

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902101306A1

Publication Date

20140515

Applicant

MAGNETI MARELLI S.P.A.

Title

SCAMBIATORE DI CALORE CON RECUPERO DI ENERGIA TERMICA PER  
UN SISTEMA DI SCARICO DI UN MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"SCAMBIATORE DI CALORE CON RECUPERO DI ENERGIA TERMICA PER UN SISTEMA DI SCARICO DI UN MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA"

di MAGNETI MARELLI S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIALE ALDO BORLETTI 61/63

CORBETTA (MI)

Inventori: PAZÉ Costanza, MILANI Emanuele

\*\*\* \*\*

## SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad uno scambiatore di calore con recupero di energia termica per un sistema di scarico di un motore a combustione interna.

## ARTE ANTERIORE

Un motore termico a combustione interna è provvisto di un sistema di scarico, il quale ha la funzione di immettere nell'atmosfera i gas di scarico prodotti dalla combustione limitando sia il rumore, sia il contenuto di sostanze inquinanti. Un moderno sistema di scarico comprende almeno un dispositivo convertitore provvisto di un elemento catalitico seguito da almeno un silenziatore; all'interno del silenziatore è definito un labirinto che determina un percorso per i gas di scarico da una apertura di ingresso ad una apertura di uscita.

Recentemente, per aumentare l'efficienza energetica complessiva è stato proposto di sfruttare anche parte del calore che è presente nei gas di scarico e normalmente viene disperso nell'ambiente esterno; ad esempio il calore presente nei gas di scarico può venire utilizzato per riscaldare il liquido di raffreddamento del motore a combustione interna, l'olio di lubrificazione del motore a combustione interna, e/o l'olio di lubrificazione della trasmissione negli istanti successivi all'avviamento a freddo in modo da accelerare il raggiungimento della temperatura di lavoro ottimale. Per sfruttare parte del calore che è presente nei gas di scarico è stato proposto di utilizzare uno scambiatore di calore liquido-gas che viene disposto lungo il percorso dei gas di scarico per venire investito dai gas di scarico stessi. Per fare passare i gas di scarico attraverso lo scambiatore di calore solo in determinate condizioni (ad esempio quando il motore è freddo in modo da sfruttare il calore dei gas di scarico per accelerare il riscaldamento del liquido di raffreddamento del motore a combustione interna) è stato proposto di predisporre un condotto di bypass che permette ai gas di scarico di bypassare lo scambiatore di calore ed è regolato da una valvola di bypass.

Un esempio di uno scambiatore di calore provvisto di condotto di bypass per un sistema di scarico è proposto

nella domanda di brevetto WO2005024193A1.

Per cercare di contenere i costi e gli ingombri, è stato proposto di integrare lo scambiatore di calore nel silenziatore; una simile soluzione è descritta nelle domande di brevetto JP2004245127A2, WO2008117580A1 ed EP2412945A1.

#### DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è fornire uno scambiatore di calore con recupero di energia termica per un sistema di scarico di un motore a combustione interna, il quale scambiatore di calore permetta di ottenere una maggiore efficienza energetica ed un più rapido riscaldamento da freddo e, nel contempo, sia di facile ed economica realizzazione.

Secondo la presente invenzione viene fornito uno scambiatore di calore con recupero di energia termica per un sistema di scarico di un motore a combustione interna, secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

#### BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano alcuni esempi di attuazione non limitativi, in cui:

- la figura 1 è una vista schematica di un motore a combustione interna dotato di sistema di scarico al quale è accoppiato uno scambiatore di calore

- realizzato in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista prospettica e con l'asportazione di parti per chiarezza di un silenziatore del sistema di scarico della figura 1 integrante al suo interno lo scambiatore di calore;
  - la figura 3 è una vista prospettica ed in scala ingrandita di un particolare della figura 2 che mostra in dettaglio lo scambiatore di calore;
  - la figura 4 è una vista in sezione trasversale ed in scala ingrandita di un tubo dello scambiatore di calore;
  - le figure 5 e 6 sono due viste schematiche ed in sezione longitudinale del silenziatore della figura 2 in due diverse configurazioni operative;
  - la figura 7 è una vista schematica del motore a combustione interna della figura 1, in cui lo scambiatore di calore è separato dal silenziatore;
  - la figura 8 è una vista schematica di un dispositivo deviatore alloggiante lo scambiatore di calore della figura 7; e
  - la figura 9 è una vista schematica di una ulteriore forma di attuazione di un dispositivo deviatore alloggiante lo scambiatore di calore della figura 7.

#### FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con la lettera A è indicato nel suo

complesso un motore a combustione interna per un autoveicolo.

Il motore A a combustione interna è provvisto di un blocco motore B in cui sono ricavati quattro cilindri C disposti in linea. Ciascun cilindro C è collegato ad un collettore D di aspirazione tramite almeno una rispettiva valvola di aspirazione e ad un collettore E di scarico tramite almeno una rispettiva valvola di scarico. Il collettore D di aspirazione riceve aria fresca (cioè aria proveniente dall'ambiente esterno) attraverso un condotto F di aspirazione, il quale è provvisto di un filtro G aria ed è regolato da una valvola a farfalla. Al collettore E di scarico è collegato un sistema H di scarico, il quale emette i gas prodotti dalla combustione nell'atmosfera e comprende un condotto I di scarico che si origina dal collettore E di scarico. Lungo il condotto I di scarico è disposto un catalizzatore J ossidante (che potrebbe integrare anche un filtro antiparticolato) ed un silenziatore l disposto a valle del catalizzatore J.

Il motore 1 a combustione interna è sovralimentato mediante un turbocompressore K provvisto di una turbina, che è disposta lungo il condotto I di scarico per ruotare ad alta velocità sotto l'azione dei gas di scarico espulsi dai cilindri C, e di un compressore, il quale è disposto lungo il condotto F di aspirazione ed è collegato

meccanicamente alla turbina per venire trascinato in rotazione dalla turbina stessa così da aumentare la pressione dell'aria alimentata nel condotto F di aspirazione.

Il motore A a combustione interna comprende un sistema L di raffreddamento a liquido (tipicamente acqua miscelata con un additivo anticongelante), il quale ha la funzione di raffreddare il blocco B motore per evitare un surriscaldamento del blocco B motore stesso.

Il sistema L di raffreddamento comprende un circuito M principale, il quale si estende per la maggior parte all'interno del blocco B motore ed è provvisto di una pompa N di circolazione che è azionata direttamente da un albero motore del motore A a combustione interna. Il circuito M principale è collegato ad un radiatore O (ovvero ad uno scambiatore di calore acqua/aria) che ha la funzione di dissipare nell'ambiente esterno il calore in eccesso. La circolazione attraverso al radiatore O è regolata da una valvola P termostatica che si apre solo quando la temperatura del liquido di raffreddamento è superiore ad un soglia di temperatura predeterminata; grazie alla presenza della valvola P termostatica, quando il motore A a combustione interna è freddo il liquido di raffreddamento non passa attraverso il radiatore O (ovvero non si raffredda nel radiatore O) e quindi raggiunge più

rapidamente la temperatura di lavoro ottimale (particolarmente quando la temperatura esterna è bassa).

Il sistema L di raffreddamento comprende un circuito Q secondario, il quale è collegato al circuito M principale in parallelo al radiatore O ed a monte della valvola P termostatica. Lungo il condotto Q secondario è disposto uno scambiatore 10 di calore (meglio descritto in seguito) che è integrato nel silenziatore 1, è di tipo liquido-gas, e viene utilizzato per recuperare parte del calore posseduto dai gas di scarico che attraversano il silenziatore 1. In parallelo allo scambiatore 10 di calore è collegata una elettrovalvola R di bypass che è atta a venire chiusa per bypassare la circolazione del liquido di raffreddamento attraverso lo scambiatore 10 di calore. Inoltre, lungo il condotto Q secondario è disposto uno scambiatore S di calore che è di tipo liquido-aria, è parte di un sistema di climatizzazione, e viene utilizzato per riscaldare l'aria climatizzata che viene immessa in un abitacolo del veicolo. In parallelo allo scambiatore S di calore è collegata una elettrovalvola T di bypass che è atta a venire chiusa per bypassare la circolazione del liquido di raffreddamento attraverso lo scambiatore S di calore.

E' importante sottolineare che l'elettrovalvola R di bypass e/o l'elettrovalvola T di bypass potrebbero non essere presenti, potrebbero essere disposte in posizioni



diverse rispetto a quanto illustrato nella figura 1 (ad esempio in serie ai corrispondenti scambiatori 10 e S di calore), oppure potrebbero essere a tre vie ed essere quindi disposte in corrispondenza di una biforcazione a monte o a valle dei corrispondenti scambiatori 10 e S di calore.

L'elettrovalvola R di bypass viene pilotata per fare passare il fluido di raffreddamento attraverso lo scambiatore 10 di calore in modo da riscaldare il fluido di raffreddamento stesso utilizzando parte del calore posseduto dai gas di scarico che attraversano il silenziatore 1; ovviamente, il fluido di raffreddamento viene riscaldato attraverso lo scambiatore 10 di calore solo quando il fluido di raffreddamento stesso è freddo (cioè presenta una temperatura inferiore alla temperatura di lavoro ottimale). A tale proposito è importante osservare che fino a quando il fluido di raffreddamento (e con esso tutto il blocco B motore) non raggiunge la temperatura di lavoro ottimale, la combustione all'interno dei cilindri C non avviene nelle condizioni migliori e quindi determina un indesiderato aumento sia del consumo di carburante, sia della generazione di sostanze inquinanti.

