



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

Informazioni identificative della domanda di Brevetto per invenzione industriale presentata il 17/07/2023

Dati aggiornati al 27/01/2026

Numero domanda: 102023000014925

Data presentazione: 17/07/2023

Data deposito: 17/07/2023

Tipologia domanda: Brevetto per invenzione industriale

Tipo deposito: DEPOSITO ON LINE

Tipo domanda: Ordinaria

Tipo registrazione: Primo Deposito

Stato domanda: Concessa

Data concessione: 16/09/2025

Numero domanda precedente formato:

Numero concessione: 102023000014925

Titolo: REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI

Anticipata accessibilità: NO

Classi

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo	Note
C	01	B	3		Classificazione inserita dall'EPO
B	01	J	8		Classificazione inserita dall'EPO

Inventori

Cognome e nome
DONATI Paolo
RANCATI Silvio
BELLONI Santino

Titolari

Denominazione/cognome e nome	Tipo società	Partita I.V.A./C.F.	Diritti %	CAP	Città	Provincia	Nazione
I-H2 SRL	società a responsabilità limitata	12907530963	100	20121	Milano	Milano	Italia

Mandatari

Cognome e nome (codice)
Papa Elisabetta (1002)
Predazzi Valentina (1105)
Germinario Claudio (989)
Rondano Davide (1117)
De Giorgi Michele (1404)
Barbaro Gaetano (994)
De Benedetti Fabrizio (3)
Moscone Francesca (85)
Manna Sara (1783)
Antonucci Alessandra (1978)
Concone Emanuele Enrico Maria (806)
Soldatini Andrea (943)
Di Giovine Paolo (1652)
De Benedetti Jacopo (1316)
De Sandre Emanuele (1237)
Santoro Sofia (1800)
Manfrin Marta (1243)
Pozzato Matteo (1898)
Demegni Giovanni Nicolò (1860)
Pietri Simona (1522)

Domicilio elettivo

Nominativo	Via	Numero civico	Città	CAP	Provincia	Nazione	E-mail	PEC
Società Italiana Brevetti S.p.A.			Milano	20123	Milano			

Trascrizioni

Numero	Data Trascrizione	Descrizione	Esito	Data Esito
602024000132190	01/08/2024	Cessione	Accolta	26/08/2024

- **A carico**
- Elsafra II S.p.A.
- **A favore**
- I-H2 SRL

Domande interessate dalla trascrizione

Numero domanda	Data deposito	Tipo domanda
102023000014925	17/07/2023	Brevetto per invenzione industriale

Annotazioni

Numero	Data deposito	Data Esito	Esito	Tipo	Da	A
622025000004716	13/01/2025	04/02/2025	Accolta	Variazione indirizzo richiedente/titolare		

Istanze

Numero	Data deposito	Descrizione	Esito	Data Esito
812023000138891	12/09/2023	Scioglimento Riserve		
782025000059331	15/04/2025	Risposta a Rapporto di Ricerca		
732024000152728	17/09/2024	Richiesta Copia Autenticata	Accolta	23/09/2024
762023000147558	25/09/2023	Istanza di Rettifica		

Pagamenti

Data	Importo	Tipo	Identificativo	Causale
17/07/2023	725,00	Modello F24	Deposito Pagamento Deposito, Annualita, Altri Tributi	



Ministero delle Imprese e del Made in Italy

Ricevuta di presentazione

per

Brevetto per invenzione industriale

Domanda numero: 102023000014925

Data di presentazione: 17/07/2023

DATI IDENTIFICATIVI DEL DEPOSITO

Ruolo	Mandatario
Depositante	marta manfrin
Data di compilazione	17/07/2023
Riferimento depositante	BI3167M/EMM/migg
Titolo	REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI
Carattere domanda	Ordinaria
Esenzione	NO
Accessibilità al pubblico	NO
Numero rivendicazioni	25
Autorità depositaria	

PRIVACY

Dichiaro di aver letto e compreso l'informativa sul trattamento dei dati personali trasmessi con il presente deposito, resa ai sensi dell'art. 13 del Regolamento (UE) 2016/679 e pubblicata all'interno del presente portale, oltre che sul sito istituzionale della Direzione Generale per la Tutela della Proprietà Industriale Ufficio Italiano Brevetti e Marchi del Ministero delle Imprese e del Made in Italy

RICHIEDENTE/I

Natura giuridica	Persona giuridica
Denominazione	Elsafra II S.p.A.
P.IVA/CF	08846780966
Tipo Società	società per azioni
Nazione sede legale	Italia
Comune sede legale	Milano (MI)

Indirizzo	Via Giovanni Boccaccio
Civico	29
CAP	20123
Telefono	
Fax	
Email	
Pec	
Quota percentuale	100.0%

DOMICILIO ELETTIVO

Cognome/R.sociale	Società Italiana Brevetti S.p.A.
Indirizzo	via Carducci 8
Cap	20123
Nazione	Italia
Comune	Milano (MI)
Telefono	02 - 806331
Fax	02 - 80633200
Email\PEC	UIBM.prenov16@pec.sib.it

MANDATARI/RAPPRESENTANTI

Cognome	Nome
Manfrin	Marta
Antonucci	Alessandra
Barbaro	Gaetano
Concone	Emanuele Enrico Maria
De Benedetti	Jacopo
De Benedetti	Fabrizio
De Giorgi	Michele
De Sandre	Emanuele
Demegni	Giovanni Nicolò

Di Giovine	Paolo
Germinario	Claudio
Manna	Sara
Moscone	Francesca
Papa	Elisabetta
Pietri	Simona
Pozzato	Matteo
Predazzi	Valentina
Rondano	Davide
Santoro	Sofia
Soldatini	Andrea

INVENTORI

Cognome	Nome	Nazione residenza
MAPELLI	Carlo	Italia
RANCATI	Silvio	Italia
DONATI	Paolo	Italia
BELLONI	Santino	Italia

CLASSIFICAZIONI

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	10	G		

NUMERO DOMANDE COLLEGATE

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

Tipo documento	Riserva	Documento
----------------	---------	-----------

Disegni	NO	BI3167M-di.pdf.p7m hash: a7c1260c7b54634faf8ec132dee26041
Descrizione in italiano*	NO	BI3167M - des.pdf.p7m hash: e1f9a532e5226b3262d0c607f42c119b
Rivendicazioni	NO	BI3167M - riv.pdf.p7m hash: db2e688946d1a43b064bcd089bad664a
Riassunto	NO	BI3167M - ria.pdf.p7m hash: e1dc4094cde2fc4d5715538a7c87e00e
Rivendicazioni in inglese	SI	hash:

RIFERIMENTI AL DEPOSITO DELL'INCARICO

Numero Domanda

802022000077864

DOVUTO

Gli importi indicati non tengono conto delle eventuali esenzioni applicabili

Importo Tasse:

€ 725,00

NOTE

RIASSUNTO

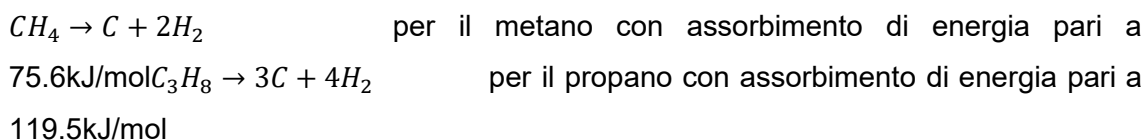
La presente invenzione si riferisce ad un reattore di pirolisi (10) per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), un impianto di pirolisi che include il reattore ed un rispettivo processo. Il reattore di pirolisi (10) include un forno (12) avente una camera di riscaldamento (12a), detta camera di riscaldamento (12) presentando almeno una zona di fondo (14a). Il reattore di pirolisi (10) include almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, detta struttura tubolare di reazione, in quanto è disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento (12a) e collegata con una zona esterna alla camera di riscaldamento (12a), per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno. La struttura tubolare di reazione include almeno un primo condotto (25) ed un secondo condotto (26) orientati da una zona di sommità (15a), o zona in posizione superiore rispetto alla zona di fondo, verso la zona di fondo (14a), in cui l'uno tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una immissione di idrocarburi e l'altro tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una fuoriuscita di idrogeno. Il primo condotto (25) è in comunicazione di fluido con il secondo condotto tramite una zona di comunicazione (31), detta zona di comunicazione (31) è disposta inferiormente, e/o nella zona di fondo (14a), almeno rispetto a rimanenti parti del primo condotto (25) ed il secondo condotto (26).

(figura 1)

REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI

La presente invenzione si riferisce, in generale, ad un reattore di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi, ad un impianto di pirolisi che include detto reattore e ad un rispettivo processo di pirolisi.

Il processo di pirolisi degli idrocarburi gassosi, in particolare propano (o GPL-Gas di Petrolio Liquefatto) e metano (o gas naturale), viene realizzato attraverso il riscaldamento dei gas che comporta la loro scissione per via termica secondo le seguenti reazioni:



e più, in generale, per altri idrocarburi affini secondo la reazione:



(T. Muto, M. Asahara, T. Miyasaka, K. Asato, T. Uehara, M. Koshi, Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst, Chemical Engineering Science (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117931>

Markova, E.B. Cherednichenko, A.G.; Smirnova, S.S.; Sheshko, T.F.; Kryuchkova, T.A. Features of the Catalytic Cracking of Propane with a Step-Wise Change PrxYb2□xZr2O7. Catalysts 2023, 13, 396. <https://doi.org/10.3390/catal13020396>)

Il processo di pirolisi degli idrocarburi gassosi consente di ottenere due materiali:

- carbonio solido in forma di grafite cristallina, anche con presenza di forme allotropiche nanostrutturate: nanotubi di carbonio, grafene, fullerene;
- idrogeno gassoso.

Il processo di pirolisi può essere effettuato in un forno o reattore che può essere vuoto o riempito di materiale inerte o di materiale cataliticamente attivo (pirolisi catalitica).

In tali processi di pirolisi è noto il problema di gestire il carbonio che si forma come sottoprodotto nella decomposizione di materiali organici, e che può condizionare la struttura ed il funzionamento del forno di reazione. Infatti, il carbonio può determinare una ostruzione di zone di accesso del reattore, impedire un corretto funzionamento dei catalizzatori o impedire una corretta separazione dell'idrogeno gassoso che si forma.

Per ovviare a tale problema spesso è necessario operare a bassa pressione parziale, sia ricorrendo al vuoto, sia con l'uso di un gas inerte come CO₂ o N₂ come diluente.

Questa soluzione richiede tuttavia l'installazione di strutture aggiuntive per l'impiego di gas inerte che complicano l'impianto e hanno costi aggiuntivi.

SOMMARIO DELL'INVENZIONE

Il problema tecnico posto e risolto dalla presente invenzione è quello di mettere a punto un reattore di pirolisi, un impianto di pirolisi ed un rispettivo processo di pirolisi che siano configurati e strutturati per facilitare una rimozione di carbonio.

Tale problema viene risolto da un reattore di pirolisi, un impianto di pirolisi ed un rispettivo processo di pirolisi come definiti nelle rispettive rivendicazioni indipendenti. Caratteristiche secondarie dell'invenzione sono definite nelle rispettive rivendicazioni dipendenti.

In pratica, viene messo a disposizione un reattore di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi con formazione di idrogeno e carbonio, in cui il reattore di pirolisi include un forno avente una camera di riscaldamento. La camera di riscaldamento presenta almeno una zona di fondo. Il reattore di pirolisi include inoltre almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, in cui la struttura tubolare di reazione è disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento ed è collegata con una zona esterna alla camera di riscaldamento, per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, la struttura tubolare di reazione include almeno un primo condotto ed un secondo condotto che si estendono entrambi dall'alto verso il basso, vale a dire da una zona superiore ad una zona inferiore, oppure ancora da una zona di sommità verso la zona di fondo, o viceversa, in cui l'uno tra il primo condotto ed il secondo condotto è destinato a condurre almeno una immissione di idrocarburi e l'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto è destinato a condurre, almeno in parte, una fuoriuscita di idrogeno. Ne consegue che gli idrocarburi possono essere immessi in una sorta di condotto in discesa, e l'idrogeno è fatto uscire in una sorta di condotto in salita. Secondo la presente divulgazione, una zona di raccordo tra tali condotti è una zona inferiore o una zona di fondo rispetto ad almeno una rimanente parte del primo condotto ed una rimanente parte del secondo condotto.

Si intende che, secondo la presente divulgazione, detto primo condotto e detto secondo condotto hanno almeno parzialmente una configurazione tale da consentire una discesa e risalita dei fluidi in modo che la zona di raccordo sia, rispetto ad una direzione dei fluidi, una zona di fondovalle.

Ne consegue che secondo la presente divulgazione, il primo condotto è in comunicazione di fluido con il secondo condotto tramite una zona di comunicazione, che si trova in una zona di fondo, o più bassa, o zona inferiore, rispetto ad una zona di alimentazione degli idrocarburi e più bassa, o zona inferiore, rispetto ad una zona di uscita o di fuoriuscita di idrogeno dalla camera di riscaldamento.

In altre parole, si può individuare nel percorso di immissione di idrocarburi, e di fuoriuscita di idrogeno ottenuto dalla pirolisi, una zona di minima altezza o più bassa di tutte, dove possa cadere il carbonio per gravità.

In altre parole ancora, il primo condotto ed il secondo condotto sono disposti in modo che l'immissione degli idrocarburi avvenga dall'alto verso il basso, e la fuoriuscita dell'idrogeno avvenga dal basso verso l'alto. Ne consegue che una zona di raccordo o zona di comunicazione di fluido tra il primo condotto ed il secondo condotto si trova in una zona bassa del forno, vale a dire verso una zona di fondo, in modo che sia facilitata la caduta per gravità del carbonio. Si ha il vantaggio che non è necessario nemmeno controllare dove si forma il carbonio in modo specifico, in quanto per la geometria delle parti sopra descritta, la caduta per gravità può avvenire tanto dal primo condotto quanto dal secondo condotto.

Ne consegue che la zona di comunicazione tra il primo condotto e il secondo condotto è preferibilmente configurata e destinata a ricevere carbonio prodotto dalla pirolisi almeno per gravità. In questo modo la zona di comunicazione tra i condotti è configurata anche come una zona di raccolta, eventualmente temporanea, del carbonio. Si può intendere che la fuoriuscita di idrogeno attraverso lo spazio intermedio è di fatto una fuoriuscita attraverso il secondo condotto.

Secondo un aspetto preferito, il reattore comprende mezzi di vibrazione per far vibrare detto primo condotto e/o detto secondo condotto, e facilitare ulteriormente la caduta di carbonio per gravità verso il basso.

Preferibilmente, l'uno o l'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto è un condotto interno disposto all'interno dell'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto che funge da condotto esterno, a definire uno spazio intermedio interposto tra il condotto interno ed il condotto esterno. In questo caso, una imboccatura del condotto interno è aperta e rivolta verso la zona di fondo del forno ed è circondata da detto condotto esterno. L'imboccatura aperta pone in comunicazione di fluido il condotto interno con detto spazio intermedio, in modo da definire detta zona di comunicazione e creare un circuito di fluido passante dal condotto interno allo spazio intermedio passando attraverso l'imboccatura del condotto interno. Questa struttura a condotti uno dentro

l'altro consente di ottimizzare gli spazi all'interno della camera di riscaldamento, e di creare il movimento di fluido dall'alto verso il basso e dal basso verso l'alto per la caduta del carbonio, e al tempo stesso con una comunicazione dei condotti senza intralcio nella conduzione dei fluidi.

Inoltre, la struttura a condotti uno dentro l'altro consente di gestire meglio il processo di riscaldamento dell'idrocarburo che viene scisso per via termica; infatti per esempio avviene un riscaldamento contemporaneo nella medesima zona dei due condotti.

La configurazione in cui un condotto è posto dentro l'altro è una configurazione che si può intendere a condotti concentrici, senza però intendere in modo limitante che i centri dei condotti devono coincidere.

qualora il materiale con cui sono realizzati i tubi sia anche in metallo utile ad una pirolisi catalitica, la configurazione a tubi concentrici consente di aumentare per unità di lunghezza del reattore le superfici su cui viene catalizzata la reazione di scissione dell'idrocarburo rispetto alla configurazione che non preveda due tubi uno interno all'altro; infatti si può sfruttare anche la superficie esterna del tubo interno nella fase di risalita.

Preferibilmente, il condotto esterno è isolato rispetto alla camera di riscaldamento a chiudere detta zona di comunicazione e formare una camera chiusa, detta camera chiusa includendo o racchiudendo quindi detta zona di comunicazione ed essendo chiusa rispetto alla camera di riscaldamento. In questa forma di realizzazione, l'imboccatura del condotto interno è aperta verso detta camera chiusa. Questa conformazione ha il vantaggio di poter sfruttare il medesimo condotto esterno come zona di raccolta del carbonio. Preferibilmente, il condotto esterno si innesta, vale a dire è fissato, in una parete di fondo del forno, in modo da sfruttare anche le pareti del forno per la realizzazione della camera chiusa, di raccolta del carbonio. Ancora più preferibilmente, il condotto interno ed il condotto esterno sono fissati da un lato ad una parete del forno, per esempio una parete di sommità del forno. Tale soluzione ha il vantaggio di sfruttare ulteriormente il forno per il supporto dei condotti.

Preferibilmente è il condotto interno destinato a consentire l'immissione di idrocarburi e detto spazio intermedio è destinato a consentire una fuoriuscita di idrogeno. Ciò consente di ottimizzare, tramite attenta scelta delle dimensioni dei condotti, le portate di idrocarburi e aumentare il più possibile la resa della reazione. Preferibilmente, il condotto interno ed il condotto esterno sono tubi di sezione circolare per consentire una pirolisi

omogenea su tutta la circonferenza ed una caduta di carbonio distribuita in modo omogeneo sul fondo.

Per facilitare la caduta del carbonio, il condotto interno ed il condotto esterno sono disposti verticali nella camera di riscaldamento.

Preferibilmente ancora, il reattore include catalizzatori metallici almeno sul condotto interno, vale a dire il condotto interno è in un materiale metallico in cui i metalli del materiale sono catalizzatori metallici. Questa forma di realizzazione consente di sfruttare il condotto dove passano gli idrocarburi anche per catalizzare la reazione di pirolisi.

Preferibilmente, ancora al fine di riscaldare in modo omogeneo i condotti, il reattore comprende riscaldatori disposti su pareti laterali rivolte verso la camera di riscaldamento. La presente divulgazione riguarda preferibilmente anche un impianto di pirolisi includente un reattore di pirolisi come precedentemente descritto, ed un apparato di rimozione, per la rimozione del carbonio formato nella zona di comunicazione tra i due condotti. Tale apparato di rimozione è configurato per essere posto in comunicazione, preferibilmente all'occorrenza, con la zona di comunicazione tra il primo condotto ed il secondo condotto per consentire di rimuovere il carbonio. Preferibilmente tale apparato di rimozione sfrutta ulteriormente la gravità, ed è disposto al di sotto di una parete di fondo del forno.

Per esempio, l'apparato di rimozione del carbonio può essere messo in comunicazione di fluido con l'imboccatura aperta del condotto interno, mediante un passaggio o porta realizzata nella parete di fondo del forno. Tale passaggio o porta possono essere aperti all'occorrenza con una valvola, o battente di chiusura, che viene rimosso o azionato per aprire la porta o passaggio (apertura).

L'apparato di rimozione può includere una struttura scatolare definente una camera di raccolta destinata alla raccolta di carbonio, in caduta tramite detta porta o passaggio o apertura. Tale struttura scatolare consente una raccolta quantomeno temporanea del carbonio. Nella camera di raccolta viene eliminato preferibilmente l'ossigeno per evitare che il carbonio bruci.

Preferibilmente detta porta o apertura o passaggio è una prima apertura, e l'apparato di rimozione include una seconda porta o seconda apertura in una parete di fondo della camera di raccolta provvista di rispettivo battente di chiusura azionabile selettivamente per una rimozione definitiva del carbonio dall'impianto di pirolisi.

La presente divulgazione riguarda anche un processo di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio, in cui il processo prevede di

- disporre almeno un primo condotto in una camera di riscaldamento per pirolisi in modo che detto primo condotto sia interessato da un flusso orientato dall'alto verso il basso o il primo condotto sia orientato dall'alto verso il basso;
- disporre almeno un secondo condotto nella camera di riscaldamento in modo che detto secondo condotto sia interessato da un flusso orientato dal basso verso l'alto o il secondo condotto sia orientato dal basso verso l'alto;
- collegare detto primo condotto con detto secondo condotto, in modo che una zona di comunicazione di detto primo condotto con detto secondo condotto sia in una zona di fondo o più bassa rispetto a rispettive rimanenti parti del primo condotto e del secondo condotto;
- immettere idrocarburi attraverso il primo condotto;
- determinare una scissione per via termica degli idrocarburi lungo almeno il primo condotto;
- far fuoriuscire idrogeno nel secondo condotto;
- far cadere per gravità verso detta zona di comunicazione almeno una parte di carbonio prodotto dalla pirolisi.

Come detto vantaggio principale della presente divulgazione riguarda proprio la possibilità di massimizzare una separazione per gravità del carbonio prodotto nel processo di pirolisi.

Il processo può essere effettuato tramite un reattore di pirolisi e/o l'impianto di pirolisi come sopra descritti, sfruttando tutti i rispettivi vantaggi da esso/i derivanti.

Altri vantaggi, caratteristiche e modalità di impiego dell'invenzione in oggetto, risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di alcune forme di realizzazione, presentate a scopo esemplificativo e non limitativo.

BREVE DESCRIZIONE DELLE FIGURE

La presente invenzione e la seguente descrizione dettagliata delle forme di realizzazione preferite possono essere meglio comprese con riferimento alle figure seguenti:

Figura 1 mostra una vista in forma schematica da un lato di un reattore di un impianto di pirolisi secondo una forma di realizzazione;

Figura 2 mostra una vista in forma schematica dall'alto del reattore di Figura 1;

Figura 3 mostra una vista in forma schematica da un lato di un impianto di pirolisi secondo una forma di realizzazione e in una prima fase operativa;

Figura 4 mostra una vista in forma schematica da un lato dell'impianto di pirolisi di figura 3 in una seconda fase operativa;

Figura 5 mostra una vista in forma schematica da un lato dell'impianto di pirolisi di figura 3 in una terza fase operativa.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELL'INVENZIONE

Con riferimento alle figure, viene descritto un reattore di pirolisi 10 di un impianto di pirolisi 100 per la pirolisi di idrocarburi. Il reattore di pirolisi 10 è da intendersi come una porzione dell'impianto di pirolisi 100 destinata alla scissione degli idrocarburi. L'impianto di pirolisi 100 comprende inoltre zone di raccolta e di gestione dell'idrogeno che viene prodotto e del carbonio C quale sotto-prodotto di pirolisi, ed ulteriori dispositivi e attrezzature di tipo noto per il controllo ed il funzionamento dell'impianto di pirolisi.

Più in particolare, l'impianto di pirolisi 100 con il rispettivo reattore di pirolisi 10 viene mostrato in forma schematica per mostrare i componenti principali dell'impianto di pirolisi 100 e del relativo reattore 10, fermo restando che le rimanenti parti del reattore potranno essere ottimizzate secondo le competenze del tecnico del ramo.

Più specificatamente, il reattore di pirolisi comprende un forno 12, vale a dire una struttura sostanzialmente chiusa, avente forma scatolare.

Con il termine "struttura sostanzialmente chiusa" si intende una struttura, che a parte aperture o porte di comunicazione con l'esterno è destinata a definire una area delimitata o circoscritta del forno 12. Detta area delimitata è chiamata camera di riscaldamento 12a, vale a dire è una area destinata ad essere scaldata per consentire la scissione degli idrocarburi. Più in particolare ancora, per definire detta struttura sostanzialmente chiusa, il forno include pareti di contenimento, quali per esempio una parete laterale a mantello 13, una parete di fondo 14 ed una parete di sommità 15 definenti la camera di riscaldamento 12a.

Con riferimento a dette pareti, si può comprendere che nella camera di riscaldamento 12a può essere identificata una zona di sommità 15a, una zona di fondo 14a, e zone laterali 13a, vale a dire zone della camera di riscaldamento che sono vicine o adiacenti alle rispettive pareti.

Il forno 12 include inoltre riscaldatori 20, per esempio resistenze elettriche 20, che sono preferibilmente montate nella camera di riscaldamento 12a per scaldare la camera di riscaldamento 12a a partire dalla zona laterale 13a. Preferibilmente le resistenze elettriche sono alimentate per esempio in una frazione percentuale superiore al 50% da energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. E' da intendersi che la scelta dei materiali del forno e la capacità di riscaldamento da parte delle resistenze elettriche 20 sono scelte in funzione del processo di pirolisi da ottenere e sono alla portata del tecnico del ramo.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, il reattore 10 comprende una struttura tubolare di reazione includente due condotti di reazione. Si chiamano condotti di reazione in quanto essi consentono la pirolisi e includono almeno un condotto di reazione destinato all'immissione di idrocarburi ed un condotto di reazione destinato ad una fuoriuscita di idrogeno.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, i due condotti di reazione sono disposti in modo che idrocarburi vengano immessi dall'alto verso l'alto in un primo condotto e l'idrogeno venga rimosso dal basso verso l'alto nell'altro condotto in modo che carbonio C formato per pirolisi possa cadere o fatto cadere per gravità in una zona di raccordo o di comunicazione tra i due condotti.

Nella fattispecie illustrata i condotti di reazione includono un condotto esterno 25 ed un condotto interno 26, vale a dire il condotto interno è disposto all'interno del condotto esterno a formare o definire un interspazio o spazio intermedio 30 o intercapedine tra i due condotti di reazione. In altre parole, i due condotti di reazione sono disposti in modo tale da consentire immissione di idrocarburi in uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30 tra il condotto interno 26 e il condotto esterno 25, e fuoriuscita di idrogeno dall'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30.

Il condotto esterno 25 è preferibilmente isolato rispetto alla camera di riscaldamento 12a a definire una camera chiusa 31 ed una imboccatura del condotto interno 26 è aperta verso detta camera chiusa e verso lo spazio intermedio. Con camera chiusa 31 si intende uno spazio isolato rispetto alla camera di riscaldamento 12a.

La camera chiusa 31 con l'imboccatura aperta definisce di fatto una zona di comunicazione o zona di raccordo tra i due condotti ed è destinata ad accogliere il carbonio C formato dopo la pirolisi dell'idrocarburo (scissione degli idrocarburi per via termica).

Più in particolare se gli idrocarburi da scindere arrivano in uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, a seguito della pirolisi, l'idrogeno formato può fluire nell'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30.

Per consentire il passaggio di gas e in generale di fluido da uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, e l'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, il condotto interno 26 presenta come detto imboccatura che si imbecca nella camera chiusa 31, e per la geometria delle parti l'imboccatura del condotto interno 26 è disposta interna rispetto all'imboccatura chiusa (rispetto alla camera di riscaldamento 31) del condotto esterno 25.

