

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000030674
Data Deposito	03/12/2021
Data Pubblicazione	03/06/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	25	J	1	02

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	M	8	04111

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	01	B	21	04

Titolo

PROCESSO DI STABILIZZAZIONE DELLA RETE ELETTRICA, DELLA RETE GAS E/O DELLA RETE IDROGENO

Titolare: SAIPEM S.p.A.

Titolo: "PROCESSO DI STABILIZZAZIONE DELLA RETE
ELETTRICA, DELLA RETE GAS E/O DELLA RETE IDROGENO"

5

DESCRIZIONE

Campo della tecnica dell'invenzione

La presente invenzione trova applicazione nel settore energetico e, in particolare, per la stabilizzazione della rete elettrica e, eventualmente della rete del gas combustibile, nonché della rete di idrogeno, normalmente presente in una raffineria.

Stato dell'arte

Pur essendo noto come produrre, stoccare e consumare idrogeno, non si ha a disposizione un processo unitario che sia in grado di stabilizzare sia la rete elettrica che la rete del gas naturale o la
10 rete idrogeno (per esempio in una raffineria) o entrambe le reti gas.

Un tale processo deve essere efficiente, quindi deve avere un alto coefficiente di restituzione dell'energia prelevata dalla rete, nonché pratico,
15 dunque richiedente spazi di stoccaggio limitati e non legati a particolari conformazioni del sottosuolo, come pozzi esausti in cui accumulare gas; inoltre, deve permettere l'accumulo di quantità di energia tali da potere superare i limiti di

stagionalità/imprevedibilità tipicamente riscontrabili nella disponibilità delle energie rinnovabili.

E' noto che l'accumulo di grandi quantità di idrogeno e/o ossigeno richiede la liquefazione di detti
5 gas a temperature compatibili con lo stoccaggio a pressione atmosferica, e che detto processo è energivoro, al punto da consumare fino ad un terzo del potere calorifico dell'idrogeno, con l'effetto di limitarne la produzione per unità di energia elettrica
10 disponibile.

Inoltre, se da un lato la liquefazione dell'idrogeno richiede molta energia (gli impianti attualmente in uso richiedono mediamente 11 kWh/kg) la quantità restituibile durante la vaporizzazione è assai
15 minore. Infatti, considerando un costo energetico teorico di 3,8 kWh/kg ed un'efficienza delle macchine intorno al 85%, non si possono ricavare più di 3 kWh/kg, quando la vaporizzazione è effettuata a pressione ambiente, e non più di 2 kWh/kg quando l'idrogeno è
20 riscaldato alla pressione di immissione in rete.

I sistemi di liquefazione ed accumulo dell'idrogeno liquido finora proposti impiegano azoto liquido, ma tale fluido è generato ed importato dall'esterno, mentre i sistemi che impiegano idrogeno
25 nella generazione di energia elettrica considerano tale

gas semplicemente come disponibile, senza occuparsi del recupero delle frigorie qualora esso sia liquido.

Riassunto dell'invenzione

Gli inventori della presente domanda di brevetto
5 hanno sorprendentemente trovato che è possibile integrare le tecnologie di produzione dell'idrogeno per via elettrolitica con le tecnologie di stoccaggio dell'idrogeno, sia in forma liquida sia crio-compresa, con l'impiego di sistemi ad azoto liquido e/o o crio-
10 compresso.

Oggetto dell'invenzione

In un primo oggetto, la presente invenzione descrive un processo per la produzione e l'accumulo di idrogeno e per la produzione di energia elettrica e
15 per la produzione e l'accumulo di azoto liquido e/o crio-compreso.

Secondo un aspetto, il processo dell'invenzione comprende una prima fase di produzione e di accumulo di idrogeno impiegando energia elettrica e azoto
20 liquido e/o crio-compreso.

Secondo un altro aspetto, il processo dell'invenzione comprende una seconda fase di generazione di energia elettrica e di azoto liquido e/o crio-compreso.

Secondo un ulteriore oggetto, è descritto un impianto per condurre il processo dell'invenzione.

Breve descrizione delle figure

La Figura 1 rappresenta lo schema della fase di
5 accumulo secondo il processo della presente invenzione.

La Figura 2 rappresenta lo schema di una prima forma realizzativa della fase di generazione secondo il processo della presente invenzione.

La Figura 3 rappresenta lo schema di una forma
10 realizzativa alternativa della fase di generazione secondo il processo della presente invenzione.

Descrizione dettagliata dell'invenzione

Nella seguente descrizione l'indicazione a pedice "a" intende fare riferimento alla fase A) di accumulo,
15 mentre "g" intende far riferimento alla fase B) di generazione; l'indicazione "g'" fa riferimento alla forma realizzativa alternativa della fase di generazione (fase B').

Nella seguente descrizione, quando si fa
20 riferimento ad un flusso di azoto o di ossigeno o di idrogeno, si intende che tale flusso ha una composizione prevalente di tale elemento; alternativamente, l'indicazione può essere in senso funzionale, qualora l'elemento indicato sia funzionale
25 alla fase o alle fasi successive.

Il processo della presente invenzione comprende due fasi: una prima fase di produzione di idrogeno liquido o crio-compresso (fase A) e una seconda fase di generazione di energia elettrica e di produzione e
5 di accumulo di azoto liquido e/o crio-compresso (fase B).

Più in particolare, detta fase A) è una fase di produzione e accumulo di idrogeno.

In particolare, è prodotto idrogeno in forma
10 liquida (H_2l) e/o gassosa (H_2g), eventualmente in forma gassosa crio-compressa.

Per quanto concerne la fase B), detta fase è una fase di produzione di energia elettrica e di azoto liquido e/o crio-compresso (laddove non indicato, si
15 intende sempre azoto liquido e/o crio-compresso).

Per gli scopi della presente invenzione, la fase A) di produzione di idrogeno liquido e gassoso e/o crio-compresso comprende l'impiego dell'azoto liquido e/o crio-compresso prodotto e accumulato nella fase B).

20 Ciascuna fase verrà qui a seguito descritta in maggior dettaglio.

Fase A)

Per gli scopi della presente invenzione, la fase A) comprende le sotto-fasi di:

A1) sottoporre un flusso di acqua a_1 ad elettrolisi mediante l'impiego di energia elettrica ottenendo la produzione di un flusso di ossigeno a_2 e di un flusso di idrogeno a_3 ,

5 A2) sottoporre detto flusso di idrogeno a_3 ad una fase di raffreddamento preliminare ottenendo un flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato a_4 ,

A3) separare una prima porzione a_5 di detto flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato e ottenere un
10 flusso di idrogeno gassoso raffreddato a_8 , che viene immagazzinato in un serbatoio dell'idrogeno gassoso a_{TH_2g} ,

A4) separare una seconda porzione a_9 di detto flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato e
15 ottenere un flusso di idrogeno liquido $a_{17''''}$, che viene immagazzinato in un serbatoio dell'idrogeno liquido a_{TH_2l} .

In un aspetto della presente invenzione, la sotto-fase A1) è condotta in una cella elettrolitica a_{EC} e
20 può impiegare acqua marina; in tal caso, la cella elettrolitica a_{EC} può essere provvista di un sistema di spurgo per la salamoia B.

Secondo un aspetto preferito della presente invenzione, il processo impiega energia elettrica in
25 eccesso; pertanto, secondo un aspetto preferito, nella

sotto-fase A1) la cella elettrolitica a_{EC} impiega energia elettrica disponibile in eccesso.

Con il termine "energia elettrica in eccesso" si intende energia elettrica prodotta e disponibile nella
5 rete elettrica, ma che non è utilizzata.

In un aspetto della presente invenzione, il flusso di ossigeno a_2 ottenuto dalla sotto-fase A1) è destinato all'export, in quanto sotto-prodotto pregiato, oppure può essere rilasciato in atmosfera.

10 In un aspetto della presente invenzione, prima della sotto-fase A2) di raffreddamento preliminare, il flusso di idrogeno a_3 ottenuto dalla sotto-fase A1) può essere compresso in un primo compressore a_{C1} ; pertanto, la sotto-fase A2) può essere condotta su di un flusso
15 di idrogeno a_3 o su di un flusso di idrogeno compresso $a_{3'}$.

Per gli scopi della presente invenzione, la fase A2) è condotta in un primo scambiatore di calore a_{TE1} per scambio di calore con un fluido refrigerante
20 esterno.

Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-
25 fase A3) comprende le sotto-fasi di:

A3a) pre-raffreddamento,
A3b) primo raffreddamento,
A3c) eventuale stabilizzazione (non rappresentata
in figura),

5 A3d) uno o più ulteriori raffreddamenti.

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-
fase A3a) di pre-raffreddamento è condotta in un
secondo scambiatore di calore a_{TE2} per scambio di
calore con un flusso di azoto liquido e/o crio-
10 compresso ad un primo livello di riscaldamento a_{32} ed
eventualmente anche con un flusso di azoto espanso a_{34} ,
come verrà qui a seguito descritto, ottenendo una prima
porzione del flusso di idrogeno pre-raffreddato a_6 .

