

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901818255A1

Publication Date

20110911

Applicant

TECHNICAL PARTNERS S.A.S. DI NATALIA KOZLOVA & C.

Title

CENTRALE IBRIDA ELIOTERMONUCLEARE

DESCRIZIONE

dell'invenzione industriale avente per titolo:

“Centrale ibrida eliotermonucleare”

A nome di Technical Partners s.a.s. di Natalia Kozlova & C., con sede in Avenza (MS), Via Fiaschi, 67,

depositata il 11/03/20 numero 4

UFFICIALE ROGANTE
Opfer

La presente invenzione concerne la generazione di energia elettrica mediante l'impiego combinato di energia nucleare ed energia solare concentrata.

Stato dell'arte

Le grandi centrali solari sfruttano la radiazione solare concentrandola mediante specchi per produrre vapore e da qui energia elettrica e possono essere del tipo a torre con ricevitore centrale e campo di eliostati oppure a specchi parabolici indipendenti ognuno col proprio ricevitore o, infine, a specchi lineari con ricevitore tubolare. Nel caso in cui ci siano più ricevitori il fluido termovettore (olio diatermico, sale fuso,) viene raccolto, dopo essersi riscaldato, in un unico collettore. Da qui, o dal ricevitore centrale nel caso di centrale a torre, il fluido, a meno che non si tratti già di vapore, viene inviato ad uno scambiatore nel quale un secondo fluido viene fatto evaporare e viene surriscaldato. Il vapore va poi ad espandere in una turbina a vapore per generare lavoro meccanico che viene poi convertito in energia elettrica mediante un alternatore. Il vapore scaricato dalla turbina è, in genere, inviato ad un condensatore a miscelazione alimentato da una torre evaporativa a secco. Questo schema comporta rendimenti bassi e fortemente influenzati dalla variabilità della radiazione solare. Solitamente la strada percorsa per eliminare l'influenza di tale variabilità è quella di inserire nella centrale un accumulo di calore, cioè dimensionare la centrale in modo tale che, nelle condi-



Natalia Kozlova

zioni di massima insolazione, ci sia un surplus di calore disponibile rispetto al fabbisogno, surplus che viene accumulato per essere riutilizzato in caso di deficit.

Tuttavia l'accumulo di calore è un intervento non sempre efficace sia per la difficoltà di accumulare calore a temperatura adeguata, sia perché in certe configurazioni le eventuali perdite non si traducono soltanto in una perdita quantitativa, ma anche qualitativa, cioè si abbassa la temperatura e quindi si riduce l'efficacia del calore accumulato. Per eliminare questi inconvenienti occorre realizzare sistemi di accumulo dotati di una capacità termica molto elevata, con conseguente aumento della complessità e dei costi.

Rispetto agli impianti precedenti, basati su accumulo diretto di vapore o accumulo di calore mediante sali fusi con olio diatermico come fluido termovettore, gli ultimi progetti prevedono l'impiego di sali fusi direttamente come fluido intermedio, oltre che come mezzo di accumulo del calore, in quanto consente temperature di esercizio più elevate e, quindi, maggior efficienza di conversione.

La tecnologia dei sali fusi, come detto, consente di aumentare la temperatura di funzionamento del sistema e, parimenti, quella del calore accumulato. Tuttavia c'è il problema del mantenimento dello stato liquido all'interno del collettore durante le ore di assenza di insolazione, problema che impone la continua circolazione del sale fuso, a scapito del calore accumulato oppure mediante riscaldamento con relativo consumo di energia elettrica o di combustibile. Le centrali solari a sali fusi attualmente in fase di studio e di realizzazione richiedono che il fluido termovettore operi, approssimativamente, a temperature comprese tra 295 °C e 550 °C ed occorre garantire che il livello minimo sia garantito anche durante la notte.

Ovviamente l'intervallo di temperatura varia al variare del sale prescelto: in generale, più è elevato il livello di temperatura raggiungibile e più è elevata la temperatura di solidificazione e quindi da un lato migliora il rendimento del ciclo termodinamico, mentre dall'altro aumenta

L'UFFICIALE ROGANTE
Opte



il consumo di energia per la conservazione dei sali allo stato fuso durante i periodi di insolazione nulla o scarsa.

