

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000028343
Data Deposito	08/11/2021
Data Pubblicazione	08/05/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	01	C	1	04

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	25	B	1	04

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	04	D	29	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	25	J	3	04

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	J	15	40

Titolo

SISTEMA PER LA PRODUZIONE DI AMMONIACA COMPRENDENTE IL RECUPERO DI TRAFILAMENTO DI IDROGENO DALLE TENUTE A GAS SECCO DEL COMPRESSORE DI IDROGENO, E METODO

Nuovo Pignone Tecnologie - s.r.l.

Firenze

5 SISTEMA PER LA PRODUZIONE DI AMMONIACA COMPRENDENTE IL
RECUPERO DI TRAFILAMENTI DI IDROGENO DALLE TENUTE A GAS
SECCO DEL COMPRESSORE DI IDROGENO, E METODO

DESCRIZIONE

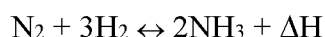
CAMPO TECNICO

10 [0001] La presente descrizione riguarda sistemi e metodi per la produzione di ammoniaca.

ARTE ANTERIORE

15 [0002] L'ammoniaca (NH₃) è un gas ad alta solubilità in acqua, che è spesso usato in soluzione acquosa. L'ammoniaca è usata in molte applicazioni industriali, tra l'altro per la produzione di acido nitrico, urea e altri sali di ammoniaca, quali nitrati, fosfati e simili. I derivati dell'ammoniaca sono ampiamente usati in agricoltura. Circa l'80% della produzione di ammoniaca è usata per la produzione di fertilizzanti.

[0003] Comunemente, l'ammoniaca è prodotta dalla sintesi di idrogeno e ossigeno secondo la seguente reazione esotermica (cioè una reazione che rilascia calore):



20 in cui ΔH è calore rilasciato dalla reazione.

[0004] Secondo un metodo ampiamente utilizzato, la produzione di ammoniaca parte usualmente da un gas di alimentazione, che fornisce una sorgente di idrogeno, quale metano, ad esempio. L'azoto è ottenuto dall'aria.

25 [0005] Metodi alternativi per la sintesi di ammoniaca usano idrogeno ottenuto dall'elettrolisi. Recentemente, nel tentativo di ridurre la produzione di gas serra ed evitare l'uso di idrocarburi, sono stati intensamente investigati processi e sistemi per la produzione di cosiddetta ammoniaca verde. Un modo di produrre ammoniaca verde

consiste nell'usare idrogeno dall'elettrolisi dell'acqua, impiegando potenza da sorgenti di energia rinnovabili, e azoto separato dall'aria. L'azoto e l'idrogeno sono poi alimentati da un processo Haber (noto anche come processo Haber-Bosch) dove idrogeno e azoto vengono fatti reagire insieme ad alte temperature e alte pressioni per produrre ammoniaca.

[0006] Mentre il processo Haber è usualmente condotto in condizioni di alta temperatura e alta pressione, che a loro volta richiedono elevata energia, più recentemente sono stati investigati processi di sintesi in condizioni di temperatura più basse, utilizzando idonei catalizzatori per promuovere la reazione di sintesi.

10 [0007] Idrogeno e azoto usati nella sintesi di ammoniaca, tuttavia, richiedono di essere compressi a valori di pressione relativamente alti, ad esempio attorno a 30 bar. Usualmente a tale scopo vengono usati compressori dinamici, e specificamente compressori centrifughi.

15 [0008] È estremamente desiderabile ridurre o evitare trafilamenti di idrogeno dai compressori di idrogeno. A tale scopo, sono state prese in considerazione le tenute a gas secco quali organi particolarmente promettenti per la tenuta attorno agli alberi ruotanti dei compressori di idrogeno.

[0009] Tenute a gas secco sono diventate sempre più popolari come tenute senza contatto per ridurre in maniera efficace trafilamenti di gas di processo da compressori centrifughi o altre turbomacchine (vedasi Stahley, John S. "*Dry Gas Seals Handbook*", Copyright 2005 by PennWell Corporation, ISBN 1-59370-062-8). Le tenute a gas secco usano un flusso di gas di processo per fornire una efficiente tenuta senza contatto fra un albero ruotante e una tenuta stazionaria. Tenute a gas secco richiedono un flusso di gas secco pulito per funzionare. Usualmente, lo stesso gas elaborato dal compressore (gas di "processo") è usato come gas di tenuta. Gas di tenuta è usualmente prelevato dal lato di mandata del compressore e il compressore deve essere in funzione per fornire gas di tenuta sufficientemente pressurizzato.

[0010] Inoltre, le tenute a gas secco richiedono un flusso di gas di separazione, che impedisce al gas di tenuta di entrare in contatto con i cuscini che supportano l'albero ruotante e che sono disposti all'esterno rispetto alle tenute a gas secco. A tale scopo, una tenuta di barriera è disposta fra la tenuta a gas secco e il cuscinio. Un gas amorfo,

ad esempio azoto, viene iniettato nella tenuta di barriera.

5 [0011] In breve, gas di tenuta è iniettato nella tenuta a gas secco fra una regione di alta pressione e una regione di bassa pressione. Una frazione del gas di tenuta fluisce verso la regione di alta pressione attraverso una tenuta a labirinto interna, disposta fra la tenuta a gas secco e la regione di alta pressione della turbomacchina. Un'altra frazione del gas di tenuta fluisce verso la regione di bassa pressione. Una frazione del gas di separazione fluisce verso il cuscono e una frazione del gas di separazione fluisce verso la tenuta a gas secco.

10 [0012] Gas di tenuta e gas di separazione che trafilano dalla disposizione di tenuta a gas secco e dalla disposizione di cuscono vengono sfiatati attraverso uno sfiato. In alcune forme di realizzazione, la tenuta a gas secco comprende soltanto una tenuta a gas primaria e un singolo sfiato. In tenute a gas secco più performanti, denominate tenute a gas secco tandem, la tenuta a gas secco comprende una tenuta a gas primaria e una tenuta a gas secondaria. Tenute a gas secco tandem comprendono uno sfiato primario e uno sfiato secondario, attraverso cui sfiatano gas di tenuta e gas di separazione.

[0013] Quando impiegate in un sistema di sintesi di ammoniaca, le tenute a gas secco in compressori di idrogeno diventano una sorgente principale di dispersione di idrogeno.

20 [0014] Sarebbe desiderabile fornire una tenuta efficiente dei compressori di idrogeno in impianti di sintesi di ammoniaca, in particolare in impianti e sistemi di sintesi di ammoniaca verde.

