

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000026306
Data Deposito	14/10/2021
Data Pubblicazione	14/04/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	12	P	5	02

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	12	M	1	107

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	12	M	1	33

Titolo

PROCEDIMENTO E IMPIANTO PER LA CONVERSIONE DI BIOMASSE LIGNOCELLULOSICHE IN BIOMETANO
--

PROCEDIMENTO E IMPIANTO PER LA CONVERSIONE DI
BIOMASSE LIGNOCELLULOSICHE IN BIOMETANO

D E S C R I Z I O N E

Il presente trovato ha come oggetto un procedimento e un impianto per la produzione di biometano a partire da biomasse lignocellulosiche. La produzione e l'uso di biometano a partire da rifiuti può avere un ruolo centrale nella strategia di contrasto dei cambiamenti climatici. Si stima che in Italia il biometano possa avere una produzione potenziale al 2030 di circa 8 miliardi di metri cubi/anno, corrispondente al 10% circa del consumo nazionale di gas naturale. La produzione e l'uso di biometano a partire da rifiuti è in grado quindi di determinare una transizione energetica verso una economia a basso contenuto di carbonio fondata sulla sostenibilità e sulla circolarità nell'utilizzo delle risorse per ridurre l'inquinamento atmosferico.

Il contributo del biometano alla decarbonizzazione non si limita alla sola fase del soddisfacimento del fabbisogno energetico. Il suo processo produttivo rende infatti disponibili una serie di

altri prodotti, sottoprodotti e servizi non energetici il cui sfruttamento comporta una riduzione delle emissioni climalteranti; più in particolare:

- il digestato è utilizzato come materia organica ammendante, migliorando la produttività del terreno agricolo e la sua capacità di trattenere gas climalteranti fungendo da *sink* di carbonio;
- l'utilizzo come substrato di partenza per la produzione di biometano di sottoprodotti e scarti originatisi nei settori agroalimentare e forestale evita l'immissione in atmosfera di gas climalteranti che altrimenti si produrrebbero per fermentazione naturale della materia organica;
- il biogas in quanto tecnologia efficiente anche su piccola scala è in grado di rappresentare una infrastruttura tecnologica nell'ambito di un'azienda agricola, o più aziende tra loro integrate, essenziale per ridurre gli impatti dell'agricoltura in termini di emissioni di gas serra.

La lignocellulosa è una delle risorse organiche rinnovabili più abbondanti con una produzione

annua crescente di 200 miliardi di tonnellate, che può essere prodotta da agricoltura, residui forestali e urbani. La notevole abbondanza e il basso costo della lignocellulosa ne fanno un potenziale substrato per la produzione di biometano di seconda generazione. Attualmente, però, l'utilizzo di biomasse lignocellulosiche per la produzione di biogas tramite digestione anaerobica non è ancora stato ampiamente adottato perché la complessa struttura della parete cellulare della pianta la rende resistente all'attacco microbico.

Affinché le biomasse lignocellulosiche possano essere sfruttate nell'ambito della produzione di biometano è necessario implementare una serie di pretrattamenti che le rendano biodisponibili durante il processo di digestione anaerobica. I pretrattamenti attualmente utilizzati in ambito industriale sono di tipo meccanico (es. triturazione) e termico (es. esplosione di vapore (*steam explosion*)), e loro combinazioni.

La fase di pretrattamento è indicata come il collo di bottiglia tecnologico per i bioprocessi di digestione anerobica da lignocellulosa. In

generale, almeno il 20-30% del costo totale di produzione è rappresentato dalla fase di pretrattamento, soprattutto per il significativo consumo energetico, rendendola così la fase di processo più costosa, e attualmente economicamente insostenibile se non associata a una fonte di energia a basso costo.

Un altro limite per la diffusione a larga scala del biometano da residui lignocellulosici è rappresentato dall'enorme eterogeneità tra le differenti matrici (in termini di umidità, contenuto di cellulosa, lignina etc,) che ne influenza di conseguenza il loro potenziale metanigeno. Non avere un *feedstock* la cui produttività è predicibile, come nel caso dell'uso di colture dedicate (es. mais), può causare un grado elevato di incertezza da parte degli imprenditori. Per cui, fornire una materia prima uniforme e affidabile nell'ambito della produzione di biometano da lignocellulosa è fondamentale per creare un ambiente sostenibile economicamente e prospero per l'industria del biometano.