In ogni caso è necessario prevedere un sistema di riscaldamento di emergenza che garantisca la non solidificazione del sale, evento che causerebbe il blocco del sistema senza possibilità di recupero.

Sul fronte dell'energia nucleare, oltre all'elevato costo iniziale ed ai noti problemi relativi alle scorie, si riscontra un rendimento piuttosto basso che potrebbe causare un forte aumento del costo dell'energia prodotta al ridursi delle risorse fissili disponibili. Inoltre un rendimento più elevato comporterebbe un ulteriore effetto benefico sul fronte della riduzione delle scorie prodotte.

Il tipo di reattore attualmente più diffuso è il PWR (dall'inglese Pressurised Water Reactor) nelle sue diverse varianti. E' un reattore che viene raffreddato con acqua ad elevata pressione (circa 15 MPa) e che, pertanto, data la limitazione nella temperatura di raffreddamento del reattore (circa 330 °C), non giunge ad evaporazione. L'acqua di refrigerazione opera, quindi, in circuito chiuso e scambia calore in una caldaia in cui si produce il vapore surriscaldato da inviare in turbina. Una particolare tipologia di PWR è il cosiddetto CANDU (CANadian Deuterium Uranium), che è raffreddato ad acqua pesante.

La principale alternativa è il BWR (dall'inglese Boiling Water Reactor), un reattore che viene raffreddato a circa 300 °C con acqua a pressione minore (circa 5,5 MPa) in modo tale da ottenere l'evaporazione ed il surriscaldamento direttamente all'interno del reattore.

In definitiva, a causa della modesta temperatura di surriscaldamento, si ottengono cicli termodinamici che raggiungono un rendimento intorno al 30%, decisamente inferiore perfino al rendimento medio (39%) dell'attuale parco termoelettrico nazionale.

Ci sono poi diverse tipologie allo studio tra le quali spiccano quelle che puntano ad un innal-

L'UFFICIALE ROGANTE



zamento della temperatura del ciclo mediante l'impiego di fluidi refrigeranti diversi dall'acqua ed, in particolare, sali fusi (MSR, dall'inglese Molten Salt Reactor) e metalli fusi (MMR, dall'inglese Molten Metal Reactor).

Descrizione dell'invenzione

Il sistema proposto è basato sulla constatazione che il livello di temperatura di refrigerazione dei reattori nucleari esistenti è inferiore al livello di temperatura raggiunto nei sistemi eliotermo-elettrici più avanzati. Pertanto è pensabile un accoppiamento tra sistemi nucleari e sistemi solari a concentrazione con beneficio per entrambi in quanto il sistema solare è assistito da una fonte di energia termica costante e capace quindi di stabilizzarne il funzionamento, mentre il sistema nucleare è assistito da una fonte che gli consente di raggiungere livelli di temperatura più elevati e, di conseguenza, rendimenti superiori.

Nella Tavola 1 è rappresentato uno schema semplificato di una centrale ibrida eliotermo-nucleare basata su un PWR. Sia in questa schematizzazione che in quelle successive, per semplicità ci si è riferiti ad un sistema in cui il fluido intermedio sia un sale fuso che viene utilizzato anche come mezzo di accumulo del calore. Il concetto rimane valido anche nel caso in cui il fluido intermedio ed il mezzo di accumulo siano differenti tra loro ed anche nel caso in cui nessuno dei due sia un sale fuso. Ovviamente, in tali casi, il sistema aumenta di complessità.

