

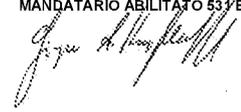
<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102021000024635</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>27/09/2021</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>27/03/2023</b>

Classifiche IPC

<b>Sezione</b>	<b>Classe</b>	<b>Sottoclasse</b>	<b>Gruppo</b>	<b>Sottogruppo</b>
C	03	B	5	237

Titolo

Gruppi scambiatori di calore per forni da vetro
---



DESCRIZIONE dell'Invenzione Industriale dal titolo:

“Gruppi scambiatori di calore per forni da vetro”

appartenente a: Università degli Studi di Genova, con sede  
in Via Balbi 5, 16126 Genova (GE) ITALIA

\*\*\*\*\*

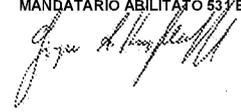
TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione è relativa ad un gruppo scambiatore di calore per un forno da vetro il quale opera per combustione di un generico combustibile, quale a titolo di esempio non limitativo gas naturale proveniente dalla rete di distribuzione.

Sono noti gruppi scambiatori di calore per forni da vetro, i quali permettono di recuperare l'energia termica posseduta dai fumi in uscita dalla camera di combustione mediante il preriscaldamento di aria comburente che viene convogliata all'interno del forno.

Ad esempio, la domanda di brevetto n° WO2009093134 illustra un gruppo scambiatore di calore avente un primo scambiatore di tipo rigenerativo ed un secondo scambiatore di tipo recuperativo, disposti in serie lungo il percorso di uscita dei fumi.

Lo scambiatore rigenerativo ha due camere di rigenerazione in materiale refrattario. Lo scambio di calore avviene in maniera alternata, secondo una successione di cicli di durata determinata, tipicamente di venti minuti: in un primo ciclo i fumi passano in una delle due camere, cedendo calore ad elementi di scambio termico; contemporaneamente, nell'altra camera, l'aria comburente diretta verso la camera di

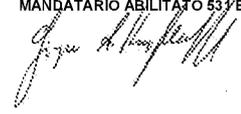


combustione assorbe calore da elementi analoghi, precedentemente scaldati dai fumi. In un secondo ciclo, i flussi sono invertiti mediante l'uso di valvole: nella prima camera avverrà lo scambio termico tra gli elementi scaldati nel ciclo precedente e l'aria comburente, nella seconda camera i fumi cederanno calore.

L'aria comburente che entra nello scambiatore rigenerativo proviene dallo scambiatore di tipo recuperativo, dove viene già riscaldata grazie agli stessi fumi uscenti dallo scambiatore rigenerativo. Nella specifica soluzione di WO2009093134, lo scambiatore recuperativo ha due tubazioni concentriche e coassiali e sfrutta il principio dello scambio di calore in controcorrente. A valle dello scambiatore recuperativo, secondo la direzione di avanzamento dei fumi, questi ultimi vengono espulsi da un camino.

Grazie a questa configurazione, l'aria entra nel forno ad una temperatura di circa 1200-1300 °C, mentre i fumi escono dallo scambiatore recuperativo ad una temperatura di circa 450-600 °C. Si stima che l'efficienza di tale processo sia intorno all' 86%, il che determina chiaramente l'esigenza di recuperare almeno una parte del 14% di energia altrimenti dispersa.

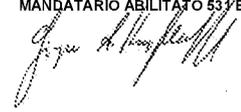
La domanda di brevetto 102017000073758 si muove in tale direzione, introducendo la tecnica nota del cosiddetto "reforming" la quale, tramite una reazione endotermica tra molecole del combustibile e molecole di acqua, provoca la rottura dei legami tra atomi di carbonio-idrogeno e la formazione di molecole a più alto contenuto energetico (H<sub>2</sub>, CO). In questo modo si riutilizza parte del calore di scarto per aumentare il potere calorifico del combustibile.



Nel caso specifico in cui il combustibile sia gas naturale, il processo di reforming avviene utilizzando vapore acqueo e viene anche riferito quale "steam reforming". Tuttavia questa è solo una delle modalità operative che ricadono nell'ambito applicativo della presente domanda di brevetto che quindi non viene limitata da questa specifica configurazione.

Sebbene migliorativa in termini di efficienza energetica e di efficacia del processo di combustione all'interno del forno da vetro, la tecnica nota fin qui descritta lascia spazio ad ulteriori miglioramenti sia in termini di recupero dell'energia contenuta nei fumi di scarico, sia in termini di qualità dei processi di combustione ovvero di alimentazione del forno da vetro sfruttando al meglio il potere calorifico del combustibile e la pulizia di tale reazione chimica misurata anche come residui della combustione e quindi riduzione della manutenzione ordinaria e straordinaria di tutti gli organi costituenti il forno. Evidenti sono i benefici ottenibili quali minori costi operativi e minori impatti ambientali.

