

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000028049
Data Deposito	04/11/2021
Data Pubblicazione	04/05/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	01	C	1	04

Titolo

IMPIANTO E METODO PER LA SINTESI DI AMMONIACA

Nuovo Pignone Tecnologie - s.r.l.
Firenze

IMPIANTO E METODO PER LA SINTESI DI AMMONIACA

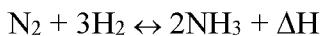
DESCRIZIONE

5 CAMPO TECNICO

[0001] La presente descrizione riguarda impianti e metodi per la sintesi di ammoniaca. Specificamente, vengono qui descritte nuove disposizioni di treni di compressione per sistemi di sintesi di ammoniaca e rispettivi metodi.

ARTE ANTERIORE

- 10 **[0002]** L'ammoniaca (NH_3) è un gas ad alta solubilità in acqua, che è spesso usata in soluzione acquosa. L'ammoniaca è usata in molte applicazioni industriali, fra cui la produzione di acido nitrico, urea e altri sali di ammoniaca, quali nitrati, fosfati e simili. I derivati di ammoniaca sono ampiamente usati in agricoltura. Circa l'80% della produzione di ammoniaca è utilizzata per la produzione di fertilizzanti.
- 15 **[0003]** Comunemente, l'ammoniaca è prodotta per sintesi di azoto e idrogeno secondo la seguente reazione esotermica (cioè una reazione che rilascia calore):



in cui ΔH è calore rilasciato dalla reazione.

- 20 **[0004]** Secondo un metodo ampiamente usato, la produzione di ammoniaca inizia 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 utilizzano idrogeno ottenuto da elettrolisi. Recentemente, in uno sforzo per la riduzione dei gas ad effetto serra e per evitare l'uso di idrocarburi, sono stati investigati a fondo processi e sistemi di produzione di ammoniaca cosiddetta verde. La produzione di ammoniaca verde si ha quando il processo per la produzione di ammoniaca è al 100% libera da carbonio. Un modo per produrre ammoniaca verde prevede l'utilizzo di azoto separato dall'aria e idrogeno ottenuto dall'acqua per elettrolisi con alimentazione da sorgenti di energia rinnovabile.

L'azoto e l'idrogeno vengono poi alimentati in un processo Haber (anche noto come processo Haber-Bosch), dove l'idrogeno e l'azoto vengono fatti reagire tra loro ad elevate temperature e pressioni per produrre ammoniaca.

5 [0006] Benché il processo Haber sia usualmente condotto in condizioni di alta temperatura e alta pressione, più recentemente sono nati processi di sintesi in condizioni di bassa temperatura, utilizzando idonei catalizzatori per promuovere la reazione di sintesi.

10 [0007] Indipendentemente dal processo di sintesi utilizzato, uno degli aspetti critici della produzione di ammoniaca impiegando idrogeno prodotto per elettrolisi a pressione ambiente è la necessità di comprimere l'idrogeno all'elevata pressione richiesta per la reazione di sintesi.

15 [0008] Comprimere un gas avente un basso peso molecolare (Mw) può essere difficile, poiché minore è il peso molecolare del gas, maggiore è la velocità di rotazione delle giranti del compressore e/o il numero di stadi di compressore e di casse di compressore richiesti per raggiungere il rapporto di compressione desiderato. Lunghi treni di compressori che comprendono un elevato numero di stadi di compressore eventualmente suddivisi in più casse di compressore pongono problemi difficili ai progettisti in termini - tra l'altro - di problematiche rotor-dinamiche.

20 [0009] L'idrogeno è il gas che ha il peso molecolare più basso e la sua compressione è pertanto particolarmente difficile in termini di prestazioni del compressore.

[0010] Anche se i catalizzatori possono ridurre la temperatura a cui è condotta la reazione, è richiesta un'elevata pressione dei gas coinvolti nella reazione di sintesi, per migliorare l'efficienza del processo di sintesi in termini di resa in ammoniaca.

25 [0011] La necessità di comprimere idrogeno dalla pressione ambiente, a cui esso è prodotto per elettrolisi, fino alle pressioni richieste per un'efficace reazione di sintesi dell'ammoniaca rende la progettazione dei compressori di idrogeno particolarmente impegnativa, sia in termini di numero di stadi di compressore, sia in termini di loro velocità di rotazione, quando vengono impiegati compressori dinamici, quali compressori centrifughi.

30 [0012] Sarebbe pertanto vantaggioso semplificare la struttura, la produzione e il

controllo di compressori di idrogeno in un sistema di produzione di ammoniaca, in specie in un sistema di sintesi di ammoniaca verde.

SOMMARIO

[0013] Se secondo un aspetto, viene qui descritto un sistema per la produzione di ammoniaca, il quale comprende una sorgente di idrogeno e un'unità di compressione di idrogeno, atta a comprimere idrogeno proveniente dalla sorgente di idrogeno. Il sistema comprende, inoltre, una sorgente di azoto. Un compressore di gas di sintesi è atta a ricevere azoto dalla sorgente di azoto e idrogeno dall'unità di compressione dell'idrogeno, ed è inoltre atta a comprimere un gas di sintesi comprendente una miscela di idrogeno e azoto per l'invio ad un modulo di sintesi dell'ammoniaca, in accoppiamento di fluido con il compressore di gas di sintesi. La sorgente di azoto è in accoppiamento di fluido con l'unità di compressione dell'idrogeno, così che nell'uso l'unità di compressione dell'idrogeno comprime una miscela contenente idrogeno e azoto. Il peso molecolare della miscela di gas elaborata dall'unità di compressione dell'idrogeno è, in tal modo, superiore rispetto al peso molecolare dell'idrogeno puro, migliorando il processo di compressione e semplificando l'unità di compressione dell'idrogeno.

[0014] L'unità di compressione dell'idrogeno comprende almeno un compressore dinamico, ad esempio un compressore centrifugo. In forme di realizzazione, l'unità di compressione dell'idrogeno comprende una pluralità di compressori dinamici in serie, per raggiungere il rapporto di compressione desiderato.

[0015] Secondo un altro aspetto, viene descritto un metodo per la produzione di ammoniaca da idrogeno e azoto. Il metodo comprende la fase di alimentare un flusso di idrogeno, ad una pressione di aspirazione di gas di sintesi, ad un lato di aspirazione di un compressore di gas di sintesi. Il metodo comprende inoltre la fase di alimentare un flusso di idrogeno ad una pressione di ingresso dell'idrogeno, inferiore rispetto alla pressione di aspirazione del gas di sintesi, ad un lato di aspirazione di un'unità di compressione di idrogeno. Una ulteriore fase comprende l'aumentare della pressione del flusso di idrogeno dalla pressione di ingresso dell'idrogeno alla pressione di aspirazione del gas di sintesi nell'unità di compressione dell'idrogeno, e alimentare l'idrogeno compresso al compressore di gas di sintesi. Inoltre, il metodo comprende anche la fase

di alimentare gas di sintesi pressurizzato dal compressore di gas di sintesi ad un modulo di sintesi dell'ammoniaca e la fase di produrre ammoniaca dal gas di sintesi compresso. Secondo forme di realizzazione qui descritte, il metodo comprende, inoltre, la fase di aggiungere azoto all'idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno per aumentare il peso molecolare del gas elaborato dall'unità di compressione dell'idrogeno.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

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

- la Fig.1 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una forma di realizzazione; la
- 10 la Fig.2 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una ulteriore forma di realizzazione;
- la Fig.3 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una ulteriore forma di realizzazione;
- 15 la Fig.4 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una ulteriore forma di realizzazione;
- la Fig.5 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una ulteriore forma di realizzazione;
- la Fig.6 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in una ulteriore forma di realizzazione;
- 20 la Fig.7 è uno schema di un sistema secondo la presente descrizione in ancora una ulteriore forma di realizzazione; e
- la Fig.8 è un diagramma di flusso che riassume il metodo secondo la presente descrizione.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA

- 25 **[0017]** In termini generali, viene qui descritto un sistema per la sintesi di ammoniaca, che comprende caratteristiche innovative atte a semplificare la struttura o il progetto dell'unità di compressione dell'idrogeno.

- [0018]** In breve, il sistema è configurato in modo tale che una quantità di azoto viene aggiunta ad un flusso di idrogeno a bassa pressione prima di raggiungere la pressione finale dell'idrogeno richiesta sul lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi, dove idrogeno parzialmente compresso viene miscelato con azoto proveniente dalla

sorgente di azoto. In alcune forme di realizzazione, prima della miscelazione con l'idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno, il flusso di azoto viene depressurizzato.

[0019] La miscela di idrogeno e azoto elaborata dall'unità di compressione dell'idrogeno ha un peso molecolare che è maggiore rispetto al peso molecolare dell'idrogeno puro. Se almeno una parte della compressione dell'idrogeno viene eseguita con idrogeno miscelato ad azoto, gli stadi del compressore di idrogeno possono essere ridotti e/o la loro velocità di rotazione può essere inferiore rispetto alla velocità di rotazione dei compressori di idrogeno dell'arte corrente. Questo rende la progettazione dei compressori meno impegnativa e può ridurre la dimensione complessiva dell'unità di compressione dell'idrogeno.