Ne consegue che eventuale carbonio C che si forma dalla pirolisi di idrocarburi nella zona di passaggio o nelle vicinanze di uno tra condotto interno 26 e spazio intermedio 30, vale a dire nella zona di comunicazione tra condotto interno 26 e condotto esterno 30, possa cadere, o essere fatto cadere per gravità, per esempio sul fondo della camera chiusa 31.

In altre parole, può essere favorita una separazione per gravità del carbonio C.

Nella soluzione mostrata, il condotto interno 26 ha una sezione molto maggiore rispetto allo spazio intermedio 30; ne consegue che per ottimizzare il processo di pirolisi e sfruttare al massimo la produzione di idrogeno, il condotto interno 26 è destinato ad accogliere il flusso di idrocarburi e lo spazio intermedio 30 tra il condotto interno 26 e il condotto esterno 25 è destinato ad accogliere il flusso di idrogeno formato dalla pirolisi. [Non è da escludere che cambiando la forma e dimensione relative tra condotto interno e spazio intermedio, gli idrocarburi potrebbero fluire nell'intercapedine e idrogeno fluisce nel condotto interno.

E' da intendersi che i flussi di idrocarburo e eventualmente quello di idrogeno sono gestiti mediante apposite pompe poste fuori dalla camera di riscaldamento.

Preferibilmente il condotto interno 26 ed il condotto esterno 25 sono tubi di sezione circolare o quadrata.

La sezione dei condotti non è da intendersi come limitativa; la sezione può essere non circolare. I condotti possono essere profilati chiusi (quindi anche di sezione poligonale. Ciò che è importante è che i corpi tubolari abbiano la funzione di condotto.

Per esempio, il condotto esterno 25 può anche essere realizzato con profilo conico, per esempio con luce di passaggio maggiore alla base rispetto alla sommità.

In altre parole, l'architettura del sistema prevede la presenza di due condotti concentrici (Figura 1 e Figura 2), laddove il termine concentrico significa che il condotto interno è inserito nel condotto esterno a formare una intercapedine.

Come sopra anticipato, la disposizione di due condotti uno dentro l'altro e l'apertura dell'imboccatura del condotto interno 26 consente di realizzare una zona di comunicazione tra i due condotti e di separare per gravità il carbonio C che si produce nel processo di pirolisi. Per esempio, l'idrocarburo fluisce nel condotto interno 26 e subisce un processo di preriscaldamento. Successivamente, essendo il condotto interno aperto verso la camera chiusa 31, l'idrocarburo una volta fuoriuscito dal tubo interno lambisce il fondo del condotto esterno 25 e poi risale nell'intercapedine tra il condotto esterno 25 e quello interno 26. Durante il tragitto descritto, l'idrocarburo viene scisso per via termica (pirolizzato) tramite processo di cracking dell'idrocarburo. Il carbonio C solido

si deposita sulle pareti dei condotti e sul fondo del condotto esterno 25 mentre l'idrogeno fluisce verso la sezione superiore del condotto esterno 25 e viene estratto dal forno di pirolisi 12.

Per la comunicazione del condotto interno 26 e del condotto esterno 25 con l'esterno sono previsti raccordi condotti di collegamento di tipo noto preferibilmente disposti all'esterno della parete di sommità 15. Il condotto interno 26 e del condotto esterno 25 passano attraverso la parete di sommità 15 per il collegamento con i condotti di collegamento rispettivamente.

Preferibilmente, il condotto interno 26 ed il condotto esterno 25 sono disposti verticali nella camera di riscaldamento per ottimizzare la caduta del carbonio C. Preferibilmente, le resistenze elettriche 20 sono disposte in posizione tale da consentire il corretto irraggiamento dei condotti entro cui fluiscono gli idrocarburi e l'idrogeno.

Preferibilmente, l'energia di attivazione per il processo di scissione termica può essere diminuita attraverso l'utilizzo di catalizzatori. Per esempio, nell'ambito della presente divulgazione si possono utilizzare catalizzatori metallici a base di Fe-Ni, Fe-Ni-Cr, Fe-Ni-Cr-Mo, Fe-Ni-Cr-W, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Co, Ni-Cr-Co Fe-Co, Fe-Ni-Co-Cr realizzati anche con l'utilizzo di leghe commerciali (acciai inossidabili contenenti Ni, es. 1.4310, 1.4301, 1.4305, 1.4307, 1.4567, 1.4845, 1.4841, 1.4401, 1.4404, 1.4578, 1.4571, 1.4598, 1.4541, 1.4542) oppure superleghe di Nickel, (es. serie Nimonic, serie Permalloy, Inconel della serie 600, della serie 700, della serie 800, serie Hastelloy, serie Incoloy) oppure leghe di cobalto (e. serie Stellite, serie UMCO).

I catalizzatori sono preferibilmente detti materiali descritti al capoverso precedente, non è necessario disporre dei catalizzatori specifici, ma possono essere le leghe stesse dei condotti a fare da catalizzatore.

L'utilizzo di catalizzatori consente di diminuire la temperatura a cui si realizza il processo di scissione termica degli idrocarburi.

Preferibilmente, la presente invenzione per la pirolisi degli idrocarburi copre l'esercizio termico dei forni di pirolisi da 550°C a 1200°C. La temperatura del forno 12 è misurata mediante una o più termocoppie. Il riscaldamento del forno nell'intervallo termico indicato è funzione del tipo di idrocarburo, della portata di adduzione dell'idrocarburo gassoso e della lunghezza di sviluppo dei condotti posti all'interno del forno entro cui fluisce l'idrocarburo gassoso e l'idrogeno che si forma dal processo di scissione termica. Ad esempio, al diminuire della portata e per sviluppi dei condotti di lunghezza crescente sarà possibile operare a temperature inferiori (in quanto il gas per unità di massa ha più tempo per assorbire l'energia necessaria alla scissione) rispetto a quelle da applicarsi in

presenza di portate maggiori e sviluppi dei condotti inferiori (in quanto il gas per unità di massa, in questo secondo caso, ha meno tempo per assorbire l'energia necessaria alla scissione).

Secondo un aspetto preferito della presente divulgazione, il reattore 10 sopra descritto è parte di un impianto di pirolisi 100 che include un apparato di rimozione 50, per la rimozione del carbonio C, vale a dire per rimuovere il carbonio C formato nella camera chiusa 31. L'apparato di rimozione 50 è una parte dell'impianto di pirolisi 100, è disposto preferibilmente al di sotto della parete di fondo 14 ed è posto in comunicazione con la camera chiusa 31, quindi con l'imboccatura aperta del condotto interno 26 mediante un passaggio nella parete di fondo 14. Per la geometria delle parti il condotto esterno 25 si innesta nella parete di fondo in modo tale da isolare il passaggio dalla camera chiusa 31 e l'apparato di rimozione del carbonio 50. L'apparato di rimozione 50 è posto in comunicazione con la camera chiusa 31 e l'imboccatura aperta del condotto interno 26 attraverso una prima apertura di comunicazione 51, o prima porta. Un battente di chiusura 52, per esempio avente due ali incernierate al centro, è posto sulla prima apertura di comunicazione 51 per chiudere detta prima apertura di comunicazione 51; detto battente di chiusura 52 ha una funzione di valvola e può essere inteso, per la funzione che svolge, come una valvola di rimozione di carbonio C. Più in particolare, l'apparato di rimozione 50 include una struttura scatolare 53 definente una camera di raccolta 54 di carbonio C posta, come detto, sotto alla parete di fondo 14. Spostando o azionando periodicamente il battente di chiusura 51 (figure 3 e 4) è possibile aprire la prima apertura di comunicazione 51 e far cadere su un fondo della camera di raccolta 54 il carbonio C (figura 4).

A sua volta, la camera di raccolta 54 può essere provvista di una seconda apertura di comunicazione 56, o seconda porta di comunicazione, e dotata di un altro battente di chiusura 57, il quale una volta spostato o azionato (figura 5) consente una rimozione totale di carbonio C dal fondo dell'impianto. In altre parole, l'impianto di pirolisi 100 include l'apparato di rimozione 50 che consente una raccolta sistematica e periodica del carbonio C mediante azione sul battente di chiusura.

Tale apertura sistematica sia per la ricezione del carbonio C sia per la fuoriuscita del carbonio C della camera di raccolta 54 consente una rimozione del carbonio C dalle rispettive aperture secondo necessità.

Ne consegue che si evita che il progressivo deposito del carbonio C solido possa ostruire i condotti. Si ottiene pertanto un sistema di rimozione periodica del carbonio C cristallizzato deposto sulle pareti, che può non implicare lo spegnimento del forno per

l'estrazione e non consente l'ossidazione del carbonio C ad alta temperatura nel momento in cui viene estratto dai condotti catalitici di pirolizzazione. Infatti, grazie alla chiusura della camera chiusa 31, il carbonio C non è a contatto con camera di riscaldamento 12a.

Nella camera di raccolta 54 è destinato ad essere immesso gas inerte con un rispettivo condotto (non rappresentato) per eliminare ossigeno.

Ne consegue che il sistema di estrazione è realizzato per distaccare il carbonio C che si deposita sulle pareti dei condotti senza spegnere il forno (per lasciarlo raffreddare) e senza che il carbonio C bruci a contatto con l'ossigeno.

Preferibilmente, il reattore include mezzi di vibrazione di tipo noto, indicati in modo schematico con il numero 70, in grado di percuotere il condotto esterno 25 e/o il condotto interno 26, o comunque di provocare una vibrazione. La posizione dei mezzi di vibrazione è preferibilmente in una zona di sommità della camera di riscaldamento 12a. La percussione o la vibrazione possono essere continue o periodiche. I mezzi di vibrazione o di percussione 70 possono essere mezzi noti, per esempio, di tipo meccanico per un tecnico del ramo, ed in grado di determinare una percussione o una vibrazione sui condotti.

Le percussioni e le vibrazioni provocano il distacco del carbonio C e questo libera la superficie di catalisi e provoca l'accumulo di carbonio C sulla valvola di estrazione.

Per esempio, ad intervalli di tempo regolari o a seguito di variazioni di portata misurate da un rilevatore, che indicano la progressiva diminuzione della luce del condotto, si arresta il flusso dell'idrocarburo, si introduce gas inerte nella camera di raccolta 54, chiamata anche camera di rimozione 54, oppure si impone una bassa pressione nella camera rimozione, e si apre il primo battente di chiusura 51 (Figura 4).

Una volta richiuso il primo battente di chiusura 51 e quando la temperatura nella camera di rimozione 54 (misurata mediante termocoppia) è al di sotto di una temperatura fissata dall'utilizzatore, si apre il secondo battente di chiusura 57 per scaricare il carbonio C all'esterno (Figura 5).

RIVENDICAZIONI

1. Reattore di pirolisi (10) per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), in cui il reattore di pirolisi (10) include un forno (12) avente una camera di riscaldamento (12a), in cui detta camera di riscaldamento (12) presenta almeno una zona di fondo (14a) ed in cui il reattore di pirolisi (10) include almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, in cui detta struttura tubolare di reazione è disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento (12a) e collegata con una zona esterna alla camera di riscaldamento (12a) per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno, caratterizzato dal fatto che la struttura tubolare di reazione include almeno un primo condotto (25) ed un secondo condotto (26) orientati da una zona di sommità (15a), o zona più alta rispetto alla zona di fondo, verso la zona di fondo (14a), in cui l'uno tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una immissione di idrocarburi e l'altro tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una fuoriuscita di idrogeno, ed in cui il primo condotto (25) è in comunicazione di fluido con il secondo condotto tramite una zona di comunicazione (31), ed in cui detta zona di comunicazione (31) è disposta in posizione inferiore, e/o nella zona di fondo (14a), almeno rispetto a rimanenti parti del primo condotto (25) ed il secondo condotto (26).
2. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 1, in cui detta zona di comunicazione (31) è configurata per ricevere carbonio (C) prodotto dalla pirolisi almeno per gravità.
3. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui l'uno o l'altro tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è un condotto interno (25) disposto all'interno dell'altro tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) che funge da condotto esterno (25) e a definire uno spazio intermedio (30) interposto tra il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25), ed in cui una imboccatura del condotto interno (26) rivolta verso la zona di fondo (14a) è circondata da detto condotto esterno (25) e pone in comunicazione di fluido il condotto interno (26) con detto spazio intermedio (30), in modo da definire detta zona di comunicazione (31) e creare un circuito di fluido passante nel condotto interno (26) e nello spazio intermedio (30) passando attraverso l'imboccatura del condotto interno (26).
4. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 3, in cui il condotto esterno (25) è chiuso rispetto alla camera di riscaldamento (12a) a isolare detta zona di comunicazione (31) e formare una camera chiusa, detta camera chiusa includendo

detta zona di comunicazione (31) ed essendo chiusa rispetto alla camera di riscaldamento, ed in cui l'imboccatura del condotto interno (26) è in comunicazione di fluido con detta camera chiusa (31).

5. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 3 o 4, in cui detto condotto interno (26) è destinato a consentire l'immissione di idrocarburi e detto spazio intermedio (30) è destinato a consentire una fuoriuscita di idrogeno.
6. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il condotto interno 26 ed il condotto esterno (25) sono tubi di sezione circolare o quadrata.
7. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 3 a 6, in cui detto condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) sono disposti verticali nella camera di riscaldamento (12a).
8. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 3 a 7, in cui detto condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) sono fissati da un lato ad una parete di sommità (15) del forno (12).
9. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 3 a 8, in cui il condotto esterno (25) si innesta in una parete di fondo (14) del forno (12) a isolare detta zona di comunicazione (31) rispetto a detta camera di riscaldamento (12a).
10. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 3 a 8, includente catalizzatori metallici almeno sul condotto interno (26).
11. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti includenti riscaldatori disposti nel99la camera di riscaldamento (12a).
12. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti includente mezzi di vibrazione (70) per far vibrare detto primo condotto (25) e/o detto secondo condotto (26).
13. Impianto di pirolisi (100) includente un reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, includente un apparato di rimozione (50) per la rimozione del carbonio (C) formato nella camera di comunicazione (31), detto apparato di rimozione (50) essendo configurato per essere posto in comunicazione con la zona di comunicazione (31).
14. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione 13, in cui l'apparato di rimozione (50) è disposto al di sotto della parete di fondo (14).
15. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione 14 ed una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 10, in cui l'apparato di rimozione (50) è atto ad essere messo

- in comunicazione di fluido con l'imboccatura aperta del condotto interno (26), mediante un passaggio o porta (51) realizzata nella parete di fondo (14)
16. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 13 a 15, in cui l'apparato di rimozione (50) include un battente di chiusura (52) avente funzione di valvola, detto battente di chiusura (52) essendo selettivamente attivabile per consentire una rimozione del carbonio (C) attraverso la porta o apertura (51).
17. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 13 a 16, in cui l'apparato di rimozione (50) include una struttura scatolare (53) definente una camera di raccolta (54) destinata alla raccolta di carbonio (C) tramite detta porta o apertura (51).
18. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione precedente, includente mezzi per rimuovere ossigeno da detta camera di raccolta (54).
19. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti in combinazione con rivendicazione 15, in cui detta porta o apertura è una prima apertura, e detto apparato di rimozione (50) include una seconda porta o seconda apertura (56) in una parete di fondo della camera di raccolta (54), in cui detta seconda porta o seconda apertura (56) è provvista di rispettivo battente di chiusura (57) azionabile selettivamente per una rimozione di carbonio (C) dall'impianto di pirolisi (100).
20. Processo di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), in cui il processo prevede di
- disporre almeno un primo condotto in una camera di riscaldamento per pirolisi in modo che detto primo condotto sia interessato da un flusso orientato dall'alto verso il basso;
 - disporre almeno un secondo condotto nella camera di riscaldamento in modo che detto secondo condotto sia interessato da un flusso orientato dal basso verso l'alto;
 - collegare detto primo condotto con detto secondo condotto in modo che una zona di comunicazione di detto primo condotto con detto secondo condotto sia in una zona di fondo o una zona più bassa della camera di riscaldamento rispetto ad una rimanente parte del primo condotto e del secondo condotto;
 - immettere idrocarburi attraverso il primo condotto;
 - determinare una scissione per via termica degli idrocarburi lungo almeno il primo condotto;
 - far fuoriuscire idrogeno passando attraverso il secondo condotto;

- far cadere per gravità verso detta zona di comunicazione almeno una parte di carbonio (C) prodotto dalla pirolisi.
- 21. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione precedente, in cui nella camera di riscaldamento si raggiungono temperature da 550°C a 1200°C.
- 22. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 20 o 21, che viene effettuato tramite un reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 12.
- 23. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 20, 21 o 22, che viene effettuato tramite un impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 13 a 19.
- 24. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 23, in combinazione con rivendicazione 17, in cui si controlla la quantità di carbonio (C) nel primo condotto e/o nel secondo condotto e si apre la prima apertura di comunicazione, si toglie l'ossigeno nella camera di raccolta (54) e si fa cadere il carbonio (C) nella camera di raccolta (54).
- 25. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 24 e in combinazione con rivendicazione 19, in cui dopo aver raccolto carbonio (C) su un fondo della camera di raccolta (54) si apre la seconda apertura (56) per una rimozione totale di carbonio (C) dal fondo dell'impianto.