La presente invenzione ha quindi lo scopo di superare i problemi tecnici noti allo stato dell'arte e di raggiungere questi ed altri obiettivi e tale scopo viene raggiunto con un forno da vetro equipaggiato con un gruppo scambiatore di calore come nella rivendicazione 1. L'invenzione prevede quindi il recupero energetico per il tramite di una unità operante tramite ciclo termodinamico reversibile chiuso motore del tipo Rankine o Hirn, ovvero un ciclo composto da una compressione ed una espansione adiabatiche e due isobare il cui utilizzo consente vantaggiosamente di trasformare il calore in lavoro e quindi in energia elettrica per mezzo di un generatore; tale soluzione sarà da ora indicata come ciclo



termodinamico motore o ROC (nel caso il ciclo venga effettuato con un fluido organico).

Il ciclo termodinamico motore prevede l'azione di una pompa per elevare la pressione, quindi un riscaldamento isobaro grazie al calore recuperato dai fumi fino ad ottenere vapore saturo secco o surriscaldato quindi espanso in turbina e fatto poi condensare isotermobaricamente. Ottiene quindi il risultato di recuperare calore dai fumi con un ciclo semplice e di facile realizzazione.

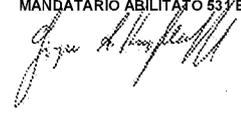
Ancor più vantaggiosamente, si può prevedere l'utilizzo di fluidi diversi da acqua e vapore acqueo ed in particolare di fluidi organici (ROC), che hanno temperature di cambiamento di stato più basse, e questo, se da un lato permette un minore dislivello termico, e quindi una minore energia estraibile, permette anche di utilizzare potenzialmente fonti termiche di minor livello, come il calore raccolto da fumi già parzialmente trattati da una camera rigenerativa e/o un reformer del combustibile.

Allo stato della tecnica è noto utilizzare a tal fine fluidi come il toluene o altri idrocarburi a medio-basso peso molecolare.

Altre forme esecutive e varianti sono oggetto delle rivendicazioni indipendenti.

Con riferimento alle tavole di disegno allegate, in esse viene riportato:

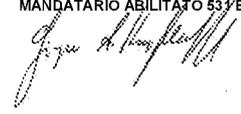
- In Fig. 1 uno schema a blocchi di un generico impianto secondo una variante esecutiva e non limitativa dell'invenzione;
- In Fig. 2 una vista schematica in pianta di una forma di realizzazione del gruppo scambiatore di calore per un forno da vetro dettagliando le componenti della



camera rigenerativa, uno scambiatore termodinamico per il ciclo termodinamico motore e uno scambiatore recuperativo.

Con riferimento alla figura 1, si presenta un forno da vetro 60 provvisto di una camera di combustione 2 ed alimentato da combustibile destinato ad uno o più bruciatori per mezzo di uno o più ugelli 56 (visibili in figura 2) posizionati all'interno della suddetta camera di combustione. In termini generici, il forno può funzionare con ossicombustione (forno di tipo Oxyfuel) ovvero una tecnica di combustione tramite l'utilizzo di ossigeno puro, oppure con aria ambientale eventualmente arricchita da sostanze in grado di migliorare il processo di combustione. In questo secondo caso è possibile e comunemente previsto di utilizzare la tecnica con camere rigenerative: l'aria o la miscela di gas destinata a supportare la combustione entra nella camera di combustione 2 transitando a fasi alterne da una delle due camere rigenerative 11 le quali, come noto, sono concepite per riscaldare il comburente cedendogli calore precedentemente accumulato per raffreddamento dei fumi di scarico 5 (Flue Gas) transitati in precedenza nella stessa camera.

Come meglio descritto infra l'alternanza delle due camere di rigenerazione 11, i.e. il funzionamento combinato in modo tale che quando una prima camera cede calore al comburente una seconda camera acquisisce calore dai fumi di scarico e l'inversione della modalità operativa tra prima e seconda camera, viene coordinato da una unità di controllo 20 che comanda, tra l'altro, un insieme di valvole 19a, 19b, 19c la cui apertura o chiusura consente al combustibile, al comburente e ai fumi di seguire i percorsi programmati di funzionamento del forno.

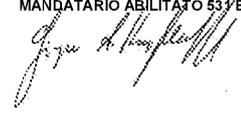


I gas di scarico 5 vengono quindi convogliati ad una unità di reforming 53 configurata in modo da ottenere, secondo la tecnica del "reforming", una reazione endotermica tra molecole del combustibile e molecole di acqua, che provoca la rottura dei legami tra atomi di carbonio-idrogeno e la formazione di molecole di combustibile a più alto contenuto energetico per aumentare il potere calorifico del flusso di combustibile 51.

Una parte residuale del calore ancora disponibile nei fumi 5 è quindi utilizzata per generare corrente elettrica da parte di una unità termodinamica 110 (ROC) con relativo generatore elettrico 120. Nella forma esecutiva secondo lo schema funzionale di figura 1 è prevista la presenza sia dell'unità termodinamica 110, 120 che dell'unità di reforming 53, tuttavia quest'ultima non deve necessariamente essere presente e la scelta di disporla o meno va soppesata dal tecnico esperto in funzione dell'ingegnerizzazione complessiva della fornace. In questa variante, i fumi in uscita dalla camera rigenerativa transitano nel reformer e nel ROC per poi confluire in un camino per lo scarico o il trattamento.

