# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901881237A1

Publication Date

20120415

Applicant

MAGALDI INDUSTRIE S.R.L.

Title

DISPOSITIVO, IMPIANTO E METODO AD ALTO LIVELLO DI EFFICIENZA ENERGETICA PER L'ACCUMULO E L'IMPIEGO DI ENERGIA TERMICA DI ORIGINE SOLARE.

Front page automatically generated by WIPO

# DISPOSITIVO, IMPIANTO E METODO AD ALTO LIVELLO DI EFFICIENZA ENERGETICA PER L'ACCUMULO E L'IMPIEGO DI ENERGIA TERMICA DI ORIGINE SOLARE

## DESCRIZIONE

### Settore dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un impianto di generazione industriale basato sull'impiego e sull'accumulo di energia solare, ad un dispositivo di accumulo e cessione di energia termica di origine solare idoneo all'impiego in tale impianto e ad un relativo metodo.

### Background dell'invenzione

È tecnica nota l'impiego di energia solare concentrata mediante eliostati, fissi o ad inseguimento. È altresì nota la possibilità di accumulare il calore non impiegato in materiali solidi ad elevata conducibilità termica (tipicamente grafite) per un successivo impiego. Per lo sfruttamento del calore si impiega normalmente uno scambiatore di calore che può anche essere immerso nel materiale di accumulo e attraversato da un fluido operativo - tipicamente acqua, vapore o altri vettori - in grado di assorbire e trasportare l'energia termica in esso contenuta.

Potendo i sistemi di accumulo, come per la grafite, raggiungere elevate temperature (anche 2000 °C), il limite della tecnologia è dettato dalla resistenza termica dei fasci tubieri in metallo preposti alla sottrazione del calore.

Inoltre, l'accumulo nei solidi non consente - per l'inerzia termica degli stessi e per i bassi valori di diffusività termica - di seguire l'andamento della potenza richiesta al cambiare delle condizioni atmosferiche e dei cicli giorno-notte.

In base a quanto appena esposto, quindi, una difficoltà dei sistemi noti è legata alla scarsa efficienza dovuta alle limitate temperature massime raggiungibili ed alla loro scarsa versatilità di seguire l'andamento del carico al variare delle condizioni atmosferiche.

### Sintesi dell'invenzione

Il problema tecnico alla base della presente invenzione è pertanto quello di ovviare agli inconvenienti sopra menzionati con riferimento alla tecnica nota.

Il suddetto problema viene risolto da un dispositivo secondo la rivendicazione 1 e da un metodo secondo la rivendicazione 17.

Caratteristiche preferite dell'invenzione sono oggetto delle rivendicazioni dipendenti.

Un importante vantaggio dell'invenzione consiste nel fatto che essa consente di realizzare in modo efficiente ed affidabile un accumulo di energia termica di origine solare, minimizzando gli stress termici degli scambiatori ed aumentando l'efficienza di scambio termico al fluido operativo, grazie all'impiego di un letto granulare fluidizzabile che può svolgere la doppia funzione di sistema di scambio e di sistema di accumulo del calore raccolto. Alla base di tale impiego vi sono le favorevoli caratteristiche di scambio termico dei letti fluidizzati e l'efficace trasporto del calore a seguito della mobilità della fase granulare. Entrambe queste caratteristiche sono collegate alla possibilità di conferire ad un solido granulare comportamento reologico assimilabile a quello di un liquido, grazie appunto alla sua fluidizzazione.

Sinergicamente con quanto appena esposto, la separazione della fase di accumulo di calore ricevuto dalla radiazione solare concentrata da quella di cessione di tale calore e conseguente eventuale produzione di energia - ossia in genere di trasferimento del calore al fluido operativo - consente di migliorare drasticamente la versatilità e l'efficienza complessiva di impianto.

In una realizzazione preferita, tale separazione è resa possibile separando il circuito del gas di fluidizzazione da quello del fluido operativo.

In una realizzazione particolarmente preferita, il dispositivo consta di due letti fluidizzabili, uno essenzialmente preposto all'accumulo ed un secondo, che riceve calore dal primo, essenzialmente preposto allo scambio con il fluido operativo. Sempre in base a tale realizzazione, la fluidizzazione dei letti viene eseguita impiegando quale gas di fluidizzazione aria prelevata dall'ambiente.

Per ottenere il massimo recupero energetico, l'aria calda in uscita dai letti fluidizzati viene inviata ad uno scambiatore aria-aria dove cede il suo calore all'aria di fluidizzazione fredda prelevata dall'ambiente.

Durante la fase di accumulo il primo letto riceve calore da un campo di eliostati attraverso un ricevitore ed è tenuto in condizioni di fluidizzazione da aria che viene riscaldata all'interno dello scambiatore aria-aria di cui sopra.

Qualora sia necessario conservare il calore accumulato in una fase in cui non si produca energia, il primo letto di accumulo viene mantenuto in condizione di riposo.

Durante una fase di produzione di energia, il letto di accumulo questa volta fluidizzato scambierà calore con il letto fluido di generazione ad esso adiacente ed eventualmente separato mediante setti, preferibilmente metallici. All'interno del letto di generazione è immerso il fascio tubiero attraversato dal fluido operativo. Anche in questo caso l'aria di fluidizzazione verrà preriscaldata impiegando lo scambiatore aria-aria. Operando in tal modo il sistema di compressione dell'aria di fluidizzazione sarà esercito a temperatura ambiente così come il sistema di filtrazione dell'aria in uscita dai letti fluidizzati ove è possibile la presenza di particolato solido elutriato.

L'aver concentrato lo scambio termico a beneficio del fluido operativo nel letto fluidizzato di generazione consentirà, per gli elevati coefficienti di scambio termico propri dei letti fluidizzati, di ridurre al minimo le superfici del fascio tubiero e quindi l'impiego di materiali pregiati per la realizzazione dello stesso.

In sintesi, il sistema si può dividere sostanzialmente in tre blocchi, e precisamente un blocco di accumulo (il primo letto fluidizzabile, nella realizzazione sopra esposta), un blocco di scambio verso il fluido operativo (il secondo letto fluidizzabile, nella realizzazione sopra esposta) ed un blocco di recupero del calore (lo scambiatore aria/aria, sempre nella realizzazione preferita menzionata), blocchi che collegati fra di loro consentono di realizzare un sistema in grado di operare con grande flessibilità ed efficienza.

Altri vantaggi, caratteristiche e le modalità di impiego della presente invenzione risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di alcune forme di realizzazione, presentate a scopo esemplificativo e non limitativo.

## Descrizione breve delle figure

Verrà fatto riferimento alle figure dei disegni allegati, in cui:

- la Fig. 1 mostra uno schema di impianto di una forma di realizzazione preferita dell'invenzione;
- la Fig. 1a mostra una schematica sezione/vista frontale di layout di una parte dell'impianto di Fig. 1, che incorpora una struttura a torre con scambiatore di calore aria/aria ed evidenzia una parzializzazione di una cassa di distribuzione, un circuito di immissione del gas di fluidizzazione ed il percorso di questo;
- la Fig. 2 mostra una sezione in pianta della parte di impianto di Fig. 1a, evidenziando la disposizione di tubi di uno scambiatore di calore che riceve il fluido operativo e la suddivisione di un primo letto di particelle fluidizzabili che

funge da mezzo di accumulo e di un secondo letto di particelle fluidizzabili dedicato allo scambio termico con il fluido operativo; e

– le Fig. 3 e 3a si riferiscono ad un dispositivo di cessione ed accumulo utilizzabile nell'impianto di Fig. 1, il quale dispositivo prevede l'utilizzo di gas combustibile come fonte energetica ausiliaria ed è mostrato rispettivamente in sezione laterale e vista in pianta.

