

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000020819
Data Deposito	02/08/2021
Data Pubblicazione	02/02/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	12	P	7	06

Titolo

PROCESSO ED APPARATO PER LA PRODUZIONE DI BIOETANOLO SENZA EMISSIONI DI CO₂ MEDIANTE CONVERSIONE DI SYNGAS OTTENUTO DALLA CONVERSIONE TERMICA AD ALTA TEMPERATURA DI RIFIUTI

Descrizione del brevetto per invenzione dal titolo:

**"PROCESSO ED APPARATO PER LA PRODUZIONE DI BIOETANOLO
SENZA EMISSIONI DI CO₂ MEDIANTE CONVERSIONE DI SYNGAS
OTTENUTO DALLA CONVERSIONE TERMICA AD ALTA
TEMPERATURA DI RIFIUTI"** a nome della NEXTCHEM SpA,
con sede in Via di Vannina, 88/94 - 00156 - Roma
(RM) .

Inventori designati: Pierroberto Folgiero, Gaetano
Iaquaniello, Giacomo Rispoli, Annarita Salladini e
Alessia Borgogna.

DESCRIZIONE

Il trovato rientra nel campo dei processi e
degli apparati atti a convertire RDF (refused derived
fuel), RSU (rifiuti solidi urbani) e materiali
assimilati quali residui plastici non riciclabili in
prodotti a maggior valore aggiunto garantendo una eco
compatibilità in termini di assenza di emissioni di
gas serra e specificatamente è costituito da un
processo ed apparato per la produzione di bioetanolo
senza emissioni di CO₂ mediante conversione di syngas
ottenuto dalla conversazione termica ad alta
temperatura di rifiuti.

Stato dell'arte

Il riscaldamento globale della Terra sta

costringendo l'Unione Europea ad attuare una strategia per eliminare le emissioni di gas serra (GHG) in Europa entro il 2050, cercando alternative all'utilizzo di gas naturale o altri idrocarburi.

Il modo convenzionale per smaltire i rifiuti urbani, agricoli e industriali attraverso l'incenerimento è anche una delle principali fonti di emissioni di gas serra, principalmente CO₂, CH₄ e ossidi di azoto. Al contrario, i rifiuti possono essere utilizzati come fonte di carbonio e idrogeno convertendoli in un syngas, una miscela di CO, CO₂ e H₂. I processi per tale conversione sono noti nell'arte.

Ad esempio nel brevetto WO/2018/066013 si descrive un processo di gassificazione mediante l'uso di ossigeno puro per la conversione dei rifiuti in syngas controllando la temperatura lungo l'asse verticale del reattore.

Il brevetto WO/2018/134853 descrive un processo di conversione dei rifiuti ad alta temperatura per la produzione di syngas, seguito dalla purificazione del syngas e dalla regolazione del rapporto H₂/CO finalizzato alla produzione di metanolo.

In entrambi gli esempi citati c'è un eccesso di carbonio nella matrice della carica, rispetto alla

composizione del prodotto finale, che lascia il processo principalmente sotto forma di CO₂.

L'ulteriore conversione del syngas nei prodotti desiderati, in particolare l'etanolo, può essere effettuata attraverso diversi percorsi.

Nel brevetto US9518237 si descrive un processo per convertire un syngas in prodotti idrocarburici ossigenati tramite bioconversione anaerobica; detti prodotti idrocarburici sono in particolare etanolo, acido acetico, n-propanolo, n-butanolo.

Il brevetto US2019/0078121 descrive un metodo diverso per migliorare la composizione CO/H₂ del flusso di gas disponibile per alimentare una produzione microbica di composto ossigenato.

Infine, nel documento brevettuale US2019/0323042, partendo da un syngas ricco di CO, la produzione di etanolo si ottiene tramite fermentazione anaerobica, ma questo implica che una frazione di carbonio venga persa come CO₂ mentre solo all'aumentare della quantità di H₂ disponibile, la produzione di CO₂ può essere ridotta o evitata.

Rimane quindi la necessità di un processo ed un apparato ad emissioni zero, per la produzione di sostanze chimiche o biocarburanti come etanolo, a partire dal carbonio contenuto nei rifiuti solidi

urbani (RSU), nei rifiuti agricoli, o nei loro derivati come il combustibile derivato da rifiuti (RDF) e rifiuti industriali quali residui plastici non riciclabili.

Il combustibile derivato da rifiuti (RFD) è una sorta di combustibile prodotto dopo la separazione della frazione organica, dei metalli, della carta e della plastica.

Inoltre, resta la necessità di un processo ed apparato, che abbia emissioni zero, in particolare per quanto riguarda le emissioni di CO₂

Compito del trovato

Compito del trovato è quello di superare i limiti della tecnica nota proponendo un processo ed un apparato compatibili con le linee guida delle normative volte all'azzeramento delle emissioni di gas serra nell'ambiente ed adatti alla conversione di rifiuti urbani, unitamente ad altri rifiuti industriali, quali le plastiche non riciclabili, in bioetanolo.

Soluzione proposta

La soluzione che si propone consiste in un processo, e nel relativo apparato, in cui le emissioni di CO₂ sono evitate grazie all'effetto sinergico di una fase di fermentazione e di una fase

di metanazione, considerando che la gassificazione della carica notoriamente comporta una maggiore produzione di CO e CO₂, in modo da produrre un syngas che viene arricchito con idrogeno suppletivo proveniente da processi elettrolitici e massimizzando quindi il processo di fermentazione biologica per produrre etanolo.