Il sistema è costituito da un ricevitore solare (1), che può essere a torre o a ricevitori lineari, percorso da un sale fuso che viene accumulato in un serbatoio caldo (2). La pompa di circolazione (4) trasferisce il sale fuso dal serbatoio caldo (2) al serbatoio freddo (5) facendolo passare attraverso la caldaia principale (3) dell'impianto a vapore. Il circuito del sale fuso è chiuso dalla pompa di circolazione (6) che preleva il fluido dal serbatoio freddo (5) e lo invia al ricevitore solare (1). Il vapore surriscaldato prodotto nella caldaia principale (3)



giunge ad una turbina di alta pressione (7) e poi ad una turbina di media pressione (8). Nello schema è riportata una generica linea di rigenerazione (12), rappresentata per semplicità con un unico spillamento estratto all'uscita della turbina di media pressione (8). La portata residua giunge poi ad una turbina di bassa pressione (9) e da qui ad un condensatore (10). Una pompa di estrazione del condensato (11) alimenta la generica linea di rigenerazione (12). Una coppia di pompe di alimentazione, una a media pressione (13) ed una ad alta pressione (14) portano l'acqua preriscaldata al reattore (15) che precede la caldaia principale (3). Completano il sistema una caldaia secondaria (16), una pompa di ricircolo (17) e cinque valvole (18), (19), (20), (21) e (22) che permettono di modificare la configurazione in base alla disponibilità di energia termica.

L'UFFICIALE ROGANTE
[Signature]



In condizioni di forte insolazione, la radiazione solare può eccedere quella necessaria al preriscaldamento dell'acqua, alla produzione del vapore ed al suo surriscaldamento ed in tal caso, per evitare che la temperatura del sale fuso ecceda il valore di progetto, si rende necessario aumentarne la portata al ricevitore solare (1) prelevando la portata aggiuntiva dal serbatoio freddo (5). Poiché, in tali condizioni, la portata di sale fuso che fluisce attraverso la caldaia principale (3) è costante, l'eccesso di sale fuso caldo viene accumulato nel serbatoio caldo (2). Il vapore surriscaldato prodotto nella caldaia principale (3) viene inviato direttamente alla turbina di alta pressione (7).

In presenza di perturbazioni la temperatura del sale fuso uscente dal ricevitore solare (1) si riduce ed in tal caso la portata proveniente dal serbatoio freddo (5) viene parzializzata, mentre la portata attraverso la caldaia principale (3) resta costante. In questo caso si ha quindi una riduzione della quantità di sale fuso all'interno del serbatoio caldo (2) compensata da un equivalente incremento della quantità di sale fuso all'interno del serbatoio freddo (5). Anche in questo caso il vapore surriscaldato prodotto nella caldaia principale (3) viene inviato

Natalia Kozlova

direttamente alla turbina di alta pressione (7). In tale configurazione risultano aperte le valvole (18) e (21), mentre risultano chiuse le valvole (19), (20) e (22).

Quando la radiazione solare è bassa e l'accumulo termico insufficiente a completare il surriscaldamento si passa ad un regime operativo ridotto. In tale regime la potenza prodotta è inferiore a quella nominale, ma può variare a seconda della strategia di esercizio adottata. Si può operare in modo da mantenere la potenza al massimo livello consentito dall'accumulo termico. Oppure si può ridurre ulteriormente la potenza fermando la pompa di circolazione (4) in modo da separare la sezione solare da quella nucleare, per effettuare una più rapida entrata a regime la mattina successiva: in questo caso le valvole (18), (20) e (21) sono chiuse, mentre le valvole (19) e (22) sono aperte e la centrale opera, quindi, come una tradizionale centrale PWR con due circuiti separati, uno per l'acqua di raffreddamento ed uno per il vapore: la pompa di alimentazione ad alta pressione (14) e la caldaia principale (3) vengono bypassate e la turbina di alta pressione (7) viene fermata, mentre entrano in azione la caldaia secondaria (16) e la pompa di ricircolo (17). Il sale fuso, al fine di evitarne la solidificazione, viene ricircolato dall'uscita del ricevitore solare (1) al serbatoio freddo (5) mediante un circuito ausiliario non rappresentato nello schema. Infine, in caso di emergenza, qualora in assenza di radiazione solare la temperatura del sale fuso nel serbatoio freddo (5) si avvicini troppo alla temperatura di solidificazione, si può ridurre la potenza al minimo ricircolando, ancora mediante un circuito ausiliario non rappresentato nello schema, il sale fuso dall'uscita del ricevitore solare (1) alla caldaia principale (3) che, in questo caso, riscalda il sale fuso a spese del vapore inviato alla caldaia secondaria (16) tramite la valvola (20) che viene aperta, mentre la valvola (19) viene chiusa.