SOMMARIO

25 [0015] Secondo forme di realizzazione qui descritte, il sistema di sintesi di ammoniaca comprende una sorgente di idrogeno, ad esempio un elettrolizzatore, e una sorgente di azoto, ad esempio un separatore di azoto, atto a separare azoto da aria compressa. L'idrogeno viene elaborato in un compressore di idrogeno. Idrogeno compresso e azoto compresso vengono alimentati ad un compressore di gas di sintesi per ottenere un ulteriore aumento della pressione fino alla pressione finale richiesta per la sintesi dell'ammoniaca. L'idrogeno è usato come gas di tenuta e l'azoto è usato come gas di separazione in tenute a gas secco del compressore di idrogeno. Gas di tenuta e

30

gas di separazione che sfiatano dalle tenute a gas secco vengono raccolti e alimentati al compressore di gas di sintesi, per evitare perdite di idrogeno.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

[0016] Verrà ora fatto riferimento brevemente ai disegni allegati, in cui:

5 la Fig.1 illustra uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una forma di realizzazione;

 la Fig.2 illustra uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in un'altra forma di realizzazione; e

 la Fig.3 illustra un diagramma di flusso che riassume un metodo secondo la
10 presente descrizione.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA

[0017] In breve vengono qui descritti nuovi impianti di sintesi di ammoniaca, nei quali idrogeno compresso e azoto sono alimentati a tenute a gas secco di un compressore di idrogeno, rispettivamente come gas di tenuta e come gas di separazione. Gas
15 di tenuta e gas di separazione che trafilano attraverso gli sfiati delle tenute a gas secco vengono raccolti e alimentati al compressore del gas di sintesi di una unità di sintesi di ammoniaca, per essere elaborati insieme a un flusso di azoto da una sorgente di azoto, come una unità di separazione di azoto, e al flusso principale di idrogeno alimentato dal compressore di idrogeno. Nessun trafilamento di idrogeno viene bruciato
20 in torcia o disperso nell'ambiente.

[0018] Nella presente descrizione e nelle allegate rivendicazioni, il termine "tenuta a gas secco" può essere qualunque tenuta che utilizza gas di tenuta e gas di separazione per prevenire trafilamenti di gas lungo un albero ruotante.

[0019] Più specificamente, secondo un aspetto, viene qui descritto un sistema per la
25 produzione di ammoniaca attraverso sintesi di idrogeno e azoto. Il sistema comprende una sorgente di idrogeno e una sorgente di azoto. Il sistema comprende, inoltre, una unità di compressione di idrogeno. L'unità di compressione di idrogeno comprende un lato di aspirazione in accoppiamento di fluido con la sorgente di idrogeno e un lato di mandata. L'unità di compressione può comprendere uno o più compressori, ad esempio
30 compressori disposti in serie. Ciascun compressore può essere un compressore

dinamico, quale un compressore centrifugo. In forme di realizzazione qui descritte, ciascun compressore può essere un compressore multistadio. Almeno un compressore dell'unità di compressione di idrogeno comprende una cassa e un albero ruotante alloggiato per ruotare nella cassa. Il compressore comprende almeno una tenuta a gas secco, che fornisce una tenuta ruotante attorno all'albero ruotante. Usualmente il compressore comprende due tenute a gas secco ad estremità opposte dell'albero ruotante.

[0020] Il sistema comprende, inoltre, un'unità di sintesi di ammoniaca in accoppiamento di fluido con l'unità di compressione di idrogeno e con la sorgente di azoto. Azoto e idrogeno alimentati all'unità di sintesi dell'ammoniaca possono essere miscelati e ulteriormente compressi in un compressore di gas di sintesi, ed infine alimentati ad un modulo di sintesi dell'ammoniaca.

[0021] Una linea di alimentazione di gas di tenuta è atta ad alimentare idrogeno compresso alla o alle tenute a gas secco dell'unità di compressione dell'idrogeno, e una linea di alimentazione di gas di separazione è atta ad alimentare azoto alla o alle tenute a gas secco.

[0022] L'unità di sintesi dell'ammoniaca è in accoppiamento di fluido con uno sfiato, o con uno sfiato primario e uno sfiato secondario, della o delle tenute a gas secco, ed è atta a ricevere ed elaborare idrogeno compresso proveniente dall'unità di compressione dell'idrogeno, azoto dalla sorgente di azoto e gas che sfiata dalla o dalle tenute a gas secco, in cui il gas sfiatato usualmente contiene una miscela di idrogeno e azoto.

[0023] Viene così ottenuto un recupero totale dell'idrogeno.

[0024] Secondo un altro aspetto, viene qui descritto un metodo per la produzione di ammoniaca. Secondo forme di realizzazione qui illustrate, il metodo comprende le seguenti fasi:

- 25 comprimere idrogeno in una unità di compressione di idrogeno;
- alimentare idrogeno compresso come gas di tenuta ad almeno una tenuta a gas secco dell'unità di compressione dell'idrogeno, e preferibilmente a ciascuna tenuta a gas secco dell'unità di compressione dell'idrogeno;
- alimentare azoto da una sorgente di azoto alla tenuta a gas secco come gas di separazione per la tenuta a gas secco;
- 30 raccogliere una miscela gassosa che sfiata dalla tenuta a gas secco, la miscela

gassosa contenendo idrogeno e azoto; e

alimentare idrogeno compresso dall'unità di compressione dell'idrogeno, azoto dalla sorgente di azoto e la miscela gassosa sfiatata dalla o dalle tenute a gas secco all'unità di sintesi di ammoniaca, e sintetizzare ammoniaca da questi.

- 5 **[0025]** Riferendosi ora ai disegni, una forma di realizzazione di un sistema secondo la presente descrizione è illustrata in Fig.1. Il sistema 1 comprende un'unità di compressione di idrogeno 2. Nella forma di realizzazione della Fig.1, l'unità di compressione di idrogeno 2 è schematicamente rappresentata come un compressore dinamico di idrogeno, in particolare un compressore centrifugo di idrogeno 3. Si deve comprendere che l'unità di compressione di idrogeno 2 può in realtà comprendere una pluralità di compressori disposti in serie, per raggiungere il rapporto di compressione richiesto e quindi una pressione di idrogeno, che può essere ad esempio fino a 30 bar. La pluralità di compressori che formano l'unità di compressione dell'idrogeno 2 può essere disposta lungo una singola linea d'albero e formare un treno di compressori, azionati da un azionatore 7. In altre disposizioni, i compressori possono essere disposti lungo due o più linee d'albero, che possono ruotare a differenti velocità di rotazione.