## Descrizione dettagliata di forme di realizzazione preferita dell'invenzione

Con riferimento inizialmente alle Figure 1 ed 1a, un impianto di generazione elettrica a partire da una radiazione solare concentrata secondo una forma di realizzazione preferita dell'invenzione è complessivamente denotato con 100.

L'impianto 100 a sua volta incorpora uno o più dispositivi 1 di accumulo di energia termica ricevuta dalla radiazione solare concentrata e di cessione di tale energia ad un fluido operativo, quest'ultimo tipicamente acqua o vapore.

Il dispositivo 1 è appunto atto ad accumulare l'energia termica che si origina da una radiazione solare convogliata/concentrata su di esso ad esempio mediante eliostati ad inseguimento.

Il dispositivo 1 comprende un involucro di contenimento 2, preferibilmente metallico, isolato termicamente in modo da ridurre al minimo la dispersione di calore verso l'ambiente esterno.

L'involucro 2 può recare una o più superfici riceventi 20 sulle quali viene concentrata la radiazione solare.

Alla base dell'involucro 2 è ricavato un ingresso di adduzione 21 per un gas di fluidizzazione, il cui ruolo sarà chiarito a breve. In corrispondenza dell'ingresso 21 è previsto un setto di distribuzione o distributore, per semplicità anch'esso identificato con 21, di tale gas di fluidizzazione, atto a consentire l'immissione uniforme di quest'ultimo e che garantisce al contempo un supporto per uno o più letti di particelle fluidizzabili 3, 30 descritti a seguire.

Entro l'involucro 2 è presente una zona di accumulo, in forma di un primo letto di particelle fluidizzabili 30 idoneo all'accumulo termico secondo caratteristiche preferite descritte più avanti. Nella presente forma di realizzazione, la zona del letto di accumulo 30 è disposta immediatamente in corrispondenza delle superfici riceventi 20, a ridosso delle superfici interne all'involucro 2, in modo da risultare direttamente interessata dalla radiazione solare concentrata su dette superfici riceventi 20.

Ancora entro l'involucro 2 e nella zona più centrale del dispositivo 1 è poi previsto un secondo letto di particelle fluidizzabili 3, che può essere continuo con o separato da il letto di accumulo 30 e che ha la funzione di cedere l'energia termica accumulata in quest'ultimo al fluido operativo, come meglio chiarito più avanti. A tal fine, entro il letto di particelle 3, o in prossimità di questo, sono disposti elementi di scambio termico - e in particolare fasci tubieri 4 di uno scambiatore di calore - i quali sono appunto attraversati, in uso, dal fluido operativo.

In una variante di realizzazione preferita, i due letti di particelle 3, 30 possono costituire porzioni adiacenti di un medesimo letto selettivamente fluidizzabile.

Come menzionato, l'ingresso 21 del dispositivo 1 è idoneo a consentire l'adduzione entro l'involucro 2 - e specificamente attraverso la base dei letti di particelle 3, 30 - di un gas di fluidizzazione, che nella presente configurazione preferita è aria. In particolare, la disposizione complessiva è tale che il gas, spinto attraverso il setto di distribuzione 21, può movimentare le particelle del letto 3 e/o 30 in modo tale da generare un corrispondente flusso / moto di particelle idoneo allo scambio di calore reciproco fra le particelle del medesimo letto 30 e/o fra queste ultime e la parte interna delle superfici riceventi 20 o ancora fra le particelle di porzioni di letto fra loro adiacenti, fra le particelle dei due letti 3, 30 oppure fra le particelle del letto 3 ed i fasci tubieri 4.

La posizione dei fasci tubieri 4 rispetto al letto di particelle 3, o meglio l'esposizione della superficie dei tubi rispetto al letto di particelle, è tale da massimizzare la quantità di calore scambiato, quest'ultima essendo proporzionale al prodotto del coefficiente di scambio termico e della superficie interessata allo scambio termico stesso.

I fasci tubieri 4 possono essere totalmente o parzialmente immersi nel letto di particelle 3 oppure affacciati ad esso. La scelta risiede nella modalità di gestione che si intende utilizzare per il dispositivo e dall'altezza minima e massima del letto di particelle al variare della velocità dell'aria di fluidizzazione: all'aumentare di tale velocità aumenta la superficie del fascio tubiero interessata allo scambio termico. Per una migliore versatilità di impianto, sono appunto previsti mezzi per variare la velocità dell'aria di fluidizzazione, e quindi anche la sua portata.

Pertanto, variando la velocità di attraversamento del gas di fluidizzazione può essere controllato e modificato il coefficiente di scambio termico complessivo fra il letto fluidizzato e la superficie di scambio, con conseguente flessibilità di regolazione della quantità di potenza termica trasferita.

Può così essere ottenuta una sostanziale riduzione del trasferimento di calore in assenza di fluidizzazione ovvero con velocità del gas inferiore alla velocità di minima fluidizzazione.

Inoltre, è possibile variare l'altezza del primo letto di accumulo 30 e/o del letto di cessione 3 variando la quantità di carica particellare del letto, tale variazione può essere operata anche a caldo, durante l'esercizio, mediante opportuno sistema di scarico e carico delle particelle associato a ciascun dispositivo 1 o a gruppi di dispositivi analoghi. Agire sull'altezza dei letti 30, 3 sia in termini di materiale particellare presente nel letto quando fisso, sia variando la velocità di fluidizzazione, consente ulteriori leve di azione che rendono estremamente flessibile la gestione dispositivo 1 e quindi dell'impianto 100.

Come meglio illustrato in Fig. 1a, nel presente esempio il dispositivo 1 presenta o è associato a una struttura sopraelevata a torre 70. In corrispondenza della zona centrale di quest'ultima è collocato uno scambiatore gas/gas 7, nel presente esempio di tipo aria/aria, che si sviluppa appunto verticalmente all'interno della struttura di sostegno del dispositivo stesso.

L'ambiente interno al dispositivo 1 è comunicante con lo scambiatore aria-aria 7, nell'esempio in corrispondenza della propria zona centrale. In particolare, la base del dispositivo 1 è comunicante con la sezione di scambiatore in cui fluisce l'aria calda in uscita dal letto di particelle 3 e/o 30, mentre la sezione dello scambiatore aria-aria 7 da cui esce l'aria ambiente preriscaldata è connessa al setto di distribuzione 21 alla base del letto di particelle 3,30, mediante un collettore o cassa d'aria 14 che contribuisce ad uniformare il flusso dell'aria in ingresso al dispositivo 1.