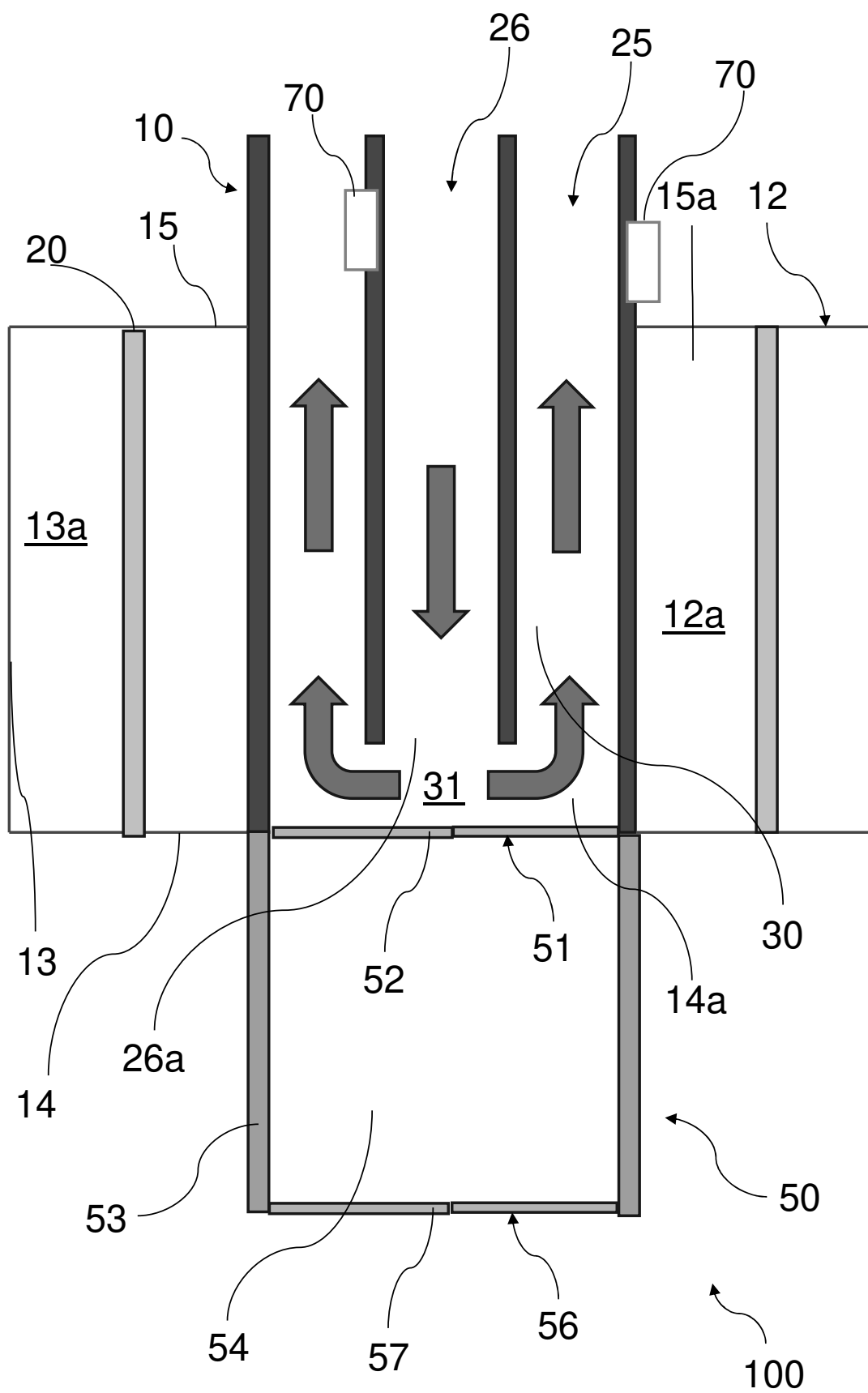


FIG.1

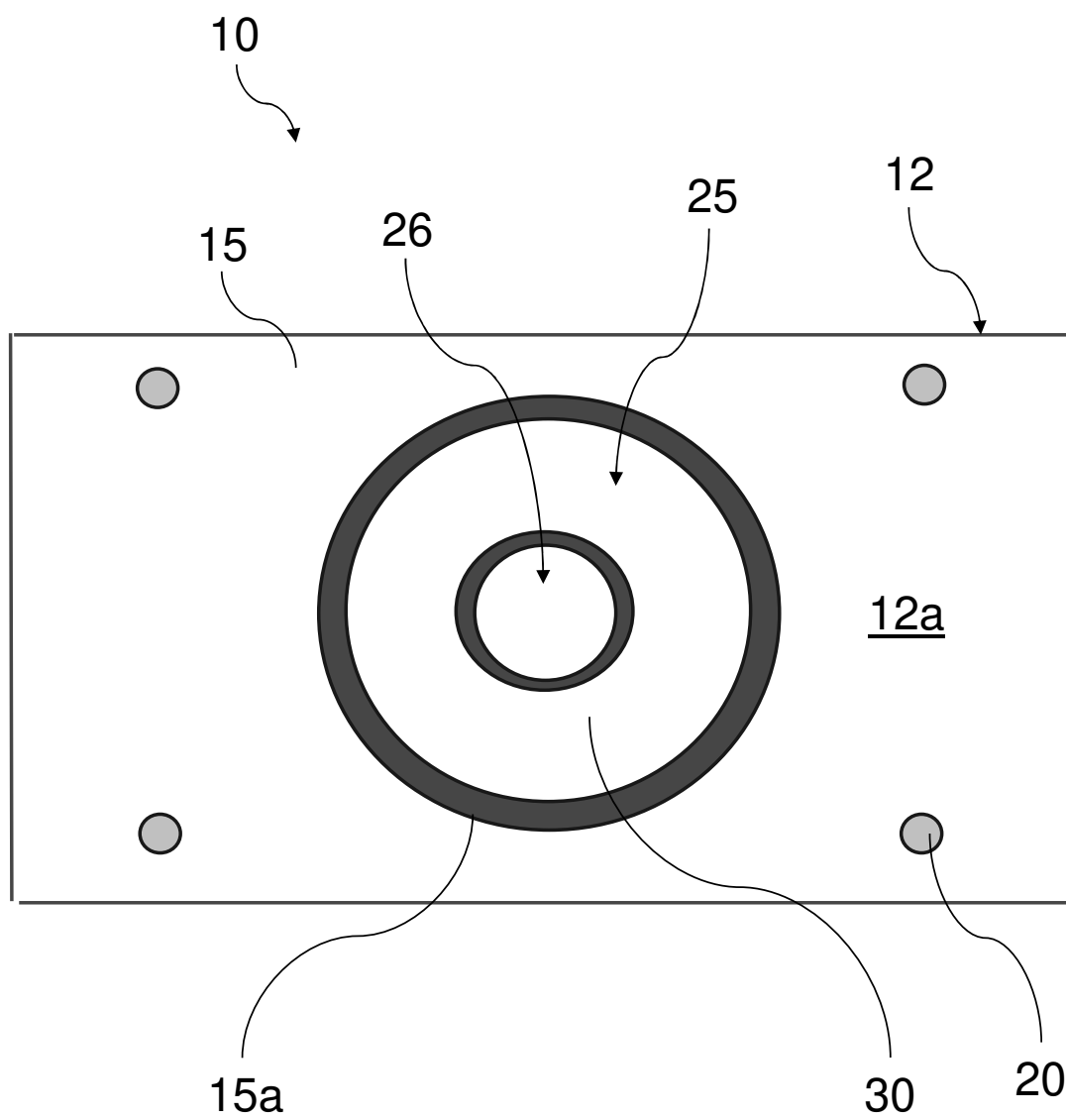


FIG.2

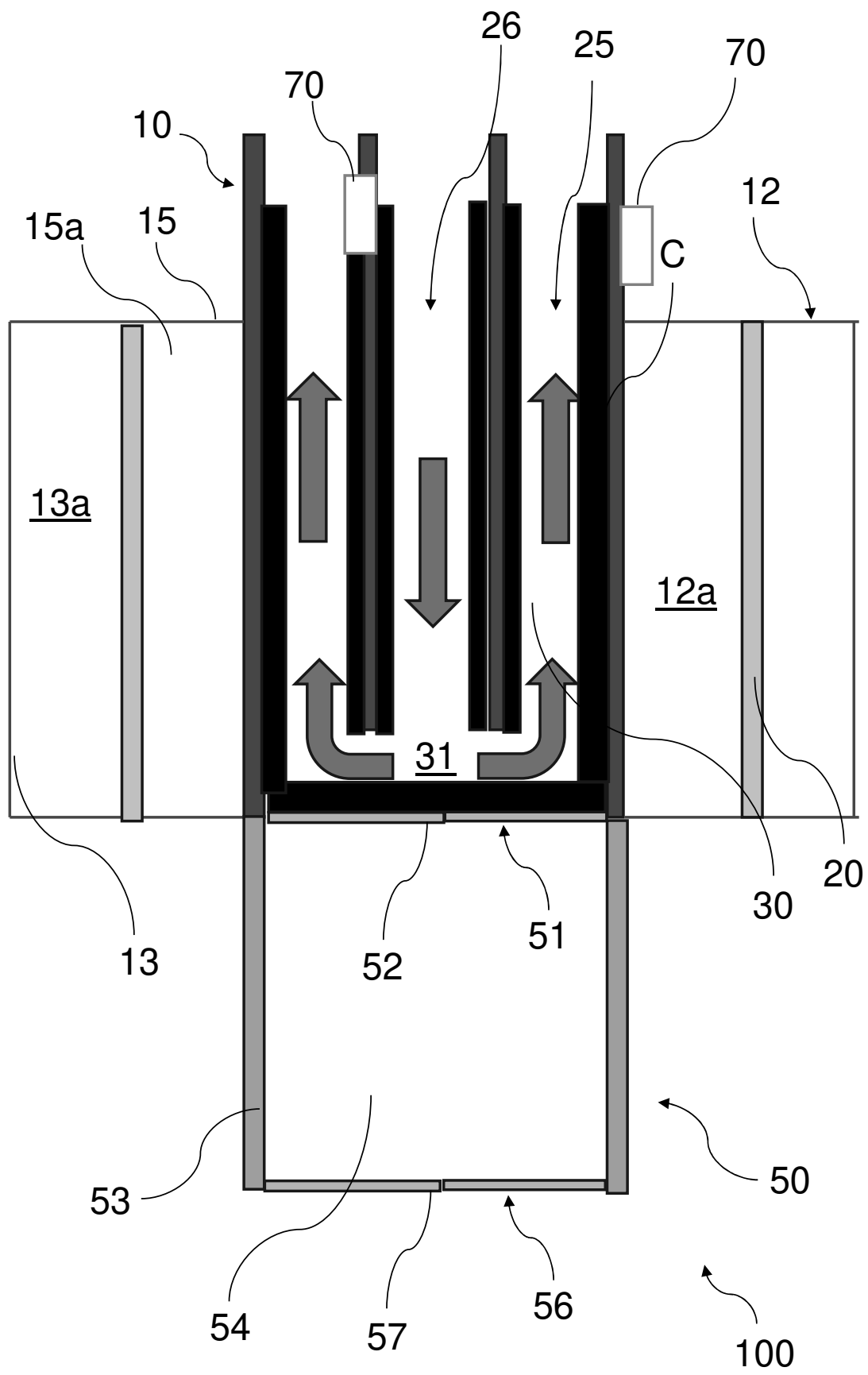


FIG.3

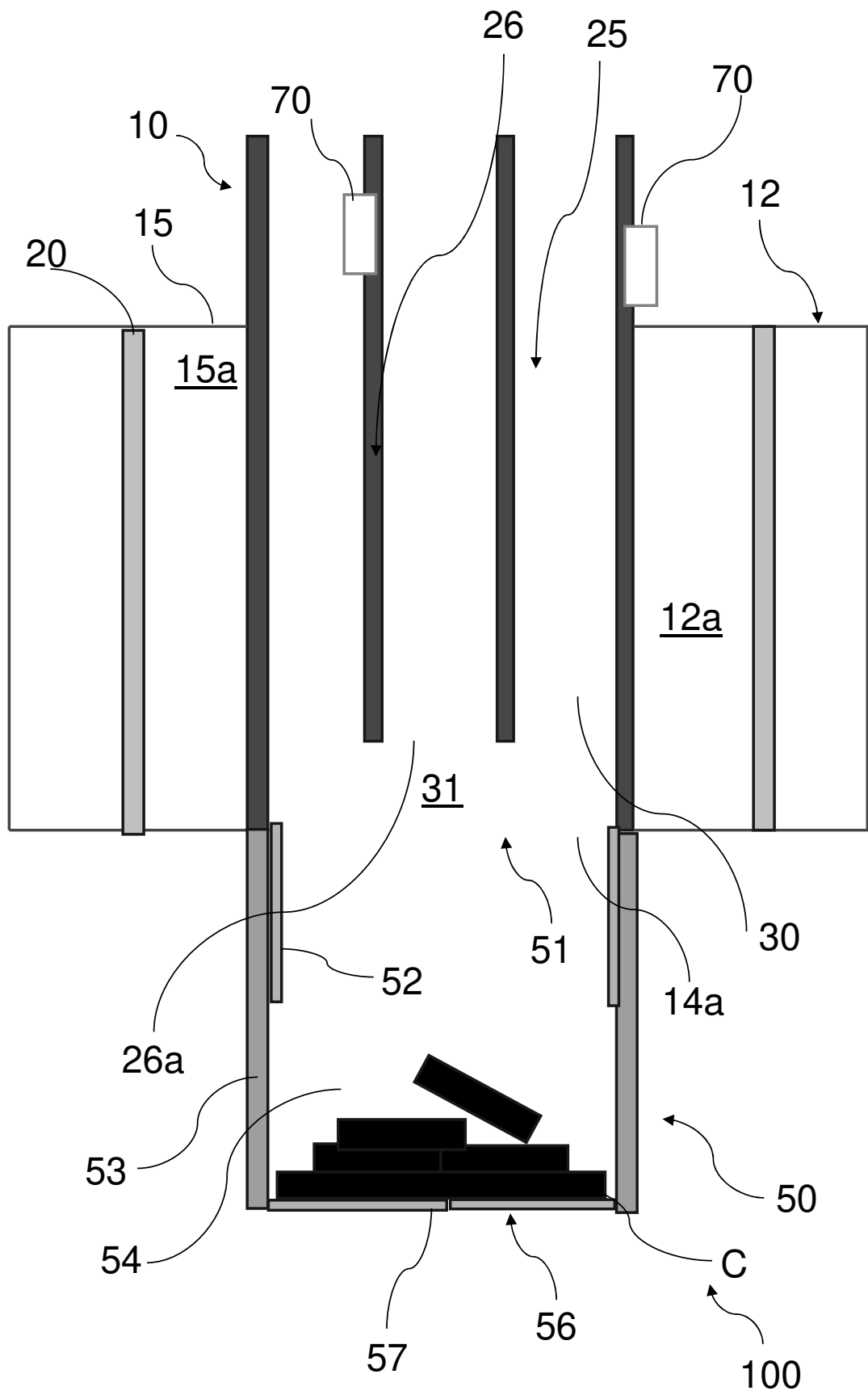


FIG 4

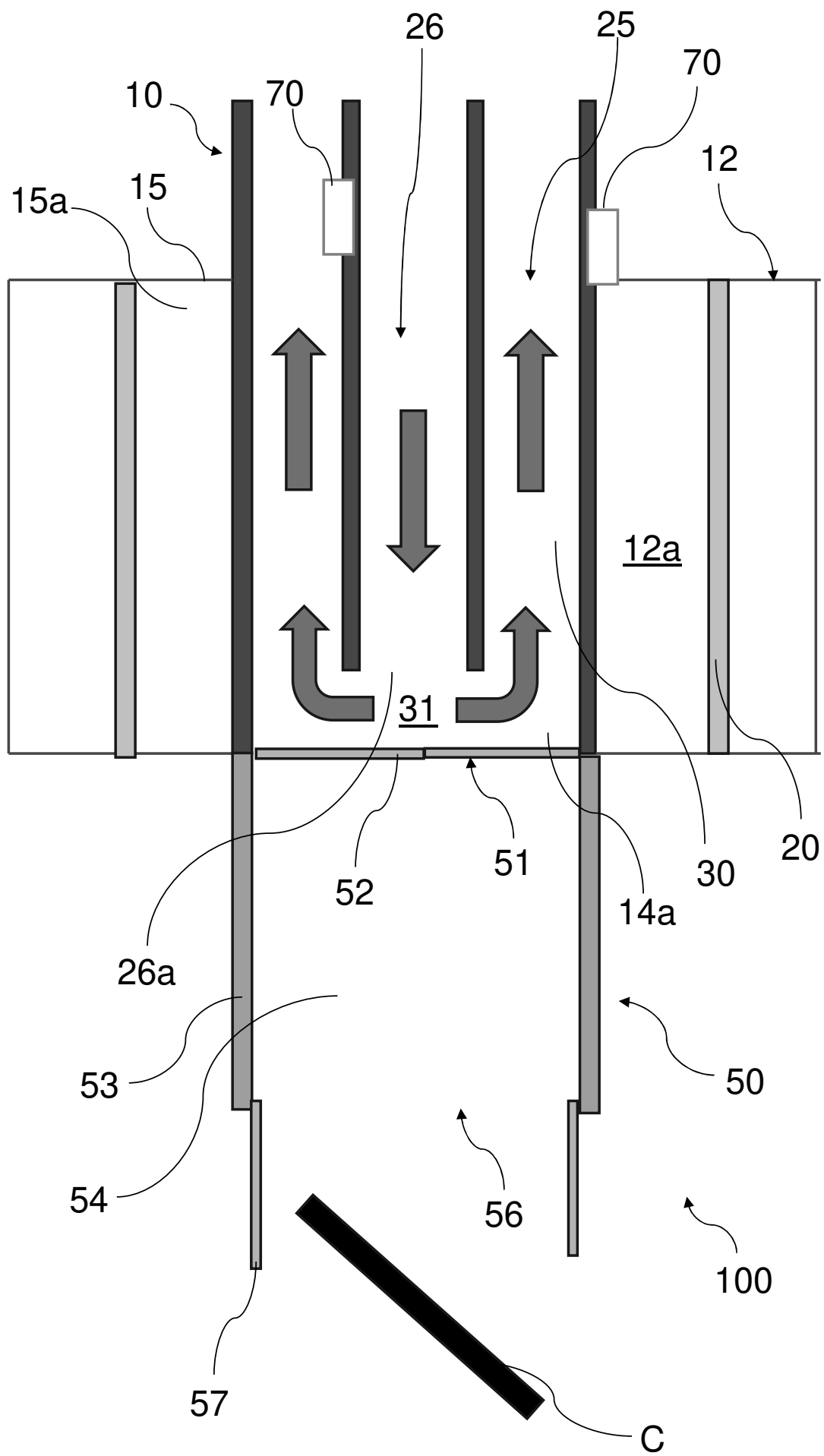


FIG 5



Ministero delle Imprese e del Made in Italy

DIREZIONE GENERALE SVILUPPO PRODUTTIVO E COMPETITIVITA'-
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

RAPPORTO DI RICERCA

Numero della domanda

IO 128487

IT 202300014925

DOCUMENTI CONSIDERATI DI RILIEVO			
Categoria	Citazione del documento con indicazione, se appropriata, delle parti rilevanti	Rivendicazioni rilevanti	CLASSIFICAZIONE DELLA DOMANDA (IPC)
X	WO 2022/251979 A1 (INNOVA HYDROGEN CORP [CA]) 8 December 2022 (2022-12-08)	1-25	INV.
Y	* paragraphs [0001], [[0033]] - [[0038]]; figure 2 *	2-11, 14-19, 21-25	C01B3/00 B01J8/00

X	WO 2021/102521 A1 (MELBOURNE INST TECH [AU]) 3 June 2021 (2021-06-03)	1,13,20	
Y	* paragraphs [0110] - [0112]; figures 7,7A *	2-11, 14-19, 21-25	

X	US 2022/306462 A1 (HENSCHEL CARSTEN [DE] ET AL) 29 September 2022 (2022-09-29)	1,13,20	
Y	* paragraphs [0092] - [0097]; figure 2 *	2-11, 14-19, 21-25	

A,D	MUTO TOMOHIRO ET AL: "Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst", CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE, OXFORD, GB, vol. 274, 21 July 2022 (2022-07-21), XP087307090, ISSN: 0009-2509, DOI: 10.1016/J.CES.2022.117931 [retrieved on 2022-07-21] * the whole document *	1-25	CAMPI TECNICI RICERCATI (IPC) B01J C10H C01C C01B C10B

Questo rapporto di ricerca è stato redatto sulla base di tutte le rivendicazioni			
Munich		Data di completamento della ricerca 19 February 2024	Esaminatore Cagnoli, Michele
CATEGORIA DEI DOCUMENTI CITATI			
X : di particolare rilevanza se considerato singolarmente Y : di particolare rilevanza se combinato con un altro documento della stessa categoria A : informazione generica O : divulgazione orale P : documento intermedio		T : teoria o principio alla base dell'invenzione E : documento brevettuale antecedente, ma pubblicato dopo o alla data di deposito D : documento citato nella domanda L : documento citato per altre ragioni & : membro della stessa famiglia di brevetti, documento corrispondente	

1

EPO FORM 1503 07.08 (P04C74)

ALLEGATO AL RAPPORTO DI RICERCA SULLA DOMANDA DI BREVETTO ITALIANO N.

IO 128487
IT 202300014925

Questo allegato enumera i membri della famiglia di brevetti relativi a documenti brevettuali citati nel summenzionato rapporto di ricerca.

I membri sono indicati come da database dell'Ufficio Europeo dei Brevetti al **19-02-2024**

L'Ufficio Europeo dei Brevetti non si assume alcuna responsabilità per queste indicazioni, che vengono fornite a solo scopo informativo.

Documenti brevettuali citati nel rapporto di ricerca		Data di pubblicazione	Membri della famiglia di brevetti			Data di pubblicazione
WO 2022251979 A1		08-12-2022	AU	2022283847 A1		25-01-2024
			CA	3221046 A1		08-12-2022
			WO	2022251979 A1		08-12-2022

WO 2021102521 A1		03-06-2021	AU	2020390856 A1		16-06-2022
			CN	115210177 A		18-10-2022
			EP	4065510 A1		05-10-2022
			US	2023348788 A1		02-11-2023
			WO	2021102521 A1		03-06-2021

US 2022306462 A1		29-09-2022	CN	114867683 A		05-08-2022
			EP	4048630 A1		31-08-2022
			JP	2023500816 A		11-01-2023
			KR	20220088767 A		28-06-2022
			US	2022306462 A1		29-09-2022
			WO	2021078614 A1		29-04-2021



Ministero delle Imprese e del Made in Italy

DIREZIONE GENERALE SVILUPPO PRODUTTIVO E COMPETITIVITA'-
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

OPINIONE SCRITTA

N. dossier IO128487	Data di deposito (gg/mm/aa) 17.07.2023	Data di priorità (gg/mm/aa)	N. domanda IT202300014925
Classificazione Internazionale dei Brevetti (IPC) INV. C01B3/00 B01J8/00			
Richiedente ELSAFRA II S.P.A.			

Questa opinione fornisce indicazioni riguardanti i seguenti elementi:

- ☒ Riquadro N. I Base dell'opinione
- ☐ Riquadro N. II Priorità
- ☐ Riquadro N. III Non-redazione di un'opinione a riguardo di novità, attività inventiva e applicazione industriale
- ☐ Riquadro N. IV Violazione del requisito d'unità dell'invenzione
- ☒ Riquadro N. V Dichiarazione motivata a riguardo di novità, attività inventiva o applicazione industriale; citazioni e spiegazioni giustificative della dichiarazione
- ☐ Riquadro N. VI Particolari documenti citati
- ☐ Riquadro N. VII Difetti particolari nella domanda
- ☐ Riquadro N. VIII Osservazioni particolari a riguardo della domanda

	Esaminatore Cagnoli, Michele
--	---------------------------------

OPINIONE SCRITTA

IT202300014925

Riquadro N. I Base dell'opinione

1. Questa opinione è stata redatta sulla base delle ultime rivendicazioni depositate prima dell'inizio della ricerca nella tecnica anteriore.
2. Per quanto concerne eventuali sequenze di nucleotidi e/o amminoacidi descritte nella domanda, questa opinione è stata redatta sulla base di una lista di sequenze:
 - a. ☐ formante parte della domanda al momento del deposito della medesima
 - b. ☐ fornita successivamente alla data di deposito della domanda, al fine della ricerca di anteriorità
 - ☐ accompagnata da una dichiarazione che le informazioni contenute nella lista di sequenze non vanno oltre quelle contenute nella domanda al momento del deposito
3. ☐ Per quanto concerne ogni eventuale sequenza di nucleotidi e/o amminoacidi descritta nella domanda, questa opinione è stata redatta nei limiti in cui un parere significativo possa essere espresso in mancanza di una lista di sequenze in formato conforme allo standard WIPO ST.26.
4. Note aggiuntive:

Riquadro N. V Dichiarazione motivata a riguardo di novità, attività inventiva o applicazione industriale; citazioni e spiegazioni giustificative della dichiarazione

1. 1. Dichiarazione

Novità (N)	Sì:	Rivendicazioni	12, 14-19, 24, 25
	No:	Rivendicazioni	1-11, 13, 20-23
Attività inventiva (IS)	Sì:	Rivendicazioni	
	No:	Rivendicazioni	1-25
Applicazione industriale (IA)	Sì:	Rivendicazioni	1-25
	No:	Rivendicazioni	

2. 2. Citazioni e spiegazioni

si veda l'allegato

Reference is made to the following documents:

- D1 WO 2022/251979 A1 (INNOVA HYDROGEN CORP [CA]) 8 December 2022 (2022-12-08)
- D2 WO 2021/102521 A1 (MELBOURNE INST TECH [AU]) 3 June 2021 (2021-06-03)
- D3 US 2022/306462 A1 (HENSCHHEL CARSTEN [DE] ET AL) 29 September 2022 (2022-09-29)
- D4 MUTO TOMOHIRO ET AL: "Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst",
CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE, OXFORD, GB,
vol. 274, 21 July 2022 (2022-07-21), XP087307090,
ISSN: 0009-2509, DOI: 10.1016/J.CES.2022.117931
[retrieved on 2022-07-21]

Re Item V

- 1 The present application does not meet the requirements of patentability because the subject-matter of claim 1 and of claim 20 is not new.
- 1.1 Document D1 discloses (see paragraph [0001], [0033] and [0038] and Figure 2) a method and an apparatus for producing graphene by pyrolysis of hydrocarbons in the presence of a catalyst through a pyrolysis reactor (10) for the pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon, wherein the pyrolysis reactor (10) includes a furnace (16,20) which defines a heating chamber defined by and also corresponding to a tubular reaction structure (3, 35, 12, 20, 16) (see paragraphs [0033] and [0038])), wherein a pyrolysis reaction takes place.
- The tubular reaction structure of D1 includes eventually a bottom area and includes two conduits (12 and 35) allowing the supply of hydrocarbon (34), and outflow of hydrogen from and towards items external to the reactor.
- The two conduit are in fluid communication through a bottom area of the reaction zone, which is included in the heating chamber.
- 1.1.1 This means that D1 discloses both the pyrolysis reactor of claim 1 and the pyrolysis process of claim 20, which are therefore not new.

- 1.2 The attention of the applicant is drawn to the fact that similar reactors are also disclosed by document D2 and D3, in view of which claim 1 is also not new.
- 2 D1 also discloses (see Figure 4 and paragraphs [0046] to [0048]) a filter placed at the exit of hydrogen flow and in communication with the communication area between the two conduit (12 and 35) of the tubular reaction system of the reactor. And in view of this also the pyrolysis plant of claim 13 and the subject-matter of claim 2 is not new in view of D1.
- 3 The additional features of dependent claims 3 to 11 and 21 to 23 are also disclosed by D1 and they are also considered as not new.
- 4 The additional features of dependent claims 12, 14 to 19, 24 and 25 appears to be one of the available technical options that the skilled person would consider for providing the same advantages as defined in the present application.
- 4.1 The said claims 14 to 19, 24 and 25 are therefore considered as not involving any inventive step.

Milano, 14 aprile 2025

Ministero delle Imprese e del Made in Italy
Direzione Generale per la Proprietà Industriale
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi
Via Molise 19
00187 Roma RM

I-H2 S.r.l.

Domanda di Brevetto per Invenzione n. 102023000014925 depositata il 17 luglio 2023

Ns. Rif.: BI3167M/MSS/mss

Spettabile Ufficio,

con la presente si fa riferimento alla domanda n. 102023000014925 in oggetto e alla rispettiva Comunicazione Ministeriale emessa nel corso del procedimento di esame, che fissava il termine del 17/04/2025 per rispondere alle obiezioni sollevate nell'Opinione di Brevettabilità allegata al Rapporto di Ricerca.

Nell'Opinione Scritta allegata al Rapporto di Ricerca l'esaminatore riconosce la novità delle rivendicazioni 12, 14-19 24 e 25 ma obietta l'inventività di tutte le rivendicazioni 1-25 originariamente depositate.

Per superare le obiezioni di novità e attività inventiva sollevate nell'Opinione di Brevettabilità allegata al rapporto di Ricerca sono fornite in allegato delle rivendicazioni modificate e a seguire le relative argomentazioni tecniche a supporto.

F. de Benedetti
J. de Benedetti
M. Mondolfo
E. Papa

G. Barbaro
B. Besati
E. Concone
E. D'Amore
M. Delluniversità
P. Di Giovine
C. Germinario
M. Gori
M. Manfrin
F. Moscone
A. Patrono
V. Predazzi
D. Rondano
A. Soldatini
A. Torrigiani

R. G. Beretta
C. Bogna
S. Catalucci
D. Dabergami
A. De Ros
E. De Sandre
C. Del Peschio
G. Demegni
S. Di Marco
P. Giopato
M. Hasiow
C. Lamantea
S. Manna
R. Montemurro
G. Perucci
S. Pietri
M. Pozzato
S. Santoro
B. Soranzo
C. Tavagnacco
P. Veronesi
D. Zuliani

of counsel
G.A. Gripiotti

Roma
Piazza di Pietra, 39
00186 Roma
T +39 06 695441
roma@sib.it

Firenze
Corso dei Tintori, 25
50122 Firenze
T +39 055 263221
firenze@sib.it

Milano
Via Giosuè Carducci, 8
20123 Milano
T +39 02 806331
milano@sib.it

Verona
Stradone San Fermo, 21
37121 Verona
T +39 045 8014990
verona@sib.it

www.sib.com

Società Italiana Brevetti S.p.A. – sede legale: Piazza di Pietra, 39 00186 Roma - Reg. Impr. RM / C.F. 00399970581 – IVA/VAT IT00880811005
Capitale versato Eur 400.400,00 – pol. assic./insurance pol. Zurich: Eur 10.000.000,00 per sinistro/per claim Eur 10.000.000,00 per anno/per year

1. Emendamenti apportati alle rivendicazioni originariamente depositate

Senza necessariamente condividere nel merito le obiezioni sollevate nell'Opinione di Brevettabilità, le rivendicazioni sono state emendate per meglio evidenziare le differenze dell'invenzione rispetto allo stato dell'arte.

In particolare, la rivendicazione 1 è stata modificata includendovi l'oggetto della rivendicazione originale 3 e inoltre specificando che i condotti esterno ed interno sono configurati in modo da garantire l'unidirezionalità del flusso dei gas impiegando come base, ad esempio, la rivendicazione 1 originale che già specificava che l'uno tra il condotto esterno (25) ed il secondo condotto interno (26) è configurato per l'immissione di idrocarburi e è configurato per la fuoriuscita di idrogeno, nonché le Figure di originario deposito, in particolare la Fig. 1, in cui l'unidirezionalità del flusso si evince anche dalle frecce (in rosso).

La rivendicazione 3 è stata, di conseguenza, eliminata e le restanti rivendicazioni rinumerate in accordo.

Per pronto riferimento dell'Ufficio, alleghiamo alla presente sia una copia riscritta sia una copia con revisioni in evidenza delle rivendicazioni come ora modificate.

Le rivendicazioni come ora proposte rimangono nel perimetro di quanto originariamente descritto i.e. non aggiungono materia che si estende oltre il contenuto della domanda originariamente depositata e pertanto non rappresentano motivo di revoca ai sensi dell'Art. 76 CPI.

Per le ragioni di seguito esposte, è opinione della Scrivente che le rivendicazioni modificate allegate alla presente soddisfino i requisiti di novità ed attività inventiva.

2. Osservazioni sulla brevettabilità

2.1. Novità (art. 46 CPI) e attività Inventiva (A. 48 CPI)

Nell'Opinione Scritta allegata al Rapporto di Ricerca l'esaminatore riconosce la novità delle rivendicazioni 12, 14-19 24 e 25 ma obietta l'inventività di tutte le rivendicazioni 1-25 originariamente depositate.

In particolare, la rivendicazione 1 è stata ritenuta carente di novità rispetto a quanto già descritto nei documenti anteriori ivi citati, in particolare rispetto a D1.

D1 (WO 2022/251979) è una domanda di brevetto internazionale che descrive un metodo e un impianto per la produzione di grafene (allotropo del carbonio) mediante pirolisi di idrocarburi con *recovering* di idrogeno (abstract, par. 1, par. 4, par. 5).

L'apparato di D1 comprende: un reattore di forma allungata avente una prima estremità e una seconda estremità, la prima estremità configurata per ricevere idrocarburi; un canale definito al suo interno per convogliare un fluido comprendente idrocarburi tra la prima e la seconda estremità, una sezione terminale collegata alla seconda estremità, la sezione terminale selettivamente permeabile all'idrogeno gassoso e impermeabile agli altri componenti della miscela di reazione; e una sezione di raccolta dell'idrogeno collegata alla seconda estremità per ricevere l'idrogeno gassoso dalla sezione terminale, la sezione di raccolta dell'idrogeno essendo impermeabile all'idrogeno gassoso (Par. [0006]).

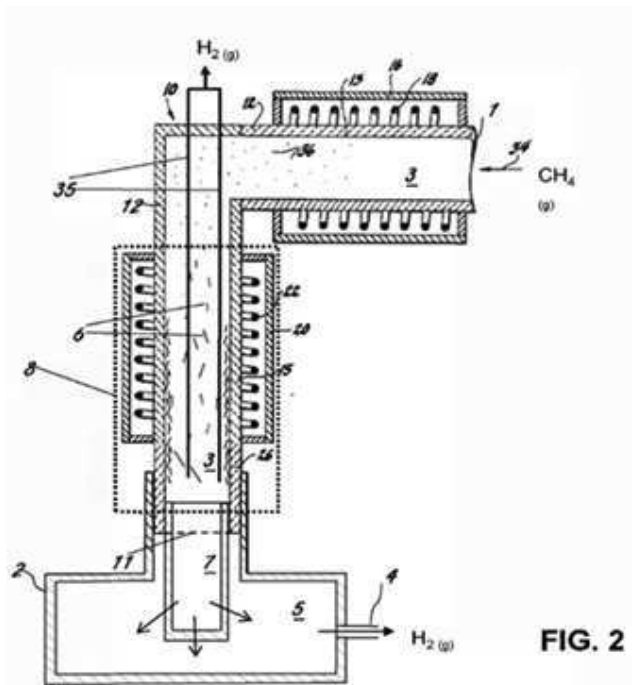
Il reattore può comprendere anche un manicotto, posto in prossimità di almeno un elemento riscaldante, realizzato con un materiale impermeabile all'idrogeno e definente uno spazio sigillato tra il manicotto e il reattore (par. [0011]).

La FIG. 2 illustra un reattore per la produzione di grafene e idrogeno. Il reattore (10) comprende un tubo (12) che definisce un passaggio continuo per il gas (3) contenente idrocarburi (34) tra una prima estremità, o ingresso (1), e una seconda estremità, o uscita (11) del tubo (12). Intorno al reattore (10) possono essere installate una fornace (16) con un elemento di riscaldamento a resistenza elettrica (18) per riscaldare una prima zona di reazione (13) all'interno del tubo (12) e una seconda fornace (20), comprendente un elemento di riscaldamento (22), per riscaldare una seconda zona di reazione (15) all'interno del tubo 12 (par. [0031]).

Al par. [0033] si dice che possono essere anche presenti una pluralità di tubi 12.