L'elettrovalvola T di bypass viene pilotata per fare passare il fluido di raffreddamento attraverso lo scambiatore S di calore in modo da riscaldare l'aria

climatizzata che viene immessa nell'abitacolo del veicolo dal sistema di climatizzazione; tipicamente, il fluido di raffreddamento viene fatto passare attraverso lo scambiatore S di calore solo quando è necessario riscaldare l'aria climatizzata che viene immessa nell'abitacolo del veicolo dal sistema di climatizzazione, ovvero in funzione degli obiettivi che i passeggeri del veicoli richiedono al sistema di climatizzazione.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, il silenziatore 1 presenta una apertura 2 di ingresso ed una apertura 3 di uscita attraverso le quali fluiscono i gas di scarico che attraversano il silenziatore 1. Il silenziatore 1 comprende un corpo 4 principale che è realizzato in lamierino metallico, è di forma tubolare e presenta preferibilmente una sezione trasversale ellittica. Il corpo 4 principale è costituito da una parete 5 laterale cilindrica (che può essere monolamiera o bilamiera), da una parete 6 anteriore piana disposta in prossimità della apertura 2 di ingresso e da una parete 7 posteriore piana disposta in prossimità della apertura 3 di uscita; la parete 6 anteriore e la parete 7 posteriore chiudono alle due estremità la parete 5 laterale cilindrica.

All'interno del corpo 4 principale sono disposti due diaframmi 8 che sono disposti parallelamente alle pareti 6 e 7 e dividono lo spazio interno del corpo 4 principale tre

camere 9 tra loro affiancate. Inoltre, all'interno del corpo 4 principale è disposto lo scambiatore 10 di calore che è di tipo liquido-gas e viene utilizzato per recuperare parte del calore posseduto dai gas di scarico che attraversano il silenziatore 1. Secondo una preferita forma di attuazione, lo scambiatore 10 di calore comprende un condotto 11 di ingresso del liquido ed un condotto 12 di uscita del liquido che fuoriescono longitudinalmente dal corpo 4 principale attraverso la parete 6 anteriore (quindi perpendicolarmente alla parete 6 anteriore); questa disposizione dei condotti 11 e 12 permette di minimizzare le tensioni strutturali che vengono generate dalla diversa dilatazione termica a cui è sottoposto lo scambiatore 10 di calore rispetto alle altre parti del silenziatore 1 per effetto della diversa temperatura di lavoro (lo scambiatore 10 di calore rimane sempre molto più freddo delle altre parti del silenziatore 1 quando viene raffreddato dal liquido che scorre al suo interno).

Il silenziatore 1 comprende un condotto 13 che è conformato per avere un effetto silenziante e si estende parzialmente all'interno del corpo 4 principale da una zona 14 di biforcazione disposta immediatamente a valle della apertura 2 di ingresso ad una zona 15 di convergenza disposta immediatamente a monte della apertura 3 di uscita. Inoltre, il silenziatore 1 comprende un condotto 16 che

attraversa lo scambiatore 10 di calore e si estende parzialmente all'interno del corpo 4 principale dalla zona 14 di biforcazione alla zona 15 di convergenza in parallelo al condotto 13. I due condotti 13 e 16 sono funzionalmente disposti tra loro in parallelo e sono fisicamente disposti uno di fianco all'altro. Infine, il silenziatore 1 comprende una valvola 17 di regolazione che è atta ad indirizzare il flusso di gas di scarico alternativamente attraverso il condotto 13 (come illustrato nella figura 6) oppure attraverso il condotto 16 (come illustrato nella figura 5).

Secondo quanto illustrato nelle figure 5 e 6, la valvola 17 di regolazione comprende un otturatore 18 piatto che è incernierato per ruotare attorno ad un asse 19 di rotazione tra una prima posizione in cui chiude il condotto 13 (come illustrato nella figura 5) ed una seconda posizione in cui chiude il condotto 16 (come illustrato nella figura 6). La valvola 17 di regolazione è disposta all'esterno del corpo 4 principale in corrispondenza della zona 14 di biforcazione immediatamente a valle della apertura 2 di ingresso (secondo un'altra forma di attuazione non illustrata, la valvola 17 di regolazione potrebbe essere disposta in corrispondenza della zona 15 di convergenza immediatamente a monte della apertura 3 di uscita). Grazie al fatto che la valvola 17 di regolazione è

disposta all'esterno del corpo 4 principale, la valvola 17 di attuazione può essere molto più compatta in quanto il corrispondente attuatore può essere disposto in stretta prossimità con l'otturatore 18; in questo modo l'albero che supporta l'otturatore 18 e riceve il moto dall'attuatore è estremamente corto e quindi presenta dilatazioni termiche limitate in valore assoluto.

La zona 14 di biforcazione è disposta all'esterno del corpo 4 principale e, come detto in precedenza, la valvola 17 di regolazione è disposta in corrispondenza della zona 14 di biforcazione immediatamente a valle della apertura 2 di ingresso. Nella zona 14 di biforcazione i due condotti sono disposti tra loro inclinati in modo da assumere una conformazione a "V"; l'otturatore 18 della valvola 17 di regolazione è incernierato in corrispondenza del vertice della "V" per ruotare attorno all'asse 19 di rotazione tra la prima posizione in cui chiude il condotto 13 (come illustrato nella figura 5) ed la seconda posizione in cui chiude il condotto 16 (come illustrato nella figura 6).

La zona 15 di convergenza è disposta all'interno del corpo 4 principale. In particolare, la zona 15 di convergenza è costituita da una camera 9 finale ricavata all'interno del corpo 4 principale in prossimità della parete 7 posteriore ed in cui sfocia il condotto 16; il condotto 13 attraversa la camera 9 finale e presenta

all'interno della camera 9 finale stesso una pluralità di fori 20 passanti. I gas di scarico che fuoriescono dal condotto 16 all'interno della camera 9 finale entrano nella parte finale del condotto 13 attraverso i fori 20 passanti e quindi raggiungono l'apertura 3 di uscita.

Il condotto 16 attraversa il corpo 4 principale passando attraverso la parete 6 anteriore ma non attraverso la parete 7 posteriore ed il condotto 13 attraversa il corpo 4 principale passando sia attraverso la parete 6 anteriore sia attraverso la parete 7 posteriore; in questa forma di attuazione, solo l'apertura 2 di ingresso è disposta all'esterno del corpo 4 principale e ad una certa distanza dalla parete 6 anteriore, mentre l'apertura 3 di uscita è disposta in corrispondenza della parete 7 posteriore ed è costituita da una uscita del condotto 13.

Il condotto 13 presenta una interruzione della propria continuità in una camera 9 intermedia in quanto è conformato per immettere i gas di scarico provenienti dalla apertura 2 di ingresso nella camera 9 intermedia in modo da fare espandere i gas di scarico nella camera 9 intermedia e quindi di raccogliere successivamente i gas di scarico dalla camera 9 intermedia per convogliare i gas di scarico verso l'apertura 3 di uscita.

Secondo una preferita forma di attuazione, ad una superficie interna dei condotti 13 e 16 ed in

corrispondenza della valvola 17 di regolazione è saldato un elemento di battuta anulare (tipicamente avente una forma a squadra) contro cui appoggia una estremità dell'otturatore 18 opposta alla estremità incernierata. La funzione dell'elemento di battuta è di fornire un fine corsa per il movimento dell'otturatore 18 in modo da definire con precisione le due posizioni dell'otturatore. Preferibilmente, l'elemento di battuta è rivestito nel lato rivolto verso l'otturatore 18 con una rete metallica ("wire-mesh") che ha la funzione di smorzare l'impatto dell'otturatore 18 contro l'elemento di battuta deformandosi elasticamente sotto la spinta dell'otturatore 18 stesso.

Secondo una possibile forma di attuazione, una parete esterna dello scambiatore 10 di calore è rivestita con un rivestimento termoisolante. Tale rivestimento termoisolante può essere costituito da un materiale a bassa conducibilità termica che circonda lo scambiatore 10 di calore oppure può essere costituito da una intercapedine vuota (cioè da una intercapedine d'aria) che circonda lo scambiatore 10 di calore. La funzione del rivestimento termoisolante è di limitare il trasferimento di calore verso lo scambiatore 10 di calore quando il condotto 16 è chiuso dalla valvola 17 di regolazione (come illustrato nella figura 6). Secondo una possibile forma di attuazione, il rivestimento

termoisolante potrebbe essere costituito da fibra ceramica che riempie una o più camere 9 e presenta un duplice funzione: isolare termicamente lo scambiatore 10 di calore e realizzare una attenuazione del rumore.

Secondo quanto illustrato nella figura 3, lo scambiatore 10 di calore comprende una camera 21 cilindrica stagna al cui interno viene fatto circolare il liquido di raffreddamento. La camera 21 cilindrica è attraversata longitudinalmente da un fascio di tubi 22 che sono disposti tra loro paralleli per definire una pluralità di corrispondenti canali di passaggio per i gas di scarico. I gas di scarico passando attraverso i tubi 22 riscaldano le pareti 23 dei tubi 22 che sono a contatto del liquido di raffreddamento presente all'interno della camera 21 cilindrica.

