine corsa lo spintore viene arretrato nella posizione iniziale, la valvola a ghigliottina 36 viene chiusa e il canale di addensamento viene aperto, azionando la valvola deviatrice, per la carica successiva. Intanto si procede con le stesse operazioni, sopra descritte, nel canale di addensamento 34, anch'esso dotato di un proprio spintore, della valvola a ghigliottina 41 e del canale di alimentazione 42. In questo modo con operazioni alternate in sequenza si può garantire una alimentazione continua al reattore di gassificazione. Il dosaggio delle materie prime alimentate, viene ottenuto regolando la velocità di avanzamento degli spintori 35 e 40. Il gruppo di alimentazione, realizzato con il doppio sistema di caricamento sequenziale viene interamente azionato con sistema oleodinamico che permette un funzionamento automatico. I due canali di alimentazione confluiscono in un unico punto di raccolta dove è ubicato un macinatore industriale monoalbero dotato di vaglio intercambiabile. Questa macchina permette di ottenere granulometrie precise e ridotte (condizione essenziale per la gassificazione veloce), la cui pezzatura massima sarà di 20 mm per materie prime di bassissimo spessore e diminuirà con l'aumentare dello spessore.

Per impianti di grossa portata può risultare utile e conveniente installare un macinatore su ogni canale di alimentazione.

35 Le materie prime, macinate, vengono trasportate tramite una coclea, all'imbocco del reattore di gassificazione. La zona terminale del canale di alimentazione, il macinatore e la coclea di trasporto al reattore, vengono continuamente inertizzate con un flusso di CO_2 che, a garanzia della sicurezza di esercizio, impedisce eventuali ritorni di fiamma o eccessivi surriscaldamenti in queste aree confinate dell'impianto.

Per le materie prime di natura liquida l'alimentazione nel reattore avviene per mezzo di una pompa capace di garantire una pressione di almeno 5 bar. Il liquido in pressione viene inviato in una lancia nella cui parte terminale, ubicata all'interno del reattore, è installato un ugello che realizza l'atomizzazione meccanica trasformando la corrente liquida in getto conico formato da goccioline finissime. La posizione di installazione della lancia, sul reattore di gassificazione, deve avvenire in corrispondenza di una zona termica alla temperatura di almeno 700°C . Il gruppo di alimentazione di materie prime di natura liquida è composto dalle seguenti apparecchiature:

- 45 – pompa a media prevalenza
 – contatore volumetrico elettronico per il controllo della portata
 – valvola per la regolazione elettronica della portata
 – scambiatore di calore per il preriscaldamento del liquido alimentato ($\approx 110^\circ\text{C}$)
 50 – lancia per l'atomizzazione meccanica

2.2 Sezione di gassificazione

La sezione di gassificazione del reattore, oggetto della presente invenzione, è progettata per realizzare la reazione di gassificazione veloce in modo continuo.

Questa sezione del reattore è composta da una serie di tronchi cilindrici sovrapposti, di diametro diverso. Su ogni tronco viene posizionata almeno una coppia di torce (distanti almeno 1 metro una dall'altra), con il relativo rilevamento termometrico: il numero delle coppie di torce dipende dal diametro e lunghezza del tronco e dalla capacità dell'impianto. Le torce sono alimentate con ossigeno, quale comburente, e il combustibile gassoso disponibile (metano – propano – syngas, ecc.) dosati a rapporto stechiometrico.

60 La realizzazione del reattore monotubolare in tronchi cilindrici dotati delle opportune rastremazioni tronco-coniche, che li rende sovrapponibili anche in presenza di sezioni diverse, permette una modularità di costruzione e la possibilità di renderli trasportabili anche con il rivestimento refrattario già installato. Questa peculiarità permette di ridurre materialmente i tempi di montaggio in cantiere anche per i reattori
 65 con la massima portata ammissibile (10 ton/h), in quanto tutte le parti dell'impianto possono essere pre-

assemblate in officina e quindi trasportate e, definitivamente assemblate, sul luogo di destinazione finale.

Il vantaggio di questa soluzione consiste nel fatto che realizzando le varie fasi di costruzione interamente in officina (carpenterie meccaniche, rivestimenti refrattari) la qualità del lavoro risulta senz'altro notevolmente maggiore, i costi di costruzione diminuiscono, i tempi di realizzo sono più brevi. La modularità costruttiva consente inoltre di poter disporre in officina di tronchi di reattore di ricambio, rendendo facilmente possibile e conveniente la sostituzione di un eventuale tronco lesionato con il tronco di riserva, minimizzando i tempi di fermo impianto a tutto vantaggio della produttività.

La sezione di gassificazione del reattore è composta da una serie di tronchi cilindrici sovrapposti. Tutte questi tronchi sono dotati di rivestimento refrattario a tre strati, di diversa densità, che permette di avere sulla superficie esterna, in acciaio al carbonio, una temperatura di esercizio massima di 80°C. Lo strato di refrattario a contatto con i syngas dovrà avere un contenuto di allumina almeno del 80%, con un peso volume almeno di 2,8 kg/dm³.

Nel primo tronco cilindrico, posto alla sommità di questa sezione di gassificazione, su di un lato viene ricavata l'apertura per il collegamento con la coclea che trasporta le materie prime macinate provenienti dalla sezione di alimentazione. Il reattore può essere dotato di una o più sezioni di alimentazione in modo da gassificare contemporaneamente materie prime diverse fisicamente, e per motivi di sicurezza o di processo, non miscelabili tra loro. La parte inferiore, di questo primo tronco cilindrico viene collegata al cilindro sottostante, la parte superiore viene chiusa con un portello apribile per facilitare le ispezioni al reattore. Questo primo tronco cilindrico viene incamiciato e nell'intercapedine viene fatto circolare un liquido di raffreddamento per impedire surriscaldamenti e mantenere una temperatura di esercizio, in questa zona, costantemente inferiore o uguale a 150°C. Il liquido caldo, in uscita da questo tronco, viene inviato nell'intercapedine della coclea di alimentazione, anch'essa incamiciata, effettuando così il preriscaldamento delle materie prime in alimentazione con il calore recuperato.