Tra le tante varianti possibili senza modificare il concetto che sta alla base di questo brevetto, risulta molto interessante quella illustrata nella Tavola 2. Il sistema ha componenti analoghi a

L'UFFICIALE ROGANTE



quelli dello precedentemente descritto, ma il reattore (15) è un BWR che può operare fino ad una pressione tale che la temperatura di refrigerazione del reattore corrisponda alla temperatura di saturazione e, pertanto, non sono presenti la caldaia secondaria e la pompa di ricircolo, mentre le valvole (16), (17), (18), (19) e (20), che permettono di modificare la configurazione in base alla disponibilità di energia termica, hanno ovviamente una disposizione parzialmente diversa.

Qualora l'insolazione sia tale che, eventualmente con l'apporto dell'accumulo termico, sia possibile realizzare il surriscaldamento, la centrale opera alla pressione massima ed all'uscita del reattore (15) si ha vapore saturo anziché vapore surriscaldato come si avrebbe nel caso di BWR tradizionale. L'impianto a vapore opera in condizioni di progetto ed il funzionamento è simile al caso descritto in precedenza con le valvole (16) e (18) aperte e le valvole (17), (19) e (20) chiuse.

Quando, invece, la radiazione solare è bassa e l'accumulo termico insufficiente a completare il surriscaldamento, si passa ad un regime operativo ridotto, caratterizzato da una pressione inferiore, nel quale la centrale opera come una tradizionale centrale BWR. Vengono, quindi, bypassate la pompa di alimentazione ad alta pressione (14), aprendo la valvola (19) e chiudendo la valvola (18), e la caldaia principale (3), aprendo la valvola (20) e chiudendo la valvola (16), e viene fermata la turbina di alta pressione (7). Infine, in caso di emergenza, qualora in assenza di radiazione solare la temperatura del sale fuso si avvicini troppo alla temperatura di solidificazione, si può ridurre la potenza al minimo aprendo la valvola (17) e richiudendo la valvola (20) allo scopo di fornire, nella caldaia (3), calore ai sali fusi impedendone la solidificazione.

Nella Tavola 3 è riportato uno schema in cui il reattore nucleare non è refrigerato con acqua e quindi si hanno tre differenti circuiti. Le combinazioni potrebbero essere numerose: a titolo di

UNITA' ELEGANTE
Aut



esempio si sono considerati un impianto solare a sali fusi ed un reattore nucleare refrigerato con metallo fuso a temperatura inferiore a quella consentita per il sale fuso utilizzato nel ricevitore solare. In tal caso si hanno il circuito del metallo fuso si interfaccia con il circuito del vapore a monte del circuito del sale fuso. Lo schema è analogo al precedente con lo spostamento del reattore (15) nel circuito del metallo fuso e l'introduzione in tale circuito di una caldaia principale (21) e di una pompa di circolazione (22).

L'UFFICIALE ROGANTE

[Handwritten signature]

Qualora l'insolazione sia tale che, eventualmente con l'apporto dell'accumulo termico, sia possibile realizzare il surriscaldamento, il vapore è prodotto a pressione elevata e la centrale opera in condizioni di progetto con le valvole (16) e (18) aperte e le valvole (17), (19) e (20) chiuse.



Quando, invece, la radiazione solare è bassa e l'accumulo termico insufficiente a completare il surriscaldamento, si chiudono le valvole (16) e (18) e si aprono le valvole (19) e (20), passando ad un regime operativo ridotto, caratterizzato da una pressione del vapore inferiore: anche in questo caso vengono, quindi, bypassate la pompa di alimentazione ad alta pressione (14) e la caldaia secondaria (3) e viene fermata la turbina di alta pressione (7). Infine, in caso di emergenza, qualora in assenza di radiazione solare la temperatura del sale fuso si avvicini troppo alla temperatura di solidificazione, si può ridurre la potenza al minimo chiudendo la valvola (20) ed aprendo la valvola (17) allo scopo di fornire calore, nella caldaia (3), ai sali fusi impedendone la solidificazione.