Elenco figure

Una migliore comprensione del trovato si avrà con la seguente descrizione dettagliata e con riferimenti alle figure allegate che illustrano, a puro titolo esemplificativo e non già limitativo, una preferita forma di realizzazione dell'invenzione.

Nei disegni:

La figura 1 mostra uno schema concettuale generale del trovato.

La figura 2 mostra uno schema a blocchi di una preferita forma realizzativa del trovato con immissione di idrogeno a monte e a valle del fermentatore, e con le unità di raffinazione dell'etanolo grezzo e di purificazione dell'acqua recuperata.

La figura 3 mostra uno schema a blocchi di una alternativa forma realizzativa del trovato con immissione di idrogeno totalmente a monte del

fermentatore.

La figura 4 è uno schema dettagliato di una preferita forma realizzativa con immissione di idrogeno a monte e a valle del fermentatore.

La figura 5 è un'alternativa forma realizzativa rispetto la figura 4 in cui l'idrogeno viene immesso solo a monte del fermentatore.

Descrizione particolareggiata dell'invenzione

Il trovato concerne un processo per la produzione di bioetanolo grezzo mediante la fermentazione del syngas prodotto dalla conversione termica della carica composto da uno o più rifiuti.

Il trovato descrive ulteriormente anche un apparato per la realizzazione del processo sopra citato.

Il processo e l'apparato descritti consentono la conversione di rifiuti in biofuel come, ad esempio, etanolo; detti rifiuti comprendono rifiuti solidi urbani plastici (municipal solid waste MSW), rifiuti agricoli o loro derivati come Refused Derived Fuel (RFD) od ancora rifiuti industriali, quali i rifiuti plastici non riciclabili.

Secondo una prima caratteristica del trovato il processo sfrutta la disponibilità di idrogeno prodotto mediante elettrolisi per permettere la

conversione in etanolo degli elementi carboniosi contenuti nel rifiuto gassificato.

La disponibilità di idrogeno prodotto mediante elettrolisi consente inoltre di evitare qualsiasi emissione di CO_2 nell'atmosfera in quanto gli eventuali elementi carboniosi non convertiti durante la fase di fermentazione vengono trasformati in metano attraverso reazione di metanazione, semplicemente aggiungendo ulteriore idrogeno; il metano così prodotto può essere inviato a distribuzione o riciclato al gassificatore per controllare la temperatura di conversione dei rifiuti.

Il processo sviluppato parte dalla considerazione che il syngas prodotto dalla conversione ad alta temperatura di rifiuti solidi urbani, trattati o meno, o dalla conversione termica di rifiuti agricoli od industriali presenta un rapporto in volume H_2/CO pari all'incirca ad 1.

Il rapporto H_2/CO ottimale necessario per produrre etanolo mediante fermentazione si aggira intorno al $2,0 \div 2,2$ in volume e quindi risulta evidente che la conversione termica di rifiuti come quelli sopra citati, che produce un syngas con un valore del rapporto più basso rispetto quello

ottimale, si tradurrebbe in un eccesso di componenti carboniosi che uscirebbero dal processo principalmente sotto forma di anidride carbonica.

Secondo un'altra caratteristica dell'invenzione, si è previsto che il processo comprenda una pluralità di convertitori di rifiuti ad alta temperatura atti a produrre il syngas ed una pluralità di celle di elettrolisi per produrre idrogeno ed ossigeno.

Integrando il syngas prodotto dai convertitori con l'idrogeno (H₂) prodotto per elettrolisi è possibile utilizzare pressoché totalmente tutta la componente carboniosa in forma di CO/CO₂ del syngas per la produzione di etanolo; inoltre per massimizzare la conversione di CO₂, evitando quindi di liberarla in atmosfera, è ulteriormente previsto che la componente residua eventualmente ancora presente nei flussi a valle del fermentatore venga convertita in metano sintetico attraverso la cosiddetta reazione di metanazione



Vantaggiosamente, tale metano può essere utilizzato nella fase di conversione ad alta temperatura dei rifiuti per un migliore controllo del processo e mandato ai limiti di batteria per un utilizzo al di fuori di questo processo.

Gli schemi a blocchi delle forme realizzative descritte sono visibili nelle figure 4 e 5; alternative forme realizzative del trovato sono comunque possibili senza alterare il concetto inventivo alla base del trovato.

Piuttosto le forme realizzative qui descritte hanno l'obiettivo di fornire una divulgazione completa ed esaustiva che trasmetta completamente lo scopo dell'invenzione all'esperto del ramo.

Costituisce pertanto oggetto della presente invenzione un processo ecocompatibile per la produzione di etanolo da rifiuti, attraverso una fase di fermentazione del syngas che viene ottimizzata mediante l'aggiunta di idrogeno suppletivo ottenuto tramite elettrolisi dell'acqua mentre l'ossigeno della stessa elettrolisi viene utilizzato come comburente all'interno della fase di conversione termica, annullando l'emissione di CO₂ nell'atmosfera.