- [0026]** Nella forma di realizzazione della Fig.1, il sistema 1 comprende, inoltre, un'unità di sintesi di ammoniaca 5, comprendente un modulo di sintesi dell'ammoniaca 9, un compressore di gas di sintesi 11 e un azionatore 13 meccanicamente accoppiato al compressore di gas di sintesi 11. Il compressore di gas di sintesi 11 può a sua volta comprendere uno o più compressori o stadi di compressore di gas di sintesi in serie.

- [0027]** Il sistema 1 comprende, inoltre, una sorgente di idrogeno 15. La sorgente di idrogeno 15 può comprendere un compressore d'aria 17 e un separatore di azoto 19. Il separatore di azoto 19 può comprendere, ad esempio, un separatore a membrana, un sistema di frazionamento, o qualunque altro dispositivo atto a separare azoto dagli altri componenti dell'area, specificamente ossigeno e biossido di carbonio. Il separatore di azoto 19 è in accoppiamento di fluido con un lato di aspirazione 11.1 del compressore di gas di sintesi 11 attraverso una linea di azoto 20.

- 30 **[0028]** Il compressore di gas di sintesi 11 dell'unità di sintesi di ammoniaca 5 elabora una miscela di azoto e idrogeno, indicata come gas di sintesi, che è alimentata al

modulo di sintesi ammoniaca 9 alla pressione richiesta per l'attuazione del processo di sintesi.

5 **[0029]** In forme di realizzazione, l'unità di compressione di idrogeno 2 è in accoppiamento di fluido con una sorgente di idrogeno 19. Nella forma di realizzazione della Fig.1, la sorgente di idrogeno 19 comprende un elettrolizzatore 21, che produce idrogeno da acqua utilizzando potenza elettrica.

10 **[0030]** La potenza elettrica richiesta per l'elettrolizzatore 21 può essere generata da qualunque sorgente di potenza elettrica. In forme di realizzazione attualmente preferite, la sorgente di potenza elettrica comprende un'unità di conversione di potenza 23, atta a convertire potenza da una sorgente di energia rinnovabile in potenza elettrica. Nello schema della Fig.1, l'unità di conversione di potenza 23 comprende pannelli fotovoltaici 25 e un inverter 27, per convertire energia solare in energia elettrica. In altre forme di realizzazione, non mostrate, possono essere utilizzate altre sorgenti di energia rinnovabile anziché energia solare o in combinazione con essa. Ad esempio, 15 possono essere utilizzate come sorgenti di energia rinnovabile l'energia eolica, l'energia geotermica, l'energia da onde o correnti di maree, o simili.

[0031] Idrogeno prodotto dall'elettrolizzatore 21 viene alimentato ad un lato di aspirazione 3.1 del compressore di idrogeno 3 dell'unità di compressione dell'idrogeno 2 attraverso una linea di aspirazione di idrogeno 29.

20 **[0032]** Il compressore di idrogeno 3, dell'unità di compressione di idrogeno 2 comprende un lato di mandata 3.2, che è in accoppiamento di fluido con il lato di aspirazione 11.1 del compressore di gas di sintesi 11. Il numero di riferimento 31 indica la linea di collegamento fra il compressore di idrogeno 3 e il compressore di gas di sintesi 11.

25 **[0033]** Il compressore di idrogeno 3 comprende una cassa 3.3 e un albero ruotante 3.4 alloggiato per ruotare nella cassa 3.3. L'albero ruotante 3.4 ruota integralmente con una o più giranti 3.5. L'albero ruotante 3.4 è supportato nella cassa 3.3 per mezzo di cuscini 33. All'interno rispetto a ciascun cuscinio 33 il compressore di idrogeno 3 comprende una rispettiva tenuta a gas secco 35. Ciascuna tenuta a gas secco 35 separa 30 una regione a bassa pressione da una regione ad alta pressione nella cassa 3.3. La regione a bassa pressione è all'esterno rispetto alla tenuta a gas secco 35 e comprende il

rispettivo cuscino 33. La regione ad alta pressione è all'interno rispetto alla tenuta a gas secco 35 e comprende l'interno della cassa 3.3, dove sono alloggiati le giranti 3.5 o parti di esse.

5 **[0034]** Ciascuna tenuta a gas secco 35 è in accoppiamento di fluido con una linea di alimentazione di gas di tenuta 37, atto ad alimentare idrogeno, ad esempio derivato dal lato di mandata del compressore di idrogeno 3, quale gas di tenuta a ciascuna tenuta a gas secco 35. Nella forma di realizzazione della Fig. 1, la linea di alimentazione di gas di tenuta 37 è in accoppiamento di fluido con il lato di mandata 3.2 del compressore di idrogeno 3.

10 **[0035]** Ciascuna tenuta a gas secco 35 è, inoltre, in accoppiamento di fluido con una linea di alimentazione di gas di separazione 39. Nella forma di realizzazione della Fig. 1, la linea di alimentazione di gas di separazione 39 è in accoppiamento di fluido con la linea di azoto 20. La linea di alimentazione di gas di separazione 39 comprende un dispositivo di riduzione della pressione 41, ad esempio una valvola di laminazione
15 o una valvola di strozzamento, oppure un espantore. Con questa disposizione, azoto proveniente dalla sorgente di azoto 15 può essere alimentato come gas di separazione a ciascuna tenuta a gas secco 35 ad una pressione idonea.

[0036] Ciascuna tenuta a gas secco 35 può essere, ad esempio, una tenuta a gas secco singola o una tenuta a gas secco tandem. Nel primo caso, ciascuna tenuta a gas secco
20 35 avrà un singolo sfiato, dal quale viene sfiata una miscela di gas di separazione e di gas di tenuta che trafila dalla tenuta a gas secco. Nella forma di realizzazione di Fig. 1, ciascuna tenuta a gas secco 35 è una tenuta a gas secco tandem e comprende una tenuta a gas primaria e una tenuta a gas secondaria. La tenuta a gas primaria è disposta all'interno rispetto alla tenuta a gas secondaria. Ciascuna tenuta a gas primaria com-
25 prende uno sfiato primario 45 e ciascuna tenuta a gas secondaria comprende uno sfiato secondario 47. Gas di tenuta (idrogeno) trafila attraverso lo sfiato primario 45, mentre una miscela di gas di tenuta (idrogeno) e gas di separazione (azoto) trafila attraverso lo sfiato secondario 47 di ciascuna tenuta a gas 35.