I componenti dei sistemi sono quelli già impiegati, o eventualmente in fase di studio, nelle centrali nucleari e nelle centrali eliotermoelettriche. L'innovazione consiste appunto nell'accoppiamento tra queste due tipologie di centrali.

Le modalità di accoppiamento sono assai numerose dato che l'impianto solare può utilizzare o meno un fluido intermedio (e ce ne sono di diversi tipi), può utilizzare o meno un accumulo

termico che, a sua volta, può essere realizzato impiegando il fluido intermedio o un mezzo differente, mentre il reattore nucleare può essere di un qualunque tipo tra quelli esistenti, per non parlare poi delle varianti applicabili all'impianto a vapore.

Gli schemi rappresentati e descritti sono, pertanto, solo degli esempi ai quali, senza peraltro uscire dall'ambito della presente invenzione, possono essere apportate diverse ovvie variazioni che qui è inutile ed impossibile elencare in modo esaustivo.

Vantaggi della presente innovazione rispetto alle tecniche attuali

L'innovazione in oggetto presenta i seguenti vantaggi rispetto alle tecnologie nucleari esistenti:

- incremento del rendimento di conversione del combustibile nucleare;
- riduzione delle scorie prodotte.

L'innovazione in oggetto presenta i seguenti vantaggi rispetto alle tecnologie solari esistenti (e in modo particolare rispetto alla tecnologia a sali fusi):

- incremento del rendimento di conversione della radiazione solare;
- riduzione delle dimensioni dell'accumulo con conseguente riduzione del costo capitale;
- eliminazione di un sistema di emergenza specificamente progettato e costruito per evitare il rischio di solidificazione del sale fuso;
- esercizio dell'impianto sempre in condizioni nominali durante le ore diurne;
- maggior flessibilità nella strategia di gestione durante le ore notturne.

L'UFFICIALE ROSANTE
[Signature]



Natalia Kozlova

Natalia Kozlova

RIVENDICAZIONI

dell'invenzione industriale avente per titolo:

“Centrale ibrida eliotermonucleare”

A nome di Technical Partners s.a.s. di Natalia Kozlova & C., con sede in Avenza (MS), Via Fiaschi, 67,

depositata il 11/03/2010 numero 4

UFFICIALE BOSSANTI
Op. 18



- 1) Sistema di conversione di energia caratterizzato dall'impiego di un reattore nucleare di tipo PWR (Pressurised Water Reactor), ad acqua o ad acqua pesante, in combinazione con un impianto solare a concentrazione che consenta l'evaporazione dell'acqua uscente dal reattore ed il surriscaldamento del vapore prodotto senza dover ricorrere ad un circuito secondario per la produzione ed il surriscaldamento del vapore.
- 2) Sistema di conversione di energia caratterizzato dall'impiego di un reattore nucleare di tipo BWR (Boiling Water Reactor), pressurizzato in maniera tale che il vapore uscente dal reattore sia allo stato di vapore saturo secco piuttosto che surriscaldato, in combinazione con un impianto solare a concentrazione che consenta il surriscaldamento del vapore prodotto ad una temperatura più elevata di quella consentita dal reattore.
- 3) Sistema come alle rivendicazioni precedenti in cui l'impianto solare possa essere temporaneamente isolato ed, in tale configurazione, il vapore per la sezione di potenza sia generato e surriscaldato in una caldaia secondaria similmente a quanto avviene in una centrale di tipo PWR tradizionale.
- 4) Sistema di conversione di energia caratterizzato dall'impiego di un reattore nucleare di tipo BWR tradizionale in combinazione con un impianto solare a concentrazione che

Natalia Kozlova

consenta il surriscaldamento del vapore prodotto ad una temperatura più elevata di quella consentita dal reattore.

