



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102009901793148
Data Deposito	16/12/2009
Data Pubblicazione	16/06/2011

Classifiche IPC

Titolo

**SISTEMA E METODO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA A PARTIRE DA
SORGENTI TERMICHE A TEMPERATURA VARIABILE**

DESCRIZIONE

del BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

avente per titolo:

“SISTEMA E METODO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
ELETTRICA A PARTIRE DA SORGENTI TERMICHE A
TEMPERATURA VARIABILE”

a nome di TURBODEN Srl, di nazionalità italiana, con sede in Via
Cernaia 10 - 25124 Brescia.

Inventori designati: Roberto BINI

Mario GAIA

Campo dell'Invenzione

La presente invenzione riguarda in generale un sistema e un
metodo per la produzione di energia elettrica a partire da sorgenti
termiche, e si riferisce in particolare ad un sistema e un metodo per
5 un'espansione ottimizzata di un fluido di lavoro organico in cicli di
potenza ORC (Organic Rankine Cycle), utilizzanti per un riscaldamento
del fluido di lavoro sorgenti di calore a temperatura variabile, quali un
fluido geotermico liquido, un effluente industriale liquido ad alta
temperatura, gas di processo ad alta temperatura, gas combusti
10 scaricato da motori endotermici, ecc.

Stato della Tecnica

L'utilizzazione, per la produzione di energia elettrica mediante
espansori a turbina o volumetrici, del calore contenuto in sorgenti
termiche in grado di cedere calore con temperatura variabile nel corso

di uno scambio termico, quali le sorgenti geotermiche atte a fornire un fluido liquido a pressione e temperatura elevate, -di seguito definito fluido sorgente- presenta esigenze diverse rispetto alle sorgenti di calore a temperatura molto elevata (quali i prodotti della combustione di combustibili fossili) e alle sorgenti a temperatura sostanzialmente costante.

Una soluzione efficace per un utilizzo di sorgenti termiche con temperatura variabile consiste nell'impiego di un ciclo Rankine di potenza con fluido di lavoro organico (ORC) attuato ad almeno due distinti livelli di pressione di evaporazione del fluido di lavoro, in modo che il fluido sorgente ceda calore dapprima al fluido di lavoro ad una pressione più elevata (alimentante almeno un primo espansore), e successivamente al fluido di lavoro a pressione inferiore (alimentante un secondo espansore).

Da notare che nel seguito della descrizione che per espansori si intenderanno sia gli espansori volumetrici che gli espansori a turbina, che saranno denominati più semplicemente turbine.

Le ragioni termodinamiche a favore di questa soluzione sono ben note così com'è noto che questa soluzione, diretta a un recupero del contenuto di calore di sorgenti termiche a temperatura variabile mediante un ciclo a due o più livelli di evaporazione, già è stata ampiamente adottata nella pratica anche nei cicli Rankine utilizzando vapore d'acqua come fluido di lavoro.

Nel caso di cicli Rankine con fluido di lavoro organico (ORC) l'adozione di più livelli di evaporazione trova però un ostacolo

nell'elevata differenza di portata volumetrica attraverso le turbine che espandono il fluido di lavoro.

Con riferimento allo schema in Fig. 1 esemplificativo di uno stato della tecnica, una turbina T1 di alta pressione espande il vapore di fluido di lavoro alimentato da una linea di flusso 1 con un'elevata pressione d'ingresso (tipicamente con una pressione di 10-30 bar abs) fino ad una pressione allo scarico 2 della turbina circa uguale alla pressione del fluido di lavoro proveniente da una linea 3 che alimenta, attraverso una linea di flusso 4, una turbina T2 a più bassa pressione (tipicamente 4-7 bar abs). A sua volta la turbina T2 scarica il fluido di lavoro verso una linea 5 ad una pressione assai inferiore, in generale di poco superiore a quella di condensazione (0,2-3 bar abs). I valori di pressione qui riportati sono comunque del tutto indicativi e legati al fluido di lavoro adottato e alle temperature in gioco. La portata volumetrica che si riscontra allo scarico 2 della turbina di alta pressione T1 è in generale inferiore rispetto alla portata volumetrica allo scarico 5 della turbina di bassa pressione T2. Un'eccezione a questa regola si presenta solo nel caso in cui vi siano eventuali spillamenti 6 di fluido di lavoro dalla linea di flusso 4 per alimentare altre parti dell'impianto, che riducano la portata nella turbina di bassa pressione T2 al punto da compensare la differenza di densità del fluido.

La diversa portata volumetrica che attraversa le due turbine T1 e T2, rispettivamente di alta e di bassa pressione, fa sì che, quando la velocità di rotazione adottata per le due turbine è la stessa, tale velocità può risultare ottimale per un buon dimensionamento delle palettature

della turbina di bassa pressione, ma non ottimale, però, per la turbina di alta pressione, inducendo un peggioramento delle prestazioni della macchina rispetto ad un dimensionamento ottimale. D'altra parte, la ricerca di un valore di velocità di compromesso si andrebbe a ripercuotere negativamente su entrambe le macchine.

Obiettivo e Sommario dell'Invenzione

Un obiettivo della presente invenzione è di creare le condizioni per ovviare agli inconvenienti e svantaggi della tecnica nota e per consentire quindi un'efficiente attuazione anche di cicli di potenza Rankine da effettuarsi ad almeno due distinti livelli di pressione di evaporazione di un fluido di lavoro, che impiegano come fluido di lavoro un fluido organico e come fluido per il riscaldamento del fluido di lavoro un fluido sorgente proveniente da sorgenti termiche a temperatura variabile, quali per esempio sorgenti geotermiche o altre come citate all'inizio.