[0037] Per ridurre o prevenire perdite di idrogeno, entrambi lo sfiato primario 45 e
30 lo sfiato secondario 47 sono in accoppiamento di fluido con l'unità di sintesi di ammoniaca 5 per recuperare idrogeno che trafila dalle tenute a gas secco 35. Più

specificamente, idrogeno che trafila dagli sfiati primari 45 è raccolto da una linea di recupero di sfiato primario 49, e la miscela azoto/idrogeno che trafila dagli sfiati secondari 47 è raccolta da una linea di recupero di sfiati secondari 51.

5 [0038] In alcune forme di realizzazione, poiché il gas che trafila attraverso gli sfiati primari 45 e attraverso gli sfiati secondari 47 è ad una pressione inferiore rispetto alla pressione di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11, viene utilizzata un'unità di aumento della pressione 53, per aumentare la pressione dei trafilamenti di gas sia dagli sfiati primari 45, sia dagli sfiati secondari 47 fino alla pressione di aspirazione del compressore di sintesi 11, che è sostanzialmente uguale alla pressione di mandata del compressore di idrogeno 3 e alla pressione di mandata della sorgente di azoto 15.

15 [0039] In generale, la pressione dello sfiato primario è superiore rispetto alla pressione dello sfiato secondario. Pertanto, l'unità di aumento della pressione 53 può comprendere differenti dispositivi di aumento della pressione 53.1 e 53.2, per gas che trafila rispettivamente dagli sfiati primari 45 e dagli sfiati secondari 47. Ciascun dispositivo di aumento della pressione può comprendere un compressore, ad esempio un compressore avente una bassa portata e un alto rapporto di compressione, quale un compressore alternativo. In altre forme di realizzazione, possono essere usati eiettori per aumentare la pressione del gas che trafila dalle tenute a gas secco.

20 [0040] Poiché il compressore di gas di sintesi 11 elabora una miscela di idrogeno e azoto, che deve essere alimentata al modulo di sintesi di ammoniaca 9, non è richiesta una separazione tra azoto e idrogeno nella miscela di trafilamento sfiatata dalle tenute a gas secco. L'intero gas che sfiata dalle tenute a gas secco dell'unità di compressione dell'idrogeno 2 può quindi essere recuperato ed elaborato nell'unità di sintesi dell'ammoniaca 5. L'idrogeno non viene bruciato in torcia, se non richiesto, ad esempio, in caso di non disponibilità del compressore del gas di sintesi 11. In quest'ultimo caso, 25 trafilamenti dalle tenute a gas secco 35 possono essere in parte o completamente inviate in torcia attraverso un condotto 57.

30 [0041] In funzione, l'elettrolizzatore 21 alimentato dall'unità di conversione di potenza 23 produce idrogeno dall'acqua e il separatore di azoto 19 produce azoto per separazione da aria compressa. L'idrogeno viene compresso nell'unità di compressione di idrogeno 2 fino a raggiungere la pressione dell'azoto alimentato dalla sorgente

di azoto 15. Idrogeno e azoto pressurizzati vengono miscelati ed elaborati attraverso il compressore di gas di sintesi 11 fino a raggiungere la pressione finale richiesta per la sintesi dell'ammoniaca nel modulo di sintesi dell'ammoniaca 9.

5 [0042] Una piccola portata di idrogeno viene derivata dalla linea di idrogeno 31 ed alimentata come gas di tenuta alla pressione opportuna alle tenute a gas secco 35 dell'unità di compressione dell'idrogeno 2. Una piccola portata di azoto compresso dalla linea di azoto 20 viene alimentata come gas di separazione alle tenute a gas secco 35 e ai cuscini 33 dell'unità di compressione di idrogeno 2.

10 [0043] Idrogeno e azoto sfiatati dalle tenute a gas secco 35 vengono raccolti e compressi alla pressione di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11 e alimentati al lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi insieme all'idrogeno compresso alimentato dall'unità di compressione di idrogeno 2 e all'azoto proveniente dalla sorgente di azoto 15.

15 [0044] Continuando a riferirsi alla Fig.1, un'ulteriore forma di realizzazione di un sistema 1 per la produzione di ammoniaca secondo la presente descrizione è illustrata in Fig.2. Gli stessi numeri di riferimento usati in Fig.2 designano componenti uguali o equivalenti alla Fig.1, che non verranno nuovamente descritti in dettaglio.

20 [0045] Nella forma di realizzazione della Fig.2, l'unità di compressione dell'idrogeno 2 comprende compressori 3A, 3B, 3C disposti in sequenza. Il primo compressore 3A è un compressore di bassa pressione, il secondo compressore 3B è un compressore di media pressione e il terzo compressore 3C è un compressore di alta pressione. Nella forma di realizzazione della Fig.2 i tre compressori 3A, 3B, 3C sono disposti lungo una linea d'albero comune che comprende un albero comune contrassegnato nuovamente con 3.4. Ciascun compressore 3A, 3B, 3C è sostanzialmente configurato come
25 il compressore 3 descritto in relazione alla Fig.1 e comprende una cassa 3.3, un lato di aspirazione 3.1, un lato di mandata 3.2, cuscini che supportano l'albero ruotante 3.4 (non mostrati in Fig.2) e tenute a gas secco 35 che forniscono una tenuta ruotante attorno all'albero ruotante 3.4.

30 [0046] Idrogeno prodotto dall'elettrolizzatore 21 della sorgente di idrogeno 19 viene alimentato al lato di aspirazione 3.1 del compressore 3A più a monte e idrogeno compresso viene alimentato dal lato di mandata 3.2 del compressore più a valle 3C al

compressore di gas di sintesi 11. Il lato di mandata del compressore di bassa pressione 3A è in accoppiamento di fluido con il lato di aspirazione del compressore a media pressione 3B. Il lato di mandata del compressore di media pressione 3B è in accoppiamento di fluido con il lato di aspirazione del compressore ad alta pressione 3C.

- 5 **[0047]** Ciascun compressore 3A, 3B, 3C comprende cuscini, che supportano l'albero 3.4. I cuscini sono usualmente disposti all'esterno rispetto alle rispettive tenute a gas 35, sostanzialmente nello stesso modo descritto in relazione alla Fig.1 per il singolo compressore di idrogeno 3.

- 10 **[0048]** Nella forma di realizzazione della Fig.2, gas di tenuta per ciascuna tenuta a gas secco 35 viene derivato dal lato di mandata 3.2 del compressore di alta pressione 3C più a valle e alimentato a ciascuna tenuta a gas secco 35 attraverso una linea di alimentazione di gas di tenuta 37. Opportuni dispositivi di riduzione della pressione possono essere previsti per regolare la pressione del gas di tenuta a differenti valori di pressione per le differenti tenute a gas secco del treno di compressori.