Secondo quanto illustrato nella figura 4, la parete 23 di ciascun tubo 22 è internamente rivestita con uno strato 24 di rivestimento costituito di un materiale con una igroscopia esotermica, ovvero di un materiale che è igroscopico e che presenta un processo di assorbimento di acqua esotermico. In altre parole, il volume interno di ciascun tubo 22 è parzialmente occupato da uno strato 24 di rivestimento di forma anulare che è fissato alla parete 23 del tubo 22 ed è costituito di un materiale con una igroscopia esotermica. Lo strato 24 di rivestimento può



essere formato solo dal materiale con una igroscopia esotermica, oppure può essere formato da una miscela tra il materiale con una igroscopia esotermica ed altri componenti aventi essenzialmente la funzione di garantire l'aggrappaggio alle pareti 23 dei tubi 22.

Secondo una preferita forma di attuazione, il materiale con una igroscopia esotermica è un ossido, ed in particolare è un ossido a base di ossido di silicio.

Secondo una prima forma di attuazione, il materiale con una igroscopia esotermica è una zeolite che normalmente è un silicoalluminato, ovvero è un ossido a base di ossido di silicio e di ossido di alluminio (ovvero allumina); in casi molto rari, una zeolite può essere priva di allumina, ovvero può essere un ossido di silicio privo di alluminio. Le zeoliti (dal greco "zein" ovvero "bollire" e "lithos" ovvero "pietra") sono una famiglia di minerali con una struttura cristallina regolare e microporosa caratterizzati da una enorme quantità di volumi vuoti interni ai cristalli. Le zeoliti sono estremamente igroscopiche ed il processo di assorbimento di acqua è esotermico, ovvero rilascia del calore; in altre parole, quando una zeolite assorbe dell'acqua rilascia nel contempo del calore. Esistono numerosissime zeoliti, sia naturali che di sintesi; a titolo di esempio non limitativo, per lo strato 24 di rivestimento dei tubi 22 può venire utilizzata

chabazite (nota anche come zeolite D), clinoptilolite, erionite, faujasite (nota anche come zeolite X e zeolite Y) ferrierite, mordenite, Zeolite A, Zeolite P, Zeolite Beta, Zeolite ZSM-5, e silicalite. Una dettagliata descrizione delle zeoliti sopra identificate può facilmente venire trovata in letteratura (ad esempio nel libro *D. W. Breck, "ZEOLITE MOLECULAR SIEVES", John Wiley and Sons, New York, 1974*).

Secondo una ulteriore forma di attuazione, il materiale con una igroscopia esotermica è un gel di silice che è costituito di ossido di silicio.

In uso, sotto la spinta del dispositivo attuatore l'otturatore 18 della valvola 17 di regolazione ruota attorno all'asse 19 di rotazione tra la prima posizione (illustrata nella figura 5), in cui l'otturatore 18 chiude completamente il condotto 13 e quindi permette il flusso dei gas di scarico solo attraverso il condotto 16, ed una seconda posizione (illustrata nella figura 6), in cui l'otturatore 18 chiude completamente il condotto 16 e quindi permette il flusso dei gas di scarico solo attraverso il condotto 13. La prima posizione (illustrata nella figura 5), viene utilizzata per indirizzare i gas di scarico attraverso lo scambiatore 10 di calore. La seconda posizione (illustrata nella figura 6) viene utilizzata per escludere il passaggio attraverso lo scambiatore 10 di

calore dei gas di scarico che fluiscono attraverso il silenziatore 1.

Quando l'otturatore 18 della valvola 17 di regolazione è nella prima posizione (illustrata nella figura 5), ovvero quando i gas di scarico fluiscono attraverso il condotto 16 e quindi attraverso lo scambiatore 10 di calore, il vapore acqueo presente nei gas di scarico (derivante, per grande parte, dalla combustione del carburante) viene catturato dal materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore (in particolare il materiale con una igroscopia esotermica presente negli strati 24 di rivestimento dei tubi 22); di conseguenza, il materiale con una igroscopia esotermica in seguito all'idratazione (cioè in seguito all'assorbimento di acqua) rilascia calore che contribuisce al riscaldamento del liquido di raffreddamento all'interno dello scambiatore 10 di calore. E' importante osservare che quando il motore 1 a combustione interna è "freddo" (ovvero quando la temperatura del liquido di raffreddamento è inferiore alla temperatura di lavoro ottimale), anche i gas di scarico che vengono emessi dal motore 1 a combustione interna sono più "freddi" rispetto ai gas di scarico che vengono emessi quando il motore 1 a combustione interna ha raggiunto la propria temperatura di lavoro ottimale; il fatto che i gas di scarico siano più "freddi" della norma è positivo, in

quanto permette al materiale con una igroscopia esotermica di assorbire con maggiore facilità il vapore acqueo presente nei gas di scarico.

Quando l'otturatore 18 della valvola 17 di regolazione è nella seconda posizione (illustrata nella figura 6), ovvero quando i gas di scarico fluiscono attraverso il condotto 13 e quindi non attraverso lo scambiatore 10 di calore, i tubi 22 dello scambiatore 10 di calore non vengono interessati da vapore acqueo; in queste condizioni e per effetto delle alte temperature del silenziatore 1 (a regime il silenziatore 1 presenta una temperatura superiore a 200-250 °C) il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore (in particolare il materiale con una igroscopia esotermica presente negli strati 24 di rivestimento dei tubi 22) si disidrata rilasciando tutta l'acqua che era stata catturata in precedenza ed assorbendo quindi calore.

Secondo una possibile forma di attuazione, quando il motore 1 a combustione interna è in condizioni termiche ideali (ovvero quando il motore 1 a combustione interna, e quindi i gas di scarico emessi dal motore 1 a combustione interna, presentano una temperatura elevata), potrebbe essere possibile spostare per un limitato intervallo di tempo (ad esempio dell'ordine di alcuni minuti) l'otturatore 18 della valvola 17 di regolazione nella prima

posizione (illustrata nella figura 5) per fare fluire i gas di scarico "caldi" attraverso lo scambiatore 10 di calore e quindi favorire la disidratazione del materiale con una igroscopia esotermica presente negli strati 24 di rivestimento dei tubi 22. Infatti, quando i gas di scarico sono "caldi", ovvero presentano una temperatura superiore ad una certa soglia, le molecole di acqua presenti nei gas di scarico hanno una energia cinetica superiore all'energia di assorbimento del materiale con una igroscopia esotermica e quindi non vengono catturate dal materiale con una igroscopia esotermica. Di conseguenza, quando dei gas di scarico "caldi", ovvero con una temperatura superiore ad una certa soglia, attraversano lo scambiatore 10 di calore, il materiale con una igroscopia esotermica non solo non è in grado di assorbire le molecole d'acqua presenti nei gas di scarico, ma, al contrario, rilascia le molecole d'acqua che aveva assorbito in precedenza disidratandosi. In altre parole, la disidratazione del materiale con una igroscopia esotermica può anche avvenire disponendo per un breve intervallo di tempo l'otturatore 18 della valvola 17 nella prima posizione (illustrata nella figura 5) quando il motore 1 a combustione interna è nelle condizioni termiche ideali.

In sostanza, quando il motore A a combustione interna è a regime, parte del calore dei gas di scarico (che

normalmente viene interamente disperso nell'ambiente esterno) viene utilizzato per disidratare il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore; in altre parole, quando il motore A a combustione interna è a regime il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore "immagazzina" parte del calore dei gas di scarico disidratandosi. Successivamente, quando il motore A a combustione interna viene nuovamente avviato a freddo il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore "rilascia" il calore idratandosi con il vapore d'acqua presente nei gas di scarico; in altre parole, in seguito ad un avviamento a freddo il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore "rilascia" il calore "immagazzinato" in precedenza idratandosi. In questo modo, il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di calore "rilascia" il calore "immagazzinato" in precedenza accelerando il riscaldamento del liquido di raffreddamento, quindi riducendo il tempo necessario a portare il liquido di raffreddamento alla temperatura di lavoro ottimale.

Riassumendo il materiale con una igroscopia esotermica presente all'interno dei tubi 22 dello scambiatore 10 di

calore recupera parte del calore dei gas di scarico (che normalmente viene interamente disperso nell'ambiente esterno) ed utilizza tale calore recuperato per riscaldare più rapidamente il liquido di raffreddamento in seguito ad un avviamento a freddo.

Nella forma di attuazione illustrata nella figura 1, lo scambiatore di calore è integrato nel silenziatore 1. Nella alternativa forma di attuazione illustrata nella figura 7, lo scambiatore 10 di calore è separato ed indipendente dal silenziatore 1 ed è disposto a monte del silenziatore 1 stesso (ovvero lo scambiatore 10 di calore è disposto tra il catalizzatore J ossidante ed il silenziatore 1).

Secondo quanto illustrato nella figura 8, lo scambiatore 10 di calore è inserito in un dispositivo 25 di deviazione, che è collegato in serie al condotto I di scarico e comprende un condotto 26 principale che è privo di ostacoli ed un condotto 27 secondario che presenta lo scambiatore 10 di calore. Una valvola 28 di regolazione (ad esempio del tutto analoga alla valvola 17 di regolazione descritta in precedenza) regola il flusso dei gas di scarico attraverso i due condotti 26 e 27. Ovviamente, anche in questa forma di attuazione lo scambiatore 10 di calore comprende un fascio di tubi 22 per i gas di scarico provvisti internamente degli strati 24 di rivestimento

costituiti di un materiale con una igroscopia esotermica.

