

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902111313A1

Publication Date

20140618

Applicant

FERRARI S.P.A.

Title

MACCHINA ELETTRICA ROTANTE PER AUTOTRAZIONE CON
RAFFREDDAMENTO A LIQUIDO

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"MACCHINA ELETTRICA ROTANTE PER AUTOTRAZIONE CON
RAFFREDDAMENTO A LIQUIDO"

di FERRARI S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA EMILIA EST 1163

MODENA (MO)

Inventore: CIMATTI Franco

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad una macchina elettrica rotante per autotrazione con raffreddamento a liquido.

ARTE ANTERIORE

Nei veicoli stradali sta prendendo sempre più piede la trazione elettrica in abbinamento alla tradizionale trazione termica per realizzare una trazione ibrida.

Per potere integrare una macchina elettrica in un veicolo stradale è necessario prevedere un adeguato sistema di raffreddamento dedicato alla macchina elettrica per evitare che la macchina elettrica si surriscaldi ed in particolare per evitare che l'isolamento dei conduttori che costituiscono l'avvolgimento statorico superi la massima temperatura consentita (la fusione anche parziale

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

dell'isolamento dei conduttori che costituiscono l'avvolgimento statorico ha un effetto distruttivo in quanto provoca dei cortocircuiti irreversibili). Un ulteriore scopo del sistema di raffreddamento della macchina elettrica è di mantenere relativamente bassa la temperatura di lavoro della macchina elettrica per aumentare il rendimento della macchina elettrica stessa (la resistenza elettrica specifica del rame che è universalmente utilizzato negli avvolgimenti di statore cresce al crescere della temperatura, quindi mantenendo più bassa la temperatura dalla macchina elettrica si riduce la resistenza elettrica degli avvolgimenti di statore e quindi le perdite per effetto Joule negli avvolgimenti di statore).

I sistemi di raffreddamento più comuni prevedono l'utilizzo di aria o acqua, ma si sta diffondendo anche l'utilizzo di olio minerale (tipicamente sfruttando lo stesso olio di lubrificazione e raffreddamento della trasmissione). L'utilizzo dell'olio minerale al posto dell'acqua presenta dei vantaggi, in quanto l'olio minerale è anche in grado di assicurare la lubrificazione dei componenti meccanici (principalmente i cuscinetti) della macchina elettrica senza dover interporre dispositivi di tenuta, ma anche degli inconvenienti, in quanto l'olio minerale ha una capacità di asportazione del calore

inferiore all'acqua (normalmente questa minore capacità di asportazione del calore viene compensata mantenendo più bassa la temperatura dell'olio minerale con un conseguente sovradimensionamento del circuito di raffreddamento).

La domanda di brevetto DE102008049226A1 descrive un sistema di raffreddamento di una macchina elettrica di un veicolo; il sistema di raffreddamento comprende un involucro esterno che racchiude al suo interno la carcassa della macchina elettrica definendo attorno alla carcassa una camera di raffreddamento anulare attraverso la quale viene fatto circolare un fluido di raffreddamento. Il sistema di raffreddamento descritto nella domanda di brevetto DE102008049226A1 presenta alcuni inconvenienti, in quanto non è di semplice montaggio attorno alla carcassa della macchina elettrica e non presenta delle prestazioni termiche particolarmente elevate (ovvero presenta una quantità di calore smaltita per unità di volume di fluido circolato relativamente bassa).

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire una macchina elettrica rotante per autotrazione con raffreddamento a liquido, la quale macchina elettrica sia priva degli inconvenienti sopra descritti e sia nel contempo di facile ed economica realizzazione.

Secondo la presente invenzione viene fornita una

macchina elettrica rotante per autotrazione con raffreddamento a liquido, secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista schematica e laterale di una macchina elettrica rotante per autotrazione realizzata in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista schematica ed in sezione trasversale secondo la linea II-II della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 3 è una schematica e frontale della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 4 è una vista schematica ed in sezione longitudinale secondo la linea IV-IV della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 5 è una vista schematica ed in sezione longitudinale secondo la linea V-V della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 6 è una vista schematica ed in sezione trasversale secondo la linea VI-VI della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 7 è una vista schematica ed in sezione

longitudinale secondo la linea VII-VII della macchina elettrica rotante della figura 1;

- la figura 8 è una vista schematica e prospettica di un circuito di raffreddamento presente all'interno della macchina elettrica rotante della figura 1;
- la figura 9 è una vista schematica e laterale del circuito di raffreddamento della figura 8;
- la figura 10 è una vista schematica e frontale del circuito di raffreddamento della figura 8;
- la figura 11 è una vista schematica e dal basso del circuito di raffreddamento della figura 8 con in evidenza i flussi del fluido di raffreddamento e lubrificazione;
- la figura 12 è una vista schematica ed in sezione longitudinale secondo la linea XII-XII del circuito di raffreddamento della figura 8; e
- la figura 13 è una vista schematica ed in sezione longitudinale secondo la linea XIII-XIII del circuito di raffreddamento della figura 8.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nelle figure 1 e 2, con il numero 1 è indicata nel suo complesso una macchina elettrica sincrona per autotrazione di tipo reversibile (cioè che può funzionare sia come motore elettrico assorbendo energia elettrica e generando un coppia meccanica motrice, sia come generatore elettrico

assorbendo energia meccanica e generando energia elettrica).