Infine, un ultimo freno nell'ambito dello sviluppo del biometano è rappresentato dal processo di

upgrading del biogas nel quale il biogas grezzo è diviso in due flussi di gas: un flusso di biometano ricco di metano (con caratteristiche tali per essere immesso in rete) ed un flusso ricco di biossido di carbonio ed altri gas indesiderati. Come quasi tutte le tecnologie, anche nell'*upgrading* del biogas c'è un'influenza significativa della capacità dell'impianto sui costi specifici del prodotto. Di conseguenza, i costi di produzione di un metro cubo di biometano aumentano in modo significativo con la riduzione della taglia dell'impianto. Quindi, un *upgrade* del biogas economicamente sostenibile non può essere eseguito oggi su impianti di dimensioni troppo piccole.

Alla luce delle limitazioni sopra descritte, compito precipuo del presente trovato è quello di fornire un procedimento e un impianto che permetta la conversione di biomasse lignocellulosiche in modo efficace ed economicamente sostenibile.

Nell'ambito di questo compito, uno scopo del trovato è quello di ottenere, a partire da biomasse di scarto come potature agricole o urbane un materiale digeribile con caratteristiche

determinate e uniformi per essere distribuito ad impianti di digestione anaerobica.

Un altro scopo del trovato è quello di realizzare un procedimento che permetta di utilizzare digestori agricoli già esistenti per la produzione di biogas.

Sempre nell'ambito del compito del trovato, uno scopo è quello di minimizzare i costi associati al processo di *upgrading*.

Non ultimo scopo del trovato è quello di realizzare un procedimento e un impianto che sia di elevata affidabilità, di relativamente facile realizzazione e a costi competitivi.

Questo compito, nonché questi ed altri scopi che meglio appariranno in seguito, sono raggiunti da un procedimento per la conversione di una biomassa lignocellulosica in biometano, detto procedimento comprendente i passaggi di:

- i) pretrattare una biomassa lignocellulosica mediante almeno un procedimento di pretrattamento scelto fra triturazione e vagliatura;

- ii) sottoporre la biomassa lignocellulosica pretrattata al passaggio i) a un processo di *steam explosion* in un singolo impianto ottenendo una

biomassa trattata;

iii) distribuire la biomassa trattata ottenuta al passaggio ii) a una pluralità di digestori anaerobici;

iv) sottoporre la biomassa trattata a digestione anaerobica in ciascun digestore anaerobico della pluralità di digestori anaerobici del passaggio iii) ottenendo biogas;

v) trasferire il biogas ottenuto nel passaggio iv) dalla pluralità di digestori a un singolo impianto di *upgrading*;

vi) sottoporre il biogas a un processo di *upgrading* ottenendo biometano e diossido di carbonio.

I compiti e gli scopi del presente trovato sono raggiunti anche da un impianto per la produzione di biometano comprendente almeno un dispositivo di pretrattamento scelto fra dispositivi per la vagliatura e dispositivi per la triturazione di biomasse lignocellulosiche, detto almeno un dispositivo di pretrattamento essendo connesso a un unico reattore per *steam explosion* mediante dispositivi di trasferimento, detto reattore per

steam explosion, opzionalmente alimentato da vapore proveniente da un impianto di termovalorizzazione dei rifiuti, essendo connesso mediante un sistema di distribuzione a una pluralità di digestori anaerobici per la produzione di biogas, detti digestori anaerobici essendo connessi a un singolo impianto di *upgrading* mediante una condotta, ciascuno di detti digestori anaerobici essendo dotato di un compressore per portare il biogas prodotto alla pressione di esercizio in detta condotta.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del trovato risulteranno maggiormente dalla descrizione di una forma di esecuzione preferita, ma non esclusiva, del procedimento e dell'impianto secondo il trovato, illustrata, a titolo indicativo e non limitativo, negli uniti disegni, in cui:

la figura 1 è uno schema a blocchi del procedimento dell'invenzione secondo una sua forma di realizzazione particolare.