In una preferita forma realizzativa ma non limitativa, tale processo comprende le seguenti fasi principali:

- Conversione termica ad alta temperatura del rifiuto con produzione di syngas grezzo (100);
- Produzione di H₂ ed O₂ mediante elettrolisi (102);

- Purificazione del syngas grezzo (101);
- Fermentazione (103) del syngas purificato per la produzione di bioetanolo grezzo, previa addizione di tutto o parte dell'idrogeno prodotto da elettrolisi per il raggiungimento del rapporto ottimale H_2/CO ottimale necessario alle reazioni di fermentazione;
- conversione, parziale o totale, dell'anidride carbonica residua presente nel gas di spurgo proveniente dalla fermentazione in metano (105);
- separazione (106) del metano prodotto dall'anidride carbonica non convertita e riciclo di tutto o parte del metano recuperato e di tutta la CO_2 separata alla fase di conversione termica ad alta temperatura (100);
- purificazione del bioetanolo grezzo (104) prodotto dalla fermentazione;

Dette fasi principali possono essere ulteriormente corredate di alcune fasi secondarie quali:

- purificazione dell'acqua (107) ottenuta dalla purificazione del bioetanolo grezzo e riciclo della stessa acqua all'unità di elettrolisi.

Le fasi secondarie sopra descritte contribuiscono all'ottimizzazione del processo in

termini di consumi di utilities.

Nella preferita forma realizzativa che si descrive, la fase di conversione ad alta temperatura dei rifiuti in syngas (100) comprende più treni, o reattori; più specificatamente si è scelto di utilizzare un minimo di due, preferibilmente tre linee di conversione termica per convertire la carica in syngas.

Tale soluzione consente di gestire correttamente il periodo di manutenzione in modo da garantire una certa continuità di utilizzo; in tal modo anche quando una singola linea viene fermata per manutenzione le altre due linee, potendo lavorare a capacità maggiorata, assicurando così un turndown minimo (75-80%) ed un funzionamento continuo e pressoché costante per le fasi a valle della conversione termica.

Inoltre la scelta operativa di effettuare la conversione termica su treni multipli consente di omogeneizzare la composizione delle varie correnti di syngas in uscita da ogni gassificatore prima della successiva fase di purificazione; ciò comporta la possibilità di modulare la carica con cui viene alimentato ogni gassificatore al fine di ottenere un syngas grezzo che sia adatto ad essere trattato nella

successiva fase di purificazione, incrementando la flessibilità dell'impianto.

A titolo di esempio è stata scelta una portata di rifiuti compresa tra 8 e 10 t/h che viene alimentata ad ogni singola linea di conversione termica per un totale complessivo di 24-30 t/h di rifiuti convertibili.

La composizione tipica dei rifiuti è riportata nella tabella 1.

ELEMENTO	COMPOSIZIONE MEDIA (IN PESO)			
C	38	-	42	%wt, wet basis
H	5	-	6	%wt, wet basis
N	0.2	-	1	%wt, wet basis
S	0.2	-	1	%wt, wet basis
Cl	0.5	-	1	%wt, wet basis
O	19	-	22	%wt, wet basis
UMIDITÀ	10	-	16	%wt, wet basis
CENERI	15	-	18	%wt, wet basis

Tabella 1

Ogni convertitore è alimentato con ossigeno puro, prodotto dal processo di elettrolisi (102), come agente gassificante; inoltre è prevista l'immissione di una certa aliquota di gas naturale (CH₄), riciclato dalla fase di metanazione (105) e successiva separazione (106), allo scopo di controllare il profilo di temperatura all'interno del reattore.

Inoltre può vantaggiosamente essere utilizzata la corrente di CO_2 per inertizzare il sistema di alimentazione dei rifiuti evitando così perdite di syngas e qualsiasi infiltrazione d'aria; nella forma realizzativa descritta si è scelto di utilizzare come agente inertizzante la CO_2 che è verosimilmente disponibile all'interno delle correnti che evolvono nel processo.

È tuttavia possibile utilizzare altri gas inerti alternativi alla CO_2 , come ad esempio correnti ricche di azoto, per raggiungere il medesimo scopo di evitare perdite di syngas ed infiltrazioni di aria all'interno del sistema di alimentazione dei rifiuti.

A tale scopo si è scelto di aggiungere un quantitativo di idrogeno suppletivo tale da permettere che una certa aliquota di CO_2 sia comunque presente a valle della fase di metanazione, separandola dal metano prodotto e ricircolandola integralmente alla fase di conversione termica (100) come agente inertizzante.

In questo modo eseguendo la fase di fermentazione (103) e la successiva fase di metanazione (105) in modo da non convertire integralmente la CO_2 , l'aliquota non convertita di anidride carbonica viene mantenuta in circolazione

all'interno dell'impianto, ottenendosi una ottimizzazione e stabilizzazione di tutte le fasi di lavorazione.

Ciascun treno di conversione è costituito da un reattore di conversione che opera a pressione pressoché atmosferica (max 500 mbarg) e che eroga syngas a una temperatura di 1100-1200°C; detto syngas viene rapidamente raffreddato fino a 90°C attraverso un quench evaporativo che fissa la composizione del syngas ottenuto ad alta temperatura all'interno del reattore evitando l'innesco di reazioni collaterali responsabili della formazione di composti inquinanti come diossine e furani.

Il trovato prevede, a valle dell'unità di conversione termica (100) una fase di purificazione che agisce con a doppia pressione (101), costituita da più unità a seconda della capacità dell'impianto, il cui scopo è quello di rimuovere particolato, metalli, cloruri, ammoniaca, COS ed H₂S.