Nella zona riscaldata (15), il metano può essere decomposto. Il carbonio risultante può reagire con il catalizzatore (36) per produrre microscopici filamenti di grafene (6) che possono essere raccolti ad esempio mediante un anello o una serie di anelli configurati per essere inseriti nel tubo (12) per raschiare o battere il grafene dalle pareti interne del tubo.

Il reattore (10) comprende una sezione terminale (7) realizzata in materiale permeabile all'idrogeno gassoso e sostanzialmente o completamente impermeabile agli altri gas presenti nel tubo 12, come il metano o i gas inerti, fissata (ad esempio, in modo filettato o tramite saldatura) all'uscita (11) del tubo (12). Durante la pirolisi, l'idrogeno può passare attraverso la sezione terminale (7) in una sezione di raccolta dell'idrogeno (2) che può essere realizzata con un materiale impermeabile all'idrogeno o resistente al passaggio dell'idrogeno, come un materiale ceramico o il ferro. L'idrogeno (5) può quindi uscire dalla sezione di raccolta 2 attraverso un'uscita 4 (par. [0037]). Contrassegnato con (8) è un manicotto impermeabile all' H_2 che può essere previsto intorno al tubo principale (12) e al riscaldatore (20) (par. [0037]).



L'apparato (10) può comprendere una o più linee di raccolta dell'idrogeno (35), realizzate in un materiale permeabile all'idrogeno come, ad esempio, l'acciaio inossidabile, per rimuovere l'idrogeno dall'interno del tubo (12) e possono fornire un certo grado di controllo sul contenuto di idrogeno all'interno del reattore oltre che aumentare la turbolenza all'interno del tubo (12) (par. [0039]). Come mostrato in FIG. 4, il sistema di D1 può comprendere inoltre un sistema di filtrazione 306 con uno o più filtri che diventano progressivamente più fini. Il sistema di filtrazione 306 può essere facoltativamente chiuso e periodicamente aperto per rimuovere il grafene, ad esempio mediante agitazione o vibrazione (par. [0046]).

Secondo l'Esaminatore, le rivendicazioni principali (rivendicazione 1 di reattore, rivendicazione 13 di impianto e rivendicazione 20 di processo) non sarebbero nuove in

quanto D1 descriverebbe un reattore dotato di una fornace (16,20) definente una camera riscaldante e corrispondente ad una struttura tubolare di reazione (3, 12).

L'Esaminatore considera le linee di idrogeno (35) come condotti interni al condotto principale (12). I condotti sarebbero in comunicazione di fluido tra loro mediante un'area di fondo della zona di reazione inclusa nella camera riscaldata.

Il Richiedente non condivide questa opinione almeno per le seguenti ragioni.

La rivendicazione 1 modificata ora legge:

1. Reattore di pirolisi (10) per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), in cui il reattore di pirolisi (10) comprende:

- un forno (12) avente una camera di riscaldamento (12a), detta camera di riscaldamento (12a) avente una zona di fondo (14a) e
- almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento (12a) e collegata con una zona esterna posta all'esterno della camera di riscaldamento (12a) per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno,

il reattore di pirolisi essendo caratterizzato dal fatto che la struttura tubolare di reazione include un condotto esterno (25) e un condotto interno (26) che sono posti l'uno dentro l'altro a definire uno spazio intermedio (30) tra il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) e si estendono da una zona di sommità (15a) della camera di riscaldamento (12a), o zona più alta rispetto alla zona di fondo (14a), verso la zona di fondo (14a),

in cui l'uno tra il condotto esterno (25) ed il condotto interno (26) è configurato per l'immissione di idrocarburi e l'altro è configurato per la fuoriuscita di idrogeno

in cui una imboccatura del condotto interno (26) rivolta verso la zona di fondo (14a) è circondata da detto condotto esterno (25) e pone in comunicazione di fluido il condotto interno (26) con detto spazio intermedio (30) in modo da definire una zona di comunicazione (31) e creare un flusso di fluido passante lungo il condotto interno (26) e lo spazio intermedio (30), o viceversa, attraverso detta imboccatura del condotto interno (26), detto condotto esterno (25) e condotto interno (26) essendo configurati in modo che detto flusso di fluido sia unidirezionale.

Come spiegato, la rivendicazione principale 1 è stata emendata specificando che il reattore comprende un canale interno e un canale esterno posti l'uno dentro l'altro, il reattore essendo configurato per consentire il flusso in ingresso di idrocarburi attraverso il canale interno e in uscita di idrogeno attraverso il canale esterno (o meglio attraverso lo spazio intermedio interposto tra canale interno e canale esterno) oppure viceversa.

In altre parole, e come ora esplicitato in rivendicazione 1 detto condotto esterno (25) e condotto interno (26) sono configurati in modo che detto flusso di fluido sia unidirezionale (vedere anche FIG. 1 in cui le frecce in rosso indicano la direzione del flusso di gas).

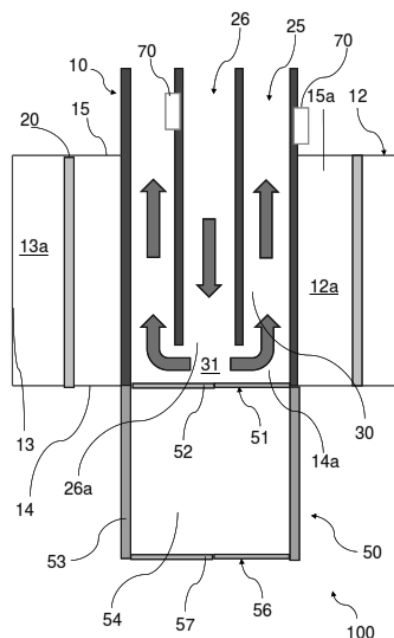


FIG.1

Pertanto, la configurazione del reattore a condotti concentrici (o struttura a condotti uno dentro l'altro) consente il verificarsi di una differenza di pressione (o delta di pressione) che favorisce un flusso unidirezionale, ossia un circuito di fluido passante dal condotto interno allo spazio intermedio attraverso la zona di comunicazione se l'immissione del fluido idrocarburico avviene dalla sommità del condotto interno oppure un circuito di fluido passante dallo spazio intermedio al condotto interno attraverso la zona di comunicazione se l'immissione del fluido idrocarburico avviene dalla sommità del condotto esterno o sommità dello spazio intermedio.

Come inteso da un tecnico del settore, con la dicitura "flusso unidirezionale" si intende anche che nel reattore non si verifica ritorno di idrogeno o non si verificano fughe di idrogeno controcorrente. In altre parole, nel reattore rivendicato, l'idrogeno non risale il condotto in cui vengono immessi gli idrocarburi. Ad esempio, il flusso in entrata di idrocarburi sarà sempre nello stesso verso e il flusso di idrogeno in uscita è sempre nello stesso verso, ad esempio dal basso verso l'alto.

Come spiegato nella domanda originariamente depositata, detto fluido in ingresso comprenderà sostanzialmente idrocarburi che discendono il primo condotto (ossia il condotto da cui sono immessi) mentre in uscita comprende sostanzialmente l'idrogeno ottenuto dalla reazione di pirolisi che risale il secondo condotto. Ciò si verifica anche

perché il metano ha densità maggiore dell'idrogeno e quindi una volta immesso in uno dei due condotti tenderà a discendere il condotto (dall'alto verso il basso) a differenza dell'idrogeno che avendo appunto densità minore risalirà il secondo condotto dal basso verso l'alto favorendo altresì la caduta o raccolta del carbonio formatosi per pirolisi in una zona di raccordo o di comunicazione posta sul fondo o a valle dei due condotti.

Contrariamente al reattore della presente invenzione, il reattore di D1 comprende le linee di fluido (35) che sono canali di risalita selettivamente permeabili all'idrogeno. In altre parole, il reattore di D1 non solo è diverso da quello della presente invenzione ma non può nemmeno funzionare in maniera analoga. Il reattore di D1, infatti, non garantisce la unidirezionalità del flusso nei canali concentrici ma al contrario garantisce la permeabilità dei gas da un canale all'altro. Ciò risulta evidente anche perché appunto le linee 35 sono condotti di risalita per l'idrogeno che nulla hanno a vedere con la configurazione a canali concentrici del reattore della presente invenzione.

Nessuno degli altri documenti anteriori citati, in particolare **D2** (WO 2021/102521 A) e **D3** (US 2022/306462 A1), suggeriva di modificare il reattore di D1 sostituendo i condotti di risalita di D1 con una configurazione a condotti concentrici che garantisse il flusso unidirezionale in modo da ottenere un reattore con le caratteristiche tecniche ora rivendicate in rivendicazione 1. Per completezza, notiamo inoltre che **D4 (Muto et al. Chemical engineering Science, 2022)** non è stato considerato come documento rilevante ai fini della valutazione di brevettabilità dell'invenzione ed è stato indicizzato come documento "A".

Per quanto sopra detto, riteniamo che le rivendicazioni 1-24 soddisfino anche il requisito di attività inventiva secondo l'Art. 48 CPI, ovvero non siano ovvie rispetto allo stato dell'arte citato.

3. Conclusioni

Sulla base delle modifiche apportate alle rivendicazioni e degli argomenti addotti, si richiede a questo Spettabile Ufficio di voler riconoscere che il set di rivendicazioni come ora emendato soddisfa i requisiti degli articoli 46, 48, 49 CPI e di voler pertanto procedere al rilascio del brevetto.

Nel caso in cui codesto Ufficio dovesse emettere un rilievo ai sensi dell'Art. 173(1) CPI, si richiede si avere un'altra possibilità di depositare argomentazioni e/o emendamenti ai sensi dell'Art. 172(2), 172(3) o 173(7) CPI.

Società Italiana Brevetti

Milano, 14 aprile 2025

Ministero delle Imprese e del Made in Italy



Con osservanza.

SOCIETÀ ITALIANA BREVETTI

Sofia Santoro

(Iscr. Albo n. 1800 B)

A handwritten signature in black ink, reading 'Sofia Santoro'. The signature is written in a cursive, flowing style.

All.

Rivendicazioni modificate (sia copia con revisioni in evidenza sia copia riscritta)

RIASSUNTO

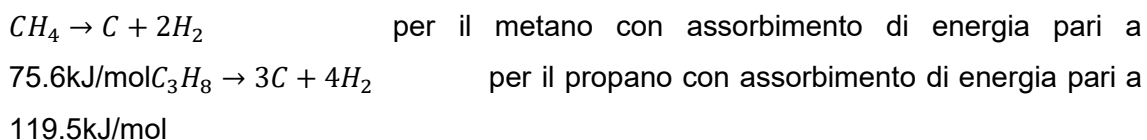
La presente invenzione si riferisce ad un reattore di pirolisi (10) per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), un impianto di pirolisi che include il reattore ed un rispettivo processo. Il reattore di pirolisi (10) include un forno (12) avente una camera di riscaldamento (12a), detta camera di riscaldamento (12) presentando almeno una zona di fondo (14a). Il reattore di pirolisi (10) include almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, detta struttura tubolare di reazione, in quanto è disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento (12a) e collegata con una zona esterna alla camera di riscaldamento (12a), per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno. La struttura tubolare di reazione include almeno un primo condotto (25) ed un secondo condotto (26) orientati da una zona di sommità (15a), o zona in posizione superiore rispetto alla zona di fondo, verso la zona di fondo (14a), in cui l'uno tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una immissione di idrocarburi e l'altro tra il primo condotto (25) ed il secondo condotto (26) è destinato a condurre almeno una fuoriuscita di idrogeno. Il primo condotto (25) è in comunicazione di fluido con il secondo condotto tramite una zona di comunicazione (31), detta zona di comunicazione (31) è disposta inferiormente, e/o nella zona di fondo (14a), almeno rispetto a rimanenti parti del primo condotto (25) ed il secondo condotto (26).

(figura 1)

REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI

La presente invenzione si riferisce, in generale, ad un reattore di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi, ad un impianto di pirolisi che include detto reattore e ad un rispettivo processo di pirolisi.

Il processo di pirolisi degli idrocarburi gassosi, in particolare propano (o GPL-Gas di Petrolio Liquefatto) e metano (o gas naturale), viene realizzato attraverso il riscaldamento dei gas che comporta la loro scissione per via termica secondo le seguenti reazioni:



e più, in generale, per altri idrocarburi affini secondo la reazione:



(T. Muto, M. Asahara, T. Miyasaka, K. Asato, T. Uehara, M. Koshi, Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst, Chemical Engineering Science (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117931>

Markova, E.B. Cherednichenko, A.G.; Smirnova, S.S.; Sheshko, T.F.; Kryuchkova, T.A. Features of the Catalytic Cracking of Propane with a Step-Wise Change PrxYb2□xZr2O7. Catalysts 2023, 13, 396. <https://doi.org/10.3390/catal13020396>)

Il processo di pirolisi degli idrocarburi gassosi consente di ottenere due materiali:

- carbonio solido in forma di grafite cristallina, anche con presenza di forme allotropiche nanostrutturate: nanotubi di carbonio, grafene, fullerene;
- idrogeno gassoso.

Il processo di pirolisi può essere effettuato in un forno o reattore che può essere vuoto o riempito di materiale inerte o di materiale cataliticamente attivo (pirolisi catalitica).

In tali processi di pirolisi è noto il problema di gestire il carbonio che si forma come sottoprodotto nella decomposizione di materiali organici, e che può condizionare la struttura ed il funzionamento del forno di reazione. Infatti, il carbonio può determinare una ostruzione di zone di accesso del reattore, impedire un corretto funzionamento dei catalizzatori o impedire una corretta separazione dell'idrogeno gassoso che si forma.

Per ovviare a tale problema spesso è necessario operare a bassa pressione parziale, sia ricorrendo al vuoto, sia con l'uso di un gas inerte come CO₂ o N₂ come diluente.

Questa soluzione richiede tuttavia l'installazione di strutture aggiuntive per l'impiego di gas inerte che complicano l'impianto e hanno costi aggiuntivi.

SOMMARIO DELL'INVENZIONE

Il problema tecnico posto e risolto dalla presente invenzione è quello di mettere a punto un reattore di pirolisi, un impianto di pirolisi ed un rispettivo processo di pirolisi che siano configurati e strutturati per facilitare una rimozione di carbonio.

Tale problema viene risolto da un reattore di pirolisi, un impianto di pirolisi ed un rispettivo processo di pirolisi come definiti nelle rispettive rivendicazioni indipendenti. Caratteristiche secondarie dell'invenzione sono definite nelle rispettive rivendicazioni dipendenti.

In pratica, viene messo a disposizione un reattore di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi con formazione di idrogeno e carbonio, in cui il reattore di pirolisi include un forno avente una camera di riscaldamento. La camera di riscaldamento presenta almeno una zona di fondo. Il reattore di pirolisi include inoltre almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, in cui la struttura tubolare di reazione è disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento ed è collegata con una zona esterna alla camera di riscaldamento, per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, la struttura tubolare di reazione include almeno un primo condotto ed un secondo condotto che si estendono entrambi dall'alto verso il basso, vale a dire da una zona superiore ad una zona inferiore, oppure ancora da una zona di sommità verso la zona di fondo, o viceversa, in cui l'uno tra il primo condotto ed il secondo condotto è destinato a condurre almeno una immissione di idrocarburi e l'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto è destinato a condurre, almeno in parte, una fuoriuscita di idrogeno. Ne consegue che gli idrocarburi possono essere immessi in una sorta di condotto in discesa, e l'idrogeno è fatto uscire in una sorta di condotto in salita. Secondo la presente divulgazione, una zona di raccordo tra tali condotti è una zona inferiore o una zona di fondo rispetto ad almeno una rimanente parte del primo condotto ed una rimanente parte del secondo condotto.

Si intende che, secondo la presente divulgazione, detto primo condotto e detto secondo condotto hanno almeno parzialmente una configurazione tale da consentire una discesa e risalita dei fluidi in modo che la zona di raccordo sia, rispetto ad una direzione dei fluidi, una zona di fondovalle.

Ne consegue che secondo la presente divulgazione, il primo condotto è in comunicazione di fluido con il secondo condotto tramite una zona di comunicazione, che si trova in una zona di fondo, o più bassa, o zona inferiore, rispetto ad una zona di alimentazione degli idrocarburi e più bassa, o zona inferiore, rispetto ad una zona di uscita o di fuoriuscita di idrogeno dalla camera di riscaldamento.

In altre parole, si può individuare nel percorso di immissione di idrocarburi, e di fuoriuscita di idrogeno ottenuto dalla pirolisi, una zona di minima altezza o più bassa di tutte, dove possa cadere il carbonio per gravità.

In altre parole ancora, il primo condotto ed il secondo condotto sono disposti in modo che l'immissione degli idrocarburi avvenga dall'alto verso il basso, e la fuoriuscita dell'idrogeno avvenga dal basso verso l'alto. Ne consegue che una zona di raccordo o zona di comunicazione di fluido tra il primo condotto ed il secondo condotto si trova in una zona bassa del forno, vale a dire verso una zona di fondo, in modo che sia facilitata la caduta per gravità del carbonio. Si ha il vantaggio che non è necessario nemmeno controllare dove si forma il carbonio in modo specifico, in quanto per la geometria delle parti sopra descritta, la caduta per gravità può avvenire tanto dal primo condotto quanto dal secondo condotto.

Ne consegue che la zona di comunicazione tra il primo condotto e il secondo condotto è preferibilmente configurata e destinata a ricevere carbonio prodotto dalla pirolisi almeno per gravità. In questo modo la zona di comunicazione tra i condotti è configurata anche come una zona di raccolta, eventualmente temporanea, del carbonio. Si può intendere che la fuoriuscita di idrogeno attraverso lo spazio intermedio è di fatto una fuoriuscita attraverso il secondo condotto.

Secondo un aspetto preferito, il reattore comprende mezzi di vibrazione per far vibrare detto primo condotto e/o detto secondo condotto, e facilitare ulteriormente la caduta di carbonio per gravità verso il basso.

Preferibilmente, l'uno o l'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto è un condotto interno disposto all'interno dell'altro tra il primo condotto ed il secondo condotto che funge da condotto esterno, a definire uno spazio intermedio interposto tra il condotto interno ed il condotto esterno. In questo caso, una imboccatura del condotto interno è aperta e rivolta verso la zona di fondo del forno ed è circondata da detto condotto esterno. L'imboccatura aperta pone in comunicazione di fluido il condotto interno con detto spazio intermedio, in modo da definire detta zona di comunicazione e creare un circuito di fluido passante dal condotto interno allo spazio intermedio passando attraverso l'imboccatura del condotto interno. Questa struttura a condotti uno dentro

l'altro consente di ottimizzare gli spazi all'interno della camera di riscaldamento, e di creare il movimento di fluido dall'alto verso il basso e dal basso verso l'alto per la caduta del carbonio, e al tempo stesso con una comunicazione dei condotti senza intralcio nella conduzione dei fluidi.

Inoltre, la struttura a condotti uno dentro l'altro consente di gestire meglio il processo di riscaldamento dell'idrocarburo che viene scisso per via termica; infatti per esempio avviene un riscaldamento contemporaneo nella medesima zona dei due condotti.

La configurazione in cui un condotto è posto dentro l'altro è una configurazione che si può intendere a condotti concentrici, senza però intendere in modo limitante che i centri dei condotti devono coincidere.

qualora il materiale con cui sono realizzati i tubi sia anche in metallo utile ad una pirolisi catalitica, la configurazione a tubi concentrici consente di aumentare per unità di lunghezza del reattore le superfici su cui viene catalizzata la reazione di scissione dell'idrocarburo rispetto alla configurazione che non preveda due tubi uno interno all'altro; infatti si può sfruttare anche la superficie esterna del tubo interno nella fase di risalita.

Preferibilmente, il condotto esterno è isolato rispetto alla camera di riscaldamento a chiudere detta zona di comunicazione e formare una camera chiusa, detta camera chiusa includendo o racchiudendo quindi detta zona di comunicazione ed essendo chiusa rispetto alla camera di riscaldamento. In questa forma di realizzazione, l'imboccatura del condotto interno è aperta verso detta camera chiusa. Questa conformazione ha il vantaggio di poter sfruttare il medesimo condotto esterno come zona di raccolta del carbonio. Preferibilmente, il condotto esterno si innesta, vale a dire è fissato, in una parete di fondo del forno, in modo da sfruttare anche le pareti del forno per la realizzazione della camera chiusa, di raccolta del carbonio. Ancora più preferibilmente, il condotto interno ed il condotto esterno sono fissati da un lato ad una parete del forno, per esempio una parete di sommità del forno. Tale soluzione ha il vantaggio di sfruttare ulteriormente il forno per il supporto dei condotti.

Preferibilmente è il condotto interno destinato a consentire l'immissione di idrocarburi e detto spazio intermedio è destinato a consentire una fuoriuscita di idrogeno. Ciò consente di ottimizzare, tramite attenta scelta delle dimensioni dei condotti, le portate di idrocarburi e aumentare il più possibile la resa della reazione. Preferibilmente, il condotto interno ed il condotto esterno sono tubi di sezione circolare per consentire una pirolisi

omogenea su tutta la circonferenza ed una caduta di carbonio distribuita in modo omogeneo sul fondo.

Per facilitare la caduta del carbonio, il condotto interno ed il condotto esterno sono disposti verticali nella camera di riscaldamento.

Preferibilmente ancora, il reattore include catalizzatori metallici almeno sul condotto interno, vale a dire il condotto interno è in un materiale metallico in cui i metalli del materiale sono catalizzatori metallici. Questa forma di realizzazione consente di sfruttare il condotto dove passano gli idrocarburi anche per catalizzare la reazione di pirolisi.

Preferibilmente, ancora al fine di riscaldare in modo omogeneo i condotti, il reattore comprende riscaldatori disposti su pareti laterali rivolte verso la camera di riscaldamento. La presente divulgazione riguarda preferibilmente anche un impianto di pirolisi includente un reattore di pirolisi come precedentemente descritto, ed un apparato di rimozione, per la rimozione del carbonio formato nella zona di comunicazione tra i due condotti. Tale apparato di rimozione è configurato per essere posto in comunicazione, preferibilmente all'occorrenza, con la zona di comunicazione tra il primo condotto ed il secondo condotto per consentire di rimuovere il carbonio. Preferibilmente tale apparato di rimozione sfrutta ulteriormente la gravità, ed è disposto al di sotto di una parete di fondo del forno.

Per esempio, l'apparato di rimozione del carbonio può essere messo in comunicazione di fluido con l'imboccatura aperta del condotto interno, mediante un passaggio o porta realizzata nella parete di fondo del forno. Tale passaggio o porta possono essere aperti all'occorrenza con una valvola, o battente di chiusura, che viene rimosso o azionato per aprire la porta o passaggio (apertura).

L'apparato di rimozione può includere una struttura scatolare definente una camera di raccolta destinata alla raccolta di carbonio, in caduta tramite detta porta o passaggio o apertura. Tale struttura scatolare consente una raccolta quantomeno temporanea del carbonio. Nella camera di raccolta viene eliminato preferibilmente l'ossigeno per evitare che il carbonio bruci.

Preferibilmente detta porta o apertura o passaggio è una prima apertura, e l'apparato di rimozione include una seconda porta o seconda apertura in una parete di fondo della camera di raccolta provvista di rispettivo battente di chiusura azionabile selettivamente per una rimozione definitiva del carbonio dall'impianto di pirolisi.

La presente divulgazione riguarda anche un processo di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio, in cui il processo prevede di

- disporre almeno un primo condotto in una camera di riscaldamento per pirolisi in modo che detto primo condotto sia interessato da un flusso orientato dall'alto verso il basso o il primo condotto sia orientato dall'alto verso il basso;
- disporre almeno un secondo condotto nella camera di riscaldamento in modo che detto secondo condotto sia interessato da un flusso orientato dal basso verso l'alto o il secondo condotto sia orientato dal basso verso l'alto;
- collegare detto primo condotto con detto secondo condotto, in modo che una zona di comunicazione di detto primo condotto con detto secondo condotto sia in una zona di fondo o più bassa rispetto a rispettive rimanenti parti del primo condotto e del secondo condotto;
- immettere idrocarburi attraverso il primo condotto;
- determinare una scissione per via termica degli idrocarburi lungo almeno il primo condotto;
- far fuoriuscire idrogeno nel secondo condotto;
- far cadere per gravità verso detta zona di comunicazione almeno una parte di carbonio prodotto dalla pirolisi.

Come detto vantaggio principale della presente divulgazione riguarda proprio la possibilità di massimizzare una separazione per gravità del carbonio prodotto nel processo di pirolisi.

Il processo può essere effettuato tramite un reattore di pirolisi e/o l'impianto di pirolisi come sopra descritti, sfruttando tutti i rispettivi vantaggi da esso/i derivanti.

Altri vantaggi, caratteristiche e modalità di impiego dell'invenzione in oggetto, risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di alcune forme di realizzazione, presentate a scopo esemplificativo e non limitativo.

BREVE DESCRIZIONE DELLE FIGURE

La presente invenzione e la seguente descrizione dettagliata delle forme di realizzazione preferite possono essere meglio comprese con riferimento alle figure seguenti:

Figura 1 mostra una vista in forma schematica da un lato di un reattore di un impianto di pirolisi secondo una forma di realizzazione;

Figura 2 mostra una vista in forma schematica dall'alto del reattore di Figura 1;

Figura 3 mostra una vista in forma schematica da un lato di un impianto di pirolisi secondo una forma di realizzazione e in una prima fase operativa;

Figura 4 mostra una vista in forma schematica da un lato dell'impianto di pirolisi di figura 3 in una seconda fase operativa;

Figura 5 mostra una vista in forma schematica da un lato dell'impianto di pirolisi di figura 3 in una terza fase operativa.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELL'INVENZIONE

Con riferimento alle figure, viene descritto un reattore di pirolisi 10 di un impianto di pirolisi 100 per la pirolisi di idrocarburi. Il reattore di pirolisi 10 è da intendersi come una porzione dell'impianto di pirolisi 100 destinata alla scissione degli idrocarburi. L'impianto di pirolisi 100 comprende inoltre zone di raccolta e di gestione dell'idrogeno che viene prodotto e del carbonio C quale sotto-prodotto di pirolisi, ed ulteriori dispositivi e attrezzature di tipo noto per il controllo ed il funzionamento dell'impianto di pirolisi.

Più in particolare, l'impianto di pirolisi 100 con il rispettivo reattore di pirolisi 10 viene mostrato in forma schematica per mostrare i componenti principali dell'impianto di pirolisi 100 e del relativo reattore 10, fermo restando che le rimanenti parti del reattore potranno essere ottimizzate secondo le competenze del tecnico del ramo.

Più specificatamente, il reattore di pirolisi comprende un forno 12, vale a dire una struttura sostanzialmente chiusa, avente forma scatolare.

Con il termine "struttura sostanzialmente chiusa" si intende una struttura, che a parte aperture o porte di comunicazione con l'esterno è destinata a definire una area delimitata o circoscritta del forno 12. Detta area delimitata è chiamata camera di riscaldamento 12a, vale a dire è una area destinata ad essere scaldata per consentire la scissione degli idrocarburi. Più in particolare ancora, per definire detta struttura sostanzialmente chiusa, il forno include pareti di contenimento, quali per esempio una parete laterale a mantello 13, una parete di fondo 14 ed una parete di sommità 15 definenti la camera di riscaldamento 12a.

