

## RIASSUNTO

Apparato di sintesi su letto catalitico e di separazione dei prodotti di sintesi comprendenti una fase gassosa e due fasi liquide, una fase liquida più pesante e l'altra fase liquida più leggera, l'apparato comprendente

- un modulo di sintesi (M1) comprendente un primo tubo (1) provvisto ad una prima estremità di un'apertura e chiuso ad una seconda estremità da una griglia (7), il primo tubo (1) essendo atto a contenere al suo interno un letto catalitico (6);
- ed un modulo di separazione (M2) per separare le due fasi liquide e la fase gassosa provenienti dal modulo di sintesi (M1), comprendente un secondo tubo (1') disposto adiacente alla seconda estremità del primo tubo (1), comunicante con esso ad una sua prima estremità, ed avente ad una sua seconda estremità un elemento di chiusura (13) provvisto di un foro passante.

## APPARATO DI SINTESI SU LETTO CATALITICO E SEPARAZIONE DI FASI LIQUIDO-GAS

\*\*\*\*\*

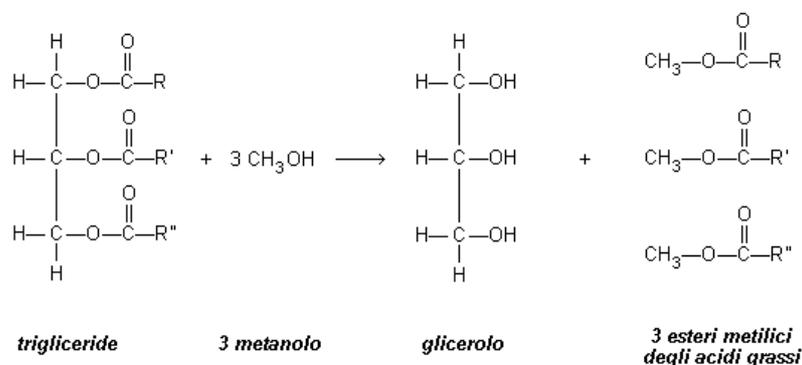
### Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un apparato di sintesi su letto catalitico e separazione di fasi liquido-gas, ad esempio utilizzabile come reattore/separatore nella produzione di biodiesel mediante transesterificazione di oli vegetali.

### Stato della tecnica

Sono noti diversi reattori per la sintesi su letto catalitico e separazione di fasi liquido-gas, utilizzati ad esempio nella produzione di biodiesel.

La reazione di transesterificazione di oli vegetali per la produzione di biodiesel avviene, in presenza di un opportuno catalizzatore, fra i trigliceridi contenuti negli oli e un alcool semplice, quale metanolo o etanolo, dalla quale si ottengono gli esteri alchilici d'interesse (ovvero il biodiesel) e la glicerina, come illustrato qui sotto considerando il metanolo come alcool semplice:



Il processo industriale necessita inoltre di vari stadi di separazione e successive fasi di purificazione.

I sistemi catalitici attualmente più utilizzati in ambito industriale sono quelli omogenei. Nell'ultimo decennio, però, è sempre stata più oggetto di studio la catalisi solida, che fra i vantaggi annovera la facilità di separazione dei prodotti dal catalizzatore, dovuta alla natura solida di quest'ultimo, e condizioni operative dell'intero processo più blande rispetto a quelle dei processi non catalitici con alcol supercritico. I primi catalizzatori eterogenei ad essere indagati per la sintesi di biodiesel furono l'Amberlyst®-15 (resina polimerica a scambio ionico), il Nafion® (polimero perfluorinato con proprietà ioniche), l'Envirocat® EPZG (catalizzatore a

base di montmorillonite dopata con potassio), caolinite naturale, zeoliti, BO/ZrO, SnO solfatata, utilizzati:

- nella transesterificazione dei  $\beta$ -chetoesteri per la produzione di precursori dei ferormoni e di altri prodotti naturali;
- nell'esterificazione degli acidi carbossilici, categoria di composti organici alla quale appartengono gli acidi grassi liberi.

La capacità dei catalizzatori solidi acidi di promuovere al contempo la transesterificazione dei trigliceridi e l'esterificazione degli acidi grassi liberi li rende particolarmente indicati nei casi di feedstock ad elevato contenuto di FFA per la produzione di biodiesel.

Un esempio di reattore/separatore per sintesi su letto catalitico e separazione di fasi liquido-gas ed il relativo processo sono descritti nel documento WO2009145954A1. Il processo include continuamente il contatto di un componente contenente trigliceridi con un alcool ed un catalizzatore ad una temperatura elevata in un reattore/separatore centrifugo. Una fase meno densa che include il prodotto biodiesel è continuamente separata da una fase più densa contenente glicerina in detto reattore/separatore mediante l'applicazione di una forza centrifuga. Svantaggiosamente tale reattore/separatore presenta una costruzione complessa, con conseguenti costi di impianto elevati, e difficoltà gestionali legate all'usura, alle necessità di manutenzione e alla affidabilità degli organi meccanici, con costi operativi anch'essi elevati e incertezze sulla continuità dell'esercizio.

E' quindi sentita l'esigenza di realizzare un innovativo apparato che consenta di superare i suddetti inconvenienti.

#### Sommario dell'invenzione

Scopo primario della presente invenzione è quello di realizzare un apparato per sintesi su letto catalitico e separazione di fasi liquido-gas che sia semplice dal punto di vista costruttivo e gestionale, permettendo di massimizzare l'efficacia di impiego del catalizzatore.

Un ulteriore scopo dell'invenzione è quello di realizzare un apparato idoneo ad essere utilizzato in tutti i settori della chimica fine in cui il processo da sviluppare prevede uno stadio di sintesi catalitica su letto fisso (reattore), seguito da una

separazione di fasi liquide immiscibili (separatore), come ad esempio in un processo di produzione di biodiesel mediante transesterificazione di oli vegetali.

La presente invenzione, pertanto, si propone di raggiungere gli scopi sopra discussi realizzando un apparato che presenta le caratteristiche della rivendicazione 1.

Un secondo aspetto dell'invenzione riguarda, inoltre, un processo di sintesi su letto catalitico e di separazione dei prodotti di sintesi, comprendenti una fase gassosa e due fasi liquide, che presenta i passi della rivendicazione 9.

La semplicità costruttiva e gestionale del reattore/separatore della presente invenzione consente di moltiplicare, senza aggravio dei costi, il numero di stadi di reazione con separazione intermedia di prodotti, massimizzando così l'efficacia di impiego del catalizzatore, il cui acquisto e sostituzione periodica incidono tipicamente in maniera sensibile sul costo totale dell'operazione.