L'utilizzo di fluidi di natura organica consente di sfruttare piccoli salti entalpici a temperature medio-basse e quindi essere vantaggioso anche in presenza di fumi già parzialmente raffreddati dai trattamenti nelle camere rigenerative ed opzionalmente dall'unità di reforming.

Nel caso di tecnica oxyfuel, come sopra indicato, le camere rigenerative possono non essere utilizzate e quindi è ancora più vantaggioso recuperare l'energia dei fumi di scarico con altri metodi.

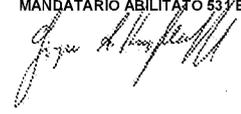


Secondo una variante esecutiva, l'energia prodotta dal generatore elettrico 120 viene utilizzata per il funzionamento di un elettrolizzatore 140 dal quale si ottiene, per noto processo di elettrolisi, la separazione di molecole di acqua in molecole di diidrogeno ( $H_2$ ) ed ossigeno ( $O_2$ ). Tale configurazione è possibile e vantaggiosa in qualsivoglia combinazione con le altre forme esecutive dell'invenzione ed ancor più favorevole nel caso di forni oxyfuel in quanto l'ossigeno necessario alla combustione è prodotto direttamente dall'elettrolizzatore 140 energizzato almeno in parte dall'energia recuperata dall'unità termodinamica 110.

L'energia elettrica proveniente dal generatore 120 può essere integrata da fonti energetiche esterne 150, preferibilmente di origine rinnovabile quali generatori eolici e/o fotovoltaici anche posizionati in loco e/o altri dispositivi di energy harvesting alternativamente od in combinazione di due o più di questi dispositivi fra loro. Questa energia elettrica può anche essere utilizzata per il funzionamento di organi elettrici del forno quali ad esempio elettrodi di fusione.

D'altra parte, l'elettrolizzatore 140 produce molecole di diidrogeno ( $H_2$ ) il quale può integrare il combustibile (tipicamente metano  $CH_4$  già in origine miscelato ad altri gas tra cui diidrogeno) di fatto aggiungendo gas ad alto potere calorifico ottenuto dalla elettrolisi di acqua, elettrolisi che viene alimentata dall'energia recuperata dal gruppo scambiatore di calore oggetto di invenzione.

In una variante esecutiva dell'invenzione viene introdotta una unità di desolfurazione del combustibile utilizzato nel forno. La desolfurazione è particolarmente efficace quando applicata al combustibile prima dell'eventuale operazione di reforming. Nel caso specifico in cui viene usato



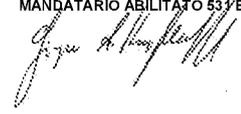
il gas metano quale combustibile, il reattore chimico di steam reforming dello stesso contiene un catalizzatore che viene avvelenato dai composti solforati presenti nel gas (tipicamente: l'odorizzante) e che avrebbe vita molto breve senza il processo di desolforazione a monte. L'idrogeno in eccesso prodotto dall'elettrolizzatore e non utilizzato dal desolforatore può essere quindi alimentato direttamente al forno, ad esempio mescolato con la miscela in uscita dall'unità di reforming.

Nel caso specifico in cui si utilizza il metano o gas naturale quale combustibile e quindi il processo di reforming avviene con l'utilizzo di vapore, il reformer richiede un apporto di vapore acqueo, con un rapporto steam-to-carbon (S/C) compreso fra 1.5 e 4, preferenzialmente intorno a 1.9-2.3.

In una forma preferita e mostrata in figura 1, un desolforatore 130 è disposto al trattamento di una miscela combustibile a base di metano. Utilizzando i processi noti di idrodesolforazione si viene quindi a neutralizzare o comunque ridurre gli effetti dannosi sull'impianto, in particolare sul catalizzatore del reattore di reforming, e sull'ambiente, legati alla presenza di zolfo e dei suoi composti nel processo di combustione.

L'idrodesolforazione, la quale richiede diidrogeno per essere attuata, può essere vantaggiosamente alimentata dalle molecole di diidrogeno provenienti dall'elettrolizzatore 140 il quale, come detto, viene energizzato almeno in parte dal calore recuperato dai fumi 5.

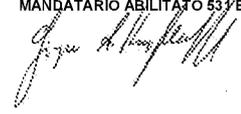
Per quanto attiene il processo di elettrolisi, nell'elettrolizzatore 140, questo processo può essere eseguito in modalità esotermica e quindi produrre calore, in



modalità termicamente neutra, cioè in assenza di generazione/cessione e/o assorbimento di energia termica od in modalità endotermica e pertanto, in particolare nella modalità esotermica il calore generato può essere utilizzato per riscaldare l'ossigeno e/o l'idrogeno prodotti e/o per alimentare mediante energia termica ad esempio il sistema termodinamico di generazione dell'energia elettrica 110 od altre unità che operano per il recupero di energia termica. Nella modalità endotermica, l'eventuale calore assorbito dall'elettrolizzatore 140 può essere fornito ad esempio dai fumi di scarico derivati a monte del reformer 53 e/o in uscita dallo stesso e/o dall'unità termodinamica 110.