Tale obiettivo è raggiunto con un sistema per la produzione di energia elettrica da cicli di potenza ORC (Organic Rankine Cycle) condotti a due livelli di pressione con l'impiego di un fluido di lavoro organico riscaldato da un fluido sorgente proveniente da una sorgente di calore a temperatura variabile, che comprende:

- almeno una prima turbina alimentata con una prima portata di un fluido di lavoro ad una prima pressione d'ingresso e rotante ad una prima velocità,

- una seconda turbina alimentata con una seconda portata di uno stesso fluido di lavoro ad una seconda pressione di ingresso e rotante ad una seconda velocità, dove:

la prima portata di fluido di lavoro alimentante la prima turbina può essere maggiore o uguale alla seconda portata di fluido di lavoro alimentante la seconda turbina;

la pressione di ingresso del fluido di lavoro alla prima turbina è
5 maggiore della pressione di ingresso del fluido di lavoro alla seconda turbina;

la velocità di rotazione della prima turbina è maggiore della velocità di rotazione della seconda turbina;

alla prima turbina è connesso un generatore elettrico asincrono;

10 alla seconda turbina è connesso un generatore elettrico sincrono;

e dove

ognuno di detti generatori è accoppiato direttamente all'albero di uscita della rispettiva turbina direttamente senza interposizione di riduttore.

15 Altri aspetti peculiari dell'invenzione sono definiti nelle rivendicazioni dipendenti.

L'invenzione riguarda pure un metodo per la produzione di energia elettrica da cicli di potenza ORC (Organic Rankine Cycle) condotti a due livelli di pressione con l'impiego di un fluido di lavoro organico
20 riscaldato da un fluido sorgente proveniente da una sorgente di calore a temperatura variabile secondo la rivendicazione 14.

Breve Descrizione dei Disegni

I vari aspetti innovativi dell'invenzione risulteranno anche più evidenti dal prosieguo della descrizione fatta con riferimento agli
25 allegati disegni, indicativi e non limitativi, nei quali, comunque,

valvole, mezzi di controllo ed altri accessori indispensabili o consigliabili per l'effettivo esercizio del sistema sono stati omessi per semplicità.

In detti disegni:

5 la Fig. 1 mostra riporta lo schema illustrativo di parte di un sistema secondo la tecnica nota comprendente due turbine alimentate con uno stesso fluido di lavoro a pressioni diverse;

la Fig. 2 mostra uno schema di un sistema secondo l'invenzione;

la Fig. 3 mostra una variante del sistema in Fig. 2; e

10 la Fig. 4 mostra un'ulteriore variante del sistema in Fig. 2.

Descrizione Dettagliata dell'Invenzione

Nello schema del sistema in Fig. 2 sono rappresentate almeno una prima turbina T1 e una seconda turbina T2, connesse ciascuna a un rispettivo generatore elettrico G1 e G2 ed alimentate da un fluido di lavoro organico che percorre un relativo circuito 10 secondo le frecce A e che viene riscaldato da un fluido sorgente che proviene da una sorgente termica S e che percorre a sua volta, secondo le frecce B, una rispettiva linea 50 di scambio termico con il fluido di lavoro organico. Il fluido sorgente può essere rappresentato, come detto sopra, da un
15 fluido geotermico liquido, un effluente industriale liquido ad alta temperatura, un gas di processo ad alta temperatura, un gas combusto scaricato da motori endotermici, e simili.

In particolare il circuito 10 del fluido di lavoro organico comprende una prima linea 11, di alta pressione, che alimenta in entrata
25 la prima turbina T1 ad una prima pressione P1 e con una prima portata

M1, e una seconda linea 12, di bassa pressione, che alimenta in entrata la seconda turbina T2 ad una seconda pressione P2 inferiore alla suddetta pressione P1 e con una seconda portata M2 che può essere maggiore o uguale alla suddetta portata M1. In altri termini la prima
5 turbina T1 può anche essere definita come turbina a alta pressione e la seconda turbina T2 come turbina a bassa pressione.

La prima linea 11 del circuito di fluido di lavoro include un primo riscaldatore 13 (o preriscaldatore) e almeno un primo evaporatore 14 di scambio termico per un riscaldamento del fluido
10 organico da parte del fluido sorgente; analogamente la seconda linea 12 include un secondo riscaldatore 15 e almeno un secondo evaporatore 16 di scambio termico per un susseguente riscaldamento del fluido organico con il fluido sorgente addotto attraverso la linea 50. Nel
15 circuito 10 del fluido di lavoro organico possono essere inseriti, peraltro in maniera nota, anche un condensatore 17 e un eventuale rigeneratore 18 su una linea 12' a valle della seconda turbina T2.

Una pompa 19 provvede ad elevare la pressione del fluido di lavoro al livello necessario per l'accesso alla linea a più alta pressione 11 di alimentazione della prima turbina T1, pompa eventualmente
20 coadiuvata da almeno una valvola modulante 20 in grado di mantenere la pressione di entrata alla pompa tale da evitare fenomeni di cavitazione nella pompa stessa. In più, l'uscita della prima turbina T1 è collegata in 111 alla linea 12 del fluido di lavoro diretto alla seconda
25 turbina T2, e l'uscita di questa seconda turbina T2 è collegata al suddetto condensatore 17 attraverso l'eventuale rigeneratore 18.