Nella zona a bassa pressione a valle del quench, il syngas uscente da ogni gassificatore si trova a pressione prossima a quella atmosferica, orientativamente compresa tra 100-500 mbarg massimo; detto syngas viene convogliato ad una colonna di lavaggio acida funzionante a pH 1-3; tali condizioni

consentono di rimuovere eventuali particelle trascinate ed i metalli dalla corrente di syngas.

Il syngas proveniente dalle tre linee di conversione all'uscita delle colonne acide viene raccolto insieme e convogliato ad una comune colonna di lavaggio alcalina che lo neutralizza aumentando il pH al di sopra di 7 e riducendo così eventuali fenomeni di corrosione sulle apparecchiature a valle.

Un'ulteriore fase di purificazione viene eseguita tramite un precipitatore elettrostatico umido (WEP) il cui scopo è quello di rimuovere la polvere trascinata e cui segue, eventualmente, un lavaggio con acqua sottoraffreddata in colonna in grado di ridurre ulteriormente la polvere e il particolato nel syngas.

All'uscita della sezione di lavaggio a bassa temperatura, un serbatoio di accumulo del gas consente di gestire adeguatamente eventuali fluttuazioni di portata e pressione del syngas; secondo il trovato la pressione al gasometro è mantenuta a circa 40 mbarg.

Prima di entrare nella sezione di purificazione ad alta pressione, il syngas viene compresso fino a 12 barg attraverso una stazione di compressione dedicata; il syngas pressurizzato viene quindi

indirizzato ad un letto adsorbente in grado di rimuovere la polvere residua, il particolato ed i metalli pesanti.

A questa operazione fa seguito un letto catalizzatore/adsorbente che permette la rimozione di HCl ed un reattore di idrolisi che consente la conversione di COS e HCN in H₂S ed NH₃ rispettivamente.

Il gas di sintesi uscente dal reattore di idrolisi viene indirizzato a un letto di rimozione di Hg ed ad un sistema di rimozione di H₂S secondo tecnologie note.

In questo senso la rimozione di H₂S può essere effettuata o attraverso un sistema che consenta la trasformazione dell'H₂S in zolfo elementare e successivamente allontanato come fango di zolfo, oppure attraverso un lavaggio amminico.

Una composizione tipica del syngas purificato è presentata in tabella 2.

Il syngas così purificato può essere alimentato alla sezione di fermentazione dell'etanolo (103).

I dati presentati nella tabella 2 confermano quanto già anticipato riguardo il rapporto H₂/CO che risulta essere più basso rispetto quello ottimale per la fase di fermentazione.

ELEMENTO	COMPOSIZIONE MEDIA			
H ₂	40	-	38	%mol
CO	42	-	41	%mol
CO ₂	10	-	12	%mol
N	4	-	4.5	%mol
H ₂ O	4	-	4.5	%mol
PRESSIONE	9	-	10	Barg
TEMPERATURA	40	-	45	°C

Tabella 2

Secondo il trovato l'ulteriore idrogeno, necessario per ottenere un rapporto ottimale H₂/CO, viene fornito da una fase di elettrolisi (102) basata su più celle, a seconda della capacità dell'impianto, atte a produrre idrogeno e ossigeno.

In una preferita forma realizzativa, ma non limitativa dell'invenzione, parte dell'idrogeno prodotto dall'elettrolisi viene aggiunto al syngas a monte della fase di fermentazione (103) e la restante parte viene aggiunta a valle della zona di fermentazione (103), prima della fase di metanazione (105) allo scopo di ottimizzare entrambe le fasi in termini di volumi e condizioni operative delle apparecchiature coinvolte; in un'alternativa forma realizzativa la corrente di idrogeno prodotto nell'elettrolisi viene aggiunta integralmente prima della fase di fermentazione (103) promuovendo la

massimizzazione della conversione di CO e CO₂ in etanolo.

In entrambe le soluzioni descritte, l'ossigeno viene indirizzato ai treni di conversione per eseguire la conversione dei rifiuti (100).

Secondo il trovato la conversione di CO e CO₂ in etanolo è effettuata in una fase di fermentazione (103) in cui detta conversione viene eseguita in uno o più bioreattori contenenti una coltura batterica dispersa in un mezzo nutritivo liquido.

Come noto una corrente organica costituita da mono atomi di carbonio (C₁) e quindi comprendente uno o entrambi gli elementi CO e CO₂, in combinazione con H₂, viene convertita in etanolo a bassa temperatura 30-40°C e bassa pressione 3-5 barg.

Pertanto secondo il trovato il gas di sintesi contenente CO, CO₂, addizionato con l'H₂ proveniente dall'elettrolisi, viene fatto gorgogliare all'interno del mezzo nutritivo liquido; la conversione porta alla formazione di etanolo disperso nel mezzo nutriente in fase acquosa e alla produzione di una corrente gassosa residua contenente componenti non reagiti nonché la CO₂ generata dal processo di conversione biologico durante la fermentazione.

La concentrazione di etanolo nella corrente in

uscita dalla fase di fermentazione è compresa nell'intervallo tra il 3-6 %wt e quindi è necessaria una fase di separazione specifica dell'etanolo dalla fase acquosa per ottenere etanolo anidro.

In una preferita forma realizzativa il gas di sintesi, addizionato con parte dell'idrogeno prodotto dall'elettrolisi e quindi avente un rapporto H_2/CO compreso tra il 2,0-2,2 %vol, viene convertito in etanolo grezzo e un gas di spurgo.

