



Publication Year	2018
Acceptance in OA	2024-03-21T14:44:11Z
Title	Dispositivo per la conversione di energia, sistema di conversione di energia e relativo procedimento di conversione di energia
Authors	CANDIA, Roberto, LO CICERO, UGO, FERRUGGIA BONURA, Salvatore, Barbera, Marco, Gattuso, Calogero, SCIORTINO, LUISA, COLLURA, Alfonso, Tumminelli, Gianluca, Santoro, Fabio, Tuzzolino, Gaetano
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/35012



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102018000007710
Data Deposito	31/07/2018
Data Pubblicazione	31/01/2020

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	G	9	21

Titolo

DISPOSITIVO PER LA CONVERSIONE DI ENERGIA, SISTEMA DI CONVERSIONE DI ENERGIA E RELATIVO PROCEDIMENTO DI CONVERSIONE DI ENERGIA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Dispositivo per la conversione di energia, sistema di conversione di energia e relativo procedimento di conversione di energia"

di: Qohelet Solar Italia S.p.A., nazionalità italiana, Corso Umberto I, 211 - 93100 Caltanissetta (CL); Università degli Studi di Palermo, nazionalità italiana, Piazza Marina 61 - 90133 Palermo; I.N.A.F. Istituto Nazionale di Astrofisica, nazionalità italiana, Piazza del Parlamento 1 - 90134 Palermo

Inventori designati: Tumminelli Gianluca, Tuzzolino Gaetano, Gattuso Calogero, Santoro Fabio, Barbera Marco, Collura Alfonso, Candia Roberto

Depositata il: 31 luglio 2018

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ai dispositivi di conversione diretta di energia termica in energia elettrica. Più in dettaglio l'invenzione è stata sviluppata con riferimento a dispositivi di conversione di energia di tipo statico, quali ad esempio le c.d. celle AMTEC, acronimo di Alkali Metal Thermo Electric Converter (convertitori termoelettrici a metalli alcalini).

Tecnica nota

Un convertitore termoelettrico di energia di tipo statico, quale una cella AMTEC, è configurato per la conversione statica dell'energia termica in energia elettrica.

In altre parole, il dispositivo non prevede organi mobili (quali giranti di turbine o stantuffi) per la trasformazione dell'energia.

Una cella AMTEC di tipo noto comprende un lato di alta pressione, un lato di bassa pressione, un'interfaccia selettivamente permeabile costituita da un elettrolita solido, e include inoltre un evaporatore ed un condensatore che condizionano termicamente i lati di alta pressione e bassa pressione rispettivamente, l'uno mediante somministrazione di energia termica, l'altro mediante assorbimento di energia termica.

L'elettrolita solido costituisce un'interfaccia selettivamente permeabile ed è disposto fra un primo e un secondo elettrodo ai cui capi sono collegati un carico elettrico (tipicamente un utilizzatore che preleva l'energia elettrica convertita nel dispositivo) e un interruttore, quest'ultimo configurato per abilitare un collegamento elettrico fra i due elettrodi attraverso l'utilizzatore/carico elettrico) continuità elettrica tra di essi.

L'ambiente di alta pressione di una cella AMTEC ospita un fluido di lavoro monofase (gassoso) costituito da un metallo alcalino quale sodio, litio, o potassio.

Il lato di alta pressione è sottoposto a un condizionamento termico ad opera di una sorgente esterna, ad esempio la radiazione solare o un fluido termovettore.

Le elevate temperature che si sviluppano all'interno del lato di alta pressione (l'aggettivo "alta" è usato in termini relativi rispetto al lato a bassa temperatura) addensano il fluido di lavoro in fase vapore verso l'interfaccia selettivamente permeabile, in corrispondenza della quale ha luogo la ionizzazione degli atomi neutri del metallo alcalino. Contestualmente, gli elettroni liberati con la ionizzazione si addensano sull'anodo, ossia sull'elettrodo all'interfaccia fra l'ambiente di alta

pressione e l'interfaccia selettivamente permeabile (elettrolita solido).

Questo processo è possibile grazie all'elevata differenza di pressione (ovvero di vuoto) tra il lato caldo (anodo) e il lato freddo (catodo) e all'impermeabilità dell'elettrolita solido sia agli atomi neutri, sia agli elettroni. L'elettrolita solido è infatti pervio solo rispetto agli ioni (cationi) metallici.

Questa caratteristica lascia al metallo in fase vapore un'unica possibilità per l'espansione, ossia mediante la ionizzazione dei propri atomi neutri, con produzione di cationi alcalini che migrano attraverso l'elettrolita solido, ed elettroni liberi.

I cationi alcalini, spinti dalla differenza di pressione, attraversano l'interfaccia selettivamente permeabile accumulandosi in corrispondenza dell'interfaccia con il lato a bassa pressione (ossia all'interfaccia con il catodo), mentre gli elettroni impossibilitati a trasferirsi dall'anodo al catodo si accumulano nel lato ad alta pressione.

Tale processo di carica continua fino a quando la quantità di elettroni nel lato di alta pressione sarà tale da determinare una differenza di potenziale che impedisce l'ulteriore flusso di ioni metallici stabilendo un equilibrio.

Chiudendo il circuito esterno, ossia abilitando la comunicazione fra l'anodo ed il catodo è possibile abilitare il transito degli elettroni liberi con conversione di energia elettrica ai capi degli elettrodi. Il transito degli elettroni liberi dall'anodo al catodo da luogo altresì a una ricombinazione di essi con gli ioni metallici che sono transitati attraverso l'elettrolita

solido, e creando quindi metallo in fase vapore nell'ambiente di bassa pressione. Questo è quindi raffreddato dal condensatore, ritornando allo stato liquido.

Al fine di assicurare il funzionamento in continuo di una cella AMTEC con valori di tensione agli elettrodi costante è necessario predisporre un circuito di ricircolo fra il condensatore e l'evaporatore. Nel circuito di ricircolo è installata una pompa di ricircolo (naturale, ossia gravimetrica, o meccanica-idraulica) che veicola il metallo liquido condensato verso il lato ad alta pressione.

La pompa di ricircolo ha la funzione di reintegrare nel lato ad alta pressione le moli di fluido di lavoro "consumate" attraverso l'interfaccia selettivamente permeabile, ossia le moli di fluido di lavoro che sono transitate verso il lato di bassa pressione per ionizzazione del fluido di lavoro e successiva ricombinazione con gli elettroni.

Se così non fosse, la pressione del fluido di lavoro gassoso nel lato ad alta pressione risulterebbe incontrollabile con il solo condizionamento termico di esso, in quanto per un fluido di lavoro gassoso - in base alle equazioni di stato dei gas - la pressione è funzione sia della temperatura assoluta, sia del numero di moli. Ciò vale sia qualora il modello sfrutti l'equazione di stato dei gas ideali (1), (2), sia nel caso in cui si utilizzino relazioni più complesse quali l'equazione di Van Der Waals.

$$pV = nRT \quad (1)$$

$$p = nRT/V \quad (2)$$

con p = pressione; V = volume del gas; n = numero di moli del gas; R = costante gas ideali; T = temperatura assoluta.

Allo stesso modo la pressione del fluido di lavoro gassoso nel lato a bassa pressione salirebbe a causa dell'aumento del numero di moli (1) e (2), e anche essa risulterebbe non controllabile. La tensione elettrica generata agli elettrodi a circuito aperto, E_o , secondo la legge di Nernst

$$E_o = RT/zF \ln(P_a/P_c) \quad (3)$$

con P_a pressione anodica, P_c Pressione Catodica, R costante dei Gas, F costante di Faraday, z valenza del metallo, T temperatura della elettrolita, dipende dal logaritmo del rapporto di pressione.

In assenza di un sistema di rigenerazione della cella, tale rapporto tenderebbe all'unità (ossia a 1) col passare del tempo e conseguentemente la tensione generata a zero, a causa del progressivo esaurimento della cella.

Dunque, soltanto se il numero di moli gassose dinamicamente permanenti nel lato di alta pressione e in quello a bassa pressione è mediamente costante nel tempo diviene possibile stabilire una corrispondenza biunivoca fra la temperatura di condizionamento del lato di alta pressione e la pressione che insiste all'interno di esso e, similmente, del lato a bassa pressione e la pressione che insiste all'interno di esso.

Diversamente, la pressione varierebbe in funzione del consumo di moli gassose, diminuendo nel tempo ed esitando quindi in valori di tensione fra gli elettrodi non costanti, in particolare decrescenti, nel tempo.

Si tenga presente infatti che il rateo di ionizzazione

del metallo gassoso dipende strettamente dalla pressione, in quanto - come detto - la ionizzazione che interessa gli atomi neutri di metallo è la conseguenza dell'espansione del gas attraverso l'elettrolita solido per effetto della differenza di pressione fra i due lati dell'elettrolita stesso.

Agli indubbi vantaggi di una cella AMTEC, ossia:

- conversione diretta di energia termica in energia elettrica senza parti in movimento,

- assenza di materia al di fuori dell'involucro della cella,

- valori di temperatura delle pareti della sezione calda e fredda sufficienti per permettere cascami termici di altri processi, ad esempio per il condizionamento di uno o più fluidi termovettori che lambiscono la cella,

fanno da contrappunto diversi problemi tecnici che sono suscettibili di limitarne l'impiego operativo. Nel novero di tali problemi compaiono:

- il degrado dell'elettrolita solido che realizza l'interfaccia selettivamente permeabile con conseguente diminuzione del rendimento dovuto all'utilizzo di metalli alcalini aggressivi sia per elettrodi e le membrane, che per involucro di cella,

- problemi di sicurezza, dovuti all'utilizzo di soluzioni di metalli alcalini che sono fortemente corrosive oltre certe concentrazioni di soglia,

- i costi di produzione delle celle che attualmente sono stimabili in € 4000-10000 per kW di potenza elettrica,

- scarsa potenza elettrica specifica per unità di peso, attualmente pari a 16 W/Kg.

Tuttavia, è proprio la presenza di un circuito di ricircolo a costituire un problema tecnico soverchio

rispetto agli altri. Il circuito di ricircolo, e in particolare la pompa di ricircolo, è per definizione un componente vulnerabile nell'economia generale della cella AMTEC, in quanto è l'unico componente (nel caso di pompa meccanica idraulica) dotato di parti mobili e soggetto per conseguenza a guasti per usura e/o malfunzionamenti delle parti mobili stesse, mentre per le pompe gravimetriche condiziona la posizione della cella che deve restare immobile, ovvero mantenere un angolo costante tra l'asse verticale e la direzione dell'accelerazione di gravità.

Questo limita fortemente l'impiego delle celle AMTEC in ambienti ostili, per i quali si richiede affidabilità pressoché assoluta (si pensi ad esempio alle applicazioni spaziali).

Nemmeno gli effetti di questo problema tecnico possono dirsi mitigati dalle celle AMTEC note in cui il ricircolo avviene per gravità. In questo tipo di celle AMTEC l'assetto della cella è pressoché imm modificabile se si vuole assicurare una portata di ricircolo costante, per cui la cella non può essere utilizzata in tutto il novero di applicazioni in cui essa si trovi su un sistema in movimento con assetto variabile.

Scopo dell'invenzione

Lo scopo della presente invenzione è quello di risolvere i problemi tecnici precedentemente menzionati.

In particolare, lo scopo della presente invenzione è quello di fornire un dispositivo termoelettrico di conversione di energia in cui sia possibile controllare la pressione all'interno dell'ambiente di alta e bassa pressione indipendentemente dal numero di moli di fluido di lavoro gassoso.

Sintesi dell'invenzione

Lo scopo della presente invenzione è raggiunto da un dispositivo di conversione di energia, da un sistema e da un procedimento in base a una o più delle rivendicazioni che seguono, le quali formano parte integrante dell'insegnamento tecnico qui somministrato in relazione all'invenzione.

Breve descrizione delle figure

L'invenzione sarà ora descritta con riferimento alle figure annesse, provviste a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista prospettica di un dispositivo di conversione di energia in base ad una forma di esecuzione dell'invenzione,

- la figura 2 è una vista prospettica esplosa del dispositivo di figura 1,

- la figura 3 è una vista in sezione del dispositivo di figura 1,

- la figura 4 è una vista prospettica individuale di un sottoassieme del dispositivo di figura 1,

- la figura 5 è una vista prospettica di una componente del dispositivo di figura 1,

- la figura 6 è una vista in sezione longitudinale del componente di figura 5,

- la figura 7 è una vista ingrandita del dettaglio indicato dalla freccia VII in figura 6,

- la figura 8 è una vista prospettica di un elettrodo del dispositivo di figura 1,

- le figure 9 e 10 illustrano schematicamente due modalità di collegamento elettrico fra dispositivi di generazione di energia in base all'invenzione,

- le figure 11 e 12 illustrano uno schema elettrico equivalente di varie connessioni elettriche di dispositivi

in base all'invenzione,

- la figura 11A illustra uno schema circuitale del dispositivo di conversione in base all'invenzione,

- le figure 11B, 11C illustrano curve di caratterizzazione di dispositivi in base all'invenzione impieganti diversi fluidi di lavoro, mentre la figura 11D illustra uno schema elettrico di maggior dettaglio corrispondente agli schemi della figura 11,

- la figura 13 illustra un sistema di conversione di energia in base ad una forma di esecuzione dell'invenzione,

- la figura 14 è una vista prospettica ingrandita del dettaglio indicato dalla freccia XIV in figura 13, e

- la figura 15 è una rappresentazione schematica di un ulteriore sistema di conversione in base all'invenzione.