Nella figura 9 è illustrata una diversa forma di attuazione del dispositivo 25 di deviazione che è collegato in serie al condotto I di scarico ed alloggia lo scambiatore 10 di calore. Per una dettagliata descrizione del funzionamento del dispositivo 25 di deviazione illustrato nella figura 9, rimandiamo a quanto descritto nella domanda di brevetto W02011132035A1. Ovviamente, anche in questa forma di attuazione lo scambiatore 10 di calore comprende un fascio di tubi 22 per i gas di scarico provvisti internamente degli strati 24 di rivestimento costituiti di un materiale con una igroscopia esotermica.

Nelle forme di attuazione sopra descritte, il calore dei gas di scarico ed il calore rilasciato dagli strati 24 di rivestimento vengono utilizzati per riscaldare, negli istanti successivi all'avviamento a freddo, il liquido di raffreddamento del motore a combustione interna; secondo alternative (e perfettamente equivalenti) forme di attuazione non illustrate, il calore dei gas di scarico ed il calore rilasciato dagli strati 24 di rivestimento potrebbero utilizzati per riscaldare, negli istanti successivi all'avviamento a freddo, anche (o solo) l'olio di lubrificazione del motore 1 a combustione interna, e/o l'olio di lubrificazione della trasmissione.

Lo scambiatore 10 di calore sopra descritto presenta



numerosi vantaggi.

In primo luogo, lo scambiatore 10 di calore permette di ottenere una maggiore efficienza energetica ed un più rapido riscaldamento da freddo rispetto ad un analogo scambiatore di calore convenzionale grazie alla presenza degli strati 24 di rivestimento costituiti di un materiale con una igroscopia esotermica all'interno dei tubi 22. Infatti, il materiale con una igroscopia esotermica permette di "immagazzinare" parte del calore dei gas di scarico disidratandosi quando il motore A a combustione interna è a regime; successivamente, quando il motore A a combustione interna viene nuovamente avviato a freddo, il materiale con una igroscopia esotermica "rilascia" il calore "immagazzinato" in precedenza idratandosi con il vapore d'acqua presente nei gas di scarico.

Inoltre, lo scambiatore 10 di calore sopra descritto è di semplice ed economica realizzazione, in quanto rispetto ad un analogo scambiatore di calore convenzionale richiede come unica modifica la deposizione all'interno dei tubi 22 degli strati 24 di rivestimento costituiti di un materiale con una igroscopia esotermica. A tale proposito è importante osservare che le zeoliti o il gel di silice sono materiali facilmente reperibili e di basso costo e che la deposizione di uno strato 24 di rivestimento all'interno di un tubo 22 è facilmente automatizzabile ed è quindi eseguibile in tempi contenuti e con costi ridotti.

## RIVENDICAZIONI

1) Scambiatore (10) di calore con recupero di energia termica per un sistema (H) di scarico di un motore (A) a combustione interna; lo scambiatore (10) di calore comprende una pluralità di tubi (22) che definiscono una pluralità di corrispondenti canali di passaggio per i gas di scarico; lo scambiatore (10) di calore è **caratterizzato dal fatto che** una parete (23) di almeno un tubo (22) è internamente rivestita con uno strato (24) di rivestimento comprendente un materiale con una igroscopia esotermica, ovvero di un materiale che è igroscopico e che presenta un processo di assorbimento di acqua esotermico.

2) Scambiatore (10) di calore secondo la rivendicazione 1, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è un ossido.

3) Scambiatore (10) di calore secondo la rivendicazione 2, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è un ossido a base di ossido di silicio.

4) Scambiatore (10) di calore secondo la rivendicazione 3, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è una zeolite.

5) Scambiatore (10) di calore secondo la rivendicazione 3, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è un gel di silice che è costituito di ossido di silicio.

**Matteo MACCAGNAN**  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

6) Scambiatore (10) di calore secondo una delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui lo scambiatore (10) di calore è di tipo liquido-gas e comprende un condotto (11) di ingresso del liquido ed un condotto (12) di uscita del liquido.

7) Scambiatore (10) di calore secondo la rivendicazione 6 e comprendente una camera (21) stagna al cui interno viene fatto circolare il liquido che deve ricevere del calore dai gas di scarico, ed al cui interno sono disposti i tubi (22) atti a venire attraversati dai gas di scarico.

8) Silenziatore (1) comprendente:

una apertura (2) di ingresso ed una apertura (3) di uscita attraverso le quali fluiscono i gas di scarico;

un corpo (4) principale che è di forma tubolare ed è costituito da una parete (5) laterale cilindrica e da una parete (6) anteriore piana disposta in prossimità della apertura (2) di ingresso e da una parete (7) posteriore piana disposta in prossimità della apertura (3) di uscita che chiudono alle due estremità la parete (5) laterale cilindrica;

uno scambiatore (10) di calore disposto all'interno del corpo (4) principale;

un primo condotto (13) che è conformato per avere un effetto silenziante e si estende almeno parzialmente

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

all'interno del corpo (4) principale da una zona (14) di biforcazione disposta immediatamente a valle della apertura (2) di ingresso ad una zona (15) di convergenza disposta immediatamente a monte della apertura (3) di uscita;

un secondo condotto (16) che attraversa lo scambiatore (10) di calore e si estende almeno parzialmente all'interno del corpo (4) principale dalla zona (14) di biforcazione alla zona (15) di convergenza in parallelo al primo condotto (13); ed

una valvola (17) di regolazione che è atta ad indirizzare il flusso di gas di scarico alternativamente attraverso il primo condotto (13) oppure attraverso il secondo condotto (16);

in cui lo scambiatore (10) di calore comprende una pluralità di tubi (22) che definiscono una pluralità di corrispondenti canali di passaggio per i gas di scarico;

il silenziatore (1) è **caratterizzato dal fatto che** una parete (23) di almeno un tubo (22) è internamente rivestita con uno strato (24) di rivestimento comprendente un materiale con una igroscopia esotermica, ovvero di un materiale che è igroscopico e che presenta un processo di assorbimento di acqua esotermico.

9) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 8, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è un ossido.

10) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 9, in

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

cui il materiale con una igroscopia esotermica è un ossido a base di ossido di silicio.

11) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 10, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è una zeolite.

12) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 10, in cui il materiale con una igroscopia esotermica è un gel di silice che è costituito di ossido di silicio.

13) Silenziatore (1) secondo una delle rivendicazioni da 8 a 12, in cui lo scambiatore (10) di calore è di tipo liquido-gas e comprende un condotto (11) di ingresso del liquido ed un condotto (12) di uscita del liquido.

14) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 13, in cui lo scambiatore (10) di calore comprende una camera (21) stagna al cui interno viene fatto circolare il liquido che deve ricevere del calore dai gas di scarico, ed al cui interno sono disposti i tubi (22) atti a venire attraversati dai gas di scarico.

15) Silenziatore (1) secondo una delle rivendicazioni da 8 a 14, in cui:

la valvola (17) di regolazione è disposta all'esterno del corpo (4) principale;

la zona (14) di biforcazione è disposta all'esterno del corpo (4) principale e la valvola (17) di regolazione è disposta in corrispondenza della zona (14) di biforcazione;

**Matteo MACCAGNAN**  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

e

la zona (15) di convergenza è disposta all'interno del corpo (4) principale.

16) Silenziatore (1) secondo la rivendicazione 15, in cui:

la zona (15) di convergenza è costituita da una camera (9) finale ricavata all'interno del corpo (4) principale in prossimità della parete (7) posteriore;

il primo condotto (13) attraversa la camera (9) finale e presenta all'interno della camera (9) finale stesso una pluralità di fori (20) passanti; ed

il secondo condotto (16) sfocia nella camera (9) finale.

p.i.: MAGNETI MARELLI S.P.A.

**Matteo MACCAGNAN**

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

TITLE: "HEAT EXCHANGER WITH THERMAL ENERGY RECOVERY FOR AN EXHAUST SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE"

CLAIMS

1) A heat exchanger (10) with thermal energy recovery for an exhaust system (H) of an internal combustion engine (A); the heat exchanger (10) comprises a plurality of pipes (22), which define a plurality of corresponding flowing channels for the exhaust gases; the heat exchanger (10) is **characterised in that** a wall (23) of at least one pipe (22) is internally coated with a coating layer (24) comprising a material with an exothermic hygroscopy, namely a material that is hygroscopic and presents an exothermic water absorption process.

2) A heat exchanger (10) according to claim 1, wherein the material with an exothermic hygroscopy is an oxide.

3) A heat exchanger (10) according to claim 2, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a silicon oxide-based oxide.

4) A heat exchanger (10) according to claim 3, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a zeolite.

5) A heat exchanger (10) according to claim 3, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a silica gel consisting of silicon oxide.

6) A heat exchanger (10) according to any of the claims from 1 to 5, wherein the heat exchanger (10) is of

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

the liquid-gas type and comprises a liquid inlet duct (11) and a liquid outlet duct (12).

7) A heat exchanger (10) according to claim 6 and comprising a fluid-tight chamber (21), inside which the liquid that has to receive the heat from the gases is caused to circulate, and inside which the pipes (22) that are suited to be flown through by the exhaust gases are arranged.