Inoltre, analogamente a quanto riferito in relazione alla Fig. 1, lungo la seconda linea 12 che alimenta la turbina di bassa pressione T2 può essere collegata una linea in derivazione 112, con la quale, in questo caso, viene prelevata una frazione della portata di fluido di lavoro ed inviata ad uno scambiatore di calore 113 per una cessione di calore ad un fluido esterno alimentante un'utenza termica U estranea alla produzione di potenza, per esempio ad un fluido vettore circolante in un impianto di teleriscaldamento. Poi il flusso di fluido di lavoro derivato viene avviato ad un punto qualunque di una parte a pressione minima dell'impianto, vale a dire nel condensatore 17, nella linea che alimenta tale condensatore, o nella linea che alimenta il rigeneratore 18 a valle della turbina di bassa pressione T2. In questo modo si rende disponibile per l'utenza termica esterna del calore ad una temperatura inferiore rispetto alla massima del ciclo e che ha già contribuito alla produzione di una potenza utile tramite le turbine.

In pratica, il fluido di lavoro che arriva all'insieme degli scambiatori, vale a dire riscaldatori ed evaporatori 13-16, per il suo riscaldamento ad opera del fluido sorgente che percorre la rispettiva linea 50, può provenire direttamente dal condensatore 17 attraverso almeno una pompa di alimento 21, oppure, e preferibilmente, dal rigeneratore 18 posto a valle di detta pompa 21 come mostrato in Fig. 2.

In una configurazione alternativa, la portata di fluido di lavoro che attraversa il rigeneratore 17 non è tutta la portata di fluido in uscita dalla seconda turbina T2, ma soltanto una frazione, mentre il flusso

rimanente viene condotto a scambiare calore, in controcorrente, con un flusso di fluido sorgente in uno scambiatore, non rappresentato.

Secondo l'invenzione, e vantaggiosamente, i generatori elettrici G1 e G2 sono connessi direttamente con l'albero delle rispettive turbine T1 e T2, senza l'interposizione di un riduttore ad ingranaggi che altrimenti peggiorerebbe l'efficienza e l'affidabilità del sistema. Tali generatori avranno un diverso numero di poli, in modo che la turbina T1 di alta pressione ruoti a velocità n_1 più elevata e la turbina T2 di bassa pressione a velocità n_2 inferiore a n_1 .

In un caso esemplificativo in cui la frequenza di rete è di 60 Hz come in uso negli USA, il numero di giri n_1 della prima turbina T1 è pari a circa 3600 giri al minuto ed il numero di giri n_2 della seconda turbina T2 è pari a circa 1800 giri al minuto. I generatori G1 e G2 avranno allora, rispettivamente, 2 e 4 poli. Corrispondentemente, per una frequenza di rete di 50Hz, la velocità di rotazione della prima turbina T1 sarà di circa 3000 giri/min e della seconda turbina T2 di 1500 giri/min.

L'invenzione prevede inoltre che il generatore G1 associato alla turbina T1 di alta pressione sia di tipo asincrono, mentre il generatore G2 associato alla turbina T2 di bassa pressione di tipo sincrono.

I vantaggi che si ottengono attraverso questa combinazione di generatori G1 e G2 sono molteplici.

In primo luogo l'adozione di un generatore G1 asincrono per la sola turbina T1 di alta pressione fa sì che il generatore sincrono G2 connesso alla turbina T2 di bassa pressione sia in grado di fornire una

potenza reattiva necessaria per il funzionamento del generatore asincrono G1 della turbina di alta pressione T1, senza connessioni esterne. Questo a maggior ragione in quanto il generatore asincrono G1 sarà in generale di taglia assai inferiore rispetto al generatore sincrono

5 G2.

Conseguentemente il sistema sarà in grado di funzionare anche in isola, cioè senza connessione ad una rete con altri generatori, purché si adotti un'opportuna sequenza di avviamento, che preveda l'avviamento preliminare del generatore sincrono G2 alla velocità

10 corrispondente alla frequenza richiesta, la connessione di eventuali carichi presenti nel sistema in isola, e solo successivamente la connessione del generatore G1, asincrono, portandolo alla velocità di sincronismo con l'alimentazione di un minimo flusso di fluido di lavoro che consenta di raggiungere la velocità stessa.

15 In secondo luogo, poi, il generatore asincrono G1 ha un minore effetto di introduzione di forzanti di moti vibratorii della rispettiva turbina T1. Questo vantaggio è più importante per turbine con velocità di rotazione più elevata e per lo più caratterizzate dal fatto di operare al di sopra della prima velocità critica torsionale e/o flessionale. Inoltre

20 una diminuzione dei moti vibratorii è importante anche in relazione ai sistemi di tenuta di fluido da adottarsi sull'albero della turbina.

Un ulteriore vantaggio sta nell'adozione per la turbina T1 di alta pressione di un generatore asincrono, a 2 poli, più ampiamente disponibile sul mercato, laddove nelle classi di potenza tipiche dei cicli

25 di potenza ORC (1-5 MW) per la turbina T1 di alta pressione, i

generatori sincroni a 2 poli, oltre che difficoltosi da realizzare, sarebbero anche di reperibilità molto più modesta.