Con riferimento alla figura 2, si presenta una diversa variante dell'invenzione, anch'essa da considerarsi non limitativa delle possibili realizzazioni, in cui viene implementato un forno da vetro alimentato a gas ed aria come comburente, il quale forno è abbinato ad un gruppo scambiatore di calore comprendente una unità rigenerativa in prossimità della camera di combustione, una unità recuperativa nella parte terminale del percorso dei fumi di scarico e una unità termodinamica interposta tra le due, sempre in riferimento al percorso dei fumi in uscita dalla camera di combustione. Rispetto allo schema concettuale di figura 1, ove possibile, sono stati riutilizzati i riferimenti numerici ad indicare analoghe parti del sistema.

Viene quindi indicato con 1 un gruppo scambiatore di calore, schematicamente illustrato, per un forno da vetro 60 avente una camera di combustione 2, che è alimentata da un flusso di aria comburente 3 e da un flusso di combustibile 51, definito ad esempio da gas metano. Il flusso di aria 3 entra nel gruppo 1 attraverso un ingresso 4 dall'ambiente esterno a temperatura ambiente, ad esempio ad una temperatura

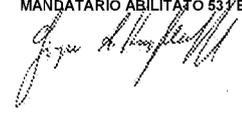


di circa 25 °C, e viene preriscaldato dal gruppo 1 tramite scambio termico con un flusso di fumi esausti 5 provenienti dalla camera di combustione 2.

Il gruppo 1 comprende uno scambiatore di calore di tipo rigenerativo 10 ed uno scambiatore di calore di tipo recuperativo 25, disposti in serie tra loro.

Lo scambiatore 10 ha due camere di rigenerazione 11 realizzate in materiale refrattario e provviste di rispettive bocche superiori 12, comunicanti con la camera di combustione 2 tramite rispettivi condotti 13, denominati torrini, anch'essi in materiale refrattario. Nel caso specifico, le camere 11 sono disposte su un lato posteriore del forno 60, per cui il forno 60 viene denominato comunemente "endport" o "forno con fiamma ad U". In alternativa, le camere 11 sono disposte su lati opposti del forno 60 (nel qual caso, il forno viene denominato comunemente "sideport"). Lo scambiatore rigenerativo 10 opera secondo una successione di cicli di durata determinata, tra i quali vengono invertiti i flussi di aria 3 e dei fumi 5 passanti all'interno delle due camere 11. In altre parole, in un qualsiasi dato ciclo, una delle camere 11 opera come alimentazione dell'aria comburente e l'altra camera 11 opera come scarico dei fumi, per poi invertire la loro funzione ad ogni ciclo. Ciascuna delle camere 11 alloggia rispettivi fasci 22 di elementi di accumulo termico (parzialmente e schematicamente illustrati), di tipo noto e non descritto in dettaglio, i quali assorbono calore durante i cicli in cui la relativa camera 11 è attraversata dal flusso di fumi 5, e cedono il calore accumulato al flusso di aria 3 durante gli altri cicli.

Lo scambiatore rigenerativo 10 comprende, inoltre, una bocca 14 attraverso la quale il flusso di fumi 5 esce dallo



scambiatore rigenerativo 10 verso lo scambiatore recuperativo 25; ed un ingresso 16 attraverso il quale l'aria fluisce dallo scambiatore recuperativo 25 allo scambiatore 10.

La bocca 14 è collegata alle camere 11 tramite un canale o condotto 15, in particolare conformato a T o a Y.

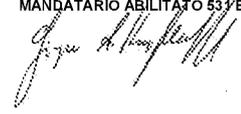
Il condotto 15 comprende due porzioni 57 che terminano rispettivamente nelle camere 11 e, in particolare, confluiscono in una porzione 18 terminante con la bocca 14.

L'ingresso 16 è definito, in particolare, da un condotto collegato alle porzioni 57 tramite rispettivi canali o tubazioni 17. Secondo una variante non illustrata, le tubazioni 17 sono collegate separatamente e direttamente allo scambiatore 25 tramite rispettivi ingressi 16.

Lo scambiatore 10 comprende, inoltre, un insieme di valvole di inversione 19a,19b. Le valvole 19a sono disposte, rispettivamente, nelle tubazioni 17, mentre le valvole 19b sono disposte rispettivamente nelle porzioni 57, in posizione intermedia tra la bocca 14 e il raccordo delle tubazioni 17 con le porzioni 57.

Le valvole 19a,19b sono comandate da una centralina 20 di controllo e comando in modo automatico e programmato, per essere commutate in maniera sincronizzata tra loro ed invertire il flusso di aria 3 ed il flusso di fumi 5 secondo i cicli sopra menzionati (della durata, ad esempio, di venti minuti).