In un primo aspetto il presente trovato riguarda dunque un procedimento per la conversione di una biomassa lignocellulosica in biometano.

Il procedimento del trovato inizia col passaggio

di i) pretrattare una biomassa lignocellulosica mediante almeno un procedimento di pretrattamento scelto fra triturazione e vagliatura. Biomasse lignocellulosiche di diverse origini sono convogliate presso distinti (per tipologia) centri di raccolta dove sono sottoposte ai suddetti semplici pretrattamenti di triturazione e/o vagliatura.

Al fine di rendere il materiale lignocellulosico pretrattato adatto a digestione anaerobica, questo necessita di un ulteriore trattamento per destrutturarne le fibre. Il procedimento del trovato prevede quindi un secondo passaggio di ii) sottoporre la biomassa lignocellulosica pretrattata al passaggio i) a un processo di *steam explosion* in un singolo impianto ottenendo una biomassa trattata;

La *steam explosion* è un noto metodo di pretrattamento per le biomasse lignocellulosiche ed è la base di numerosi impianti pilota e dimostrativi di seconda generazione per la produzione di bioetanolo.

La *steam explosion* è un pretrattamento idrotermico in cui la biomassa viene rapidamente riscaldata

introducendo vapore saturo ad alta pressione (0,69-4,83 MPa) in un reattore a temperature tipicamente comprese tra 160 e 260°C all'interno del quale resta per un breve periodo di tempo che può variare da 1 a 30 minuti.

Durante il processo a pressioni così elevate, il vapore condensa e permea la biomassa, avviando una reazione di autoidrolisi dovuta agli acidi organici generati dai gruppi acetilici delle emicellulose. Ciò si traduce nella scissione dei legami glicosidici e nella successiva solubilizzazione dell'emicellulosa. Inoltre, quando la pressione viene istantaneamente ridotta, l'umidità condensata all'interno delle fibre lignocellulosiche evapora nuovamente, causando la rottura meccanica della matrice lignocellulosica. Un'altra conseguenza della decompressione istantanea è la riduzione della granulometria della biomassa pretrattata.

Dopo il pretrattamento, l'acqua condensata e i solidi insolubili vengono recuperati sotto forma di un materiale pretrattato composto dalla combinazione una frazione liquida e una solida. La frazione liquida, o preidrolizzato, contiene tutti

gli zuccheri solubilizzati, principalmente zuccheri emicellulosici e quasi tutti i prodotti di degradazione generati durante il pretrattamento. Nella frazione solida insolubile vengono recuperate le rimanenti quantità di cellulosa, emicellulosa e lignina. Le modificazioni morfologiche e strutturali apportate rendono quindi il materiale lignocellulosico adatto ad essere utilizzato come substrato in processi biotecnologici, tra cui la digestione anaerobica.

Il processo di *steam explosion*, tuttavia, oltre ad elevati costi capitali, è caratterizzato da un significativo consumo di energia termica (sotto forma di vapore saturo) che è un fattore limitante per la diffusione di questa tecnologia presso gli impianti di biogas esistenti.

Per rendere più competitiva la produzione di biometano da lignocellulosa di scarto, la soluzione offerta dal procedimento del presente trovato è costituita dall'impiego nel passaggio ii) di un singolo impianto centralizzato di trattamento dei residui lignocellulosici che possa produrre substrati per vari impianti di digestione

anaerobica decentralizzati. Le biomasse, dopo essere state pretrattate, sono inviate a tale singolo impianto centralizzato e se necessario miscelate per raggiungere il grado di umidità e/o contenuto di cellulosa, emicellulosa e lignina che garantiscano un prodotto uniforme per l'uso finale. In questo modo il processo beneficia di un economia di scala che rende il trattamento di SE meno oneroso rispetto a al trattamento in piccoli impianti dedicati presso ognuno dei digestori anaerobici.