Con riferimento a dette pareti, si può comprendere che nella camera di riscaldamento 12a può essere identificata una zona di sommità 15a, una zona di fondo 14a, e zone laterali 13a, vale a dire zone della camera di riscaldamento che sono vicine o adiacenti alle rispettive pareti.

Il forno 12 include inoltre riscaldatori 20, per esempio resistenze elettriche 20, che sono preferibilmente montate nella camera di riscaldamento 12a per scaldare la camera di riscaldamento 12a a partire dalla zona laterale 13a. Preferibilmente le resistenze elettriche sono alimentate per esempio in una frazione percentuale superiore al 50% da energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. E' da intendersi che la scelta dei materiali del forno e la capacità di riscaldamento da parte delle resistenze elettriche 20 sono scelte in funzione del processo di pirolisi da ottenere e sono alla portata del tecnico del ramo.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, il reattore 10 comprende una struttura tubolare di reazione includente due condotti di reazione. Si chiamano condotti di reazione in quanto essi consentono la pirolisi e includono almeno un condotto di reazione destinato all'immissione di idrocarburi ed un condotto di reazione destinato ad una fuoriuscita di idrogeno.

Secondo un aspetto della presente divulgazione, i due condotti di reazione sono disposti in modo che idrocarburi vengano immessi dall'alto verso l'alto in un primo condotto e l'idrogeno venga rimosso dal basso verso l'alto nell'altro condotto in modo che carbonio C formato per pirolisi possa cadere o fatto cadere per gravità in una zona di raccordo o di comunicazione tra i due condotti.

Nella fattispecie illustrata i condotti di reazione includono un condotto esterno 25 ed un condotto interno 26, vale a dire il condotto interno è disposto all'interno del condotto esterno a formare o definire un interspazio o spazio intermedio 30 o intercapedine tra i due condotti di reazione. In altre parole, i due condotti di reazione sono disposti in modo tale da consentire immissione di idrocarburi in uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30 tra il condotto interno 26 e il condotto esterno 25, e fuoriuscita di idrogeno dall'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30.

Il condotto esterno 25 è preferibilmente isolato rispetto alla camera di riscaldamento 12a a definire una camera chiusa 31 ed una imboccatura del condotto interno 26 è aperta verso detta camera chiusa e verso lo spazio intermedio. Con camera chiusa 31 si intende uno spazio isolato rispetto alla camera di riscaldamento 12a.

La camera chiusa 31 con l'imboccatura aperta definisce di fatto una zona di comunicazione o zona di raccordo tra i due condotti ed è destinata ad accogliere il carbonio C formato dopo la pirolisi dell'idrocarburo (scissione degli idrocarburi per via termica).

Più in particolare se gli idrocarburi da scindere arrivano in uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, a seguito della pirolisi, l'idrogeno formato può fluire nell'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30.

Per consentire il passaggio di gas e in generale di fluido da uno tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, e l'altro tra il condotto interno 26 e lo spazio intermedio 30, il condotto interno 26 presenta come detto imboccatura che si imbecca nella camera chiusa 31, e per la geometria delle parti l'imboccatura del condotto interno 26 è disposta interna rispetto all'imboccatura chiusa (rispetto alla camera di riscaldamento 31) del condotto esterno 25.

Ne consegue che eventuale carbonio C che si forma dalla pirolisi di idrocarburi nella zona di passaggio o nelle vicinanze di uno tra condotto interno 26 e spazio intermedio 30, vale a dire nella zona di comunicazione tra condotto interno 26 e condotto esterno 25, possa cadere, o essere fatto cadere per gravità, per esempio sul fondo della camera chiusa 31.

In altre parole, può essere favorita una separazione per gravità del carbonio C.

Nella soluzione mostrata, il condotto interno 26 ha una sezione molto maggiore rispetto allo spazio intermedio 30; ne consegue che per ottimizzare il processo di pirolisi e sfruttare al massimo la produzione di idrogeno, il condotto interno 26 è destinato ad accogliere il flusso di idrocarburi e lo spazio intermedio 30 tra il condotto interno 26 e il condotto esterno 25 è destinato ad accogliere il flusso di idrogeno formato dalla pirolisi. [Non è da escludere che cambiando la forma e dimensione relative tra condotto interno e spazio intermedio, gli idrocarburi potrebbero fluire nell'intercapedine e idrogeno fluisce nel condotto interno.

E' da intendersi che i flussi di idrocarburo e eventualmente quello di idrogeno sono gestiti mediante apposite pompe poste fuori dalla camera di riscaldamento.

Preferibilmente il condotto interno 26 ed il condotto esterno 25 sono tubi di sezione circolare o quadrata.

La sezione dei condotti non è da intendersi come limitativa; la sezione può essere non circolare. I condotti possono essere profilati chiusi (quindi anche di sezione poligonale. Ciò che è importante è che i corpi tubolari abbiano la funzione di condotto.

Per esempio, il condotto esterno 25 può anche essere realizzato con profilo conico, per esempio con luce di passaggio maggiore alla base rispetto alla sommità.

In altre parole, l'architettura del sistema prevede la presenza di due condotti concentrici (Figura 1 e Figura 2), laddove il termine concentrico significa che il condotto interno è inserito nel condotto esterno a formare una intercapedine.

Come sopra anticipato, la disposizione di due condotti uno dentro l'altro e l'apertura dell'imboccatura del condotto interno 26 consente di realizzare una zona di comunicazione tra i due condotti e di separare per gravità il carbonio C che si produce nel processo di pirolisi. Per esempio, l'idrocarburo fluisce nel condotto interno 26 e subisce un processo di preriscaldamento. Successivamente, essendo il condotto interno aperto verso la camera chiusa 31, l'idrocarburo una volta fuoriuscito dal tubo interno lambisce il fondo del condotto esterno 25 e poi risale nell'intercapedine tra il condotto esterno 25 e quello interno 26. Durante il tragitto descritto, l'idrocarburo viene scisso per via termica (pirolizzato) tramite processo di cracking dell'idrocarburo. Il carbonio C solido

si deposita sulle pareti dei condotti e sul fondo del condotto esterno 25 mentre l'idrogeno fluisce verso la sezione superiore del condotto esterno 25 e viene estratto dal forno di pirolisi 12.

Per la comunicazione del condotto interno 26 e del condotto esterno 25 con l'esterno sono previsti raccordi condotti di collegamento di tipo noto preferibilmente disposti all'esterno della parete di sommità 15. Il condotto interno 26 e del condotto esterno 25 passano attraverso la parete di sommità 15 per il collegamento con i condotti di collegamento rispettivamente.

Preferibilmente, il condotto interno 26 ed il condotto esterno 25 sono disposti verticali nella camera di riscaldamento per ottimizzare la caduta del carbonio C. Preferibilmente, le resistenze elettriche 20 sono disposte in posizione tale da consentire il corretto irraggiamento dei condotti entro cui fluiscono gli idrocarburi e l'idrogeno.

Preferibilmente, l'energia di attivazione per il processo di scissione termica può essere diminuita attraverso l'utilizzo di catalizzatori. Per esempio, nell'ambito della presente divulgazione si possono utilizzare catalizzatori metallici a base di Fe-Ni, Fe-Ni-Cr, Fe-Ni-Cr-Mo, Fe-Ni-Cr-W, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Co, Ni-Cr-Co Fe-Co, Fe-Ni-Co-Cr realizzati anche con l'utilizzo di leghe commerciali (acciai inossidabili contenenti Ni, es. 1.4310, 1.4301, 1.4305, 1.4307, 1.4567, 1.4845, 1.4841, 1.4401, 1.4404, 1.4578, 1.4571, 1.4598, 1.4541, 1.4542) oppure superleghe di Nickel, (es. serie Nimonic, serie Permalloy, Inconel della serie 600, della serie 700, della serie 800, serie Hastelloy, serie Incoloy) oppure leghe di cobalto (e. serie Stellite, serie UMCO).

I catalizzatori sono preferibilmente detti materiali descritti al capoverso precedente, non è necessario disporre dei catalizzatori specifici, ma possono essere le leghe stesse dei condotti a fare da catalizzatore.

L'utilizzo di catalizzatori consente di diminuire la temperatura a cui si realizza il processo di scissione termica degli idrocarburi.

Preferibilmente, la presente invenzione per la pirolisi degli idrocarburi copre l'esercizio termico dei forni di pirolisi da 550°C a 1200°C. La temperatura del forno 12 è misurata mediante una o più termocoppie. Il riscaldamento del forno nell'intervallo termico indicato è funzione del tipo di idrocarburo, della portata di adduzione dell'idrocarburo gassoso e della lunghezza di sviluppo dei condotti posti all'interno del forno entro cui fluisce l'idrocarburo gassoso e l'idrogeno che si forma dal processo di scissione termica. Ad esempio, al diminuire della portata e per sviluppi dei condotti di lunghezza crescente sarà possibile operare a temperature inferiori (in quanto il gas per unità di massa ha più tempo per assorbire l'energia necessaria alla scissione) rispetto a quelle da applicarsi in

presenza di portate maggiori e sviluppi dei condotti inferiori (in quanto il gas per unità di massa, in questo secondo caso, ha meno tempo per assorbire l'energia necessaria alla scissione).

Secondo un aspetto preferito della presente divulgazione, il reattore 10 sopra descritto è parte di un impianto di pirolisi 100 che include un apparato di rimozione 50, per la rimozione del carbonio C, vale a dire per rimuovere il carbonio C formato nella camera chiusa 31. L'apparato di rimozione 50 è una parte dell'impianto di pirolisi 100, è disposto preferibilmente al di sotto della parete di fondo 14 ed è posto in comunicazione con la camera chiusa 31, quindi con l'imboccatura aperta del condotto interno 26 mediante un passaggio nella parete di fondo 14. Per la geometria delle parti il condotto esterno 25 si innesta nella parete di fondo in modo tale da isolare il passaggio dalla camera chiusa 31 e l'apparato di rimozione del carbonio 50. L'apparato di rimozione 50 è posto in comunicazione con la camera chiusa 31 e l'imboccatura aperta del condotto interno 26 attraverso una prima apertura di comunicazione 51, o prima porta. Un battente di chiusura 52, per esempio avente due ali incernierate al centro, è posto sulla prima apertura di comunicazione 51 per chiudere detta prima apertura di comunicazione 51; detto battente di chiusura 52 ha una funzione di valvola e può essere inteso, per la funzione che svolge, come una valvola di rimozione di carbonio C. Più in particolare, l'apparato di rimozione 50 include una struttura scatolare 53 definente una camera di raccolta 54 di carbonio C posta, come detto, sotto alla parete di fondo 14. Spostando o azionando periodicamente il battente di chiusura 51 (figure 3 e 4) è possibile aprire la prima apertura di comunicazione 51 e far cadere su un fondo della camera di raccolta 54 il carbonio C (figura 4).

A sua volta, la camera di raccolta 54 può essere provvista di una seconda apertura di comunicazione 56, o seconda porta di comunicazione, e dotata di un altro battente di chiusura 57, il quale una volta spostato o azionato (figura 5) consente una rimozione totale di carbonio C dal fondo dell'impianto. In altre parole, l'impianto di pirolisi 100 include l'apparato di rimozione 50 che consente una raccolta sistematica e periodica del carbonio C mediante azione sul battente di chiusura.

Tale apertura sistematica sia per la ricezione del carbonio C sia per la fuoriuscita del carbonio C della camera di raccolta 54 consente una rimozione del carbonio C dalle rispettive aperture secondo necessità.

Ne consegue che si evita che il progressivo deposito del carbonio C solido possa ostruire i condotti. Si ottiene pertanto un sistema di rimozione periodica del carbonio C cristallizzato depositato sulle pareti, che può non implicare lo spegnimento del forno per

l'estrazione e non consente l'ossidazione del carbonio C ad alta temperatura nel momento in cui viene estratto dai condotti catalitici di pirolizzazione. Infatti, grazie alla chiusura della camera chiusa 31, il carbonio C non è a contatto con camera di riscaldamento 12a.

Nella camera di raccolta 54 è destinato ad essere immesso gas inerte con un rispettivo condotto (non rappresentato) per eliminare ossigeno.

Ne consegue che il sistema di estrazione è realizzato per distaccare il carbonio C che si deposita sulle pareti dei condotti senza spegnere il forno (per lasciarlo raffreddare) e senza che il carbonio C bruci a contatto con l'ossigeno.

Preferibilmente, il reattore include mezzi di vibrazione di tipo noto, indicati in modo schematico con il numero 70, in grado di percuotere il condotto esterno 25 e/o il condotto interno 26, o comunque di provocare una vibrazione. La posizione dei mezzi di vibrazione è preferibilmente in una zona di sommità della camera di riscaldamento 12a. La percussione o la vibrazione possono essere continue o periodiche. I mezzi di vibrazione o di percussione 70 possono essere mezzi noti, per esempio, di tipo meccanico per un tecnico del ramo, ed in grado di determinare una percussione o una vibrazione sui condotti.

Le percussioni e le vibrazioni provocano il distacco del carbonio C e questo libera la superficie di catalisi e provoca l'accumulo di carbonio C sulla valvola di estrazione.

Per esempio, ad intervalli di tempo regolari o a seguito di variazioni di portata misurate da un rilevatore, che indicano la progressiva diminuzione della luce del condotto, si arresta il flusso dell'idrocarburo, si introduce gas inerte nella camera di raccolta 54, chiamata anche camera di rimozione 54, oppure si impone una bassa pressione nella camera rimozione, e si apre il primo battente di chiusura 51 (Figura 4).

Una volta richiuso il primo battente di chiusura 51 e quando la temperatura nella camera di rimozione 54 (misurata mediante termocoppia) è al di sotto di una temperatura fissata dall'utilizzatore, si apre il secondo battente di chiusura 57 per scaricare il carbonio C all'esterno (Figura 5).

RIVENDICAZIONI

1. Reattore di pirolisi (10) per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), in cui il reattore di pirolisi (10) comprende:
 - un forno (12) avente una camera di riscaldamento (12a), detta camera di riscaldamento (12a) avente una zona di fondo (14a) e
 - almeno una struttura tubolare di reazione destinata a consentire una reazione di pirolisi, disposta almeno parzialmente nella camera di riscaldamento (12a) e collegata con una zona esterna posta all'esterno della camera di riscaldamento (12a) per consentire una immissione di idrocarburi e una fuoriuscita di idrogeno, il reattore di pirolisi essendo caratterizzato dal fatto che la struttura tubolare di reazione include un primo condotto esterno (25) e un condotto interno (26) che sono posti l'uno dentro l'altro a definire uno spazio intermedio (30) tra il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) e si estendono da una zona di sommità (15a) della camera di riscaldamento (12a), o zona più alta rispetto alla zona di fondo (14a), verso la zona di fondo (14a), in cui l'uno tra il condotto esterno (25) ed il condotto interno (26) è configurato per l'immissione di idrocarburi e l'altro è configurato per la fuoriuscita di idrogeno, in cui una imboccatura del condotto interno (26) rivolta verso la zona di fondo (14a) è circondata da detto condotto esterno (25) e pone in comunicazione di fluido il condotto interno (26) con detto spazio intermedio (30) in modo da definire una zona di comunicazione (31) e creare un flusso di fluido passante lungo il condotto interno (26) e lo spazio intermedio (30), o viceversa, attraverso detta imboccatura del condotto interno (26), detto condotto esterno (25) e condotto interno (26) essendo configurati in modo che detto flusso di fluido sia unidirezionale.
2. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 1, in cui detta zona di comunicazione (31) è configurata per ricevere carbonio (C) prodotto dalla pirolisi almeno per gravità.
3. Reattore di pirolisi (10) secondo la rivendicazione 2, in cui il condotto esterno (25) è chiuso rispetto alla camera di riscaldamento (12a) a isolare detta zona di comunicazione (31) e formare una camera chiusa, detta camera chiusa includendo detta zona di comunicazione (31) ed essendo chiusa rispetto alla camera di riscaldamento, ed in cui l'imboccatura del condotto interno (26) è in comunicazione di fluido con detta camera chiusa (31).

4. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto condotto interno (26) è destinato a consentire l'immissione di idrocarburi e detto spazio intermedio (30) è destinato a consentire una fuoriuscita di idrogeno.
5. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) sono tubi di sezione circolare o quadrata.
6. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) sono disposti verticali nella camera di riscaldamento (12a).
7. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il condotto interno (26) ed il condotto esterno (25) sono fissati da un lato ad una parete di sommità (15) del forno (12).
8. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il condotto esterno (25) si innesta in una parete di fondo (14) del forno (12) a isolare detta zona di comunicazione (31) rispetto a detta camera di riscaldamento (12a).
9. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, includente catalizzatori metallici almeno sul condotto interno (26).
10. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti includenti riscaldatori disposti nella camera di riscaldamento (12a).
11. Reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti includente mezzi di vibrazione (70) per far vibrare detto primo condotto (25) e/o detto secondo condotto (26).
12. Impianto di pirolisi (100) includente un reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, che comprende un apparato di rimozione (50) per la rimozione del carbonio (C) formato nella camera di comunicazione (31), detto apparato di rimozione (50) essendo configurato per essere posto in comunicazione con la zona di comunicazione (31).
13. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione 12, in cui l'apparato di rimozione (50) è disposto al di sotto della parete di fondo (14).
14. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione 13, in cui l'apparato di rimozione (50) è atto ad essere messo in comunicazione di fluido con l'imboccatura aperta del condotto interno (26), mediante un passaggio o porta (51) realizzata nella parete di fondo (14)
15. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 14, in cui l'apparato di rimozione (50) include un battente di chiusura (52) avente funzione di

- valvola, detto battente di chiusura (52) essendo selettivamente attivabile per consentire una rimozione del carbonio (C) attraverso la porta o apertura (51).
16. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 15, in cui l'apparato di rimozione (50) include una struttura scatolare (53) definente una camera di raccolta (54) destinata alla raccolta di carbonio (C) tramite detta porta o apertura (51).
17. Impianto di pirolisi (100) secondo la rivendicazione precedente, includente mezzi per rimuovere ossigeno da detta camera di raccolta (54).
18. Impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta porta o apertura è una prima apertura, e detto apparato di rimozione (50) include una seconda porta o seconda apertura (56) in una parete di fondo della camera di raccolta (54), in cui detta seconda porta o seconda apertura (56) è provvista di rispettivo battente di chiusura (57) azionabile selettivamente per una rimozione di carbonio (C) dall'impianto di pirolisi (100).
19. Processo di pirolisi per la pirolisi di idrocarburi e formazione di idrogeno e carbonio (C), in cui il processo comprende le fasi di:
- disporre almeno un primo condotto in una camera di riscaldamento per pirolisi in modo che detto primo condotto sia interessato da un flusso orientato dall'alto verso il basso;
 - disporre almeno un secondo condotto nella camera di riscaldamento in modo che detto secondo condotto sia interessato da un flusso orientato dal basso verso l'alto;
 - collegare detto primo condotto con detto secondo condotto in modo che una zona di comunicazione di detto primo condotto con detto secondo condotto sia in una zona di fondo o una zona più bassa della camera di riscaldamento rispetto ad una rimanente parte del primo condotto e del secondo condotto;
 - immettere idrocarburi attraverso il primo condotto;
 - determinare una scissione per via termica degli idrocarburi lungo almeno il primo condotto;
 - far fuoriuscire idrogeno passando attraverso il secondo condotto;
 - far cadere per gravità verso detta zona di comunicazione almeno una parte di carbonio (C) prodotto dalla pirolisi.
20. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione precedente, in cui nella camera di riscaldamento si raggiungono temperature da 550°C a 1200°C.
21. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 19 o 20, che viene effettuato tramite un reattore di pirolisi (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 11.

22. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 19, 20 o 21, che viene effettuato tramite un impianto di pirolisi (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 12 a 18.
23. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 22, in combinazione con rivendicazione 16, in cui si controlla la quantità di carbonio (C) nel primo condotto e/o nel secondo condotto e si apre la prima apertura di comunicazione, si toglie ossigeno nella camera di raccolta (54) e si fa cadere il carbonio (C) nella camera di raccolta (54).
24. Processo di pirolisi secondo la rivendicazione 23 e in combinazione con rivendicazione 18, in cui dopo aver raccolto carbonio (C) su un fondo della camera di raccolta (54) si apre la seconda apertura (56) per una rimozione totale di carbonio (C) dal fondo dell'impianto.