- 15 **[0049]** In altre forme di realizzazione, non mostrate, gas di tenuta per le tenute a gas secco 35 di ciascun singolo compressore 3A, 3B, 3C può essere derivato dal lato di mandata di ciascun compressore 3A, 3B, 3C separatamente. Possono anche essere previste soluzioni intermedie, in cui il gas di tenuta viene derivato da vari punti lungo il percorso di compressione, ad esempio a valle di uno o alcuni dei compressori intermedi
20 3A, 3B e a valle del compressore 3C di alta pressione.

- 25 **[0050]** Gas di separazione per ciascuna tenuta a gas 35 può essere alimentato da una linea di alimentazione di gas di separazione 39, che pone in accoppiamento di fluido la linea di azoto 20 con le tenute a gas secco 35 dei compressori 3A, 3B, 3C. Un dispositivo di riduzione della pressione 41 può essere predisposto lungo la linea di alimentazione di gas di separazione 39, se la pressione dell'azoto deve essere ridotta
prima di alimentare l'azoto dalla sorgente di azoto 15 alle tenute a gas secco 35. Differenti dispositivi di riduzione della pressione possono essere usati se sia desiderabile o utile avere gas di separazione a pressioni variabili per le differenti tenute a gas secco 35.

- 30 **[0051]** L'idrogeno che trafila dagli sfiati primari 45 e la miscela di azoto/idrogeno che trafila dagli sfiati secondari 47 vengono raccolti dalla linea di recupero degli sfiati

primari 49 e dalla linea di recupero degli sfiati secondari 51, rispettivamente, e alimentati all'unità di incremento della pressione 53, sostanzialmente nello stesso modo descritto in relazione alla Fig.1. Nella forma di realizzazione della Fig.2 l'unità di incremento della pressione 53 comprende due dispositivi di incremento della pressione 53.1 e 53.2, per le ragioni esposte in relazione alla Fig.1.

[0052] In alcune forme di realizzazione, l'unità di compressione dell'idrogeno 2 può essere configurata per comprimere una miscela di idrogeno contenente una certa percentuale molare di azoto, ad esempio compresa fra il 2% e il 20%, preferibilmente fra il 5% e il 15%. In tal modo, il peso molecolare (Mw) della miscela di gas elaborata dall'unità di compressione dell'idrogeno 2 è superiore rispetto al peso molecolare dell'idrogeno puro e la compressione diviene meno difficoltosa. Ad esempio, può essere usato una velocità di rotazione più bassa dei compressori di idrogeno 3A, 3B, 3C, a parità di rapporto di compressione e/o un minor numero di stadi di compressione può essere sufficiente per raggiungere lo stesso rapporto di compressione.

[0053] La Fig.2 illustra una disposizione in cui una quantità di azoto è miscelata con l'idrogeno dalla sorgente di idrogeno 21. La stessa disposizione può essere usata nella forma di realizzazione della Fig.1.

[0054] In Fig.2 un flusso secondario di azoto viene derivato dalla linea di azoto 20 e aggiunto al flusso di idrogeno elaborato attraverso l'unità di compressione dell'idrogeno 2. Nella forma di realizzazione della Fig.2, il flusso secondario di azoto è aggiunto al flusso di idrogeno sul lato di aspirazione del compressore di bassa pressione 3A o a monte di esso. In altre forme di realizzazione, non mostrate, il flusso secondario di azoto può essere iniettato in uno degli stadi di compressione intermedi fra il lato di aspirazione 3.1 del compressore di bassa pressione 3A e il lato di mandata 3.2 del compressore di alta pressione 3C. In ancora ulteriori forme di realizzazione, il flusso secondario di azoto può essere suddiviso in due o più flussi laterali iniettati in differenti punti, a differenti pressioni lungo il percorso di flusso dell'idrogeno fra il lato di aspirazione 3.1 e il lato di mandata 3.2.

[0055] Poiché l'azoto dalla sorgente di azoto 15 è ad una pressione superiore rispetto alla pressione di idrogeno a monte del lato di aspirazione 3.1, il flusso secondario di azoto deve essere depressurizzato. Nello schema della Fig.2, il flusso secondario di

azoto è derivato dalla linea di azoto 20 attraverso una linea secondaria di azoto 60, lungo la quale è disposto un dispositivo di depressurizzazione 63. Il dispositivo di depressurizzazione 63 può comprendere una valvola di strozzamento o di laminazione. In altre forme di realizzazione, come schematicamente mostrato in Fig.2, il dispositivo di depressurizzazione 63 può comprendere un espantore. Non è esclusa una combinazione di valvole ed espantori.

[0056] L'espantore 63 può essere meccanicamente accoppiato ad un generatore elettrico 65, il quale converte una parte del salto entalpico dell'azoto che si espande nell'espantore 63 in potenza elettrica utile. La potenza elettrica generata dal generatore elettrico 65 può essere alimentata ad una rete di distribuzione di potenza elettrica 67, che può essere la stessa rete, cui è collegato l'inverter 27, o può essere accoppiata a quest'ultima. La potenza elettrica recuperata dall'espansione dell'azoto può così essere utilizzata nella produzione di idrogeno elettrolitico. In altre forme di realizzazione, potenza meccanica generata dall'espantore 63 può essere usata per azionare uno o più dei compressori del sistema 1, cioè l'espantore 63 può essere usato come helper di un azionamento dei compressori.

[0057] Nella forma di realizzazione della Fig.2, analogamente alla forma di realizzazione della Fig. 1, l'intero trafilamento di idrogeno da tutte le tenute a gas del compressore di idrogeno del treno di compressori 3A, 3B, 3C viene recuperato ed è alimentato al compressore di gas di sintesi 11, dove azoto pressurizzato e idrogeno sono ulteriormente pressurizzati e alimentati al modulo di sintesi dell'ammoniaca 9. Poiché nel compressore di gas di sintesi 11 è elaborata una miscela di azoto e idrogeno e usata nel modulo di sintesi dell'ammoniaca 9, non è richiesta una separazione di azoto e idrogeno che sfiatano dalle tenute a gas 35.