[0020] Poiché azoto e idrogeno devono essere miscelati per formare il gas di sintesi per la successiva alimentazione al modulo di sintesi dell'ammoniaca, non è richiesta una separazione dell'idrogeno dall'azoto dopo la compressione.

[0021] Venendo ora ai disegni, la Fig.1 illustra uno schema di un sistema di produzione di ammoniaca 1 secondo la presente descrizione in una forma di realizzazione. Il sistema di produzione di ammoniaca 1 comprende una sorgente di idrogeno 3 e una sorgente di azoto 5. Nella forma di realizzazione esemplificativa della Fig.1, la sorgente di idrogeno 3 può comprendere un elettrolizzatore 7. L'elettrolizzatore 7 può essere alimentato con energia elettrica da una rete di distribuzione di potenza elettrica 8. In alcune forme di realizzazione, l'energia elettrica può essere almeno parzialmente fornita da un convertitore elettrico 9. Nella Fig.1 il convertitore elettrico 9 comprende pannelli fotovoltaici 9A e un inverter solare 9B accoppiato elettricamente ai pannelli fotovoltaici 9A e alla rete di distribuzione di potenza elettrica 8.

[0022] In altre forme di realizzazione, non mostrate, altre sorgenti di energia rinnovabile possono essere usate anziché energia solare, o in aggiunta ad essa. Ad esempio possono essere usati vento, energia geotermica, energia da onde o maree, o simili.

[0023] In alcune forme di realizzazione, la rete di distribuzione di potenza elettrica 8 può essere collegata ad una rete pubblica di distribuzione di potenza, che è atta a fornire potenza elettrica in caso di insufficienza della potenza proveniente dalla sorgente di energia rinnovabile e/o per ricevere potenza elettrica dal convertitore elettrico 9, se

la potenza elettrica ottenuta dalla sorgente di energia rinnovabile supera la richiesta di potenza dall'elettrolizzatore 7. In alternativa, o in combinazione, potenza elettrica in eccesso dal convertitore elettrico 9 può essere usata da altri moduli nel sistema 1 e/o accumulata in una opportuna unità di accumulo, non mostrata.

- 5 **[0024]** La sorgente di azoto 5 può comprendere una disposizione atta a fornire azoto, ad esempio per separazione dall'aria ambiente. Nella forma di realizzazione della Fig.1, la sorgente di azoto 5 comprende un compressore di aria 5A e un modulo di separazione di azoto 5B. Il modulo di separazione di azoto 5B 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.
- 10

- [0025]** Il sistema di produzione di ammoniaca 1 comprende, inoltre, un'unità di sintesi di ammoniaca complessivamente contrassegnata con 11. L'unità di sintesi dell'ammoniaca 11 può comprendere un compressore 11A e un modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B. Benché, per semplicità, nello schema di Fig.1 sia rappresentato un singolo compressore 11A, si deve comprendere che il compressore 11A può a sua volta includere un singolo compressore o una pluralità di compressori, tipicamente compressori centrifughi, disposti in parallelo e/o in serie, ad esempio lungo una linea d'albero di un treno di compressori.
- 15

- 20 **[0026]** Il modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B può comprendere una qualunque disposizione atta a sintetizzare ammoniaca da una miscela di idrogeno e azoto in forma gassosa, alimentata al modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B ad una idonea pressione dal compressore 11A. Nella presente descrizione il compressore 11A sarà indicato come compressore di gas di sintesi, poiché esso è atto a comprimere la miscela gassosa contenente azoto e idrogeno, che è richiesta per la sintesi dell'ammoniaca.
- 25

- [0027]** L'idrogeno è alimentato dalla sorgente di idrogeno 3 ad una bassa pressione di idrogeno P1 ad esempio attorno alla pressione ambiente. La sorgente di azoto 5 alimenta azoto ad una bassa pressione di azoto P2, verso l'unità di sintesi di ammoniaca 11 attraverso una linea di alimentazione di azoto 12. La bassa pressione di azoto P2 è superiore rispetto alla bassa pressione di idrogeno P1, a causa della natura del processo di separazione eseguito dal modulo di separazione di azoto 5B, che è
- 30

alimentato con aria compressa dal compressore di aria 5A.

[0028] L'azoto proveniente dalla sorgente di azoto 5 fluisce attraverso un condotto principale di alimentazione di azoto 12 ad un lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11A. Sul lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11A l'azoto è ad una pressione di aspirazione del gas di sintesi P3. La pressione di aspirazione del gas di sintesi P3 è sostanzialmente uguale o leggermente inferiore rispetto alla bassa pressione di azoto P2, a causa delle perdite di carico lungo il condotto di alimentazione principale dell'azoto 12.

[0029] Il sistema di produzione dell'ammoniaca 1 comprende, inoltre, un'unità di compressione dell'idrogeno 15 il cui ingresso è in accoppiamento di fluido con la sorgente di idrogeno 3, e la cui uscita è in accoppiamento di fluido con il lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11A. Poiché la bassa pressione di idrogeno P1 è sostanzialmente inferiore rispetto alla pressione di aspirazione del gas di sintesi P3, l'idrogeno dalla sorgente di idrogeno 3 viene pressurizzato nell'unità di compressione di idrogeno 15, dalla bassa pressione di idrogeno P1 alla pressione di aspirazione del gas di sintesi P3, o ad una pressione P3' leggermente superiore, per tener conto delle perdite di carico lungo il condotto di connessione 17, che pone in accoppiamento di fluido il lato di mandata dell'unità di compressione dell'idrogeno 15 con il compressore di gas di sintesi 11A.

[0030] Nello schema della Fig.1, l'unità di compressione dell'idrogeno 15 è rappresentata come un singolo compressore. Si deve, tuttavia, comprendere che in termini generali l'unità di compressione di idrogeno 15 può comprendere uno o più compressori, tipicamente compressori centrifughi, i quali sono usualmente disposti in serie, e che possono formare un singolo treno di compressori con una pluralità di compressori disposti lungo una linea d'albero comune azionata da un azionatore, non mostrato. Ciascun compressore dell'unità di compressione 15 può a sua volta comprendere una pluralità di stadi di compressore.

[0031] Il gas alimentato dall'unità di compressione di idrogeno 15 e il gas alimentato dalla sorgente di azoto 5 confluiscono nel compressore di gas di sintesi 11A, che pertanto elabora una miscela di idrogeno e azoto, aumentando la pressione della miscela gassosa dalla pressione di aspirazione del gas di sintesi P3 alla pressione finale P4

richiesta per la reazione di sintesi eseguita nel modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B.

- [0032] Allo scopo di aumentare il peso molecolare del gas elaborato dall'unità di compressione dell'idrogeno 15 e di rendere la progettazione dei compressori di idrogeno meno difficoltosa, ad esempio allo scopo di ridurre la velocità di rotazione o il numero delle giranti di compressore richieste per aumentare la pressione dell'idrogeno dalla bassa pressione di idrogeno P1 alla pressione di aspirazione del gas di sintesi P3, una certa quantità di azoto viene aggiunta all'idrogeno prima della compressione, o durante la compressione nell'unità di compressione dell'idrogeno 15. Azoto viene fornito dalla sorgente di azoto 5.
- [0033] Nella forma di realizzazione della Fig.1, la maggior parte dell'azoto fornito dalla sorgente di azoto 5 viene alimentata attraverso il condotto principale di alimentazione di azoto 12 al lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11A. Un flusso di azoto secondario viene derivato dal condotto principale 12 di alimentazione dell'azoto attraverso una linea di alimentazione di azoto secondaria 21, la quale pone in collegamento di fluido la sorgente di azoto 5 con l'unità di compressione di idrogeno 15. Nella forma di realizzazione della Fig.1, la linea di alimentazione secondaria di azoto 21 è collegata ad una linea di alimentazione di idrogeno 25 a monte dell'ingresso dell'unità di compressione di idrogeno 15. Pertanto, l'azoto fornito attraverso la linea di alimentazione secondaria dell'azoto 21 deve essere depressurizzato alla bassa pressione di idrogeno P1 prima di essere miscelato con l'idrogeno proveniente dalla sorgente di idrogeno 3.
- [0034] Poiché la bassa pressione di azoto P2 nel condotto principale di alimentazione di azoto 12 è usualmente superiore rispetto alla bassa pressione di idrogeno P1 al lato di ingresso dell'unità di compressione di idrogeno 15, lungo la linea di alimentazione di azoto secondaria 21 è posizionato un dispositivo di riduzione della pressione 23.
- [0035] In alcune forme di realizzazione, il dispositivo di riduzione della pressione 23 comprende una valvola di strozzamento 26. Il termine "valvola di strozzamento" viene qui utilizzato come comprensivo di qualunque valvola atta a ridurre la pressione del gas che fluisce attraverso di essa.
- [0036] Nella forma di realizzazione della Fig.1, il dispositivo di riduzione della pressione 23 è controllato per regolare la pressione e la portata di azoto. Un'unità di

controllo 27 può essere funzionalmente collegata al dispositivo di riduzione della pressione 23 a tale scopo.