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-
15 fase di primo raffreddamento A3b) è condotta in un
terzo scambiatore di calore a_{TE3} per scambio di calore
con un flusso di azoto liquido e/o crio-compresso a_{31}
pompato, come verrà qui a seguito descritto, ottenendo
una prima porzione del flusso di idrogeno raffreddato
20 a_7 .

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-
fase di pre-raffreddamento A3a) e/o la sotto-fase di
primo raffreddamento A3b) sono condotte anche per
scambio di calore con un flusso di un fluido

refrigerante che circola in un circuito del fluido refrigerante, come verrà qui a seguito descritto.

Per gli scopi della presente invenzione, una ed eventuali ulteriori sotto-fasi di raffreddamento A3d) sono condotte per scambio di calore in un quarto
5 scambiatore di calore a_{TE4} con un flusso di un fluido refrigerante, che circola in un circuito del fluido refrigerante, come verrà qui a seguito descritto.

Dalla sotto-fase A3) si ottiene quindi un flusso
10 di idrogeno gassoso raffreddato a_8 , che è immagazzinato in un serbatoio dell'idrogeno gassoso a_{TH2g} .

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase A4) comprende le sotto-fasi di:

- A4a) pre-raffreddamento,
- 15 A4b) primo raffreddamento,
- A4c) stabilizzazione.
- A4d) uno o più ulteriori raffreddamenti.

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase A4a) di pre-raffreddamento è condotta nel secondo
20 scambiatore di calore a_{TE2} per scambio di calore con un flusso di azoto liquido e/o crio-compresso ad un primo livello di riscaldamento a_{32} ed eventualmente anche con un flusso di azoto espanso a_{34} , come sopra descritto, ottenendo una seconda porzione del flusso
25 di idrogeno pre-raffreddato a_{10} .

Per gli scopi della presente invenzione, la fase di primo raffreddamento A4b) è condotta nel terzo scambiatore di calore a_{TE3} per scambio di calore con un flusso di azoto liquido e/o crio-compresso pompato
5 a_{31} , come sopra descritto, ottenendo una seconda porzione del flusso di idrogeno raffreddato a_{11} .

Secondo un aspetto della presente invenzione, la seconda porzione del flusso di idrogeno raffreddato a_{11} può essere sottoposta alla sotto-fase A4c) di
10 stabilizzazione per la conversione catalitica dell'idrogeno dalla forma orto alla forma para ottenendo una seconda porzione del flusso di idrogeno raffreddato e stabilizzato a_{14} .

Eventualmente, la seconda porzione del flusso di
15 idrogeno raffreddato a_{11} può essere divisa in una prima $a_{12'}$ e in una seconda $a_{12''}$ porzione, ciascuna delle quali è sottoposta alla fase di stabilizzazione in un rispettivo convertitore a_{CONV1} , a_{CONV2} ottenendo una prima porzione di idrogeno convertito $a_{13'}$ e una
20 seconda porzione di idrogeno convertito $a_{13''}$, che possono essere riunite nella seconda porzione del flusso di idrogeno raffreddato e stabilizzato a_{14} .

Secondo un aspetto della presente invenzione, il flusso di idrogeno raffreddato e stabilizzato a_{14} può
25 essere sottoposto ad una ulteriore fase di primo

raffreddamento e stabilizzazione orto/para A4b) ottenendo un flusso di idrogeno ulteriormente raffreddato e stabilizzato a_{15} .

Il flusso di idrogeno raffreddato a_{11} oppure il
5 flusso di idrogeno ulteriormente raffreddato e stabilizzato a_{15} , ottenuti secondo quanto sopra descritto, sono sottoposti ad almeno una fase di ulteriore raffreddamento e stabilizzazione orto/para A4d) in un quarto scambiatore di calore a_{TE4} (secondo
10 quanto descritto per la fase A4c)) ottenendo un flusso di idrogeno ancor più raffreddato e stabilizzato a_{16} .

Per gli scopi della presente invenzione, tale almeno una ed eventuali ulteriori fasi di raffreddamento e stabilizzazione orto/para A4d) sono
15 condotte per scambio di calore (in presenza di un catalizzatore di conversione orto/para) con un fluido refrigerante, che circola in un circuito del fluido refrigerante, come verrà qui a seguito descritto.

Secondo un aspetto della presente invenzione,
20 mediante tale almeno una ed eventuali ulteriori fasi di raffreddamento e stabilizzazione orto/para condotte in un quinto scambiatore di calore a_{TE5} (o in uno o ulteriori quinti scambiatori $a_{TE5'}$, $a_{TE5''}$) si ottengono flussi di idrogeno via via maggiormente raffreddato e
25 stabilizzato a_{17} , $a_{17'}$, $a_{17''}$ fino ad ottenere un flusso

di idrogeno liquido a_{17}''' , che è immagazzinato in un serbatoio dell'idrogeno liquido a_{TH2l} ad una temperatura di circa a -195°C .

Dal serbatoio dell'idrogeno liquido a_{TH2l} può
5 essere ottenuto un flusso di idrogeno liquido di ricircolo a_{H2r} , che può essere sottoposto ad una delle fasi di ulteriore raffreddamento A4d) e stabilizzazione orto/para (come schematicamente illustrato in figura 1).

10 Per gli scopi della presente invenzione, il flusso di azoto liquido impiegato nelle fasi di scambio di calore sopra descritte (sotto-fasi A3a), A3b), A4a) e A4b)) è un flusso di azoto liquido prelevato da un serbatoio dell'azoto liquido a_{TN2l} (la forma
15 realizzativa che impiega azoto crio-compresso è contemplata dalla presente invenzione anche se non rappresentata nelle figure).

In particolare, da detto serbatoio dell'azoto liquido a_{TN2l} è ottenuto un primo flusso di azoto
20 liquido a_{30} , che è prelevato e pompato in una pompa a_{PN2l} .

Ad esempio, può essere pompato fino a 150 bar g.

Il flusso di azoto liquido pompato a_{31} così ottenuto è quindi impiegato nelle fasi di primo

raffreddamento A3b) e A4b) ottenendo un flusso di azoto ad un primo livello di riscaldamento a_{32} .

Il flusso di azoto ad un primo livello di riscaldamento a_{32} così ottenuto è impiegato nelle fasi
5 di pre-raffreddamento A3a) e A4a) ottenendo un flusso di azoto gassoso ad un secondo livello di riscaldamento a_{33} .

Il flusso di azoto gassoso ad un secondo livello di riscaldamento a_{33} può essere successivamente espanso
10 in un espansore a_{EXN_21} ottenendo un flusso di azoto espanso a_{34} , che è riscaldato ulteriormente mediante un'ulteriore possibile fase di pre-raffreddamento A3a) e A4a) fino ad ottenere un flusso di azoto gassoso a_{35} , che può essere rilasciato in atmosfera oppure impiegato
15 nella rigenerazione dei setacci molecolari.

Per gli scopi della presente invenzione, l'azoto liquido impiegato nella fase di accumulo sopra descritta è ottenuto da una fase di generazione B) o B') secondo quanto descritto qui a seguito.

20 *Circuito del fluido refrigerante*

Per gli scopi della presente invenzione, il fluido che circola nel circuito del fluido refrigerante a_{100} può essere rappresentato da idrogeno o elio ed è preferibilmente rappresentato da idrogeno.

Il circuito del fluido refrigerante non rappresenta un elemento limitante della presente invenzione, in quanto è sufficiente che consenta il raffreddamento della prima _{a5} e della seconda _{a9} porzione del flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato _{a4} fino all'ottenimento di idrogeno liquido e gassoso come sopra descritto.

Secondo una forma realizzativa della presente invenzione, ad esempio rappresentata nella figura 1, tale circuito _{a100} può funzionare secondo il ciclo di Claude.

Tale ciclo prevede almeno due fasi di compressione del fluido refrigerante contenuto in un serbatoio _{aTfr}, e di almeno tre fasi di espansione, due delle quali ottenute mediante macchine espansori _{aEX1fr}, _{aEX2fr} e la terza mediante una valvola _{aVfr}.

Dopo essere stato prelevato dal serbatoio _{aTfr}, il flusso di fluido refrigerante effettua pertanto le fasi di scambio di calore:

- A4c) e A4d) di almeno uno ed eventuali ulteriori raffreddamenti,
- A3b) e A4b) di primo raffreddamento, e
- A3a) e A4a) di pre-raffreddamento.