Quanto sopra descritto può essere realizzato anche utilizzando in luogo di una sola turbina T1 di alta pressione, anche due turbine di alta
5 pressione connesse fra loro, per quanto riguarda il flusso di fluido di lavoro, sia in serie, sia in parallelo. Le due turbine di alta pressione in questo caso azioneranno direttamente, senza l'interposizione di un riduttore, vuoi i due alberi di un generatore asincrono con doppia uscita d'albero, vuoi un generatore asincrono ciascuna.

10 Come mostrato nella Fig. 2, il ciclo ORC comprende dunque almeno un evaporatore di alta pressione 14 ed un evaporatore di bassa pressione 16. Il fluido di lavoro che li alimenta sarà preferibilmente alimentato a monte di detti evaporatori dal riscaldatore di liquido 15 per il riscaldamento fino alla temperatura di accesso all'evaporatore di
15 bassa pressione 16 ed da un preriscaldatore 13 per il riscaldamento del liquido alimentato all'evaporatore di alta pressione 14.

Come riportato nella stessa Fig. 2, il fluido sorgente proveniente dalla linea 50 percorre preferenzialmente in sequenza i componenti 14, 13, 16 e 15, in modo tale da scambiare calore lungo il percorso con il
20 fluido di lavoro, veicolato nel circuito 10, a temperatura via via sempre minore. In questo modo si garantisce un'efficace sottrazione del calore al fluido sorgente e si minimizza la generazione di entropia nel sistema dovuta alla differenza di temperatura nel fenomeno di scambio termico.

La pompa 19 coadiuvata dall'eventuale valvola 20 provvede
25 quindi ad elevare la pressione del fluido di lavoro al livello necessario

per l'accesso alla linea di alta pressione 11 per l'alimentazione della prima turbina T1, mentre la seconda turbina T2 viene ad essere alimentata da un flusso di fluido di lavoro a temperatura e pressione inferiore attraverso la seconda linea 12 a bassa pressione cui è connessa
5 anche l'uscita 111 della prima turbina.

Nella Fig. 3, dove vengono usati gli stessi riferimenti alfanumerici usati in Fig. 2 per indicare parti uguali od equivalenti, è riportata una configurazione alternativa per il ciclo che alimenta le due turbine T1 e T2, secondo la quale il flusso di fluido di lavoro a valle di
10 un condensatore 17 è diviso in due flussi 22 e 23 che alimentano rispettivamente una pompa di bassa pressione 24 e un pompa di alta pressione 25 e quindi, preferibilmente attraverso preriscaldatori 26, 27, gli evaporatori 16 e 14. Il flusso di fluido sorgente proveniente dalla sorgente termica S mediante la linea 50 sarà preferibilmente diviso in
15 due flussi in parallelo che alimentano, rispettivamente, i due preriscaldatori 26, 27 dai quali escono attraverso rispettive linee di uscita 28, 29. La soluzione di Fig. 3 è più specificatamente adatta a sorgenti con temperatura medio-bassa in cui la presenza di un rigeneratore, peraltro possibile, non sia rilevante ai fini delle prestazioni
20 del sistema.

Da notare, poi, che almeno nella turbina T1 di alta pressione i valori elevati di pressione presenti possono costituire un problema in quanto generano carichi assiali importanti sui dischi propri della turbina. Allora, per una più facile compensazione (mediante tamburi e
25 labirinti di tenuta secondo le tecniche note) delle spinte assiali che ne

derivano, appare utile disporre anche di un drenaggio, da tali labirinti di tenuta, del fluido di lavoro che si trova ad una pressione inferiore rispetto alla pressione minima che si riscontra nella stessa turbina.

Il problema può essere risolto tramite una linea di drenaggio 30 per drenare almeno parte del fluido di lavoro dai labirinti di tenuta della turbina T1 verso un qualsiasi punto a più bassa pressione del circuito di fluido di lavoro, per esempio alla linea 12' a valle della seconda turbina T2, come mostrato nella Fig. 2, oppure al rigeneratore 18 o al condensatore 17.

In alternativa, ai labirinti della turbina di alta pressione T1 può essere collegata una linea di drenaggio 31 che include, lungo il suo percorso, almeno uno scambiatore di calore 32 attraverso il quale il fluido drenato cede calore al fluido di lavoro che percorre la linea 22 con la pompa di bassa pressione 24 e/o uno scambiatore di calore 33 attraverso il quale il fluido drenato cede calore al fluido di lavoro che percorre la linea 23 con la pompa di bassa pressione 25. L'uscita, rispettivamente 32', 33', del o di ogni scambiatore di calore 32, 33 si collega poi ad un qualsiasi punto della linea di bassa pressione 12' del sistema a valle della turbina di bassa pressione T2, come mostrato nella Fig. 3.

O ancora, come rappresentato nell'esempio in Fig. 4, ai labirinti di tenuta della prima turbina di alta pressione può essere collegata una linea di drenaggio 34 e che si estende fino a connettersi al condensatore 17, o alla linea che alimenta tale condensatore, o alla linea che alimenta il rigeneratore 18, comunque a valle della turbina T1 di bassa pressione.

Anche in questo caso, lungo la linea di drenaggio 34 può essere predisposto uno scambiatore di calore 35 nel quale il flusso di fluido drenato scambia calore con una frazione del fluido proveniente dalla pompa di alimento 21, la portata alimentata essendo regolata da una
5 valvola 36 o in altro modo opportuno.

In aggiunta, sulla linea di drenaggio 34, può essere inserita una valvola 37, o altro opportuno mezzo di strozzamento, in grado di mantenere la pressione nello scambiatore di calore 35 ad un livello sufficiente per la condensazione del flusso di fluido di lavoro
10 proveniente dalla linea 34, in modo da recuperare il calore di condensazione e cederlo al flusso alimentato attraverso la linea 38, come rappresentato, dal rigeneratore 18.