Rispetto ad un approccio totalmente decentralizzato, che prevede l'approvvigionamento del materiale lignocellulosico grezzo e il pretrattamento presso l'impianto di digestione anaerobica, lo schema proposto di trattamento centralizzato offre inoltre il vantaggio di uniformare biomasse di vari tipi (ad es. sfalci, potature di alberi, paglia etc.) e caratteristiche fisiche (ad es. contenuto di umidità o contenuto di cellulosa) in un formato standardizzato all'inizio della catena di approvvigionamento. Con i materiali lignocellulosici di scarto, la qualità e le caratteristiche della biomassa sono meno

prevedibili di quelle di matrici standard come il silomais (attualmente il prodotto più utilizzato per la produzione di biogas), che ha una produttività nota e uniforme. Grazie a tale caratteristica gli impianti alimentati a mais possono verificare e prevedere il raggiungimento della redditività di progetto, quindi monitorare attentamente l'investimento. Il controllo e la standardizzazione delle specifiche tecniche, ottenute con la centralizzazione del trattamento di steam explosion assicurano che gli impianti di digestione anaerobica ricevano una materia prima consistente ed uniforme per il loro processo di produzione di biogas e che abbia caratteristiche appropriate per bilanciare il costo della materia prima attraverso una valorizzazione nota.

Eventualmente, prima di essere distribuita alla rete di digestori, la biomassa lignocellulosica sottoposta a *steam explosion* può essere miscelata con altre matrici di scarto (es. pollina, lettiera, etc) al fine di bilanciare il rapporto tra i nutrienti presenti e fornire alla rete di digestori un *feedstock* pronto per essere immesso direttamente nel processo.

Il procedimento del trovato comprende quindi i passaggi di iii) distribuire la biomassa trattata ottenuta al passaggio ii) a una pluralità di digestori anaerobici, e di iv) sottoporre la biomassa trattata a digestione anaerobica in ciascun digestore anaerobico della pluralità di digestori anaerobici del passaggio iii), ottenendo biogas.

Il biogas ottenuto dalla digestione anaerobica al passaggio iv) contiene biometano contaminato con sottoprodotti e richiede un ulteriore processo di separazione detto *upgrading* prima di poter essere immesso nella rete del gas naturale. Il procedimento del trovato comprende quindi i passaggi di v) trasferire il biogas ottenuto nel passaggio iv) dalla pluralità di digestori a un singolo impianto di *upgrading*, e di vi) sottoporre il biogas a un processo di *upgrading* ottenendo biometano e diossido di carbonio.

Attualmente, sono disponibili sul mercato un certo numero di tecnologie per l'*upgrading* del biogas. Questo passaggio comprende l'essiccazione del biogas grezzo e la separazione del biossido di carbonio dal biogas, e quindi, il miglioramento

del potere calorifico del gas prodotto.

Oggigiorno, i costi di *upgrading* del biogas e immissione in rete del biometano rappresentano un importante investimento economico a causa degli elevati costi impiantistici, che nel caso di impianti medio/piccoli (es. impianti agricoli) difficilmente risultano sostenibili. La soluzione a questo problema fornita dal presente trovato è la condivisione di uno stesso impianto di *upgrading* tra vari impianti per la produzione di biogas.

Un'opzione per condividere un impianto di *upgrading* del biogas tra un certo numero di impianti più piccoli è quello di collegare gli impianti di biogas con l'impianto centralizzato di *upgrading* utilizzando una condotta di biogas. D'altra parte, visto che le condotte sono costose, questa soluzione è inefficiente per distanze tra gli impianti di digestione anaerobica troppo grandi o se il flusso di volume trasportato di biogas è troppo piccolo.

La condotta di biogas grezzo funziona a bassa pressione di gas circa 20 kPa a 200 KPa ed è preferibilmente in materiale polimerico per

ridurre fenomeni di ossidazione delle tubazioni.