8) A silencer (1) comprising:

an inlet opening (2) and an outlet opening (3), through which the exhaust gases flow;

a main body (4), which has a tubular shape and consists of a cylindrical lateral wall (5) as well as of a flat front wall (6) arranged close to the inlet opening (2) and of a flat rear wall (7) arranged close to the outlet opening (3), which close the cylindrical lateral wall (5) at the two ends;

a heat exchanger (10), which is arranged inside the main body (4);

a first duct (13), which is shaped so as to have a silencing effect and at least partially extends inside the main body (4) from a bifurcation area (14), which is arranged immediately downstream of the inlet opening (2), to a convergence area (15), which is arranged immediately upstream of the outlet opening (3);

a second duct (16), which runs through the heat exchanger (10) and at least partially extends inside the main body (4)

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*



from the bifurcation area (14) to the convergence area (15) in parallel with the first duct (13); and

a control valve (17), which is suited to alternatively direct the flow of exhaust gases through the first duct (13) or through the second duct (16);

wherein the heat exchanger (10) comprises a plurality of pipes (22), which define a plurality of corresponding flowing channels for the exhaust gases;

the silencer (1) is **characterised in that** a wall (23) of at least one pipe (22) is internally coated with a coating layer (24) comprising a material with an exothermic hygroscopy, namely a material that is hygroscopic and presents an exothermic water absorption process.

9) A silencer (1) according to claim 8, wherein the material with an exothermic hygroscopy is an oxide.

10) A silencer (1) according to claim 9, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a silicon oxide-based oxide.

11) A silencer (1) according to claim 10, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a zeolite.

12) A silencer (1) according to claim 10, wherein the material with an exothermic hygroscopy is a silica gel consisting of silicon oxide.

13) A silencer (1) according to any of the claims from 8 to 12, wherein the heat exchanger (10) is of the liquid-gas

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

type and comprises a liquid inlet duct (11) and a liquid outlet duct (12).

14) A silencer (1) according to claim 13, wherein the heat exchanger (10) comprises a fluid-tight chamber (21), inside which the liquid that has to receive the heat from the gases is caused to circulate, and inside which the pipes (22) that are suited to be flown through by the exhaust gases are arranged.

15) A silencer (1) according to any of the claims from 8 to 14, wherein:

the control valve (17) is arranged outside of the main body (4);

the bifurcation area (14) is arranged outside of the main body (4) and the control valve (17) is arranged in correspondence to the bifurcation area (14); and

the convergence area (15) is arranged inside the main body (4).

16) A silencer (1) according to claim 15, wherein:

the convergence area (15) consists of a final chamber (9), which is obtained inside the main body (4) close to the rear wall (7);

the first duct (13) extends through the final chamber (9) and presents, inside the final chamber (9) itself, a plurality of through holes (20); and

the second duct (16) leads into the final chamber (9).

**Matteo MACCAGNAN**  
*(Iscrizione Albo N.987/BM)*

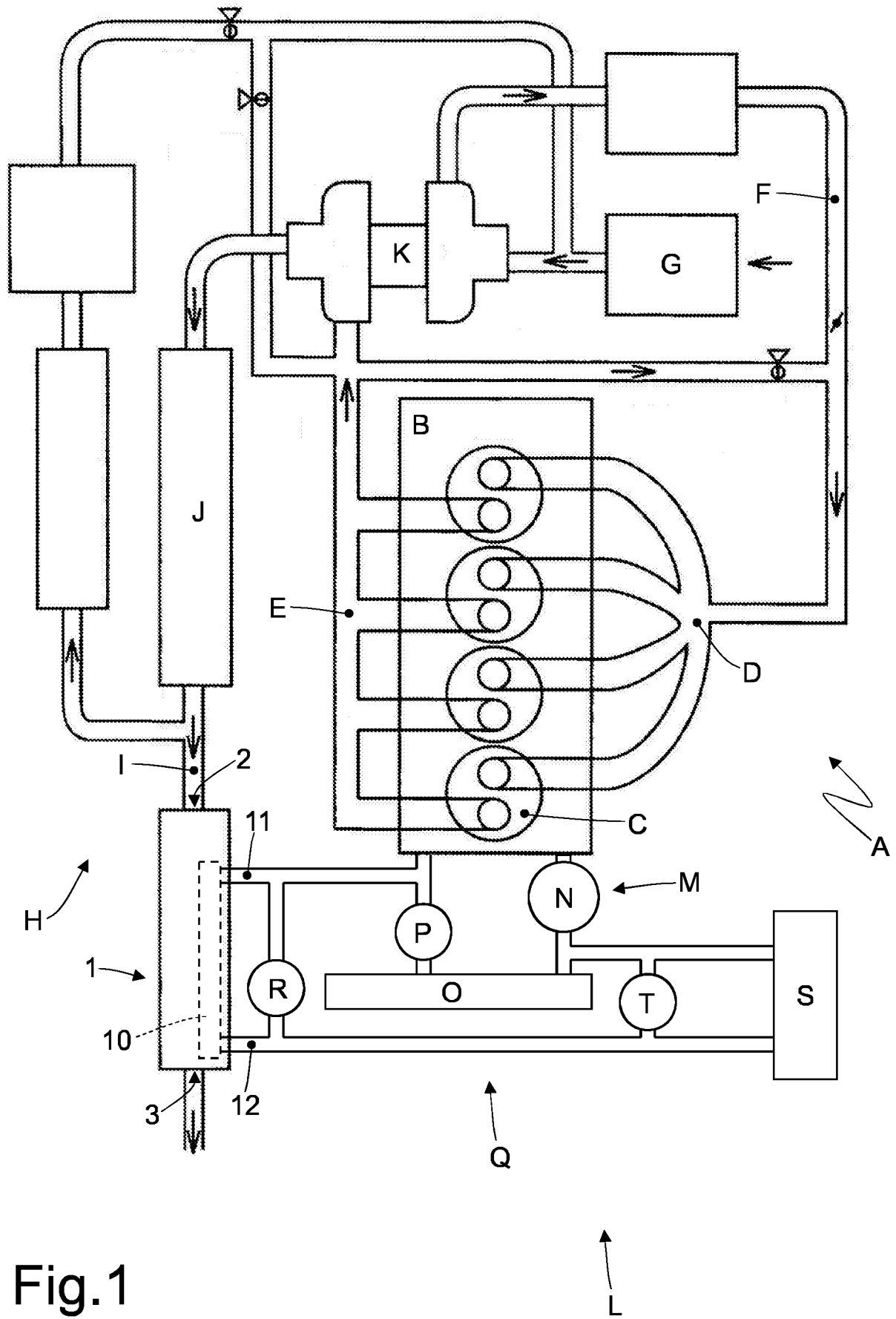
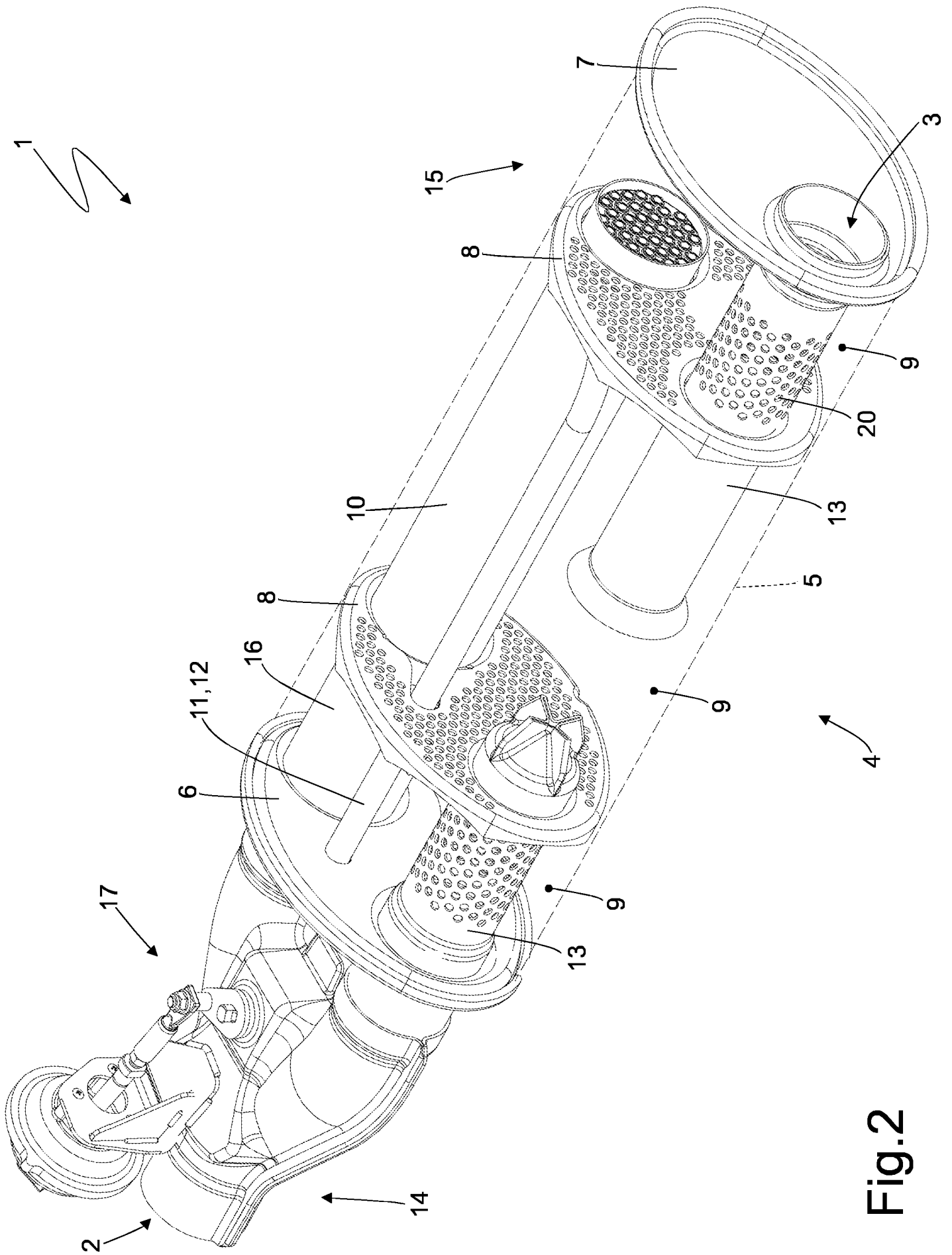