Il reattore/separatore dell'invenzione è preferibilmente un'apparato modulare adatto per processi in continuo che implicano la compresenza di due fasi liquide (reagenti e/o prodotti) e un catalizzatore solido e che si avvantaggiano della articolazione del processo su più stadi di reazione intervallati da una separazione di fase. L'apparato dell'invenzione è anche in grado di gestire efficacemente la presenza di una fase gassosa aggiuntiva, pervenendo così ad un totale di quattro fasi interagenti (il catalizzatore solido, le due fasi liquide e la fase gassosa), caso che ricorre ad esempio in alcune transesterificazioni con catalisi solida.

L'invenzione si riferisce in particolare ad un reattore a percolamento (trickle-bed reactor) completato da elementi funzionali alla distribuzione della fase liquida sulla sommità del letto catalitico ed elementi funzionali alla separazione, a valle del letto, delle due fasi liquide immiscibili per rendere possibile la rimozione di una di esse.

La realizzazione pratica dell'apparato prevede l'articolazione in tre distinti moduli, specificamente mirati alle necessità di processo, e l'insieme dei tre moduli costituisce uno stadio di reazione. Risulta possibile moltiplicare il numero di stadi di reazione, al fine di spingere la reazione verso il completamento, grazie alla rimozione dopo ogni stadio di uno o più prodotti di reazione.

Indipendentemente dal fatto che la realizzazione pratica venga articolata in uno o più moduli, gli altri dettagli costruttivi sono progettati in modo da eliminare la necessità di connessioni tubolari esterne fra diversi stadi di reazione, semplificando così la gestione e la manutenzione degli stessi e minimizzando l'ingombro e i consumi energetici. In pratica si ottiene la moltiplicazione degli stadi di reazione semplicemente incolonnando in verticale il numero richiesto di stadi di reazione/separazione, senza alcun incremento dell'ingombro in pianta.

Il reattore/separatore, oggetto della presente invenzione, può essere vantaggiosamente utilizzato per la produzione di bio-carburanti che consentano un risparmio minimo del 50% di gas serra rispetto al gasolio fossile, come ad esempio previsto dalla Direttiva 2009/98/CE. Esso può essere utilizzato sia in nuove installazioni di impianti di biodiesel che nella progressiva sostituzione per obsolescenza di quelli attualmente esistenti.

Un ulteriore vantaggio dell'invenzione è la diminuzione del costo di produzione unitario grazie all'utilizzo di rifiuti quale feedstock del processo di produzione di biodiesel.

Tale reattore/separatore può essere anche utilizzato per il recupero degli oli e grassi di cottura esausti. Con riferimento alla produzione di biodiesel a partire da oli e grassi di cottura esausti, l'invenzione consente di chiudere il ciclo dei rifiuti relativamente ai codici CER 20 01 25 e 20 01 26, garantendo anche nel sistema telematico europeo, in Italia "SISTRI", il totale flusso di gestione dal produttore, al recupero, al riutilizzo totale dei suddetti rifiuti recuperati.

Le potenzialità applicative del reattore-separatore dell'invenzione possono estendersi anche ad altri sistemi reattivi caratterizzati dalla presenza di un catalizzatore solido, di due fasi liquide immiscibili e dalla utilità di procedere alla separazione in situ di una delle fasi liquide.

Le rivendicazioni dipendenti descrivono forme di realizzazione preferite dell'invenzione.

#### Breve descrizione delle figure

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno maggiormente evidenti alla luce della descrizione dettagliata di forme di realizzazione preferite, ma non esclusive, di un apparato illustrato a titolo esemplificativo e non limitativo

con l'ausilio delle unite tavole di disegno in cui:

la Figura 1a rappresenta un diagramma di flusso di un processo di riferimento;

la Figura 1b rappresenta un diagramma di flusso di un processo eseguibile con un apparato secondo la presente invenzione;

la Figura 2 rappresenta una vista in prospettiva di un apparato dell'invenzione;

la Figura 3 rappresenta una vista in sezione dell'apparato di Figura 2;

le Figure 4a-4d rappresentano viste dall'alto di alcuni componenti dell'apparato di Figura 3;

la Figura 5 rappresenta un ingrandimento di una parte della vista in sezione di Figura 3;

la Figura 6 rappresenta una sezione trasversale lungo il piano A-A della vista di Figura 5;

la Figura 7 rappresenta una vista in prospettiva parzialmente in sezione della parte di apparato illustrata in Figura 5;

la Figura 8 rappresenta una vista in prospettiva di un componente della parte di apparato illustrata in Figura 5.

Gli stessi numeri di riferimento nelle figure identificano gli stessi elementi o componenti.

#### Descrizione in dettaglio di forme di realizzazione preferite dell'invenzione

Con riferimento alle Figure è rappresentata una forma di realizzazione preferita dell'apparato della presente invenzione, adatto per processi in continuo che implicano la compresenza di due fasi liquide ed una fase gassosa, in qualità di reagenti e/o prodotti, a contatto con un catalizzatore solido.

Il processo di riferimento, schematizzato nel diagramma di flusso di Figura 1a, implica la presenza di due fasi reagenti, una gassosa GAS ed una liquida LIQ, che reagiscono a contatto con il catalizzatore solido, formando dei prodotti che a loro volta si ripartiscono in una fase gassosa GAS, e in due fasi liquide immiscibili, una fase liquida leggera LIQ1 ed una fase liquida pesante LIQ2. Lo stadio di sintesi è quindi seguito da uno stadio di separazione delle due fasi liquide immiscibili, in cui la fase gassosa GAS viene allontanata unitamente con la fase liquida leggera LIQ1.

Tale processo di riferimento può trarre vantaggio dall'articolazione del processo stesso su più stadi di reazione, intervallati dalla rimozione intermedia della fase liquida pesante LIQ2 contenente i prodotti non desiderati, favorendo pertanto la termodinamica della reazione. La transesterificazione degli oli vegetali in biodiesel è un pratico esempio di processo industriale con queste caratteristiche.

L'apparato dell'invenzione, agente da reattore/separatore, consente di adottare un processo migliore, schematicamente illustrato in Figura 1b, in virtù dei vantaggi derivanti dall'articolazione dell'intero processo su più stadi di reazione, ciascuno stadio di reazione comprendente una fase di sintesi su letto catalitico, una fase di separazione intermedia delle due fasi liquide immiscibili, ed una fase di redistribuzione della fase liquida leggera LIQ1 e di quella gassosa GAS in un successivo stadio di reazione. E' possibile moltiplicare il numero di stadi di reazione al fine di spingere la reazione verso il completamento.