- [0037] In alcune forme di realizzazione, l'unità di controllo 27 è, inoltre, funzionalmente collegata ad una disposizione di rilevamento della portata. Nella forma di realizzazione della Fig.1, la disposizione di rilevamento della portata è atta a rilevare la portata di idrogeno lungo la linea di alimentazione dell'idrogeno 25 ed, inoltre, a rilevare la portata dell'azoto nella linea di alimentazione secondaria dell'azoto 21. Schematicamente, la disposizione di rilevamento della portata comprende un flussimetro di idrogeno 29A nella linea di alimentazione dell'idrogeno 25 e un flussimetro di azoto 29B nella linea di alimentazione secondaria dell'idrogeno 21, a monte del dispositivo di riduzione della pressione 23. In termini generali, la disposizione di rilevamento della portata è atta a rilevare una portata in massa. In alcune forme di realizzazione, ciò può essere ottenuto, ad esempio, usando un orifizio in combinazione con misure di temperatura e di pressione.
- [0038] Sulla base dei segnali dei flussimetri, l'unità di controllo 27 è atta a regolare la percentuale di azoto miscelato con l'idrogeno alimentato dalla sorgente di idrogeno 3. Maggiore è la quantità di azoto miscelato nel flusso di idrogeno, maggiore è il peso molecolare della miscela gassosa elaborata dall'unità di compressione dell'idrogeno 15. Poiché una miscela di gas a peso molecolare maggiore viene elaborata più facilmente rispetto a idrogeno puro nell'unità di compressione dell'idrogeno 15, aumentando la percentuale molare di azoto nella miscela gassosa elaborata nell'unità di compressione dell'idrogeno 15 si ottiene una riduzione della velocità di estremità delle giranti del compressore nell'unità di compressione dell'idrogeno 15 e/o una riduzione del numero di giranti, e pertanto eventualmente una riduzione del numero di compressori dell'unità di compressione di idrogeno 15.
- [0039] L'unità di controllo 27 può essere atta a regolare il dispositivo di riduzione della pressione 23 quando la portata elaborata dal compressore di gas di sintesi 11A varia. L'unità di controllo 27 può ad esempio essere atta a mantenere il rapporto fra le portate di azoto e idrogeno entro un predeterminato intervallo quando la portata totale elaborata dal compressore di gas di sintesi cambia nel tempo.
- [0040] Come sopra notato, la pressione dell'azoto nella linea secondaria di

alimentazione di azoto 21 deve essere ridotta dal valore di pressione P2 (bassa pressione dell'azoto P2) alla pressione P1 (pressione dell'idrogeno P1), che è inferiore rispetto a P2. La miscela risultante di idrogeno e azoto deve poi essere nuovamente pressurizzata alla pressione P3', che è sostanzialmente uguale a P2. Pertanto l'espansione dell'azoto nel dispositivo di riduzione della pressione 23 provoca un certo grado di perdita di energia, che è direttamente proporzionale alla percentuale di azoto miscelata nel flusso di idrogeno.

5 [0041] Deve pertanto essere raggiunto un compromesso tra il costo in termini di perdite di energia e potenza e i vantaggi in termini di riduzione della velocità dell'unità
10 di compressione dell'idrogeno e/o del numero delle giranti e stadi di essa.

[0042] Ad esempio, ma non in senso limitativo, la percentuale molare di azoto nel flusso gassoso elaborato dall'unità di compressione dell'idrogeno 15 può variare dal 2% al 20% e preferibilmente dal 4% al 15%. Più preferibilmente, la percentuale molare di azoto nella miscela di idrogeno-azoto può variare fra il 4% e il 10%.

15 [0043] Nella forma di realizzazione della Fig.1, il flusso di azoto secondario alimentato attraverso la linea di alimentazione secondaria di azoto 21 è alimentato a monte dell'unità di compressione di idrogeno 15, così che la pressione dell'azoto deve essere ridotta dalla bassa pressione dell'azoto P2 alla bassa pressione dell'idrogeno P1. Questo approccio massimizza la perdita di pressione, e quindi la quantità di potenza addizionale richiesta per pressurizzare nuovamente la percentuale del flusso secondario di azoto, che è alimentato attraverso la linea di alimentazione secondaria dell'azoto 21. Tuttavia, viene massimizzato l'effetto vantaggioso di miscelare azoto ad idrogeno, in termini di più facile compressione nell'unità di compressione di idrogeno 15.

25 [0044] In altre forme di realizzazione, un compromesso fra perdita di energia e vantaggi in termini di compressione della miscela idrogeno-azoto può essere ottenuto aggiungendo il flusso di azoto secondario in uno stadio intermedio della compressione di idrogeno. In tal caso, il vantaggio dell'aumento del peso molecolare viene ridotto, ma viene ridotta la perdita di potenza provocata dall'esigenza di espandere parte del flusso di azoto.

30 [0045] Continuando a riferirsi alla Fig.1, la Fig.2 illustra una forma di realizzazione in cui azoto viene aggiunto nel flusso di idrogeno una volta che quest'ultimo è stato

parzialmente compresso. Gli stessi numeri di riferimento indicano componenti uguali o equivalenti già mostrati in Fig.1 e sopra descritti. Questi componenti e la loro funzione non verranno nuovamente descritti.

5 [0046] La forma di realizzazione della Fig.2 differisce dalla forma di realizzazione della Fig.1 principalmente in quanto la compressione dell'idrogeno suddivisa in due fasi, e l'azoto è aggiunto nel flusso di idrogeno fra la prima e la seconda fase di compressione.

10 [0047] Nella forma di realizzazione della Fig.2, l'unità di compressione dell'idrogeno 15 è mostrata come comprensiva di due compressori di idrogeno 15A e 15B. I due compressori di idrogeno 15A e 15B sono disposti in serie, il primo compressore di idrogeno 15A essendo disposto a monte del secondo compressore di idrogeno 15B rispetto al verso del flusso dell'idrogeno attraverso l'unità di compressione dell'idrogeno 15. Il lato di aspirazione del primo compressore di idrogeno 15A riceve idrogeno dalla sorgente di idrogeno 3 alla bassa pressione di idrogeno P1. Idrogeno ad una pressione di idrogeno intermedia P5 è alimentato dal lato di mandata del primo compressore di idrogeno 15A al lato di aspirazione del secondo compressore di idrogeno 15B. La pressione di idrogeno è aumentata tramite il secondo compressore di idrogeno 15B dalla pressione intermedia P5 alla pressione del gas di sintesi P3 o alla pressione P3' leggermente superiore a quest'ultima.

20 [0048] La linea di alimentazione secondaria dell'azoto 21 è in accoppiamento di fluido con l'unità di compressione dell'idrogeno 15 fra il lato di mandata del primo compressore di idrogeno 15A e il lato di aspirazione del secondo compressore di idrogeno 15B. Pertanto, il dispositivo di riduzione della pressione 23 riduce la pressione dell'azoto dalla bassa pressione di azoto P2 alla pressione intermedia dell'idrogeno 25 P3, che è superiore rispetto alla bassa pressione di idrogeno P1. E' quindi richiesta una perdita di potenza minore per raggiungere la pressione richiesta nella sezione di alimentazione secondaria dell'azoto 21. Questo è vantaggioso in termini di riduzione della potenza consumata dal sistema 1, ma riduce i vantaggi in termini di compressione dell'idrogeno, poiché il peso molecolare del flusso gassoso elaborato nell'unità di compressione dell'idrogeno 15 è aumentato soltanto nel secondo compressore di idrogeno 15B, ma non nel primo compressore di idrogeno 15A.

[0049] In ulteriori forme di realizzazione, il salto entalpico del flusso secondario di azoto attraverso il dispositivo di riduzione della pressione 23 può essere almeno parzialmente recuperato per produrre potenza utile. A tale scopo, il dispositivo di riduzione della pressione 23 può comprendere almeno un espantore al posto della valvola di strozzamento 26, o in combinazione con essa.

[0050] Continuando a riferirsi alle Figg.1 e 2, la Fig.3 illustra una forma di realizzazione simile alla Fig.1, in cui la valvola di strozzamento 26 è sostituita da un espantore 24. Componenti del sistema mostrati in Fig.3 che sono già stati descritti in relazione alla Fig.1 e contrassegnati con gli stessi numeri di riferimento non verranno descritti nuovamente.