Fig.1



**Fig.2**

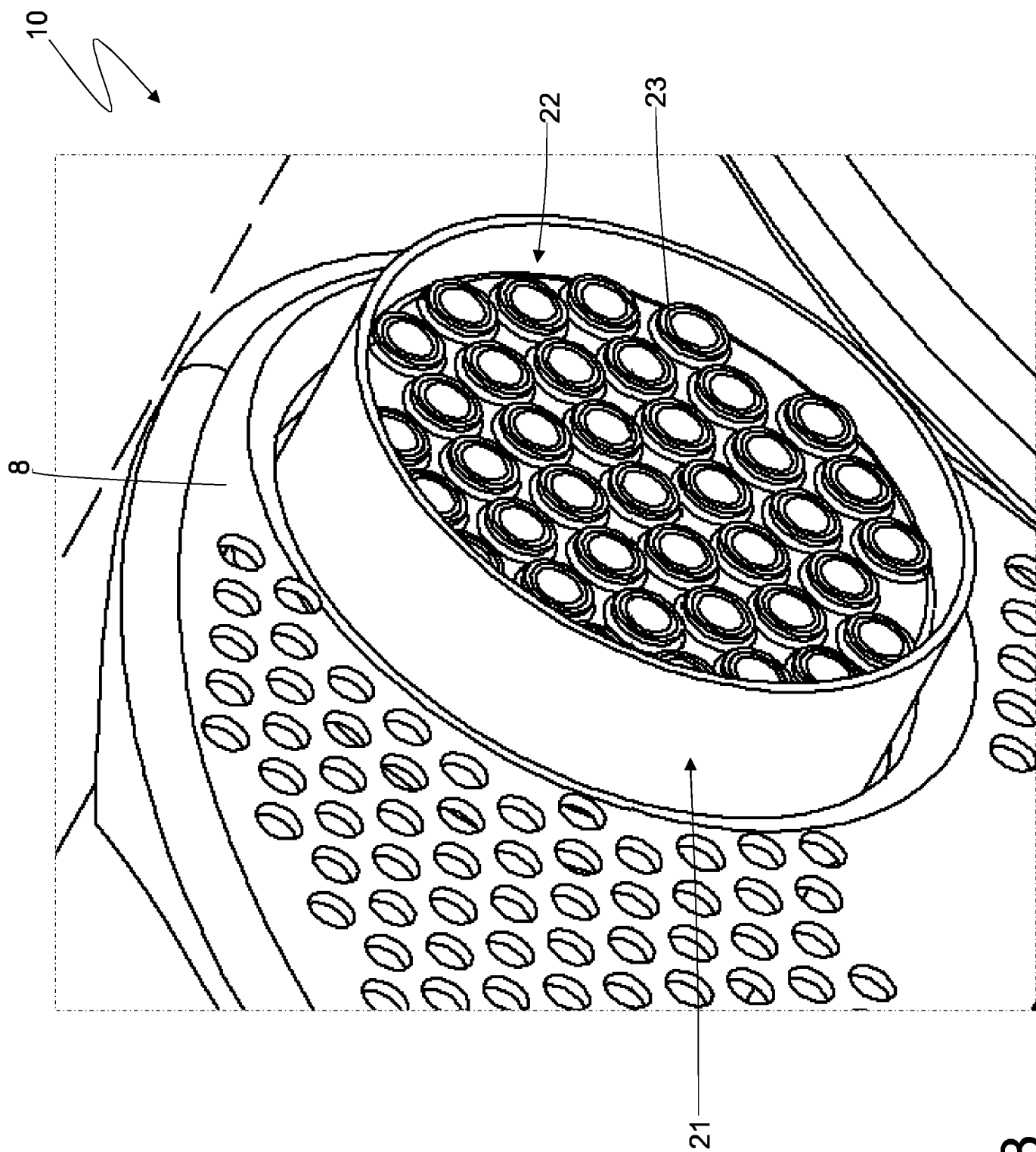


Fig.3

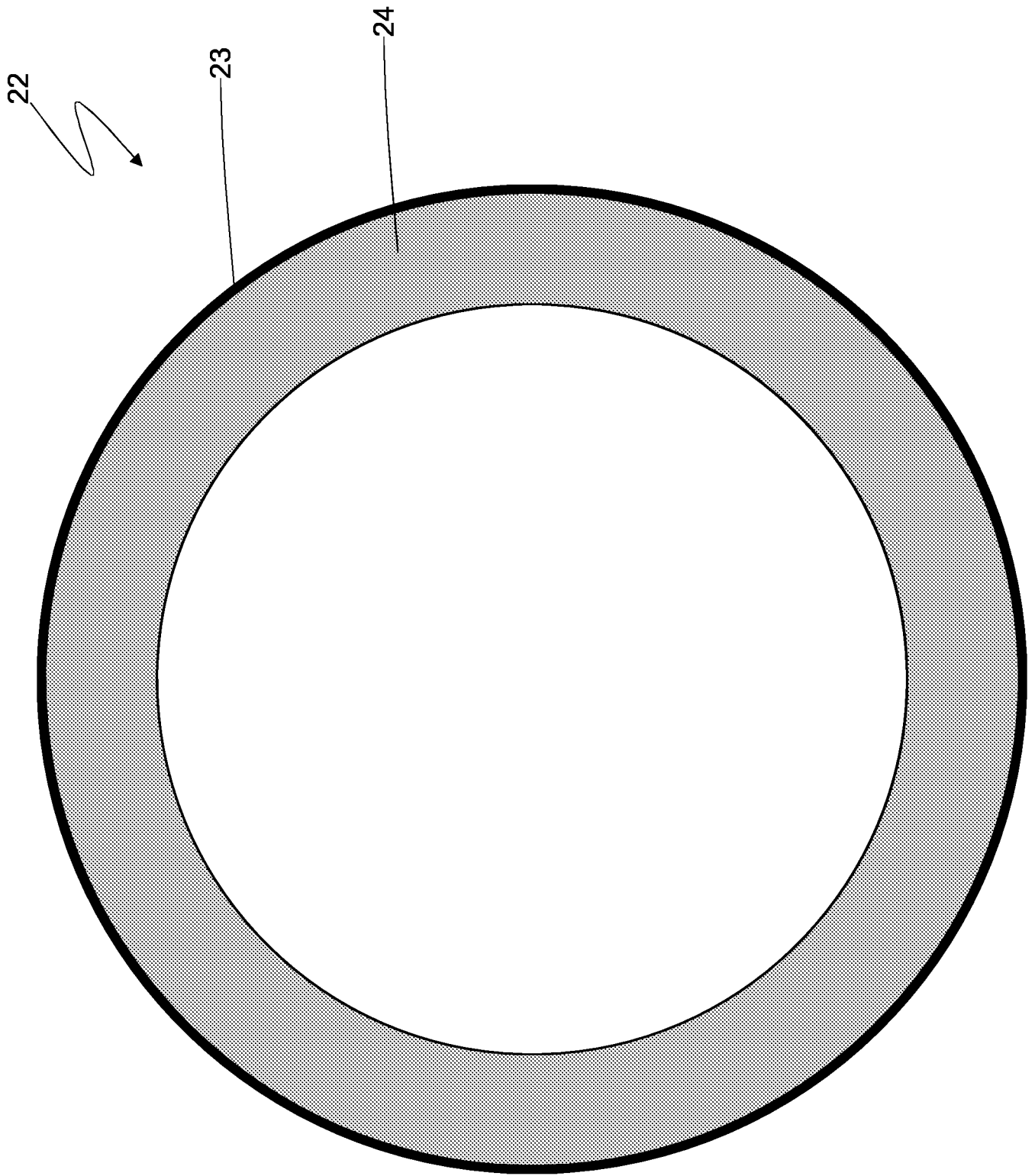


Fig.4

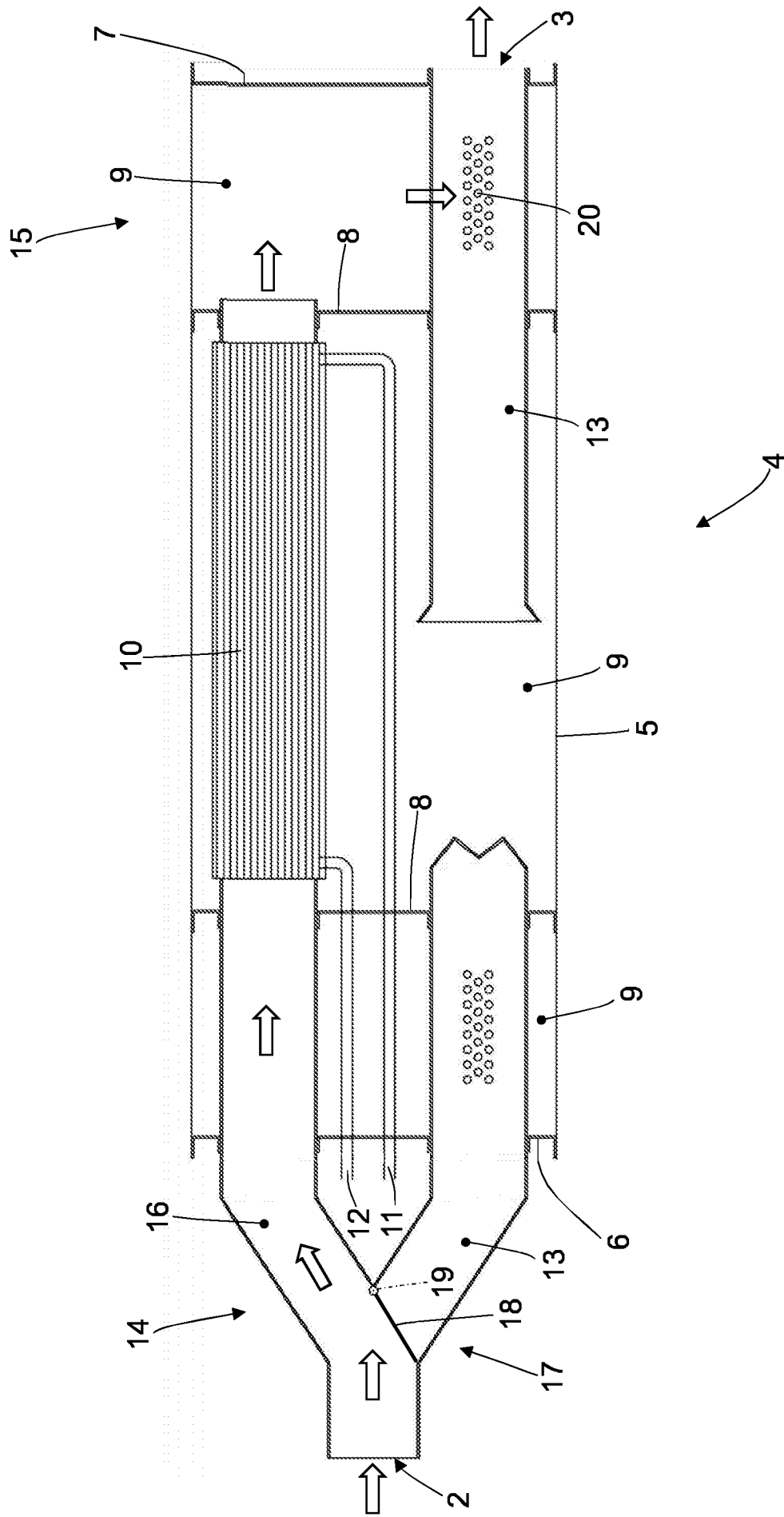
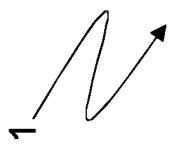


Fig.5