- 5) Sistema come alla rivendicazione precedente in cui l'impianto solare possa essere temporaneamente isolato ed, in tale configurazione, la centrale nucleare operi in configurazione BWR tradizionale.
- 6) Sistema di conversione di energia caratterizzato dall'impiego di un reattore nucleare di tipo MSR (Molten Salt Reactor) o di tipo MMR (Molten Metal Reactor) in combinazione con un impianto solare a concentrazione che impiega un fluido intermedio differente rispetto a quello utilizzato per la refrigerazione del reattore nucleare e che, di conseguenza, risulta caratterizzato da due circuiti distinti che scambiano calore in due distinte caldaie poste in serie lungo il circuito acqua/vapore dell'impianto di potenza.
- 7) Sistema come alla rivendicazione precedente in cui l'impianto solare possa essere temporaneamente isolato ed, in tale configurazione, la centrale nucleare operi in configurazione MSR o MMR tradizionale.
- 8) Sistema come alla rivendicazione precedente in cui l'impianto solare operi con un fluido intermedio avente una temperatura di solidificazione superiore alla temperatura ambiente ed il vapore generato o il fluido refrigerante uscente dal reattore possano provvedere, in caso di necessità, a riscaldare tale fluido intermedio per evitarne la solidificazione.
- 9) Sistema di conversione di energia caratterizzato dall'impiego di un reattore nucleare di tipo MSR o di tipo MMR in combinazione con un impianto solare a concentrazione che impieghi lo stesso fluido intermedio utilizzato per la refrigerazione del reattore nucleare in modo tale che si realizzi un unico circuito che vede in serie il reattore

L'UFFICIALE ROGANTE



nucleare ed il campo solare con un unico scambiatore di calore col circuito acqua/vapore.

- 10) Sistema come alle rivendicazioni precedenti in cui l'impianto solare abbia lo scopo di fornire calore per uno o più risurriscaldamenti del vapore tra un'espansione e la successiva.



L'UFFICIALE ROGANTE
[Signature]



Natalia Kozłowa

Natalia Kozłowa

CLAIMS

of the industrial patent entitled:

“Hybrid Solar Thermal and Nuclear Power-plant”

required by Technical Partners s.a.s. di Natalia Kozlova & C., Avenza (MS), Via Fiaschi, 67,

registered on 11/03/2016 number 4

- 1) A conversion system consisting of a Pressurised Water Reactor (PWR), cooled with water or heavy water, combined with a solar concentration plant which allows to evaporate directly the water coming from the nuclear reactor and to superheat directly the steam obtained without the necessity of a secondary circuit to evaporate water and superheat steam.
- 2) A conversion system consisting of a Boiling Water Reactor (BWR), pressurised in such a way to produce dry steam, combined with a solar concentration plant which allows to superheat the steam obtained up to a temperature higher than that allowed by the reactor.
- 3) The systems of the previous claims in which the solar concentration plant can be temporarily disconnected from the rest of the plant and, when disconnected, the steam for the powerplant is produced and superheated in a secondary steam boiler like in a traditional PWR nuclear powerplant.
- 4) A conversion system consisting of a traditional BWR combined with a solar concentration plant which allows to superheat the steam obtained up to a temperature higher than that allowed by the reactor.
- 5) The system of the previous claim in which the solar concentration plant can be temporarily disconnected from the rest of the plant and, when disconnected, the rest of

UFFICIO ROSANTE
Op. 106

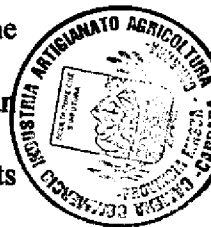


Natalia Kozlova

the plant works like a traditional BWR nuclear powerplant.

- 6) A conversion system consisting of a Molten Salt Reactor (MSR) or a Molten Metal Reactor (MMR) combined with a solar concentration plant working with an intermediate fluid different from the one used for the nuclear reactor cooling, so that the system has two different circuits with two different heat exchangers in series along the water/steam circuit of the powerplant.
- 7) The system of the previous claim in which the solar concentration plant can be temporarily disconnected from the rest of the plant and, when disconnected, the rest of the plant works like a traditional MSR or MMR powerplant.
- 8) The systems of the previous claims in which the solar concentration plant works with an intermediate working fluid having a solidification temperature higher than the ambient temperature and the steam produced or the cooling fluid from the reactor can supply heat to such an intermediate working fluid when necessary in order to avoid its solidification.
- 9) A conversion system consisting of a MSR or a MMR combined with a solar concentration plant working with the same intermediate fluid used for the nuclear reactor cooling, in such a way that the system has a unique circuit with the nuclear reactor and the solar receiver in series and a unique heat exchanger along the water/steam circuit of the powerplant.
- 10) The systems of the previous claims in which the solar concentration plant has the goal to supply heat to one or more reheaters between an expansion and the subsequent one.