Dal primo tronco cilindrico adibito all'introduzione delle materie prime si passa ai tronchi successivi che compongono la sezione di gassificazione. Questa sezione è composta da una serie di tronchi sempre di forma cilindrica con le estremità flangiate in modo che risultino sempre sovrapponibili per uno sviluppo verticale. La lunghezza di ogni tronco deve essere modulare in funzione delle dimensioni totali di ogni reattore. Per esempio la sezione di gassificazione alta 12 metri può essere composta da 12 tronchi alti 1 metro, da 4 tronchi alti 3 metri, oppure da una soluzione intermedia a quella indicata. La scelta viene effettuata in funzione della maneggevolezza che si desidera avere in fase di costruzione e montaggio derivante dalla dimensione e dal peso di ogni tronco. Il diametro di ogni tronco viene determinato dalla quantità attesa di syngas sviluppato espresso in Nm³/h e conseguentemente dalla portata in kg/h delle materie prime alimentate. La velocità del syngas sviluppato, considerando la temperatura di esercizio di ogni tronco, deve essere compresa tra $i \approx 3$ e ≈ 4 m/sec. Per garantire una velocità costante, con l'aumentare della quantità di syngas sviluppati e con l'aumentare del loro volume, proporzionalmente alla temperatura, la sezione (in mm²) e il diametro dei tronchi dovrà costantemente aumentare. Per questo motivo il tronco di reattore, che ha il diametro maggiore del tronco soprastante, viene dotato di una rastremazione tronco-conica, con il terminale flangiato, in modo che possa accoppiarsi con il tronco di diametro minore. Nella sezione di gassificazione, del reattore, l'altezza e il numero delle zone termiche soggette all'irraggiamento diretto delle torce viene dimensionato con il criterio di seguito descritto. L'altezza della sezione di gassificazione deve essere calcolata per garantire, alla sostanza da gassificare, nelle zone termiche soggette all'irraggiamento diretto, un tempo di contatto di almeno due secondi. Il numero delle zone termiche è determinato dalla lunghezza della sezione di gassificazione considerando che ogni zona termica non deve superare i tre metri di lunghezza, e deve essere dotata di almeno una o più coppie di torce. La sezione di gassificazione di questo reattore, grazie alla fluidificazione e alla pezzatura delle materie prime provenienti dalla sezione di alimentazione, alla velocità costante dei syngas in esso sviluppati ottenuta con tronchi di diametro diverso e con l'utilizzo del profilo termico variabile, permette di realizzare la gassificazione veloce con il massimo rendimento. Questo significa alimentare la sezione di evacuazione soltanto con i residui solidi non più gassificabili. Assume grande importanza questo risultato perché nel reattore non vi è accumulo di materie prime da gassificare, permettendo all'avvio dell'alimentazione la messa a regime in pochi secondi, e all'arresto dell'alimentazione, sempre in pochi secondi la cessazione della produzione di syngas (inflammabili e tossici). Viene garantito così in qualsiasi momento il completo controllo del processo e conseguentemente la massima sicurezza di esercizio. L'aspetto sicurezza, per le soluzioni adottate, viene ancora più evidenziato se si considera che il volume utile di questo reattore confrontato con qualsiasi altra soluzione di pari potenzialità, risulta drasticamente minore così come conseguentemente il volume di syngas in gioco, permettendo in caso di emergenza una inertizzazione totale con azoto o CO₂ in tempi brevissimi.

2.2.1 Profilo termico

Il profilo termico del reattore di gassificazione viene raggiunto e mantenuto per mezzo della serie di torce installate nella apposita sezione del reattore. Le torce sono costruite in acciaio termico e la parte penetrante nel reattore è realizzata con camicia di raffreddamento per escludere pericolosi surriscaldamenti. Per questo motivo deve essere realizzato un apposito circuito di raffreddamento per tutte le torce

del reattore. Ogni torcia viene dotata di un elettrodo di accensione, di un rilevatore di fiamma e di un proprio sensore per il rilevamento della temperatura, ubicato sulla parete della camera di gassificazione, alla medesima altezza della torcia, ma diametralmente opposto alla torcia stessa. L'alimentazione del gas combustibile e del gas comburente avviene tramite i due canali concentrici appositamente previsti, nella torcia, che permettono l'accensione della fiamma solo in testa alla torcia stessa. Sull'imbocco del gas combustibile è installato un miscelatore statico che permette di omogeneizzare, nel caso di alimentazione contemporanea con i syngas, il mix di combustibile alimentato. La corrente combustibile e comburente viene continuamente ed elettronicamente monitorata per misurarne e dosarne la quantità a livello stechiometrico. Ogni torcia disporrà di misuratori elettronici e di valvole di regolazione a comando proporzionale per il gas combustibile, comburente e il syngas. Dalla sala di comando dell'impianto sarà possibile impostare i valori di portata di ogni gas alimentato ed automaticamente questi verranno mantenuti. La regolazione di portata del gas combustibile, di ogni torcia, viene automaticamente determinata dalla temperatura rilevata dalla apposita sonda ubicata in prossimità della torcia stessa. La regolazione di portata del comburente di ogni torcia viene automaticamente determinata dalla quantità di combustibile alimentato alla torcia in funzione del rapporto stechiometrico impostato. In questo modo risulta possibile impostare il valore di temperatura, nelle varie zone del reattore, relativa al profilo termico stabilito per quel reattore o per quella specifica applicazione.

Al termine della sezione di gassificazione troviamo il tronco di collegamento. Questo tronco, sempre di forma cilindrica, è dotato, nella parte superiore, di una flangia per il collegamento con l'ultimo tronco relativo alle zone termiche. Sulle pareti sono previste almeno due bocche, disposte a 180° una dall'altra, per la fuoriuscita dei syngas generati. La parte inferiore, dal tronco di collegamento, presenta una rastremazione tronco conica per l'accoppiamento con la sezione di evacuazione dei residui inorganici e minerali presenti nelle materie prime alimentate al reattore di gassificazione.

2.3 Sezione di estrazione dei residui solidi

La sezione di estrazione dei residui solidi di gassificazione, da installare nella parte inferiore del reattore, viene prevista con due modalità di funzionamento e conseguentemente con due soluzioni realizzative diverse. Ulteriore peculiarità di questo reattore è la doppia possibilità di forma estrattiva dei residui solidi di cui può essere dotato grazie al profilo termico variabile che permette di presentare detti residui, in ingresso a questa sezione, alla temperatura più idonea in funzione del trattamento finale che devono subire. Tutte le apparecchiature descritte in questa sezione sono di per sé note, nuova risulta la doppia possibilità di estrazione e la modalità di funzionamento in atmosfera leggermente ossidante collegata ad una sezione del reattore in atmosfera altamente riducente.

2.3.1 Estrazione residui in forma polverosa

La prima soluzione prevede l'evacuazione dei residui in forma solida polverosa. Questa soluzione viene adottata nei casi in cui, per la tipologia e l'omogeneità delle materie prime alimentate al reattore di gassificazione, risulta possibile caratterizzare la qualità delle sostanze inorganiche residue, destinandole al riutilizzo nello stesso processo di provenienza, o come materia prima in altri processi.

Questo processo di recupero si ottiene con la realizzazione di una camera di termoossidazione finale dei residui solidi unita alla parte inferiore del tronco di collegamento.

Questa camera consiste in un cilindro orizzontale, dotato di rivestimento refrattario simile a quello indicato per la camera di gassificazione, all'interno del quale viene alloggiata una coclea. Il diametro del cilindro è almeno il doppio del diametro massimo previsto per la coclea, che viene dimensionata per la portata massima delle polveri previste. La coclea viene installata, distanziata almeno 1 cm dalla parte inferiore del cilindro, lasciando libero il volume tra la coclea e la parte superiore del cilindro. In questa zona vengono installate una o più torce, in funzione della sua lunghezza, che permettono la termoossidazione finale dei residui polverosi. Le torce vengono alimentate con comburente leggermente in eccesso, permettendo l'ossidazione di eventuale carbonio organico residuo, inglobato nelle polveri. La lunghezza della camera è in funzione del tempo di permanenza che si vuole dare ai residui in questa sezione. La temperatura di esercizio in questa sezione, è di circa 700-800°C e comunque viene determinata dal punto di fusione, dei residui, che non deve essere superato per non rischiare la fusione. La coclea viene mantenuta alla temperatura di 250°C per mezzo di un liquido di raffreddamento che circola all'interno della stessa. Le polveri residue, sospinte dalla coclea, vengono scaricate attraverso la bocca di uscita situata all'estremità del cilindro, nella parte inferiore. Queste polveri sono inviate in un container mobile che deve essere ermeticamente chiuso per impedire all'aria ambiente di venire a contatto con l'atmosfera della camera di gassificazione.