In tal modo, lo scambiatore 7 consente di preriscaldare in controcorrente aria ambiente in ingresso al distributore 21 a spese dell'aria calda di fluidizzazione in uscita dal letto di particelle 3 e/o 30, e quindi di recuperare il contenuto termico dell'aria di fluidizzazione in uscita dal letto.

Come detto il circuito dell'aria di fluidizzazione prevede che aria ambiente fredda sia spinta da un mezzo di circolazione forzata, in particolare uno o più soffiante/compressore 8, all'interno dello scambiatore aria-aria 7 e si preriscaldi lungo il percorso a spese dell'aria di fluidizzazione calda che, in uscita dal letto di particelle 3, 30, è spinta in controcorrente all'interno di detto scambiatore 7. L'aria ambiente preriscaldata raggiunge la cassa d'aria 14 ed il setto di distribuzione 21 attraverso un circuito collettore di adduzione 142. L'aria in uscita dal letto di particelle 3, 30, raffreddata dopo aver percorso lo scambiatore aria-aria 7, viene addotta, mediante un condotto di deflusso 5, ad un separatore di polveri 6, o depolveratore, ed è poi espulsa all'ambiente esterno.

Preferibilmente, il separatore di polveri 6 - tipicamente a impattori inerziali o dispositivi equivalenti a basse perdite di carico e funzionamento ciclonico - è posto alla base della struttura del dispositivo 1 in linea con il condotto di deflusso 5 e provvede quindi

a depolverare l'aria di fluidizzazione da eventuale elutriato delle particelle dei letti 3, 30.

Come già menzionato, il letto di particelle 3 può essere fisicamente separato dal letto di particelle 30 eventualmente mediante setti 41, comunque presentando nel complesso una struttura modulare che consente una fluidizzazione selettiva delle zone del letto. In generale, il dispositivo 1 consente una fluidizzazione selettiva e/o differenziata di una o più porzioni dei letti di particelle 3 e 30 e/o una fluidizzazione selettiva e/o differenziata dei letti stessi o di porzioni di questi ultimi.

Nel presente esempio, tale fluidizzazione selettiva è ottenuta mediante una compartimentazione sia della cassa d'aria 14, a mezzo di setti 141, sia del circuito di adduzione 142 a mezzo di valvole di intercettazione 143, permettendo l'adduzione di aria soltanto in corrispondenza di porzioni di letto 3 e/o 30 selezionabili a seconda delle specifiche esigenze di accumulo o di produzione di vapore/energia.

È così possibile far operare porzioni del letto come interruttori termici che chiudono il circuito di scambio termico solo se fluidizzati. Detta fluidizzazione controllata e selettiva di zone del mezzo granulare del letto garantisce una continuità di estrazione del calore e flessibilità dell'impianto rispetto alle esigenze energetiche a valle.

Inoltre, nel presente esempio è prevista una parzializzazione della cassa d'aria 14 anche in corrispondenza di un'area di letto adiacente alle superfici riceventi 20. Questa configurazione consente, in assenza di radiazione solare, di ridurre notevolmente la dispersione di calore accumulato nel primo letto 30 verso l'ambiente esterno attraverso le stesse superfici riceventi 20. Anche questa parzializzazione è operata mediante le già citate valvole di intercettazione automatiche 143 temporizzate e/o gestite dal segnale di un sensore di irradianza (ad esempio solarimetro, piranometro o apparecchiature equivalenti) associato a ciascun dispositivo 1 o a gruppi di dispositivi.

Il regime di fluidizzazione delle particelle del letto è preferibilmente bollente o comunque tale da massimizzare il coefficiente di scambio termico.

La scelta del materiale particellare dei letti di accumulo e cessione 3 e 30 è basata in particolare sulla scarsa attitudine all'abrasione e frammentazione, per rispondere alla necessità di minimizzare il fenomeno di elutriazione delle particelle del letto stesso così da limitare la produzione ed il trasporto di fini nell'aria di fluidizzazione. In base a queste considerazioni, una configurazione preferita privilegia l'utilizzo, per le particelle del letto, di materiale granulare inerte all'ossidazione, con forma regolare, preferibilmente sferoidale e/o preferibilmente di dimensioni dell'ordine di 50 – 500 micron; e tale che dette dimensioni siano preferibilmente native, ossia non risultanti da aggregazione di particelle di minori dimensioni.

Nell'esempio in Fig. 1, il fluido operativo è acqua allo stato liquido che durante l'attraversamento dello scambiatore 4 riceve l'energia termica trasferita dalle particelle del letto 3 fino a diventare vapore surriscaldato. Detto vapore in condizioni di temperatura e pressione prestabiliti è poi utilizzato per produrre energia elettrica espandendo in una turbina a vapore 10 associata ad un generatore.

Come mostrato in Figura 1, il circuito del fluido operativo prevede condotti 90 che definiscono i fasci tubieri 4 entro il dispositivo 1, e nell'esempio considerato è prevista la già menzionata turbina a vapore 10 connessa ad un generatore di energia elettrica, un condensatore 11, un degasatore 40 con spillamento in turbina 10, una pompa di alimento 12, una pompa di estrazione 120 o mezzi equivalenti a quelli appena citati.

La configurazione descritta consente il notevole vantaggio di separare il processo di accumulo di energia termica dal processo di produzione di vapore.

In fase di accumulo, l'energia solare è concentrata alle superfici riceventi 20 e mediante fluidificazione del letto di accumulo 30, o di parte di questo, l'energia termica è trasferita appunto dalle superfici 20 alle particelle del letto 30. Come detto questa fase è indipendente dalla fase di produzione. In regime di solo accumulo è fluidizzato solo il primo letto 30.

In fase di produzione si attiva anche il secondo letto di cessione 3, cosicché il passaggio di calore avvenga dal letto di accumulo 30 alle particelle del letto di cessione 3, da queste ai fasci tubieri 4 e quindi al fluido operativo che fluisce in questi ultimi.

Pertanto, il fluido operativo che attraversa i fasci tubieri 4 riceve dal secondo letto 3 l'energia termica accumulata dal primo letto 30, dove il trasferimento di calore avviene attivando i letti 3, 30 ossia fluidizzando le particelle delle zone di letto 30 e 3. L'energia termica trasferita al fluido operativo può essere utilizzata per scopi industriali anche diversi dall'esempio qui considerato.

In particolare, nella precedente descrizione ci si è riferiti a titolo di esempio all'applicazione del dispositivo ad un impianto di produzione di energia elettrica, *stand-alone*. Sarà comunque compreso che le possibili applicazioni del dispositivo sono ampie e relative alla produzione di vapore o calore per impianti industriali come centrali termoelettriche, dissalatori, teleriscaldamento, e così via.

Con questa configurazione, anche in assenza di energia solare - come nelle ore notturne - si assicura la continuità di esercizio e di erogazione di vapore e quindi di potenza termica da parte del dispositivo 1.

In particolare, il dimensionamento del dispositivo 1, dei letti particellari 3,30, delle superfici dei fasci tubieri 4 e il range di velocità del gas di fluidizzazione, può essere tale da assicurare accumulo di energia termica durante le ore di sole e cessione di

questa durante le ore notturne allo scambiatore di calore tramite fluidizzazione delle particelle dei letti 3,30.