In ogni caso, una linea drenaggio 30, 31 o 34, quando presente, permette anche, ove utile, di mantenere, sul lato del fluido di lavoro del
15 sistema di tenuta sull'albero della turbina T1 di alta pressione, una pressione inferiore alla pressione minima della turbina di alta pressione affinché tale tenuta sia soggetta ad una minore differenza di pressione fra il lato del fluido di lavoro e il lato esterno.

Brescia, 16 Dicembre 2009

“SISTEMA E METODO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
ELETTRICA A PARTIRE DA SORGENTI TERMICHE A
TEMPERATURA VARIABILE”

R I V E N D I C A Z I O N I

1. Sistema per una produzione di energia elettrica da cicli di potenza ORC (Organic Rankine Cycle) condotti a due livelli di pressione con l'impiego di un fluido di lavoro organico riscaldato da un fluido sorgente proveniente da una sorgente di calore a temperatura
- 5 variabile, caratterizzato da
- almeno una prima turbina (T1) alimentata con una prima portata di un fluido di lavoro organico ad una prima pressione d'ingresso e rotante ad una prima velocità,
 - una seconda turbina (T2) alimentata con una seconda portata di

10 un stesso fluido di lavoro organico ad una seconda pressione di ingresso e rotante ad una seconda velocità, dove:

 - la prima portata di fluido di lavoro organico alimentante la prima turbina può essere minore o uguale alla seconda portata di fluido di lavoro alimentante la seconda turbina;

15 -- la pressione di ingresso del fluido di lavoro organico alla prima turbina è maggiore della pressione di ingresso del fluido di lavoro alla seconda turbina;

 - la velocità di rotazione della prima turbina è maggiore della velocità di rotazione della seconda turbina;

20 -- alla prima turbina è connesso un generatore elettrico asincrono (G1);

-- alla seconda turbina è connesso un generatore elettrico
sincrono (G2);

e dove

-- ognuno di detti generatori è accoppiato direttamente all'albero
5 di uscita della rispettiva turbina (T1, T2) direttamente, senza
interposizione di riduttore.

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, comprendente almeno
due prime turbine a più alta pressione e velocità ciascuna connessa a un
rispettivo generatore asincrono, in serie o in parallelo relativamente al
10 flusso di fluido organico alimentato ad una prima pressione, ed una
seconda turbina a più bassa velocità connessa ad un generatore elettrico
sincrono.

3. Sistema secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato in ciò
che il generatore elettrico asincrono (G1) è a una coppia di poli e il
15 generatore elettrico sincrono è a due coppie di poli, e in ciò che il
generatore elettrico asincrono è ruotato dalla rispettiva prima turbina
(T1) ad una velocità circa doppia della velocità di rotazione del
generatore sincrono da parte della rispettiva seconda turbina.

4. Sistema secondo la rivendicazione 3, caratterizzato in ciò che il
20 generatore asincrono (G1) è ruotato ad una velocità di circa 3600
giri/min e il generatore sincrono (G2) ad una velocità di 1800 giri/min
per generare energia elettrica con una frequenza di 60 Hz.

5. Sistema secondo la rivendicazione 3, caratterizzato in ciò che il
generatore asincrono (G1) è ruotato ad una velocità di circa 3000

giri/min e il generatore sincrono (G2) ad una velocità di 1500 giri/min per generare energia elettrica con una frequenza di 50 Hz.

6. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato in ciò che la portata di fluido di lavoro alimentato ad una
5 prima pressione alla prima turbina (T1) è regolata da una valvola posta a monte di detta turbina.

7. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, dove la seconda turbina (T2) ha una linea di uscita (12') del fluido di lavoro includente almeno un condensatore (17), caratterizzato in ciò che
10 il flusso di fluido di lavoro a valle di detto condensatore (17) su detta linea di uscita (12') è diviso in due flussi (22, 23) alimentanti rispettivamente una pompa di bassa pressione (24) e una pompa di alta pressione (25) ed attraversanti rispettivi preriscaldatori (26, 27), e in ciò
15 che il flusso di fluido sorgente proveniente dalla sorgente termica (S) è diviso in due flussi in parallelo alimentanti detti preriscaldatori (26, 27) per riscaldare il fluido di lavoro diretto alla seconda turbina (T2).

8. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, dove almeno la prima turbina (T1) ha un proprio albero dotato di un dispositivo di tenuta e di contrasto dei carichi assiali esposto alla
20 presenza di fluido di lavoro caldo a bassa pressione, caratterizzato in ciò che detto dispositivo di tenuta è collegato ad una linea di drenaggio (30, 31, 34) per condurre il fluido di lavoro drenato verso una linea di flusso a valle dell'uscita della seconda turbina (T2), questa linea includendo un condensatore ed un eventuale rigeneratore per il fluido
25 di lavoro.

9. Sistema secondo le rivendicazioni 7 e 8, in cui la linea di drenaggio (31) include almeno uno scambiatore di calore (32) per una cessione di calore dal fluido drenato al fluido di lavoro percorrente almeno una delle linee di flusso (22, 23) di mandata del fluido di lavoro
5 alla seconda turbina (T2).