Tale apparato comprende almeno due blocchi, ciascun blocco essendo costituito da:

- un modulo di sintesi o di reazione M1, progettato come un reattore catalitico a letto fisso a percolamento;
- un modulo di separazione M2 per suddividere l'effluente uscente dal modulo di sintesi M1 in tre fasi fluide, due fasi liquide ed una fase gassosa, e rimuovere la fase liquida più pesante;
- un modulo di raccolta e redistribuzione M3 dei reagenti non convertiti, presenti nella fase liquida più leggera e nella fase gassosa, verso un ulteriore modulo di sintesi previsto nel blocco successivo.

I moduli M1, M2 ed M3 sono disposti verticalmente l'uno sull'altro, come illustrato nelle Figure 2 e 3. Ciascun blocco, pertanto, permette di eseguire uno stadio di reazione come sopra definito.

Nel caso in cui, invece, la progettazione della reazione è tale che tutti i reagenti siano convertiti fino al quasi completamento della reazione in un'unica fase di sintesi, l'apparato dell'invenzione comprende soltanto:

- il modulo di sintesi o di reazione M1, progettato come un reattore catalitico a letto fisso a percolamento;

- ed il modulo di separazione M2 per suddividere l'effluente uscente dal modulo di sintesi M1 in tre fasi fluide, due fasi liquide ed una fase gassosa, e rimuovere la fase liquida più pesante.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, il reattore/separatore dell'invenzione comprende una pluralità di blocchi, ciascuno comprendente i tre moduli M1, M2 ed M3, impilati verticalmente uno sull'altro in modo da realizzare una struttura a forma di colonna costituita dalla sovrapposizione di più moduli, come illustrato in Figura 2. Ciascun modulo appare esternamente come un tubo flangiato alle estremità.

I tubi flangiati 1, 1', 1'', rappresentanti lo shell esterno di ciascun modulo, sono disposti l'uno sopra l'altro ed accoppiati mediante bulloni passanti in appositi fori non filettati 3. Ciascuna flangia è dotata di almeno una scanalatura anulare, ad esempio una doppia scanalatura anulare 2 preferibilmente concentrica al foro centrale del rispettivo tubo 1, 1', 1'', in cui allocare gli o-rings che servono per fare tenuta con la flangia del modulo adiacente. In ogni modulo è inoltre prevista la presenza di un foro 4 per il collegamento ad disco di rottura, ossia un dispositivo di sicurezza, quale ad esempio una membrana progettata per rompersi se una predeterminata pressione all'interno dei moduli venisse superata.

I tre moduli M1, M2 ed M3 risultano sostanzialmente identici dall'esterno a meno della lunghezza dei rispettivi tubi flangiati 1, 1', 1''. Tuttavia ciascun modulo è contraddistinto da una particolare geometria interna, studiata appositamente per realizzare un predeterminato percorso per le varie fasi fluide che lo attraversano.

Il modulo di sintesi o di reazione M1 è provvisto, a valle del proprio tubo flangiato 1, di una griglia di supporto 7 del letto catalitico 6. In particolare la griglia di supporto 7 è posizionata tra due flange, una flangia di estremità del modulo M1 ed una flangia di estremità del modulo M2. Il catalizzatore solido viene calato dalla parte superiore nel foro centrale 16 del tubo flangiato 1, adagiandosi sopra la suddetta griglia 7, la quale funge sia da sostegno meccanico per l'intero letto catalitico 6 che da piatto di distribuzione della miscela reattiva comprendente le due fasi liquide e la fase gassosa. La griglia di supporto 7, illustrata in Figura 4b, è infatti provvista di una ridotta area di passaggio 23 dal modulo M1 al modulo M2. Tale area di passaggio 23 è costituita da una rete a maglia fine di dimensioni tali che le particelle di catalizzatore solido non possono passare attraverso di essa.

Il modulo di separazione M2 presenta una configurazione interna innovativa che permette di realizzare la separazione delle due fasi liquide immiscibili LIQ1 e LIQ2 grazie alla loro differenza di densità.

Il modulo di separazione M2 è provvisto, all'interno del foro centrale 16 del proprio tubo flangiato 1', di due tubi interni concentrici tra loro ed anche rispetto al tubo 1' esterno. Tali tubi interni sono:

- un tubo di tiraggio 8, detto anche "draft tube", con la funzione di differenziare il percorso seguito dalle diverse fasi liquide e gassosa;
- ed un tubo di collegamento 9 tra il modulo di separazione M2 ed il modulo di raccolta e ridistribuzione M3, interno a detto tubo di tiraggio 8, con la funzione di discendente della fase gassosa e della fase liquida leggera.

Nel caso in cui l'apparato sia solo costituito da un modulo M1 ed un modulo M2 tale tubo 9 agisce da tubo di scarico della fase gassosa e della fase liquida leggera.

Il diametro del tubo di tiraggio 8 è intermedio tra il diametro del tubo esterno 1' ed il diametro del tubo di collegamento 9. Un primo meato 17 è definito tra il tubo 1' ed il tubo di tiraggio 8, mentre un secondo meato 18 è definito tra il tubo di tiraggio 8 ed il tubo di collegamento 9.

Il tubo di tiraggio 8 è fissato preferibilmente ad una sua prima estremità al fondo o elemento di chiusura 13 del tubo 1' che costituisce un elemento divisore tra il modulo di separazione M2 ed il modulo di ridistribuzione M3.

Il tubo di collegamento 9 è anch'esso fissato ad una sua prima estremità in prossimità del fondo 13 in modo tale da comunicare con un foro passante previsto in detto fondo 13 o in modo tale da almeno parzialmente attraversare detto fondo 13. In entrambe le modalità, pertanto, il modulo M2 comunica con il modulo M3. Nell'esempio di Figura 5 il tubo di collegamento 9 attraversa totalmente il foro passante del fondo 13.

In corrispondenza della sua prima estremità il tubo di tiraggio 8 è preferibilmente chiuso dal fondo 13 ma è vantaggiosamente provvisto di aperture laterali 22, preferibilmente a forma di arco, disposte lungo la sua superficie laterale cilindrica per il passaggio, durante il funzionamento a regime dell'apparato, della fase liquida più leggera dal primo meato 17 al secondo meato 18.

In corrispondenza di una sua seconda estremità, il tubo di tiraggio 8 è chiuso da un elemento di chiusura 8' ed è provvisto di un collettore 19 delle due fasi liquide, in ingresso nel modulo di separazione M2 attraverso la griglia 7. Il collettore 19 è configurato per fare scorrere dette fasi liquide lungo la superficie laterale esterna del tubo di tiraggio 8. Detto collettore 19 è formato, in una variante preferita illustrata nelle Figure da 5 a 8, dall'elemento di chiusura 8' del tubo di tiraggio 8, definente una base del cilindro del tubo 8, e da sporgenze 30 solidali a detto elemento di chiusura 8' e disposte lungo la superficie laterale cilindrica di detto tubo di tiraggio 8 e intervallate da spazi o aperture 24 per il passaggio delle fasi liquide dal collettore 19 al primo meato 17. Superficie di chiusura 8' e sporgenze 30 definiscono pertanto un collettore sostanzialmente a forma di posacenere.