[0058] Continuando a riferirsi alle Figg.1 e 2, la Fig.3 mostra un diagramma di flusso che riassume le fasi eseguite dal sistema 1. Nella fase 101 idrogeno viene compresso nell'unità di compressione di idrogeno 2. Idrogeno compresso viene alimentato alle tenute a gas secco 35 dell'unità di compressione di idrogeno 2 come gas di tenuta (fase 102). Azoto viene ulteriormente alimentato come gas di separazione alle tenute a gas secco 35 dell'unità di compressione di idrogeno 2 (fase 103). Idrogeno e azoto che trafilano dagli sfiati primario e secondario delle tenute a gas secco 35 vengono raccolti (fase 104) e alimentati, insieme all'idrogeno compresso dall'unità di compressione

dell'idrogeno 2 e ad azoto compresso dalla sorgente di azoto 15, al compressore di gas di sintesi 11 dell'unità di sintesi di ammoniaca 9 per sintetizzare da essi ammoniaca (fase 105).

- [0059]** Alcune forme di realizzazione esemplificative sono state descritte per una
- 5 comprensione dei principi della struttura, funzione e uso dei sistemi., dispositivi e metodi qui descritti. Uno o più esempi di queste forme di realizzazione sono illustrati nei disegni allegati. Gli esperti del settore comprenderanno che i sistemi, dispositivi e metodi qui specificamente descritti e illustrati nei disegni allegati sono esempi di forme realizzative non limitativi e che l'ambito della presente invenzione è definita unica-
- 10 mente dalle rivendicazioni. Caratteristiche descritte o illustrate in relazione ad una forma di realizzazione esemplificativa possono essere combinate con caratteristiche di altre forme realizzative. Tali modifiche e variazioni si intendono incluse nell'abito della presente invenzione.

Nuovo Pignone Tecnologie - s.r.l.

Firenze

5 SISTEMA PER LA PRODUZIONE DI AMMONIACA COMPRENDENTE IL
RECUPERO DI TRAFILAMENTI DI IDROGENO DALLE TENUTE A GAS
SECCO DEL COMPRESSORE DI IDROGENO, E METODO

RIVENDICAZIONI

1. Un sistema (1) per la produzione di ammoniaca, il sistema comprendendo:
- 10 una sorgente di idrogeno (19);
una sorgente di azoto (15);
un'unità di compressione di idrogeno (2) comprendente: un lato di aspirazione (3.1) in accoppiamento di fluido con la sorgente di idrogeno (19), un lato di mandata (3.2) e almeno un compressore (3; 3A, 3B, 3C); in cui l'almeno un compressore (3; 3A, 3B, 3C) comprende: una cassa (3.3), un albero ruotante (3.4) alloggiato per ruotare nella cassa (3.3) e almeno una tenuta a gas secco (35) che circonda a tenuta l'albero ruotante (3.4);
- 15 una unità di sintesi di ammoniaca (5) in accoppiamento di fluido con l'unità di compressione di idrogeno (2) e con la sorgente di azoto (19);
- 20 una linea di alimentazione di gas di tenuta (37) atta ad alimentare idrogeno compresso all'almeno una tenuta a gas secco (35); e
una linea di alimentazione di gas di separazione (20) atto ad alimentare azoto ad almeno una tenuta a gas secco (35);
- 25 in cui l'unità di sintesi dell'ammoniaca (5) è in accoppiamento di fluido con uno sfiato (45, 47) dell'almeno una tenuta a gas secco (35) e atta a ricevere ed elaborare idrogeno compresso dall'unità di compressione di idrogeno (2), azoto dalla sorgente di azoto (15) e gas sfiatato dall'almeno una tenuta a gas secco (35).
2. Il sistema (1) della rivendicazione 1, in cui detto sfiato comprende uno sfiato primario (45) e uno sfiato secondario (47), lo sfiato primario (45) e lo sfiato

secondario (47) essendo in accoppiamento di fluido con l'unità di sintesi dell'ammoniaca (5).

3. Il sistema (1) della rivendicazione 1 o 2, in cui la sorgente di idrogeno (19) comprende un elettrolizzatore (21).

5 4. Il sistema (1) della rivendicazione 3, comprendente inoltre un'unità di conversione di potenza (23), atta a convertire potenza da una sorgente di energia rinnovabile in potenza elettrica, e in cui l'elettrolizzatore (21) è alimentato dall'unità di conversione di potenza (23).

10 5. Il sistema (1) di una o più delle rivendicazioni precedenti, in cui la sorgente di azoto (15) comprende una disposizione di separazione di azoto atta a separare azoto da aria.

15 6. Il sistema (1) di una o più delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità di sintesi di ammoniaca (5) comprende un compressore di gas di sintesi (11) in accoppiamento di fluido con il lato di mandata (3.2) dell'unità di compressione di idrogeno (2), alla sorgente di azoto (15) ed allo sfiato (45, 47) della almeno una tenuta a gas secco (35); e in cui il compressore di gas di sintesi (11) è atto a comprimere una miscela gassosa contenente azoto e idrogeno.

20 7. Il sistema (1) di una o più delle rivendicazioni precedenti, comprendente, inoltre, un'unità di incremento della pressione (53) atta ad aumentare la pressione del gas che fuoriesce dallo sfiato (45, 47) di detta almeno una tenuta a gas secco (35) ad una pressione di ingresso di gas dell'unità di sintesi dell'ammoniaca (5).

25 8. Il sistema (1) della rivendicazione 7, in cui l'unità di incremento della pressione (53) è atta ad aumentare la pressione del gas che fuoriesce dallo sfiato (45, 47) della almeno una tenuta a gas (35) ad una pressione di mandata dell'unità di compressione dell'idrogeno (2).

9. Un metodo per produrre ammoniaca, il metodo comprendendo:

comprimere idrogeno in una unità di compressione di idrogeno (2), l'unità di compressione di idrogeno (2) comprendendo: un lato di aspirazione (3.1) in accoppiamento di fluido con una sorgente di idrogeno (19), un lato di mandata in accoppiamento di

fluido con un'unità di sintesi di ammoniaca (5) e almeno un compressore (3; 3A, 3B, 3C); in cui il compressore comprende: una cassa (3.3), un albero ruotante (3.4) alloggiato per ruotare nella cassa (3.3), e almeno una tenuta a gas secco (35) che circonda a tenuta l'albero ruotante (3.4);

- 5 alimentare idrogeno compresso all'almeno una tenuta a gas secco (35) come gas di tenuta per la tenuta a gas secco (35);

alimentare azoto dalla sorgente di azoto (15) all'almeno una tenuta a gas secco (35) come gas di separazione per la tenuta a gas secco (35);

- 10 raccogliere una miscela gassosa di sfiato dall'almeno una tenuta a gas secco (35), la miscela gassosa contenendo idrogeno e azoto; e

alimentare idrogeno compresso dall'unità di compressione di idrogeno (2), azoto dalla sorgente di azoto (15), e la miscela gassosa di sfiato all'unità di sintesi di ammoniaca (5) e sintetizzare ammoniaca da essi.