2.3.2 Estrazione residui in forma vetrificata

La seconda soluzione, riguardante il sistema di evacuazione dei residui solidi di gassificazione, prevede la vetrificazione degli stessi. Questa soluzione viene adottata nei casi in cui per la tipologia e l'eterogeneità delle materie prime, alimentate al reattore di gassificazione, risulta impossibile prevedere il

riutilizzo di questi residui solidi in altri processi industriali, oppure per le caratteristiche analitiche questi residui solidi possono costituire un rischio ambientale. In questo caso portando i residui solidi alla fusione, seguita dal brusco raffreddamento in acqua si ottiene la vetrificazione degli stessi, rendendoli completamente inerti in quanto il processo risulta irreversibile perché i residui solidi di gassificazione rimangono inglobati nella matrice vetrosa.

Questo processo di inertizzazione si ottiene con la realizzazione di una sezione di evacuazione dei residui unita, per mezzo del tronco di collegamento, alla sezione di gassificazione.

La sezione di evacuazione consiste in una camera a forma parallelepipedica, disposta orizzontalmente con una inclinazione tra il 4%-8% e il punto più basso in corrispondenza della bocca di scarico ricavata sul lato inferiore. Questa sezione di evacuazione viene rivestita con materiali refrattari simili a quelli indicati per la camera di gassificazione, con la differenza che lo strato di refrattario a contatto con il residuo solido fuso avrà uno spessore maggiore, per la maggiore temperatura di esercizio, e una composizione con additivi speciali per avere una maggiore resistenza all'abrasione. Sul lato superiore, dalla parte opposta alla bocca di scarico, viene ricavata l'apertura flangiata per essere assemblata alla parte inferiore del tronco di collegamento della sezione di gassificazione. Il lato superiore della camera di fusione viene realizzato con forma ellittica, che permette di ottenere, con il rivestimento refrattario interno, un soffitto a volta necessario per un migliore irraggiamento del lato inferiore. La lunghezza della camera di fusione deve essere almeno più lunga del diametro maggiore della camera di gassificazione e determinata dal tempo di permanenza stabilito per quella applicazione. La temperatura di esercizio della sezione di evacuazione è di $\approx 1500^{\circ}\text{C}$. Questo regime termico viene ottenuto con almeno 3 torce alimentate con combustibile gassoso e ossigeno quale comburente che viene dosato con un parziale eccesso rispetto alla stechiometria, per garantire una atmosfera leggermente ossidante che permette l'ossidazione del carbonio eventualmente inglobato nei residui solidi.

Questi residui solidi del processo di gassificazione si depositano nella parte iniziale della camera di fusione, per effetto dell'alta temperatura, vengono portati alla fusione trasformandoli in sostanza liquida e, per la pendenza della camera stessa, essi la percorrono in tutta la sua lunghezza defluendo, attraverso la bocca di scarico, nel bacino di acqua sottostante. Questo bacino è costituito da un contenitore a forma parallelepipedica con un volume di almeno 2 mc, mantenuto a livello costante con acqua per il 50% del suo volume. Nella parte alta di questo contenitore viene ricavato un tronchetto per il collegamento flangiato, a tenuta ermetica, con la bocca di scarico della camera di fusione. Nella parte inferiore, del contenitore, viene alloggiata una coclea con una inclinazione di 45° .

La lunghezza della coclea viene determinata dall'altezza del punto di scarico della coclea stessa, che deve essere maggiore di almeno 1 mt, del livello dell'acqua all'interno del contenitore. Nel primo tratto della coclea, assemblata a tenuta stagna, avremo lo stesso livello d'acqua presente nel contenitore. Con questa soluzione i residui solidi di gassificazione, in uscita dalla sezione di evacuazione, fusi per effetto della temperatura, cadono nell'acqua frantumandosi e, per il violento raffreddamento, vetrificano. La coclea, posizionata nella parte inferiore del contenitore, li trasporta in continuo nel container sottostante, destinato allo stoccaggio. Il costante livello di acqua sempre presente, durante il funzionamento, forma una barriera a tenuta ermetica che impedisce il contatto tra l'atmosfera esterna e l'interno del reattore.

Apparecchiature e processi già esistenti

2.4 Recuperatore di calore

I syngas generati nella camera di gassificazione fuoriescono attraverso i due appositi tronchetti flangiati disposti a 180° uno dall'altro. Collegati ad ognuno di questi tronchetti vengono installati due scambiatori di calore a fascio tubiero con l'obiettivo di raffreddare i syngas da $\approx 1200^{\circ}\text{C}$ a $\approx 250^{\circ}\text{C}$, recuperando il calore per la produzione del vapore. Lo scambio di calore avviene tra i syngas, che passano all'interno dei tubi, e l'olio diatermico che passa all'esterno dei tubi. L'olio diatermico viene fatto circolare, in un circuito chiuso, collegato ad un generatore di vapore, dove viene recuperata l'entalpia contenuta nei syngas. Il vapore generato viene utilizzato nella reazione di conversione del CO in $\text{H}_2 + \text{CO}_2$.

2.5 Neutralizzazione e purificazione dei syngas

La neutralizzazione e purificazione dei syngas viene effettuata in un sistema pluristadio ad alto rendimento in modo che i syngas in uscita non presentino caratteristiche di incompatibilità con gli stadi successivi di reazione. I syngas possono eventualmente contenere, in funzione della tipologia delle materie prime alimentate, quantità diverse di nerofumo, metalli, sostanze acide. Il sistema pluristadio prevede delle specifiche sezioni di intervento per ogni tipologia di inquinante presente. Per questo motivo ogni sezione di trattamento deve essere dotata di un apposito circuito, destinato all'assorbimento di uno specifico inquinante o di una specifica famiglia di inquinanti, che permetta la separazione, e l'eventuale recupero, della sostanza assorbita. Conseguentemente non può esistere uno schema fisso, valido per tutte le tipologie delle materie prime possibilmente alimentabili all'impianto, ma comunque essenzialmente le sezioni dell'unità pluristadio corrisponderanno a quanto di seguito indicato. La prima unità è costituita

da un quencher destinato al raffreddamento e alla saturazione in acqua dei syngas. La temperatura dei syngas viene portata da $\approx 250^{\circ}\text{C}$ a $\approx 90^{\circ}\text{C}$ e la saturazione in acqua permette una migliore efficienza nel successivo stadio di trattamento. Il quencher è costituito da un cilindro in acciaio dotato di un circuito idraulico, alimentato da apposita pompa, e da una serie di ugelli atomizzatori, ubicati sulla parete,

5 che permettono di irrorare continuamente i syngas.
 La seconda unità è costituita da un Venturi a Gola Variabile (VGV). Peculiarità che deve avere questa sezione di impianto, è l'alta efficienza di separazione del nerofumo (sotto forma di polveri microniche), eventualmente contenuto nei syngas, anche in presenza di continue variazioni di portata. Essendo, in questo caso, l'efficienza direttamente proporzionale alla perdita di carico, risulta molto importante
 10 garantire il valore di progetto, in modo costante, della perdita di carico stabilita. Il liquido di ricircolo è introdotto nella sezione superiore del VGV mediante tubi tangenziali che costringono il liquido a ruotare su un piano aperto e a scorrere lungo la sezione convergente fino alla gola. Il liquido è pure introdotto mediante un tubo piazzato centralmente che lo proietta sull'apice del cono centrale. Questo liquido scende lungo la parete divergente del cono centrale fino alla gola. All'entrata della gola una cortina di
 15 eguale densità si forma di fronte alla corrente gassosa. Il gas impatta nella suddetta cortina e provoca l'atomizzazione del liquido. Le goccioline catturano le particelle solide effettuando lo scrubbing. La gola del VGV è del tipo regolabile. Il bob centrale, di cui è dotato, si può muovere in senso verticale, al fine di variare l'area di passaggio attraverso la gola. In tale modo può mantenere la velocità ideale del gas, attraverso la gola entro una gamma di portata gassosa molto ampia, sempre restando nelle condizioni
 20 ottimali di perdita di carico e di efficienza dell'apparecchiatura. Il movimento assiale, del bob centrale, viene azionato da un cilindro pneumatico, a comando proporzionale, in funzione del segnale generato dal trasmettitore elettronico di pressione differenziale appositamente installato. Il liquido di processo, mantenuto in riciclo da apposita pompa, viene continuamente filtrato per separare le particelle in esso inglobate. Queste particelle, costituite essenzialmente da polvere di carbone, vengono rialimentate al
 25 gassificatore.