FIG.1

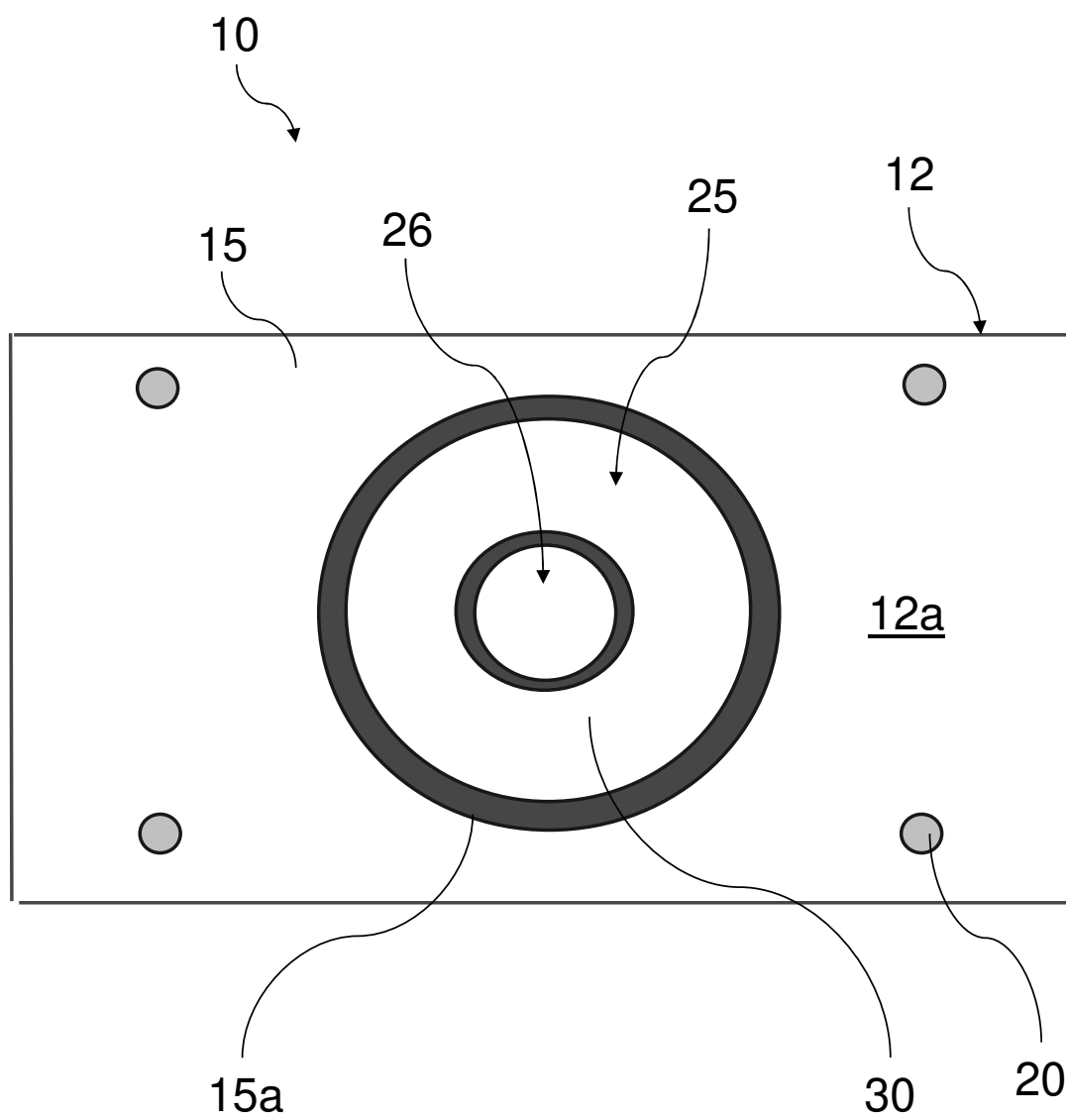


FIG.2

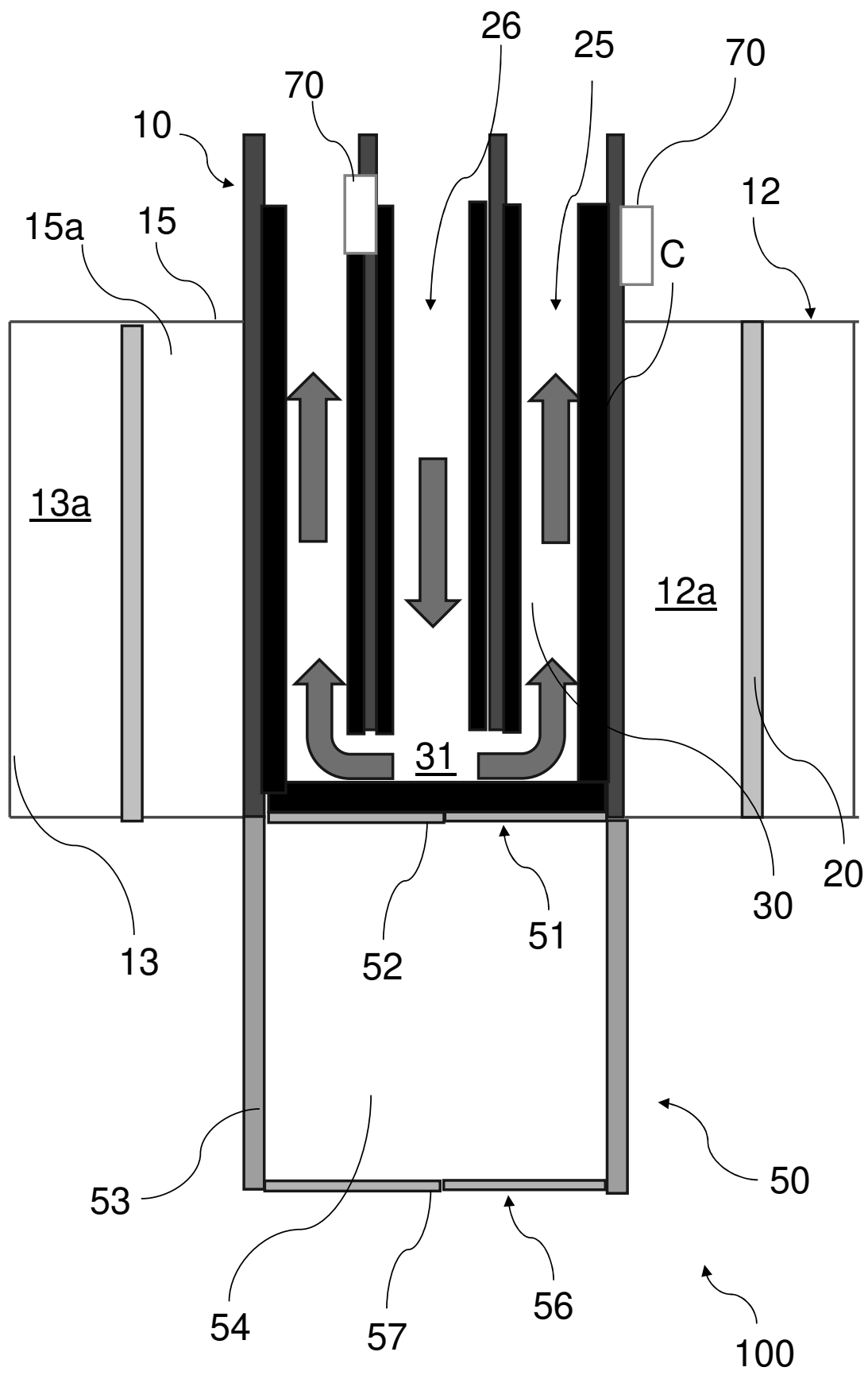
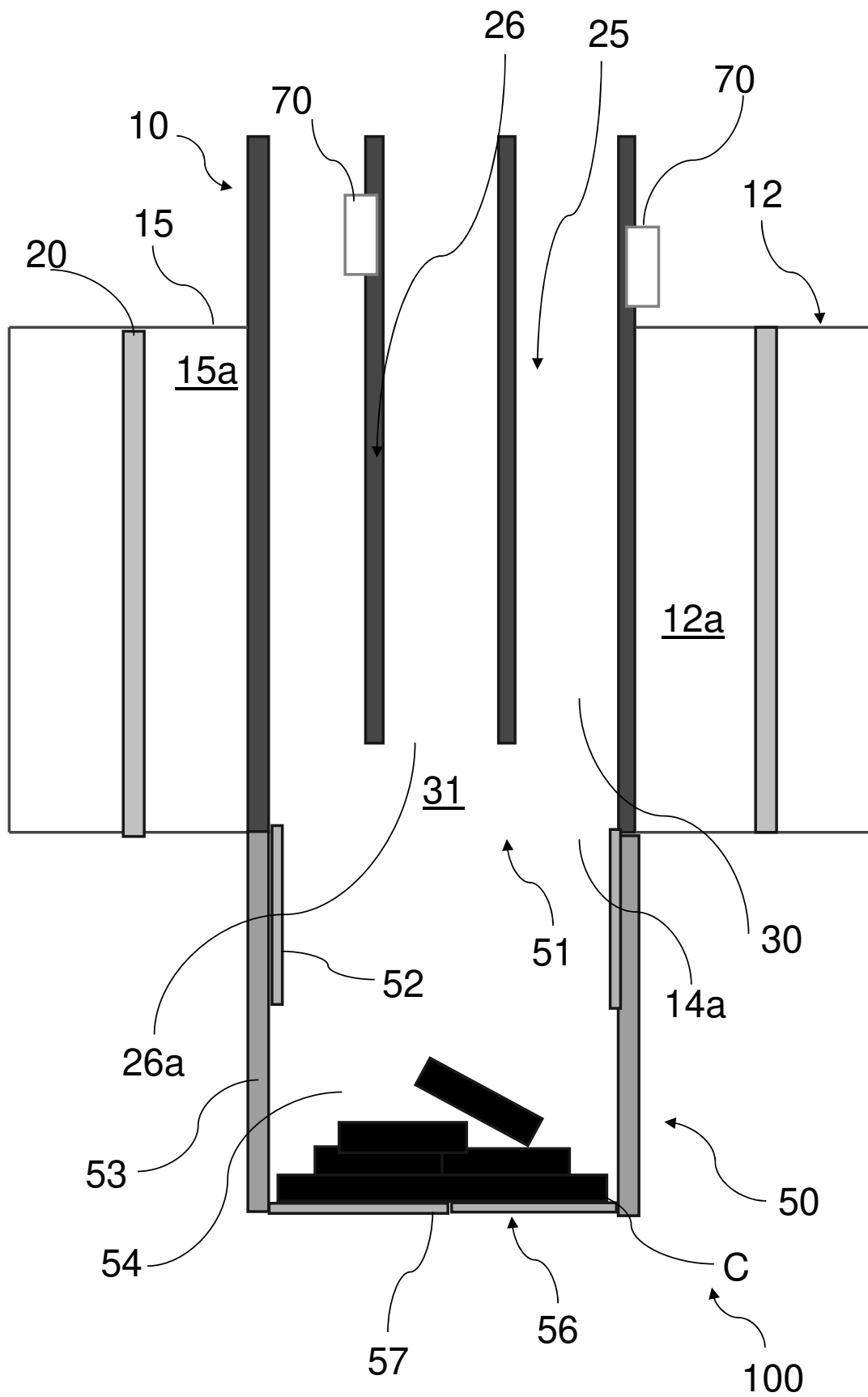


FIG.3



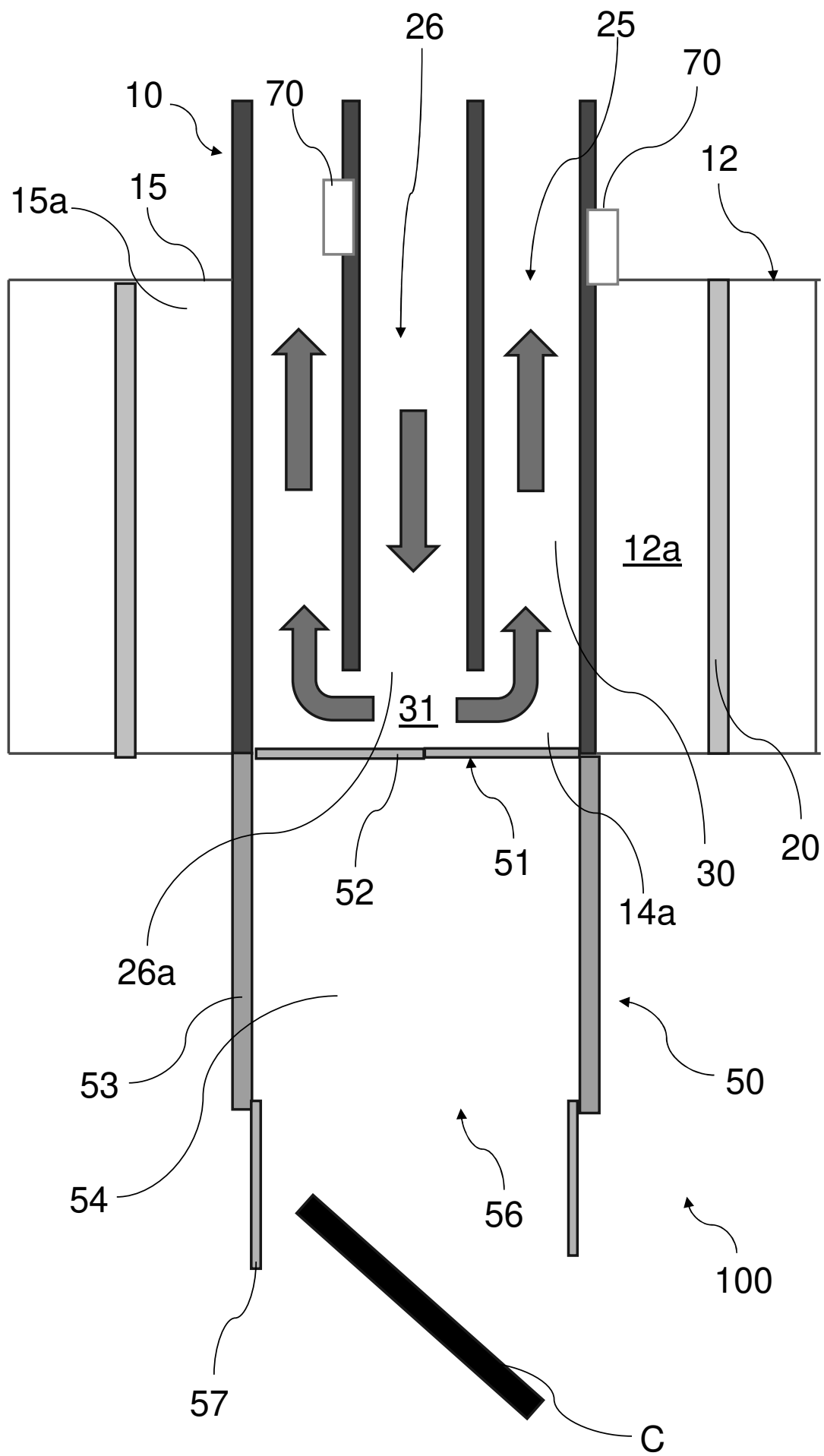


FIG 5



Ministero delle Imprese e del Made in Italy

DIPARTIMENTO MERCATO E TUTELA
DIREZIONE GENERALE PER LA PROPRIETÀ INDUSTRIALE - UIBM

ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda:

N. 102023000014925

TITOLARE/I: • I-H2 SRL 100.0%

Manfrin Marta

DOMICILIO: Società Italiana Brevetti S.p.A.
via Carducci 8
20123 Milano

INVENTORE/I: • RANCATI Silvio
• DONATI Paolo
• BELLONI Santino

TITOLO: REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E
PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI

CLASSIFICA: C01B

DATA DEPOSITO: 17/07/2023

Roma, 16/09/2025

Il Dirigente

Loredana Guglielmetti

Reference is made to the following documents:

- D1 WO 2022/251979 A1 (INNOVA HYDROGEN CORP [CA]) 8 December 2022 (2022-12-08)
- D2 WO 2023/009532 A1 (PACT FUEL LLC [US]) 2 February 2023 (2023-02-02)
- D3 WO 2021/102521 A1 (MELBOURNE INST TECH [AU]) 3 June 2021 (2021-06-03)
- D4 US 2022/306462 A1 (HENSCHEL CARSTEN [DE] ET AL) 29 September 2022 (2022-09-29)
- D5 MUTO TOMOHIRO ET AL: "Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst",
CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE, OXFORD, GB,
vol. 274, 21 July 2022 (2022-07-21), XP087307090,
ISSN: 0009-2509, DOI: 10.1016/J.CES.2022.117931
[retrieved on 2022-07-21]
cited in the application

The following documents were not cited in the international search report.

- D6 WO 2009/113982 A1 (UNIV CENTRAL FLORIDA RES FOUND [US]; MURADOV NAZIM Z [US] ET AL.) 17 September 2009 (2009-09-17)
- D7 US 2024/123415 A1 (IHARA RYOSEKI [JP]) 18 April 2024 (2024-04-18); &
WO 2023/013182 A1 (IHARA CO LTD [JP]) 9 February 2023 (2023-02-09)

Re Item V

- 1 The present application meets the requirements of Article 33(1) PCT for the following reasons,
 - 1.1 Document D6 and D7 (this latter is family member of document WO 2023/013182 A1), which are considered to be the most relevant state of the art disclose (see D6, Fig 3 and Fig 4, and page 18, line 1, to page 19 line 19; and D7, FIG 1 and paragraphs [0047] to [0049]):

A reactor (20) in which takes place a pyrolysis on hydrocarbons which is catalysed by carbon particles produced therein and providing formation of hydrogen and carbon (C), comprises:

- A catalytic section (23) which corresponds to a heating chamber in which a temperature of 750-1000 °C which is form of a tubular structure allows for pyrolysis, said heating chamber has a bottom zone in which the carbon particles (27) formed by the pyrolysis is collected and also comprises a inlet for hydrocarbon (31) and an outlet (37) for the hydrogen which is produced
- the pyrolysis reactor being characterized by the fact that the reaction tubular structure corresponds to the outer duct and an inner duct (21A) that is configured for the hydrogen output and is placed inside the heating chamber.

- 1.2 D6 and D7 do not say anything about the material of which the the ducts are made but it is obviously a material which is impermeable to gas in order to allow the process to be performed.
- 1.3 The reactor of claim 1 differs from this known reactor in that the inner conduit is made of a metal material where the metals in the metal material are metal catalysts wherein the metal catalysts is based on Fe-Ni, Fe-Ni-Cr, Fe-Ni-Cr-Mo, Fe-Ni-Cr-W, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Co, Fe-Co-Co, Fe-Ni-Co-Co also made using commercial alloys selected among stainless steels containing Ni (such as 1.4310, 1.4301, 1.4305, 1.4307, 1.4567, 1.4845, 1.4841, 1.4401, 1.4404, 1.4578, 1.4571, 1.4598, 1.4541, 1.4542) or Nickel superalloys (such as Nimonic series, Permalloy series, Inconel of 600 series, 700 series, 800series, Hastelloy series, Incoloy series) or cobalt alloys (such as Stellite series, UMC0 series).
- 1.4 This means that claim 1 is new in the sense of Article 33(2) PCT.
- 1.5 The problem to be solved may therefore be regarded as allowing the conduit to catalyse the pyrolysis reaction and to decrease the temperature at which the process of thermal splitting takes place.
- 1.6 As none of documents D6 or D7, nor of the available prior art teaches or suggests to an inner conduit made of the metal material of claim 1, which are metal catalysts, the skilled person would not consider to include the said metal materials of claim 1 to make the inner conduit of the reactor of D6 or D7 without the help of an inventive step.
- 1.7 The requirements of Article 33(3) PCT are therefore also met.

- 2 The reactor of claims 2 to 10, the plant of claims 11 to 17 and the process of claims 18 to 22 all include the technical features of independent claim 1 and as such are all considered as meeting the requirements of Article 33(1) PCT for the same reasons pointed out for claim 1.

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.
PCT/IB2024/056931

Box No. I Basis of the report

1. With regard to the **language**, this report is based on
- ☐ the international application in the language in which it was filed
 - ☒ a translation of the international application into English, which is the language of a translation furnished for the purposes of:
 - ☒ international search (under Rules 12.3(a) and 23.1(b))
 - ☐ publication of the international application (under Rule 12.4(a))
 - ☐ international preliminary examination (under Rules 55.2(a) and/or 55.3(a) and (b))
2. With regard to the **elements*** of the international application, this report is based on *(replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report)*:

Description, Pages

1-14 as originally filed

Claims, Numbers

1-22 filed in electronic form on

01-12-2025

Drawings, Sheets

1/5-5/5 as originally filed

- ☐ a sequence listing - see Supplemental Box Relating to Sequence Listing.
3. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:
- ☐ the description, pages
 - ☐ the claims, Nos.
 - ☐ the drawings, sheets/figs
 - ☐ the sequence listing (*specify*):
4. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments annexed to this report and listed below had not been made, since either they are considered to go beyond the disclosure as filed, or they were not accompanied by a letter indicating the basis for the amendments in the application as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rules 70.2(c) and (c-bis)):
- ☐ the description, pages
 - ☐ the claims, Nos.
 - ☐ the drawings, sheets/figs
 - ☐ the sequence listing (*specify*):
5. ☐ This report has been established:
- ☐ taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rules 66.1(d-bis) and 70.2(e)).
 - ☐ without taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91(Rules 66.4bis and 70.2(e)).

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.
PCT/IB2024/056931

6. ☒ With regard to top-up searches (Rules 66.1 *ter* and 70.2(f)):
- ☒ A top-up search was carried out by this Authority on 18.08.2025 (all discovered documents are listed in the Supplemental Box Relating to Top-up Search).
 - ☐ Additional relevant documents have been discovered during the top-up search.
 - ☐ No top-up search was carried out by this Authority because it would serve no useful purpose.
7. ☐ Supplementary international search report(s) from Authority(ies) has/have been received and taken into account in establishing this report (Rule 45bis.8(b) and (c)).

* If item 4 applies, some or all of those sheets may be marked "superseded".

Box No. V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes: Claims	<u>1-22</u>
	No: Claims	
Inventive step (IS)	Yes: Claims	<u>1-22</u>
	No: Claims	
Industrial applicability (IA)	Yes: Claims	<u>1-22</u>
	No: Claims	

2. Citations and explanations (Rule 70.7):

see separate sheet

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

PCT

NOTIFICATION OF TRANSMITTAL OF THE INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

(PCT Rule 71.1)

To: Santoro, Sofia Società Italiana Brevetti S.p.A. Via Giosuè Carducci, 8 20123 Milano ITALIE		Date of mailing (day/month/year) 09.01.2026	
Applicant's or agent's file reference BW1043M		IMPORTANT NOTIFICATION	
International application No. PCT/IB2024/056931	International filing date (day/month/year) 17.07.2024	Priority date (day/month/year) 17.07.2023	
Applicant I-H2 S.r.l.			

1. The applicant is hereby notified that this International Preliminary Examining Authority transmits herewith the international preliminary report on patentability and its annexes, if any, established on the international application.
2. A copy of the report and its annexes, if any, is being transmitted to the International Bureau for communication to all the elected Offices.
3. Where required by any of the elected Offices, the International Bureau will prepare an English translation of the report (but not of any annexes) and will transmit such translation to those Offices.

4. REMINDER

The applicant must enter the national phase before each elected Office by performing certain acts (filing translations and paying national fees) within 30 months from the priority date (or later in some Offices) (Article 39(1)) (see also the reminder sent by the International Bureau with Form PCT/IB/301).

Where a translation of the international application must be furnished to an elected Office, that translation must contain a translation of any annexes to the international preliminary report on patentability. It is the applicant's responsibility to prepare and furnish such translation directly to each elected Office concerned.

For further details on the applicable time limits and requirements of the elected Offices, see Volume II of the PCT Applicant's Guide.

The applicant's attention is drawn to Article 33(5), which provides that the criteria of novelty, inventive step and industrial applicability described in Article 33(2) to (4) merely serve the purposes of international preliminary examination and that "any Contracting State may apply additional or different criteria for the purposes of deciding whether, in that State, the claimed inventions is patentable or not" (see also Article 27(5)). Such additional criteria may relate, for example, to exemptions from patentability, requirements for enabling disclosure, clarity and support for the claims.

Name and mailing address of the international preliminary examining authority:  European Patent Office D-80298 Munich Tel. +49 89 2399 - 0	Authorized Officer Nyström-Hannack, A Tel. +49 89 2399-6933	
--	---	---

- (51) International Patent Classification:
C01B 3/00 (2006.01) *B01J 8/00* (2006.01)
- (21) International Application Number:
PCT/IB2024/056931
- (22) International Filing Date:
17 July 2024 (17.07.2024)
- (25) Filing Language: Italian
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
102023000014925 17 July 2023 (17.07.2023) IT
- (71) Applicant: **I-H2 S.R.L.** [IT/IT]; Corso Vittorio Emanuele II, 15, 20122 Milano MI (IT).
- (72) Inventors: **RANCATI, Silvio**; Via dei Longobardi 36, 20080 Basiglio MI (IT). **DONATI, Paolo**; Via Castello 74, 26025 Pandino CR (IT). **BELLONI, Santino**; Via Edoardo Cassani 1, 24047 Treviglio BG (IT).
- (74) Agent: **SANTORO, Sofia** et al.; Società Italiana Brevetti S.p.A., Via Carducci 8, 20123 Milano MI (IT).
- (81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declarations under Rule 4.17:

- as to the applicant's entitlement to claim the priority of the earlier application (Rule 4.17(iii))

(54) Title: PYROLYSIS REACTOR FOR PYROLYSIS OF HYDROCARBONS AND RELATED PYROLYSIS PLANT AND PROCESS FOR PYROLYSIS OF HYDROCARBONS

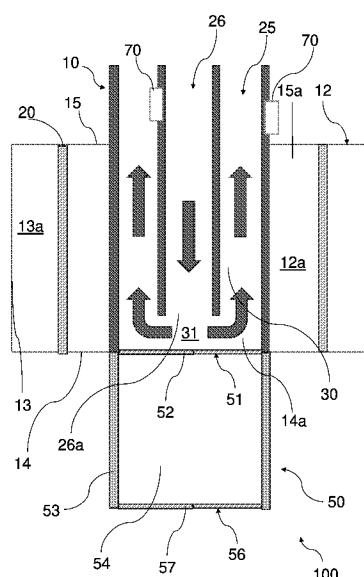


FIG.1

(57) Abstract: The present invention relates to a pyrolysis reactor (10) for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon (C), a pyrolysis plant including the reactor and a respective process. The pyrolysis reactor (10) includes a furnace (12) having a heating chamber (12a), said heating chamber (12a) presenting at least one bottom zone (14a). The pyrolysis reactor (10) includes at least one reaction tubular structure intended to allow a pyrolysis reaction, said reaction tubular structure being disposed at least partially in the heating chamber (12a) and connected with an area outside the heating chamber (12a) to allow a hydrocarbon input and a hydrogen output. The reaction tubular structure includes at least a first duct (25) and a second duct (26) oriented from a top zone (15a), or zone in a position above the bottom zone, toward the bottom zone (14a), wherein the one between the first duct (25) and the second duct (26) is intended to conduct at least one hydrocarbon input and the other between the first duct (25) and the second duct (26) is intended to conduct at least one hydrogen leakage. The first conduit (25) is in fluid communication with the second conduit via a communication zone (31), said communication zone (31) being arranged inferiorly, and/or in the bottom zone (14a), at least with respect to remaining parts of the first conduit (25) and the second conduit (26).

Published:

- *with international search report (Art. 21(3))*
- *before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments (Rule 48.2(h))*

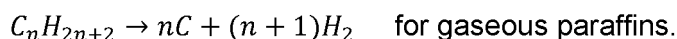
PYROLYSIS REACTOR FOR PYROLYSIS OF HYDROCARBONS AND RELATED PYROLYSIS PLANT AND PROCESS FOR PYROLYSIS OF HYDROCARBONS

The present invention relates, in general, to a pyrolysis reactor for pyrolysis of hydrocarbons, a pyrolysis plant including said reactor, and a respective pyrolysis process.

The process of pyrolysis of gaseous hydrocarbons, particularly propane (or LPG-Liquified Petroleum Gas) and methane (or natural gas), is accomplished by heating the gases, which involves their thermal splitting according to the following reactions:



and, more generally, for other related hydrocarbons according to the reaction:



(T. Muto, M. Asahara, T. Miyasaka, K. Asato, T. Uehara, M. Koshi, Methane pyrolysis characteristics for the practical application of hydrogen production system using permalloy plate catalyst, Chemical Engineering Science (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117931>

Markova, E.B. Cherednichenko, A.G.; Smirnova, S.S.; Sheshko, T.F.; Kryuchkova, T.A. Features of the Catalytic Cracking of Propane with a Step-Wise Change PrxYb2xZr2O7. Catalysts 2023, 13, 396. <https://doi.org/10.3390/catal13020396>)

The process of pyrolysis of hydrocarbon gases yields two materials:

- Solid carbon in the form of crystalline graphite, also with the presence of nanostructured allotropic forms: carbon nanotubes, graphene, fullerene;
- hydrogen gas.

The pyrolysis process can be carried out in a furnace or reactor that can be empty or filled with inert or catalytically active material (catalytic pyrolysis).

In such pyrolysis processes, the problem of dealing with carbon that is formed as a by-product in the decomposition of organic materials is well known and can affect the structure and operation of the reaction furnace. In fact, carbon can result in clogging of access areas of the reactor, prevent proper operation of the catalysts, or prevent proper separation of the hydrogen gas that is formed. To overcome this problem, it is often necessary to operate at low partial pressure, either by resorting to vacuum or by using an inert gas such as CO₂ or N₂ as a diluent.

However, this solution requires the installation of additional inert gas facilities that complicate the system and have additional costs.

SUMMARY OF THE INVENTION

The technical problem posed and solved by the present invention is to develop a pyrolysis reactor, a pyrolysis plant and a respective pyrolysis process that are configured and structured to facilitate a carbon removal.

This problem is solved by a pyrolysis reactor, a pyrolysis plant and a respective pyrolysis process as defined in the respective independent claims. Secondary or optional features of the invention are defined in the respective dependent claims.

In practice, a pyrolysis reactor is provided for pyrolysis of hydrocarbons with hydrogen and carbon formation, in which the pyrolysis reactor includes a furnace having a heating chamber. The heating chamber has at least one bottom zone. The pyrolysis reactor further includes at least one reaction tubular structure intended to allow a pyrolysis reaction, wherein the reaction tubular structure is arranged at least partially in the heating chamber and is connected with an area outside the heating chamber to allow a hydrocarbon input and a hydrogen output.

According to one aspect of the present disclosure, the reaction tube structure includes at least a first conduit and a second conduit both extending from top to bottom, i.e., from a superior zone to a inferior zone, or again from a top zone to a bottom zone, or *vice versa*, wherein the one between the first conduit and the second conduit is intended to conduct at least one hydrocarbon input, and the other between the first conduit and the second conduit is intended to conduct, at least in part, a hydrogen output. As a result, hydrocarbons can be fed in a kind of downward conduit, and hydrogen is let out in a kind of upward conduit. According to the present disclosure, a connecting zone between such conduits is a lower zone or bottom zone than at least a remaining part of the first conduit and a remaining part of the second conduit.

It is understood that, according to this disclosure, said first conduit and said second conduit have at least partially a configuration such that the connecting zone is, with respect to a direction of the fluids, a valley bottom zone.

As a result, according to this disclosure, the first conduit is in fluid communication with the second conduit via a communication zone, which is in a bottom zone, or lower zone, than a hydrocarbon supply zone and lower, or lower zone, than a hydrogen outlet or outflow zone from the heating chamber.

In other words, one can identify in the path of hydrocarbon input, and hydrogen output obtained from pyrolysis, a zone of lowest height or lowest of all, where carbon can fall by gravity.

In still other words, the first conduit and the second conduit are arranged so that the hydrocarbon input is from top to bottom, and the hydrogen output is from bottom to top. As a result, a connection zone or fluid communication zone between the first duct and the second duct is located in a low area of the furnace, i.e., toward a bottom zone, so that the gravity fall of carbon is facilitated. There is the advantage that it is not even necessary to control where the carbon is formed specifically, since due to the geometry of the parts described above, gravity fall can occur from the first duct as well as from the second duct.

It follows that the communication zone between the first duct and the second duct is preferably configured and intended to receive carbon produced by pyrolysis at least by gravity. In this way, the communication zone between the ducts is also configured as a zone for collecting, possibly temporary, carbon.

It can be understood that the leakage of hydrogen through the intermediate space is in fact a leakage through the second conduit.

According to a preferred aspect, the reactor includes means of vibration to vibrate said first conduit and/or said second conduit, and further facilitate the fall of carbon by gravity downward.