Inoltre, tra la prima estremità e la seconda estremità del tubo di tiraggio 8, sono previste ulteriori aperture o fori laterali 20 disposte lungo la superficie laterale del tubo 8 per il passaggio della fase gassosa dal primo meato 17 all'interno del tubo di tiraggio 8 e, quindi, nel canale di passaggio 21 interno al tubo di collegamento 9.

Vantaggiosamente le aperture laterali 20 sono posizionate in corrispondenza delle sporgenze 30 in modo che le fasi liquide, che attraversano gli spazi 24 e scorrono lungo la superficie laterale cilindrica del tubo di tiraggio 8, non incontrino dette aperture laterali 20 che saranno destinate solo al passaggio della fase gassosa.

Le aperture laterali 20 sono preferibilmente disposte in prossimità della seconda estremità del tubo di tiraggio 8, ossia in prossimità dell'elemento di chiusura 8'.

Vantaggiosamente il tubo di collegamento 9, interno al tubo 8, ha una lunghezza tale che la sua estremità superiore si sempre disposta al di sotto delle aperture laterali 20 del tubo di tiraggio 8. Preferibilmente, ma non necessariamente, la lunghezza del tubo 9 è pari a circa la metà del tubo 8.

Con questa configurazione del modulo di separazione M2, le due fasi liquide provenienti dal modulo M1 arrivano nel collettore 19 e poi scorrono lungo la superficie laterale esterna del tubo di tiraggio 8 fino a raggiungere il fondo 13 e, a regime, la fase liquida più pesante si mantiene nella parte inferiore del secondo tubo 1' separandosi per gravità dalla fase liquida più leggera, e detta fase liquida più leggera passa dal primo meato 17 al secondo meato 18 fino a stramazze nel

tubo di collegamento 9. La fase gassosa proveniente dal modulo M1 passa, invece, nel primo meato 17 e, essendo a regime la parte inferiore del tubo 1' occupata dalle due fasi liquide fino in prossimità dell'estremità superiore del tubo di collegamento 9, detta fase gassosa tende ad attraversare le aperture laterali 20 e ad immettersi nel tubo di collegamento 9.

Vantaggiosamente è previsto almeno un primo foro laterale 12 nella superficie laterale del tubo 1', in prossimità del fondo 13, per prelevare la fase liquida più pesante che si accumula tra l'estremità superiore delle aperture laterali 22 ed il fondo 13, ed è previsto un sistema di controllo dell'interfaccia tra le due fasi liquide nella parte inferiore del tubo 1' configurato in modo tale che il livello dell'interfaccia sia mantenuto al di sotto dell'estremità superiore delle aperture laterali 22 a forma di arco. Al di sotto di detta estremità superiore le gocce della fase liquida più leggera LIQ1 discendenti dal meato esterno 17 si separano da quelle della fase liquida più pesante LIQ2, che per gravità continuano a precipitare sul fondo. Le gocce della fase liquida più leggera LIQ1 risalgono poi lungo il meato interno 18.

Tale sistema di controllo dell'interfaccia tra le due fasi liquide nella parte inferiore del tubo 1' comprende un indicatore di livello dell'interfaccia LIQ1/LIQ2, posto all'esterno del modulo M2 e collegato a detto tubo 1' mediante secondi fori laterali 5 realizzati nella superficie laterale di detto tubo 1'.

Preferibilmente i secondi fori 5 sono posizionati uno in prossimità del fondo 13 del tubo 1' e l'altro in una posizione avente una quota o altezza superiore all'estremità superiore delle aperture laterali 22.

Preferibilmente, ma non necessariamente, i secondi fori 5 sono posizionati diametralmente opposti al primo foro laterale 12 e ad ulteriori fori, quali ad esempio un terzo foro laterale 10 per il prelievo opzionale di un campione della fase liquida più leggera ed un quarto foro laterale 11 per il collegamento di un misuratore dell'indice di rifrazione delle due fasi liquide, quale ulteriore o alternativo indicatore automatico del livello dell'interfaccia LIQ1/LIQ 2.

Preferibilmente il terzo foro laterale 10 è posizionato in corrispondenza dell'estremità superiore del tubo di collegamento 9 ed il quarto foro laterale 11 è posizionato appena al di sotto dell'estremità superiore delle aperture laterali 22.

Il modulo di ridistribuzione M3 consente la raccolta della fase liquida leggera LIQ1 e della fase gassosa e la loro successiva ridistribuzione omogenea in un nuovo successivo modulo di sintesi M1, disposto in serie.

Il modulo M3 comprende il tubo 1" flangiato alle due estremità. Tale tubo 1" è chiuso all'estremità superiore dal fondo o elemento di chiusura 13 del tubo 1' ed è chiuso all'estremità inferiore da una piastra di distribuzione 15 della fase liquida leggera.

Il modulo M3 è inoltre provvisto, all'interno del foro centrale del proprio tubo flangiato 1", di almeno due tubi 14 per la discesa e la fuoriuscita della fase gassosa. In una variante alternativa è possibile prevedere un solo tubo 14.

I due tubi 14 sono fissati ad una loro prima estremità in prossimità della piastra di distribuzione 15 in modo tale da comunicare con rispettivi fori passanti previsti in detta piastra di distribuzione 15 o in modo tale da almeno parzialmente attraversare detta piastra 15. In entrambe le modalità, pertanto, il modulo M3 comunica con un modulo di sintesi M1 sottostante. Nell'esempio di Figura 3 i tubi 14, in numero di due, attraversano totalmente i rispettivi fori passanti della piastra di distribuzione 15.

Preferibilmente i tubi 14 sono disposti diametralmente opposti tra loro e in modo da essere in prossimità della parete interna del tubo 1". Questo permette di minimizzare il bypass della piastra di distribuzione 15 da parte della fase liquida leggera proveniente dal tubo 9.

La piastra di distribuzione 15, illustrata in Figura 4d insieme ai tubi 14, presenta un'area centrale 25 provvista di una pluralità di piccoli fori per una omogenea distribuzione della fase liquida leggera all'interno di un sottostante modulo di sintesi M1.

Per quanto riguarda la fluidodinamica dell'intera miscela reattiva all'interno dell'apparato, è conveniente trattare l'argomento per singolo modulo e per singola fase.