In una alternativa forma realizzativa il syngas, addizionato con tutto l'idrogeno prodotto dall'elettrolisi, avrà un rapporto H_2/CO compreso tra il 5-5,2 %vol convertendo così CO e CO_2 in etanolo; secondo questa modalità operativa la CO_2 inizialmente contenuta nel syngas viene consumata durante il processo di fermentazione con un conseguente aumento della resa di etanolo ed una riduzione al minimo della corrente di gas di spurgo.

Il gas di spurgo prodotto dalla fase di fermentazione viene ulteriormente trattato nella fase di metanazione (105) al fine di convertire la CO_2 ancora presente nel gas in metano evitando emissioni nell'ambiente.

Nella preferita forma realizzativa descritta, la rimanente parte dell'idrogeno prodotto

dall'elettrolisi (102) viene aggiunta alla corrente di gas di spurgo a valle della fase di fermentazione (103) in modo da rendere ottimale il rapporto H_2/C_1 per eseguire la metanazione della parte di CO_2 ancora presente nel gas di spurgo e produrre metano sintetico; nell'alternativa forma realizzativa descritta in cui l'idrogeno prodotto dall'elettrolisi viene addizionato integralmente prima della fase di fermentazione generando una minima quantità di gas di spurgo, l'aliquota di H_2 residuo nella corrente di gas di spurgo in uscita dal fermentatore è sufficiente per effettuare la metanazione di CO e CO_2 residui senza ulteriore aggiunta di H_2 fresca.

Secondo il trovato il metano prodotto nella fase 105 viene separato dall'eventuale CO_2 non reagita nella fase 106, allo scopo di evitare qualsiasi emissione di CO_2 nell'atmosfera.

Come precedentemente detto parte del metano viene riciclata ai reattori di conversione (100) allo scopo di controllare il profilo di temperatura all'interno dei reattori, mentre la restante parte viene inviata ad altri utilizzi o commercializzazione all'esterno.

La CO_2 viene riciclata in parte alla fase di metanazione (105) ed in parte alla fase di

conversione termica (100) come agente inerte per il sistema di alimentazione dei rifiuti; in particolare nell'alternativa forma realizzativa descritta, dove l'idrogeno proveniente dall'elettrolisi (102) viene aggiunto integralmente a monte del fermentatore (103), la quantità di CO₂ recuperata nella fase di separazione (106) è bassa e non sufficiente per inertizzare il sistema di alimentazione dei rifiuti.

Pertanto nell'alternativa forma realizzativa descritta in aggiunta alla CO₂ recuperata viene utilizzata una corrente ricca in azoto derivante dal processo noto di separazione della CO₂ e che corrisponde ad un sottoprodotto dello stesso blocco 106, come mostrato in fig. 5.

La fase liquida in uscita dal fermentatore, contenente etanolo diluito, può essere inviata alla fase di purificazione del bioetanolo grezzo (104) prodotto dalla fermentazione per il recupero del prodotto; in genere questa fase include tipicamente il recupero del biocatalizzatore, che viene riciclato di nuovo al fermentatore, ed una fase di recupero e purificazione dell'etanolo, generalmente eseguita da più colonne di distillazione, cui fa seguito una disidratazione tramite filtrazione a setacci molecolari per ottenere le specifiche sull'acqua

residua.

Dall'unità di purificazione (104) si producono pertanto una corrente di etanolo anidro ed una corrente d'acqua contenente tracce di alcoli, prodotti durante il processo di fermentazione, come sottoprodotti; generalmente, tali sottoprodotti sono costituiti da butandiolo, acetato di etile e altri alcoli superiori.

Detta corrente acquosa prodotta durante la fase di distillazione può essere convogliata ad una fase di trattamento delle acque reflue (107) tale da consentire il riciclo dell'acqua depurata alla fase di elettrolisi (102).

Inoltre secondo il trovato la corrente contenente i sottoprodotti costituiti da butandiolo, acetato di etile ed alcoli superiori, nonché l'eccesso di batteri immessi nel fermentatore (103), può vantaggiosamente essere indirizzata alla fase di conversione termica (100); in questo modo si ottiene il duplice vantaggio di non disperdere nell'ambiente componenti organici e di contribuire ulteriormente a controllare la conversione termica in termini di composizione del syngas grezzo prodotto.

Vantaggiosamente il processo descritto consente di produrre bioetanolo da rifiuti quali RDF, rifiuti

solidi urbani, residui plastici e similari senza immettere CO₂ in atmosfera; infatti l'effetto sinergico della fase di fermentazione seguita dalla fase di metanazione del gas di spurgo prodotto durante la fermentazione, consente di ridurre, se non di abbattere del tutto, il tenore di CO₂ nella corrente in uscita evitando, appunto, immissioni in atmosfera.

[0001] Come detto nelle forme realizzative descritte, la fase di metanazione non abbatte totalmente la CO₂, ma ne preserva una certa aliquota che tuttavia viene separata a valle della metanazione evitandone quindi l'immissione in atmosfera; detta corrente di CO₂ recuperata viene vantaggiosamente utilizzata per inertizzare il sistema di alimentazione dei rifiuti evitando così perdite di syngas e qualsiasi infiltrazione d'aria che comporterebbe un abbassamento dei rendimenti di conversione del reattore con successivi sbilanciamenti sulle fasi di fermentazione.