10. Sistema secondo le rivendicazioni 7 e 8, caratterizzato in ciò che la linea di drenaggio (31) include un primo scambiatore di calore (32) per una cessione del calore dal fluido drenato al fluido di lavoro percorrente almeno una prima linea di flusso (22, 23) di mandata del
10 fluido di lavoro alla seconda turbina (T2) ed un secondo scambiatore di calore (33) per un'ulteriore cessione di calore dal fluido drenato al fluido di lavoro che percorre una seconda linea di flusso (22, 23) di mandata del fluido di lavoro alla seconda turbina (T2).

11. Sistema secondo le rivendicazioni 7 e 8, caratterizzato in ciò
15 che la linea di drenaggio (34) include uno scambiatore di calore (35) per una cessione del calore dal flusso di fluido drenato ad una frazione del fluido di lavoro proveniente dal condensatore (17) sulla linea di uscita della seconda turbina (T2), la portata di tale frazione di fluido essendo regolata da una valvola (36) o simile.

20 12. Sistema secondo la rivendicazione 11, caratterizzato in ciò che in detta linea di drenaggio (34) può essere inserito un mezzo di strozzamento (37) in grado di mantenere la pressione in detto scambiatore di calore (35) ad un livello sufficiente per la condensazione del flusso di fluido che percorre tale linea di drenaggio.

13. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sorgente di calore a temperatura variabile comprende una sorgente geotermica, un effluente industriale liquido ad alta temperatura, gas di processo ad alta temperatura, gas combusto scaricato da motori endotermici e simili.

14. Metodo per produrre energia elettrica con un ciclo di potenza ORC (Organic Rankine Cycle) utilizzando un fluido di lavoro condotto in un relativo circuito e riscaldato da un fluido sorgente proveniente da una sorgente di calore (S) a temperatura variabile, comprendente i passi di:

- alimentare almeno una prima turbina (T1) con una prima portata di un fluido di lavoro organico ad una prima pressione d'ingresso e rotante ad una prima velocità,
- alimentare una seconda turbina (T2) con una seconda portata di uno stesso fluido di lavoro organico ad una seconda pressione di ingresso e rotante ad una seconda velocità, dove:
 - regolare la prima portata di fluido di lavoro organico alimentante la prima turbina ad un valore minore o uguale alla seconda portata di fluido di lavoro alimentante la seconda turbina;
 - regolare la pressione di ingresso del fluido di lavoro organico alla prima turbina ad un valore maggiore della pressione di ingresso del fluido di lavoro alla seconda turbina;
 - regolare la velocità di rotazione della prima turbina ad un valore maggiore della velocità di rotazione della seconda turbina;

-- associare alla prima turbina un generatore elettrico asincrono (G1);

-- associare alla seconda turbina è connesso un generatore elettrico sincrono (G2),

5 -- accoppiando ognuno di detti generatori all'albero di uscita della rispettiva turbina (T1, T2) direttamente, senza interposizione di riduttore.

15. Metodo secondo la rivendicazione 14, in cui per un funzionamento del sistema in isola il generatore elettrico sincrono è
10 avviato in anticipo rispetto al generatore elettrico asincrono e fornisce corrente elettrica al generatore asincrono fino a portarlo ad una velocità di sincronismo in dipendenza della frequenza richiesta.

Brescia, 16 Dicembre 2009

Enrico BARBIERI (No. 320)