Le fasi di cui sopra possono essere condotte in controcorrente oppure in co-corrente e possono eventualmente essere ripetute, nello stesso verso o no.

Per quanto concerne le fasi di espansione,
5 ciascuna espansione segue una ed eventuale ulteriore fase di scambio di calore con il flusso di idrogeno delle fasi A4c) e A4d).

Fase B)

Per gli scopi della presente invenzione, la fase
10 B) comprende le sotto-fasi di:

B1) sottoporre un flusso di aria g_1 a combustione in presenza di un flusso di idrogeno vaporizzato complessivo g_{33} e ottenere un flusso di gas combusti g_3 ,

15 B2) espandere detto flusso di gas combusti g_3 ottenendo un flusso di gas combusti espansi g_4 ,

B3) raffreddare detto flusso di gas combusti espansi g_4 e ottenere un flusso di gas combusti espansi raffreddati g_6 ,

20 B4) sottoporre detto flusso di gas combusti espansi raffreddati g_6 ad una fase di separazione dell'acqua g_{w1} ottenendo un flusso di gas combusti disidratati g_7 ,

B5) eventualmente separare da detto flusso di gas
25 combusti disidratati g_7 una prima porzione di ricircolo

g_8 , che è unita al flusso di aria g_1 della sotto-fase B1),

B6) sottoporre una seconda porzione g_9 separata da detto flusso di gas combustibili disidratati g_7 a
5 compressione ottenendo un flusso di gas combustibili disidratati compressi g_{10} ,

B7) sottoporre detto flusso di gas combustibili disidratati compressi g_{10} a raffreddamento e ad almeno una fase di separazione dell'acqua g_{w2} ottenendo un
10 flusso di azoto g_{13} ,

B8) sottoporre detto flusso di azoto g_{13} a condensazione ottenendo un flusso di azoto liquido g_{14} .

Con riferimento alla sotto-fase B1), questa è condotta in un combustore g_{COMB} .

15 Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase B1) può essere condotta su un flusso di aria g_1 sottoposto preliminarmente a filtrazione mediante un filtro g_F ottenendo un flusso di aria filtrata $g_{1'}$.

In un altro aspetto della presente invenzione, il
20 flusso di aria g_1 o il flusso di aria filtrata $g_{1'}$ sono compressi in un compressore g_{TC} ottenendo un flusso di aria compresso g_2 .

Pertanto, la combustione della sotto-fase B1) può essere condotta su un flusso di aria g_1 oppure di aria
25 filtrata $g_{1'}$ oppure su un flusso di aria compressa g_2 .

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase B1) può essere condotta nel combustore g_{COMB} in presenza anche di un flusso di azoto di ricircolo compresso g_{R2} come qui a seguito descritto.

5 In un aspetto particolare dell'invenzione, al flusso di aria g_1 , eventualmente filtrata $g_{1'}$ e/o compressa g_2 , è unita prima porzione di ricircolo g_8 secondo la sotto-fase B5) sopra descritta.

Vantaggiosamente, tale prima porzione di
10 ricircolo g_8 ha l'effetto di moderare la temperatura della combustione della sotto-fase B1), che è normalmente compreso fra 900-1.800°C e preferibilmente è intorno a 1.500°C, evitando l'impiego di complessi sistemi di raffreddamento; inoltre, consente di
15 raggiungere un flusso volumetrico ottimale per l'impiego di un compressore e della turbina a gas della fase successiva.

In un aspetto alternativo della presente invenzione, se legato a necessità tecniche del processo
20 oppure del combustore, una parte della porzione di ricircolo g_8' può essere inviata, anziché in aspirazione al compressore g_{TC} , in toto oppure parzialmente, direttamente al combustore g_{COMB} , come gas di diluizione, previa compressione in un
25 compressore del flusso di ricircolo g_{C0} .

Per gli scopi della presente invenzione, la combustione della sotto-fase B1) è condotta in presenza di un flusso di idrogeno vaporizzato complessivo g_{33} come verrà qui a seguito descritto.

5 Con la combustione della sotto-fase B1) si ottengono acqua e gas combusti riscaldati, a cui si fa riferimento in generale con un flusso di gas combusti g_3 .

10 In un aspetto della presente invenzione, la sotto-fase di espansione B2) è condotta in una turbina a gas g_{GT} che, grazie al collegamento con un generatore g_E , produce energia elettrica.

15 In un aspetto della presente invenzione, la sotto-fase B3) di raffreddamento dei gas combusti g_4 comprende le sotto-fasi di:

B3a) di raffreddamento in un primo scambiatore di calore g_{TE1} mediante un fluido di lavoro, che circola in un circuito del fluido di lavoro, come descritto qui a seguito, e

20 B3b) di raffreddamento in un secondo scambiatore di calore g_{TE2} mediante un fluido esterno refrigerante.

Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

In un aspetto preferito, dopo la sotto-fase B3a) di raffreddamento, una porzione del flusso g_{f1} può essere rilasciata in atmosfera.

Per gli scopi della presente invenzione, il fluido
5 esterno refrigerante impiegato nella sotto-fase B3b) può essere rappresentato da aria a temperatura ambiente o acqua.

Per quanto concerne la sotto-fase B4), questa comprende la separazione dell'acqua condensata g_{w1} da
10 un primo separatore g_{S1} .

Dal flusso di gas combustibili disidratati g_7 ottenuto è quindi separata una prima porzione g_8 , che rappresenta il flusso di ricircolo, e in una seconda porzione g_9 , che è inviata al compressore g_{C1} per la
15 sotto-fase B6).

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase B6) di compressione è condotta in un primo compressore g_{C1} ottenendo un flusso di gas disidratati compressi g_{10} .

20 In un aspetto della presente invenzione, il raffreddamento della sotto-fase B7) è condotto in un terzo scambiatore di calore g_{TE3} ed è ottenuto per scambio di calore con un flusso di idrogeno gassoso riscaldato g_{31} e con un flusso di idrogeno vaporizzato
25 riscaldato g_{22} come qui a seguito descritto.

L'almeno una fase di separazione dell'acqua è condotta in un secondo separatore $gS2$ ottenendo un secondo flusso di acqua $gw2$.

Un ulteriore fase di disidratazione può essere
5 condotta in una unità di disidratazione gDU mediante setacci molecolari ottenendo un flusso di azoto $g13$.

In un aspetto preferito, tale disidratazione è condotta fino a ridurre il contenuto di acqua al di sotto di 500 ppm e preferibilmente al di sotto di 50
10 ppm.

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase B8) di raffreddamento è condotta in un quarto scambiatore $gTE4$ per scambio di calore con un flusso di idrogeno gassoso $g30$ e con un flusso di idrogeno
15 liquido pompato $g21$.

In particolare, tale flusso di idrogeno liquido pompato $g21$ è ottenuto a partire da un flusso di idrogeno liquido $g20$ pompato da una pompa dell'idrogeno liquido $gPH21$.

20 Il flusso di azoto liquido $g14$ così ottenuto è immagazzinato in un serbatoio dell'azoto liquido $gTN21$.

Da tale serbatoio $gTN21$ originano degli incondensabili che formano un flusso di azoto di ricircolo $gR1$ che può essere inviato ad un secondo
25 compressore $gC2$ ottenendo un flusso di azoto di

ricircolo compresso g_{R2} costituito prevalentemente da idrogeno, ossigeno e azoto, che, come sopra descritto, può essere ricircolato al combustore g_{COMB} per la sotto-fase B1).

5 Per gli scopi della presente invenzione, il flusso di azoto liquido ottenuto nella sotto-fase B8) è impiegato per condurre il pre-raffreddamento della sotto-fase A3a).

Secondo un aspetto della presente invenzione, il
10 flusso di azoto liquido ottenuto nella sotto-fase B8) è impiegato per condurre anche la sotto-fase di pre-raffreddamento A4a).

Per gli scopi della presente invenzione, l'idrogeno gassoso immagazzinato nel serbatoio
15 dell'idrogeno gassoso g_{TH2g} e l'idrogeno liquido immagazzinato nel serbatoio dell'idrogeno liquido g_{TH2l} sono ottenuti rispettivamente mediante le fasi A3) e A4) della fase di accumulo sopra descritte; pertanto, i serbatoi a_{TH2g} e g_{TH2g} coincidono fra di loro, così
20 come i serbatoi a_{TH2l} e g_{TH2l} .

Per gli scopi della presente invenzione, dopo la sotto-fase B8) il flusso di idrogeno gassoso riscaldato g_{31} e il flusso di idrogeno vaporizzato riscaldato g_{22} sono entrambi inviati alla sotto-fase B7) di
25 raffreddamento nel terzo scambiatore g_{TE3} ottenendo un

flusso di idrogeno gassoso ulteriormente riscaldato g_{32}
e un flusso di idrogeno vaporizzato ulteriormente
riscaldato g_{23} , che sono riuniti in un flusso di
idrogeno vaporizzato complessivo g_{33} .