Rivendicazioni

1. Un processo per la produzione di etanolo mediante fermentazione anaerobica di un gas di sintesi caratterizzato dal fatto:

- che detto syngas è prodotto dalla conversione termica ad alta temperatura di una carica costituita da rifiuti solidi urbani (municipal solid waste MSW) rifiuti agricoli o loro derivati come Refused Derived Fuel (RFD) od ancora rifiuti industriali quali rifiuti plastici non riciclabili o da una loro combinazione, e
- che a detto syngas viene aggiunto idrogeno suppletivo prodotto mediante elettrolisi in modo da bilanciare il rapporto H_2/CO , massimizzando così la conversione dei componenti organici nella fase di fermentazione in modo da evitare ogni emissione di CO_2 in atmosfera.

2. Processo secondo la rivendicazione precedente caratterizzato dal fatto che detto processo comprende le seguenti fasi:

- conversione ad alta temperatura del rifiuto con produzione di syngas grezzo (100);
- Produzione di H_2 ed O_2 mediante elettrolisi (102);
- Purificazione del syngas grezzo mediante un'unità di purificazione che agisce su due livelli di

pressione (101) il cui scopo è quello di rimuovere particolato, metalli, cloruri, ammoniaca, COS ed H₂S (101);

- Fermentazione del syngas purificato per la produzione di bioetanolo grezzo, previa addizione di tutto o parte dell'idrogeno prodotto da elettrolisi per il raggiungimento del rapporto ottimale H₂/CO ottimale necessario alle reazioni di fermentazione (103);
- conversione, parziale o totale, dell'anidride carbonica residua presente nel gas di spurgo proveniente dalla fermentazione in metano (105);
- separazione (106) del metano prodotto dall'anidride carbonica non convertita e riciclo di tutto o parte del metano recuperato e di tutta la CO₂ separata alla fase di conversione termica (100).

3. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto di prevedere ulteriormente una fase di purificazione (104) dell'etanolo grezzo prodotto dalla fermentazione da cui escono una corrente di etanolo anidro ed una corrente acquosa contenente alcoli ed altri prodotti organici.

4. Processo secondo una o più delle rivendicazioni

precedenti caratterizzato dal fatto di prevedere ulteriormente una fase di purificazione dell'acqua (107) ottenuta nella fase di purificazione dell'etanolo grezzo al fine di riciclare l'acqua recuperata all'unità di elettrolisi.

5. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la fase di conversione ad alta temperatura del rifiuto con produzione di syngas grezzo (100) è costituita da una pluralità di convertitori, prevedendone un minimo di due treni, preferibilmente tre treni di conversione.

6. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la fase di purificazione del syngas prodotto (101) è costituita da una pluralità di treni a seconda della capacità dell'impianto.

7. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che nella fase di elettrolisi dell'acqua si ricorre a più celle a seconda della capacità dell'impianto.

8. Processo secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 7 caratterizzato dal fatto che l'idrogeno prodotto nella fase di elettrolisi (102) viene aggiunto in parte a monte della fase di fermentazione, portando il rapporto H_2/CO ad un

valore compreso tra 2,0-2,2 %vol, e la restante parte viene aggiunta a valle di detta fase di fermentazione per consentire lo sviluppo delle reazioni di metanazione (105), ottimizzando il processo in termini di volumi e delle condizioni operative delle fasi di fermentazione e metanazione.

9. Processo secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 7 caratterizzato dal fatto che l'idrogeno prodotto nella fase di elettrolisi (102) viene aggiunto integralmente prima della fase di fermentazione, portando il rapporto H_2/CO ad un valore compreso tra 5-5,2 %vol, massimizzando il processo di conversione di CO e CO_2 in bioetanolo.

10. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che l'ossigeno prodotto dall'elettrolisi viene utilizzato come comburente nella fase di conversione per la conversione dei rifiuti in syngas.

11. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la fase di fermentazione (103) viene eseguita in uno o più bioreattori, a seconda della capacità dell'impianto, contenenti una coltura batterica dispersa in un mezzo nutritivo liquido.

12. Processo secondo una o più delle rivendicazioni

precedenti caratterizzato dal fatto che un'aliquota della corrente di metano prodotta durante la metanazione (105) ed uscente dalla fase di separazione (106) viene riciclata alla fase di conversione termica dei rifiuti (100) allo scopo di controllare la temperatura di conversione della carica.

13. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che l'eccesso di batteri uscente dalla fase di fermentazione (103) ed i sottoprodotti costituiti da butandiolo, acetato di etile ed alcoli superiori derivanti dall'unità di purificazione dell'acqua (107), sono indirizzati al convertitore al fine di controllare la conversione dei rifiuti in termini di composizione del syngas prodotto.

14. Processo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la CO₂ derivante dal processo di separazione (106) viene utilizzata singolarmente o in miscela ad altre correnti, composte da inerti e che costituiscono dei sottoprodotti della stessa fase di separazione (106), per inertizzare il sistema di alimentazione dei rifiuti evitando così perdite di syngas e qualsiasi infiltrazione d'aria e permettendo un livellamento

dei rendimenti di conversione.

15. Un apparato per la produzione di etanolo mediante fermentazione anaerobica di un gas di sintesi caratterizzato dal fatto di prevedere la conversione in detto etanolo del syngas prodotto dalla conversione termica di rifiuti quali rifiuti solidi urbani (municipal solid waste MSW), rifiuti agricoli o loro derivati come Refused Derived Fuel (RFD) od ancora rifiuti industriali come rifiuti plastici non riciclabili, in cui detto processo non comporta alcuna emissione di CO_2 in atmosfera in quanto utilizza l'elettrolisi per la produzione di idrogeno suppletivo da aggiungere a detto syngas in modo da bilanciare il rapporto H_2/CO , massimizzando la conversione dei componenti organici nella fase di fermentazione .