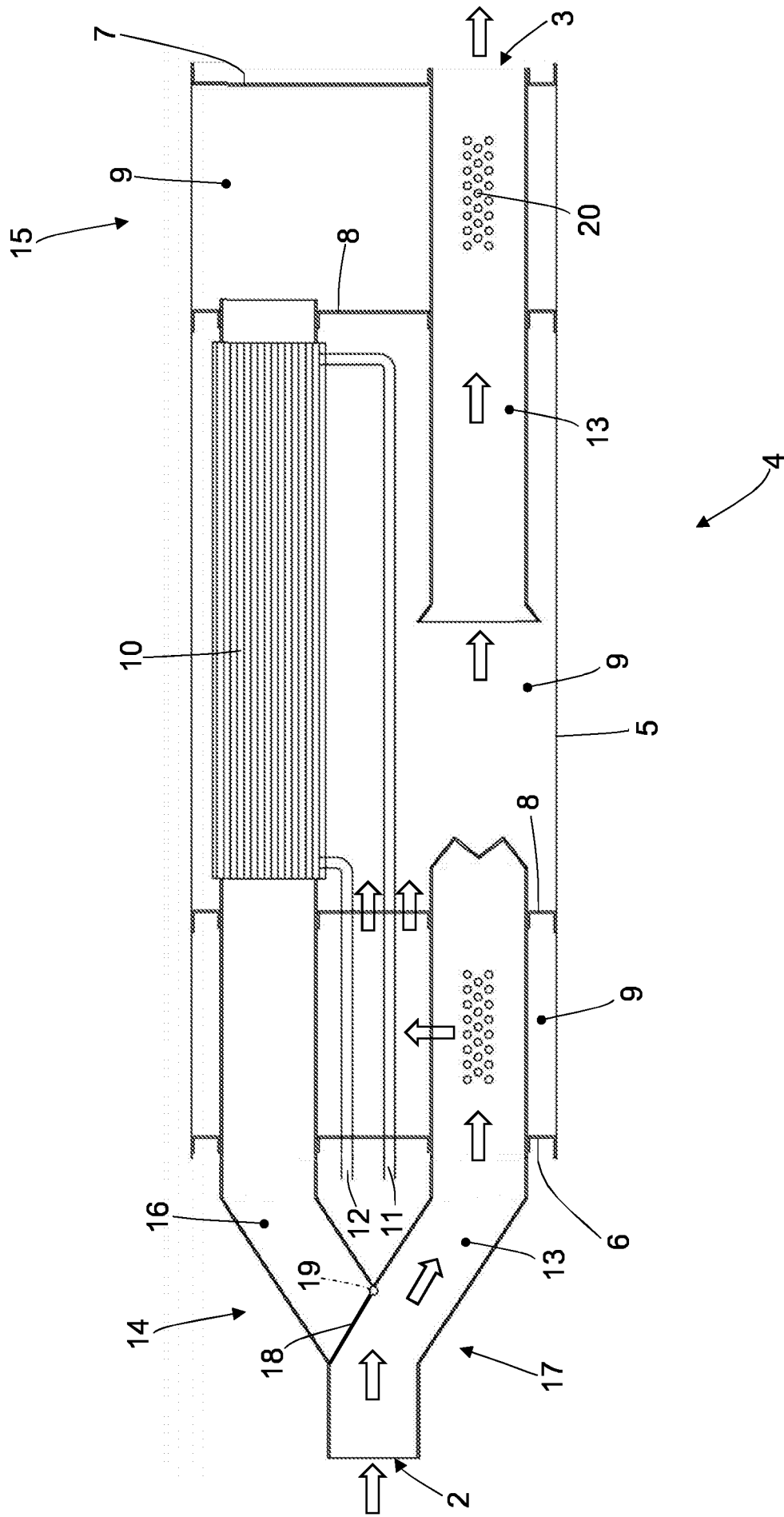
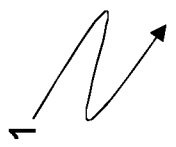


Fig.6



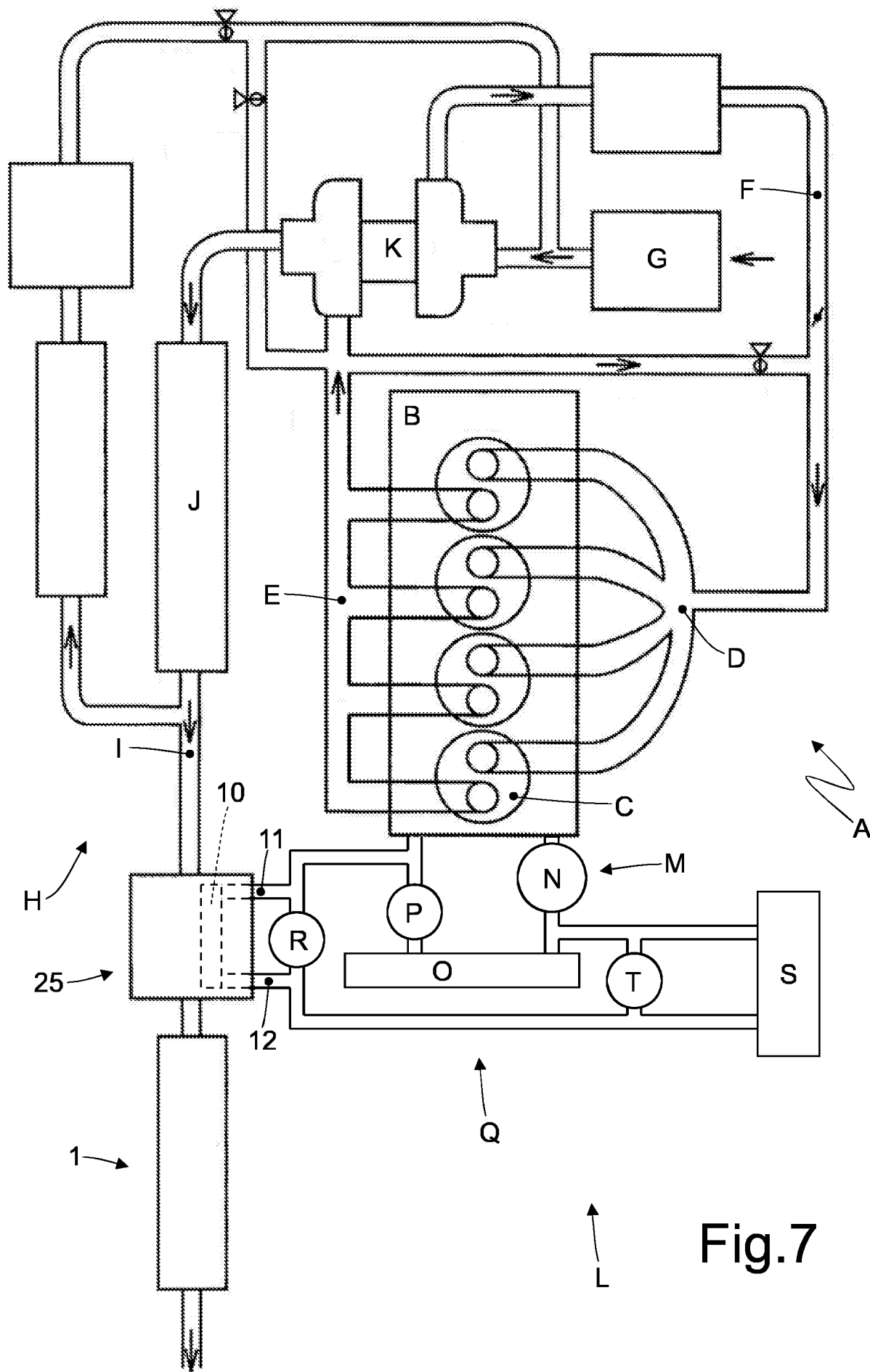
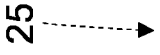
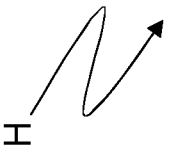