Preferably, one or the other between the first duct and the second duct is an inner duct arranged inside the other between the first duct and the second duct serving as the outer duct, defining an intermediate space interposed between the inner duct and the outer duct. In this case, one inlet of the inner duct is open and facing the bottom area of the furnace and is surrounded by said outer duct. The open inlet places the inner duct in fluid communication with said intermediate space, so as to define said communication zone and create a circuit of fluid passing from the inner duct to the intermediate space passing through the inlet of the inner duct. This structure of ducts one inside the other allows for the optimization of space within the heating chamber, and to create the movement of fluid from top to bottom and bottom to top for carbon drop, and at the same time with unhindered duct communication in the fluid conduction. To facilitate the desired fluid movement, the inner duct and outer duct can be made of gas impermeable material, especially impermeable to hydrogen and hydrocarbon-containing fluid, such as stainless steel, so that the gas flow can be unidirectional.

In other words, and without wishing to be bound by any theory, the reactor configuration of concentric ducts (or one-inside-the-other duct structure) allows for the occurrence of a pressure difference (or pressure delta) that promotes unidirectional flow, i.e., a fluid circuit passing from the inner duct to the intermediate space through the communication zone if the hydrocarbon fluid input occurs from the top of the inner duct or a fluid circuit passing from the intermediate space to the inner duct through the communication zone if the hydrocarbon fluid input occurs from the top of the outer duct or top of the intermediate space.

As explained, said inlet fluid basically includes hydrocarbons that descend the first conduit (i.e., the conduit from which they are fed) while the outlet fluid basically includes hydrogen obtained from the pyrolysis reaction that ascends the second conduit. This also occurs because methane has a higher density than hydrogen and therefore once it is fed into one of the two conduits it will tend to descend the conduit (from top to bottom) unlike hydrogen which indeed having lower density will ascend the second conduit from bottom to top also favouring the fall or collection of carbon formed by pyrolysis in a connection or communication zone located at the bottom or downstream of the two conduits. In addition, the duct structure one inside the other allows for better management of the heating process of the hydrocarbon being thermally split; in fact, for example, simultaneous heating takes place in the same area of the two ducts.

The configuration in which one conduit is placed inside the other is a configuration that can be understood to be concentric conduits, but without limiting understanding that the centres of the conduits must coincide.

In case the material from which the tubes are made is also metal useful for catalytic pyrolysis, the concentric tube configuration allows for an increase per unit length of the reactor in the surfaces over which the hydrocarbon splitting reaction is catalyzed compared to the configuration that does not involve two tubes one inside the other; in fact, the outer surface of the inner tube can also be exploited in the upflow phase.

Preferably, the outer duct is insulated with respect to the heating chamber to close said communication zone and form a closed chamber, said closed chamber thus including or enclosing said communication zone and being closed with respect to the heating chamber. In this form of construction, the mouth of the inner duct is open to said closed chamber. This conformation has the advantage that the same outer duct can be used as a carbon collection zone. Preferably, the outer duct engages, i.e., is fixed, in a back wall of the furnace, so that the furnace walls are also exploited for the realization of the closed, carbon-collecting chamber. Even more preferably, the inner duct and the

outer duct are attached on one side to a kiln wall, such as a kiln top wall. This solution has the advantage of further exploiting the furnace for duct support.

Preferably, it is the inner conduit intended to allow hydrocarbon input, and said intermediate space is intended to allow a hydrogen outflow. This makes it possible to optimize, through careful choice of duct sizes, hydrocarbon flow rates and increase the reaction yield as much as possible.

Preferably, the inner conduit and outer conduit are tubes of circular cross section to allow homogeneous pyrolysis over the entire circumference and an evenly distributed carbon drop at the bottom.

To facilitate carbon drop, the inner duct and outer duct are arranged vertically in the heating chamber.

Still preferably, the reactor includes metal catalysts at least on the inner conduit, i.e., the inner conduit is made of a metal material where the metals in the material are metal catalysts. This embodiment allows the conduit where hydrocarbons pass through to also be used to catalyze the pyrolysis reaction.

Preferably, still to heat the ducts evenly, the reactor includes heaters arranged on side walls facing the heating chamber.

The present disclosure also preferably relates to a pyrolysis plant including a pyrolysis reactor as previously described, and a removal apparatus, for removing carbon formed in the communication zone between the two ducts. Such a removal apparatus is configured to be placed in communication, preferably as needed, with the communication zone between the first conduit and the second conduit to allow carbon to be removed. Preferably, such removal apparatus further takes advantage of gravity, and is arranged below a back wall of the furnace.

For example, the carbon removal apparatus can be put in fluid communication with the open mouth of the inner duct by a passage or door made in the back wall of the furnace. Such a passage or door can be opened if necessary with a valve, or shut-off leaf, which is removed or operated to open the door or passage (opening).

The removal apparatus may include a box structure defining a collection chamber intended for the collection of carbon, falling through said door or passage or opening. Such a box structure allows at least temporary collection of carbon. Oxygen is preferably removed in the collection chamber to prevent the carbon from burning.

Preferably said door or opening or passageway is a first opening, and the removal apparatus includes a second door or second opening in a back wall of the collection

chamber provided with respective selectively operable closing leaf for a final removal of carbon from the pyrolysis plant.

This disclosure also covers a pyrolysis process for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon, wherein the process comprises:

- Arranging at least one first duct in a pyrolysis heating chamber so that said first duct is affected by a top-down oriented flow or the first duct is top-down oriented;
- Arranging at least a second duct in the heating chamber so that said second duct is affected by a flow oriented from the bottom to the top or the second duct is oriented from the bottom to the top;
- connecting said first conduit with said second conduit, so that a communication zone of said first conduit with said second conduit is in a bottom zone or lower than respective to remaining parts of the first conduit and the second conduit;
- Entering hydrocarbons through the first conduit;
- determining a thermal splitting of hydrocarbons along at least the first conduit;
- Leaking hydrogen into the second conduit;
- Dropping by gravity toward said communication zone at least some of the carbon produced by pyrolysis.

As mentioned main advantage of the present disclosure concerns precisely the possibility of maximizing a gravity separation of the carbon produced in the pyrolysis process.

The process can be carried out through a pyrolysis reactor and/or the pyrolysis plant as described above, taking advantage of all the respective benefits stemming therefrom.

Other advantages, features and ways of using the subject invention will be evident from the following detailed description of some embodiments, presented for illustrative and non-limiting purposes.

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

The present invention and the following detailed description of the preferred embodiments can be better understood by reference to the figures below:

Figure 1 shows a schematic view from one side of a reactor of a pyrolysis plant according to an embodiment;

Figure 2 shows a schematic top view of the reactor in Figure 1;

Figure 3 shows a schematic view from one side of a pyrolysis plant according to an embodiment and in an early operational phase;

Figure 4 shows a schematic view from one side of the pyrolysis plant in Figure 3 in a second operational phase;

Figure 5 shows a schematic view from one side of the Figure 3 pyrolysis plant in a third operational phase.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

With reference to the figures, a pyrolysis reactor 10 of a pyrolysis plant 100 for pyrolysis of hydrocarbons is described. Pyrolysis reactor 10 is to be understood as a portion of pyrolysis plant 100 intended for hydrocarbon splitting. The pyrolysis plant 100 also includes areas for collecting and handling hydrogen that is produced and carbon C as a pyrolysis by-product, and additional devices and equipment of known types for controlling and operating the pyrolysis plant.

More specifically, pyrolysis plant 100 with its respective pyrolysis reactor 10 is shown in schematic form to show the main components of pyrolysis plant 100 and its reactor 10, with the understanding that the remaining parts of the reactor may be optimized according to the expertise of the person skilled in the art.

More specifically, the pyrolysis reactor comprises a furnace 12, i.e., a substantially enclosed structure, having a box shape.

The term "substantially enclosed structure" means a structure, which apart from openings or doors of communication with the outside is intended to define a delimited or circumscribed area of the furnace 12. Said circumscribed area is called a heating chamber 12a, that is, it is an area intended to be heated to enable the splitting of hydrocarbons. More particularly still, to define said substantially enclosed structure, the furnace includes containment walls, such as, for example, a side mantle wall 13, a back wall 14 and a top wall 15 defining the heating chamber 12a.

With reference to said walls, it can be understood that in heating chamber 12a, a top zone 15a, a bottom zone 14a, and side zones 13a can be identified, i.e., areas of the heating chamber that are close to or adjacent to the respective walls.

Furnace 12 also includes heaters 20, e.g., electric heaters 20, which are preferably mounted in heating chamber 12a to heat heating chamber 12a from side zone 13a. Preferably, the electric heaters are powered, for example, in a percentage fraction greater than 50% by electricity generated from renewable sources. It is to be understood that the choice of furnace materials and the heating capacity by the heating elements 20 are chosen according to the pyrolysis process to be achieved and are within the reach of the branch technician.

According to one aspect of the present disclosure, the reactor 10 comprises a tubular reaction structure including two reaction conduits. These are called reaction conduits

because they enable pyrolysis and include at least one reaction conduit intended for hydrocarbon input and one reaction conduit intended for a hydrogen output.

According to one aspect of the present disclosure, the two reaction conduits are arranged so that hydrocarbons are fed from top to bottom in a first conduit and hydrogen is removed from bottom to top in the other conduit so that carbon C formed by pyrolysis can fall or be gravity-driven into a connecting or communicating zone between the two conduits.

In the case illustrated, the reaction ducts include an outer duct 25 and an inner duct 26, i.e., the inner duct is arranged within the outer duct to form or define an interspace or intermediate space 30 or gap between the two reaction ducts. In other words, the two reaction ducts are arranged to allow hydrocarbon input into one between the inner duct 26 and the intermediate space 30 or between the inner duct 26 and the outer duct 25, and hydrogen output from the other between the inner duct 26 and the intermediate space 30.

The outer duct 25 is preferably insulated from the heating chamber 12a to define a closed chamber 31 and an inner duct mouth 26 is open to said closed chamber and to the space in between. Closed chamber 31 means an isolated space with respect to heating chamber 12a. The closed chamber 31 with an open mouth defines a communication zone or connection zone between the two ducts and is intended to receive the carbon C formed after pyrolysis of the hydrocarbon (thermal splitting of hydrocarbons).

Accordingly, the present invention relates to a pyrolysis reactor (10) for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon (C), wherein the pyrolysis reactor (10) includes a furnace (12) having a heating chamber (12a), wherein said heating chamber (12) has at least one bottom zone (14a) and wherein the pyrolysis reactor (10) includes at least one reaction tubular structure intended to allow a pyrolysis reaction, wherein said reaction tubular structure is arranged at least partially in the heating chamber (12a) and connected with an area outside the heating chamber (12a) to allow a hydrocarbon input and a hydrogen output, characterized in that the reaction tubular structure includes at least a first duct (25) and a second duct (26) oriented from a top zone (15a), or zone higher than the bottom zone, toward the bottom zone (14a), wherein the one between the first duct (25) and the second duct (26) is intended to conduct at least one hydrocarbon input and the other between the first duct (25) and the second duct (26) is intended to conduct at least one hydrogen leakage and wherein the first conduit (25) is in fluid communication with the second conduit via a communication zone (31), and wherein said communication zone (31) is arranged in a lower position, and/or

in the bottom zone (14a), at least with respect to remaining parts of the first conduit (25) and the second conduit (26). More specifically, if the hydrocarbons to be split arrive in one between the inner conduit 26 and the intermediate space 30, as a result of pyrolysis, the hydrogen formed may flow into the other between the inner conduit 26 and the intermediate space 30.

To allow the passage of gas and in general fluid from one between the inner duct 26 and the intermediate space 30, and the other between the inner duct 26 and the intermediate space 30, the inner duct 26 has as said mouthpiece that feeds into the closed chamber 31, and due to the geometry of the parts the mouthpiece of the inner duct 26 is arranged inside with respect to the closed mouthpiece (with respect to the heating chamber 31) of the outer duct 25.

As a result, any carbon C formed from pyrolysis of hydrocarbons in or near one between inner duct 26 and intermediate space 30, i.e., in the communication zone between inner duct 26 and outer duct, may fall, or be made to fall by gravity, for example to the bottom of the closed chamber 31.

In other words, a gravity separation of carbon C may be favoured.

In the solution shown, inner conduit 26 has a much larger cross-sectional area than the intermediate space 30; it follows that to optimize the pyrolysis process and make maximum use of hydrogen production, inner conduit 26 is intended to accommodate the hydrocarbon stream and the intermediate space 30 between inner conduit 26 and outer conduit 25 is intended to accommodate the hydrogen stream formed by pyrolysis.

It cannot be ruled out that by changing the relative shape and size between the inner duct and the intermediate space, hydrocarbons could flow into the gap and hydrogen could flow into the inner duct.

It is to be understood that hydrocarbon and possibly hydrogen flows are handled by special pumps located outside the heating chamber.

Preferably inner conduit 26 and outer conduit 25 are circular or square pipes.

The cross section of ducts is not intended to be limiting; the cross section may be non-circular. Ducts can be closed profiles, thus also polygonal in cross-section. What is important is that the tubular bodies have the duct function.

As an example, outer duct 25 can also be made with a conical profile, for example, with a larger passage span at the base than at the top.

In other words, the architecture of the system involves two concentric ducts (Figure 1 and Figure 2), where the term concentric means that the inner duct is inserted into the outer duct to form a gap.

As anticipated above, the arrangement of two ducts one inside the other and the opening of the mouth of inner duct 26 allows for a communication zone between the two ducts and gravity separation of the carbon C that is produced in the pyrolysis process. For example, hydrocarbon flows into inner duct 26 and undergoes a preheating process. Then, as the inner tube is open to the closed chamber 31, the hydrocarbon once escapes from the inner tube laps the bottom of the outer tube 25 and then rises into the gap between the outer tube 25 and the inner tube 26. During the described way, the hydrocarbon is thermally cleaved (pyrolyzed) by hydrocarbon cracking process. Solid carbon C is deposited on the duct walls and bottom of outer duct 25 while hydrogen flows to the upper section of outer duct 25 and is extracted by pyrolysis furnace 12.

Thus, the present invention also relates to a pyrolysis reactor (10) for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon (C), in which the pyrolysis reactor (10) comprises:

- A furnace (12) having a heating chamber (12a), said heating chamber (12a) having at least one bottom zone (14a), and
- at least one tubular reaction structure designed to allow a pyrolysis reaction arranged at least partially in the heating chamber (12a) and connected with an area outside the heating chamber (12a) to allow a hydrocarbon input and a hydrogen output,

the pyrolysis reactor being characterized by the fact that the reaction tubular structure includes at least a first duct (25) and at least a second duct (26) placed inside each other to define an intermediate space (30) interposed between the first inner duct (26) and the second outer duct (25) and oriented from a top zone (15a), or zone higher than the bottom zone, toward the bottom zone (14a) of the heating chamber (12a),

wherein one between the first outer conduit (25) and the second inner conduit (26) is configured for hydrocarbon input and the other is configured for hydrogen output,

wherein the first outer duct (25) is in fluid communication with the second inner duct (26) via a communication zone (31) arranged below and/or opposite the hydrocarbon input zone and/or in the bottom zone (14a) of the heating chamber,

wherein an inlet of the inner duct (26) facing the bottom zone (14a) is surrounded by said outer duct (25) and places in fluid communication the inner duct (26) with said intermediate space (30) so as to define said communication zone (31) and create a circuit of fluid passing from the inner duct (26) to the intermediate space (30), or vice versa, through the inlet of the inner duct (26),

said at least first conduit (25) and at least second conduit (26) being preferably made of gas-impermeable material such that said through-fluid circuit is unidirectional. The wording "*unidirectional flow*" also means that no hydrogen backflow or countercurrent hydrogen leakage will occur in the reactor. In other words, in the reactor according to any of the described embodiments, hydrogen will not flow up the conduit into which hydrocarbons are fed. For example, the incoming flow of hydrocarbons will always be in the same direction and the outgoing flow of hydrogen is always in the same direction, such as from bottom to top.

According to an embodiment form of the invention, said inner conduit (26) is intended to allow hydrocarbon input and said intermediate space (30) is intended to allow a hydrogen output. According to an alternative embodiment of the invention, said intermediate space (30) is intended to allow hydrocarbon input and said inner conduit (26) is intended to allow a hydrogen output.

For communication of inner duct 26 and outer duct 25 with the outside, fittings or connecting ducts of a known type are preferably arranged outside the top wall 15. Inner duct 26 and outer duct 25 pass through the top wall 15 for connection with connecting ducts respectively.

Preferably, inner conduit 26 and outer conduit 25 are arranged vertically in the heating chamber to optimize the carbon C drop. Preferably, the heating elements 20 are arranged in a position to allow proper radiation of the ducts within which the hydrocarbons and hydrogen flow.

Preferably, the activation energy for the thermal splitting process can be decreased through the use of catalysts. For example, metal catalysts based on Fe-Ni, Fe-Ni-Cr, Fe-Ni-Cr-Mo, Fe-Ni-Cr-W, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Co, Fe-Co-Co, Fe-Ni-Co-Co also made using commercial alloys (stainless steels containing Ni, e.g., 1.4310, 1.4301, 1.4305, 1.4307, 1.4567, 1.4845, 1.4841, 1.4401, 1.4404, 1.4578, 1.4571, 1.4598, 1.4541, 1.4542) or Nickel superalloys, (e.g. Nimonic series, Permalloy series, Inconel of 600 series, 700 series, 800 series, Hastelloy series, Incoloy series) or cobalt alloys (e.g. Stellite series, UMCO series).

The catalysts are preferably said materials described in the previous paragraph, it is not necessary to have the specific catalysts, but the alloys of the pipes themselves can be the catalysts.

The use of catalysts makes it possible to decrease the temperature at which the process of thermal splitting of hydrocarbons takes place.

Preferably, the present invention for pyrolysis of hydrocarbons covers the thermal operation of pyrolysis furnaces from 550°C to 1200°C. The temperature of the furnace 12 is measured by one or more thermocouples. The heating of the furnace in the specified thermal range is a function of the type of hydrocarbon, the adduction flow rate of the hydrocarbon gas, and the development length of the ducts placed inside the furnace within which the hydrocarbon gas and the hydrogen formed by the thermal splitting process flows. For example, as the flow rate decreases and for duct developments of increasing length, it will be possible to operate at lower temperatures (because the gas per unit mass has more time to absorb the energy required for splitting) than those to be applied at higher flow rates and lower duct developments (because the gas per unit mass, in the latter case, has less time to absorb the energy required for splitting).

According to a preferred aspect of the present disclosure, the reactor 10 according to any of the embodiments described above is a part of a pyrolysis plant 100 that includes a removal apparatus 50, for removing carbon C, i.e., for removing carbon C formed in the closed chamber 31. The removal apparatus 50 is a part of the pyrolysis plant 100, is preferably arranged below the bottom wall 14 and is placed in communication with the closed chamber 31, then with the open mouth of the inner duct 26 by a passage in the bottom wall 14. Due to the geometry of the parts, the outer duct 25 engages in the bottom wall in such a way as to isolate the passage from the closed chamber 31 and the carbon removal apparatus 50. The removal apparatus 50 is placed in communication with the closed chamber 31 and the open mouth of the inner duct 26 through a first communication opening 51, or first door. A closing leaf 52, for example having two wings hinged in the middle, is placed on the first communication opening 51 to close said first communication opening 51; said closing leaf 52 has a valve function and can be understood, by its function, as a carbon C removal valve. More specifically, the removal apparatus 50 includes a box structure 53 defining a collection chamber 54 of carbon C located, as mentioned, below the bottom wall 14. By periodically moving or operating the closing leaf 51 (Figures 3 and 4), it is possible to open the first communication opening 51 and drop carbon C onto a bottom of the collection chamber 54 (Figure 4).

In turn, the collection chamber 54 can be provided with a second communication opening 56, or second communication door, and equipped with another closing leaf 57, which when moved or operated (Figure 5) allows total removal of carbon C from the bottom of the plant. In other words, the pyrolysis plant 100 includes the removal apparatus 50 that enables a systematic and periodic collection of carbon C by action on the closing leaf.

Such a systematic opening for both receiving carbon C and escaping carbon C from the collection chamber 54 allows for removal of carbon C from the respective openings as needed.

This prevents the progressive deposition of solid carbon C from clogging the ducts. Thus, a system of periodic removal of crystallized carbon C deposited on the walls is achieved, which may not involve shutting down the furnace for extraction and does not allow oxidation of carbon C at high temperature as it is extracted from the catalytic pyrolysis ducts. In fact, due to the closed chamber 31, carbon C is not in contact with the heating chamber 12a.

Inert gas is intended to be fed into the collection chamber 54 with a respective duct (not shown) to remove oxygen.

It follows that the extraction system is made to detach the carbon C that is deposited on the duct walls without turning off the furnace (to let it cool) and without the carbon C burning in contact with oxygen.

Preferably, the reactor includes means of vibration of a known type, indicated schematically as 70, capable of striking the outer duct 25 and/or the inner duct 26, or otherwise causing a vibration. The location of the means of vibration is preferably in a top area of the heating chamber 12a. The percussion or vibration may be continuous or periodic. The means of vibration or percussion 70 may be means known, for example, mechanical in nature to a branch engineer, and capable of causing percussion or vibration on the ducts.

Percussion and vibration cause carbon C to detach, and this releases the catalase surface and causes carbon C to accumulate on the extraction valve.

For example, at regular time intervals or as a result of changes in flow rate measured by a detector, indicating the gradual decrease in duct clearance, the flow of hydrocarbon is stopped, inert gas is introduced into the collection chamber 54, also called the removal chamber 54, or a low pressure is imposed in the removal chamber, and the first closing clapper 51 is opened (Figure 4).

Once the first closing leaf 51 is closed again and when the temperature in the removal chamber 54 (measured by thermocouple) is below a temperature set by the user, the second closing leaf 57 is opened to discharge carbon C to the outside (Figure 5).

CLAIMS

1. Pyrolysis reactor (10) for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon (C), in which the pyrolysis reactor (10) comprises:
 - A furnace (12) having a heating chamber (12a), said heating chamber (12a) having a bottom zone (14a), and
 - at least one tubular reaction structure intended to allow a pyrolysis reaction, arranged at least partially within the heating chamber (12a) and connected with an external zone located outside the heating chamber (12a) to allow a hydrocarbon input and a hydrogen output,the pyrolysis reactor being characterized by the fact that the reaction tubular structure includes an outer duct (25) and an inner duct (26) that are placed inside each other to define an intermediate space (30) between the inner duct (26) and the outer duct (25) and extend from a top zone (15a) of the heating chamber (12a), or zone higher than the bottom zone (14a), toward the bottom zone (14a), wherein one between the outer conduit (25) and the inner conduit (26) is configured for hydrocarbon input and the other is configured for hydrogen output, wherein an inner conduit port (26) facing the bottom zone (14a) is surrounded by said outer conduit (25) and places in fluid communication the inner conduit (26) with said intermediate space (30) so as to define a communication zone (31) and create a flow of fluid passing through the inner conduit (26) and the intermediate space (30), or vice versa, through said inner conduit port (26),
 - said outer duct (25) and inner duct (26) being made of gas impermeable material and being configured so that said fluid flow is unidirectional.
2. Pyrolysis reactor (10) according to claim 1, wherein said communication zone (31) is configured to receive carbon (C) produced by pyrolysis at least by gravity.
3. Pyrolysis reactor (10) according to claim 2, wherein the outer conduit (25) is closed with respect to the heating chamber (12a) to isolate said communication zone (31) and form a closed chamber, said closed chamber including said communication zone (31) and being closed with respect to the heating chamber, and wherein the mouth of the inner conduit (26) is in fluid communication with said closed chamber (31).
4. Pyrolysis reactor (10) according to any one of the preceding claims, wherein said inner conduit (26) is intended to allow hydrocarbon input and said intermediate space (30) is intended to allow a hydrogen output.

5. Pyrolysis reactor (10) according to any of the preceding claims, wherein the inner duct (26) and outer duct (25) are tubes of circular or square cross-section.
6. Pyrolysis reactor (10) according to any of the preceding claims, wherein the inner duct (26) and the outer duct (25) are arranged vertically in the heating chamber (12a).
7. Pyrolysis reactor (10) according to any one of the preceding claims, wherein the inner conduit (26) and the outer conduit (25) are attached on one side to a top wall (15) of the furnace (12).
8. Pyrolysis reactor (10) according to any one of the preceding claims, wherein the outer duct (25) engages a bottom wall (14) of the furnace (12) to isolate said communication zone (31) from said heating chamber (12a).
9. Pyrolysis reactor (10) according to any of the preceding claims, including metal catalysts at least on the inner conduit (26).
10. Pyrolysis reactor (10) according to any of the preceding claims including heaters arranged in the heating chamber (12a).
11. Pyrolysis reactor (10) according to any one of the preceding claims including means for vibrating (70) said first conduit (25) and/or said second conduit (26).
12. Pyrolysis plant (100) including a pyrolysis reactor (10) according to any one of the preceding claims, said pyrolysis plant (100) comprising a removal apparatus (50) for removing carbon (C) formed in the communication chamber (31), said removal apparatus (50) being configured to be placed in communication with the communication zone (31).
13. Pyrolysis plant (100) according to claim 12, in which the removal apparatus (50) is arranged below the bottom wall (14).
14. Pyrolysis plant (100) according to claim 13, wherein the removal apparatus (50) is adapted to be put in fluid communication with the open mouth of the inner duct (26), by means of a passage or door (51) made in the back wall (14).
15. A pyrolysis plant (100) according to any one of claims 12 to 14, wherein the removal apparatus (50) includes a closure leaf (52) having the function of a valve, said closure leaf (52) being selectively operable to allow a removal of carbon (C) through the door or opening (51).
16. A pyrolysis plant (100) according to any one of claims 12 to 15, wherein the removal apparatus (50) includes a box structure (53) defining a collection chamber (54) intended for collection of carbon (C) via said door or opening (51).
17. Pyrolysis plant (100) according to the preceding claim, including means to remove oxygen from said collection chamber (54).

18. A pyrolysis plant (100) according to any one of the preceding claims, wherein said door or opening is a first opening, and said removal apparatus (50) includes a second door or second opening (56) in a bottom wall of the collection chamber (54), wherein said second door or second opening (56) is provided with respective closing leaf (57) selectively operable for a removal of carbon (C) from the pyrolysis plant (100).
19. Pyrolysis process for pyrolysis of hydrocarbons and formation of hydrogen and carbon (C), wherein the process comprises the steps of:
- Arranging at least one first duct in a pyrolysis heating chamber so that said first duct is affected by a top-down oriented flow;
 - Arranging at least a second duct in the heating chamber so that said second duct is affected by a flow oriented from the bottom to the top;
 - connecting said first conduit with said second conduit so that a communication zone of said first conduit with said second conduit is in a bottom zone or a lower zone of the heating chamber than a remaining part of the first conduit and the second conduit;
 - Entering hydrocarbons through the first conduit;
 - Determining a thermal splitting of hydrocarbons along at least the first conduit;
 - leaking hydrogen by passing through the second conduit;
 - dropping by gravity toward said communication zone at least some carbon (C) produced by pyrolysis.
20. Pyrolysis process according to the previous claim, in which temperatures from 550°C to 1200°C are reached in the heating chamber.
21. Pyrolysis process according to claim 19 or 20, which is carried out through a pyrolysis reactor (10) according to any of claims 1 to 11.
22. Pyrolysis process according to claim 19, 20 or 21, which is carried out through a pyrolysis plant (100) according to any of claims 12 to 18.
23. Pyrolysis process according to claim 22, in combination with claim 16, wherein the amount of carbon (C) in the first conduit and/or second conduit is controlled and the first communication opening is opened, oxygen is removed in the collection chamber (54) and carbon (C) is dropped into the collection chamber (54).
24. Pyrolysis process according to claim 23 and in combination with claim 18, wherein after collecting carbon (C) on one bottom of the collection chamber (54) the second opening (56) is opened for a total removal of carbon (C) from the bottom of the plant.