Inoltre, come già anticipato, utilizzando una struttura modulare dei letti fluidizzabili e modulando per ciascuna sezione la velocità di fluidizzazione delle particelle stesse, nonché l'altezza del letto di particelle, è possibile regolare la quantità di energia termica trasferita ai fasci tubieri, scegliendo di dedicare una o più sezioni al trasferimento di calore o all'accumulo mediante una fluidizzazione selettiva e/o differenziata di queste, assicurando un esercizio continuo dell'impianto.

Ancora, nella eventualità di impianti che prevedono una molteplicità di dispositivi 1,la possibilità di regolare per ciascun dispositivo la quantità di calore trasferita al fluido operativo e necessaria a mantenere costante la temperatura e la pressione del vapore prodotto, consente il vantaggio di mantenere costante, diminuire o aumentare la temperatura del fluido operativo ovvero, a parità di temperatura, aumentare la portata del fluido operativo.

Il dimensionamento dei dispositivi 1 e la logica di funzionamento possono essere coordinati per ottenere una determinata produzione di energia anche in assenza di radiazione solare.

È anche possibile, a seconda delle esigenze a valle dell'impianto, gestire i singoli dispositivi in modo che nell'arco delle 24 ore, parte di questi lavorino solo in accumulo e parte in produzione ovvero variare la velocità di fluidizzazione di ciascuna unità ottenendo variazione complessiva di potenza termica prodotta. A parità di energia termica accumulata, ciò consente di erogarla in tempi brevi a potenza superiore ovvero per tempi prolungati a potenza inferiore.

In una variante di realizzazione (non rappresentata), è prevista la presenza di un sistema di parzializzazione, una sorta di otturatore, delle superfici riceventi 20 mediante setti isolanti. Detti setti, il cui azionamento può essere automatizzato e seguire la traiettoria solare, permettono di isolare la porzione di letto di accumulo 30 corrispondente alla zona oscurata di superficie ricevente 20 e quindi evitano il re-irraggiamento verso l'esterno da parte di detta porzione di letto quando la stessa superficie ricevente 20 non è interessata dalla radiazione incidente.

In base ad un'altra variante preferita dell'invenzione utilizzabile in associazione con tutte le altre configurazioni sin qui descritte, è previsto l'utilizzo di combustibile gassoso all'interno del letto fluidizzato, per sopperire a prolungate assenza di insolazione e/o per garantire il raggiungimento di determinato livello di potenza in funzione delle esigenze a valle dell'impianto di produzione.

Un importante vantaggio deriva dalla possibilità di bruciare detto combustibile gassoso direttamente all'interno del letto fluidizzabile. Solitamente infatti per

dispositivi di tecnica nota questa operazione viene svolta in unità produttive distinte dall'impianto di produzione principale.

Quest'ultima configurazione è schematizzata in Fig. 3 e 3a, che mostra un circuito possibile per il gas combustibile 15 -151. Quest'ultimo è tale da prevedere ingressi a ciascun settore della cassa d'aria 14 nei quali avviene la pre-miscelazione del gas combustibile con l'aria di fluidizzazione preriscaldata ovvero nel circuito di distribuzione del gas di fluidizzazione 151.

In presenza di gas combustibile, il dispositivo 1 è dotato di uno o più torce 22 inserite nell'ambiente del dispositivo 1 per l'innesco della combustione e per garantire il sistema da eventuali accumuli pericolosi di gas all'interno del dispositivo, ed uno o più dischi di rottura 222 sull'involucro 2. Tali accorgimenti - come altri eventualmente applicabili – sono finalizzati alla prevenzione dai rischi di esplosione.

Per quanto riguarda la combustione di gas di per sé, questa è tecnica nota per cui non ci si dilunga oltre nella specifica descrizione.

Il ricorso a questa configurazione aggiuntiva è reso ancora più conveniente dal fatto che le normative che regolano la produzione di energia da fonti rinnovabili ammettono che una quota minima, generalmente minore o uguale al 15% della potenza nominale dell'impianto sia prodotta mediante combustione di combustibili fossili.

Sarà compreso meglio a questo punto come il trovato presenta notevoli vantaggi in termini di:

- dimensionamento dell'impianto, e in particolare dei dispositivi di accumulo e cessione e della relativa struttura che risultano particolarmente compatti - ciò deriva evidentemente dalla configurazione preferita che vede lo scambiatore aria/aria svilupparsi in altezza all'interno della struttura di supporto del dispositivo stesso;
- dimensionamento ed esercizio delle soffianti-compressori 8 che elaborano un fluido freddo, ossia aria ambiente;
- dimensionamento ed esercizio del depolveratore 6 che analogamente alle soffianti-compressori 8 lavora con aria di fluidificazione esausta a bassa temperatura (circa 100°C);
- dimensionamento dei fasci tubieri 4, che risultano drasticamente ridimensionati essendo le fasi di preriscaldo di evaporazione e surriscaldamento del fluido operativo affidate allo scambio termico all'interno del letto con coefficienti tipici di 300 – 500 W/m2K.

Sarà infine compreso come l'invenzione fornisca anche un metodo di accumulo e scambio di calore come definito nelle rivendicazioni che seguono e presentante le

medesime caratteristiche preferite esposte sopra in relazione alle varie forme e varianti di realizzazione del dispositivo e dell'impianto dell'invenzione.

La presente invenzione è stata fin qui descritta con riferimento a forme preferite di realizzazione. È da intendersi che possano esistere altre forme di realizzazione che afferiscono al medesimo nucleo inventivo, come definito dall'ambito di protezione delle rivendicazioni qui di seguito riportate.

## RIVENDICAZIONI

**1.** Dispositivo di accumulo e cessione di energia termica (1) atto a ricevere una radiazione solare concentrata, il quale dispositivo (1) comprende:

- almeno un letto di particelle fluidizzabili (3, 30), disposto almeno in parte in corrispondenza di superfici riceventi (20) per tale radiazione;
- mezzi di adduzione (14, 142, 21) di un gas di fluidizzazione di dette particelle; e
- elementi di scambio termico (4) attraversati, in uso, da un fluido operativo e disposti in corrispondenza o prossimità di detto letto di particelle fluidizzabili (3, 30),

in cui la disposizione complessiva è tale che, in uso, porzioni di detto letto di particelle (3, 30) sono atte ad essere movimentate selettivamente mediante il gas di fluidizzazione per accumulare energia termica ricevuta dalla radiazione solare in una fase di accumulo e per cedere l'energia termica accumulata a detti elementi di scambio termico (4) in una fase di cessione,

ed in cui la disposizione complessiva è tale da consentire una attivazione indipendente della fase di accumulo dalla fase di cessione di calore.

**2.** Dispositivo (1) secondo la rivendicazione 1, in cui detto letto di particelle a sua volta è formato da:

- una prima porzione di accumulo (30), atta ad accumulare energia termica ricevuta dalla radiazione solare concentrata e disposta in corrispondenza delle superfici riceventi (20) per la radiazione solare; e
- una seconda porzione di cessione (3), disposta adiacentemente a detta prima porzione (30) ed atta a cedere l'energia termica accumulata mediante quest'ultima a detti elementi di scambio termico (4),

in cui detta prima porzione di accumulo (30) e detta seconda porzione di cessione (3) sono atte a realizzare rispettivamente detta fase di accumulo e detta fase di cessione mediante una rispettiva fluidizzazione.