All'interno del modulo di sintesi M1 i reagenti freschi (fase liquida e fase gassosa) o non convertiti (le due fasi liquide immiscibili e la fase gassosa), a seconda che il modulo M1 appartenga al primo stadio di reazione o ad uno stadio intermedio, entrano in flusso parallelo dalla parte superiore del foro centrale 16,

eventualmente a valle di una piastra di distribuzione analoga alla piastra 15 del modulo M3. I reagenti freschi o non convertiti percolano attraverso l'intero letto catalitico 6 dove reagiscono e, attraversando i fori della griglia di supporto 7, si riversano nel modulo M2. Un tipico esempio applicativo dell'invenzione è relativo alla conduzione di reazioni di transesterificazione di oli vegetali. In tal caso, in entrata al modulo M1 si hanno una corrente gassosa di etanolo (GAS) ed una corrente (LIQ) di trigliceridi non reagiti (o parzialmente reagiti). In uscita dal modulo M1 si ha quindi una fase gassosa costituita dalla parte di gas non coinvolto nella reazione e due fasi liquide costituite da: LIQ1, miscela di esteri alcolici di acidi grassi e trigliceridi non reagiti, fase relativamente leggera; LIQ2 fase glicerolica pesante ottenuta come sottoprodotto della reazione di transesterificazione. Grazie al modulo di separazione M2, la fase liquida LIQ2 può essere estratta, mentre la fase gassosa GAS e la miscela LIQ1 parzialmente reagita possono essere avviate al modulo di redistribuzione M3, che provvederà ad avviare dette fasi all'eventuale modulo M1 disposto in cascata.

Il modo di fluire della fase gassosa GAS e della fase liquida LIQ, a contatto con le particelle catalitiche solide, è tipico dei reattori a percolamento; si rimanda pertanto alla letteratura scientifica sull'argomento ogni ulteriore approfondimento a riguardo.

Le due fasi liquide immiscibili LIQ1 e LIQ2, in uscita dal modulo M1, sono obbligate a confluire nel collettore 19 a causa della ridotta area di passaggio 23 della griglia di supporto 7. Vantaggiosamente, infatti, il diametro della suddetta area di passaggio 23 è minore del diametro del collettore 19 sottostante. Da quest'ultimo, entrambe le fasi liquide si riversano nel meato esterno 17, attraversando gli spazi 24 caratteristici del collettore 19, aderendo lungo la superficie esterna del tubo di tiraggio 8. La funzione del collettore 19 è quella di impedire che le gocce liquide si riversino all'interno delle aperture o fori laterali 20 di passaggio della fase gassosa, realizzati appositamente sotto le zone del collettore 19 prive di spazi 24.

In fase di start-up dell'apparato dell'invenzione, le due fasi liquide si vanno accumulando sul fondo 13 del modulo M2, fra gli archi di risalita delle aperture laterali 22 e detto fondo 13 che agisce da piatto divisore dei moduli M2 ed M3. In

questa zona del modulo M2 inizierà la segregazione delle due fasi liquide, con l'accumulo sul fondo 13 della fase liquida pesante LIQ2 e l'accumulo in superficie della fase liquida leggera LIQ1 per via della differenza delle loro densità (vedi esempio di Figura 5). Il livello della fase liquida leggera crescerà, fino a portarsi, a regime, in corrispondenza dell'orlo superiore del tubo di collegamento 9. A quel punto la fase liquida leggera LIQ1 stramazzerà all'interno del canale di passaggio 21 per confluire nel modulo M3 insieme con la fase gassosa GAS che avanza all'interno del draft-tube 8. La fase liquida pesante LIQ2 verrà invece prelevata, a regime, dal fondo del meato esterno 17 mediante l'apposito foro laterale 12.

La fase gassosa GAS che sopraggiunge dal modulo M1 nel modulo M2 segue invece un percorso agevolato dalle ridotte perdite di carico, passando attraverso le aperture laterali 20 presenti sulla parete esterna del draft tube 8, per poi attraversare il canale di passaggio 21 interno al tubo di collegamento 9 ed arrivare all'interno del modulo M3. Per effetto della disposizione delle cariche (LIQ e GAS) dall'alto e con uscita dal basso dell'insieme dei moduli, il gas tende spontaneamente ad andare verso il basso subendo modeste perdite di carico tra il modulo M1 ed il modulo M2 e tra il modulo M2 ed il modulo M3. La pressione nel modulo M1 si assesta quindi su valori leggermente superiori rispetto a quella vigente nel modulo M2, che risulta a sua volta leggermente maggiore di quella nel modulo M3. Le pressioni nei diversi moduli non vengono imposte, ma si attestano spontaneamente sui valori necessari all'ordinato efflusso della fase vapore.

Nel modulo M3, la fase gassosa GAS e la fase liquida leggera LIQ1 vengono ridistribuiti nel sottostante modulo M1. La fase gassosa passa agevolmente dagli appositi tubi discendenti 14. La fase liquida leggera LIQ1, che si accumula sulla piastra di distribuzione 15, passa attraverso i fori dell'area centrale 25 per ripartirsi equamente sopra la superficie di un letto catalitico contenuto nel modulo di sintesi M1 del successivo stadio di reazione.