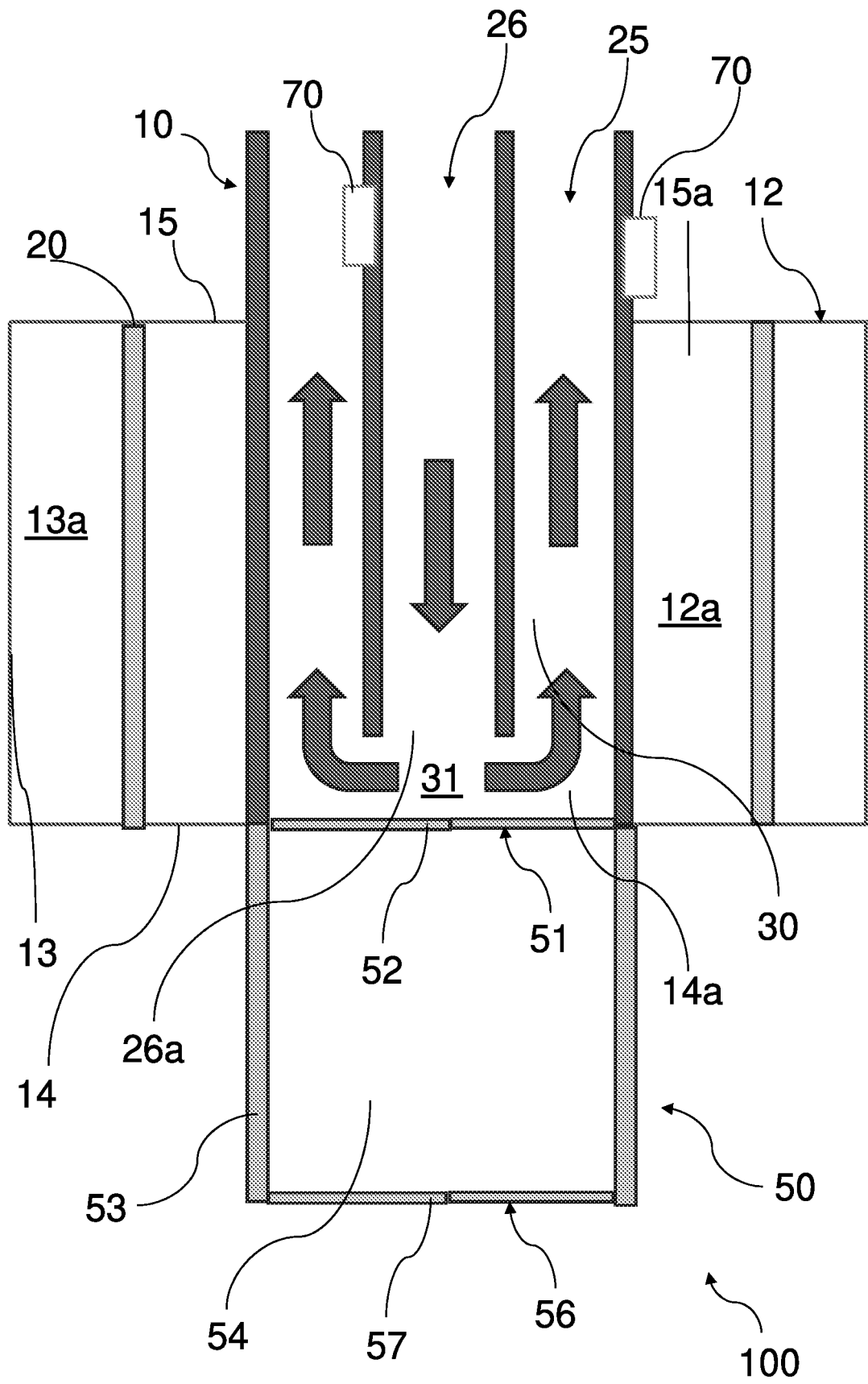


FIG.1

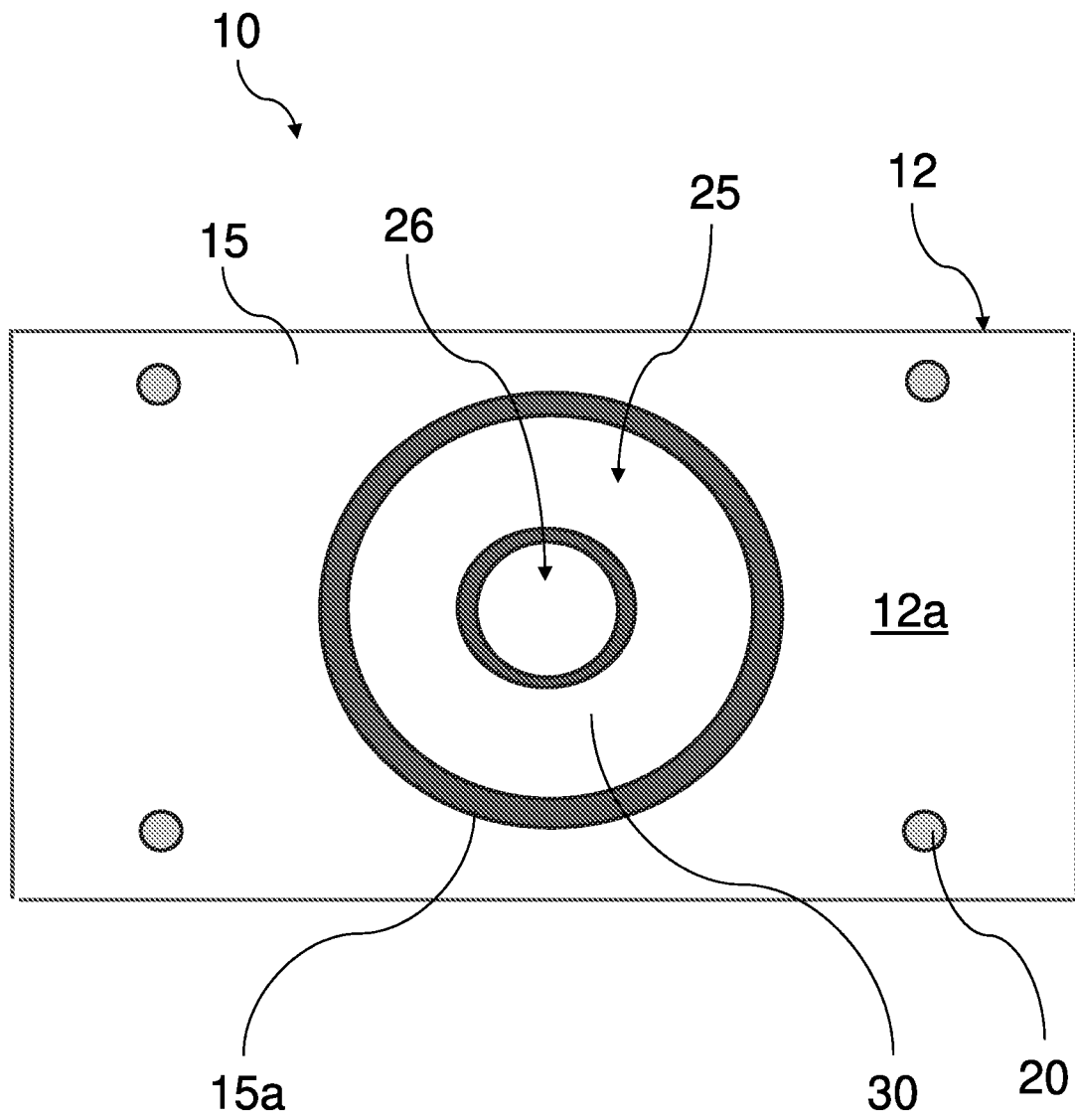


FIG.2

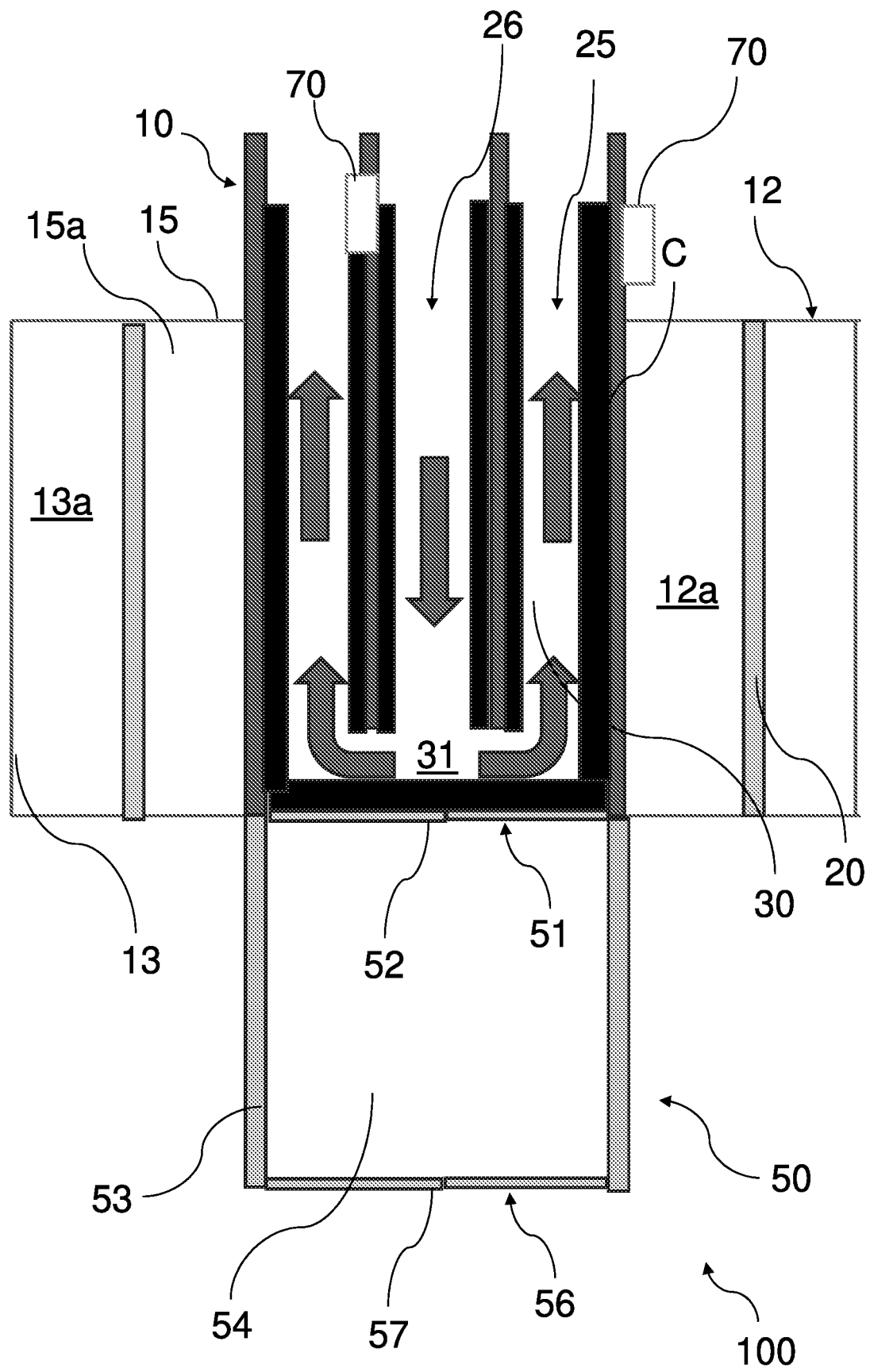


FIG.3

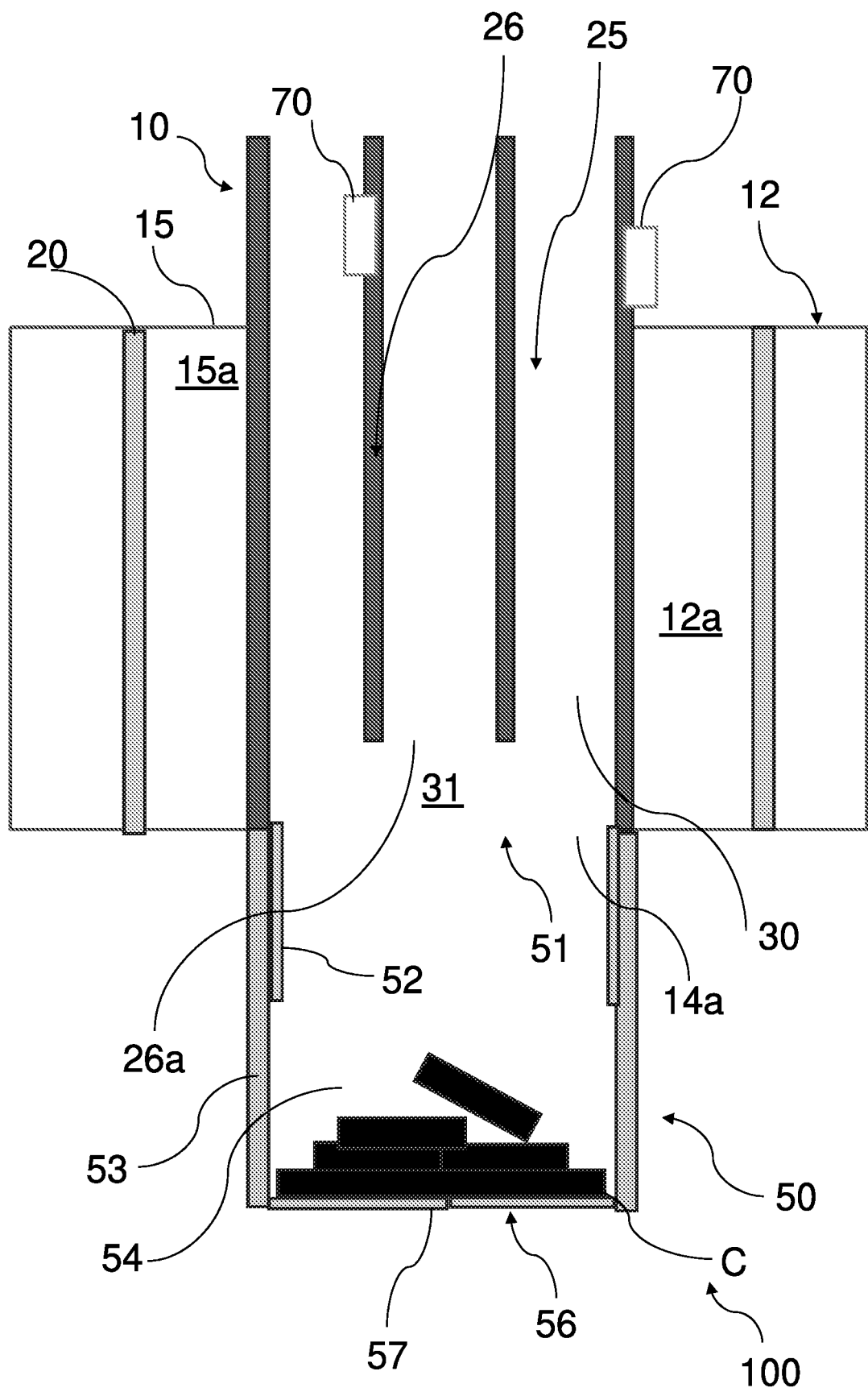


FIG 4

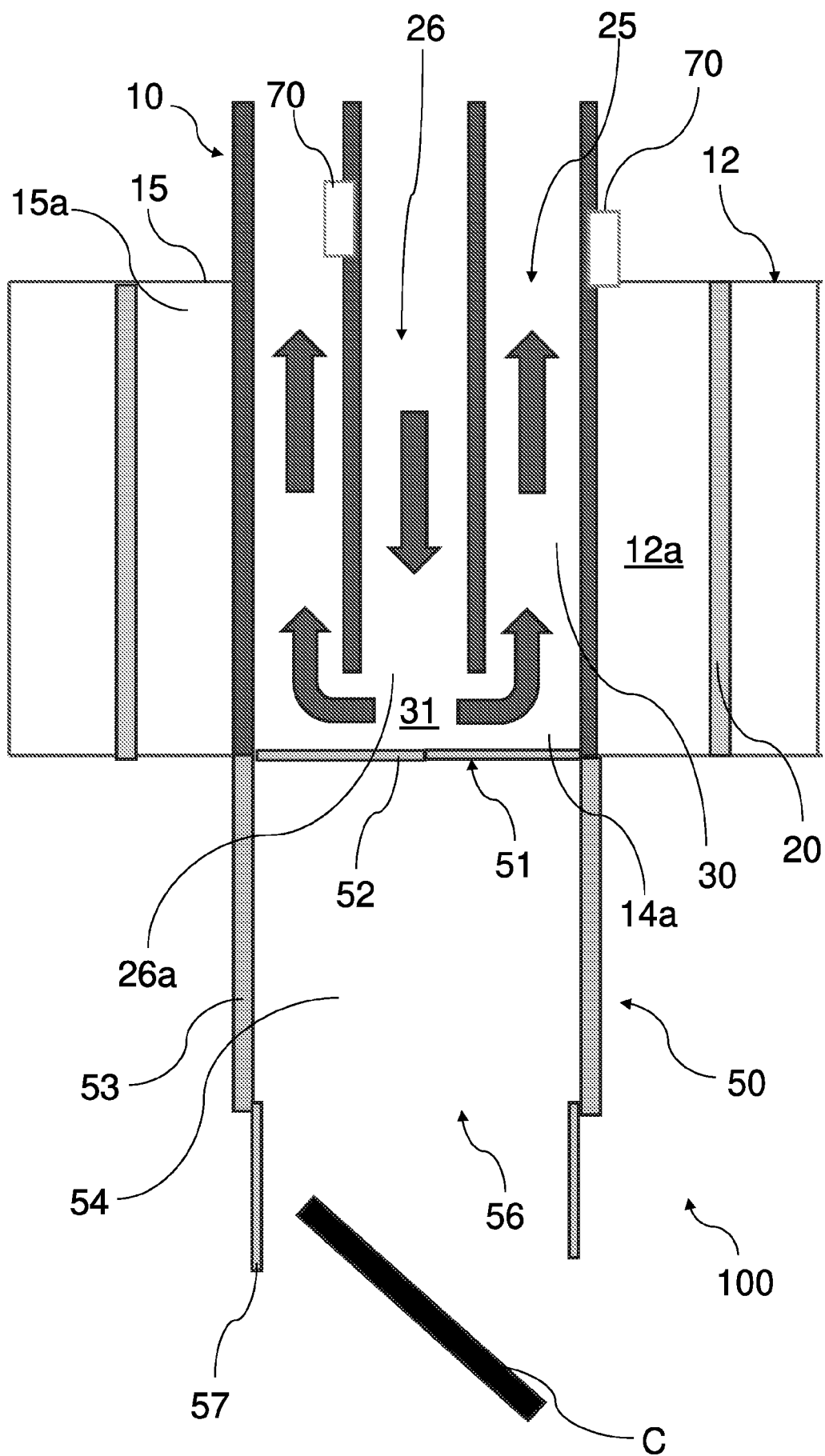


FIG 5

BW1043MMSSrrr

1/6

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

0	For receiving Office use only	
0-1	International Application No.	PCT/IB2024/056931
0-2	International Filing Date	17 July 2024 (17.07.2024)
0-3	Name of receiving Office and "PCT International Application"	RO/IB
0-4	Form PCT/RO/101 PCT Request	
0-4-1	Prepared Using	ePCT-Filing Version 4.13.006 MT/FOP 20240617/2.8
0-5	Petition	
	The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty	
0-6	Receiving Office (specified by the applicant)	International Bureau of WIPO (RO/IB)
0-7	Applicant's or agent's file reference	BW1043MMSSrrr
I	Title of Invention	REATTORE DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI E RELATIVO IMPIANTO E PROCESSO DI PIROLISI PER LA PIROLISI DI IDROCARBURI
II	Applicant	
II-1	This person is	Applicant only
II-2	Applicant for	All designated States
II-4	Name	I-H2 S.R.L.
II-5	Address	Corso Vittorio Emanuele II, 15 20122 Milano MI Italy
II-6	State of nationality	IT
II-7	State of residence	IT
II-10	e-mail	milano@sib.it
II-10(a)	E-mail authorization The receiving Office, the International Searching Authority, the International Bureau and the International Preliminary Examining Authority are authorized to use this e-mail address, if the Office or Authority so wishes, to send notifications issued in respect of this international application:	exclusively in electronic form (no paper notifications will be sent)
III-1	Applicant and/or inventor	
III-1-1	This person is	Inventor only
III-1-3	Inventor for	All designated States
III-1-4	Name (LAST, First)	RANCATI, Silvio
III-1-5	Address	Via dei Longobardi 36 20080 Basiglio MI Italy

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

III-2	Applicant and/or inventor	
III-2-1	This person is	Inventor only
III-2-3	Inventor for	All designated States
III-2-4	Name (LAST, First)	DONATI, Paolo
III-2-5	Address	Via Castello 74 26025 Pandino CR Italy
III-3	Applicant and/or inventor	
III-3-1	This person is	Inventor only
III-3-3	Inventor for	All designated States
III-3-4	Name (LAST, First)	BELLONI, Santino
III-3-5	Address	Via Edoardo Cassani 1 24047 Treviglio BG Italy
IV-1	Agent or common representative; or address for correspondence	
	The person identified below is hereby/ has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as:	Agent
IV-1-1	Name (LAST, First)	SANTORO, Sofia
IV-1-2	Address	Società Italiana Brevetti S.p.A. Via Carducci 8 20123 Milano MI Italy
IV-1-3	Telephone No.	+39 02 806331
IV-1-4	Facsimile No.	+39 02 80633200
IV-1-5	e-mail	milano@sib.it
IV-1-5(a)	E-mail authorization The receiving Office, the International Searching Authority, the International Bureau and the International Preliminary Examining Authority are authorized to use this e-mail address, if the Office or Authority so wishes, to send notifications issued in respect of this international application:	exclusively in electronic form (no paper notifications will be sent)
V	DESIGNATIONS	
V-1	The filing of this request constitutes under Rule 4.9(a), the designation of all Contracting States bound by the PCT on the international filing date, for the grant of every kind of protection available and, where applicable, for the grant of both regional and national patents.	
VI-1	Priority claim of earlier national application	
VI-1-1	Filing date	17 July 2023 (17.07.2023)
VI-1-2	Number	102023000014925
VI-1-3	Country or Member of WTO	IT

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

VI-2	Incorporation by reference : where an element of the international application referred to in Article 11(1)(iii)(d) or (e) or a part of the description, claims or drawings referred to in Rule 20.5(a), or an element or part of the description, claims or drawings referred to in Rule 20.5bis(a) is not otherwise contained in this international application but is completely contained in an earlier application whose priority is claimed on the date on which one or more elements referred to in Article 11(1)(iii) were first received by the receiving Office, that element or part is, subject to confirmation under Rule 20.6, incorporated by reference in this international application for the purposes of Rule 20.6.		
VII-1	International Searching Authority Chosen	European Patent Office (EPO) (ISA/EP)	
VII-2	Request to use results of earlier search; reference to that search		
VII-2-1	Filing date	17 July 2023 (17.07.2023)	
VII-2-2	Application Number	102023000014925	
VII-2-3	Country (or regional Office)	IT	
VII-2-5	Documents are available to the ISA in a form and a manner acceptable to it, and therefore do not need to be submitted by the applicant to the receiving Office, or to the ISA (Rules 12bis1.(c) and (d) and 12bis.2(b)):	A copy of the results of the earlier search A copy of any document cited in the earlier search results	
VIII	Declarations	Number of declarations	
VIII-1	Declaration as to the identity of the inventor	-	
VIII-2	Declaration as to the applicant's entitlement, as at the international filing date, to apply for and be granted a patent	-	
VIII-3	Declaration as to the applicant's entitlement, as at the international filing date, to claim the priority of the earlier application	1	
VIII-4	Declaration of inventorship (only for the purposes of the designation of the United States of America)	-	
VIII-5	Declaration as to non-prejudicial disclosures or exceptions to lack of novelty	-	

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

VIII-3-1	Declaration: Entitlement to claim priority Declaration as to the applicant's entitlement, as at the international filing date, to claim the priority of the earlier application specified below, where the applicant is not the applicant who filed the earlier application or where the applicant's name has changed since the filing of the earlier application (Rules 4.17(iii) and 51bis.1(a)(iii)) Name	In relation to this international application I-H2 S.R.L. is entitled to claim priority of earlier application No. IT 102023000014925 by virtue of the following:
VIII-3-1 (iv)		an assignment from ELSAFRA II S.P.A. to I-H2 S.R.L., dated 27 June 2024 (27.06.2024)

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

IX	Check list	Number of sheets	Electronic file(s) attached
IX-1	Request (including declaration sheets)	6	✓
IX-2	Description	14	✓
IX-3	Claims	4	✓
IX-4	Abstract	1	✓
IX-5	Drawings	5	✓
IX-6a	Sequence listing part of the description	-	-
IX-7	TOTAL	30	
	Accompanying Items	Paper document(s) attached	Electronic file(s) attached
IX-8	Fee calculation sheet	-	✓
IX-19	Other	Additional representatives	✓
IX-19	Other	Documents in pre-conversion format Statement (Section 706): This is a complete and accurate copy of the international application prior to its conversion into the electronic document format in which it is filed.	✓
IX-20	Figure of the drawings which should accompany the abstract	1	
IX-21	Language of filing of the international application	Italian	
X-1	Signature of applicant, agent or common representative	/Sofia SANTORO/	
X-1-1	Name (LAST, First)	SANTORO, Sofia	
X-1-3	Capacity (if such capacity is not obvious from reading the request)	Agent	

FOR RECEIVING OFFICE USE ONLY

10-1	Date of actual receipt of the purported international application	17 July 2024 (17.07.2024)
10-2	Drawings:	
10-2-1	Received	
10-2-2	Not received	
10-3	Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application	
10-4	Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2)	
10-5	International Searching Authority	ISA/EP
10-6	Transmittal of search copy delayed until search fee is paid	

PCT REQUEST

(Original in Electronic Form)

FOR INTERNATIONAL BUREAU USE ONLY

11-1	Date of receipt of the record copy by the International Bureau	
------	--	--