**3.** Dispositivo (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui dette prima (30) e seconda (3) porzione di detto letto di particelle sono ricevute entro un medesimo involucro di contenimento (2).

**4.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detti elementi di scambio termico (4) sono disposti in modo tale da essere in contatto con almeno parte (3) di detto letto di particelle (3, 30) e/o in modo tale da essere lambiti, in uso, da almeno parte (3) di detto letto (3, 30) quando fluidizzato mediante detto gas

di fluidizzazione.

**5.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detti elementi di scambio termico sono fasci tubieri (4).

**6.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi di adduzione (15,151) e mezzi di combustione in sicurezza (22, 222) di un gas combustibile entro detto letto di particelle (3, 30) o parte di esso.

**7.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detti mezzi di adduzione (14, 142, 21) comprendono una compartimentazione (141) atta a consentire una fluidizzazione selettiva e/o differenziata di una o più parti di detto letto di particelle (3, 30) da parte del gas di fluidizzazione e/o una fluidizzazione selettiva e/o differenziata di dette prima (30) e seconda (3) porzione di detto letto di particelle o di parti di queste ultime.

**8.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta attivazione indipendente delle fasi di accumulo e cessione è ottenuta mediante una separazione dei circuiti del fluido operativo e del gas di fluidizzazione.

**9.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente uno scambiatore di calore gas/gas (7), preferibilmente aria/aria, in cui la disposizione complessiva è tale che in uso, sono addotti in tale scambiatore (7) un primo gas freddo che è il gas di fluidizzazione da impiegare per la fluidizzazione di detto letto di particelle (3, 30) o di dette prima (30) e/o seconda (3) porzione di esso ed un secondo gas caldo che è il gas di fluidizzazione in uscita da detto letto di particelle (3, 30) o da dette prima (30) e/o seconda (3) porzione di esso.

**10.** Dispositivo (1) secondo la rivendicazione precedente, che è disposto su una struttura a torre (70) che alloggia al suo interno detto scambiatore gas/gas (7).

**11.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, che è idoneo all'uso di aria quale gas di fluidizzazione.

**12.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi (8) di circolazione forzata del gas di fluidizzazione.

**13.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi atti a variare selettivamente la velocità del gas di fluidizzazione.

**14.** Dispositivo (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi di depolverazione (6) del gas di fluidizzazione, disposti a valle di una zona di fluidizzazione di detto letto di particelle (3, 30).

**15.** Impianto (100) per produrre vapore o calore per usi industriali, comprendente uno o più dispositivi (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

**16.** Impianto (100) secondo la rivendicazione precedente, che è un impianto di produzione di energia elettrica.

**17.** Metodo per produrre vapore o calore per usi industriali a partire da una radiazione solare concentrata, che prevede l'impiego di un letto di particelle fluidizzabili (3, 30) atte ad accumulare l'energia termica di origine solare e movimentabili selettivamente mediante un gas di fluidizzazione, il quale metodo comprende:

- una prima fase di accumulo di energia termica ricevuta dalla radiazione solare concentrata mediante movimentazione di una prima porzione (30) di detto letto di particelle; e
- una seconda fase di cessione di detta energia termica accumulata in detta prima fase ad elementi di scambio termico (4) attraversati da un fluido operativo,

in cui dette fasi di accumulo e di cessione di calore sono attivabili l'una indipendentemente dall'altra.

**18.** Metodo secondo la rivendicazione precedente, in cui detta attivazione indipendente delle fasi di accumulo e cessione è ottenuta mediante una separazione termica dei circuiti del fluido operativo e del gas di fluidizzazione.

**19.** Metodo secondo la rivendicazione 17 o 18, che prevede una fase di scambio di calore gas/gas, preferibilmente aria/aria, fra un primo gas freddo che è il gas di fluidizzazione da impiegare per la fluidizzazione di porzioni di detto letto di particelle (3, 30) ed un secondo gas caldo che è il gas di fluidizzazione in uscita da dette porzioni di detto letto di particelle (3, 30).

**20.** Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 19, in cui detto gas di fluidizzazione è aria.

**21.** Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 20, in cui è prevista una variazione selettiva della velocità del gas di fluidizzazione.

**22.** Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 21, che è un metodo di produzione di energia elettrica.

**23.** Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 22, che prevede una combustione di combustile fossile gassoso entro detto letto di particelle (3, 30) o parti di esso.

## CLAIMS

**1.** A device (1) for storing and releasing heat energy apt to receive a concentrated solar radiation, which device (1) comprises:

- at least one bed (3, 30) of fluidizable particles, arranged at least partly in correspondence of receiving surfaces (20) for such radiation;
- means (14, 142, 21) for feeding a fluidization gas for the fluidization of said particles; and
- heat exchange elements (4) flown through, in use, by an operating fluid and arranged in correspondence or in proximity of said bed (3, 30) of fluidizable particles,

wherein the overall arrangement is such that, in use, portions (3, 30) of said bed of particles are apt to be selectively moved by the fluidization gas for storing heat energy received from solar radiation in a storing step and for releasing stored heat energy to said heat exchange elements (4) in a releasing step,

and wherein the overall arrangement is such as to allow an independent activation of the heat storing step from the heat releasing step.

**2.** The device (1) according to claim 1, wherein said bed of particles in its turn comprises:

- a first storing portion (30), apt to store heat energy received from concentrated solar radiation and arranged in correspondence of the receiving surfaces (20) for the solar radiation; and
- a second releasing portion (3), arranged adjacently to said first portion (30) and apt to release heat energy stored by the latter to said heat exchange elements (4),

wherein said first storing portion (30) and said second releasing portion (3) are apt to carry out respectively said storing step and said releasing step by a respective fluidization.

**3.** The device (1) according to the preceding claim, wherein said first (30) and second (3) portion of said bed of particles are received within a common containment casing (2).

**4.** The device (1) according to any one of the preceding claims, wherein said heat exchange elements (4) are arranged so as to be in contact with at least part (3) of said bed (3, 30) of particles and/or so as to be lapped against, in use, by at least part (3) of said bed (3, 30) when fluidized by said fluidization gas.

**5.** The device (1) according to any one of the preceding claims, wherein said heat

exchange elements are tube bundles (4).

**6.** The device (1) according to any one of the preceding claims, comprising feeding means (15,151) and means (22, 222) for the safe combustion of a combustible gas within said bed (3, 30) of particles or part thereof.

**7.** The device (1) according to any one of the preceding claims, wherein said feeding means (14, 142, 21) comprises a compartmentalization (141) apt to allow a selective and/or differentiated fluidization of one or more parts of said bed (3, 30) of particles by the fluidization gas and/or a selective and/or differentiated fluidization of said first (30) and second (3) portion of said bed of particles or of parts of the latter.

**8.** The device (1) according to any one of the preceding claims, wherein said independent activation of the storing and releasing steps is obtained by a separation of the circuits of the operating fluid and of the fluidization gas.