[0051] La differenza principale fra la forma di realizzazione della Fig.3 e la forma di realizzazione di Fig.1 consiste nel fatto che la pressione dell'azoto dalla sorgente di azoto 5 viene ridotta per espansione nell'espantore 24 del dispositivo di riduzione della pressione 23, anziché in una valvola di strozzamento. Nella forma di realizzazione di Fig.3, l'espantore 24 è meccanicamente accoppiato ad un generatore elettrico 31. Il salto entalpico del flusso secondario di azoto nell'espantore 24 viene pertanto parzialmente convertito in potenza elettrica dal generatore elettrico 31. La potenza elettrica viene alimentata ad una rete di distribuzione di potenza elettrica contrassegnata con il numero di riferimento 8A. La rete di distribuzione di potenza elettrica 8A può essere parte della rete di distribuzione di potenza elettrica 8, oppure può essere elettricamente connessa ad essa. Pertanto, potenza recuperata nell'espantore 24 dall'espansione di azoto può essere usata per produrre idrogeno. Alternativamente, o in combinazione, la potenza elettrica generata dal generatore elettrico 31 può essere usata per alimentare altri componenti del sistema 1, ad esempio i motori elettrici che azionano uno o più compressori del sistema 1. In ulteriori forme di realizzazione, l'espantore 24 può essere meccanicamente accoppiato ad uno dei compressori di idrogeno, di aria e di gas di sintesi. In questa forma di realizzazione, l'espantore 24 sarebbe utilizzato come azionatore meccanico (helper) che aiuta l'azionatore principale del rispettivo compressore, riducendo in tal modo la potenza esterna fornita e la dimensione dell'azionatore principale.

[0052] Un espantore 24 può essere usato anche al posto della, o in combinazione con la valvola di strozzamento 26 della forma di realizzazione della Fig.2, come mostrato

nella forma di realizzazione della Fig.4. Potenza generata dall'espantore 24 può essere sfruttata come tale o convertita in potenza elettrica, come sopra delineato.

[0053] Mentre in forme di realizzazione attualmente preferite il flusso secondario di azoto è derivato dalla linea principale di alimentazione di azoto 12, non si esclude la 5 possibilità di derivare il flusso secondario di azoto da un componente addizionale della sorgente di azoto, che è indipendente rispetto al modulo di separazione dell'azoto 5B. Una tale opzione è illustrata in Fig.5, dove gli stessi numeri di riferimento usati nelle Figg.1 a 4 designano componenti uguali o equivalenti, che non sono nuovamente descritti. In Fig.5 la sorgente di azoto 5 comprende una sorgente di azoto addizionale 5C, 10 ad esempio una linea di alimentazione di azoto da un sistema o impianto separato. Un condotto 32 collega la sorgente addizionale di azoto 5C della sorgente di azoto 5 al lato di aspirazione dell'unità di compressione dell'idrogeno 15. Una valvola controllata 33 può essere disposta lungo il condotto 32 per modulare la quantità di flusso di azoto. E' inoltre previsto un flussimetro 29 interfacciato con una valvola di controllo 15 27, l'unità di controllo 27 essendo atta a controllare la valvola 33.

[0054] Una sorgente addizionale di azoto 5C può essere prevista anche nella forma di realizzazione secondo la Fig.2, in cui il flusso secondario di azoto è iniettato fra un primo compressore di idrogeno a monte e un secondo compressore di idrogeno a valle. Questa forma di realizzazione è mostrata in Fig.6, in cui gli stessi numeri di riferimento 20 sono usati per designare componenti uguali o corrispondenti già descritti in Figg.2 e 5, e non descritti nuovamente.

[0055] Nelle forme di realizzazione sopra descritte il flusso secondario di azoto è alimentato integralmente a monte dell'unità di compressione dell'idrogeno 15 (Figg.1, 3 e 5) oppure integralmente fra un compressore di idrogeno a monte 15A e un compressore di idrogeno a valle 15B dell'unità di compressione dell'idrogeno 15. In altre forme di realizzazione, il flusso secondario di azoto può essere suddiviso e alimentato in parte a monte dell'unità di compressione dell'idrogeno 15 e in parte in una posizione intermedia fra compressori di idrogeno 15A, 15B disposti in sequenza. In alternativa, 25 il flusso secondario di idrogeno può anche essere suddiviso in più di due flussi e alimentato in differenti punti dell'unità di compressione di idrogeno 15 a diversi livelli di pressione, ad esempio sul lato di aspirazione di differenti compressori o in differenti 30 stadi di compressore.

- [0056]** Ad esempio, in Fig.7, dove gli stessi numeri di riferimento sono usati per designare componenti uguali o corrispondenti a quelli già descritti in relazione alle Figg.1, 2, 3, 4, 5 e 6, e che non verranno nuovamente descritti, il flusso secondario di azoto è derivato dal condotto principale di alimentazione di azoto 12 alla pressione P2 5 e suddiviso in un primo flusso secondario di azoto alimentato alla pressione P1 a monte dell'unità di compressione dell'idrogeno 15 e in un secondo flusso secondario di azoto alimentato alla pressione P5 fra il primo compressore di idrogeno 15A e il secondo compressore di idrogeno 15B. Due valvole di riduzione della pressione, come ad esempio due valvole controllate di strozzamento 26A e 26B, possono essere interfacciate 10 ad un'unità di controllo 27. In alternativa, una o entrambe le valvole di strozzamento 26A, 26B possono essere sostituite da espantori. Tre rilevatori di flusso 29A, 29B e 29C sono usati per rilevare la portata di idrogeno alimentato dalla sorgente di idrogeno 3 all'unità di compressione dell'idrogeno 15, nonché la portata del primo e del secondo flusso secondario di azoto.
- 15 **[0057]** Nella descrizione che precede di alcune forme di realizzazione è stato fatto riferimento ad un primo compressore di idrogeno a monte 15A e ad un secondo compressore di idrogeno a valle 15B, in cui un flusso di azoto secondario può essere alimentato fra di essi alla pressione intermedia P5. Si deve tuttavia comprendere che l'unità di compressione dell'idrogeno 15 può comprendere più di due compressori di idrogeno 15A, 15B disposti in sequenza, e più di un solo flusso secondario di azoto può essere alimentato fra più di solo due compressori di idrogeno disposti in sequenza, prevedendo che i flussi di azoto secondari siano alimentati alla corretta pressione intermedia.
- 20 **[0058]** Inoltre, nel precedente contesto, il primo e il secondo compressore di idrogeno disposti in sequenza possono anche essere configurati da due stadi di compressione disposti sequenzialmente nello stesso dispositivo compressore. Ad esempio, uno o più flussi secondari di azoto possono essere iniettati come flussi laterali in una o più posizioni intermedie lungo uno o più compressori di idrogeno multistadio.
- 25 **[0059]** Inoltre, mentre in alcune forme di realizzazione sopra descritte si prevede un flusso di azoto secondario derivato dal flusso di azoto principale alimentato dal modulo di separazione dell'azoto 5B, mentre in altre forme di realizzazione è previsto che il flusso di azoto secondario sia alimentato da una sorgente addizionale di azoto 5C,

altre forme di realizzazione, non mostrate, possono comprendere sia il flusso secondario di azoto deviato dal condotto principale di alimentazione di azoto 12, sia una sorgente addizionale di azoto 5C che alimenta un flusso secondario addizionale di azoto, in combinazione. In tal caso, i due flussi secondari di azoto possono essere combinati 5 e alimentati nello stesso punto del sistema di compressione dell'idrogeno 15, oppure possono essere mantenuti separati ed alimentati a differenti punti dell'unità di compressione dell'idrogeno 15 all'opportuna pressione di idrogeno.

[0060] La Fig.8 illustra un diagramma di flusso che riassume il metodo eseguito dai sistemi di produzione di ammoniaca sin qui descritti. In sintesi, il metodo comprende 10 le seguenti fasi. Nella fase 101 azoto viene alimentato ad un lato di aspirazione del compressore di gas di sintesi 11A. Nella fase 102 un flusso di idrogeno a bassa pressione viene alimentato ad un lato di aspirazione dell'unità di compressione dell'idrogeno 15. Nella fase 103 azoto viene aggiunto all'idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno 15, a monte del lato di aspirazione di esso e/o in una posizione intermedia 15 fra il lato di aspirazione alla pressione P1 e il lato di mandata alla pressione P3'. Nella fase 104 la pressione della miscela di idrogeno e azoto viene aumentata dalla bassa pressione di idrogeno P1 alla pressione di aspirazione del gas di sintesi P3, o leggermente al di sopra di essa nell'unità di compressione dell'idrogeno 15. La miscela compressa di azoto e idrogeno viene alimentata al compressore di gas di sintesi 11A, 20 vedasi fase 105. Il gas di sintesi pressurizzato dal compressore di gas di sintesi 11A viene alimentato al modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B (fase 106) ed infine ammoniaca viene sintetizzata nel modulo di sintesi dell'ammoniaca 11B a partire dal gas di sintesi compresso (fase 107).

[0061] Alcune forme di realizzazione esemplificative sono state descritte per una 25 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 unicamente 30 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.