Lo scambiatore recuperativo 25 è realizzato preferibilmente in materiale metallico ed opera in maniera continua, ovvero senza inversioni tra il flusso di fumi 5 proveniente dallo scambiatore rigenerativo 10 e il flusso di aria comburente 3 proveniente dall'ambiente esterno.

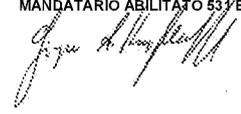


Lo scambiatore recuperativo 25 comprende due passaggi 26, 27, concentrici tra loro per almeno una parte del loro percorso; il passaggio 27 riceve il flusso di fumi 5 dalla bocca 14 e convoglia tale flusso di fumi 5 verso un'uscita 31 dello scambiatore 25, comunicante con un camino, non illustrato, attraverso il quale i fumi vengono scaricati nell'ambiente esterno.

Nel contempo, il passaggio 26 convoglia il flusso di aria 3 verso l'ingresso 16. L'aria e ed i fumi, all'interno dei passaggi 26,27, fluiscono preferibilmente in controcorrente e scambiano calore tramite le pareti metalliche che separano i passaggi 26,27.

I fumi hanno generalmente una temperatura di circa 1500 °C in corrispondenza delle bocche 12. Nello specifico esempio illustrato, l'entità dello scambio termico tra fumi ed aria negli scambiatori 10 è impostata a progetto in modo da ottenere, per i fumi, una temperatura di circa 450-600 °C all'uscita delle camere 11, e di circa 200 °C in corrispondenza dell'uscita 31, e per l'aria una temperatura di circa 300-500 °C all'ingresso 16, e di circa 1250 °C in corrispondenza delle bocche 12.

Il gruppo 1 comprende, inoltre, una linea di alimentazione 55 (schematicamente rappresentata) per convogliare il flusso di combustibile 51 al forno da vetro 60. In particolare, la linea di alimentazione 55 comprende due ugelli 56, disposti nella camera di combustione 2 in prossimità rispettivamente dei condotti 13. Il flusso uscente dagli ugelli 56 è controllato tramite rispettive valvole 19c, che sono comandate dall'unità 20 in modo sincronizzato con le valvole 19a,19b per iniettare combustibile in concomitanza con l'efflusso di aria dai condotti 13.



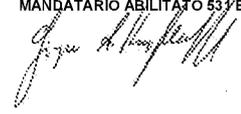
Secondo un aspetto preferito della presente invenzione, il gruppo comprende una unità di recupero termodinamico 110 e un generatore elettrico 120 (schematicamente illustrati) configurati in modo da ottenere, sfruttando un ciclo termodinamico motore preferibilmente operante con fluidi organici (Organic Rankine Cycle), la produzione di energia elettrica destinata ad alimentare altre unità del forno stesso quali ad esempio un elettrolizzatore (non mostrato) configurato come in figura 1.

Preferibilmente, l'unità di recupero termodinamico 110 è alloggiata almeno parzialmente nel condotto 15 in modo da essere lambita direttamente dai fumi che fluiscono nel condotto 15.

Nel preferito esempio che viene mostrato in figura 2, è prevista una singola unità di recupero termodinamico 110 disposta in corrispondenza della porzione 18. In alternativa è possibile concepire due unità indipendenti e distinte tra loro e rispettivi generatori elettrici ad esse abbinati, disposte in corrispondenza di una rispettiva porzione 57 del condotto 15, tra le camere 11 e le valvole 19b.

Tale configurazione alternativa ha il vantaggio di consentire un migliore scambio di calore ai fini del recupero termodinamico e quindi può, ma non deve necessariamente, evitare l'uso dei fluidi organici coinvolti nel ciclo Rankine in quanto i fumi giungono in corrispondenza delle unità ad una temperatura maggiore di quella raggiunta in corrispondenza della singola unità nella forma di realizzazione di figura 1.

D'altra parte, in tale disposizione le unità termodinamiche operano a cicli alterni in sincronia con l'inversione dei flussi propria delle camere rigenerative ed inoltre la

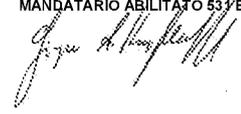


configurazione a singola unità risulta essere più semplice, in quanto richiede una sola unità termodinamica/generatore.

In una variante alternativa, il gruppo comprende almeno una unità inerziale termica realizzata almeno parzialmente con materiali a cambiamento di fase o PCM (Phase Change Materials) finalizzata all'accumulo del calore dei fumi e la successiva cessione di calore accumulato al comburente destinato alla combustione in detto forno.

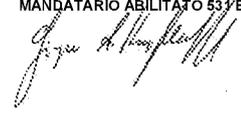
Il ciclo di esercizio del sistema con PCM composto dalle fasi di riscaldamento (calore latente di liquefazione) e di raffreddamento (calore latente di solidificazione) ha tempistiche molto più lente (ore) rispetto al ciclo di inversione, nel caso di utilizzo di camere rigenerative (tipico venti minuti). L'inerzia termica del sistema con PCM può quindi costituire una riserva (sorgente) di calore pressoché costante utilizzabile ad esempio per il preriscaldamento del combustibile (gas naturale) o per la generazione del vapore d'acqua necessario al processo di reforming nel caso di reforming specifico del metano.