16. Apparato secondo la rivendicazione precedente caratterizzato dal fatto che detto apparato comprende le seguenti fasi:

- almeno una unità di conversione termica ad alta temperatura del rifiuto con produzione di syngas grezzo (100) costituita da una pluralità di reattori di conversione;
- almeno una unità per la produzione di H_2 ed O_2 mediante elettrolisi (102) costituita da una

pluralità di celle di elettrolisi;

- almeno una unità di purificazione del syngas grezzo costituita da una pluralità di treni di purificazione agenti a doppia pressione (101) il cui scopo è quello di rimuovere particolato, metalli, cloruri, ammoniaca, COS ed H₂S (101);
- almeno una unità di fermentazione del syngas purificato, costituita da una pluralità di bioreattori, per la produzione di etanolo grezzo, previa addizione di tutto o parte dell'idrogeno prodotto da elettrolisi per il raggiungimento del rapporto H₂/CO ottimale necessario alle reazioni di fermentazione (103);
- almeno una unità di conversione, parziale o totale, dell'anidride carbonica residua presente nel gas di spurgo proveniente dalla fermentazione in metano (105);
- almeno una unità di separazione (106) del metano prodotto dall'anidride carbonica non convertita e una linea di riciclo di entrambe le correnti al convertitore.
- almeno una linea di riciclo uscente dalla fase di separazione (106) e destinata alla fase di conversione termica (100) per il riciclo di tutto o parte del metano, uscente dalla fase di

separazione, come vettore di controllo della temperatura nella fase di conversione termica;

- almeno una linea di riciclo uscente dalla fase di separazione (106) e destinata alla fase di conversione termica (100) per il riciclo di tutta la CO₂, recuperata nella fase di separazione, come agente inertizzante nella fase di conversione termica.

17. Apparato secondo le rivendicazioni 15 e 16 caratterizzato dal fatto di prevedere ulteriormente almeno una unità di purificazione dell'etanolo grezzo (104) prodotto dalla fermentazione da cui escono una corrente di etanolo anidro ed una corrente acquosa contenente alcoli ed altri prodotti organici.

18. Apparato secondo le rivendicazioni da 15 a 17 caratterizzato dal fatto di prevedere ulteriormente almeno una unità di purificazione dell'acqua (107) della corrente acquosa prodotta nella fase di purificazione dell'etanolo grezzo al fine di riciclare l'acqua recuperata all'unità di elettrolisi.