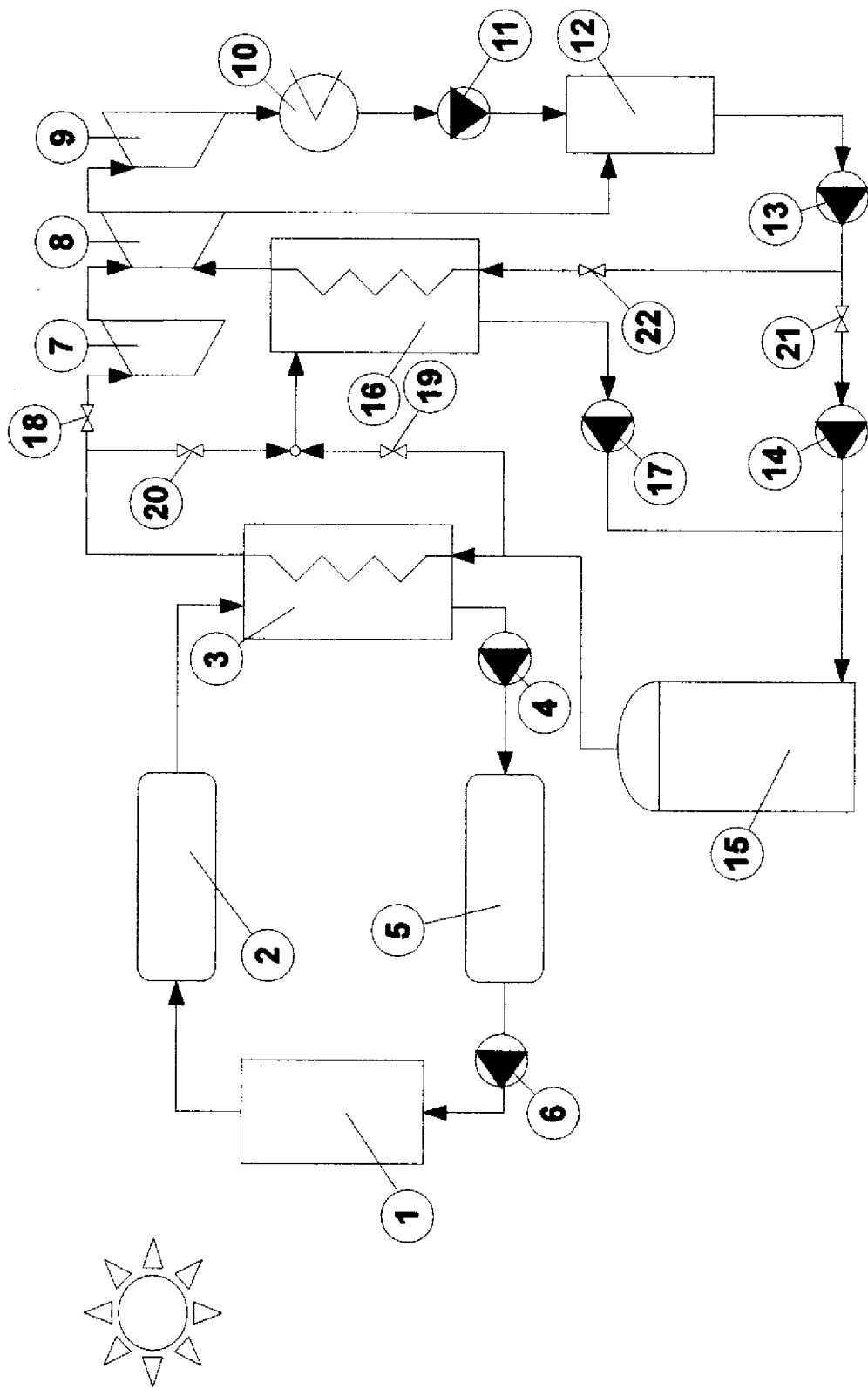
L'UFFICIALE ROGANTE
[Signature]