Descrizione particolareggiata

Con riferimento alla figura 1, il numero di riferimento 1 designa nel complesso una forma d'esecuzione preferita di un dispositivo di conversione di energia in base all'invenzione.

Con riferimento alle figure 1 a 3, il dispositivo di conversione 1 comprende una prima riserva 2 avente un primo volume V_2 per un fluido di lavoro e una seconda riserva 4 avente un volume V_4 per il fluido di lavoro. Le riserve 2 e 4 sono fissate da parti opposte di una piastra separatrice 6. In particolare, le riserve 2, 4 sono assicurate in posizione mediante staffe a C che impegnano flange F_2 , F_4 delle riserve 2, 4 rispettivamente.

Il dispositivo di conversione 1 comprende almeno un'interfaccia selettivamente permeabile 8 che separa i volumi V_2 e V_4 .

Con riferimento alle figure 2 a 7, ciascuna interfaccia selettivamente permeabile 8 è realizzata come

un corpo tubolare cilindrico avente asse longitudinale X8, una prima estremità aperta 10 ed una seconda estremità chiusa 12. La realizzazione dell'interfaccia selettivamente permeabile 8 come corpo tubolare aumenta notevolmente l'area efficace dell'interfaccia stessa.

Il corpo tubolare comprende una prima porzione 8A si estende dall'estremità 10 all'estremità 12 e che è costituito da un elettrolita solido (β -allumina drogata con cationi del metallo fluido di lavoro), e una seconda porzione 8B saldata con giunzione metallo-ceramica J (ad esempio realizzata per brasatura a vuoto) alla prima porzione 8A. La porzione 8B è realizzata preferibilmente dello stesso metallo di cui è costituita la piastra 6 ed è configurata sostanzialmente come un manicotto che cinge la porzione 8A in corrispondenza dell'estremità 10 per una lunghezza assiale L1.

I corpi tubolari realizzanti le interfacce 8 sono portati e saldati alla piastra 6 e saldati ad essa, e in particolare le porzioni 8B sono calzate in una disposizione di fori passanti realizzata sulla piastra 6 e saldate ad essa. La disposizione qui illustrata è del tipo a quinconcia, ma sono naturalmente possibili disposizioni alternative in funzione delle esigenze.

Ciascuna interfaccia selettivamente permeabile 8 è realizzata con un elettrolita solido, preferibilmente β -allumina drogata con cationi del metallo scelto come fluido di lavoro, ed è pertanto pervia solo rispetto agli ioni metallici del fluido di lavoro scelto in fase vapore. L'interfaccia 8 è invece impermeabile/impervia agli atomi neutri del fluido di lavoro metallico in fase vapore e agli elettroni liberi (trattandosi di un isolante elettrico).

Al corpo tubolare dell'interfaccia 8 sono accoppiati

un primo elettrodo 14 esposto al volume V2 ed un secondo elettrodo 16 esposto al volume V4. Ciascun complesso comprendente un elettrodo 14, un elettrodo 16, e la relativa interfaccia 8 definisce un'unità di conversione di energia del dispositivo 1.

Il primo elettrodo 14 è disposto a contatto con il corpo tubolare dell'interfaccia 8 all'interno di esso, mentre l'elettrodo 16 è disposto a contatto con il corpo tubolare dell'interfaccia 8 all'esterno di esso.

A riguardo, ciascuno degli elettrodi 14, 16 è realizzato come un elemento tubolare, ma a differenza dell'interfaccia 8 ciascun elettrodo ha entrambe le estremità aperte.

Ciascuno degli elettrodi 14, 16 ha struttura porosa o altrimenti aperturata. A titolo esemplificativo, la struttura dell'elettrodo 16 è visibile sia in figura 5, sia in figura 8, ove è illustrato il reticolo di aperture passanti che punteggia la superficie dell'elettrodo stesso.

Si osservi, con particolare riferimento alla figura 3, che in una forma di esecuzione preferita i corpi tubolari cilindrici 8 sono affacciati in parte maggioritaria entro il volume V4, ove risiedono tutte le estremità cieche 12 e gli elettrodi 14, 16. Tuttavia, una parte del corpo tubolare 8 in corrispondenza dell'estremità 10 sporge entro il volume 2 per ragioni che diverranno evidenti nella descrizione che segue.

Con riferimento alla figura 7, l'elettrodo 14 è integrale con un terminale ricurvo 18 che costituisce l'interfaccia esterna dell'elettrodo 14. Il terminale ricurvo si estende radialmente verso l'asse X8, compie una prima curva riallineandosi all'asse X8, quindi una seconda curva che lo riallinea alla direzione radiale avviandolo

attraverso la parete del corpo tubolare dell'interfaccia 8.

A tale riguardo, il terminale elettrico (morsetto) 18 è elettricamente isolato dall'interfaccia 8 mediante l'interposizione di una boccola isolante 20 (c.d. feed-through), sostanzialmente al fine di evitare la creazione di un diverso percorso conduttivo con corto circuito elettrico della cella. Il feed-through in sostanza mantiene la tenuta meccanica (differenza di pressione) permettendo ad un conduttore elettrico di essere in contatto con l'elettrodo 14, pur rimanendo isolato elettricamente dall'elettrodo 16 e dal terminale elettrico 22.

L'elettrodo 16 è invece provvisto di un terminale 22 disposto direttamente sulla superficie esterna di esso e anch'esso costituente l'interfaccia con l'esterno dell'elettrodo 16 stesso.

Come visibile dalle figure 6 e 7, l'elettrodo 14 è esposto al volume V2 tramite la bocca 10 del corpo tubolare dell'interfaccia 8, mentre l'elettrodo 16 è esposto al volume V4. L'estremità chiusa 12 e la parete del corpo tubolare 8 schermano gli elettrodi 14, 16 l'uno rispetto all'altro.

Con riferimento alla figura 4 ed alle figure 9 a 12, la predisposizione dei terminali 18 e 22 consente di realizzare qualsivoglia collegamento elettrico fra le unità di conversione di energia interne al singolocella dispositivo di conversione 1 per erogare i valori di tensione e densità di corrente desiderati ai capi di ogni dispositivo 1.

In particolare, disponendo i terminali 18, 22 a una distanza assiale sufficiente lungo lo sviluppo longitudinale delle unità di conversione è possibile realizzare due reti di collegamento elettrico separate N14

ed N16 fra elettrodi omologhi delle varie unità di conversione, ove la rete N14 collega elettricamente gli elettrodi 14, mentre la rete N16 collega elettricamente gli elettrodi 16.

In tal modo possono essere realizzati collegamenti in serie, in parallelo, o ancora collegamenti misti serie-parallelo fra le unità di conversione.

Gli stessi dispositivi 1 possono essere oggetto di collegamento elettrico secondo qualsivoglia modalità, in funzione delle esigenze, per erogare valori di potenza desiderata alla tensione e alla corrente operative. Alcuni esempi di collegamento elettrico sono oggetto delle figure 9 a 12.

La figura 9 è esemplificativa di un collegamento in serie di quattro dispositivi di conversione 1, mentre la figura 10 è esemplificativa di un collegamento in parallelo dei medesimi quattro dispositivi.

Quale che sia la modalità di collegamento, l'unità del circuito è rappresentata dal dispositivo di trattamento 1 schematizzato e in figura 9A. Ai capi del circuito elettrico sono collegati in serie un interruttore SW e un carico elettrico LD - quest'ultimo rappresentativo di un'utenza elettrica (o un inverter per la conversione della corrente continua in corrente alternata, collegato a sua volta alla rete elettrica e che com'è noto viene percepito dal sistema serie-parallelo di celle, come un carico elettrico esterno) che assorbe l'energia elettrica convertita dai dispositivi 1 - attraverso il quale transita una densità di corrente totale di sistema i_{tot} .

Dagli schemi delle figure 9 e 10 sono visibili due parametri notevoli del circuito delle rispettive figure, ossia una tensione totale ai capi del circuito - indicata

dal riferimento V_{tot} e corrispondente alla tensione in ingresso all'utenza elettrica - e la summenzionata densità di corrente totale di sistema i_{tot} . Come noto, la densità di corrente i_{tot} è costante e pari alla corrente che scorre nei dispositivi 1 del collegamento in serie di figura 9 divisa per un'area superficiale di riferimento (sezione trasversale dell'elettrolita solido, se a configurazione piana, ovvero superficie laterale dello stesso, se a configurazione tubolare), mentre è pari alla somma delle singole correnti transistanti nei dispositivi 1 nel caso del collegamento in parallelo di figura 10, divisa per un'area superficiale di riferimento (sezione trasversale dell'elettrolita solido, se a configurazione piana, ovvero superficie laterale dello stesso, se a configurazione tubolare).

Viceversa, la tensione V_{tot} è pari alla somma delle singole tensioni ai capi di ogni dispositivo 1 nel collegamento in serie di figura 9, mentre nel collegamento in parallelo della figura 10 la tensione V_{tot} è la medesima che insiste ai capi di ogni singolo dispositivo 1.

Le figure 11 e 12 illustrano una rappresentazione circuitale equivalente degli schemi di collegamento in serie e parallelo delle figure 9 e 10 rispettivamente, solamente in questo caso riferiti a un collegamento in serie (figura 11) o in parallelo (figura 12) di ventiquattro dispositivi 1.

La figura 11A illustra lo schema circuitale del singolo dispositivo, schematizzabile come un generatore di tensione ideale e un carico resistivo connesso in serie ad esso e fornisce inoltre alcuni parametri operativi limite consistenti in un campo di temperatura operativa $T(\text{anodo/catodo})$, in una tensione nominale V ed in una

densità di corrente nominale i all'interno di ogni dispositivo 1. Questi ultimi parametri sono declinati rispetto, ad esempio, all'utilizzo di sodio (V_{sodium} , i_{sodium}) o di piombo (V_{lead} , i_{lead}) come fluido di lavoro.

A puro titolo esemplificativo, in una forma di esecuzione in base all'invenzione, due possibili set di condizioni operative di erogazione di massima densità di potenza (P_{d_max}) per dispositivi al sodio e al piombo sono, per il singolo tubo generatore 8 (figura 11A):

Sodio

Temperatura (anodo/catodo) = 1000/500 K

$V_{\text{sodium}} = 0.325$ V

$i_{\text{sodium}} = 750$ mA/cm²

$P_{d_max} = 244$ mW/cm²

Piombo

Temperatura (anodo/catodo) = 973/773 K

$V_{\text{lead}} = 0.051$ V

$i_{\text{lead}} = 33.5$ mA/cm²

$P_{d_max} = 1.70$ mW/cm²

come evincibile dalle figure 11B, 11C che illustrano le curve di polarizzazione tensione-densità di corrente e le curve di potenza (densità di potenza-densità di corrente) computate sperimentalmente per sistemi al sodio, litio e potassio ($T_{\text{anodo}}=1000$ K, $T_{\text{catodo}}=500$ K) e per sistemi allo zinco, cadmio e piombo ($T_{\text{anodo}}=973$ K, $T_{\text{catodo}}=773$ K).

Si osserverà peraltro che il dispositivo 1 in base all'invenzione può operare indifferentemente con metalli alcalini (gruppo IA della tavola periodica) e con metalli non alcalini, quali ad esempio i metalli bassofondenti

monovalenti e bivalenti del gruppo IIB e dei gruppi IIIA e IVA della tavola periodica (Zinco, Cadmio, Mercurio, Gallio, Indio, Tallio, Stagno, Piombo) .

Il funzionamento del dispositivo di conversione 1 è il seguente.

Ciascun dispositivo 1 si caratterizza, rispetto ai dispositivi noti (incluse le celle AMTEC), per due aspetti fondamentali, ossia:

- è privo di impianto di ricircolo: l'unica comunicazione fra la prima riserva 2 e la seconda riserva 4, quindi fra i volumi V2 e V4, è ammessa attraverso l'una o più interfacce 8 (quindi attraverso le unità di conversione),

- è altresì privo di componenti identificabili in senso stretto come un evaporatore e un condensatore, ed è configurato per operare, in entrambe le riserve 2, 4, con fluido bifasico; questa è una caratteristica fondamentale dell'invenzione, in quanto - come si vedrà a breve - è ciò che funzionalmente consente di eliminare l'impianto di ricircolo. Come noto, i dispositivi in accordo con lo stato dell'arte operano con fluido di lavoro che compie un vero e proprio ciclo termodinamico di espansione, condensazione, compressione, evaporazione.