IMPIANTO E METODO PER LA SINTESI DI AMMONIACA

RIVENDICAZIONI

- 5 1. Un sistema di produzione di ammoniaca comprendente:
una sorgente di idrogeno;
un'unità di compressione di idrogeno, atta a comprimere idrogeno proveniente
dalla sorgente di idrogeno;
una sorgente di azoto;
10 un compressore di gas di sintesi, atto a ricevere azoto dalla sorgente di azoto e
idrogeno dall'unità di compressione dell'idrogeno, e inoltre atto a comprimere
un gas di sintesi comprendente una miscela di idrogeno e azoto; e
un modulo di sintesi dell'ammoniaca, in accoppiamento di fluido con il com-
pressore di gas di sintesi;
- 15 2. in cui la sorgente di azoto è in accoppiamento di fluido con l'unità di compressione di
idrogeno, così che in uso l'unità di compressione dell'idrogeno comprime una miscela
contenente idrogeno e azoto.
- 20 2. Il sistema della rivendicazione 1, in cui l'unità di compressione
dell'idrogeno comprende un ingresso in accoppiamento di fluido con la sorgente di
idrogeno e atto a ricevere idrogeno dalla sorgente di idrogeno, e un'uscita in accoppia-
mento di fluido con il compressore di gas di sintesi; e in cui la sorgente di idrogeno è
in accoppiamento di fluido con l'ingresso dell'unità di compressione dell'idrogeno.
- 25 3. Il sistema della rivendicazione 1 o 2, in cui l'unità di compressione
dell'idrogeno comprende almeno un primo compressore di idrogeno e un secondo
compressore di idrogeno disposti in serie; e in cui la sorgente di azoto è in accoppia-
mento di fluido con l'unità di compressione dell'idrogeno tra un lato di mandata del
primo compressore di idrogeno e un lato di aspirazione del secondo compressore di
idrogeno.

4. Il sistema di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente una linea di alimentazione di azoto che pone in accoppiamento di fluido la sorgente di azoto con l'unità di compressione dell'idrogeno, e un dispositivo di riduzione della pressione lungo la linea di alimentazione di azoto, fra la sorgente di azoto e l'unità di compressione dell'idrogeno.
- 5
5. Il sistema della rivendicazione 4, in cui il dispositivo di riduzione della pressione comprende una valvola di strozzamento.
6. Il sistema della rivendicazione 4 o 5, in cui il dispositivo di riduzione della pressione comprende un espantore.
- 10 7. Il sistema della rivendicazione 6, in cui l'espansore è meccanicamente accoppiato a uno di: un generatore elettrico, un compressore.
8. Il sistema di una qualsiasi delle rivendicazioni 4 a 7, in cui il dispositivo di riduzione della pressione è controllato da un'unità di controllo funzionalmente accoppiata a una disposizione di rilevamento della portata.
- 15 9. Il sistema della rivendicazione 8, in cui la disposizione di rilevamento della portata comprende un dispositivo di rilevamento della portata di idrogeno atto a rilevare la portata di idrogeno alimentato all'unità di compressione dell'idrogeno, e un dispositivo di rilevamento della portata di azoto atto a rilevare la portata di azoto alimentato all'unità di compressione di idrogeno.
- 20 10. Il sistema della rivendicazione 9, comprendente, inoltre, un'unità di controllo funzionalmente accoppiata al dispositivo di rilevamento della portata di idrogeno e al dispositivo di rilevamento della portata di azoto; in cui l'unità di controllo è atta a controllare il dispositivo di riduzione della pressione per mantenere un rapporto fra la portata di azoto e la portata di idrogeno entro un intervallo desiderato quando la portata attraverso il compressore del gas di sintesi cambia.
- 25
11. Il sistema di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sorgente di idrogeno comprende un elettrolizzatore.
12. Il sistema della rivendicazione 11, in cui l'elettrolizzatore è elettricamente accoppiato ad una disposizione di conversione di energia atta a convertire

energia da un sorgente di energia rinnovabile in energia elettrica.

13. Il sistema di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sorgente di azoto è atta a separare azoto dall'aria.

14. Un metodo per produrre ammoniaca da idrogeno e azoto, il metodo comprendendo le seguenti fasi:

alimentare un flusso di azoto ad una pressione di aspirazione di gas di sintesi ad un lato di aspirazione di un compressore di gas di sintesi;

10 alimentare un flusso di idrogeno ad una pressione di ingresso dell'idrogeno, inferiore rispetto alla pressione di aspirazione del gas di sintesi, ad un lato di aspirazione di una unità di compressione dell'idrogeno;

aumentare la pressione del flusso di idrogeno dalla pressione di ingresso dell'idrogeno alla pressione di aspirazione del gas di sintesi nell'unità di compressione dell'idrogeno e alimentare l'idrogeno compresso al compressore di gas di sintesi;

15 alimentare gas di sintesi pressurizzato dal compressore di gas di sintesi ad un modulo di sintesi dell'ammoniaca e produrre ammoniaca dal gas di sintesi compresso;

in cui il metodo comprende inoltre la fase di aggiungere azoto all'idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno.

15. Il metodo della rivendicazione 14, comprendente inoltre le fasi di:

20 alimentare un flusso di azoto principale alla pressione del gas di sintesi dalla sorgente di azoto;

derivare un flusso secondario di azoto dal flusso di azoto principale;

ridurre la pressione del flusso secondario di azoto ad una pressione ridotta di azoto; e

25 alimentare il flusso secondario di azoto alla pressione ridotta di azoto all'unità di compressione dell'idrogeno.

16. Il metodo della rivendicazione 15, in cui la fase di ridurre la pressione del flusso secondario di azoto comprende la fase di far fluire il flusso secondario di azoto attraverso una valvola di strozzamento.

17. Il metodo della rivendicazione 15 o 16, in cui la fase di ridurre la pressione del flusso secondario di azoto comprende la fase di espandere il flusso secondario di azoto in un espantore e produrre potenza utile con l'espantore.

18. Il metodo della rivendicazione 17, comprendente inoltre almeno una delle seguenti fasi:

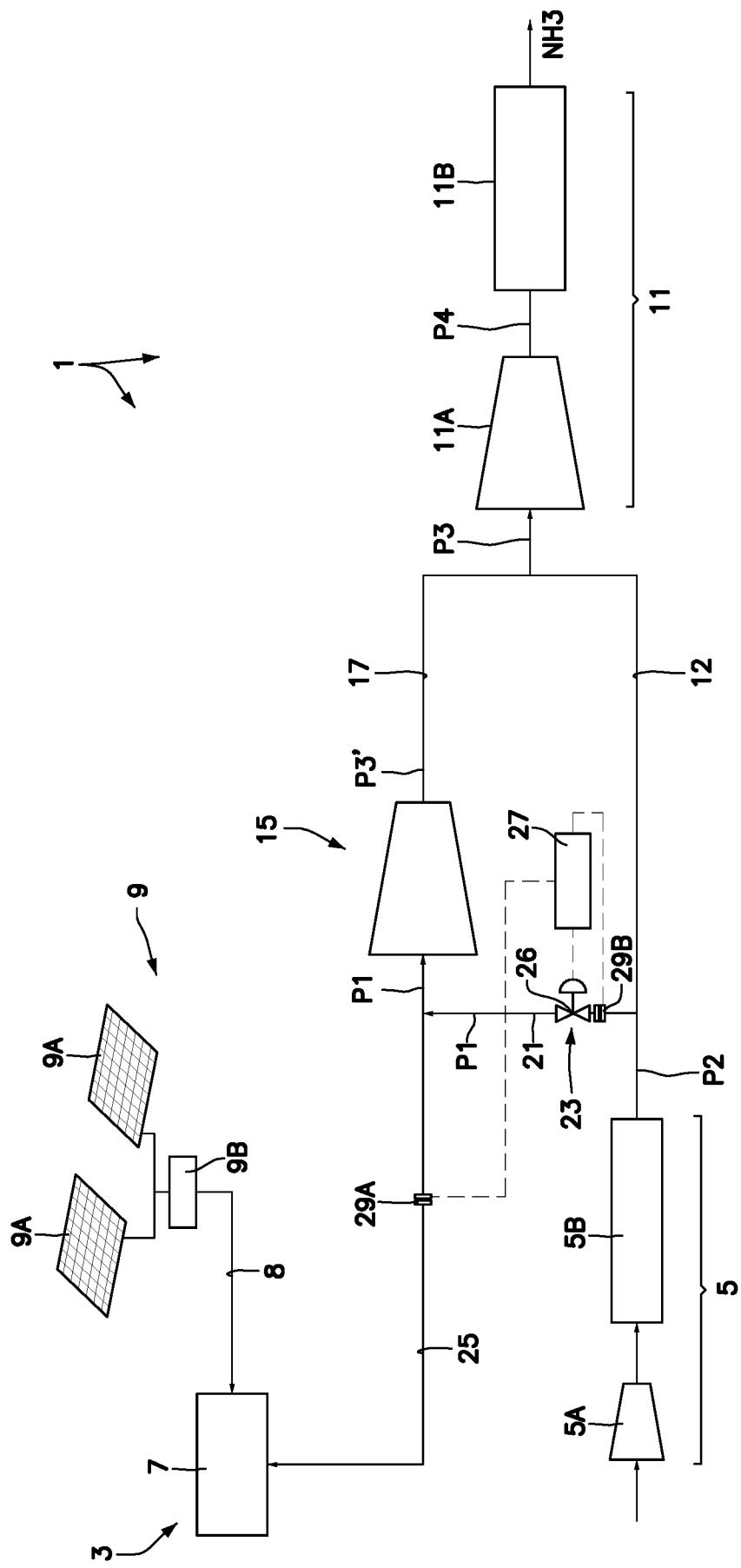
convertire potenza generata dall'espantore in potenza elettrica;

trasferire potenza meccanica generata dall'espantore ad almeno uno di: l'unità di compressione dell'idrogeno, un compressore di aria, e il compressore di gas di sintesi.