Fig.7

Fig.8

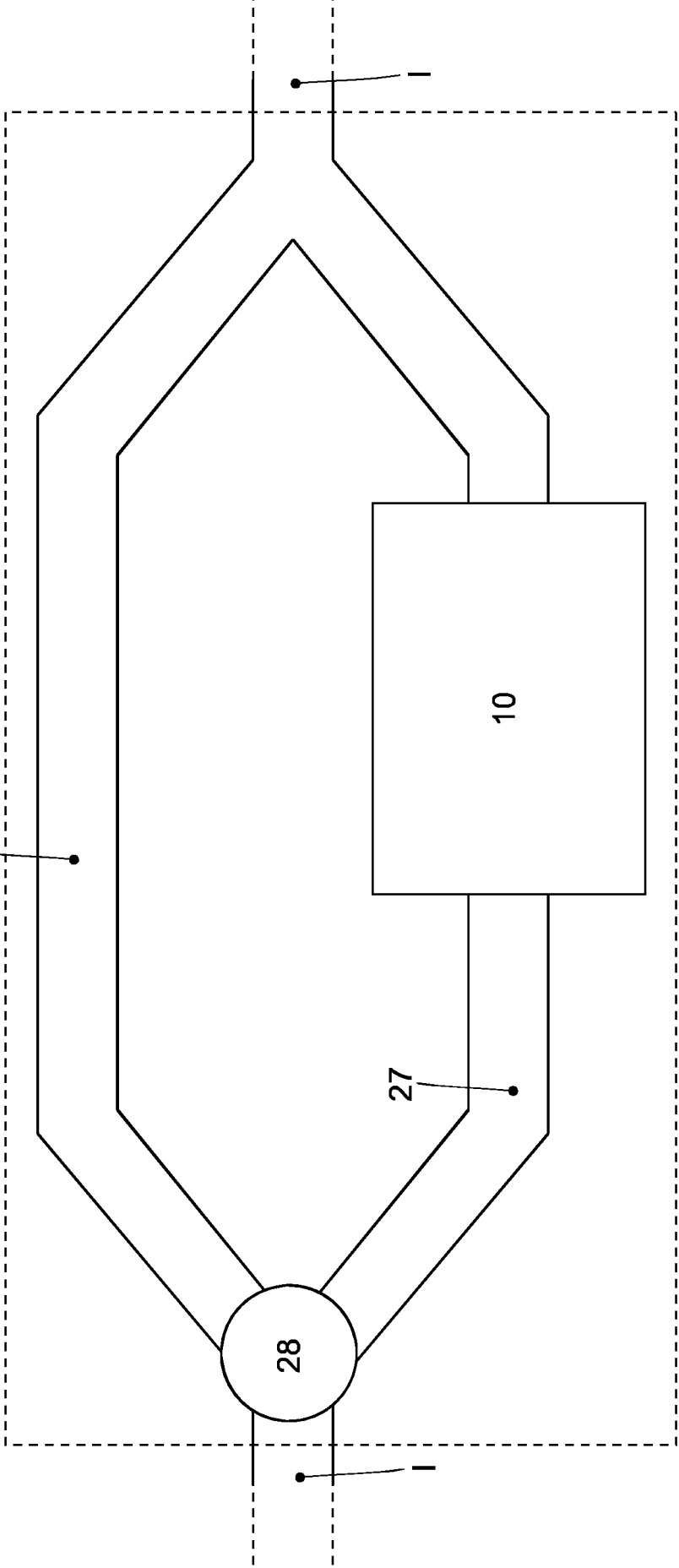


26

27

28

10



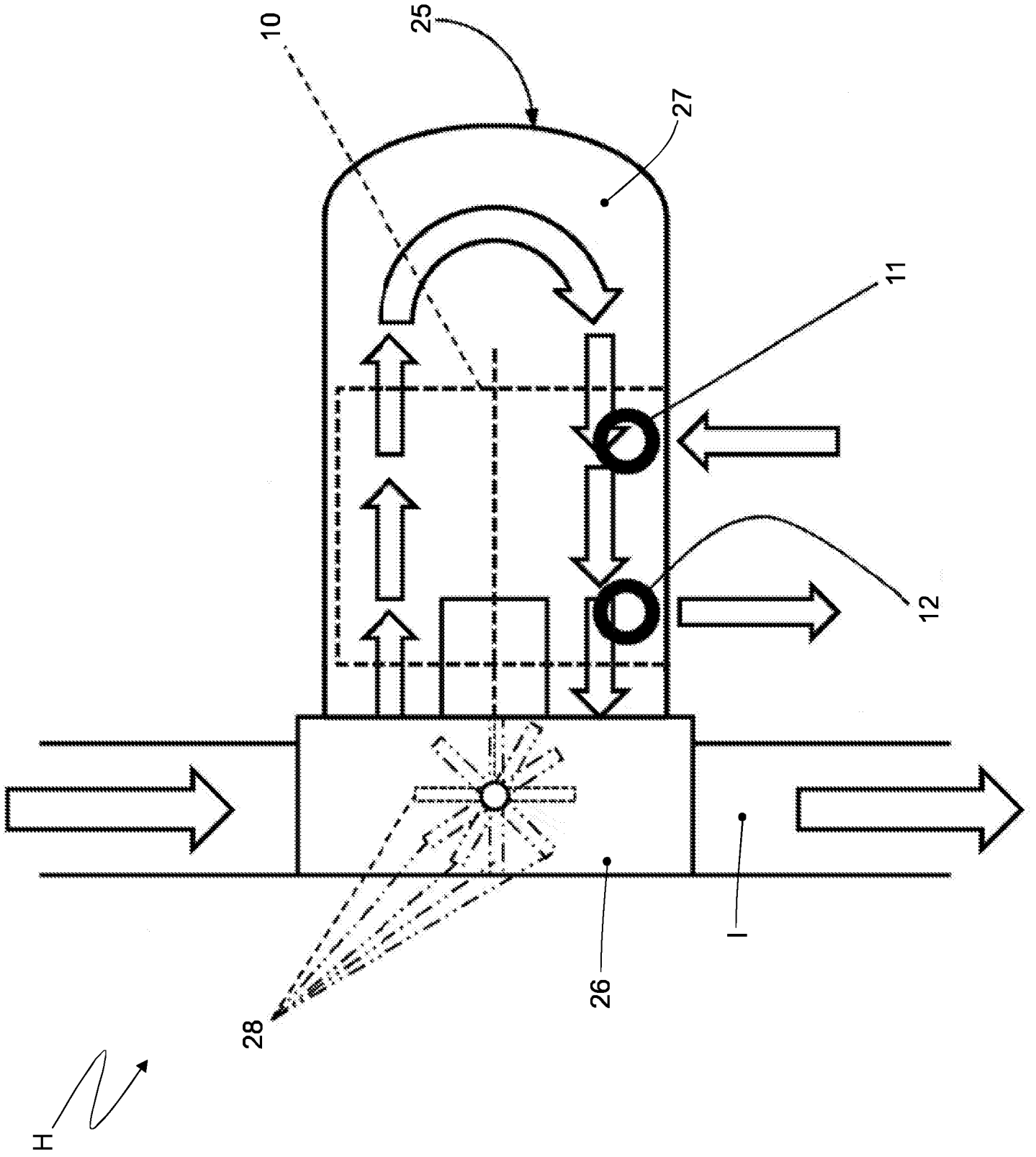


Fig.9