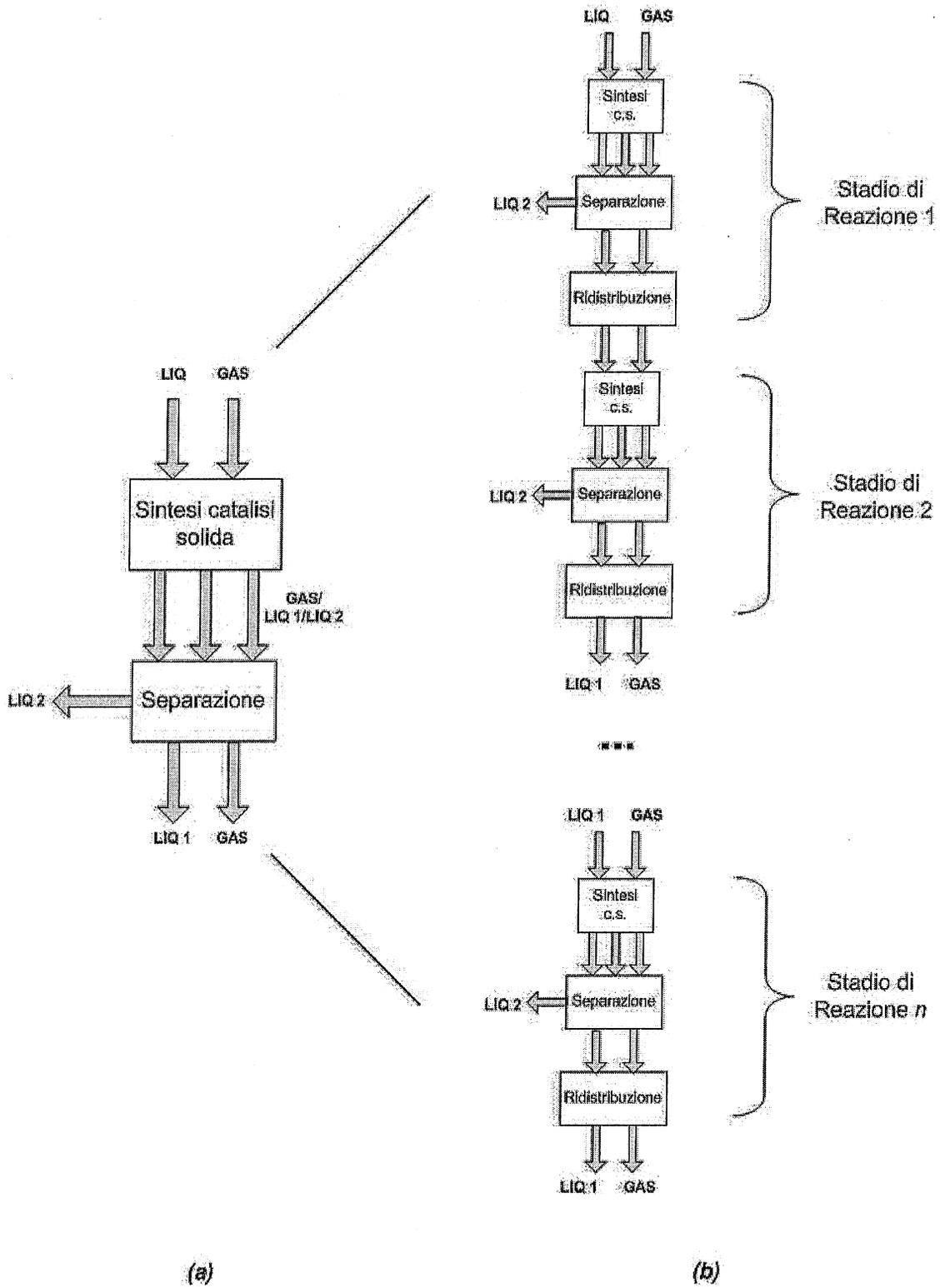


Fig. 1

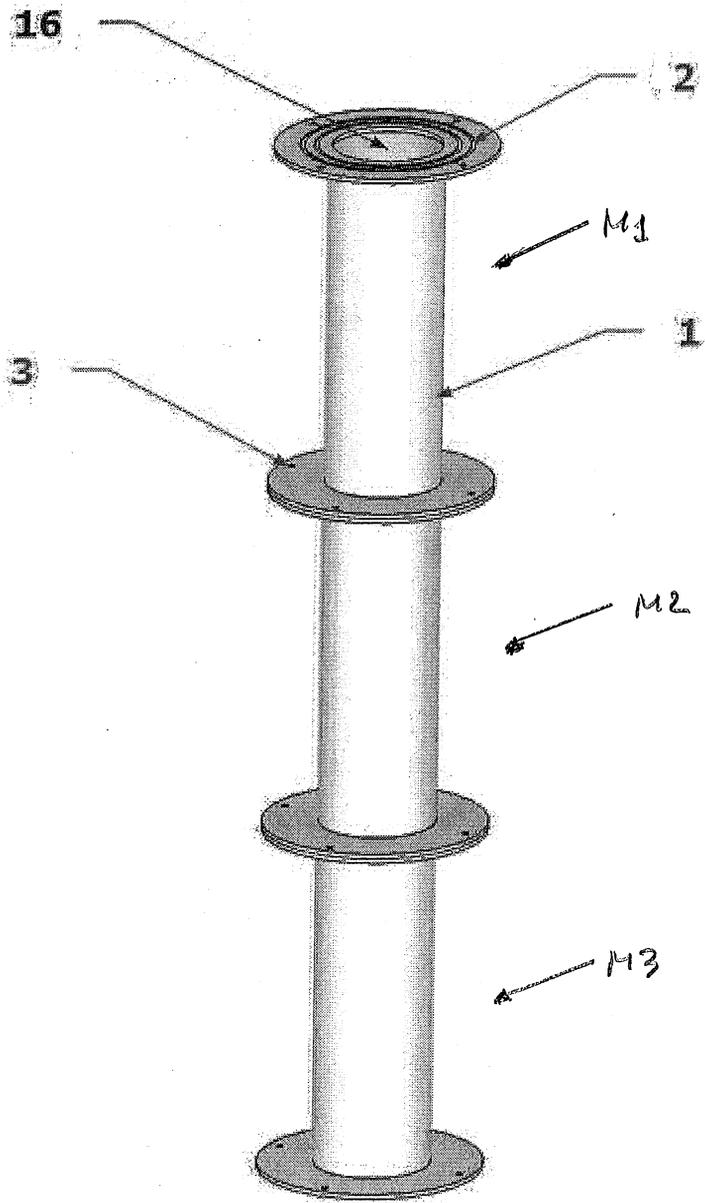


Fig. 2