**9.** The device (1) according to any one of the preceding claims, comprising a gas/gas, preferably air/air heat exchanger (7) wherein the overall arrangement is such that, in use, in such exchanger (7) are fed a first cold gas which is the fluidization gas to be employed for the fluidization of said bed (3, 30) of particles or of said first (30) and/or second (3) portion thereof and a second hot gas which is the fluidization gas outlet from said bed (3, 30) of particles or from said first (30) and/or second (3) portion thereof.

**10.** The device (1) according to the preceding claim, which is arranged on a tower structure (70) housing therein said gas/gas exchanger (7).

**11.** The device (1) according to any one of the preceding claims, which is suitable for the use of air as fluidization gas.

**12.** The device (1) according to any one of the preceding claims, comprising means (8) for the forced circulation of the fluidization gas.

**13.** The device (1) according to any one of the preceding claims, comprising means apt to selectively vary the velocity of the fluidization gas.

**14.** The device (1) according to any one of the preceding claims, comprising means (6) for dedusting the fluidization gas, arranged downstream of a fluidization zone of said bed (3, 30) of particles.

**15.** A plant (100) for producing steam or heat for industrial uses, comprising one or more devices (1) according to any one of the preceding claims.

**16.** The plant (100) according to the preceding claim, which is an electrical power production plant.

**17.** A method for producing steam or heat for industrial uses from a concentrated solar radiation, providing the employ of a bed (3, 30) of fluidizable particles apt to store heat energy of solar origin and selectively movable by a fluidization gas, which method comprises:

- a first step of storing heat energy received from the concentrated solar radiation by moving of a first portion (30) of said bed of particles; and
- a second step of releasing heat energy stored in said first step to heat exchange elements (4) flown through by an operating fluid,

wherein said steps of storing and releasing heat can be activated the one independently from the other.

**18.** The method according to the preceding claim, wherein said independent activation of the storing and releasing steps is attained by a thermal separation of the circuits of the operating fluid and of the fluidization gas.

**19.** The method according to claim 17 or 18, providing a step of gas/gas, preferably air/air, heat exchange between a first cold gas which is the fluidization gas to be employed for the fluidization of portions of said bed (3, 30) of particles and a second hot gas which is the fluidization gas outlet from said portions of said bed (3, 30) of particles.

**20.** The method according to any one of the claims 17 to 19, wherein said fluidization gas is air.

**21.** The method according to any one of the claims 17 to 20, wherein a selective variation of the velocity of the fluidization gas is provided.

**22.** The method according to any one of the claims 17 to 21, which is a method of producing electrical power.

**23.** The method according to any one of the claims 17 to 22, providing a combustion of gaseous fossil fuel within said bed (3, 30) of particles or parts thereof.