La terza unità è costituita da uno scrubber pluristadio. Questa apparecchiatura è costituita da una colonna all'interno della quale esistono almeno tre zone idraulicamente separate. Nella prima zona, destinata all'adsorbimento dei metalli eventualmente contenuti nei syngas, vengono inseriti una serie di piatti, idonei allo scopo, sui quali viene fatta circolare, da apposita pompa, la soluzione assorbente mantenuta
 30 a pH acido. Il circuito di questa soluzione è dotato di una apposita sezione di trattamento dove vengono fatti precipitare i metalli in essa contenuti, filtrati e separati, e la soluzione reimpressa in ciclo. Nella seconda zona, destinata alla neutralizzazione delle sostanze acide, vengono inseriti un'altra serie di piatti, idonei allo scopo, sui quali viene fatta circolare, da apposita pompa, la soluzione neutralizzante mantenuta a pH basico. Il circuito di questa soluzione è dotato di una apposita sezione di trattamento dove
 35 vengono fatti precipitare i sali ottenuti, filtrati e separati, e la soluzione reimpressa in ciclo. La terza zona è costituita da un demister, ad alta efficienza, destinato alla separazione delle micro gocce trascinate nel syngas depurato.

2.6 Unità di compressione syngas

40 I syngas neutralizzati e purificati, vengono aspirati da una unità di compressione pluristadio che ha il compito di vincere le perdite di carico, generate dalle apparecchiature situate a monte, e di comprimere, gli stessi syngas, alla pressione di 25 bar, necessaria alle fasi di reazione successive. Essendo abbastanza alta la differenza di pressione di esercizio tra le apparecchiature a monte e le apparecchiature a
 45 valle del compressore (da pressione atmosferica in camera di gassificazione a 25 bar nelle colonne a valle del compressore), risulta necessario utilizzare un compressore con almeno tre stadi di compressione in serie per raggiungere la pressione di esercizio stabilita. Il compressore viene dotato di un sistema di regolazione di portata collegato ad un trasmettitore elettronico di pressione, posizionato sulla camera di gassificazione. Avendo come obiettivo il mantenimento, in modo costante, della pressione di esercizio
 50 stabilita in camera di gassificazione, con l'aumentare di questa, aumenterà la portata del compressore e viceversa.

2.7 Separazione dei syngas in gas puri

55 L'unità di separazione dei syngas in gas puri è composta da una serie di apparecchiature dove vengono realizzati degli specifici passaggi. L'obiettivo di questa unità è di: a) effettuare la conversione catalitica del CO presente in $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ aumentando così la concentrazione di queste due sostanze, e minimizzando invece il CO che costituisce la sostanza non utilizzabile; b) assorbimento della CO_2 , per sottrarla alla corrente dei syngas, successivo desorbimento, liberando CO_2 pura e sottoraffreddamento
 60 finale per la liquefazione e lo stoccaggio; c) assorbimento del H_2 , per sottrarlo alla corrente dei syngas residui, desorbimento e compressione finale (dove necessario) per lo stoccaggio; d) invio della corrente residua dei syngas, gas di coda derivati dai trattamenti precedenti, al bruciatore della caldaia per la produzione di vapore.

La prima sezione, di questa unità, è costituita dal reattore per la conversione del $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ in
 65 $\text{CO}_2 + \text{H}_2$, in presenza di catalizzatori a base di $\text{ZnO-CuO-A}_{12}\text{O}_3$, che sono attivi a temperature di $180-$

350°C. In questo reattore viene alimentata la corrente di syngas e vapore d'acqua alla pressione di 25 bar alla temperatura di 280°C. Per effetto di queste condizioni, in presenza del catalizzatore sopra citato, avviene la reazione di conversione $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ con un rendimento di conversione del $\approx 84\%$. La reazione è esotermica e il calore generato viene recuperato utilizzando, tramite uno scambiatore di calore, la corrente gassosa in uscita dal reattore per riscaldare la corrente in entrata al reattore di conversione.

La seconda sezione, di questa unità, è costituita da una coppia di colonne, destinate alla separazione della CO_2 presente nei syngas alimentati. Nelle colonne viene fatto circolare una soluzione, al 30%, di carbonato di potassio in acqua, alla temperatura di 80°C, e per aumentare la velocità di assorbimento si impiegano attivatori quali triossido di arsenico o di selenio. In questa condizione, nella prima colonna mantenuta alla pressione di 22 bar, avviene la reazione (esotermica) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{KHCO}_3$. All'uscita di questa colonna la miscela di syngas contiene, al massimo, una percentuale residua di CO_2 di circa il 2%. Nella seconda colonna si effettua il desorbimento della CO_2 mediante semplice espansione e stripping in corrente di vapore della soluzione acquosa che viene così rigenerata e reinviata nella prima colonna. La CO_2 prodotta, alla purezza del 99,5%, viene criogenicamente raffreddata e liquefatta e, infine inviata all'apposito contenitore per lo stoccaggio e all'utilizzo finale.

La terza sezione di questa unità è costituita da due colonne destinate alla separazione dell'idrogeno, con purezza del 99,9%, contenuto nei syngas alimentati. Le colonne lavorano alla pressione di 21 bar, a temperatura di 40°C, e sono riempite con setacci molecolari. Per avere una produzione continua di idrogeno le due colonne devono lavorare in modo alternato. I syngas vengono alimentati nella prima colonna, dove i setacci molecolari trattengono le varie componenti gassose presenti, lasciando passare solo l'idrogeno, che viene inviato al serbatoio di stoccaggio. Quando i setacci molecolari raggiungono la saturazione questa colonna viene chiusa e i syngas vengono alimentati nella seconda colonna, mentre la prima viene messa in rigenerazione con una corrente di azoto ed approntata per il ciclo successivo. Il rendimento di separazione dell'idrogeno alimentato, in confronto a quello recuperato è pari al 81%. I gas di coda di questa sezione, ottenuti nella fase di rigenerazione con azoto, vengono resi alla pressione di 1,5 bar ed utilizzati come gas combustibile nella caldaia per la produzione del vapore.

Unità di separazione dei syngas in gas puri

		%
5	Composizione syngas alimentati alla prima sezione ($\equiv$)	
	H ₂	43
	CO	38
	CO ₂	13
10	N ₂	6
	totale	100
15	Composizione syngas alimentati alla seconda sezione ($\equiv$)	
	H ₂	53
	CO	3
	CO ₂	40
	N ₂	4
20	CO ₂ recuperata % 98	
	totale	100
25	Composizione syngas alimentati alla terza sezione ($\equiv$)	
	H ₂	82
	CO	6
	CO ₂	2
	N ₂	10
	H ₂ recuperato % 81	
	totale	100
30	Composizione syngas di coda ($\equiv$)	
	H ₂	38
	CO	23
	CO ₂	4
	N ₂	29
	H ₂ O	6
35	Quantità gas di coda sui syngas alimentati % 27 ($\equiv$)	100

40 Per chiarire maggiormente le peculiarità della presente invenzione, nei disegni allegati vengono evidenziate, a titolo esemplificativo e non esaustivo, le principali caratteristiche costruttive delle apparecchiature necessarie allo svolgimento del processo.