In una variante esecutiva, tale unità termica inerziale è disposta tra le dette valvole di inversione 19b e le corrispondenti camere di rigenerazione 11; alla luce di quanto precedentemente espresso, in virtù delle tempistiche di cambiamento di fase molto superiori ai normali cicli di funzionamento di una camera rigenerativa (decine di ore anziché decine di minuti), tale unità inerziale viene preferibilmente utilizzata per estrarre energia da riutilizzare al di fuori del riscaldamento dell'aria comburente (quest'ultima funzionalità peculiare della camera rigenerativa).



In una forma esecutiva, tale unità inerziale ha configurazione sostanzialmente cilindrica, composta da più elementi coassiali e disposti coassialmente al raccordo che sbocca nella camera rigenerativa ove l'elemento coassiale più interno è a contatto con la superficie esterna del detto raccordo mentre uno o più elementi coassiali più esterni sono usati per trasferire il calore prelevato dai fumi ad altri fluidi coinvolti nel processo di combustione quali, come anticipato, il combustibile e/o le sostanze coinvolte nel processo di reforming.

È comunque evidente che l'invenzione non deve considerarsi limitata alle particolari disposizioni illustrate sopra, che costituiscono soltanto forme di esecuzione esemplificative di essa, ma che diverse varianti sono possibili, tutte alla portata di un tecnico del ramo, senza per questo uscire dall'ambito di protezione dell'invenzione stessa, che risulta definito dalle rivendicazioni che seguono.



## RIVENDICAZIONI

1. Gruppo scambiatore di calore (1) per recuperare e riutilizzare almeno parte dell'energia in forma di calore di fumi prodotti in una camera di combustione (2) di un forno da vetro, il gruppo (1)

**caratterizzato dal fatto** di comprendere una unità di recupero energetico disposta per recuperare calore dai fumi in uscita dalla camera di combustione di detto forno da vetro e funzionante tramite ciclo termodinamico motore, preferibilmente operante con fluido di lavoro di tipo organico, per la conversione in energia elettrica di almeno parte dell'energia contenuta in forma di calore nei detti fumi.

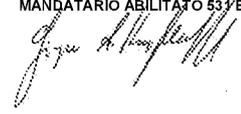
2. Gruppo secondo la rivendicazione 1 in cui la detta energia elettrica recuperata contribuisce all'attivazione di un elettrolizzatore per la produzione di molecole di diidrogeno (H<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>) in conseguenza dei processi elettrolitici applicati a molecole di acqua, essendo dette molecole di diidrogeno (H<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>) destinate a costituire almeno parte rispettivamente del combustibile e del comburente per la combustione all'interno del detto forno da vetro.

3. Gruppo secondo la rivendicazione 1 o 2 ulteriormente comprendente:

- un primo scambiatore di calore di tipo rigenerativo (10), provvisto di:

a) due camere di rigenerazione (11);

b) un insieme di canali a media temperatura (15,17) comunicanti con dette camere di rigenerazione per il passaggio di fumi e aria comburente, ed aventi almeno

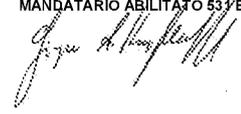


una uscita (14) per l'uscita dei fumi da detto primo scambiatore (10), ed almeno un ingresso (16) per l'ingresso di aria comburente nel detto primo scambiatore (10);

- c) valvole di inversione (19a,19b), disposte in detti canali (15,17) e comandabili in modo da invertire un flusso di aria comburente (3) ed un flusso di fumi (5) tra le dette camere di rigenerazione (11) con cicli di durata determinata;

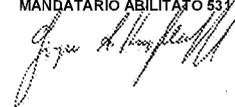
essendo dette camere di rigenerazione posizionate in prossimità della camera di combustione (2) e con essa comunicanti tramite opportuni canali ad alta temperatura (15', 17').

4. Gruppo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni ulteriormente comprendente un secondo scambiatore di calore di tipo recuperativo (25), comprendente un primo ed un secondo condotto (26,27) separati da pareti metalliche di scambio termico; il detto secondo condotto (27) comunicando con detta uscita (14) per il passaggio di fumi dal primo al secondo scambiatore; e il detto primo condotto (26) comunicando con detto ingresso (16) per il passaggio di aria riscaldata dal secondo al primo scambiatore;
5. Gruppo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni ulteriormente comprendente comprende almeno un'unità di reforming (53) atta ad ottenere una reazione endotermica del combustibile sfruttando il calore dei fumi prelevato a valle delle dette camere di rigenerazione (11), considerando il percorso di avanzamento dei fumi.
6. Gruppo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni in cui parte delle molecole di diidrogeno ( $H_2$ ) prodotto



da detto elettrolizzatore viene impiegato in una unità di desolforazione per la preventiva desolforazione del combustibile destinato ad alimentare il detto forno da vetro lungo la detta linea di alimentazione transitando all'interno della unità' di reforming.