Per descrivere il funzionamento si farà riferimento - puramente per esigenze narrative - a un ciclo completo di carica e scarica di un dispositivo 1 assumendo che la condizione iniziale sia quella di presenza di fluido di lavoro all'interno del primo volume V2. Il dispositivo 1 si trova in posizione rispetto a quanto illustrato in figura 3 (assumendo come riferimento la tavola di disegno in posizione orizzontale, ossia con le riserve 2, 4 in posizione polare (allineate lungo la direttrice

alto/basso).

Il fluido di lavoro all'interno del volume V2 è un metallo bassofondente allo stato liquido come ad esempio sodio, litio o potassio (metalli alcalini), o anche piombo, stagno o zinco (metalli non alcalini).

Il processo di carica del dispositivo 1 ha luogo predisponendo un fluido di lavoro nella prima riserva 2 e condizionandola termicamente mediante somministrazione di energia termica. La riserva 4 è invece condizionata termicamente per assorbimento di energia termica da essa.

Il condizionamento termico della prima riserva 2 è contestuale all'assoggettamento della stessa a un determinato grado di vuoto iniziale (pressioni ad esempio dell'ordine di 1 Pa ovvero 10^{-5} bar) e ha inizio da condizioni di temperatura ambiente. Il condizionamento termico della prima riserva 2 può aver luogo ad esempio mediante l'esposizione di questa alla radiazione solare, oppure mediante riscaldamento con altri sistemi noti, ad esempio un fluido termovettore, quand'anche impiegato per recupero di cascami di calore o per contatto diretto con una parete calda o ancora con una fiamma.

Il condizionamento termico della riserva 2 e del volume V2 da inizio al passaggio di stato solido-liquido, e una volta che il metallo è completamente fuso, al passaggio di stato liquido-vapore del metallo che costituisce il fluido di lavoro. Una volta raggiunto l'equilibrio termico, il liquido evaporante fa aumentare la pressione fino ad un valore di equilibrio che è pari alla tensione di vapore dello stesso fluido di lavoro metallico alla temperatura media di lavoro tra il lato caldo (riserva 2) e la parete della medesima esposta alla radiazione solare o allo scambio termico con fluido termovettore. In funzione della

quantità di energia somministrata alla riserva 2 per condizionamento termico verrà instaurata una corrispondente condizione di equilibrio fra la fase vapore e la fase liquida, ossia il volume 2 verrà occupato da un determinato numero di moli di fluido di lavoro in fase gassosa in equilibrio con il liquido. Il livello del liquido nel volume V2 (lo stesso vale per il volume V4) è già in partenza (prima dell'evaporazione) nell'ordine di qualche mm o al massimo di 1-1,5 cm, più che sufficiente per gli obiettivi energetici del dispositivo e sufficientemente basso per evitare di lambire le unità di conversione creando indesiderati cortocircuiti degli elettrodi 14, 16.

Fintanto che l'interruttore SW è aperto il fluido di lavoro in fase vapore che è in equilibrio con il liquido all'interno del volume V2 si addensa sui corpi tubolari delle interfacce 8 attraversando la struttura porosa dell'elettrodo 14 e ionizzandosi al momento dell'interazione con l'interfaccia 8. Gli elettroni liberati nella ionizzazione si addensano sull'elettrodo 14, che in questa condizione funge da anodo.

Alla chiusura dell'interruttore SW viene abilitata, in ciascuna unità di conversione del dispositivo 1, una comunicazione elettrica fra anodo 14 e catodo 16, con contestuale flusso degli elettroni liberati nella ionizzazione e ricombinazione dei medesimi con gli ioni di fluido di lavoro metallico in fase vapore che hanno attraversato l'interfaccia 8. Ciò globalmente induce un transito di carica elettrica (corrente elettrica) nell'utenza elettrica LD, che preleva l'energia elettrica convertita dal dispositivo 1.

Il flusso ricombinato di ioni metallici ed elettroni (quindi un flusso in fase vapore di atomi neutri del

metallo utilizzato come fluido di lavoro) invade il volume V4 dove, in ragione del condizionamento termico cui la riserva 4 è sottoposta, esso condensa passando in fase liquida. Il liquido si raccoglie in corrispondenza della piastra 6 alla base delle unità di conversione. A tal proposito, la porzione del corpo tubolare delle interfacce 8 in corrispondenza dell'estremità aperta 10 è schermata tramite saldatura metallo-ceramica J rispetto all'interazione dell'elettrolita solido con il fluido di lavoro metallico liquido condensato, evitando conseguentemente l'eventualità di fenomeni di cortocircuito tra i due elettrodi 14 e 16.

Il dispositivo 1 funziona a tensione continua costante e, se il carico esterno rimane fisso ed assorbe corrente costante (flusso continuo di cationi), fintanto che esiste ancora una frazione (di entità anche piccola) di fluido di lavoro in fase liquida nel volume V2 in equilibrio con la fase vapore, e il livello di liquido del fluido di lavoro nel volume V4 non arriva a lambire l'elettrodo 16.

Al contrario dei dispositivi di tipo noto, il funzionamento basato su fluido bifasico consente di eliminare completamente qualsiasi sistema di ricircolo poiché non è necessario reintegrare le moli di fluido di lavoro in fase vapore "consumate" al catodo per garantire il funzionamento.

Infatti, nel dispositivo 1 in base all'invenzione è la condizione di equilibrio fra la fase liquida e la fase vapore del fluido di lavoro (determinata con il condizionamento termico della riserva 2) a garantire la costanza del numero di moli di fluido in fase vapore. Crucialmente, in questo modo il solo controllo della temperatura di condizionamento (lato anodo e lato catodo)

determina anche la pressione all'interno del volume V2, e per conseguenza determina anche la tensione ai capi degli elettrodi 14, 16 di ciascuna unità di conversione.

Lo stesso vale, si apprezzerà, per il volume V4, dove il condizionamento termico della riserva 4 per assorbimento di energia termica da essa stabilisce la condizione di equilibrio fra fase liquida e fase vapore garantendo la costanza del numero di moli di fluido di lavoro in fase vapore. Questo consente di stabilire la pressione che insiste nel volume V4 per solo condizionamento termico, ossia avendo la temperatura come unica variabile di controllo (così come è per il volume V2).

In altre parole, la variabilità della pressione dovuta alla variazione del numero di moli viene soppressa grazie all'utilizzo di un fluido di lavoro (e in generale un ambiente di lavoro) bifasico tanto all'anodo, quanto al catodo, lasciando la sola temperatura a governare il processo. Rimanendo il numero di moli costante durante tutto il processo di scarica del dispositivo 1, ossia durante il trasferimento del fluido di lavoro dal volume V2 al volume V4, ecco che diviene possibile rinunciare al ricircolo del fluido di lavoro condensato nel volume V4.

Quando tutto il fluido di lavoro originariamente nel volume V2 è stato consumato al catodo 16 dell'una o più unità di conversione il dispositivo 1 è esausto. L'interruttore SW può quindi essere riportato in posizione aperta.

Per procedere a un nuovo utilizzo del dispositivo 1 è sufficiente invertire il condizionamento termico dei volumi V2 e V4, ossia è sufficiente assoggettare il volume V4 a un condizionamento termico per somministrazione di energia, e il volume V2 a un condizionamento termico per assorbimento

di energia. Contestualmente, il dispositivo 1 viene capovolto verticalmente (il riferimento di orientamento è sempre dato dal foglio di figura 3 con orientamento orizzontale) in modo da trovarsi nella condizione di figura 3 con il pelo libero del liquido nel volume V4 pochi millimetri o al più 1-1,5 cm al di sopra del fondo, e ben distante dalle estremità 12 delle unità di conversione.

Il processo di scarica avviene con le medesime modalità sopra descritte, solo invertendo il ruolo delle riserve 2 e 4 e dei volumi V2 e V4, oltre a una differenza nella raccolta del fluido condensato, con polarità degli elettrodi invertita, ma ripristinata a condizioni coerenti rispetto al carico esterno LD attraverso un commutatore di tensione SW_C (figura 11D), che costituisce la forma di esecuzione preferita dell'interruttore SW. Schematicamente, il commutatore SW_C include un doppio contattore, ciascuno con due posizioni operative estreme +, - speculari fra loro, e una posizione neutra N, che realizza la condizione di interruttore aperto. Il doppio contattore commuta in modo coerente, così da risultare sempre nella stessa polarità all'interfaccia con il carico LD.

Il condizionamento termico della riserva 4 e del volume V4 da inizio al passaggio di fase liquido-vapore del metallo che costituisce il fluido di lavoro. Come detto, in funzione della quantità di energia somministrata alla riserva 4 per condizionamento termico verrà instaurata una corrispondente condizione di equilibrio fra la fase vapore e la fase liquida, ossia il volume 4 verrà occupato da un determinato numero di moli di fluido di lavoro in fase gassosa in equilibrio con il liquido.

Come già osservato è la condizione di equilibrio fra la fase liquida e la fase vapore del fluido di lavoro

(determinata con il condizionamento termico della riserva 4) a garantire la costanza del numero di moli di fluido in fase vapore. In questo modo il solo controllo della temperatura di condizionamento (lato anodo e lato catodo) determina anche la pressione all'interno del volume V4, e per conseguenza determina anche la tensione ai capi degli elettrodi 16, 14 di ciascuna unità di conversione.

Lo stesso vale, per quanto descritto, per il volume V2, dove il condizionamento termico della riserva 2 per assorbimento di energia da essa stabilisce la condizione di equilibrio fra fase liquida e fase vapore garantendo la costanza del numero di moli di fluido di lavoro in fase vapore. Questo di nuovo consente di stabilire la pressione che insiste nel volume V2 per solo condizionamento termico, ossia avendo la temperatura come unica variabile di controllo (così come è per il volume V4).

Fintanto che l'interruttore SW è aperto il fluido di lavoro in fase vapore che è in equilibrio con il liquido all'interno del volume V4 si addensa sui corpi tubolari delle interfacce 8 attraversando la struttura porosa dell'elettrodo 16 e ionizzandosi al momento dell'interazione con l'interfaccia 8. Gli elettroni liberati nella ionizzazione si addensano sull'elettrodo 16, che in questa condizione funge da anodo.

Alla chiusura dell'interruttore SW viene abilitata, in ciascuna unità di conversione del dispositivo 1, una comunicazione elettrica fra anodo 16 e catodo 14, con contestuale flusso degli elettroni liberati nella ionizzazione e ricombinazione dei medesimi con gli ioni di fluido di lavoro metallico in fase vapore che hanno attraversato l'interfaccia 8. Ciò globalmente induce un transito di carica elettrica (corrente elettrica)

nell'utenza elettrica LD, che preleva l'energia elettrica convertita dal dispositivo 1.

Il flusso ricombinato di ioni metallici ed elettroni (quindi un flusso in fase vapore di atomi neutri del metallo utilizzato come fluido di lavoro) invade il volume V2 dove, in ragione del condizionamento termico cui la riserva 2 è sottoposta, esso condensa passando in fase liquida. Il liquido si raccoglie in questo caso in corrispondenza della piastra 6 al di sotto delle estremità 10, che sporgono rispetto al filo della piastra 6 per evitare indesiderate ricadute di fluido di lavoro condensato entro il volume interno delle unità di conversione. La schermatura delle estremità 10 rispetto all'interazione dell'elettrolita liquido con il metallo liquido evita ulteriori reazioni.

Quando tutto il fluido di lavoro originariamente nel volume V4 è stato consumato al catodo 14 dell'una o più unità di conversione il dispositivo 1 è nuovamente esausto. L'interruttore SW può quindi essere riportato in posizione aperta.

Per procedere a un nuovo utilizzo del dispositivo 1 è - nuovamente - sufficiente invertire il condizionamento termico dei volumi V4 e V2, ossia è sufficiente ri-assoggettare il volume V2 a un condizionamento termico per somministrazione di energia, e il volume V4 a un condizionamento termico per assorbimento di energia. Contestualmente, il dispositivo 1 viene ri-capovolto verticalmente in modo da trovarsi nella condizione opposta a quella di figura 3 con il pelo libero del liquido nel volume V2 pochi millimetri al di sopra del fondo.

Di fatto, il ciclo termodinamico di un dispositivo AMTEC che assicura un funzionamento in continuo per una

durata indefinita, viene sostituito da un funzionamento a ciclo temporale (durata del transitorio di scarica). Per un dato valore di densità di corrente (ovvero per un dato valore del carico esterno o della potenza assorbita), la durata del ciclo (o durata del transitorio di scarica fino ad esaurimento) dipende dalla quantità di materia caricata nel dispositivo (fluido di lavoro contenuto all'anodo). Alla fine di ogni ciclo il dispositivo va invertito ed la cella è nuovamente carica.