Fig. 1 Sequenza a blocchi delle fasi di svolgimento del processo, secondo la presente invenzione.

Fig. 2 Disegno schematico indicante il reattore di gassificazione, secondo la presente invenzione, con l'estrazione dei residui in forma vetrificata.

45 Fig. 3 Disegno schematico indicante il reattore di gassificazione, secondo la presente invenzione, con l'estrazione dei residui solidi in forma polverosa.

Fig. 4 Disegno schematico indicante le apparecchiature necessarie allo svolgimento dell'intero processo, secondo la presente invenzione, per la produzione di H₂ e CO₂, ad elevata purezza, da alimentazione di materie prime.

50 In fig. 2, con il numero 1, viene complessivamente indicato il dispositivo secondo la presente invenzione. Esso è costituito dal gruppo di alimentazione delle materie prime indicato con il numero 3, dal reattore di gassificazione indicato con il numero 5, dal sistema di estrazione dei residui solidi, in forma vetrificata, indicato con il numero 7. Le materie prime vengono trasportate, con sistemi tradizionali, dai bacini di stoccaggio al serbatoio polmone 31. Azionando la valvola deviatrice 32, le materie prime vengono inviate nel canale di addensamento 33, quando questo è completamente riempito si aziona nuovamente la valvola deviatrice 32, inviando le materie prime nel canale di addensamento 34. Contemporaneamente all'azionamento della valvola deviatrice si aziona lo spintore 35 che comprimendo le materie prime contro la parete della valvola a ghigliottina 36, permette il raggiungimento della densità voluta (0,6–0,8 kg/dm³). Terminata la fase di addensamento, si interrompe l'azione dello spintore, viene aperta la valvola a ghigliottina 36, si riattiva l'azione dello spintore che spinge le materie prime, pressate, nel canale di alimentazione 37. Quando lo spintore ha superato la valvola a ghigliottina, viene arrestato ed arretrato fino alla posizione di partenza, pronto per il ciclo successivo. Le materie prime seconde pressate incontrano, alla fine del canale di alimentazione, il macinatore 38, che ha il compito di ridurre la pezzatura, e in usci-

ta da questo, cadono nella coclea 39, sottostante, che le alimenta al reattore di gassificazione. La stessa sequenza operativa viene effettuata, a garanzia di una alimentazione continua al macinatore, tramite il canale di addensamento 34, lo spintore 40, la valvola a ghigliottina 41, il canale di alimentazione 42. Per garantire una sicurezza di esercizio, in questa zona dell'impianto, viene alimentato in continuo, attraverso il tronchetto 43, un flusso di CO_2 per inertizzare tutta la sezione di alimentazione.

La sezione di alimentazione del reattore di gassificazione è costituita dal tronco cilindrico 51, dotato, sul lato superiore da un portello di ispezione 52, e sul lato inferiore dal raccordo flangiato 53, per il collegamento alla sezione sottostante. Sulla parete del cilindro viene ricavato il tronchetto flangiato 54 per il collegamento con la coclea di alimentazione 39 che trasporta le sostanze da gassificare dal macinatore 38 al reattore 5.

La sezione di gassificazione a profilo termico variabile è composta da una serie di tronchi di reattore 55, sovrapponibili, anche se con diametri diversi, grazie alle rastremazioni tronco-coniche 56, che ne rendono possibile l'accoppiamento. Ogni tronco di questa sezione è dotato, di almeno una coppia di torce termiche 57, distanti almeno 1 metro e disposte in modo alternato a 180° una dall'altra. Di fronte ad ogni torcia, sulla parte opposta del cilindro, viene installata una sonda 58 per il rilievo della temperatura. In funzione della temperatura impostata, nel profilo termico predisposto per quel reattore, ogni sonda andrà a regolare la quantità di combustibile sulla torcia corrispondente, in modo da mantenere la temperatura esatta prevista in quel punto. La camera di gassificazione termina, nella parte inferiore, con il tronco di collegamento 59. Questo tronco, sempre a forma cilindrica, è dotato alle estremità di raccordi flangiati, per il collegamento verso l'alto con la sezione di gassificazione, e verso il basso con la sezione di evacuazione dei residui solidi. Sulla parete del cilindro sono ricavate le due bocche di uscita 60 del syngas destinato alle fasi di trattamento successive.

La sezione di evacuazione dei residui solidi di gassificazione, è costituita da una camera di fusione a forma parallelepipedica disposta orizzontalmente, con una pendenza tra il 4% e 8%. Ad una delle due estremità, sul lato superiore, viene ricavato il collegamento flangiato 71, che unisce la camera di fusione, per mezzo del tronco di collegamento 59, alla sezione di gassificazione. Dalla parte opposta viene ricavata, sul lato inferiore, la bocca di uscita 72 dei residui solidi di gassificazione, liquefatti per effetto della temperatura di esercizio in questa zona, garantita dal funzionamento delle torce 73. La temperatura prefissata per questa zona, $\approx 1500^\circ\text{C}$, viene rilevata con la sonda 74, che regola l'afflusso del combustibile alle torce 73, con una fiamma leggermente ossidante per garantire la termoossidazione del carbonio eventualmente inglobato nei residui solidi di gassificazione. La bocca di uscita 72 è collegata al contenitore 75, mantenuto a livello costante con acqua. I residui solidi della gassificazione, liquefatti per l'alta temperatura, percorrono la camera di fusione in tutta la sua lunghezza, facilitati dalla pendenza, e fuoriescono dalla bocca di scarico 72 per finire nell'acqua del contenitore 75, dove raffreddandosi violentemente assumono una matrice vetrosa. La coclea 76 provvede al trasporto in continuo dei residui vetrificati dal contenitore 75 al container 77.

In fig. 3, con il numero 1, viene complessivamente indicato il dispositivo secondo la presente invenzione. Esso è costituito dal gruppo di alimentazione delle materie prime indicato con il numero 3, dal reattore di gassificazione indicato con il numero 5, dal sistema di estrazione dei residui solidi, in forma polverosa, indicato con il numero 8. La descrizione del gruppo di alimentazione 3 e del reattore di gassificazione 5, è esattamente uguale a quanto indicato per la fig. 2.

Nella sezione di evacuazione dei residui solidi di gassificazione, in forma polverosa, la termoossidazione viene effettuata per eliminare le tracce di carbonio eventualmente inglobato nei residui stessi. Questa sezione è costituita dalla camera cilindrica 8, disposta orizzontalmente, collegata alla sezione di gassificazione 5, per mezzo del tronco di collegamento 59, e di una apertura flangiata 81, situata ad una estremità della camera stessa sulla parete superiore. All'altra estremità della camera, ma sulla parete inferiore, viene ricavata la bocca di uscita 82 dei residui solidi polverosi. All'interno di questo cilindro, sollevata almeno 1 cm dalla parete inferiore, viene installata la coclea 83, che ha il compito di trasportare i residui solidi, provenienti dalla sezione di gassificazione, alla bocca di scarico 82. L'ossidazione finale dei residui solidi polverosi viene ottenuto con la fiamma, alimentata con ossigeno in eccesso, delle torce 84. I residui solidi, in uscita dalla bocca di scarico 82, entrano nel contenitore 85, dove per mezzo della coclea 86, vengono trasportati nel container mobile 87 per essere inviate al luogo di destinazione finale.