7. Gruppo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni caratterizzato dal fatto che detta unità di reforming (53) e/o detta unità termodinamica di recupero energetico sono disposte in corrispondenza di uno di detti canali (15) e preferibilmente disposte almeno parzialmente in modo da scambiare calore con i fumi che transitano all'interno di uno di detti canali(15).
8. Gruppo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni caratterizzato dal fatto di comprendere almeno una unità inerziale termica disposta tra le dette valvole di inversione e le corrispondenti camere di rigenerazione per l'accumulo del calore dei fumi e la successiva cessione di calore accumulato ad altri moduli del detto gruppo quali ad esempio la linea di alimentazione del combustibile o di trattamento delle sostanze coinvolte nel processo di reforming del combustibile.
9. Gruppo secondo la precedente rivendicazione in cui detta almeno una unità inerziale termica è realizzata almeno parzialmente con materiali a cambiamento di fase o PCM-Phase Change Materials.
10. Gruppo secondo le precedenti rivendicazioni 8 o 9 in cui la detta unità inerziale termica è disposta esternamente alle porzioni (57) del canale ad alta temperatura (15) che terminano rispettivamente nelle camere (11) ed a contatto con almeno parte della superficie dello stesso, detta unità inerziale comprendendo ulteriormente una zona



o porzione destinata alla cessione del calore prelevato dai fumi ad almeno un secondo fluido coinvolto nel processo di combustione del forno da vetro.

11. Gruppo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un dispositivo di iniezione configurato in modo da introdurre un agente chimico atto ad abbattere ossidi di azoto nei fumi.