Figure

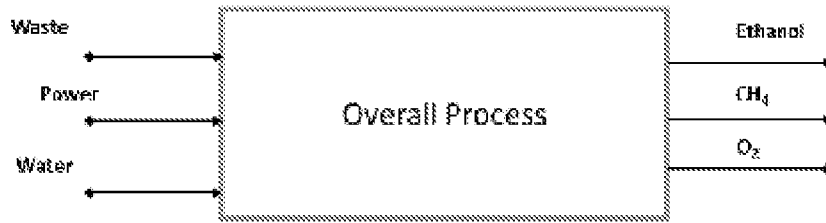


FIG. 1

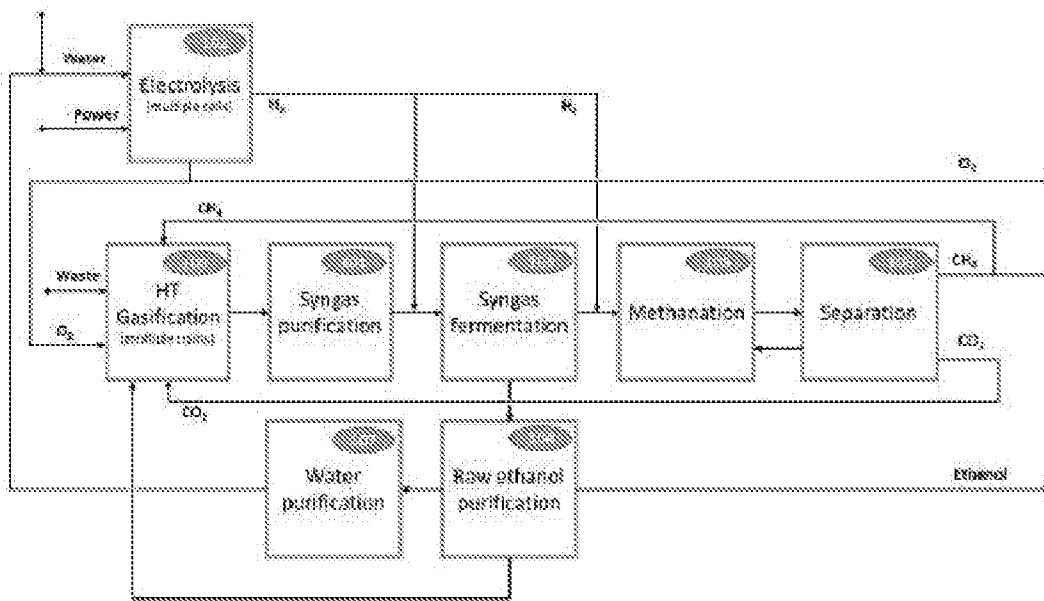


FIG. 2

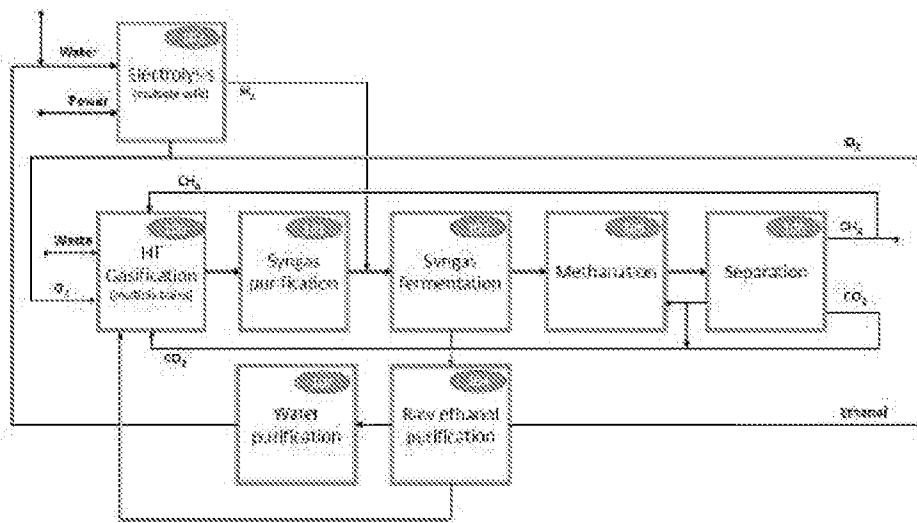


FIG. 3

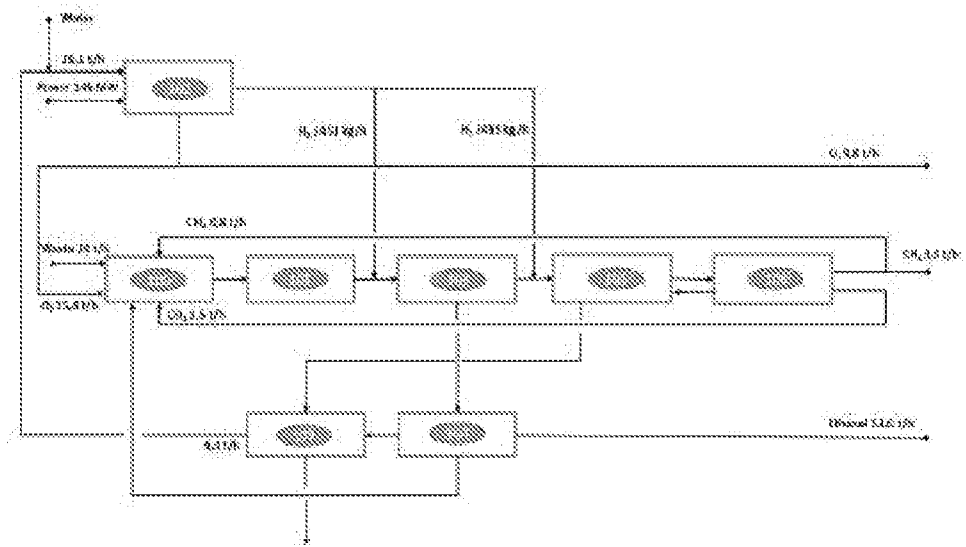


FIG. 4

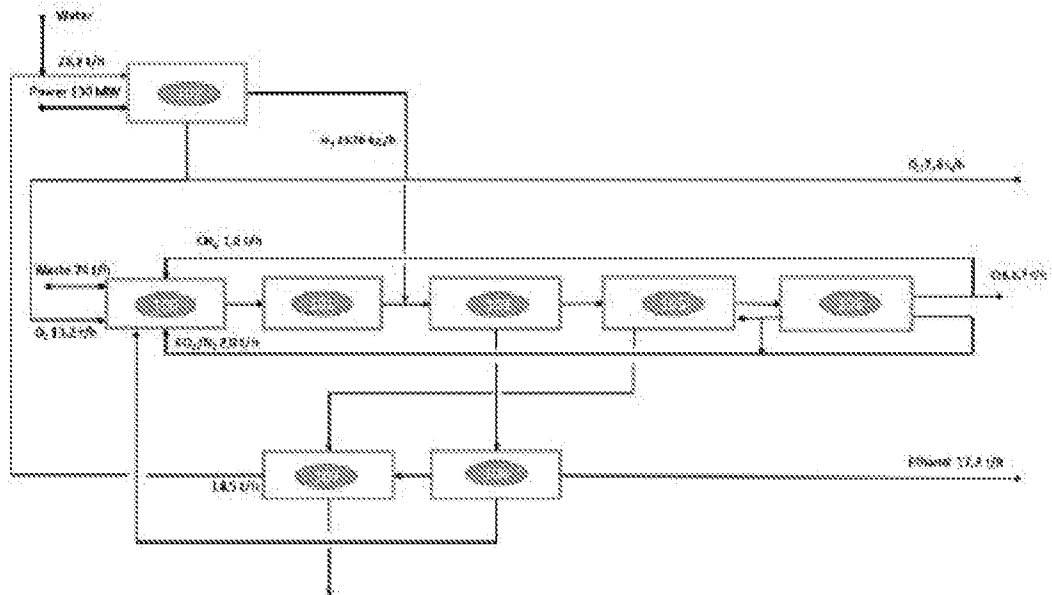


FIG. 5