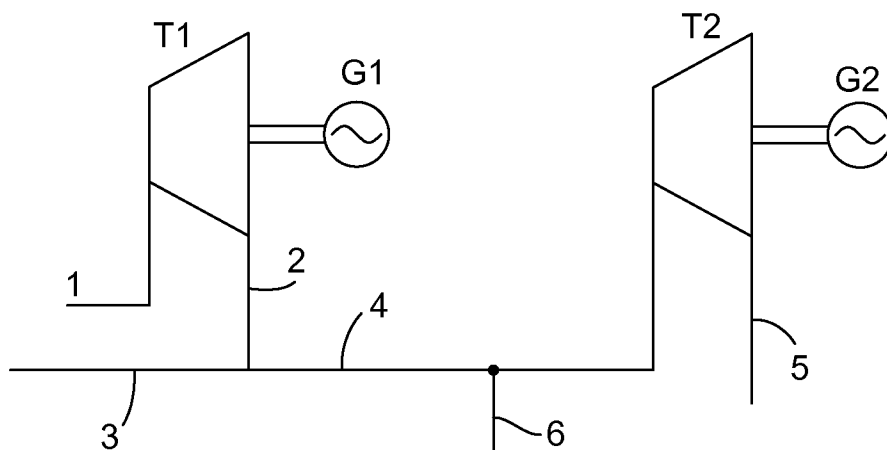


FIG. 1

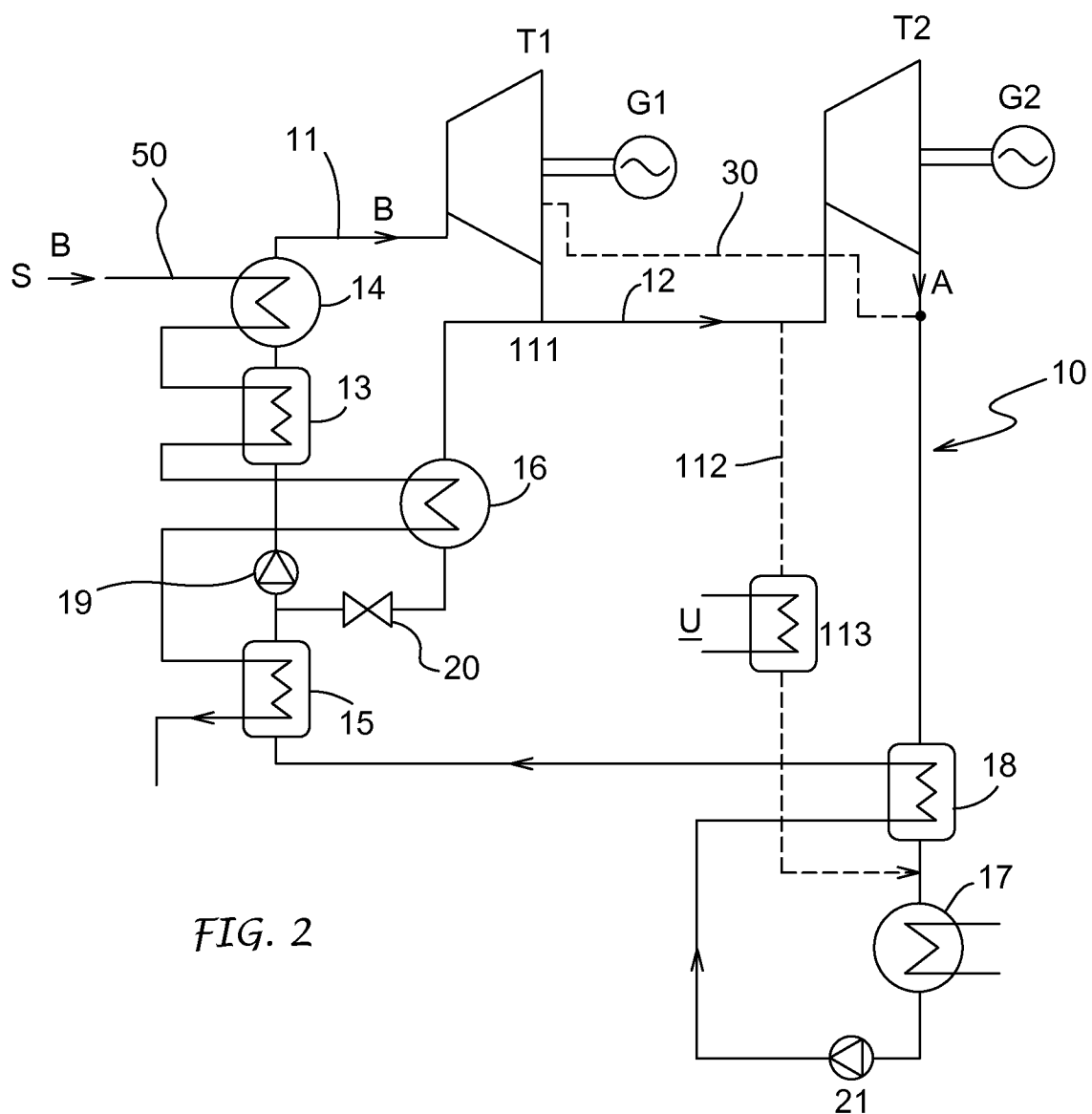


FIG. 2