In fig. 4, con 3 viene indicato il gruppo di alimentazione delle materie prime, con 5 viene indicato il reattore di gassificazione, con 7 viene indicato il sistema di vetrificazione ed estrazione dei residui solidi di gassificazione, con 9 vengono indicati gli scambiatori per il recupero del calore, con 10 vengono indicate le apparecchiature per la depurazione del syngas, con 11 viene indicata la batteria di compressori del syngas, con 12 viene indicato il reattore catalitico per la conversione $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ in $\text{H}_2 + \text{CO}_2$, con 13 vengono indicate la colonna di assorbimento e la colonna di desorbimento per la separazione della CO_2 , con 14 vengono indicate le due colonne, che alternativamente permettono di separare l' H_2 presente nei syngas, con 15 viene indicata la caldaia per la produzione del vapore, che utilizza come combustibile alternativo i gas di coda in uscita dagli stadi precedenti.

Rivendicazioni

1. Procedimento per la produzione di syngas puri, idrogeno e anidride carbonica, da gassificazione veloce di materie prime, di natura liquida solida, fangosa, siano esse appositamente prodotte allo scopo o derivanti da processi industriali e non più riutilizzabili negli stessi processi, o combustibili derivati da rifiuti, o biomasse, procedimento comprendente le fasi di alimentazione, termo-gassificazione veloce, estrazione dei residui solidi in forma polverosa o in forma vetrificata, purificazione e compressione dei syngas, separazione dei gas puri, caratterizzato dal fatto che:
 - a) le materie prime vengono trattate nella sezione di alimentazione di un reattore monotubolare a sviluppo verticale, a flusso discendente con un sistema a pressione differenziale che permette l'introduzione delle stesse nella sezione di gassificazione del reattore, senza trascinalenti di aria esterna e con la pezzatura del materiale inversamente proporzionale al suo spessore;
 - b) nella sezione di gassificazione, le materie prime alimentate subiscono la gassificazione in atmosfera riducente, a una temperatura di esercizio regolata da un profilo termico variabile, ottenuto con una serie di coppie di torce, disposte lungo la sezione di gassificazione a 180° l'una dall'altra, temperatura che, in funzione delle caratteristiche fisico chimiche delle materie prime alimentate, è compresa fra un minimo di 350°C nella parte superiore della sezione di gassificazione, e un massimo di 1200°C nella parte inferiore di detta sezione;
 - c) i residui solidi di gassificazione sono convogliati per caduta nella sezione di evacuazione, ricavata nella zona inferiore del reattore, che a seconda del caso, può fungere da camera di ossidazione finale con l'estrazione in forma polverosa, oppure da camera di ossidazione e fusione con successiva vetrificazione mediante raffreddamento in acqua;
 - d) i syngas ottenuti dal processo di gassificazione sono inviati a trattamento di purificazione e separazione pluristadio per ottenere H₂ e CO₂, con purezza superiore al 99%;
2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che nella sezione di alimentazione del reattore le materie prime vengono prima compresse, per eliminare l'aria in esse contenuta, quindi vengono alimentate tramite un sistema a pressione differenziale così da impedire l'ingresso di aria esterna nel reattore, poi macinate, a pezzatura controllata, per facilitare la gassificazione veloce e, ai fini della sicurezza alimentate nella sezione di gassificazione in atmosfera resa inerte da una corrente di CO₂.
3. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la sezione di gassificazione del reattore monotubolare, è dotata di una serie di zone termiche, ricavate in tronchi cilindrici lunghi da 1 a 3 metri, di diametro interno (in misura crescente dall'alto verso il basso) compreso fra un minimo di 0,5 m e un massimo di 2,5 m, la cui temperatura di esercizio è liberamente impostabile nel campo tra 350 e 1200°C.
4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che ogni zona termica dispone di una propria coppia di torce, dove la temperatura viene rilevata da apposita termocoppia che, per mezzo di un circuito elettronico, regola l'afflusso di combustibile e dell'ossigeno, quale unico comburente, dosati in rapporto stechiometrico.
5. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la sezione di evacuazione è dotata di una coclea realizzata per l'estrazione dei residui solidi in forma polverosa, previa ossidazione termica finale che elimina eventuali tracce di carbonio ancora presenti.
6. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la sezione di evacuazione è in pendenza per il deflusso dei residui solidi allo stato fuso, previa ossidazione termica finale che elimina eventuali tracce di carbonio ancora presenti.
7. Procedimento secondo le rivendicazioni 5 e 6, caratterizzato dal fatto che la sezione di evacuazione è dotata di apposite torce, indipendenti dalle torce della sezione di gassificazione, con un proprio rilevamento di temperatura che permettono di raggiungere le temperature prefissate in funzione della forma, polverosa o vetrificata, del residuo solido ottenuto.
8. Procedimento secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che le torce della sezione di evacuazione possono essere alimentate con il comburente in eccesso, creando una zona leggermente ossidante, che permette l'eliminazione del carbonio dai residui solidi di gassificazione.
9. Reattore (1) per la realizzazione del procedimento di termogassificazione veloce di materie prime secondo una delle rivendicazioni da 1 a 8 caratterizzato dal comprendere: una sezione di alimentazione a pressione differenziale (3), per eliminare l'ingresso di aria nel reattore, comprendente un macinatore (38) che permette di ridurre le materie prime alla pezzatura voluta e di trasportarle alla sezione seguente mediante la coclea (39); una sezione di gassificazione (5) composta da una serie di tronchi cilindrici sovrapposti (55), lunghi da 1 a 13 m, dotati ognuno di almeno una coppia di torce (57) e dei relativi dispositivi di rilevamento termometrico (58); una sezione di evacuazione dei residui solidi di gassificazione, collegata alla sezione di gassificazione per mezzo di un tronco di reattore (59) in atmosfera parzialmente ossidante, realizzato per l'estrazione in fase vetrificata (7), oppure in fase polverosa (8).
10. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la sezione di gassificazione viene realizzata con tronchi cilindrici sovrapposti (55), di diametro variabile, accoppiati mediante le rastremazioni (56), che permette di mantenere ai syngas sviluppati una velocità costante di attraversamento dei singoli tronchi, per tutta la sezione di gassificazione.
11. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la serie di dispositivi di rileva-

mento termometrico (58) permettono di ottenere un profilo termico variabile in funzione della tipologia delle materie prime alimentate.