In sintesi, e in via generale, in base all'invenzione è definito un procedimento per la conversione di energia mediante il dispositivo 1 comprendente:

- predisporre un fluido di lavoro in una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4; per quanto descritto, il fluido di lavoro può comprendere metalli alcalini (gruppo IA della tavola periodica) quali sodio, potassio, litio, e metalli non alcalini, quali ad esempio i metalli bassofondenti monovalenti e bivalenti del gruppo IIB e dei gruppi IIIA e IVA della tavola periodica (Zinco, Cadmio, Mercurio, Gallio, Indio, Tallio, Stagno, Piombo), e la quantità di fluido di lavoro risulta in una corrispondente capacità del dispositivo 1, ossia una corrispondente durata del transitorio di scarica,

- condizionare termicamente l'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4 mediante somministrazione di energia termica ad essa, in cui il condizionare termicamente l'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4 instaura nel fluido di lavoro una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, con migrazione della fase gassosa verso l'almeno una interfaccia selettivamente permeabile 8,

- condizionare termicamente l'altra di dette prima

riserva 2 e seconda riserva 4 mediante assorbimento di energia termica da essa; i condizionamenti termici assicurano dunque un flusso di calore dalla porzione calda (lato anodico) alla porzione fredda (lato catodico),

- abilitare un transito di carica elettrica (corrente elettrica) fra il primo elettrodo 14 e il secondo elettrodo 16 associati all'interfaccia selettivamente permeabile 8 (a ciascuna interfaccia selettivamente permeabile 8).

Come descritto, il condizionare termicamente l'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4 mediante somministrazione di energia termica ad essa stabilisce una pressione del fluido di lavoro entro il volume V2, V4 dell'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4, fondamentalmente in ragione della costanza del numero di moli di fluido di lavoro in fase gassosa.

L'interfaccia selettivamente permeabile 8 asseconda un'espansione del fluido di lavoro in fase gassosa nel volume V2, V4 dell'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4 mediante ionizzazione del fluido di lavoro in fase gassosa e liberazione di elettroni verso l'elettrodo 14, 16 esposto al volume V2, V4 dell'una di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4.

L'abilitare un transito di carica elettrica (corrente elettrica) fra il primo elettrodo 14 e il secondo elettrodo 16 (intendendo con ciò anche il transito di carica elettrica (corrente elettrica) nel circuito globale comprendente più unità di conversione e più dispositivi 1) associati all'almeno una interfaccia selettivamente permeabile 8 abilita un transito degli elettroni liberati nella ionizzazione verso l'elettrodo esposto al volume V2, V4 dell'altra di dette prima 2 e seconda riserva 4 e la ricombinazione degli elettroni liberati con gli ioni di

fluido di lavoro in fase gassosa transitanti attraverso l'interfaccia selettivamente permeabile 8.

Il condizionare termicamente l'altra di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4 mediante assorbimento di energia termica da essa instaura nel fluido di lavoro nel rispettivo volume V_2 , V_4 una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, realizzando inoltre una condensazione del fluido di lavoro in fase gassosa transitante verso il volume V_2 , V_4 dell'altra di dette prima riserva 2 e seconda riserva 4.

L'assenza di circuito di ricircolo e di qualsivoglia parte mobile nei dispositivi 1 risolve il problema tecnico più pressante e apre a campi applicativi non coltivabili con i dispositivi noti, come ad esempio le applicazioni con sistemi di concentrazione solare a fuoco mobile.

Inoltre, nel campo dello sfruttamento di energia solare o di cascami termici di altri impianti l'utilizzo del dispositivo 1 risulta esser particolarmente vantaggioso, come illustrato brevemente nelle figure 13, 14, 15 grazie al fatto che è possibile semplicemente ruotare dispositivi di trattamento 1 attorno ad un asse trasversale in modo da esporre selettivamente ad una sorgente termica la riserva 2 o la riserva 4. Sostanzialmente il sistema si configura come una cella (batteria o pila elettrica) rigenerabile per semplice inversione dell'anodo con il catodo

In varie forme di esecuzione, come illustrato nelle figure 13, 14, è possibile costituire sistemi di conversione di energia termica in cui una pluralità di dispositivi 1 è accoppiata ad un dispositivo concentratore solare 100.

Il dispositivo concentratore solare 100 è del tipo

Fresnel (ma si possono utilizzare altre tipologie come collettori parabolici lineari o a disco) e comprende un telaio 102 portante una schiera di dispositivi di riflessione 104 di tipo Fresnel, che sono configurati per concentrare l'energia della radiazione solare incidente ISR (sotto forma di radiazione riflessa RSR) in un fuoco lineare in corrispondenza del quale è collocata una schiera 106 di dispositivi 1. La schiera di dispositivi 106 è girevole attorno a una asse focale γ_{106} in modo da esporre selettivamente alla radiazione solare riflessa le riserve 2 o 4 (nella figura 14 sono esposte le riserve 4).

La schiera di dispositivi 106 può essere dotata di due schiere opposte di piastre di materiale termicamente conduttivo 108, 110 (ad esempio rame) che sono accoppiate all'esterno del fondo delle riserve 2, 4 rispettivamente e che uniformano la temperatura lungo la schiera 106 in direzione focale. Inoltre, siccome - per quanto descritto - la pressione di equilibrio del fluido di lavoro bifasico è pari alla tensione di vapore dello stesso fluido di lavoro alla temperatura media di lavoro tra la riserva ad alta temperatura e la parete della medesima esposta alla radiazione solare o allo scambio termico con fluido termovettore, nel caso della predisposizione delle piastre 108, 110 la temperatura più uniforme consente di avere valori di pressione di equilibrio ancor meglio controllabili con la sola modulazione di temperatura.

La figura 15 illustra invece un esempio di sfruttamento del dispositivo 1 per l'interazione con cascami termici di altri impianti. In questo caso, il condizionamento per somministrazione di energia termica è realizzato per esposizione alla radiazione solare, mentre il condizionamento per assorbimento di energia è realizzato

tramite un fluido termovettore in tubi TB, ad esempio olio.

Naturalmente, i particolari di realizzazione e le forme di esecuzione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione così come definita dalle rivendicazioni annesse.

Ad esempio, in luogo della forma tubolare cilindrica qui descritta le unità di conversione possono avere forma discoidale piana, con un'interfaccia 8 disposta a guisa di membrana fra due elettrodi 14, 16 piani. In tali forme si esegue, è possibile alloggiare le siffatte unità di conversione discoidali in fori sulla piastra separatrice 6 o può essere la stessa unità di conversione ad essere unica (ed estesa all'intera sezione trasversale delle riserve 2, 4) a fungere da piastra separatrice 6.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di conversione (1) di energia comprendente:

- una prima riserva (2) avente un primo volume (V2) per un fluido di lavoro

- una seconda riserva (4) avente un secondo volume (V4) per il fluido di lavoro,

- almeno un'interfaccia selettivamente permeabile (8), pervia rispetto a ioni di detto fluido di lavoro, realizzante una comunicazione di fluido fra detta prima riserva (2) e detta seconda riserva (4), detta interfaccia selettivamente permeabile (8) includendo un elettrolita solido,

in cui a ciascuna interfaccia selettivamente permeabile (8) sono accoppiati un primo elettrodo (14) esposto a detto primo volume (V2), e un secondo elettrodo (16) esposto a detto secondo volume (V4), e in cui detto secondo elettrodo (16) è disposto da una parte opposta dell'interfaccia selettivamente permeabile (8) rispetto al primo elettrodo (14).

2. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 1, in cui una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) è configurata, in uso, per un condizionamento termico alternativamente per somministrazione di energia termica ad essa e per assorbimento di energia termica da essa, e l'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) è configurata per un condizionamento termico alternativamente per assorbimento di energia termica da essa e per somministrazione di energia termica ad essa.

3. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 2, in cui durante l'uso il condizionamento

termico mediante somministrazione di energia termica all'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) instaura nel fluido di lavoro contenuto nel rispettivo volume (V2, V4) una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, con migrazione della fase gassosa verso detta almeno una interfaccia selettivamente permeabile (8).

4. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 2 o la rivendicazione 3, in cui durante l'uso il condizionamento termico mediante assorbimento di energia termica dall'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) instaura nel fluido di lavoro nel rispettivo volume (V4, V2) una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, realizzando una condensazione del fluido di lavoro in fase gassosa transitante verso il volume (V2, V4) dell'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) quando è abilitato un transito di carica elettrica fra il primo elettrodo (14) e il secondo elettrodo (16) associati all'almeno una interfaccia selettivamente permeabile (8).

5. Dispositivo di conversione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 4, in cui detta prima riserva (2, V2) e detta seconda riserva (4, V4) sono in comunicazione di fluido unicamente attraverso detta almeno un'interfaccia selettivamente permeabile (8).

6. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 5, in cui ciascuna interfaccia selettivamente permeabile (8) comprende un corpo tubolare avente una prima estremità aperta (10) e una seconda estremità chiusa (12).

7. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 6, in cui ciascun corpo tubolare (8) è

portato da una piastra separatrice (6) sulla quale sono fissate, da parti opposte di essa, detta prima riserva (2) e detta seconda riserva (4), ciascun corpo tubolare sporgendo in parte (10) in detto primo volume (V2) e in parte (12) in detto secondo volume (V4).

8. Dispositivo di conversione (1) secondo la rivendicazione 6 o la rivendicazione 7, in cui detto primo elettrodo (14) e detto secondo elettrodo (16) hanno forma tubolare.

9. Dispositivo di conversione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto primo elettrodo (14) e detto secondo elettrodo (16) hanno struttura porosa o aperturata.

10. Dispositivo di conversione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta prima riserva (2) e detta seconda riserva (4) sono realizzate di materiale termicamente conduttivo.

11. Sistema di conversione di energia (100) comprendente una pluralità di dispositivi di conversione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti connessi elettricamente fra loro.

12. Sistema di conversione di energia secondo la rivendicazione 11, comprendente inoltre un dispositivo concentratore di radiazione solare (104) configurato per concentrare la radiazione solare in corrispondenza dell'una o dell'altra di dette prima (2) e seconda riserva (4).

13. Procedimento per la conversione di energia mediante un dispositivo di conversione (1) secondo una o più delle rivendicazioni 1 a 10, il procedimento comprendendo:

- predisporre un fluido di lavoro in una di dette prima (2) e seconda riserva (4),
- condizionare termicamente l'una di dette prima riserva

(2) e seconda riserva (4) mediante somministrazione di energia termica ad essa, in cui detto condizionare termicamente l'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) instaura in detto fluido di lavoro una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, con migrazione della fase gassosa verso detta almeno una interfaccia selettivamente permeabile (8),

- condizionare termicamente l'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) mediante assorbimento di energia termica da essa,

- abilitare un transito di carica elettrica fra il primo elettrodo (14) e il secondo elettrodo (16) associati all'interfaccia selettivamente permeabile (8).

14. Procedimento secondo la rivendicazione 13, in cui:

- detto condizionare termicamente l'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) mediante somministrazione di energia termica ad essa stabilisce una pressione del fluido di lavoro entro il volume (V2, V4) dell'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4),

- detta interfaccia selettivamente permeabile (8) asseconda un'espansione del fluido di lavoro in fase gassosa nel volume (V2, V4) dell'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) mediante ionizzazione di detto fluido di lavoro in fase gassosa e liberazione di elettroni verso l'elettrodo (14, 16) esposto al volume (V2, V4) dell'una di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4),

15. Procedimento secondo la rivendicazione 13 o la rivendicazione 14, in cui detto abilitare un transito di carica elettrica fra il primo elettrodo (14) e il secondo elettrodo (16) associati all'almeno una interfaccia selettivamente permeabile (8) abilita un transito degli elettroni liberati nella ionizzazione verso l'elettrodo

esposto al volume (V4, V2) dell'altra di dette prima (2) e seconda riserva (4) e la ricombinazione degli elettroni liberati con gli ioni di fluido di lavoro in fase gassosa transitanti attraverso l'interfaccia selettivamente permeabile (8).

16. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 13 a 15, in cui detto condizionare termicamente l'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4) mediante assorbimento di energia termica da essa instaura nel fluido di lavoro nel rispettivo volume (V4, V2) una condizione di equilibrio fra una fase liquida e una fase gassosa, e realizza una condensazione del fluido di lavoro in fase gassosa transitante verso il volume (V2, V4) dell'altra di dette prima riserva (2) e seconda riserva (4).

17. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 13 a 16, in cui detto fluido di lavoro comprende un metallo basso fondente, con temperatura di fusione a pressione atmosferica inferiore a 700 °C.

18. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 13 a 17, comprendendo inoltre invertire il condizionamento della prima riserva (2) e della seconda riserva (4) all'esaurimento del fluido di lavoro in fase gassosa nel volume dell'una di dette prima (2) e seconda riserva (4).