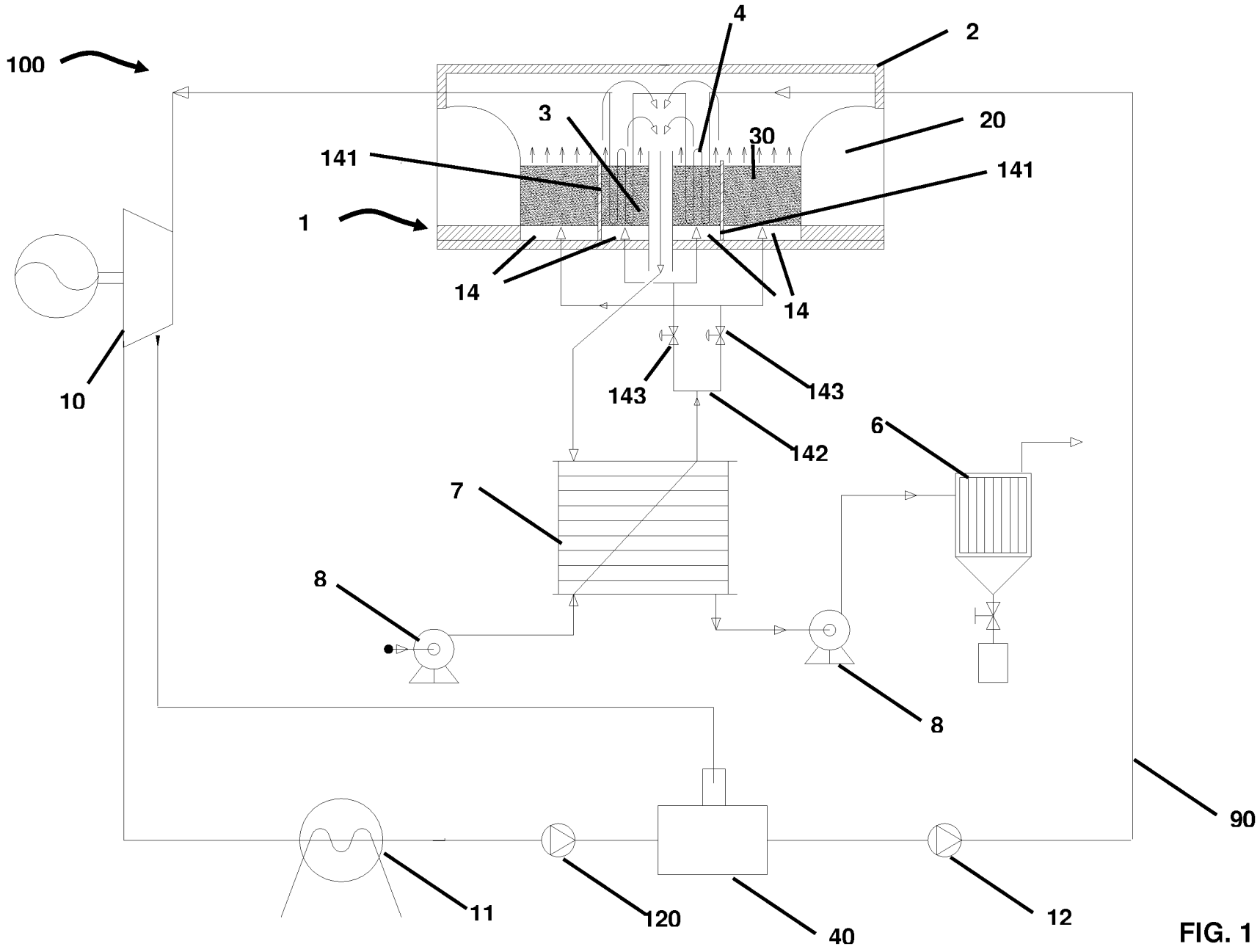


FIG. 1

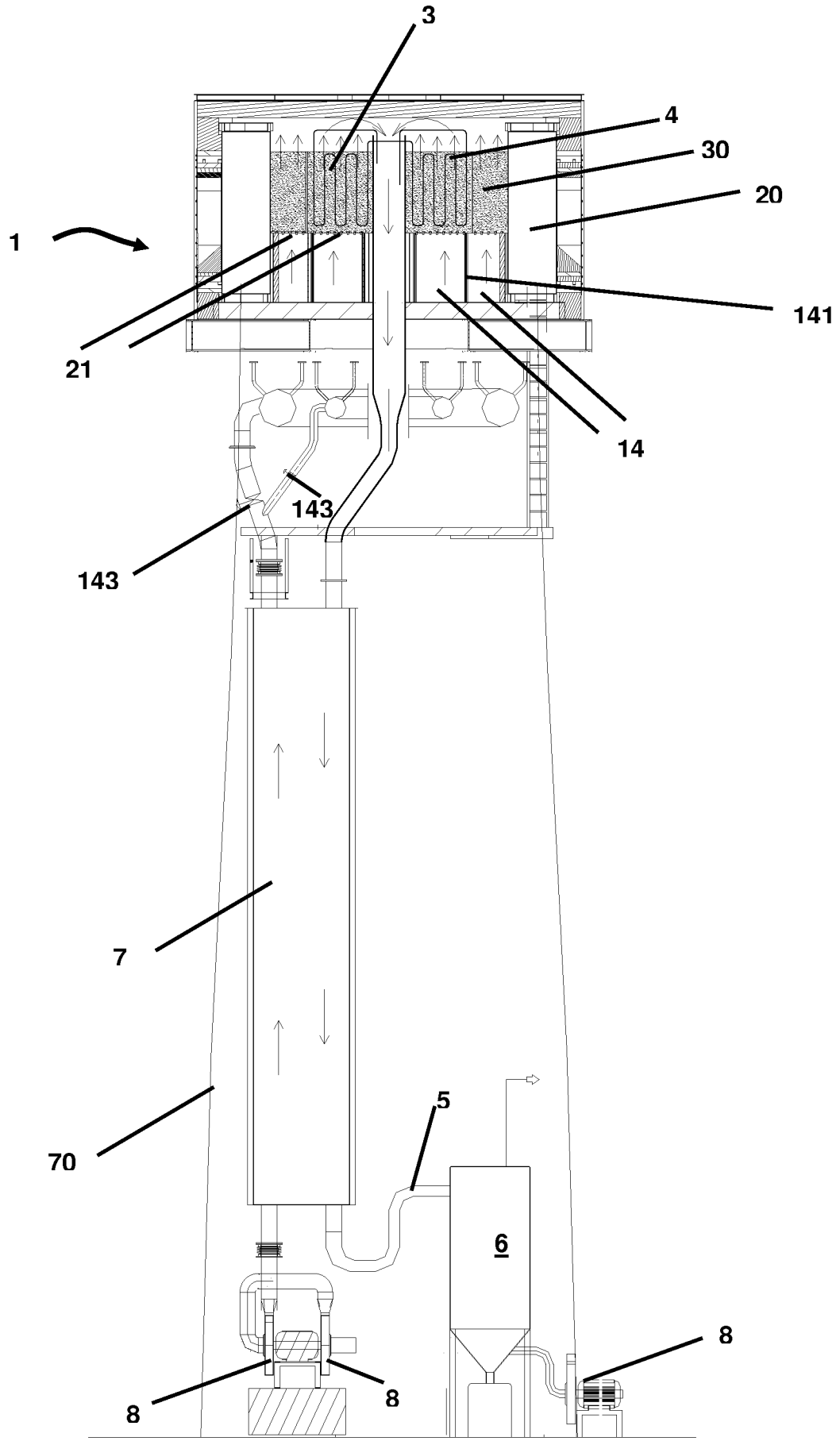


FIG. 1a

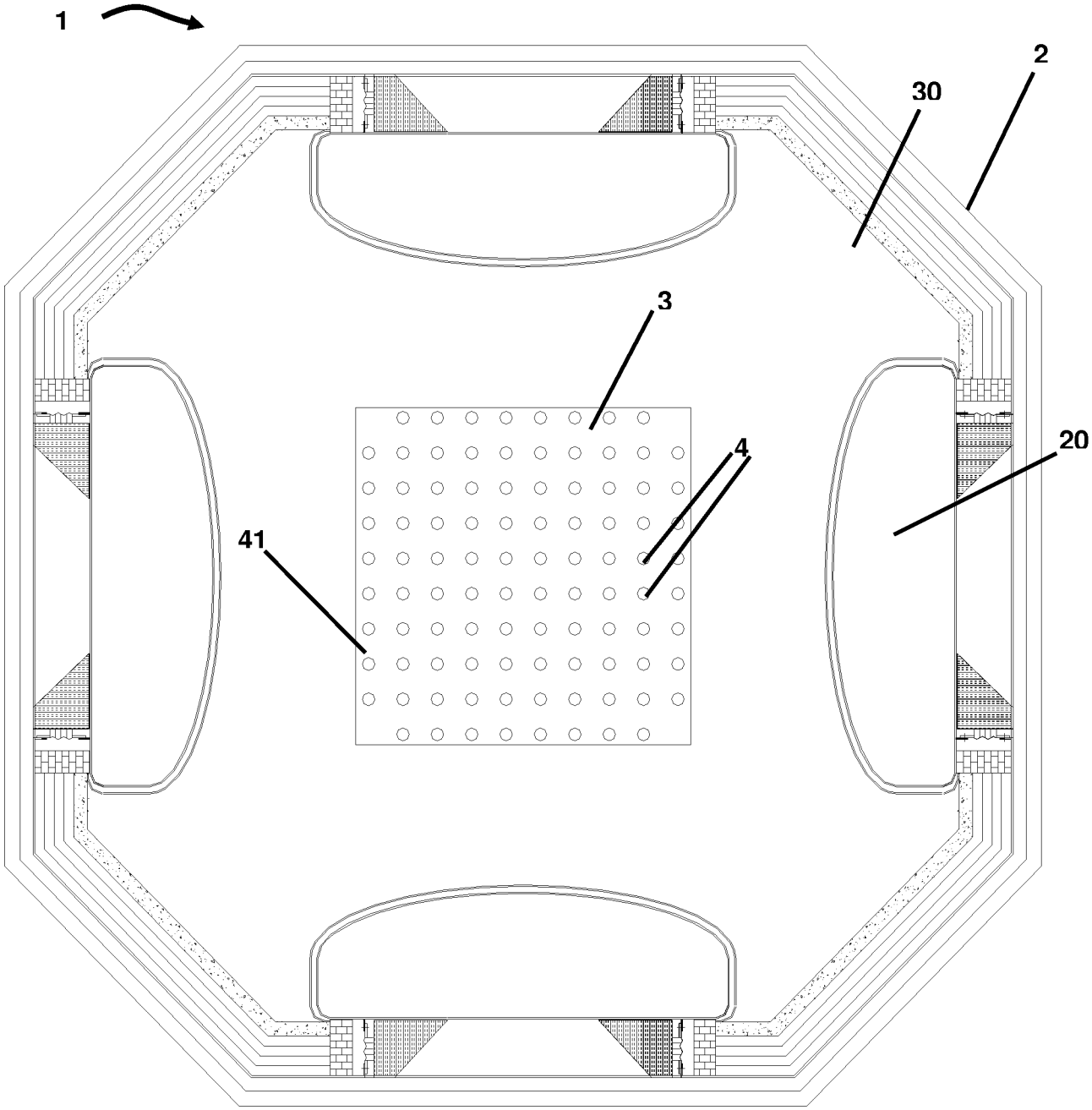