10 19. Il metodo di una qualsiasi delle rivendicazioni 14 a 18, in cui l'unità di compressione dell'idrogeno comprende un primo compressore di idrogeno e un secondo compressore di idrogeno disposti in serie, il primo compressore di idrogeno essendo disposto a monte del secondo compressore di idrogeno rispetto al flusso di idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno; e in cui azoto è aggiunto all'idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno a monte del primo compressore di idrogeno.

20. Il metodo in a una o più delle rivendicazioni 14 a 19, in cui l'unità di compressione dell'idrogeno comprende un primo compressore di idrogeno e un secondo compressore di idrogeno disposti in serie, il primo compressore di idrogeno essendo disposto a monte del secondo compressore di idrogeno rispetto al flusso di idrogeno nell'unità di compressione dell'idrogeno; e in cui azoto è aggiunto all'idrogeno fra un lato di mandata del primo compressore di idrogeno e un lato di aspirazione del secondo compressore di idrogeno.

Fig.1



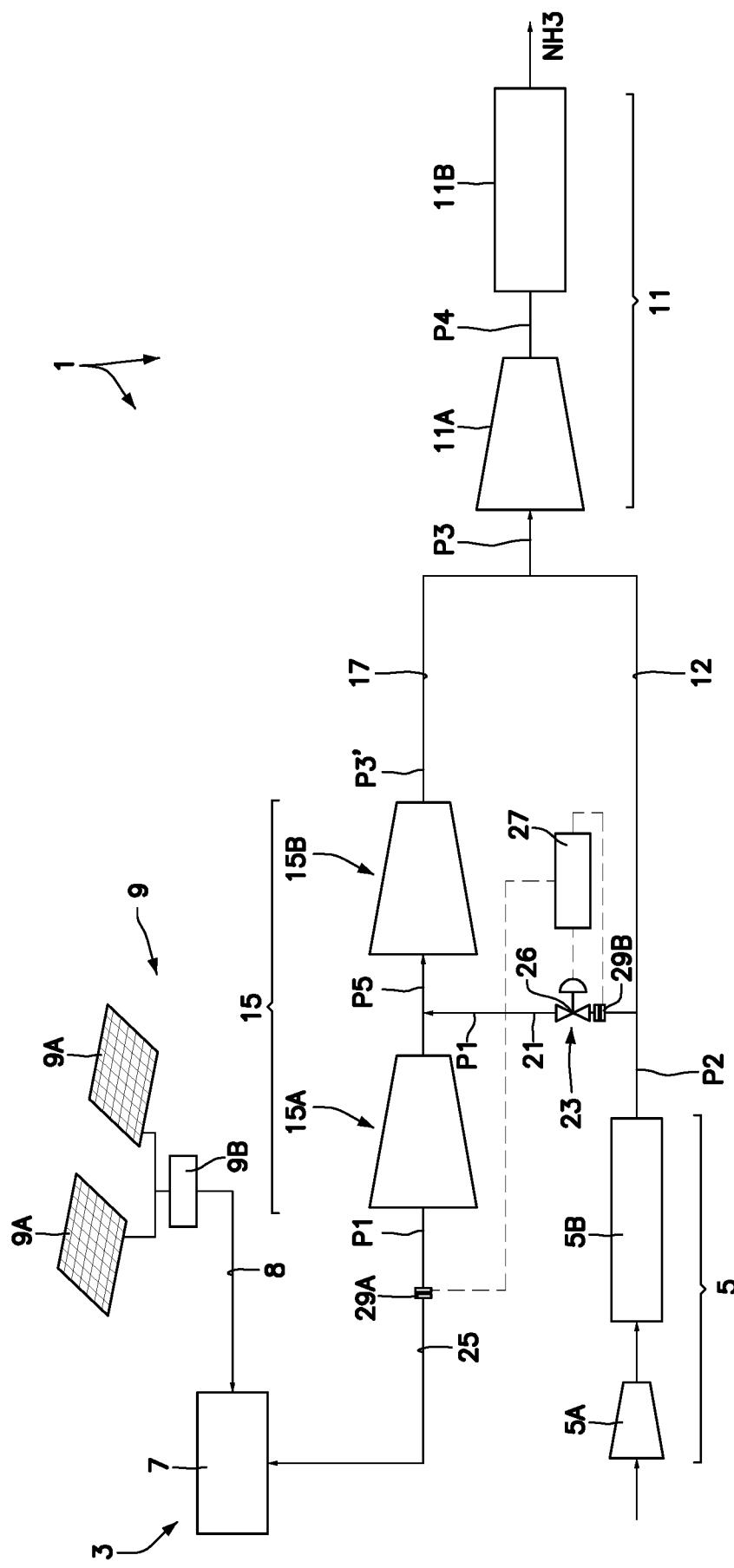


Fig.2

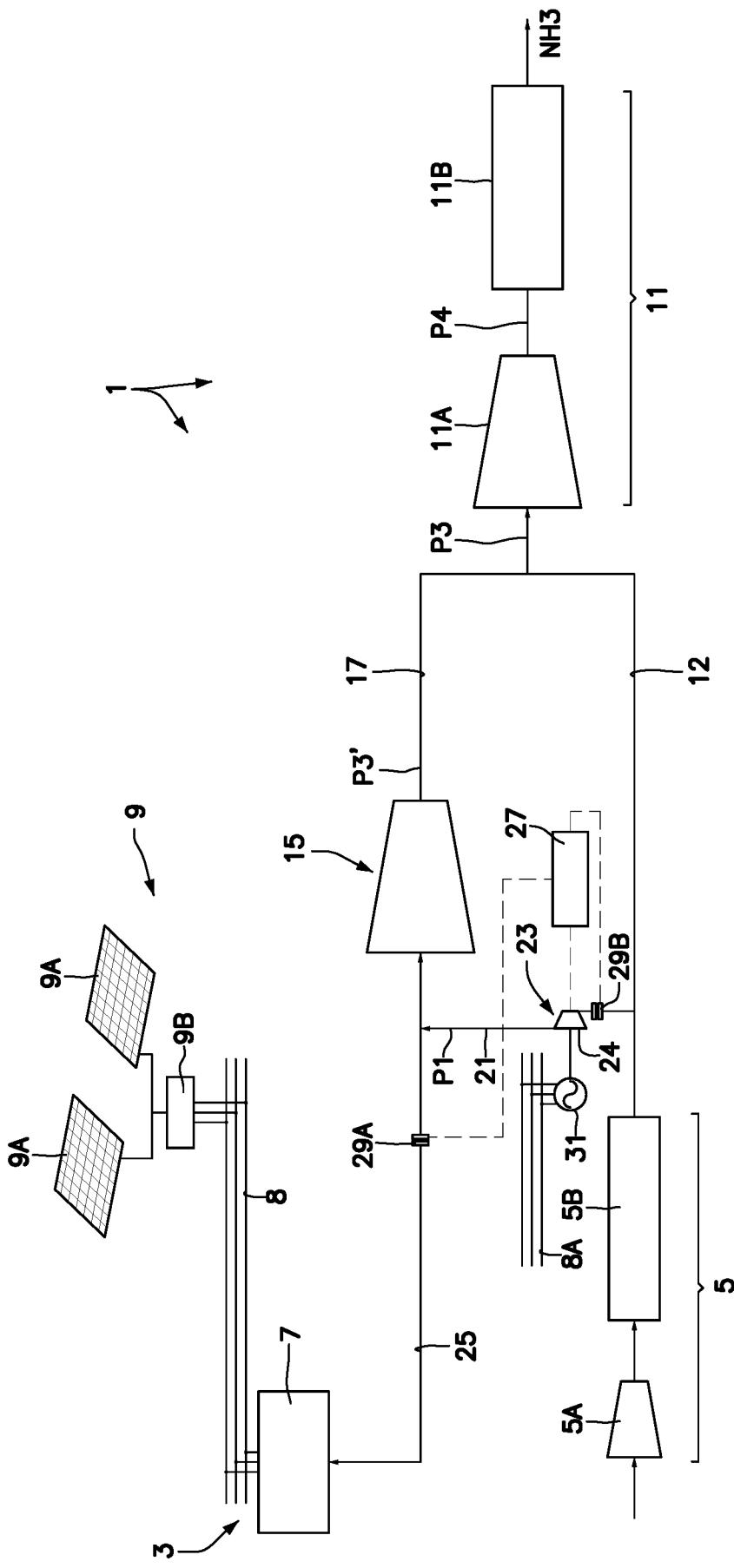


Fig.3

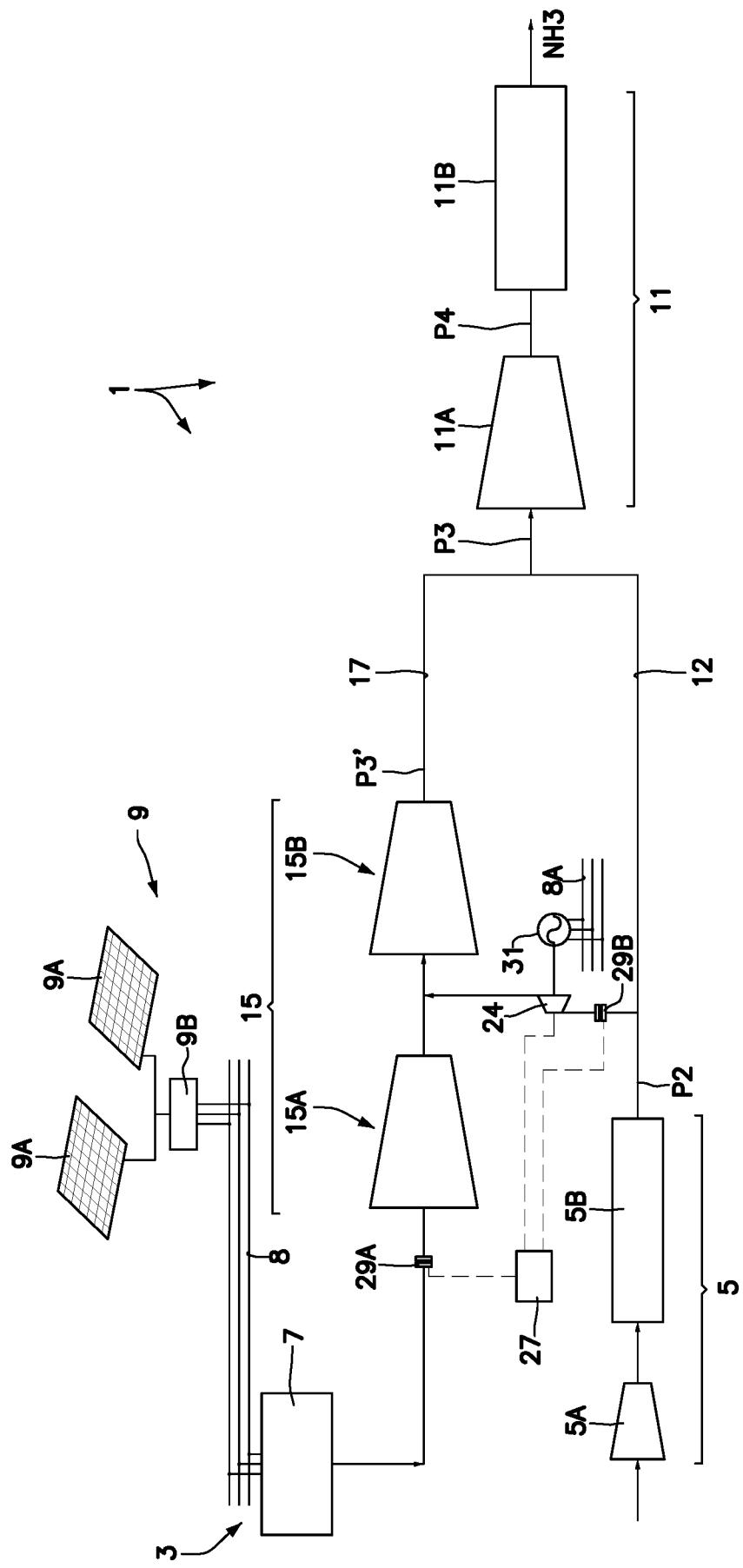


Fig.4

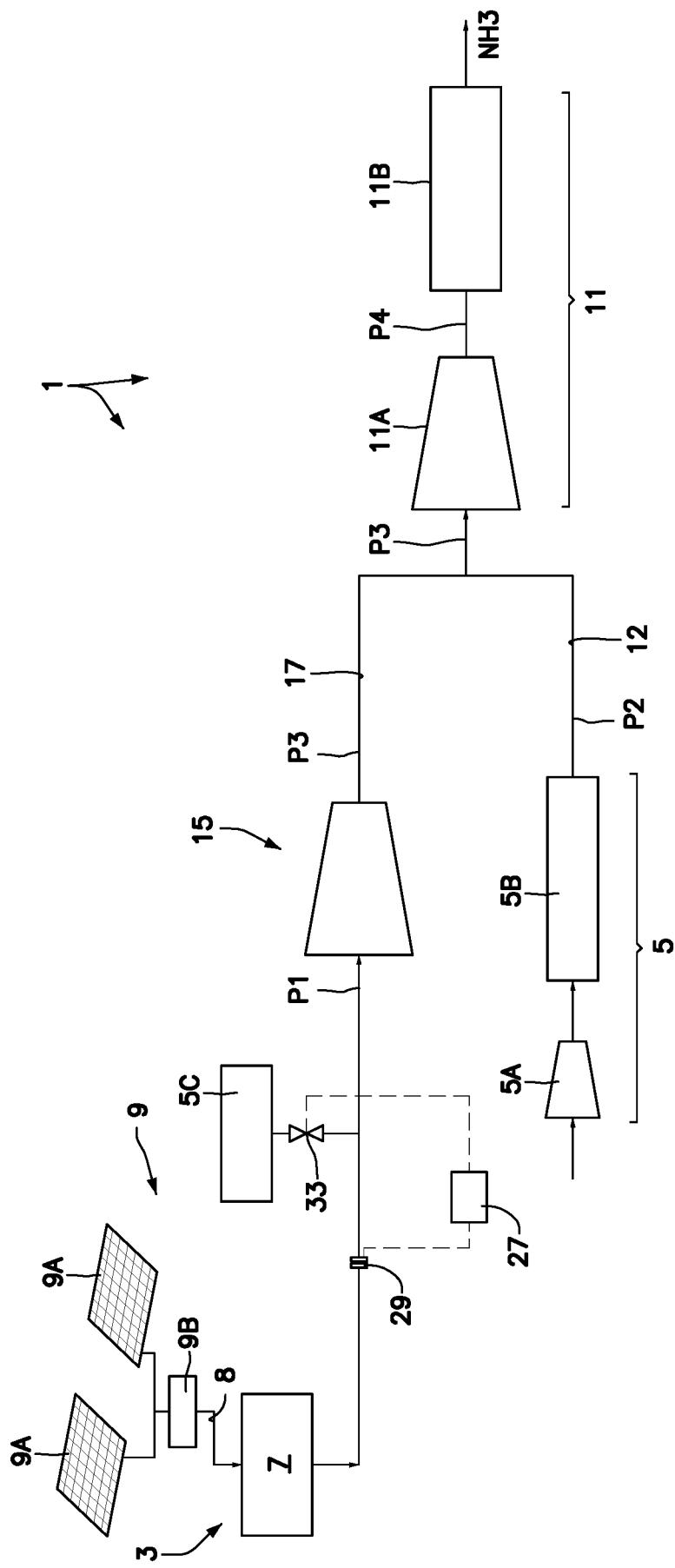
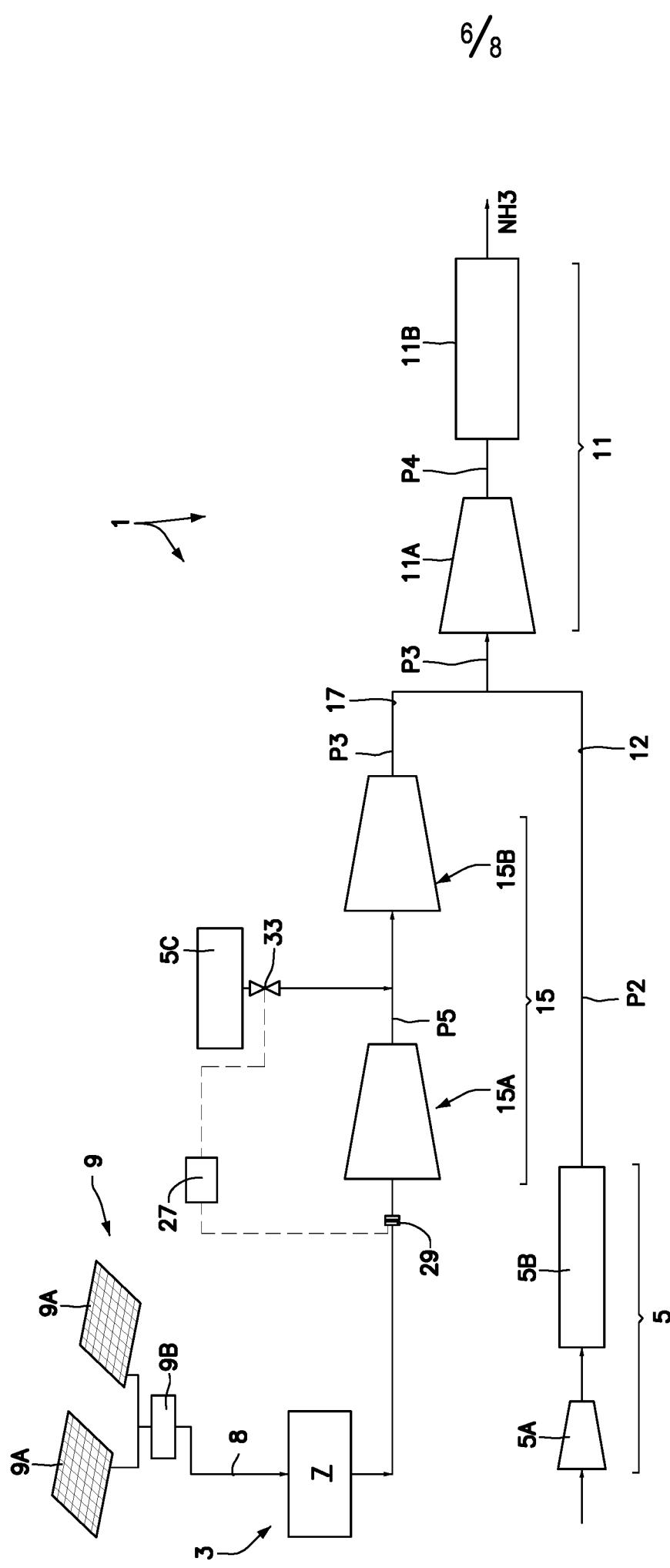