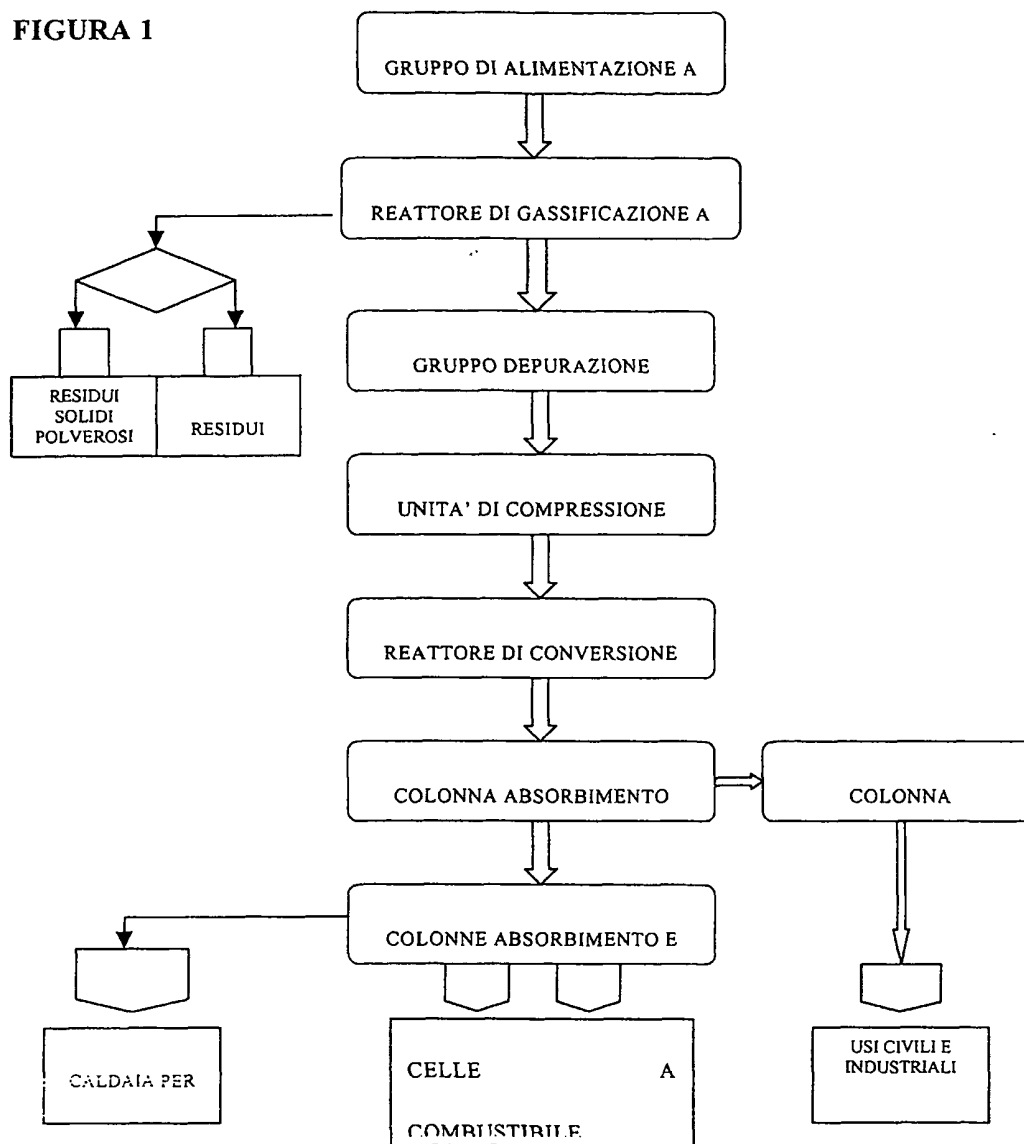
12. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la sezione di evacuazione è costituita da una camera a forma parallelepipeda, disposta orizzontalmente, con una pendenza verso la bocca di scarico (72), compresa tra il 4-8%, per facilitare il convogliamento dei residui liquefatti per effetto della temperatura di circa 1500°C.

13. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la sezione di evacuazione è costituita da una camera cilindrica, disposta orizzontalmente, dotata di una seconda coclea (83) che ha lo scopo di convogliare i residui solidi in forma polverosa verso la bocca di scarico (82).

14. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che nella sezione di gassificazione (5), tutte le torce (57) sono dotate di un sistema di regolazione elettronica che permette di impostare, attraverso il computer in sala comando, il profilo termico più idoneo alla gassificazione delle materie prime alimentate al reattore.

15. Reattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che la sezione di gassificazione (5), mantenuta in atmosfera riducente, è collegata con la sezione di evacuazione dei residui solidi vetrificati (7) o polverosi (8), mantenuta in atmosfera leggermente ossidante.

FIGURA 1



Alimentazione materie prime

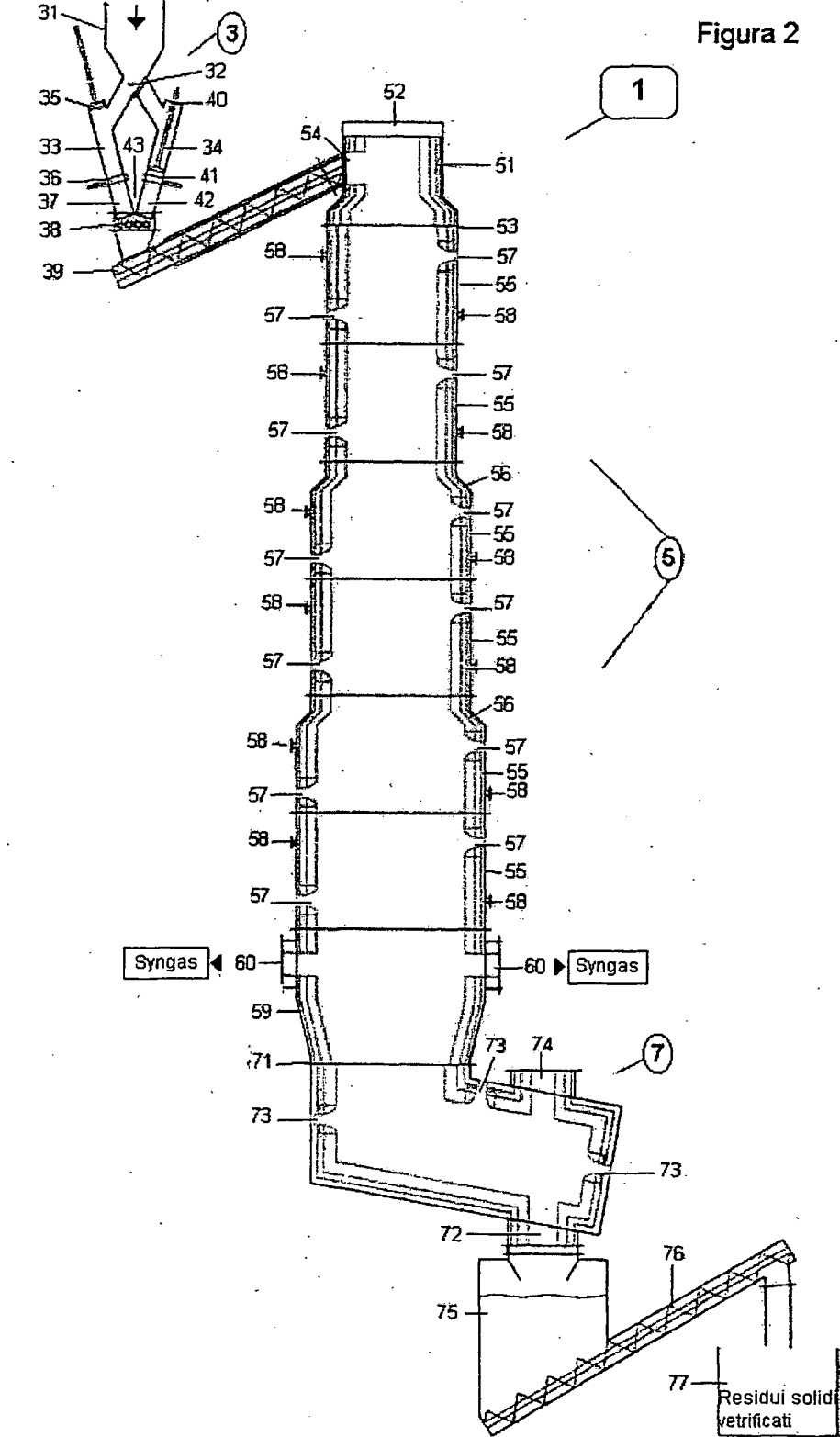
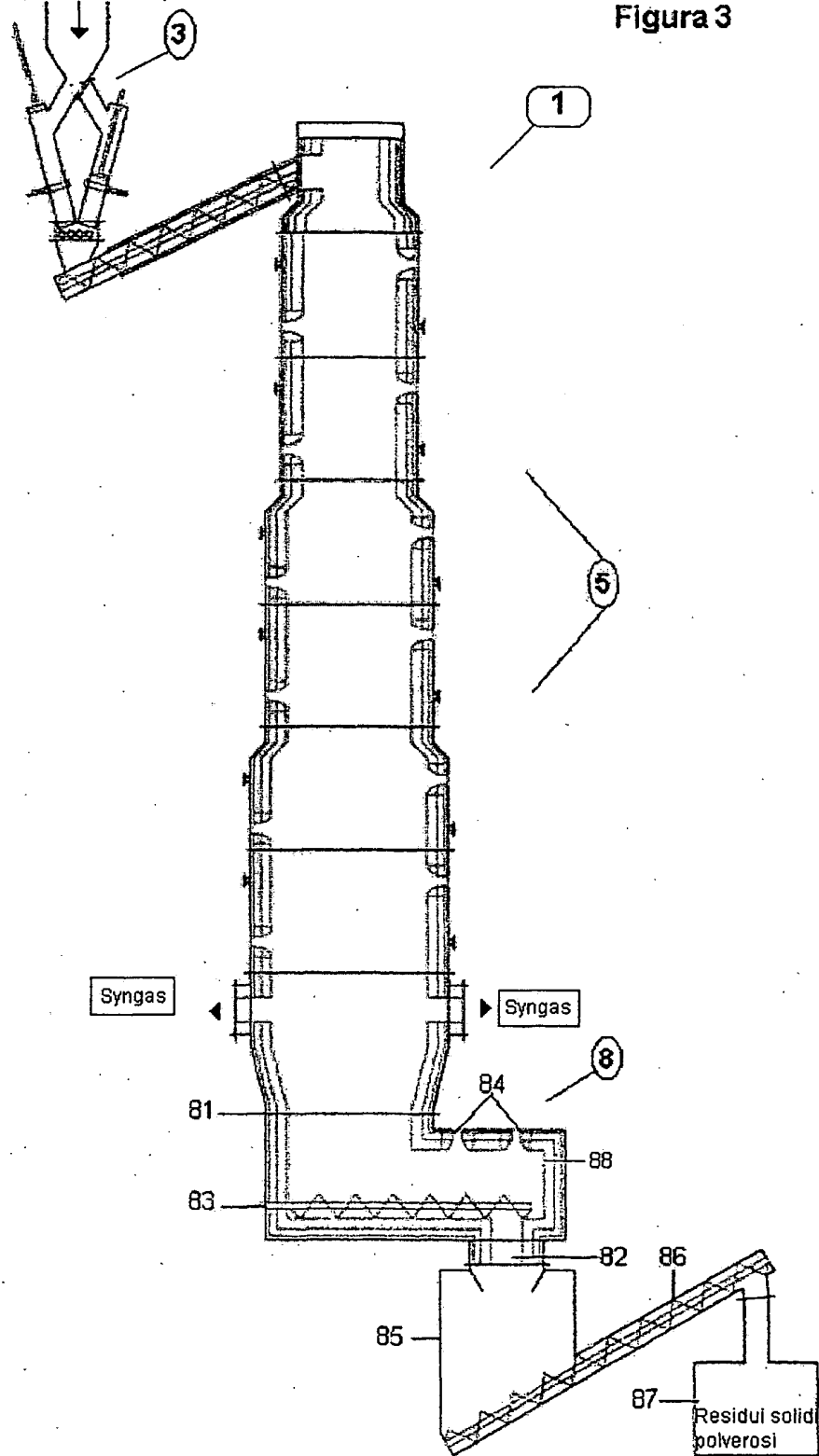