FIG. 1

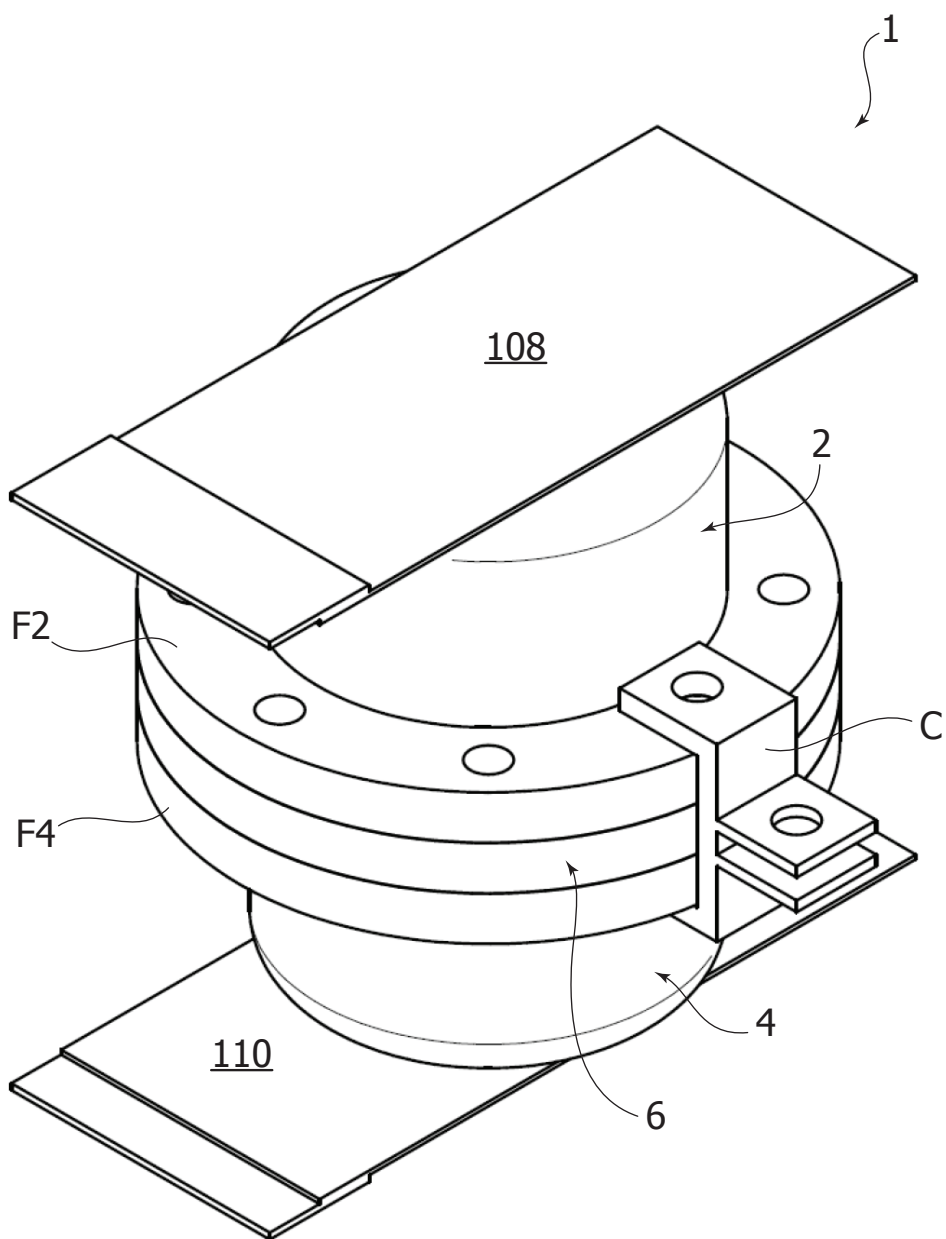


FIG. 2

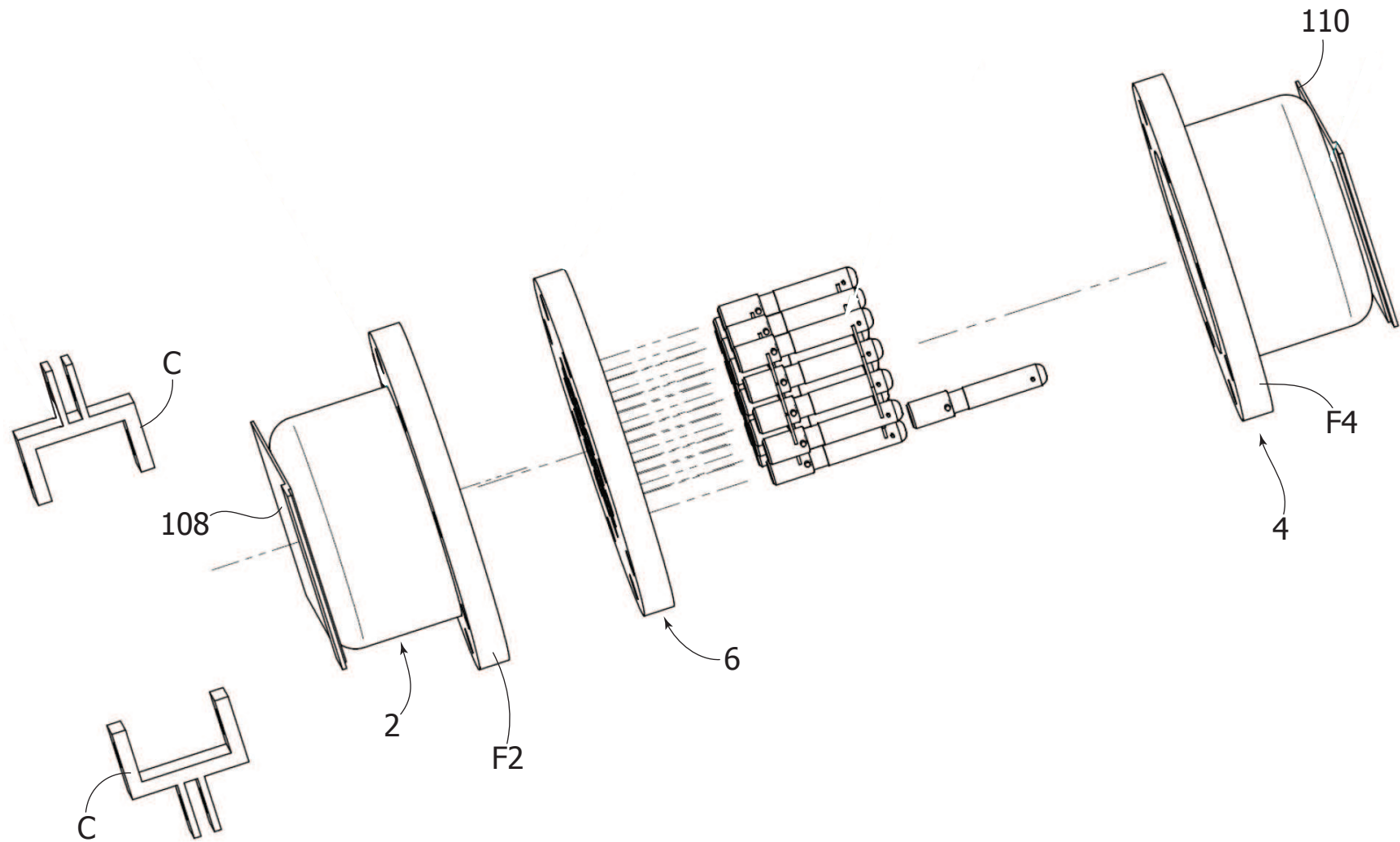


FIG. 3

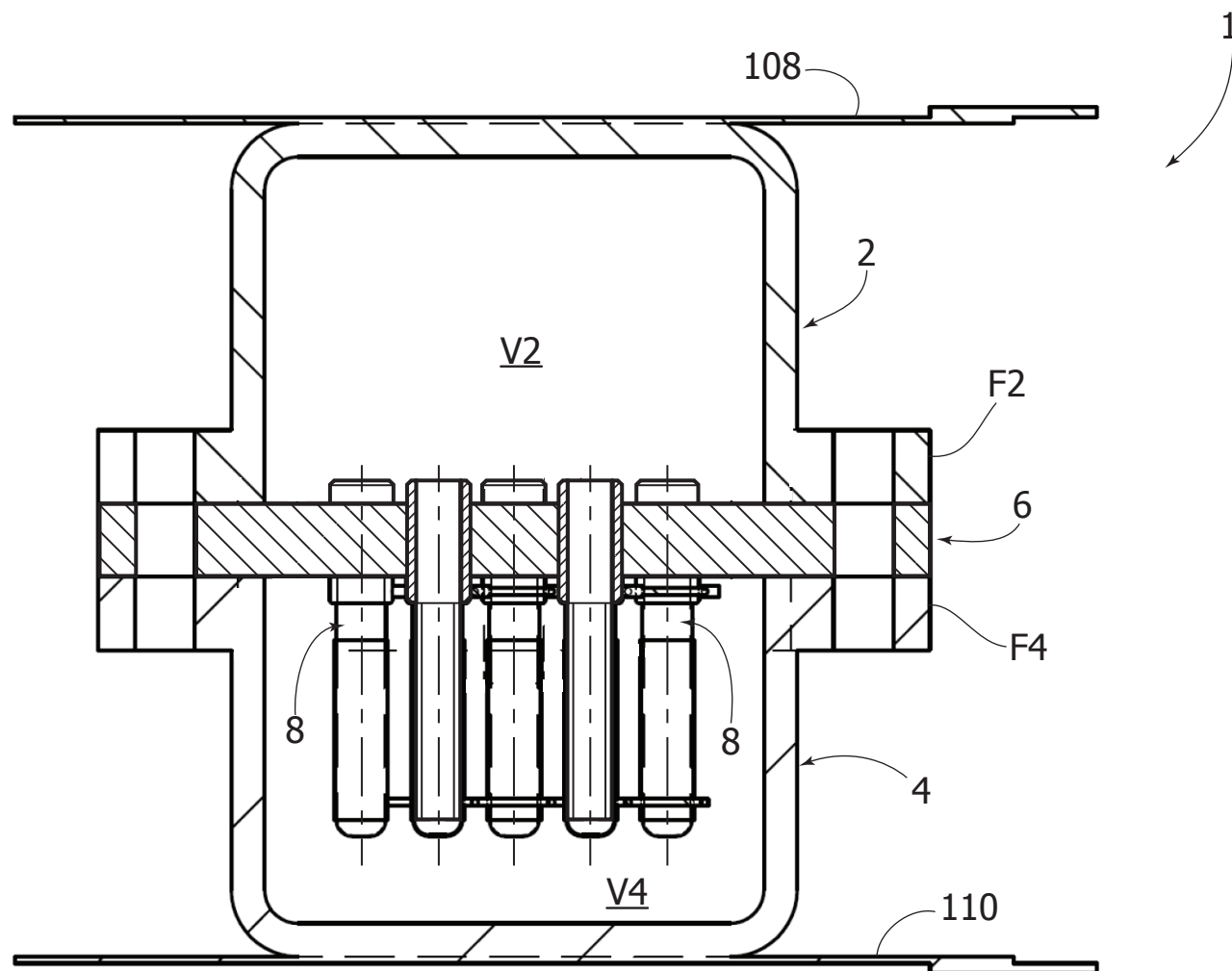


FIG. 4