Un fattore importante quando si gestisce una condotta di produzione di biogas grezzo è il trattamento che si opera sul gas immesso, al fine di evitare l'ostruzione o il danneggiamento del gasdotto. Il passaggio più importante del processo di *upgrading* è l'essiccazione del biogas grezzo al fine di evitare la formazione di condensa nella condotta. Acqua allo stato liquido all'interno del sistema di tubazioni potrebbe causare un blocco del sistema o in alcuni casi portare a rotture della tubazione. Visto che il biogas può contenere materiale di origine biologica, l'acqua liquida potrebbe anche condurre materiale biologico che favorirebbe lo sviluppo di comunità batteriche e in determinate condizioni potrebbe causare un blocco del sistema di tubazioni. Inoltre, specialmente nel caso di impianti che co-digeriscono effluenti zootecnici, un'altra importante fase di pretrattamento del biogas comprende la rimozione di ammoniaca dal biogas da immettere in rete visto che acqua liquida unitamente a NH_3 causa la corrosione delle parti metalliche e polimeriche del sistema.

Tecnologie applicabili per la rimozione dell'acqua dal biogas sono, ad esempio, refrigerazione a corrente di vapore, la refrigerazione ad assorbimento, l'essiccazione per compressione mediante assorbimento con glicole glicole trietilenico TEG), e essiccazione per adsorbimento su silice o zeolite. La rimozione dell'ammoniaca può essere eseguita, ad esempio, mediante estrazione facendola entrare in contatto con acqua liquida (durante asciugatura refrigerata) o mediante adsorbimento su carbone attivo.

Oltre ad acqua ed ammoniaca il biogas può anche contenere altri componenti che devono essere rimossi dal gas prima di immetterlo nella condotta del biogas. Questi componenti possono comprendere acido solfidrico (la soglia massima è di circa 2000-3000 ppm H_2S per l'immissione), silossani, polvere ed elevato contenuto di composti organici volatili come gli acidi organici, acidi grassi o i terpeni. Se tali componenti sono presenti nel biogas, può essere necessario integrare l'essiccazione da raffreddamento con ulteriori tecnologie di rimozione quali ad esempio filtri a carbone attivo e scrubber ad acqua o ad ammine.

In un secondo aspetto, con riferimento alla Figura 1, il presente trovato riguarda un impianto per la produzione di biometano **1** comprendente almeno un dispositivo di pretrattamento **2** scelto fra dispositivi per la vagliatura e dispositivi per la triturazione di biomasse lignocellulosiche. Possono essere adottati dispositivi di vagliatura e di triturazione di biomasse lignocellulosiche di tipo noto, sebbene non si esclude di realizzare dispositivi dedicati al fine di ottimizzarne le dimensioni e la produttività alle specifiche esigenze dell'impianto **1** secondo il trovato.

L'almeno un dispositivo di pretrattamento **2**, secondo il trovato è vantaggiosamente connesso a un unico reattore per *steam explosion* **4** mediante dispositivi di trasferimento **3**.

Come già illustrato in precedenza la tecnologia di *steam explosion* è una tecnica di tipo noto, impiegata per destrutturare i materiali a composizione lignocellulosica. Attraverso la stessa si opera tipicamente in intervalli di temperature 180-230°C e tempi di lavorazione di 1-10 minuti. Alla destrutturazione della matrice

lignocellulosica concorrono due azioni: l'istantanea decompressione, realizzata nel passaggio dall'atmosfera di vapore saturo del reattore alle normali condizioni ambientali e un processo di idrolisi dei legami per opera del vapor d'acqua ad alta temperatura. Il risultato finale è quello di rendere maggiormente accessibili e reattivi i polimeri della cellulosa e della lignina e di solubilizzare la gran parte dell'emicellulosa sotto forma di pentosani. Il reattore **4** è normalmente di tipo tubolare ed è generalmente realizzato in acciaio per resistere a pressioni fino a 30 Kg/cm²; è coibentato esternamente e provvisto di sonde interne per il controllo della temperatura e della pressione. Attraverso un sistema di coclee interne regola la movimentazione della biomassa, compreso il tempo di permanenza. La biomassa "esplosa" viene convogliata in un serbatoio di espansione. Nel presente trovato si prevede l'utilizzo di un reattore per la *steam explosion* **4** di tipo noto, sebbene non si escluda di applicare modifiche allo stesso (o di produrne uno dedicato) in conformità alle specifiche esigenze di portata e prestazioni

previste per l'impianto **1** secondo il trovato.