Fig.5

Fig.6



$\frac{7}{8}$

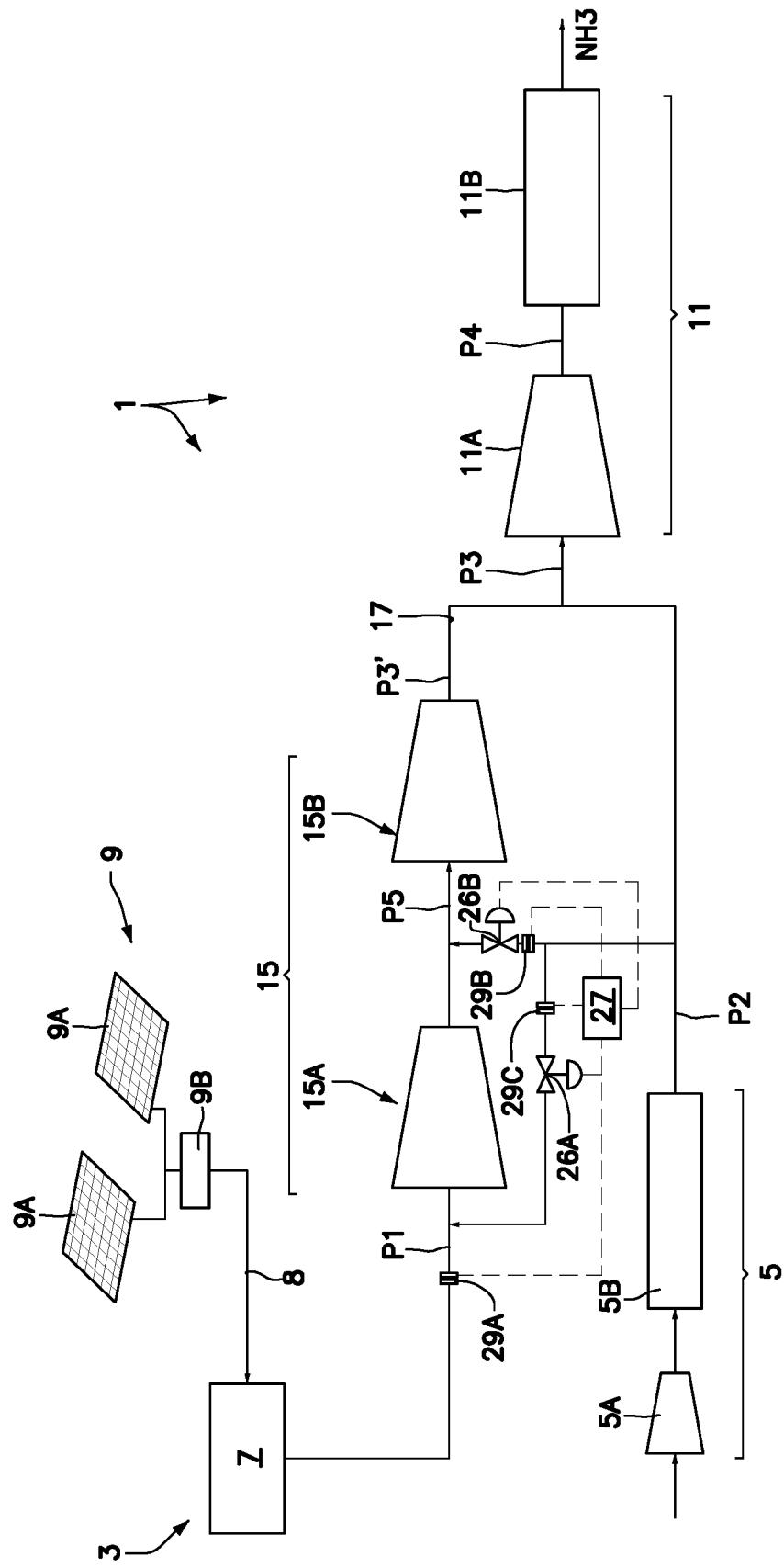


Fig.7

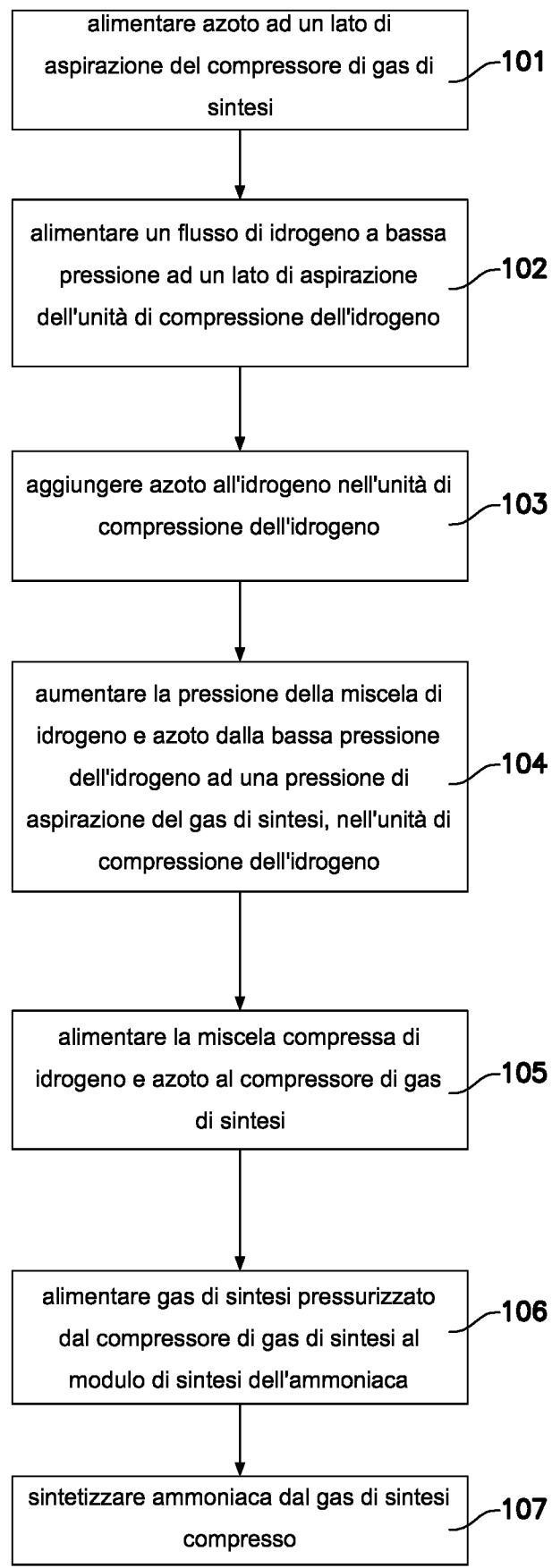


Fig.8