10. Il metodo della rivendicazione 9, comprendente, inoltre, la fase di
15 incrementare la pressione di gas che fuoriesce dallo sfiato (45, 47) dell'almeno una tenuta a gas secco (35) ad una pressione di ingresso di gas dell'unità di sintesi dell'ammoniaca (5).

11. Il metodo della rivendicazione 9 o 10, in cui azoto è miscelato con
20 idrogeno nell'unità di compressione di idrogeno (2), cosicché una miscela di idrogeno e azoto viene elaborata attraverso l'unità di compressione di idrogeno (2).

12. Il metodo della rivendicazione 9 o 10 o 11, comprendente, inoltre, la fase di produrre idrogeno con un elettrolizzatore (21).

13. Il metodo della rivendicazione 12, comprendente inoltre le seguenti fasi:

- 25 convertire potenza da una sorgente di energia rinnovabile in potenza elettrica;
alimentare l'elettrolizzatore (21) con detta potenza elettrica.

14. Il metodo di una o più delle rivendicazioni 9 a 13, comprendente inoltre la fase di separare azoto da aria.

15. Il metodo della rivendicazione 14, comprendente la fase di comprimere idrogeno alimentato dall'unità di compressione di idrogeno (2), una miscela gassosa fuoriuscente dallo sfiato (45, 47) dell'almeno una tenuta a gas secco (35) e azoto dalla sorgente di azoto (15) in un compressore di gas di sintesi (11) dell'unità di sintesi
- 5 di ammoniaca (5).