Il reattore per *steam explosion* secondo il trovato, opzionalmente alimentato da vapore **5** proveniente da un impianto di termovalorizzazione dei rifiuti **6**, è convenientemente connesso mediante un sistema di distribuzione **7** a una pluralità di digestori anaerobici **8** per la produzione di biogas.

Il processo che prende il nome di digestione anaerobica (DA) si svolge in reattori chiusi (i digestori): i materiali da sottoporre al trattamento sono "digeriti" e miscelati attraverso specifici batteri, attraverso i quali è possibile ottenere (in uscita) un compost ricavato e metano che, unito all'anidride carbonica (ottenuta sempre nel processo di compostaggio) genera biogas.

Un digestore **8**, o fermentatore, è un grande silo nel quale materia organica viene introdotta dopo essere stata pretrattata (eventualmente con l'aggiunta di acqua), formando la cosiddetta "sospensione organica". Affinché la biomassa si trasformi in biogas, è necessaria l'azione di diversi tipi di microrganismi.

Secondo il trovato, i suddetti digestori anaerobici **8** sono convenientemente connessi a un singolo impianto di *upgrading* **11** mediante una condotta **10**.

Il biogas è convertito in biometano mediante un processo di rimozione dell'anidride carbonica (CO_2) denominato *upgrading*, associato ad un trattamento di purificazione suddiviso in diverse fasi - deidratazione, desolforazione, rimozione di componenti indesiderate- la cui sequenza dipende dalla specifica tecnologia di *upgrading* adottata.

La deidratazione o deumidificazione consiste nella rimozione di vapor d'acqua ($\text{H}_2\text{O}(\text{g})$) presente nel biogas in uscita dal digestore **8** e che può condensare nelle condotte del gas **10**, causando fenomeni di corrosione. Questo primo trattamento può avvenire per mezzo di sistemi di raffreddamento (es. tubazioni interrate, trappole di condensa, opportune macchine frigorifere), compressione, assorbimento in soluzioni a base di glicoli o ricorrendo a sali igroscopici, adsorbimento su ossido di silicio (SiO_2) o carbone attivo.

La desolforazione consiste essenzialmente nella rimozione di acido solfidrico (H_2S), che può avvenire agendo sulla fase liquida del materiale presente nel digestore ovvero sul biogas da sottoporre o sottoposto a *upgrading*. Nel primo caso si applicano metodi di precipitazione chimico-fisica, addizionando alla fase liquida molecole quali cloruro ferroso (FeCl_2), cloruro ferrico (FeCl_3) o solfato di ferro (FeSO_4). La desolforazione operata sul biogas può essere condotta nel digestore, in un reattore specifico o nello stessa colonna ove avviene il vero e proprio processo di *upgrading*, contestualmente al processo di rimozione della CO_2 . I processi adottati sono essenzialmente: trattamenti biologici di ossidazione condotti nel digestore mediante l'aggiunta attentamente controllata di ossigeno (ponendo particolare attenzione al limite di infiammabilità del metano) per favorire l'azione di batteri ossidanti, l'adsorbimento su carboni attivi (che, nel caso di un successivo utilizzo del biometano come carburante per autotrazione devono essere attivati con soluzioni prive di ossigeno o l'assorbimento chimico).

Ciascuno di digestori anaerobici **8** è dotato di un compressore **8a** per portare il biogas **9** prodotto alla pressione di esercizio nella condotta **10**.

In una forma di realizzazione preferita dell'impianto secondo il trovato, la condotta **10** è realizzata in materiale polimerico.

Per abbattere ulteriormente i costi operativi, l'impianto **1** secondo il trovato può efficientemente essere realizzato preferibilmente in adiacenza di un impianto di termovalorizzazione **6** dei rifiuti (WTE) in modo da poter beneficiare di vapore a basso costo rispetto a doverlo produrre in loco in una caldaia a gas.