Natalia Kozlova

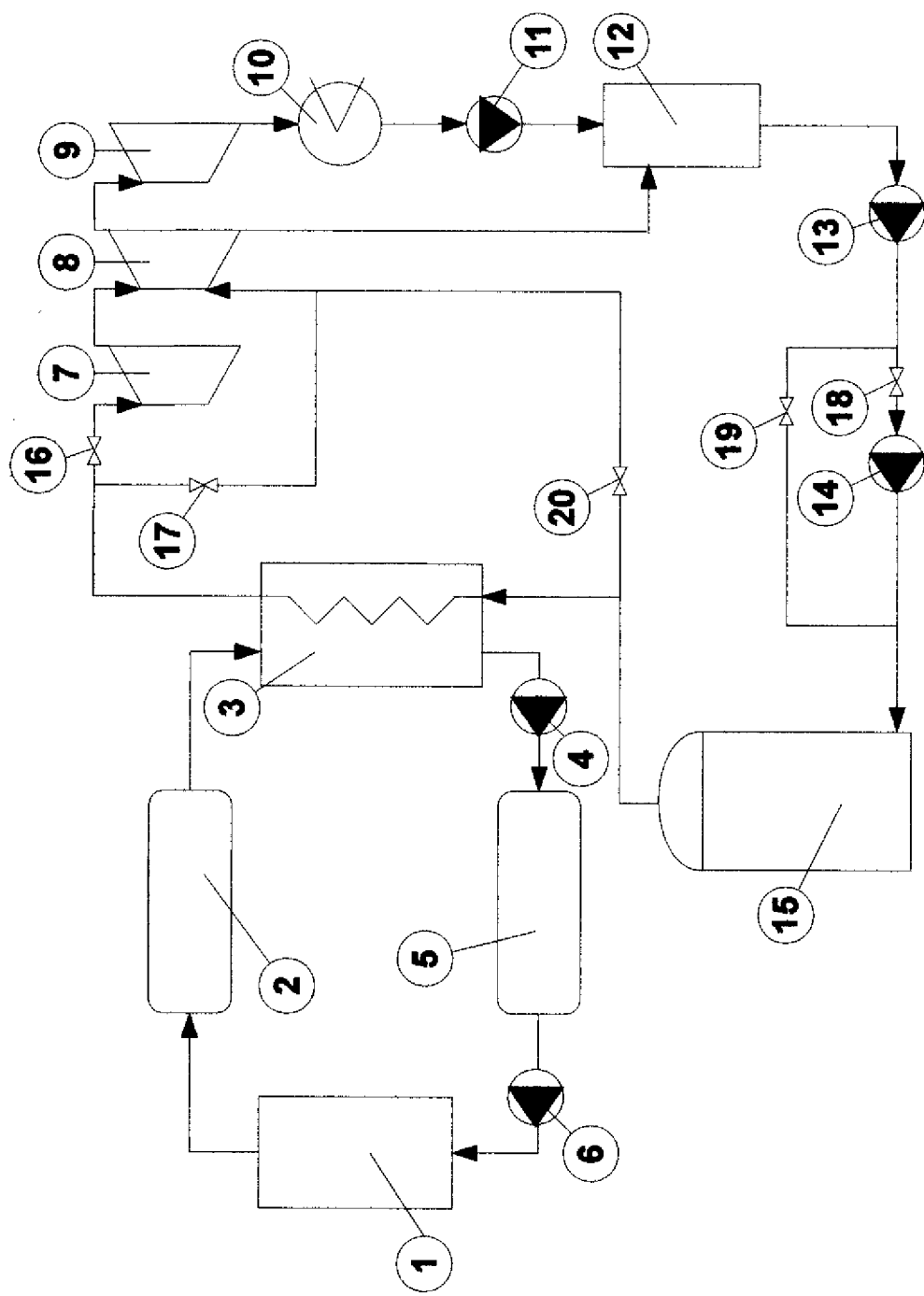
Natalia Kozlova

Tavola 1



Firma Natalia Kozlova

Tavola 2



Firma Natalia Kozłowa

Tavola 3