5 Tale flusso di idrogeno vaporizzato complessivo
 g_{33} è inviato al combustore g_{COMB} per la sotto-fase
B1), eventualmente dopo aver spillato una porzione g_{34} ,
che può essere inviata alla rete del gas naturale
oppure alla rete idrogeno di una raffineria.

10 *Circuito del fluido di lavoro*

Per gli scopi della presente invenzione, il
raffreddamento della sotto-fase B3a) è ottenuto con un
fluido di lavoro che è scelto nel gruppo che comprende
aria ed acqua ed è preferibilmente rappresentato da
15 acqua.

Dopo la fase di scambio di calore B3a) in un primo
scambiatore g_{TE1} , un secondo flusso del fluido di
lavoro riscaldato g_{fl2} così ottenuto è espanso in una
turbina a vapore g_{ST1} dando un flusso espanso g_{fl3} ,
20 che, collegata ad un primo generatore g_{E1} , può generare
energia elettrica.

Il flusso espanso g_{fl3} così ottenuto è riscaldato
ulteriormente in un secondo scambio di calore nello
scambiatore di calore g_{TE1} dando un flusso riscaldato
25 g_{fl4} , che è sottoposto ad una seconda espansione in una

seconda turbina a espansione g_{ST2} , che, collegata ad un secondo generatore g_{E2} , può generare energia elettrica.

Il flusso ulteriormente espanso g_{fl5} così ottenuto
5 è raffreddato in un quinto scambiatore g_{TE5} mediante l'impiego di un fluido refrigerante esterno e inviato, eventualmente dopo essere stato pompato in una pompa del fluido di lavoro g_{Pfl} ottenendo un fluido pompato g_{fl1} , alla fase di scambio di calore B3a).

10 Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

In accordo con una forma realizzativa alternativa, la fase B) di generazione secondo la presente
15 invenzione è una fase B') che comprende l'impiego di una *fuel cell* per la produzione di energia elettrica.

Secondo tale forma realizzativa, nella fase B'1) il flusso di aria $g'1$ da sottoporre a combustione nel combustore $g'COMB$ è sottoposto preliminarmente ad un
20 trattamento comprendente le seguenti sotto-fasi:

b0) se necessario, filtrare mediante un filtro $g'F$, ottenendo un flusso di aria filtrato $g'1'$,

b1) comprimere e ottenere un flusso di aria compressa $g'4$,

b2) riscaldare ottenendo un flusso di aria compressa e riscaldata $g'8$,

b3) sottoporre a riduzione l'ossigeno contenuto in detto flusso di aria compressa e riscaldata $g'8$
5 ottenendo un flusso ridotto $g'9$,

b4) raffreddare detto flusso ridotto $g'9$ ottenendo un flusso raffreddato $g'10$ e riunire ad un flusso di integrazione $g'6$.

Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-
10 fase b1) di compressione può sottoporre il flusso di aria $g'1$ o di aria filtrata $g'1'$ alle sotto-fasi di:

b1a) prima compressione in un primo compressore $g'C1$ ottenendo un flusso ad un primo livello di compressione $g'2$,

15 b1b) di raffreddamento in un primo scambiatore di calore $g'TE1$ ottenendo un flusso ad un primo livello di compressione raffreddato $g'3$, e

b1c) di seconda compressione in un secondo compressore $g'C2$ ottenendo il flusso compresso $g'4$.

20 In particolare, la sotto-fase b1b) è ottenuta per scambio di calore con un fluido refrigerante esterno.

Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

Per quanto concerne la sotto-fase b2) questa comprende tre fasi di riscaldamento, in cui:

- la sotto-fase b2a) è ottenuta per scambio di calore in un secondo scambiatore $g'TE2$ con un flusso di
5 gas combusti espansi $g'13$ come qui a seguito descritto ottenendo un flusso di primo riscaldamento $g'5$,

- la sotto-fase b2b) è ottenuta per scambio di calore in un terzo scambiatore $g'TE3$ con un primo flusso di un fluido inerte $g'fil$, ad esempio rappresentato da
10 azoto ottenendo un flusso ad un secondo livello di riscaldamento $g'7$, e

- la sotto-fase b2c) è ottenuta per scambio di calore in un quarto scambiatore $g'TE4$ con il flusso ridotto $g'9$ ottenendo un flusso di aria compressa e
15 riscaldata $g'8$.

Per gli scopi della presente invenzione, dopo la sotto-fase b2a) dal flusso di primo riscaldamento $g'5$ è separato un flusso di integrazione $g'6$, che è inviato al combustore $g'COMB$ per la sotto-fase B'1) dopo
20 riunione con il flusso raffreddato $g'10$ dando un flusso riunito $g'11$.

Per quanto concerne la sotto-fase b3), questa è ottenuta nell'anodo di una *fuel cell* ottenendo la riduzione dell'ossigeno e la formazione di un flusso
25 ridotto $g'9$.

Il flusso ridotto così ottenuto $g'9$ è raffreddato nella sotto-fase b4) mediante lo scambio di calore sopra descritto in riferimento alla sotto-fase b2c).

Secondo la forma realizzativa alternativa della
5 presente invenzione, un flusso di idrogeno vaporizzato complessivo $g'33$ è inviato al combustore $g'COMB$ per la combustione della sotto-fase B'1).

In particolare, tale flusso di idrogeno vaporizzato complessivo $g'33$ è ottenuto dalla riunione
10 di un flusso di idrogeno gassoso riscaldato $g'41$ e di un flusso di idrogeno vaporizzato pompato e riscaldato $g'32$, come qui a seguito descritto.

Inoltre, per gli scopi della presente invenzione, a tale flusso di idrogeno vaporizzato complessivo $g'33$
15 può essere riunito un flusso di azoto di ricircolo compresso $g'R2$ costituito prevalentemente da idrogeno, ossigeno e azoto, ottenuto come qui a seguito descritto dando un flusso da sottoporre a combustione $g'35$.

Dallo stesso flusso di idrogeno vaporizzato
20 complessivo $g'33$ può essere spillata una porzione $g'34$, che può essere inviata alla rete del gas naturale oppure alla rete idrogeno di una raffineria.

Per gli scopi della presente invenzione, tali flussi di idrogeno gassoso riscaldato $g'41$ e idrogeno

vaporizzato pompato e riscaldato $g'32$ sono ottenuti dai rispettivi serbatoi $g'TH_2g$ e $g'TH_2l$.

Per gli scopi della presente invenzione, prima di essere inviato al combustore $g'COMB$ per la sotto-fase
5 B'1), tale flusso da inviare al combustore $g'35$ è sottoposto alle fasi di:

b'1) riscaldamento ottenendo un flusso da ossidare riscaldato $g'50$,

b'2) ossidazione dell'idrogeno contenuto nel
10 flusso da ossidare riscaldato $g'50$ ottenendo un flusso ossidato $g'51$,

b'3) ulteriore raffreddamento ottenendo un flusso ossidato raffreddato $g'52$.

In particolare, la sotto-fase b'1) è ottenuta nel
15 primo scambiatore di calore $g'TE2$ per scambio di calore con il flusso di gas combusti espansi $g'13$.

Per gli scopi della presente invenzione, la fase di riscaldamento b'1) è condotta nello stesso scambiatore della sotto-fase b2a).

20 Per quanto concerne la sotto-fase b'2), questa è ottenuta nel catodo di una *fuel cell* $g'FC$ e, in particolare, nella stessa *fuel cell* della sotto-fase b3).

La sotto-fase b'3) di ulteriore raffreddamento è
25 condotta in un quinto scambiatore di calore $g'TE5$ per

scambio di calore con un terzo flusso di un fluido inerte g_{fi3} , ad esempio rappresentato da azoto, come qui sotto descritto.

In particolare, un primo flusso del fluido inerte
5 g_{fi1} effettua lo scambio di calore nel terzo scambiatore di calore g_{TE3} ottenendo un secondo flusso del fluido inerte g_{fi2} , che è pompato da una pompa del fluido inerte g_{Pfi} ottenendo il terzo flusso del fluido inerte g_{fi3} a cui si fa riferimento qui sopra.

10 Dopo lo scambio di calore nel quinto scambiatore di calore g_{TE5} si ottiene il primo flusso del fluido inerte g_{fi1} della fase b2b).