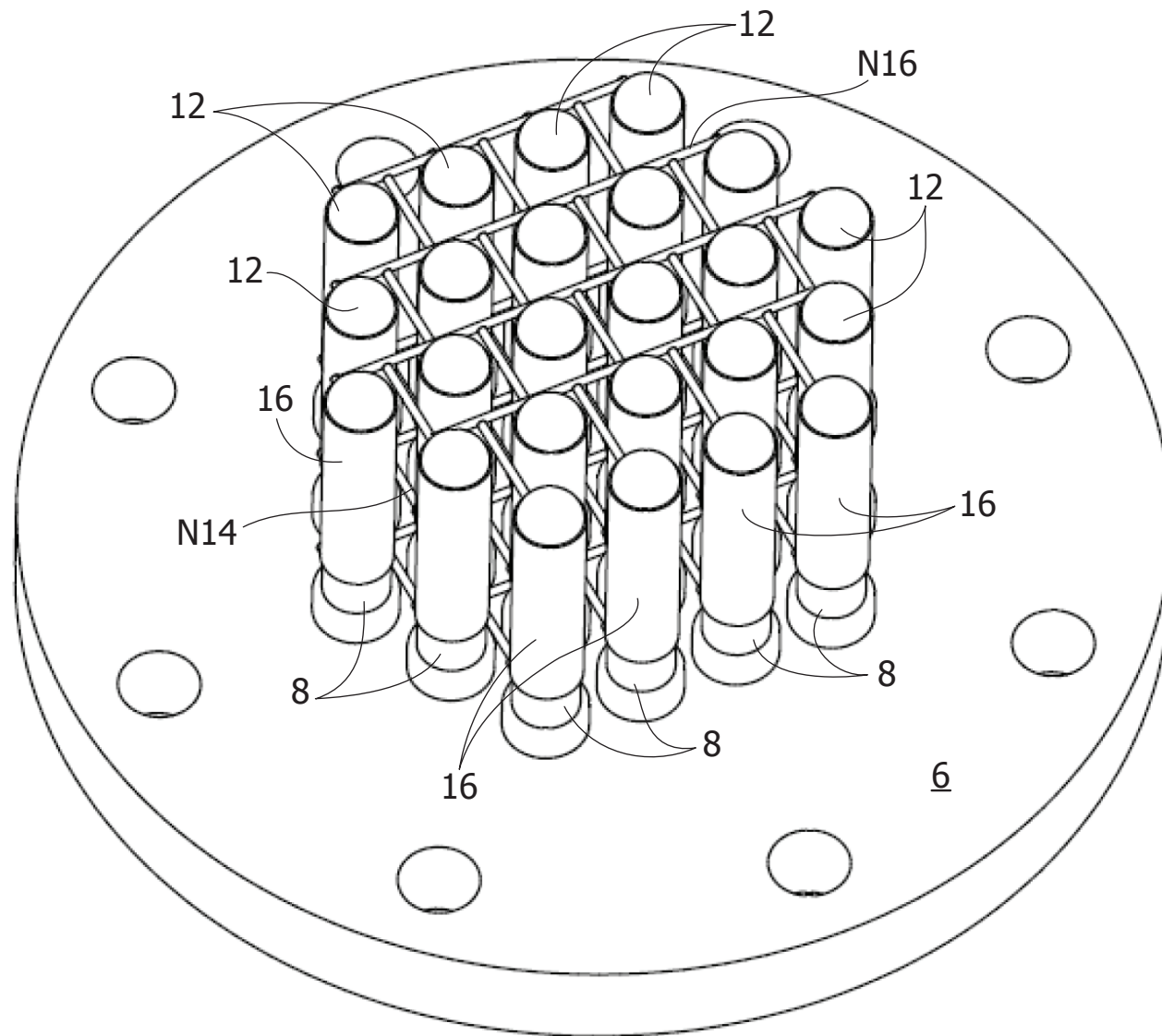


FIG. 5

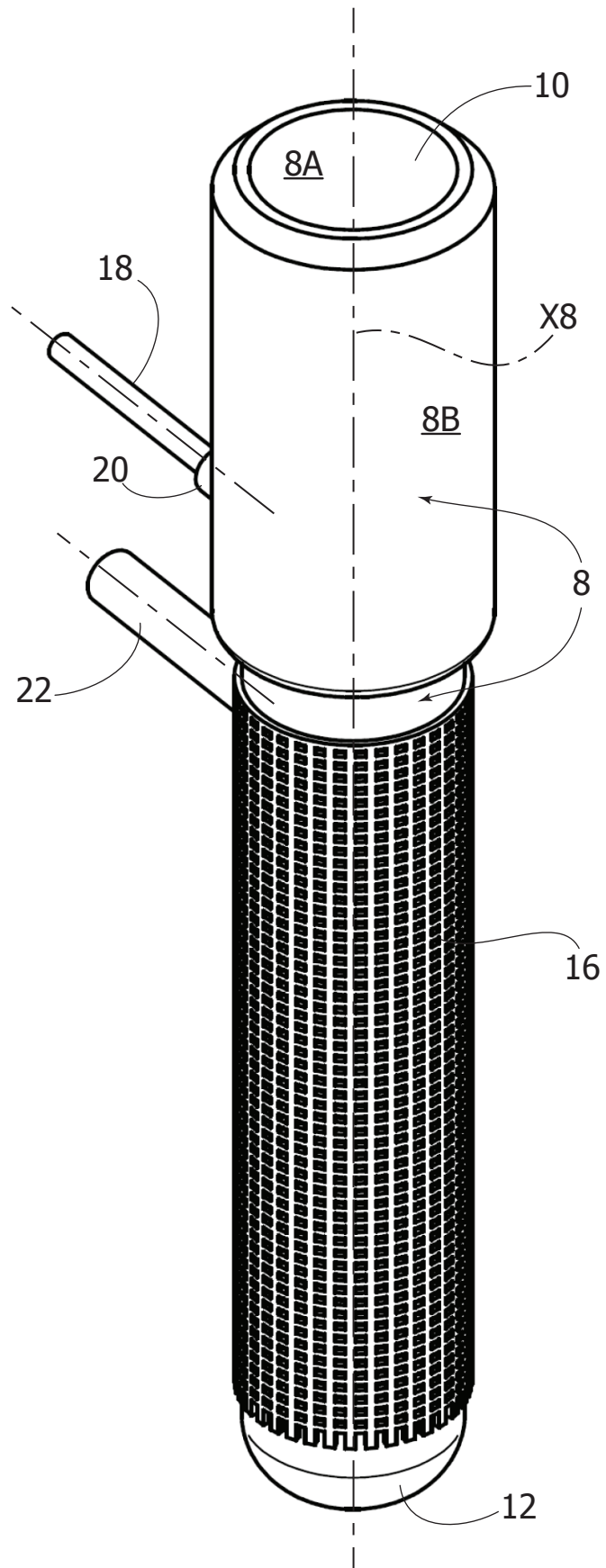


FIG. 6

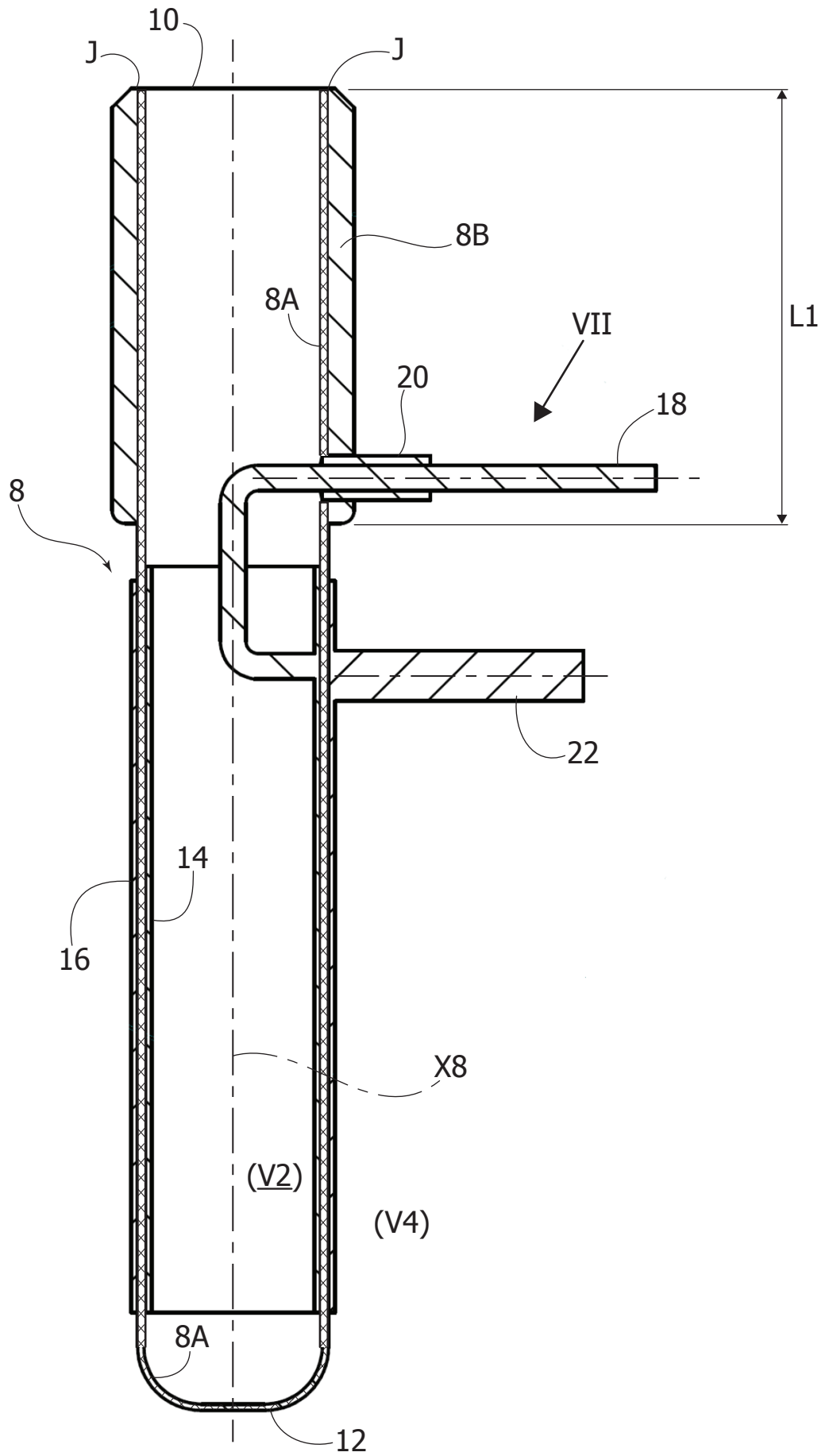
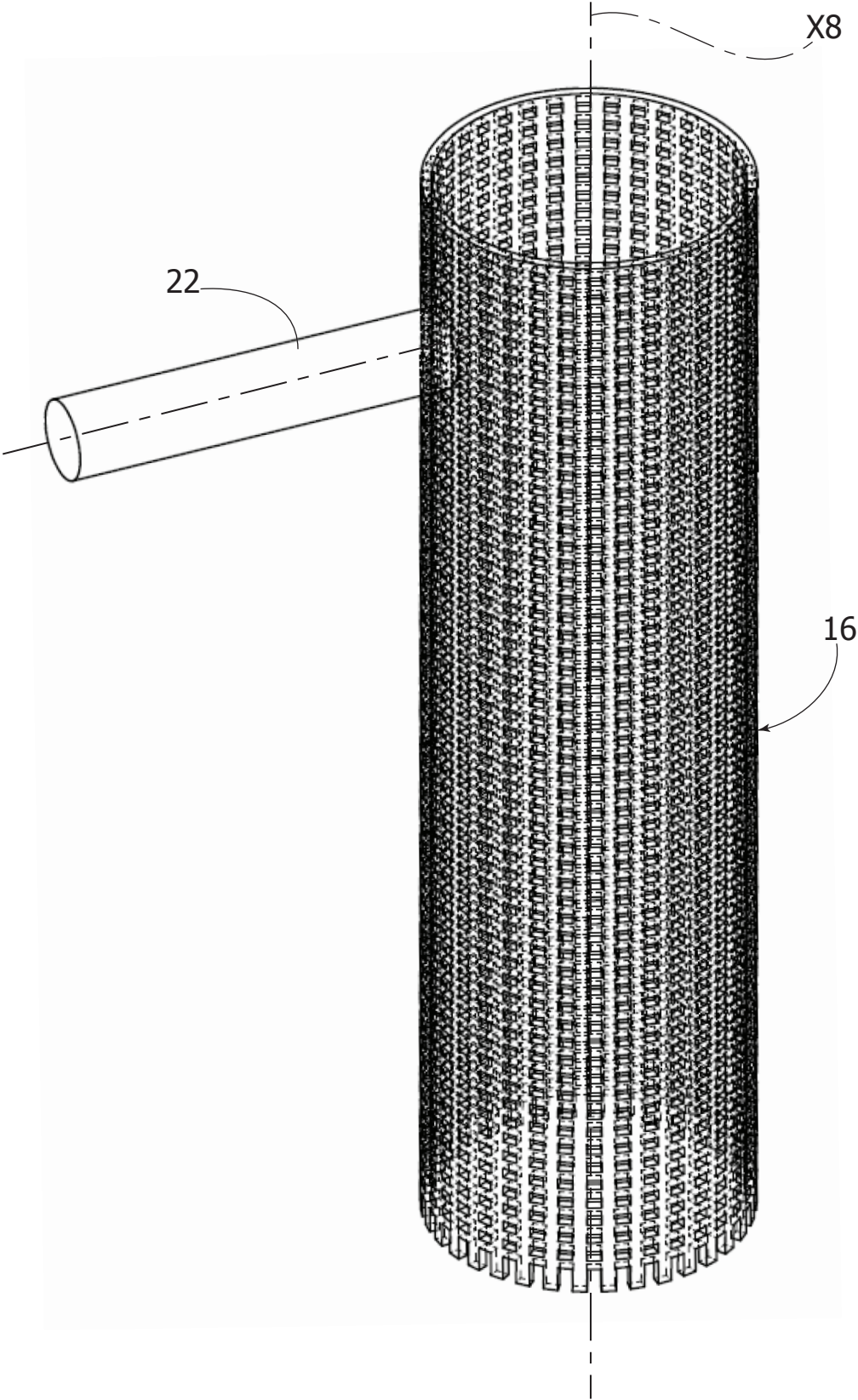