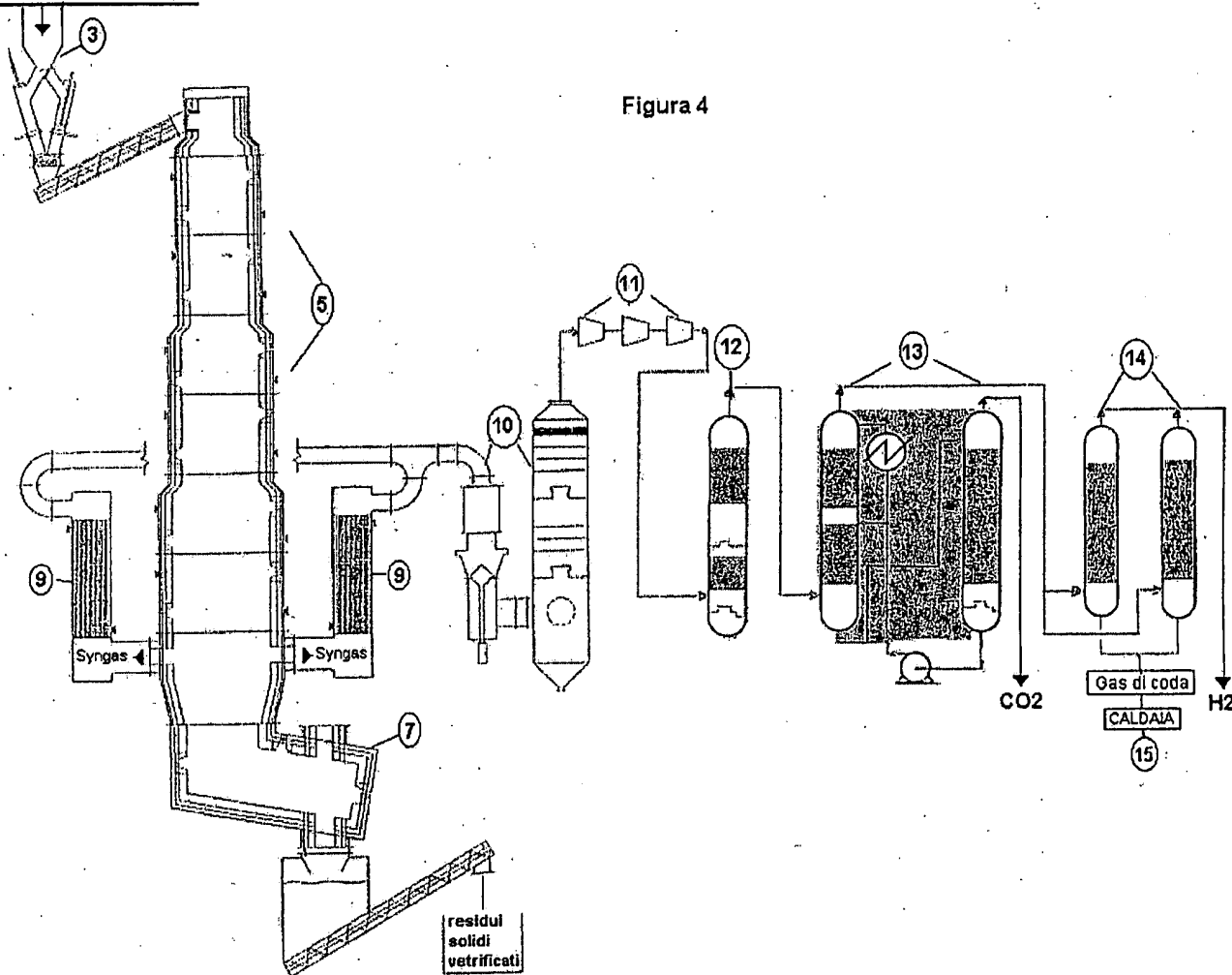
Figura 2

Alimentazione materie prime

Figura 3



Alimentazione Materie Prime



CH 694 696 A5