Secondo la forma realizzativa alternativa sopra descritta, dalla fase B'1) di combustione si ottiene
15 un flusso di gas combusti g_{12} che è sottoposto alle ulteriori fasi di:

B'2) espandere detto flusso di gas combusti g_{12} in un espansore g_{EX} ottenendo un flusso di gas combusti espansi g_{13} ,

20 B'3) raffreddare detto flusso di gas combusti espansi g_{13} e ottenere un flusso di gas combusti espansi e ulteriormente raffreddati g_{15} ,

B'4) separazione dell'acqua e ottenere un flusso di azoto g_{20} ,

B'5) sottoporre detto flusso di azoto $g'20$ a raffreddamento e condensazione in un ottavo scambiatore di calore $g'TE8$ ottenendo un flusso di azoto liquido $g'21$.

5 Tale flusso di azoto liquido $g'21$ è quindi immagazzinato in un serbatoio dell'azoto liquido $g'TN21$.

Dal serbatoio dell'azoto liquido $g'TN21$ originano degli incondensabili; infatti, dal serbatoio è ottenuto un flusso di ricircolo $g'R1$, che viene compresso in un
10 quarto compressore $g'C4$ dando il flusso di azoto di ricircolo compresso $g'R2$ sopra descritto.

Per gli scopi della presente invenzione, il flusso di azoto liquido ottenuto nella sotto-fase B'5) è impiegato per condurre la sotto-fase di pre-
15 raffreddamento A3a).

Secondo un aspetto della presente invenzione, il flusso di azoto liquido ottenuto nella sotto-fase B'5) è impiegato per condurre anche la sotto-fase di pre-raffreddamento A4a).

20 Per gli scopi della presente invenzione, la sotto-fase B'3) comprende le ulteriori sotto-fasi di:

B'3a) di raffreddamento di detto flusso di gas combusti espansi $g'13$ nel secondo scambiatore di calore $g'TE2$ ottenendo un primo flusso raffreddato $g'14$, e

B'3b) di raffreddamento di detto primo flusso raffreddato $g'14$ in un sesto scambiatore di calore $g'TE6$ ottenendo detto flusso di gas combusti espansi e ulteriormente raffreddati $g'15$.

5 La fase B'3b) è condotta per scambio di calore con un fluido refrigerante esterno.

Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

10 Per gli scopi della presente invenzione, detta sotto-fase B'4) comprende le ulteriori sotto-fasi di:

B'4a) sottoporre detto flusso di gas combusti espansi e ulteriormente raffreddati $g'15$ ad una prima separazione dell'acqua $g'w1$ in un primo separatore $g'S1$
15 ottenendo un flusso di gas combusti disidratati $g'16$,

B'4b) comprimere detto flusso di gas combusti disidratati $g'16$ in un terzo compressore $g'C3$ ottenendo un flusso di gas combusti disidratati compressi $g'17$,

B'4c) raffreddare detto flusso di gas combusti
20 disidratati compressi $g'17$ in un settimo scambiatore di calore $g'TE7$ ottenendo un flusso di gas combusti disidratati compressi e raffreddati $g'18$,

B'4d) sottoporre detto flusso di gas combusti disidratati compressi e raffreddati $g'18$ ad una seconda
25 separazione dell'acqua $g'w2$ in un secondo separatore

g'S2 ottenendo un flusso di gas combustibili ulteriormente disidratato g'19,

B'4e) sottoporre il flusso così ottenuto ad una ulteriore disidratazione in una Unità di Disidratazione g'DU ottenendo il flusso di azoto g'20.

Per gli scopi della presente invenzione, la fase B'4c) è condotta nel settimo scambiatore di calore g'TE7 per scambio di calore con un fluido refrigerante esterno.

10 Tale fluido refrigerante esterno può essere rappresentato da acqua o aria a temperatura ambiente ed è preferibilmente rappresentato da acqua.

Per gli scopi della presente invenzione, la fase B'4e) nell'Unità di Disidratazione g'DU è condotta fino a ridurre il contenuto di acqua al di sotto di 500 ppm e preferibilmente al di sotto di 50 ppm.

Secondo la forma realizzativa alternativa della presente invenzione, la sotto-fase B'5) è condotta per scambio di calore con il flusso di idrogeno gassoso g'40 e con il flusso di idrogeno liquido pompato g'31.

In particolare, detto flusso di idrogeno liquido pompato g'31 è ottenuto pompando con una pompa dell'idrogeno liquido g'PH₂1 un flusso di idrogeno liquido g'30 ottenuto dal serbatoio dell'idrogeno liquido g'TH₂1.

Per gli scopi della presente invenzione,
l'idrogeno gassoso immagazzinato nel serbatoio
dell'idrogeno gassoso $g'TH_2g$ e l'idrogeno liquido
immagazzinato nel serbatoio dell'idrogeno liquido
5 $g'TH_2l$ sono ottenuti rispettivamente mediante le fasi
A3) e A4) della fase di accumulo sopra descritte;
pertanto, i serbatoi $a'TH_2g$ e $g'TH_2g$ coincidono fra di
loro, così come i serbatoi $a'TH_2l$ e $g'TH_2l$.

Come sopra descritto, per gli scopi della presente
10 invenzione, i serbatoi dell'azoto liquido e
dell'idrogeno liquido e gassoso della fase di accumulo
e della fase di generazione coincidono
(rispettivamente: $a'TN_2l$, $g'TN_2l$, $g'TN_2l$; $a'TH_2l$, $g'TH_2l$,
 $g'TH_2l$, $a'TH_2g$, $g'TH_2g$, $g'TH_2g$).

15 In altre parole, l'azoto liquido impiegato nella
fase A) coincide con l'azoto liquido prodotto nella
fase di generazione B) o B'); allo stesso modo,
l'idrogeno liquido e l'idrogeno gassoso ottenuti con
la fase di accumulo A) sono impiegati nella fase di
20 generazione B) o B').

In accordo con un ulteriore oggetto, è descritto
un impianto per condurre il processo dell'invenzione
sopra descritto.

In particolare, tale impianto comprende: un
25 serbatoio per l'azoto liquido e/o crio-compresso $a'TN_2l$,

${}_g\text{TN}_{21}, {}_g'\text{TN}_{21}$, un serbatoio per l'idrogeno liquido
 ${}_a\text{TH}_{21}, {}_g\text{TH}_{21}, {}_g'\text{TH}_{21}$, un serbatoio per l'idrogeno gassoso
 ${}_a\text{TH}_{2g}, {}_g\text{TH}_{2g}, {}_g'\text{TH}_{2g}$, un compressore per l'aria
 ${}_g\text{TC}, {}_g'\text{TC}_1, {}_g'\text{TC}_2$, un combustore per sottoporre a
5 combustione un flusso di aria ${}_g\text{COMB}, {}_g'\text{COMB}$, una turbina
a gas ${}_g\text{GT}$ con un generatore ${}_g\text{E}$ o un espansore ${}_g'\text{EX}$ per
la generazione di energia elettrica, e scambiatori di
calore ${}_a\text{TE}_2, {}_a\text{TE}_3, {}_g\text{TE}_4, {}_g'\text{TE}_8$ per lo scambio di calore fra
un flusso di azoto liquido e un flusso di idrogeno
10 liquido e gassoso e/o crio-compresso.

Secondo un aspetto della presente invenzione, può
essere inoltre compresa una cella a combustibile ${}_g'\text{FC}$
per l'ulteriore produzione di energia elettrica.

Secondo un aspetto particolare della presente
15 invenzione, l'impianto è quello che conduce il processo
secondo quanto sopra descritto.

Qui a seguito verranno descritte due forme
applicative del processo della presente invenzione.

Ciclo di accumulo e produzione di energia elettrica

20 Poiché l'alternanza giorno notte e la diversa
distribuzione durante le ore del giorno dell'energia
solare comporta un disallineamento tra domanda ed
offerta, è possibile progettare un campo solare per
coprire il picco di domanda, eliminando così la
25 necessità di fare ricorso ad altre fonti energetiche

(fossili) e accumulare l'eccesso di energia per poterne fare uso durante la notte.

L'eccesso di energia può essere utilizzato per produrre idrogeno in loco, mediante elettrolisi, ed
5 accumularlo sia in forma liquida che di gas freddo e compresso (crio-compressione).

L'accumulo in forma gassosa, data la bassa densità energetica tecnicamente ottenibile è limitata e, nonostante abbia un minore costo energetico, non
10 risulta economica quando si voglia accumulare abbastanza energia da superare le variazioni stagionali della produzione di energia elettrica: stoccaggi di durata superiore a poche ore o pochi giorni richiedono lo stoccaggio in forma liquida.

15 Dunque, il sistema può accumulare, ad ogni ciclo, sia energia in forma di idrogeno crio-compresso, che verrà utilizzato integralmente (o quasi) durante la notte, sia energia in forma di idrogeno liquido da accumulare durante l'estate per sopperire alla sua
20 mancata produzione giornaliera durante l'inverno.