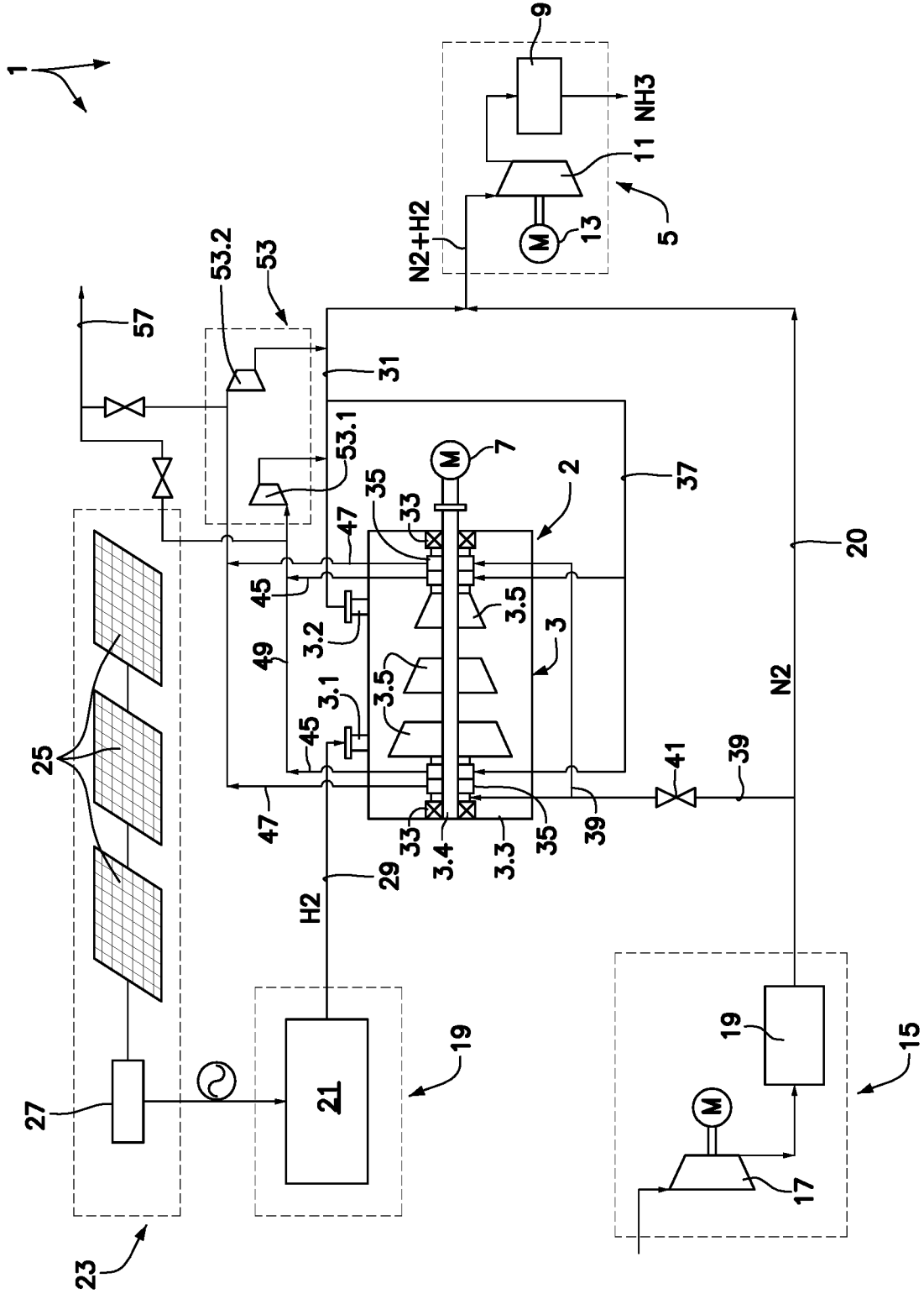


Fig.1

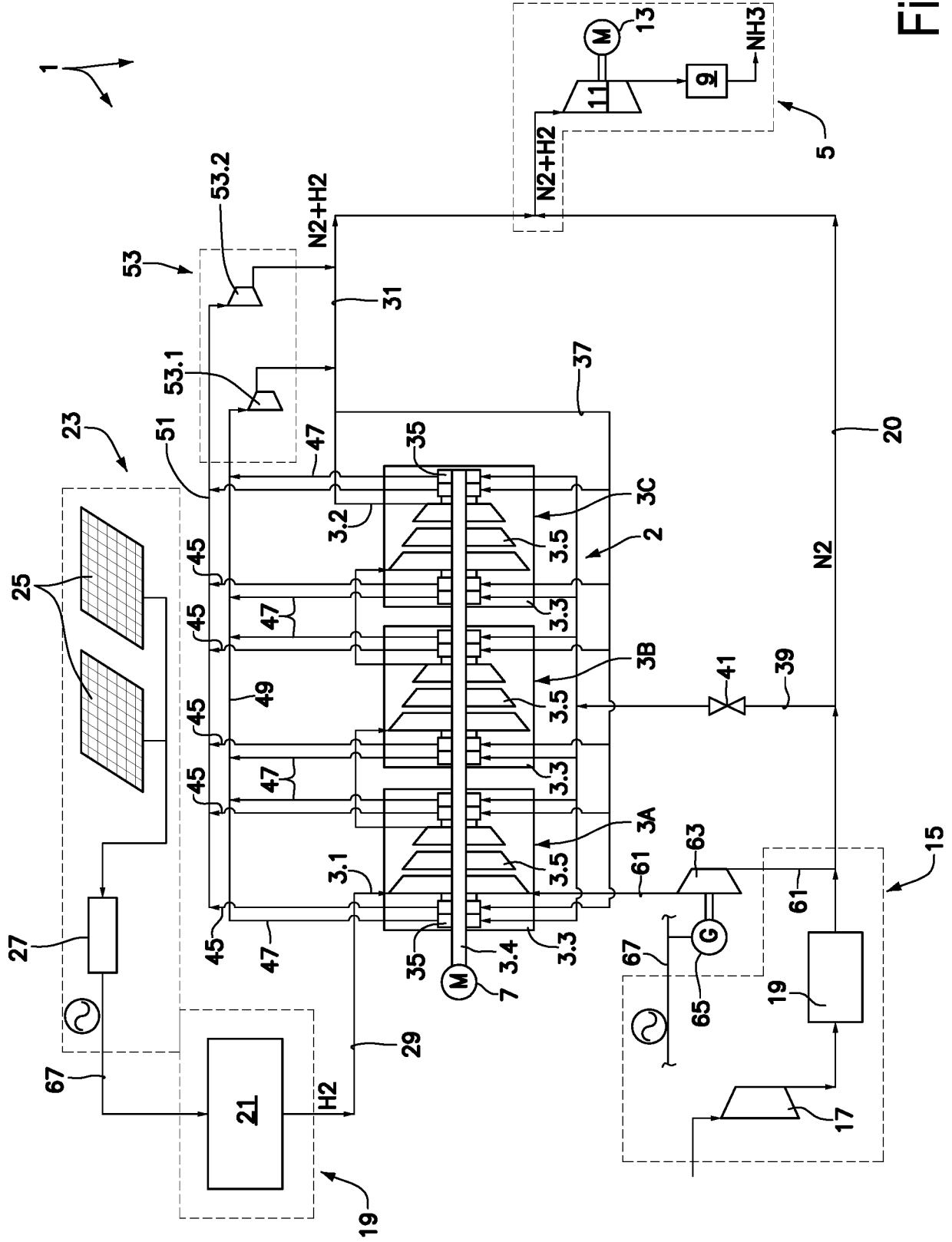


Fig.2

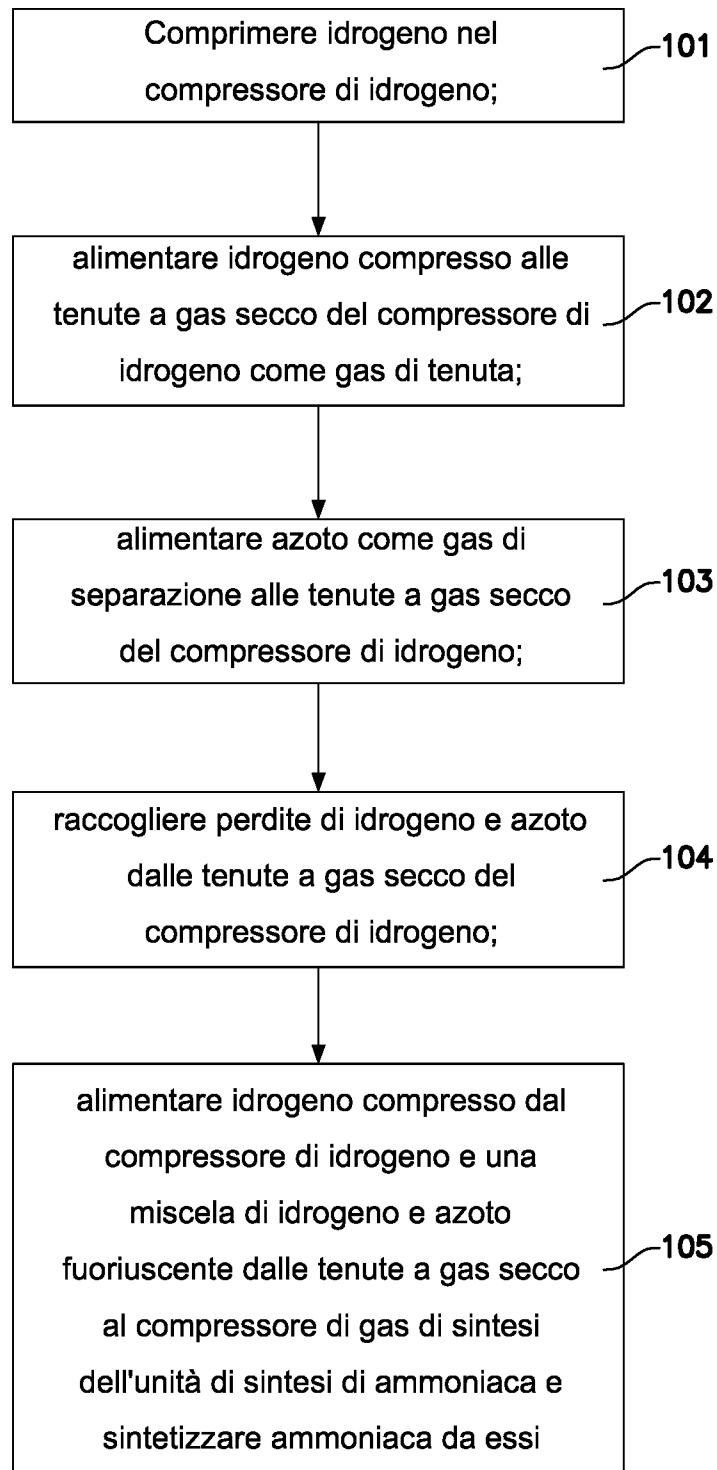


Fig.3