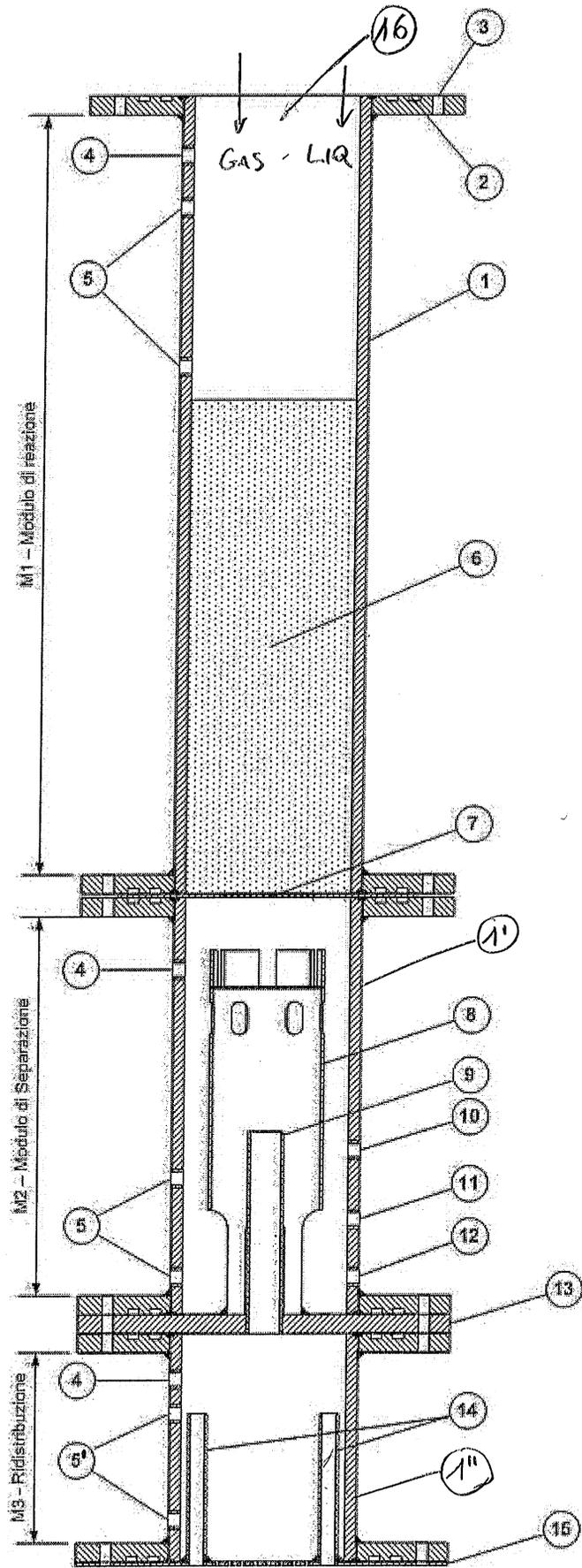


Fig. 3

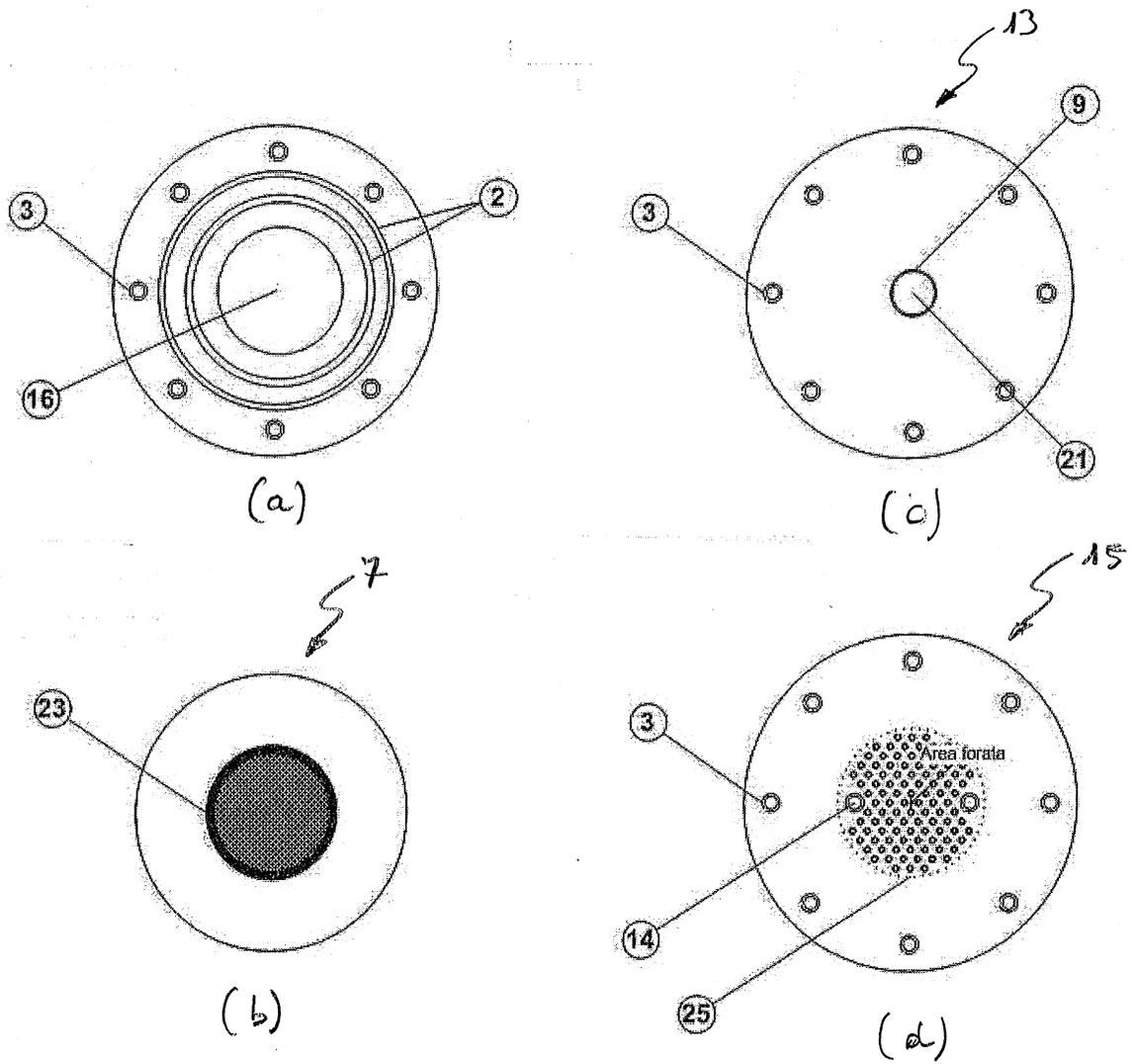
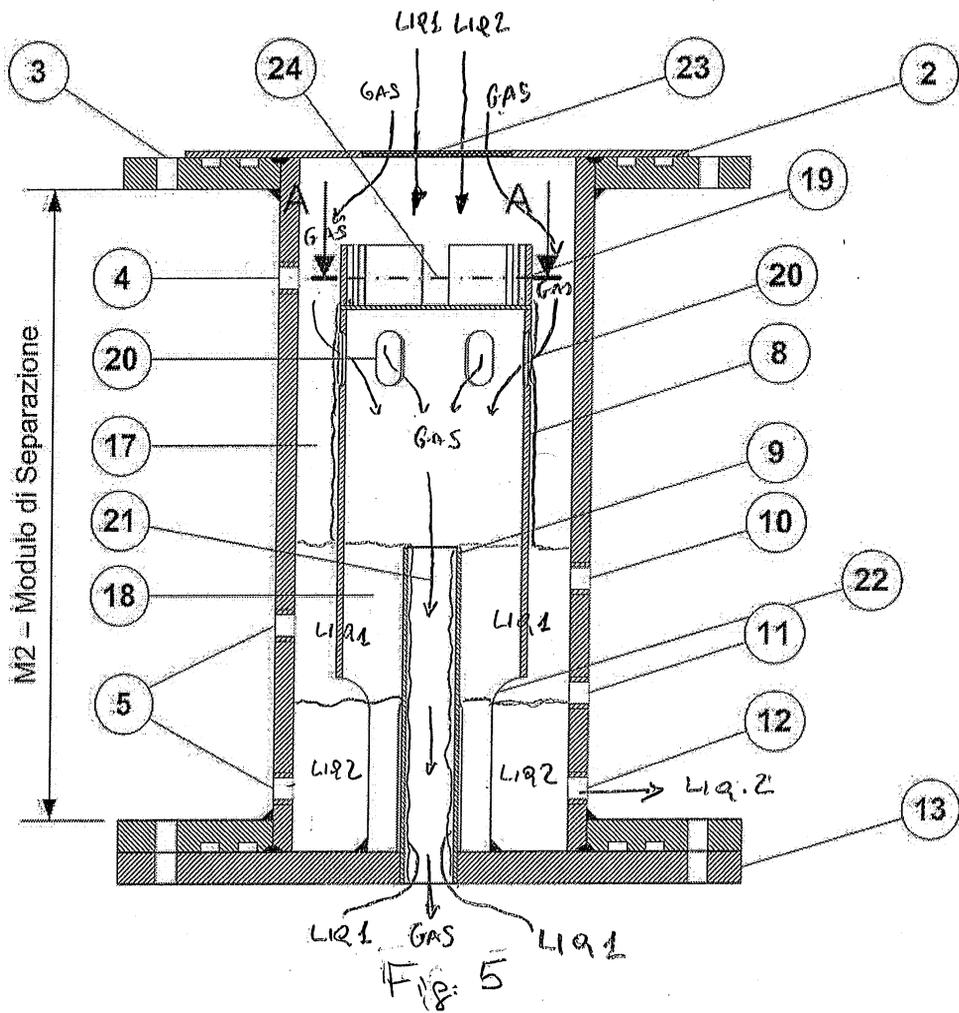