FIG. 2

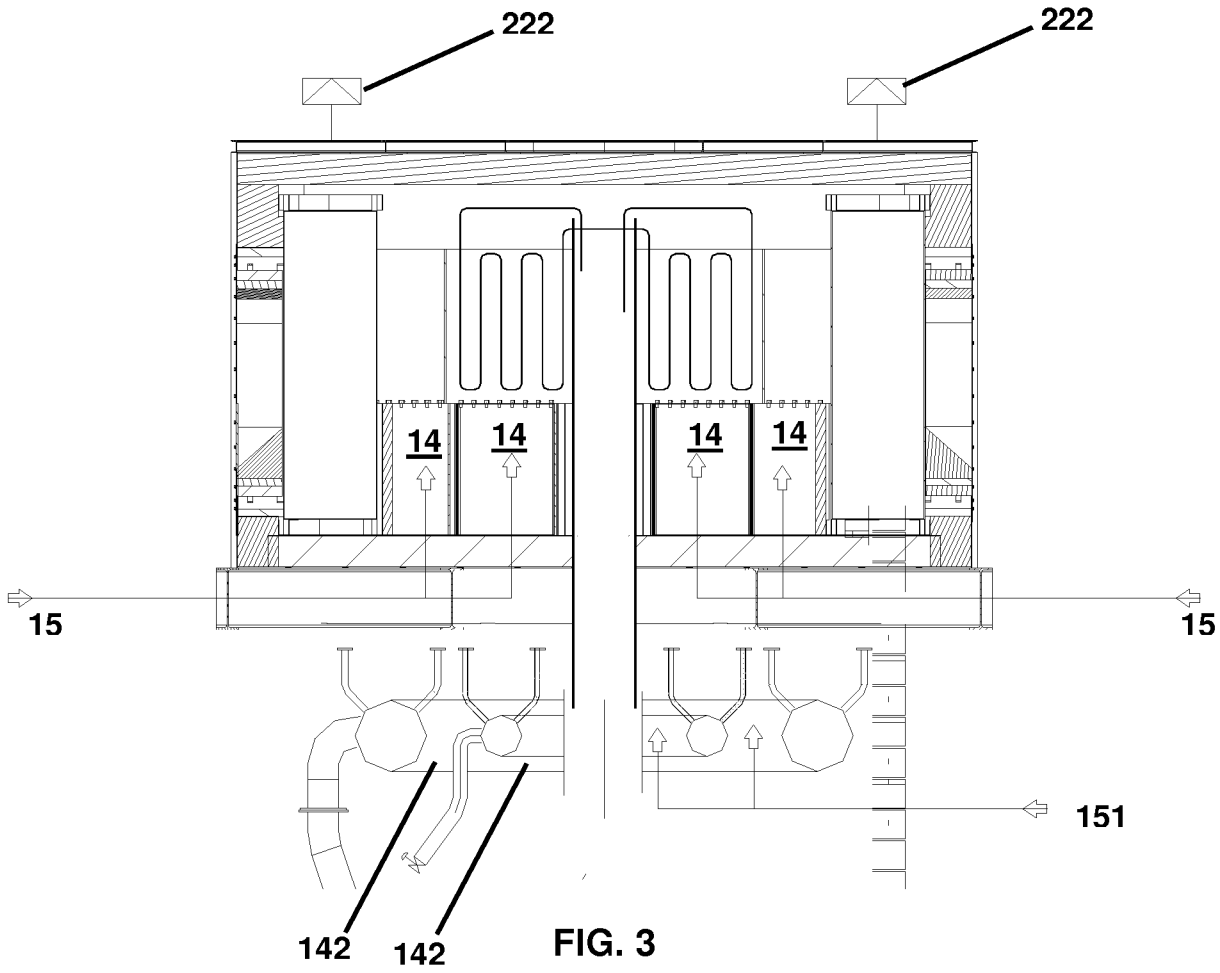


FIG. 3

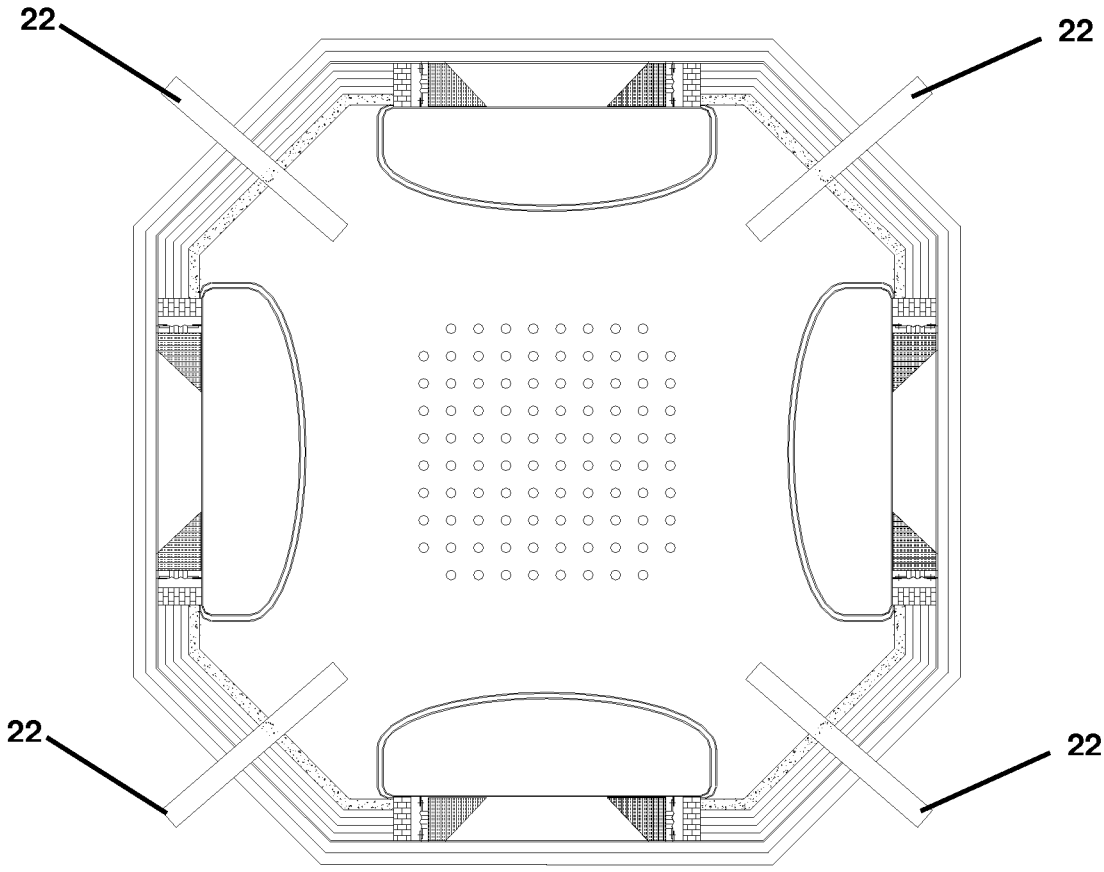


FIG. 3a