Si è in pratica constatato come il dispositivo secondo il trovato assolva pienamente il compito prefissato in quanto la centralizzazione del trattamento delle biomasse lignocellulosiche in un unico reattore per *steam explosion* consente non solo di ridurre considerevolmente i costi di processo, ma anche di ottenere un materiale standardizzato adatto a essere poi processato nei singoli digestori anaerobici.

Questo formato di materiale uniforme consente di

gestire la biomassa esplosa da cedere ai singoli impianti come un prodotto che può essere acquistato e venduto secondo regole di mercato, aumentando notevolmente la sua disponibilità per gli impianti di digestione anaerobica e consentendo a strutture su larga scala di operare con una fornitura continua, uniforme ed economicamente sostenibile. Il sistema è analogo al modello di business attualmente utilizzato dagli impianti a biogas dove l'impianto compra biomassa già pronta all'uso e libera quindi gli impianti di biogas dal contratto diretto con gli agricoltori locali per l'acquisto di materie prime.

Inoltre, la centralizzazione fornita dal processo del trovato in un singolo impianto di *upgrading* centralizzato permette di ridurre i costi di questo passaggio e contribuisce a rendere economicamente sostenibile il processo di trasformazione della biomassa lignocellulosica nei digestori agricoli già esistenti.

Il procedimento e l'impianto, così concepito, sono suscettibili di numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto

inventivo; inoltre, tutti i dettagli potranno essere sostituiti da altri elementi tecnicamente equivalenti.

In pratica, i materiali impiegati, nonché le dimensioni, potranno essere qualsiasi secondo le esigenze e lo stato della tecnica.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la conversione di una biomassa lignocellulosica in biometano, detto procedimento comprendente i passaggi di:

i) pretrattare una biomassa lignocellulosica mediante almeno un procedimento di pretrattamento scelto fra triturazione e vagliatura;

ii) sottoporre la biomassa lignocellulosica pretrattata al passaggio i) a un processo di *steam explosion* in un singolo impianto ottenendo una biomassa trattata;

iii) distribuire la biomassa trattata ottenuta al passaggio ii) a una pluralità di digestori anaerobici;

iv) sottoporre la biomassa trattata a digestione anaerobica in ciascun digestore anaerobico della pluralità di digestori anaerobici del passaggio iii) ottenendo biogas;

v) trasferire il biogas ottenuto nel passaggio iv) dalla pluralità di digestori a un singolo impianto di *upgrading*;

vi) sottoporre il biogas a un processo di *upgrading* ottenendo biometano e diossido di

carbonio.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1 dove detto processo di *upgrading* comprende l'essiccazione del biogas e la separazione dell'anidride carbonica (CO_2) dal biogas.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2 dove detta essiccazione comprende una o più operazioni selezionate dal gruppo costituito da refrigerazione a corrente di vapore, refrigerazione ad assorbimento, essiccazione per compressione mediante assorbimento con glicole trietilenico (TEG), e essiccazione per adsorbimento su un materiale scelto tra silice (SiO_2) e zeolite.

4. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti dove detto processo di *upgrading* comprende la rimozione dell'ammoniaca.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 4 dove l'ammoniaca è rimossa mediante un metodo selezionato fra estrazione del biogas con acqua e adsorbimento su carbone attivo.

6. Impianto (1) per la produzione di biometano comprendente almeno un dispositivo di pretrattamento (2) scelto fra dispositivi per la

vagliatura e dispositivi per la triturazione di biomasse lignocellulosiche, detto almeno un dispositivo di pretrattamento (2) essendo connesso a un unico reattore per *steam explosion* (4) mediante dispositivi di trasferimento (3), detto reattore per *steam explosion* (4), opzionalmente alimentato da vapore (5) proveniente da un impianto di termovalorizzazione dei rifiuti (6), essendo connesso mediante un sistema di distribuzione (7) a una pluralità di digestori anaerobici (8) per la produzione di biogas (9), detti digestori anaerobici (8) essendo connessi a un singolo impianto di *upgrading* (11) mediante una condotta (10), ciascuno di detti digestori anaerobici (8) essendo dotato di un compressore (8a) per portare il biogas (9) prodotto alla pressione di esercizio in detta condotta (10).