FIG. 8



COLLEGAMENTO IN SERIE

FIG. 9

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{n_sima}$$

$$i_{tot} = i_1 + i_2 + i_3 = \dots = i_{n_sima}$$

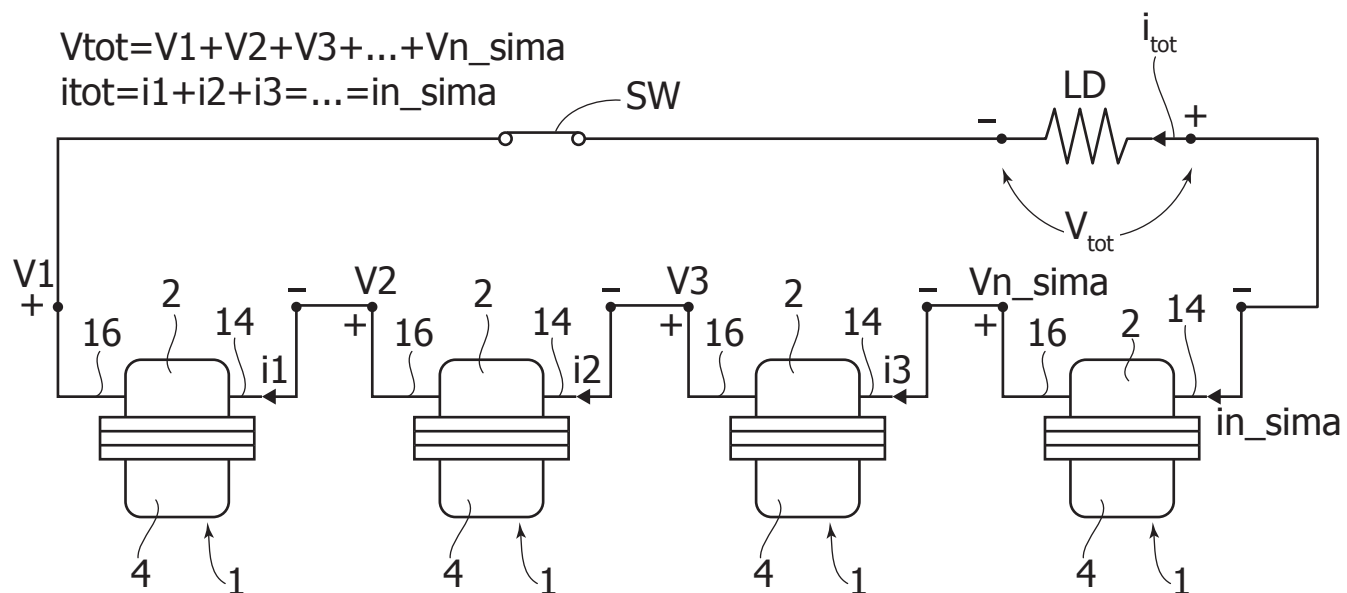
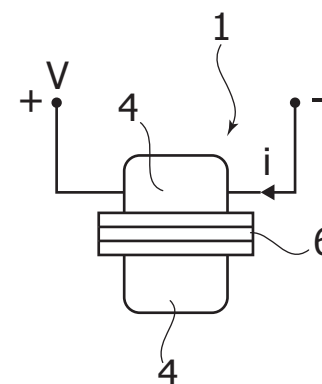


FIG. 9A

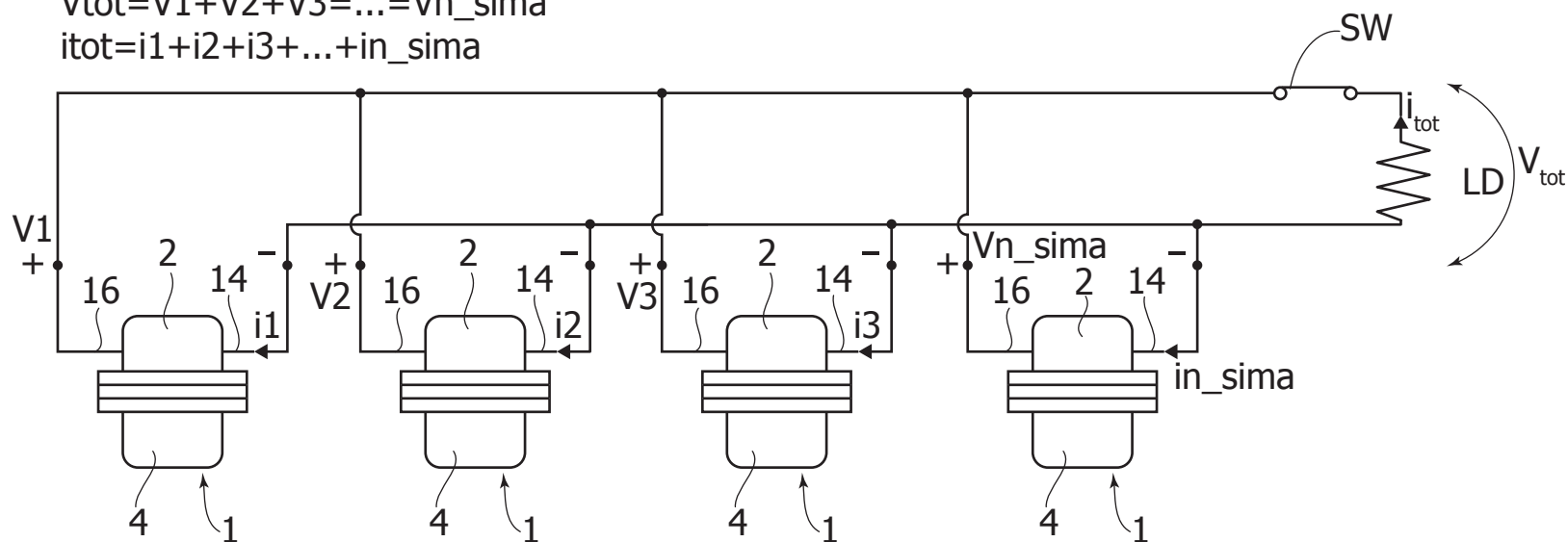


COLLEGAMENTO IN PARALLELO

FIG. 10

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 = \dots = V_{n_sima}$$

$$i_{tot} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_{n_sima}$$



COLLEGAMENTO IN SERIE

$$V_{tot}=V_1+V_2+V_3+V_4+V_5+V_6+...+V_{24}$$

$$i_{tot}=i_1+i_2+i_3+i_4+i_5+i_6+...=i_{24}$$

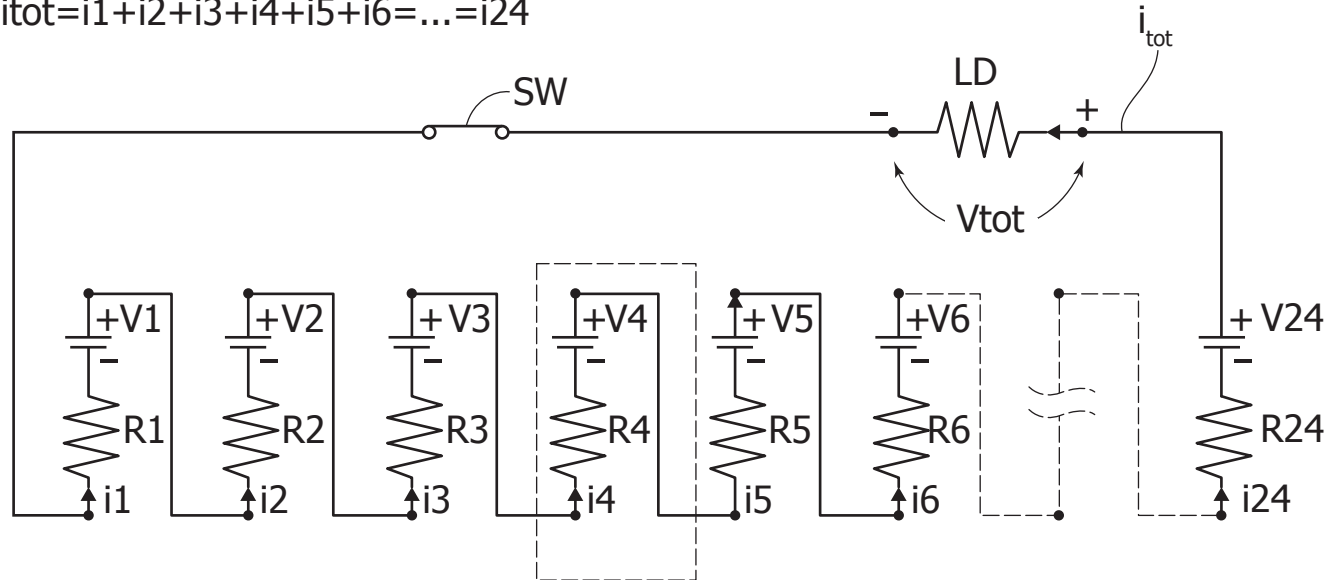
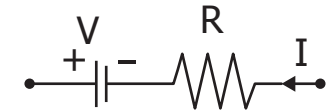