---

P.I. Università degli Studi di Genova

Giorgio A. Karaghiosoff

Mandatario Abilitato

Iscritto al N. 531 BM



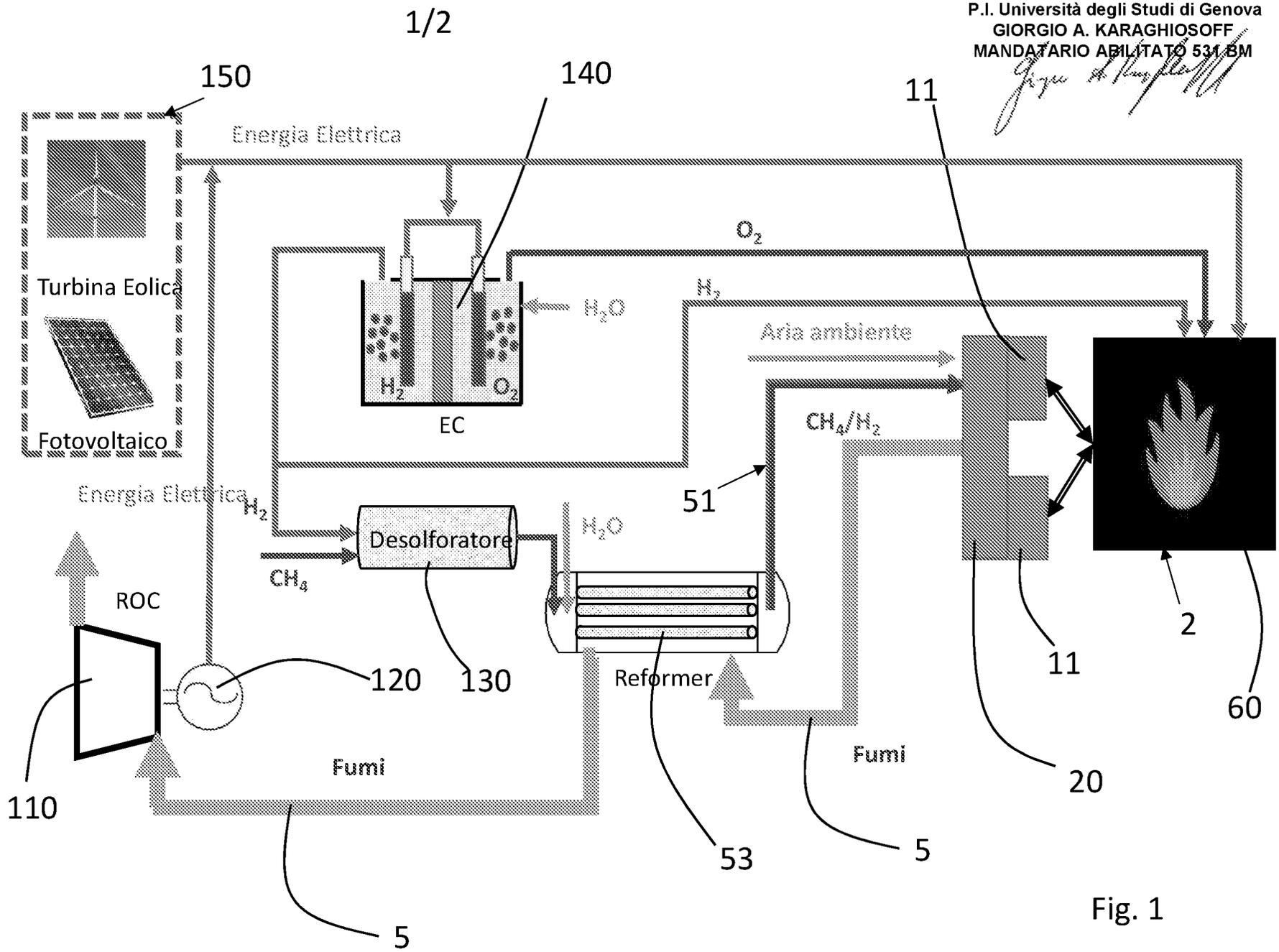


Fig. 1

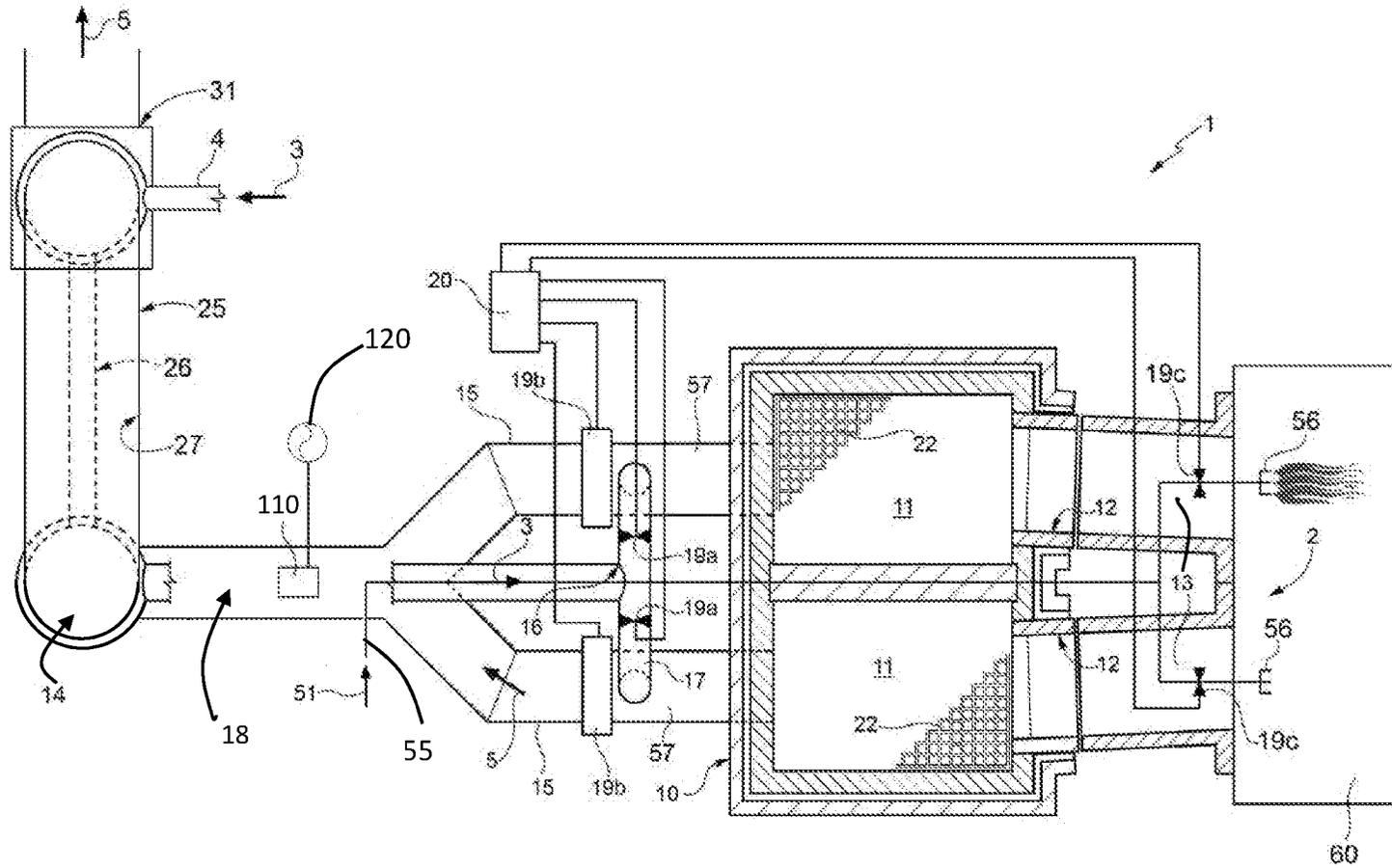
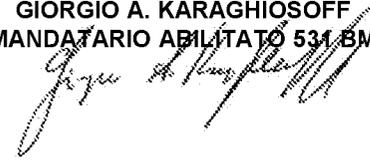


Fig. 2