L'accumulo di azoto liquido invece risulterà anticiclico rispetto all'idrogeno liquido e, per questo, la quantità di azoto fornita dalla turbina a gas può essere variata attraverso lo spurgo f1;
25 l'effetto dello spurgo sulla generazione di energia da

parte del ciclo di potenza è inversamente proporzionale alla quantità di azoto resa disponibile.

Stabilizzazione della rete idrogeno di una raffineria "verde"

5 L'energia elettrica prodotta da un campo solare non solo deve fornire energia ad una raffineria, ma anche produrre direttamente idrogeno, per elettrolisi, da inviare alla rete idrogeno della raffineria, accumulandone una parte sia per la generazione
10 elettrica sia per sopperire alla mancanza di idrogeno in altre ore.

Durante la fase di generazione dovrà inoltre essere vaporizzato dell'idrogeno in quantità superiore a quella richiesta dal consumo del ciclo di potenza,
15 al fine di alimentare la rete idrogeno in mancanza della fonte elettrolitica.

Il ciclo di potenza deve dunque limitare lo spurgo f1 per fornire una maggiore quantità di azoto per il recupero di tutte le frigorifiche dell'idrogeno.

20 Similmente, potrà essere stabilizzata la rete del gas naturale, tuttavia tenendo conto dei limiti di ammissibilità dell'idrogeno nei metanodotti, principalmente legata al diverso potere calorifico di idrogeno e gas naturale; infatti, maggiore è la

quantità di idrogeno, minore la capacità di trasporto di energia del gasdotto.

Dalla descrizione sopra riportata saranno evidenti alla persona esperta nel settore i vantaggi offerti dalla presente invenzione.

La presente invenzione consente di integrare le tecnologie di produzione dell'idrogeno per via
5 elettrolitica con le tecnologie di stoccaggio dell'idrogeno, sia in forma gassosa sia in forma criocompressa, con l'impiego di una turbina a gas o di una cella elettrolitica, che può produrre energia elettrica e azoto, con un sistema di recupero delle frigorie
10 dell'idrogeno.

Il processo descritto, quindi, consente:

- la stabilizzazione della rete elettrica, grazie all'assorbimento dell'energia in eccesso oppure immettendo energia in rete;
- 15 - la stabilizzazione rete gas combustibile,
- la stabilizzazione rete idrogeno, perché è in grado di produrre idrogeno da immettere nella rete del gas naturale o nella rete di idrogeno, ad esempio all'interno di una raffineria.

20 Il processo descritto può inoltre essere sfruttato per la produzione di ossigeno gassoso, anche ad alta pressione, da impiegare per altri scopi.

Il processo descritto vantaggiosamente non rilascia anidride carbonica nell'ambiente.

Inoltre, non necessita di una unità di separazione dell'aria (ASU) per produrre azoto liquido
5 da accumulare e impiega tecnologie largamente disponibili e tecnologicamente "mature" come le turbine a gas.

Di fatto, il processo dell'invenzione impiega idrogeno e azoto "autoprodotti", cioè prodotti
10 all'interno dello stesso processo e, quindi, non richiesti da fonti esterne.

Nella forma realizzativa che applica l'elettrolisi dell'acqua marina, il processo descritto può essere impiegato anche per dissalare l'acqua,
15 producendone discrete quantità come sotto-prodotto.

L'impiego di idrogeno gassoso e di idrogeno liquido consente di bilanciare ottimamente le esigenze di non dover sostenere costi eccessivi per l'accumulo dell'idrogeno come gas crio-compresso, evita il
20 problema (economico e logistico) di dover disporre di recipienti metallici adatti allo stoccaggio.

Inoltre, mentre lo stoccaggio in forma gassosa ha normalmente un impiego di breve periodo, ad esempio giornaliero, lo stoccaggio in forma liquida è ideale

su lungo periodo; ciò consente di adattare il processo alle specifiche esigenze, ad esempio stagionali.

Secondo forme applicative particolari della presente invenzione, l'energia elettrica impiegata
5 nella fase di accumulo può essere energia elettrica in eccesso assorbita dalla rete.

Ad esempio, può trattarsi di energia fornita da fonti rinnovabili, come l'energia fotovoltaica, che, per sua natura, ha un andamento giornaliero e
10 stagionale.

* * *

RIVENDICAZIONI

1. Un processo per la produzione e l'accumulo di idrogeno in una fase A) e per la produzione di energia elettrica e per la produzione e l'accumulo di azoto liquido e/o crio-compresso in una fase B), in cui detta fase A) comprende l'impiego dell'azoto liquido e/o crio-compresso prodotto e accumulato nella fase B) e in cui detta fase B) comprende l'impiego dell'idrogeno prodotto e accumulato nella fase A).

2. Il processo secondo la rivendicazione precedente, in cui in detta fase A) e in detta fase B) è condotta una fase di scambio di calore fra un flusso di detto idrogeno e un flusso di detto azoto.

3. Il processo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detta energia elettrica è prodotta almeno parzialmente in una cella a combustibile g'FC.

4. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta fase A) comprende le sotto-fasi di:

A1) sottoporre un flusso di acqua a_1 ad elettrolisi mediante l'impiego di energia elettrica ottenendo la produzione di un flusso di ossigeno a_2 e di un flusso di idrogeno a_3 ,

A2) sottoporre detto flusso di idrogeno a_3 ad una fase di raffreddamento preliminare ottenendo un flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato a_4 ,

A3) separare una prima porzione di detto flusso di idrogeno preliminarmente raffreddato a_5 e ottenere un flusso di idrogeno gassoso raffreddato a_8 ,

A4) separare una seconda porzione di detto flusso
5 di idrogeno preliminarmente raffreddato a_9 e ottenere un flusso di idrogeno liquido $a_{17'''}$, che viene immagazzinato in un serbatoio dell'idrogeno liquido a_{TH_2l} .

5. Il processo secondo la rivendicazione 4, in cui
10 detta sotto-fase A1) è condotta in una cella elettrolitica a_{EC} .

6. Il processo secondo la rivendicazione precedente, in cui in detta sotto-fase A1) la cella elettrolitica a_{EC} impiega energia elettrica disponibile
15 in eccesso.

7. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 4 a 6, in cui detta sotto-fase A3) comprende le sotto-fasi di:

A3a) pre-raffreddamento,
20 A3b) primo raffreddamento,
A3c) eventuale stabilizzazione,
A3d) uno o più ulteriori raffreddamenti.

8. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 4 a 7, in cui detta sotto-
25 fase A4) comprende le sotto-fasi di:

- A4a) pre-raffreddamento,
- A4b) primo raffreddamento,
- A4c) stabilizzazione.,
- A4d) uno o più ulteriori raffreddamenti.

5 **9.** Il processo secondo la rivendicazione
precedente, in cui detta fase A3a) e detta fase A4a)
sono condotte per scambio di calore con un flusso di
azoto liquido e/o crio-compresso ad un primo livello
di riscaldamento _{a32} ed eventualmente anche con un
10 flusso di azoto espanso _{a34}, ottenendo una prima
porzione del flusso di idrogeno pre-raffreddato _{a6} e
una seconda porzione del flusso di idrogeno pre-
raffreddato _{a10}.

10. Il processo secondo la rivendicazione
15 precedente, in cui detta fase di pre-raffreddamento
A3a) e/o e detta fase a4a) sono condotte per scambio
di calore anche con un fluido refrigerante.

11. Il processo secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni precedenti da 7 a 10, in cui detta
20 sotto-fase A3b) e detta fase A4b) sono condotte per
scambio di calore con un flusso di azoto liquido e/o
crio-compresso _{a31} pompato, ottenendo una prima
porzione del flusso di idrogeno raffreddato _{a7} e una
seconda porzione del flusso di idrogeno raffreddato
25 _{a11}.

12. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 7 a 11, in cui detta sotto-fase di primo raffreddamento A3b) e/o detta sotto-fase di primo raffreddamento A4b) sono condotte
5 per scambio di calore anche con un fluido refrigerante.

13. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 7 a 12, in cui detta sotto-fase di stabilizzazione A4c) converte l'idrogeno dalla forma orto alla forma para ottenendo una seconda
10 porzione del flusso di idrogeno raffreddato e stabilizzato a14.

14. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 7 a 13, in cui detta sotto-fase di uno o più ulteriori raffreddamenti A3d) e/o A4d) è condotta per scambio di calore con un fluido
15 refrigerante.

15. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'azoto liquido e/o crio-compresso impiegato nelle sotto-fasi A3a), A3b), A4a) e A4b)) è l'azoto liquido o crio-compresso
20 prodotto e accumulato nella fase B).

16. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta fase B) comprende le sotto-fasi di:

B1) sottoporre un flusso di aria g_1 a combustione in presenza di un flusso di idrogeno vaporizzato complessivo g_{33} , ed eventualmente di un flusso di azoto di ricircolo compresso g_{R2} , e ottenere un flusso di gas
5 combustibili g_3 ,

B2) espandere detto flusso di gas combustibili g_3 ottenendo un flusso di gas combustibili espansi g_4 ,

B3) raffreddare detto flusso di gas combustibili espansi g_4 e ottenere un flusso di gas combustibili espansi
10 raffreddati g_6 ,

B4) sottoporre detto flusso di gas combustibili espansi raffreddati g_6 ad una fase di separazione dell'acqua g_{w1} ottenendo un flusso di gas combustibili disidratati g_7 ,

15 B5) eventualmente separare da detto flusso di gas combustibili disidratati g_7 una prima porzione g_8 , che è unita al flusso di aria g_1 della sotto-fase B1),

B6) sottoporre una seconda porzione g_9 a compressione ottenendo un flusso di gas combustibili
20 disidratati compressi g_{10} ,

B7) sottoporre detto flusso di gas combustibili disidratati compressi g_{10} a raffreddamento e ad almeno una fase di separazione dell'acqua g_{w2} ottenendo un flusso di azoto g_{13} ,

B8) sottoporre detto flusso di azoto g_{13} a condensazione ottenendo un flusso di azoto liquido g_{14} immagazzinato in un serbatoio dell'azoto liquido g_{TN_2l} .

17. Il processo secondo la rivendicazione
5 precedente, in cui detta sotto-fase di espansione B2) è condotta in una turbina a gas g_{GT} con produzione di energia meccanica ed eventualmente di energia elettrica mediante un generatore g_E .

18. Il processo secondo la rivendicazione
10 precedente 16 o 17, in cui da detto serbatoio dell'azoto liquido g_{TN_2l} è ottenuto un flusso di azoto di ricircolo g_{R1} inviato ad un secondo compressore g_{C2} ottenendo un flusso di azoto di ricircolo compresso g_{R2} che è ricircolato al combustore g_{COMB} per la sotto-fase
15 B1).

19. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 16 a 18, in cui detta fase di condensazione B8) impiega l'idrogeno gassoso e/o crio-compresso e l'idrogeno liquido prodotti e accumulati
20 nella fase A).

20. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti da 3 a 15, in cui detta fase B) è una fase B' comprendente le sotto-fasi di:

B'1) di combustione di un flusso di aria $g'1$ in un combustore $g'COMB$ e ottenere un flusso di gas combusti $g'12$,

B'2) espandere detto flusso di gas combusti $g'12$
5 ottenendo un flusso di gas combusti espansi $g'13$,

B'3) raffreddare detto flusso di gas combusti espansi $g'13$ ottenendo un flusso di gas combusti espansi raffreddati $g'15$,

B'4) separazione dell'acqua e ottenere un flusso
10 di azoto $g'20$,

B'5) sottoporre detto flusso di azoto $g'20$ a raffreddamento in un ottavo scambiatore di calore $g'TE8$ ottenendo un flusso di azoto liquido $g'21$,

in cui prima di detta fase B'1) detto flusso di
15 aria $g'1$ è sottoposto ad un trattamento comprendente la sotto-fase di riduzione dell'ossigeno in detta *fuel cell* $g'FC$.

21. Il processo secondo la rivendicazione precedente, in cui nella fase B'1) è sottoposto a
20 combustione anche un flusso da inviare al combustore $g'35$, che, prima di essere inviato al combustore $g'COMB$, è sottoposto alle fasi di:

b'1) riscaldamento ottenendo un flusso da ossidare riscaldato $g'50$,

b'2) ossidazione dell'idrogeno contenuto in detto flusso da ossidare $g'50$ ottenendo un flusso ossidato $g'51$,

b'3) ulteriore raffreddamento ottenendo un flusso
5 ossidato raffreddato $g'52$.

22. Il processo secondo la rivendicazione 20 o 21, in cui detta sotto-fase B'3) comprende le ulteriori sotto-fasi di:

B'3a) di raffreddamento di detto flusso di gas
10 combustibili espansi $g'13$ nel secondo scambiatore di calore $g'TE2$ per scambio di calore con il flusso da inviare al combustore ottenendo un primo flusso raffreddato $g'14$,
e

B'3b) di raffreddamento di detto primo flusso
15 raffreddato $g'14$ in un sesto scambiatore di calore $g'TE6$ ottenendo detto flusso di gas combustibili espansi e ulteriormente raffreddati $g'15$.

23. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 20 a 22, in cui detta sotto-fase B'4)
20 comprende le ulteriori sotto-fasi di:

B'4a) sottoporre detto flusso di gas combustibili espansi e ulteriormente raffreddati $g'15$ ad una prima separazione dell'acqua $g'w1$ in un primo separatore $g'S1$ ottenendo un flusso di gas combustibili disidratati $g'16$,

B'4b) comprimere detto flusso di gas combustibili disidratati g'16 in un terzo compressore g'C3 ottenendo un flusso di gas combustibili disidratati compressi g'17,

B'4c) raffreddare detto flusso di gas combustibili disidratati compressi g'17 in un settimo scambiatore di calore g'TE7 ottenendo un flusso di gas combustibili disidratati compressi e raffreddati g'18;

B'4d) sottoporre detto flusso di gas combustibili disidratati compressi e raffreddati g'18 ad una seconda separazione dell'acqua g'w2 in un secondo separatore g'S2 ottenendo un flusso di gas combustibili ulteriormente disidratato g'19,

B'4e) sottoporre il flusso di gas combustibili ulteriormente disidratato g'19 così ottenuto ad una ulteriore disidratazione in una unità di disidratazione g'DU ottenendo il flusso di azoto g'20.

24. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 20 a 23, in cui detta fase B'5) è condotta impiegando l'idrogeno gassoso e/o criocompresso e l'idrogeno liquido prodotti e accumulati nella fase A).

25. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 20 a 24, in cui detta fase B'5) è condotta impiegando l'idrogeno gassoso e/o l'idrogeno

liquido prodotti e accumulati nella fase A) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 15.

26. Il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'azoto liquido e/o
5 crio-compresso impiegato nelle sotto-fasi A3a), A3b), A4a) e A4b) è l'azoto liquido e/o crio-compresso prodotto e accumulato nella fase B) o B') secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 24.

27. Un impianto comprendente un serbatoio per
10 l'azoto liquido e/o crio-compresso a_{TN2l} , g_{TN2l} , g'_{TN2l} , un serbatoio per l'idrogeno liquido a_{TH2l} , g_{TH2l} , g'_{TH2l} , un serbatoio per l'idrogeno gassoso a_{TH2g} , g_{TH2g} , g'_{TH2g} , un compressore per l'aria g_{TC} , g'_{TC1} , g'_{TC2} , un combustore g_{COMB} , g'_{COMB} , una turbina a gas g_{GT} con un generatore g_E
15 o un espansore g_{EX} e scambiatori di calore a_{TE2} , a_{TE3} , g_{TE4} , g'_{TE8} per lo scambio di calore fra un flusso di azoto liquido e un flusso di idrogeno liquido o gassoso e/o crio-compresso.

28. L'impianto secondo la rivendicazione
20 precedente nel quale è condotto il processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 26.