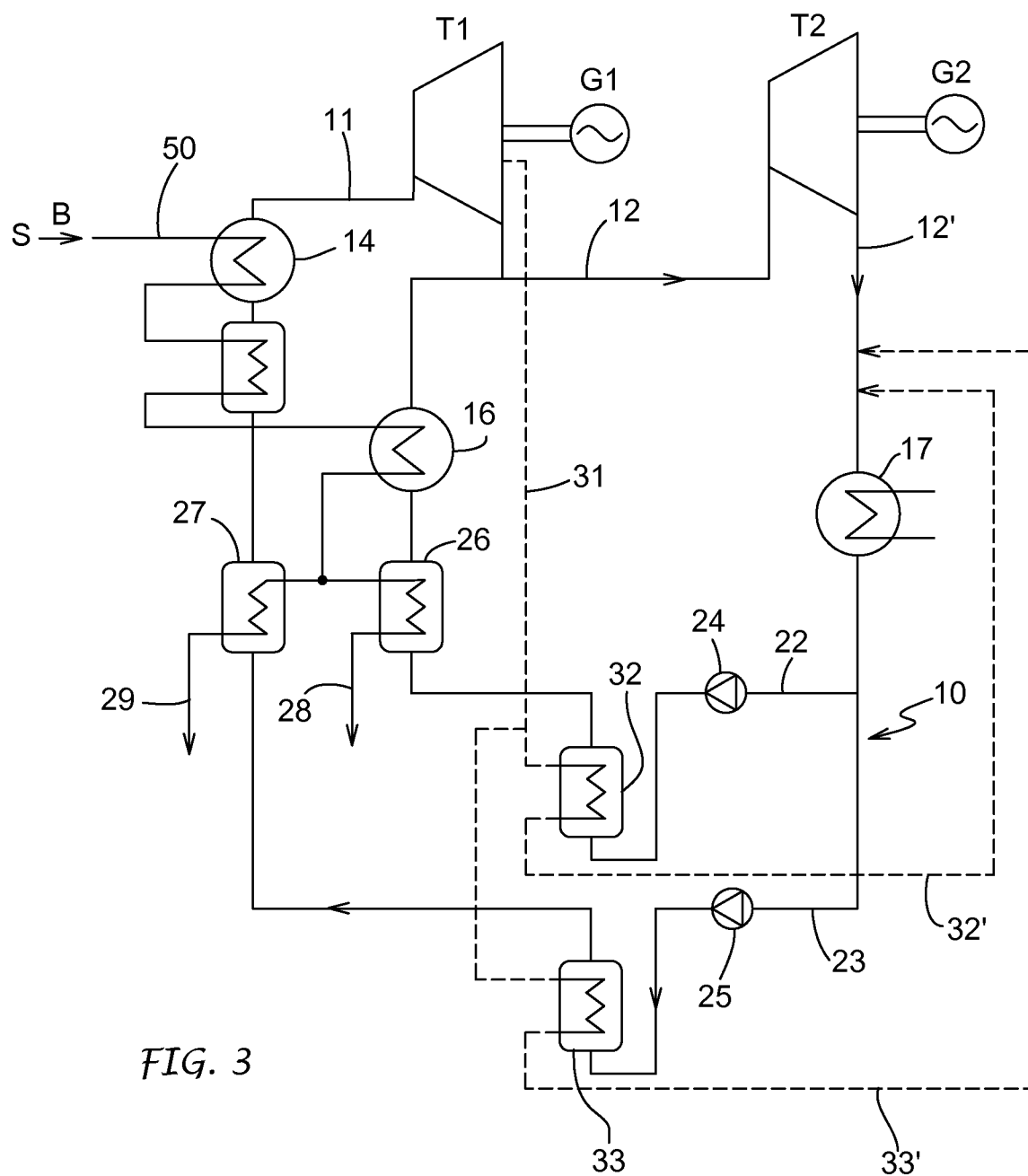


FIG. 3

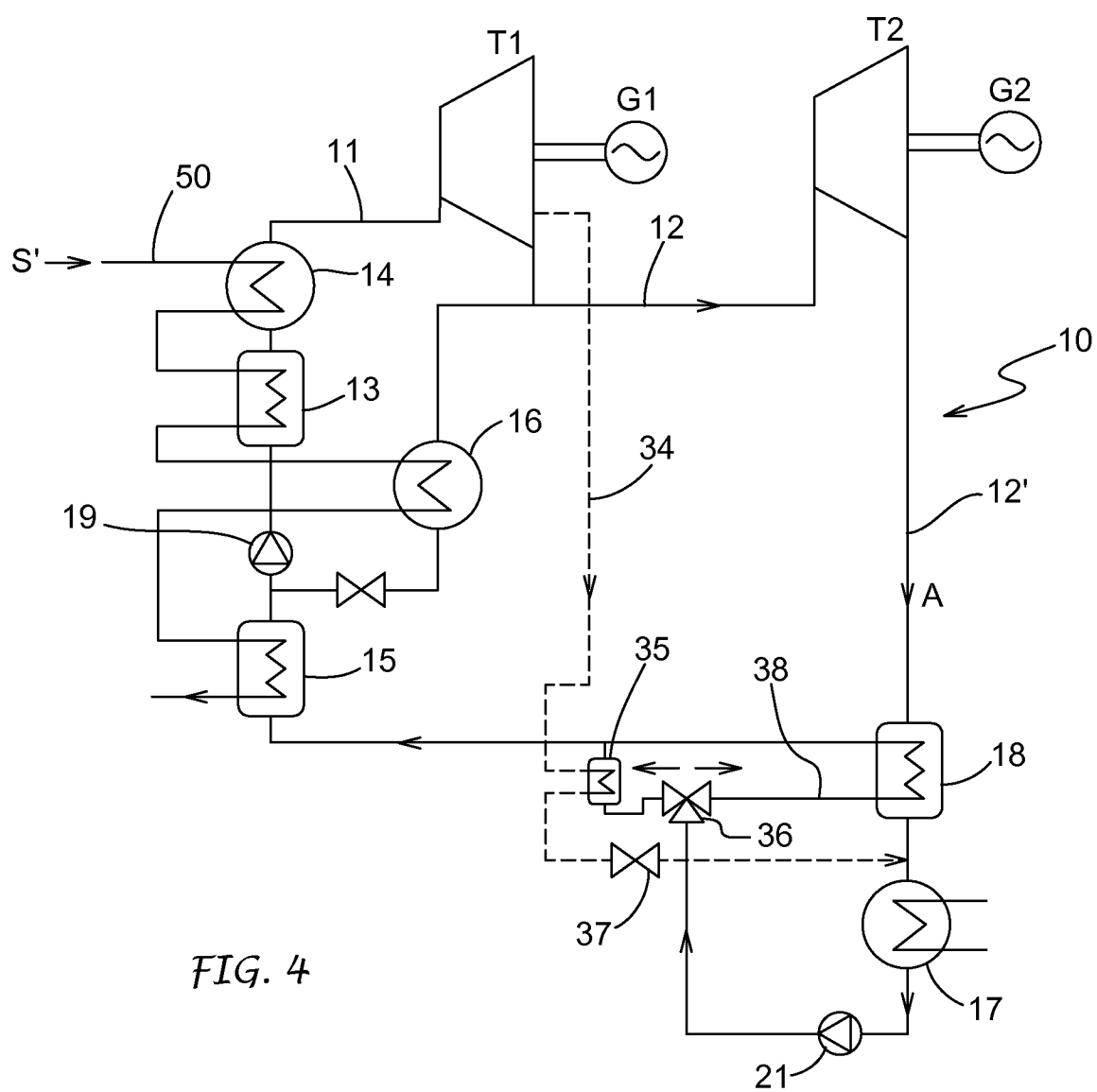


FIG. 4