Fig 4



Sez. trasversale A-A

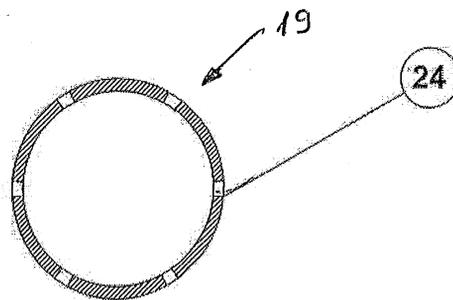


Fig. 6

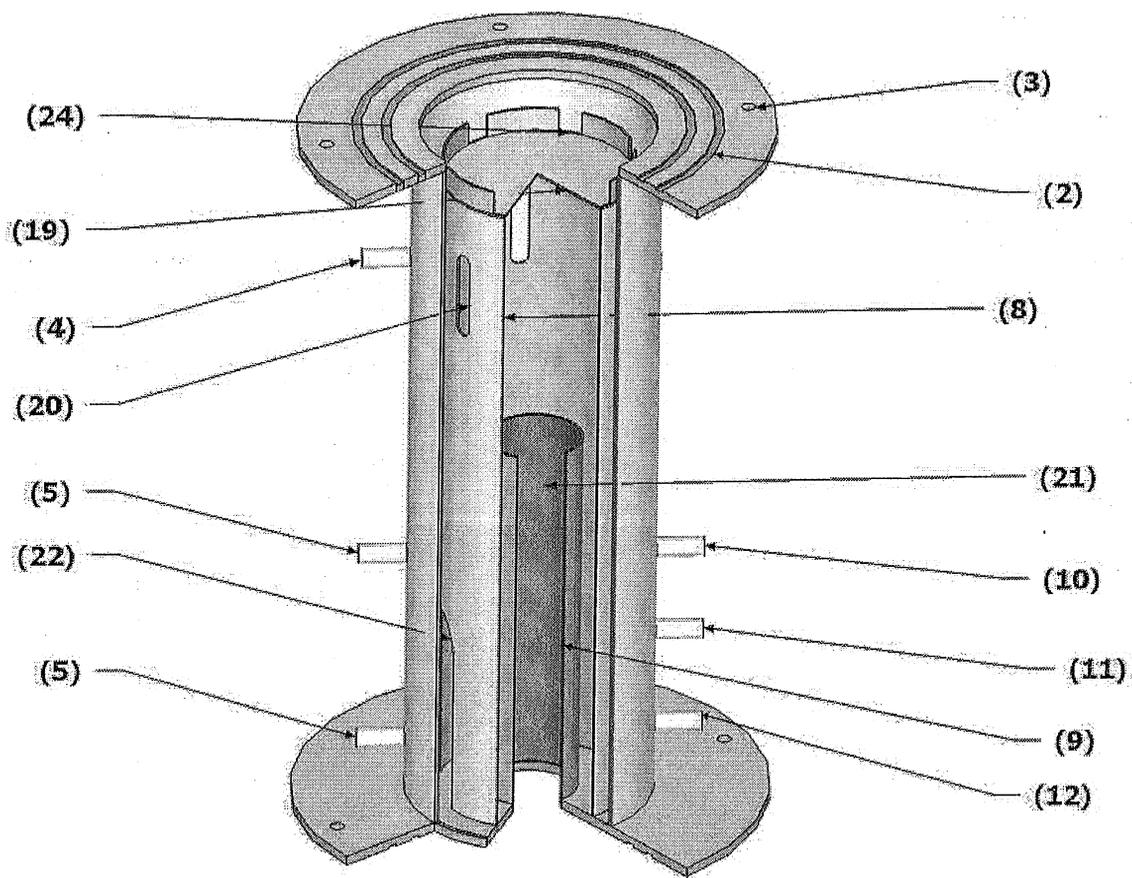


Fig. 7

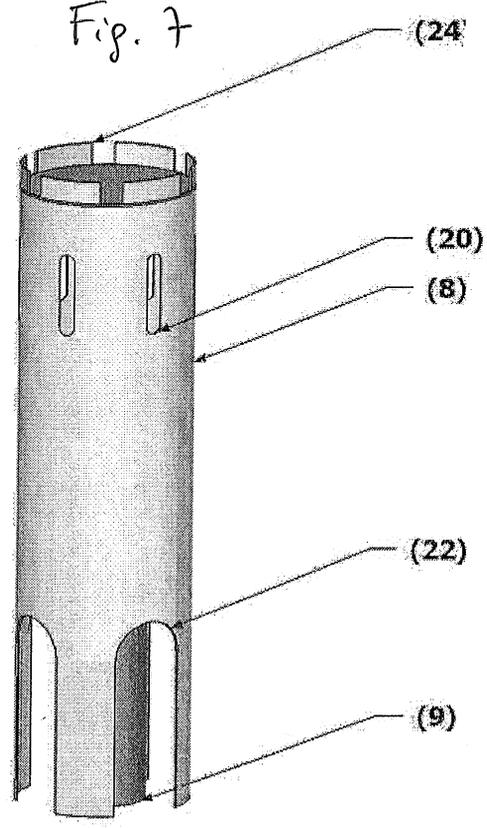


Fig. 8