7. Impianto secondo la rivendicazione 6 dove detta condotta (10) è realizzata in materiale polimerico.

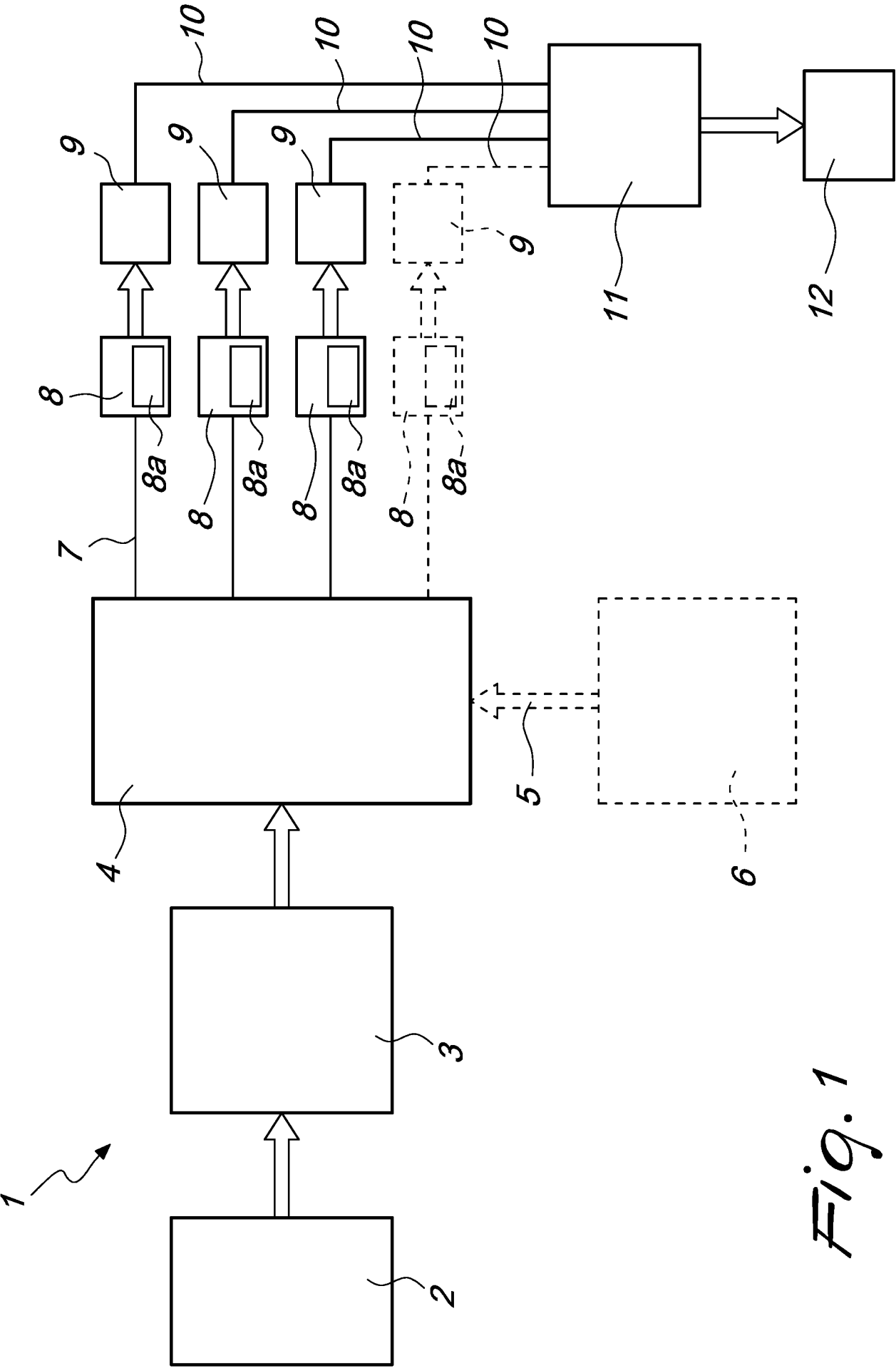


Fig. 1