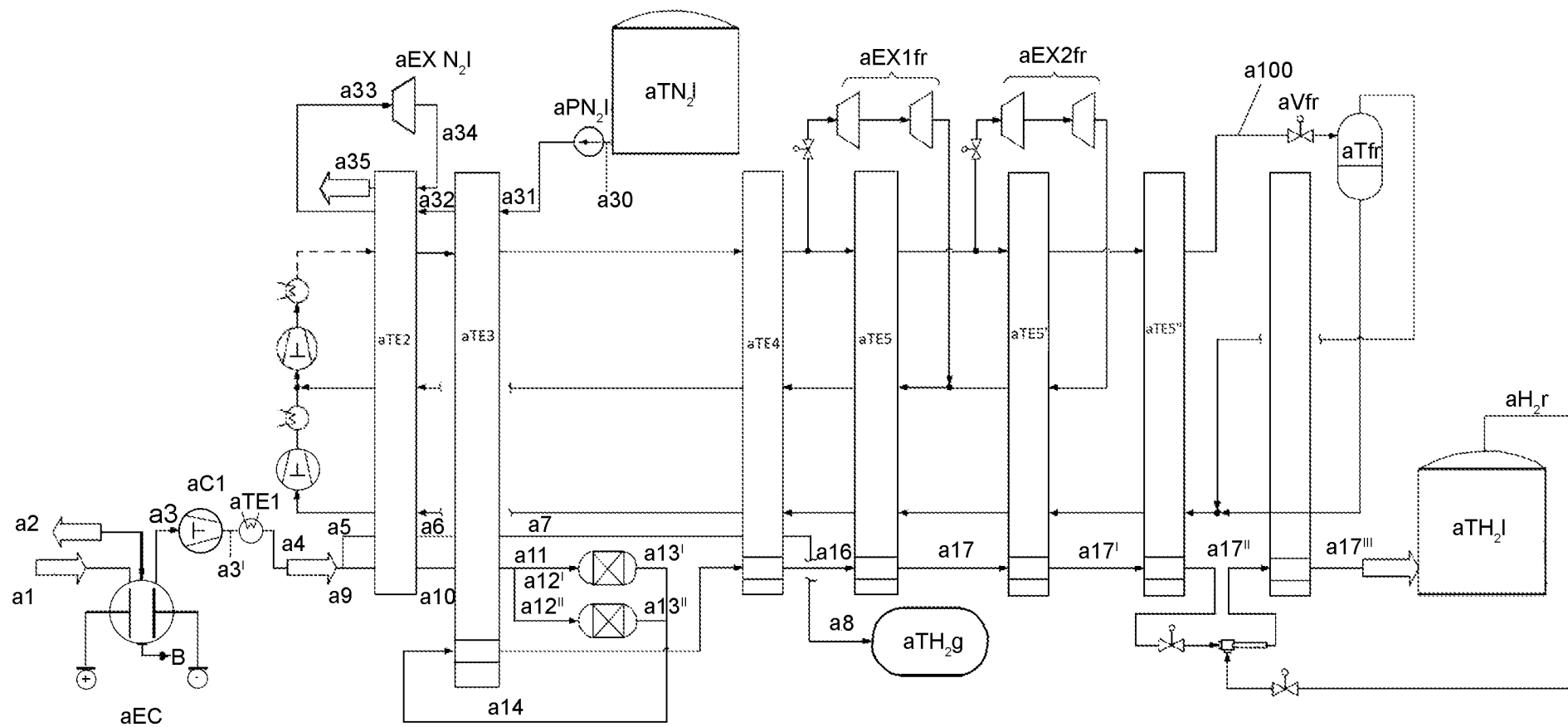


FIG. 1

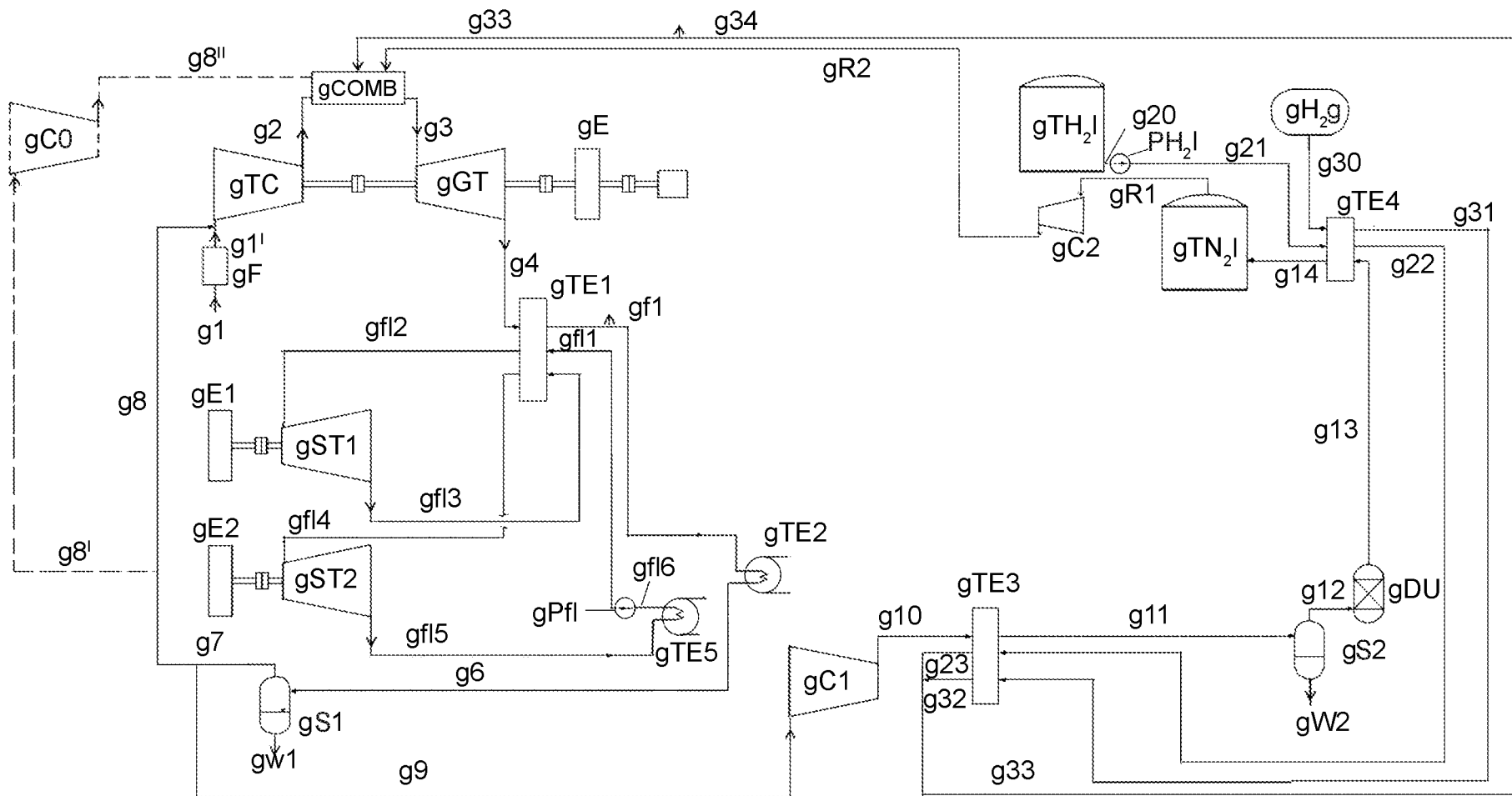


FIG. 2

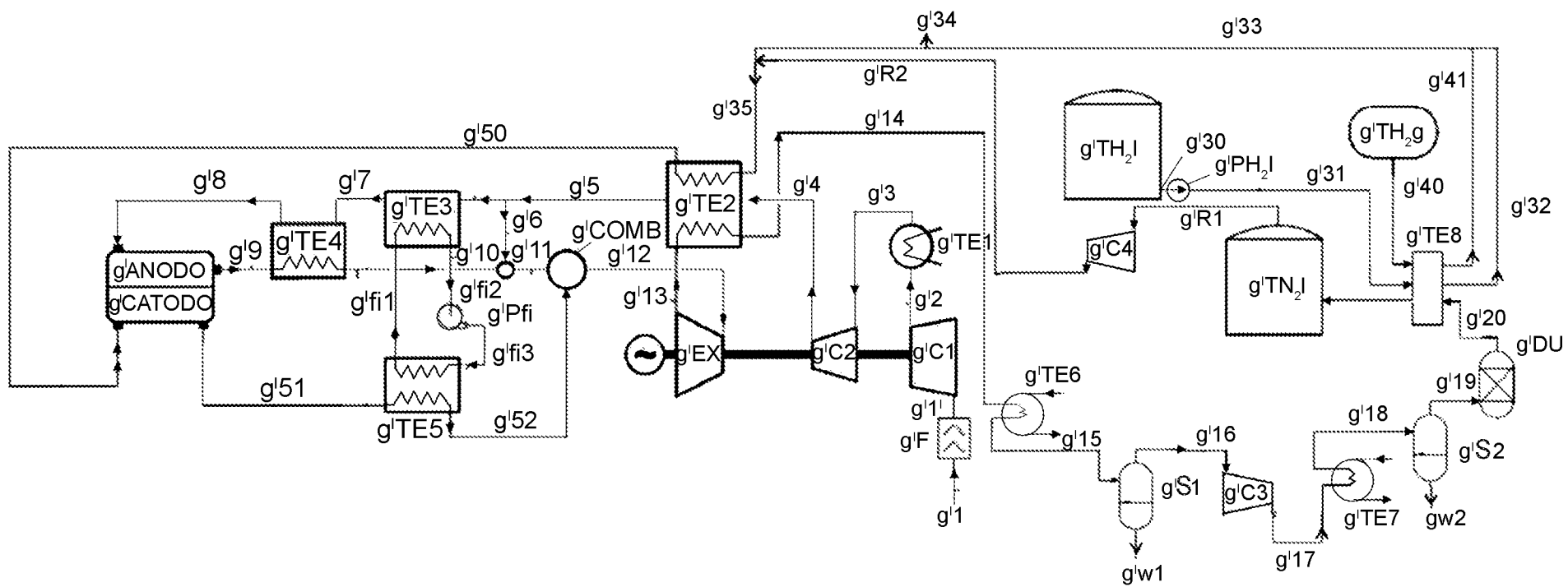


FIG. 3