FIG. 11

FIG. 11A

SINGOLO DISPOSITIVO



CAMPO OPERATIVO

T anodo/catodo 1000-500 °K

V sodium=0,325 V

i sodium=750mA/cm²

T anodo/catodo 973-773 °K

V lead=0,051 V

i lead=33,5mA/cm²

COLLEGAMENTO IN PARALLELO

$$V_{tot}=V_1+V_2+V_3+V_4+V_5+V_6=...=V_{24}$$

$$i_{tot}=i_1+i_2+i_3+i_4+i_5+i_6+...+i_{24}$$

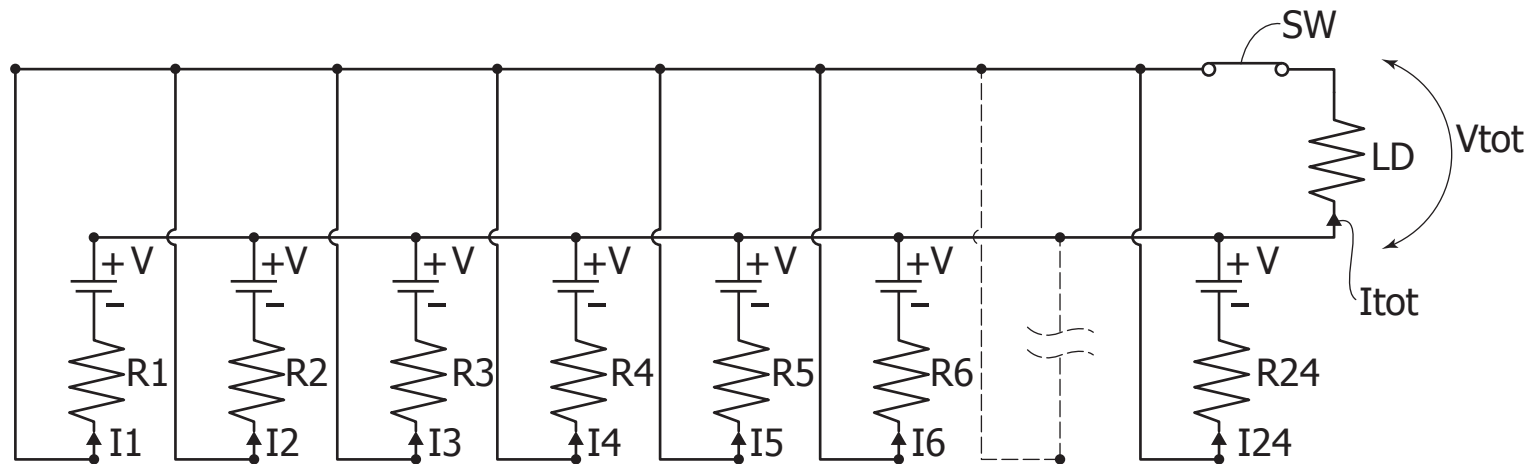


FIG. 12

FIG. 11B

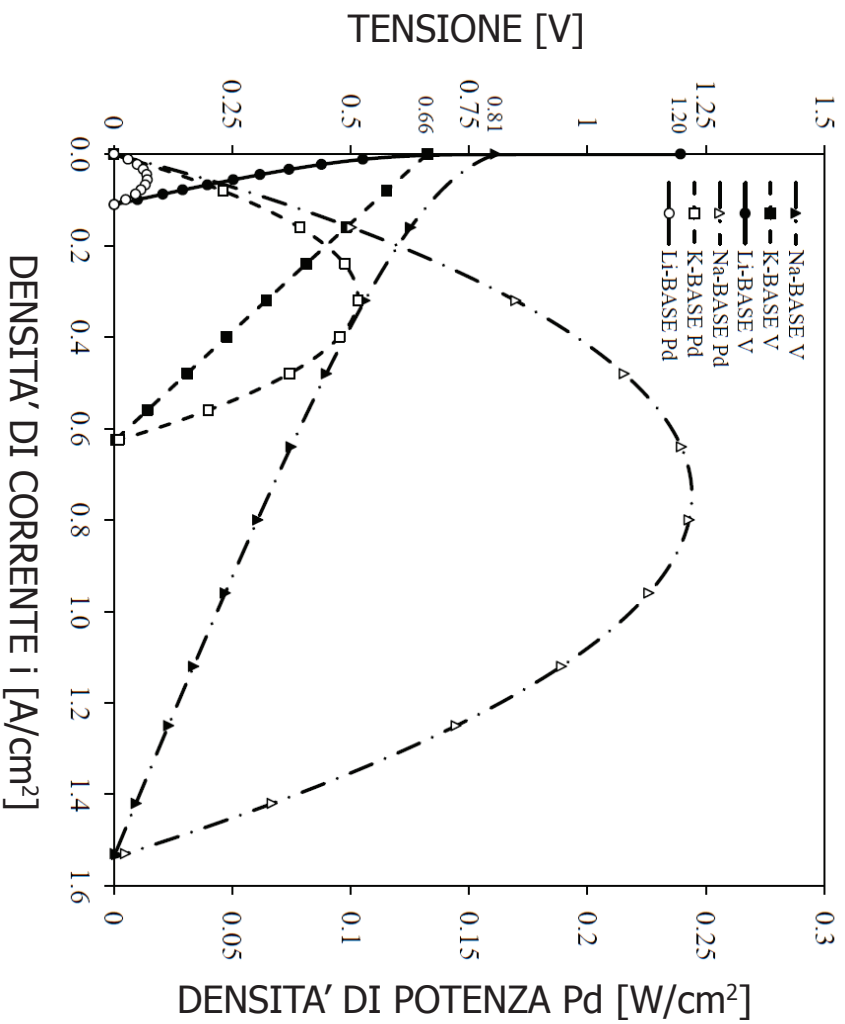


FIG. 11C

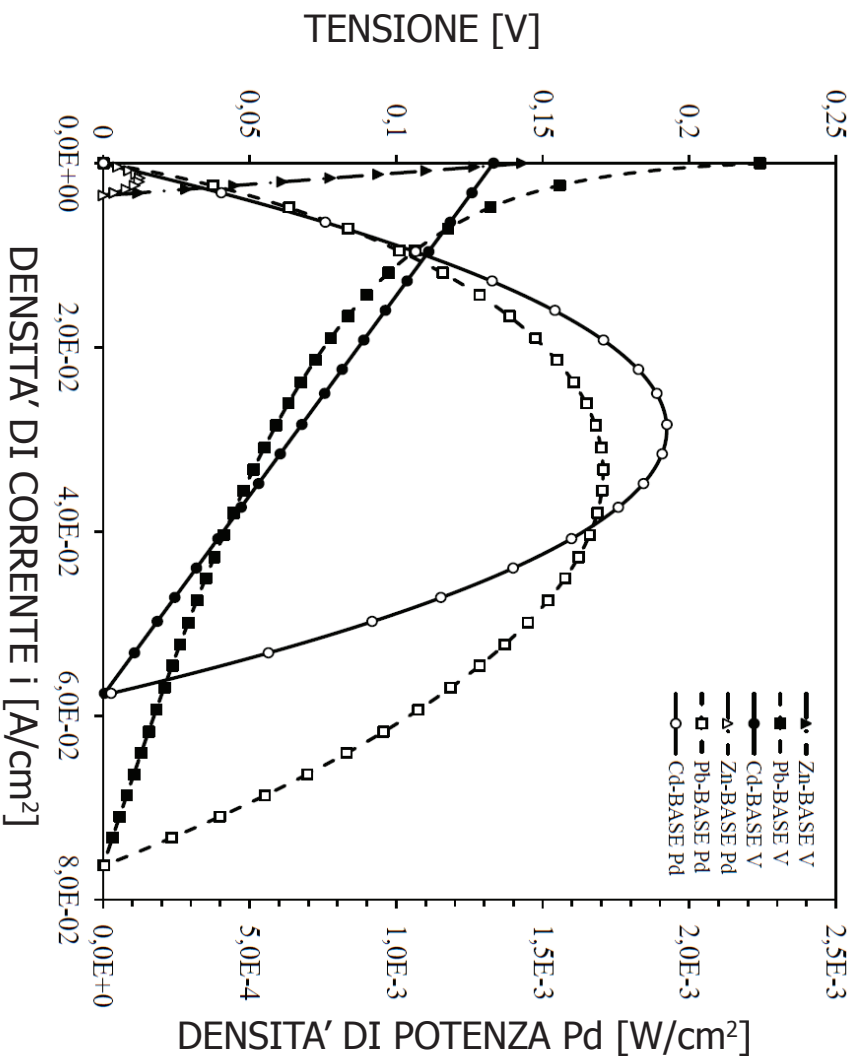


FIG. 11D

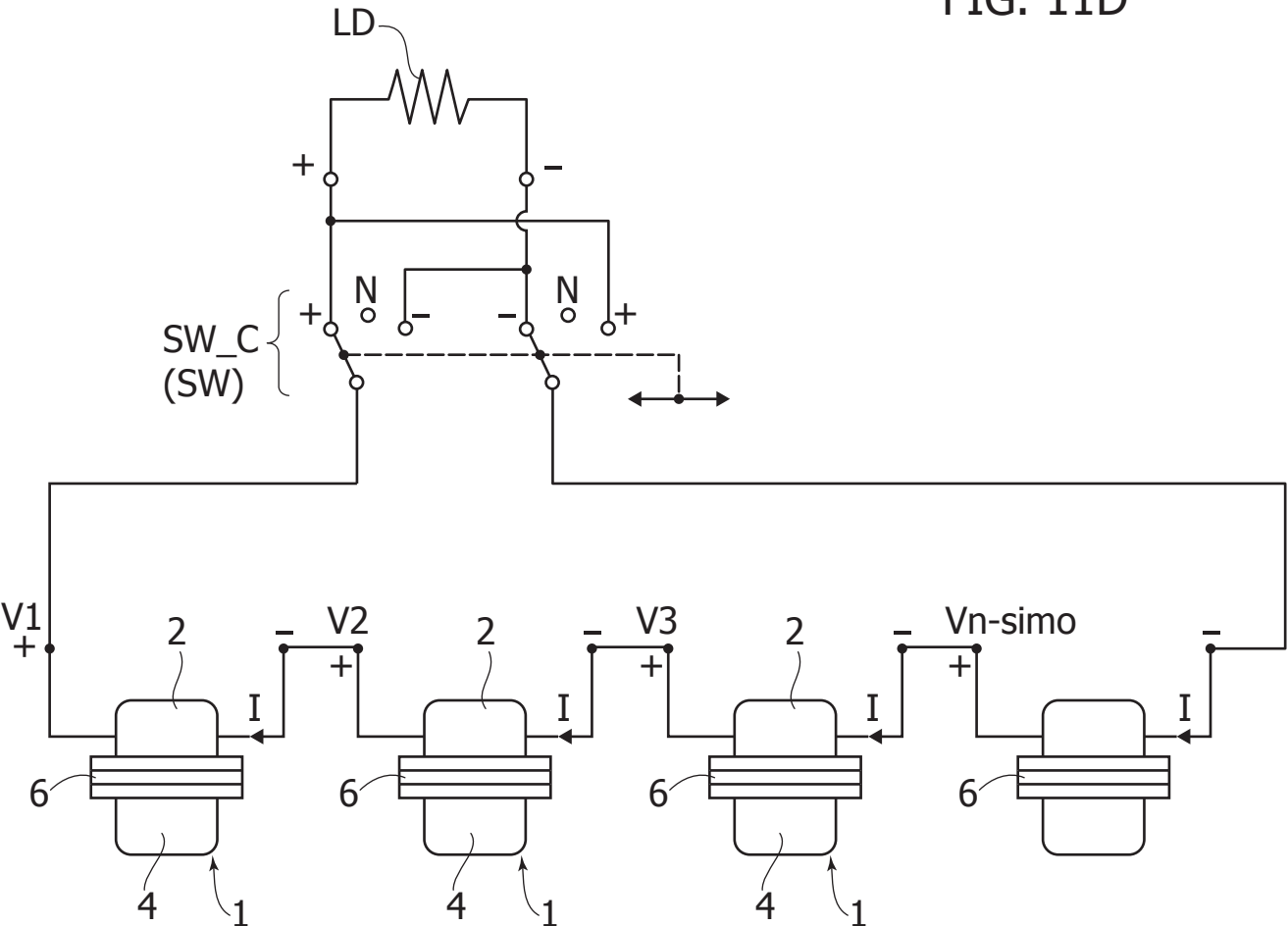


FIG. 13

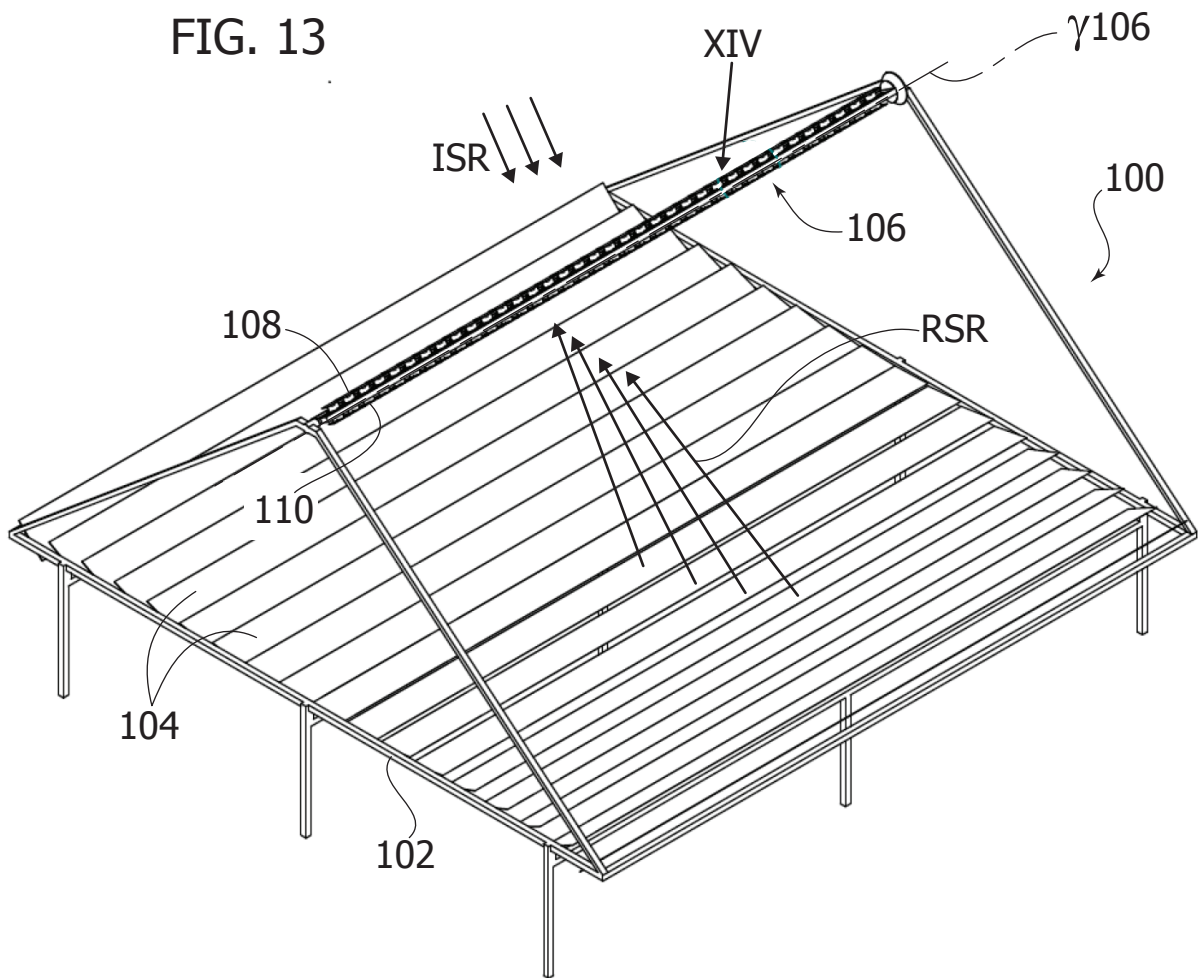


FIG. 14

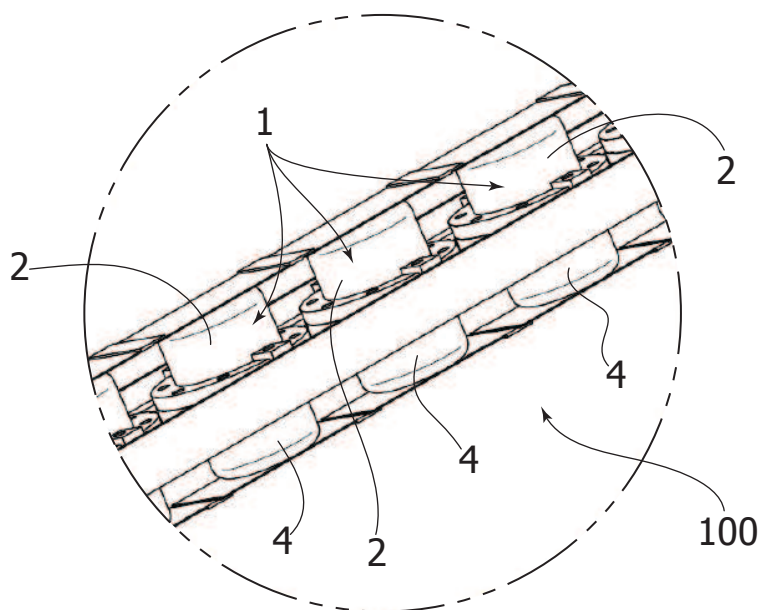


FIG. 15