Secondo quanto illustrato nella figura 2, la macchina 1 elettrica comprende un albero 2, il quale è montato girevole per ruotare attorno ad un asse 3 di rotazione centrale, un rotore 4 a magneti permanenti di forma cilindrica e calettato all'albero 2 per ruotare assieme all'albero 2 stesso, ed uno statore 5 di forma tubolare cilindrica disposto attorno al rotore 4 per racchiudere al proprio interno il rotore 4 stesso.

Lo statore 5 comprende un nucleo magnetico di forma toroidale che è costituito da una serie di lamierini serrati a pacco e degli avvolgimenti 6 statorici trifase che sono parzialmente disposti all'interno di corrispondenti cave assiali ricavate all'interno del nucleo magnetico. Le testate degli avvolgimenti 6 statorici fuoriescono assialmente dalle cave del nucleo magnetico da entrambi i lati del nucleo magnetico stesso (come illustrato nelle figure 4, 5 e 7). Il rotore 4 comprende un nucleo magnetico di forma cilindrica che è costituito da una serie di lamierini serrati a pacco ed una pluralità di poli magnetici costituiti da magneti 7 permanenti che sono annegati all'interno del nucleo magnetico. Lo statore 5 è inserito all'interno di una carcassa 8 cilindrica che presenta una superficie 9 laterale di forma cilindrica e

due pareti 10 di estremità di forma circolare (illustrate nelle figure 1 e 2) che chiudono da lati opposti la superficie 9 laterale. Secondo quanto illustrato nella figura 3, una parete 10 di estremità della carcassa 8 presenta un foro passante centrale per permettere un collegamento meccanico con l'albero 2 e tre fori passanti periferici attraverso i quali fuoriescono i tre capi 11 degli avvolgimenti 6 statorici.

La macchina 1 elettrica comprende un circuito 12 di raffreddamento, lungo il quale in uso viene fatto circolare un fluido di raffreddamento (tipicamente olio minerale avente anche proprietà lubrificanti).

Secondo quanto illustrato nelle figure 1, 2 e 3, il circuito 12 di raffreddamento è ricavato in corrispondenza della carcassa 8 e presenta una unica apertura 13 di ingresso comune del fluido di raffreddamento che è disposta assialmente al centro della parete 9 laterale della carcassa 8 (in altre parole, l'apertura 13 di ingresso comune è disposta a metà della carcassa 8 ed attraverso la parete 9 laterale della carcassa 8 stessa). Inoltre, secondo quanto illustrato nelle figure 8-13, il circuito 12 di raffreddamento comprende due percorsi 14 elicoidali (ovvero a spirale) specularmente gemelli, ciascuno dei quali si origina centralmente dalla apertura 13 di ingresso comune e si sviluppa dal centro della carcassa 8 verso una

corrispondente estremità della carcassa 8 (ovvero verso una parete 10 di estremità della carcassa 8). Infine, secondo quanto illustrato nelle figure 8-13, il circuito 12 di raffreddamento comprende due camere 15 di distribuzione anulari, ciascuna delle quali presenta una forma circolare, è disposta in corrispondenza di una estremità della carcassa 8 (ovvero in corrispondenza di una parete 10 di estremità della carcassa 8), e costituisce il termine di un corrispondente percorso 14 elicoidale; in altre parole, ciascun percorso 14 elicoidale si origina centralmente dalla apertura 13 di ingresso comune e termina lateralmente in una corrispondente camera 15 di distribuzione. Queste due camere 15 di distribuzione anulari costituiscono due "plenum" che distribuiscono il flusso del fluido di raffreddamento in maniera uniforme in tutta la circonferenza.

Ciascuna camera 15 di distribuzione presenta una pluralità di fori 16 di uscita passanti che sono disposti radialmente e si aprono attraverso una parete interna della camera 15 di distribuzione per sfociare verso l'asse 3 di rotazione centrale. In sostanza, ciascun foro 16 di uscita costituisce un ugello attraverso il quale il fluido di raffreddamento contenuto in una corrispondente camera 15 di distribuzione viene spruzzato verso il centro della macchina 1 elettrica. Tipicamente, ciascun foro 16 di

uscita presenta un diametro compreso tra 2 e 10 mm (una stessa camera 15 di distribuzione può comprendere fori 16 di uscita di diametro differenziato).

Secondo quanto illustrato nelle figure 4-7, a ciascuna camera 15 di distribuzione è accoppiata una corrispondente camera 17 di raccolta che è disposta radialmente ed assialmente più all'interno della camera 15 di distribuzione stessa; in ciascuna estremità della carcassa 8, i fori 16 di uscita mettono in comunicazione la camera 15 di distribuzione con la corrispondente camera 17 di raccolta.

Preferibilmente, nelle camere 17 di raccolta sono disposte le testate degli avvolgimenti 6 statorici (ovvero le parti degli avvolgimenti 6 statorici che fuoriescono assialmente dallo statore 5). Almeno parte dei fori 16 di uscita in ciascuna camera 15 di distribuzione è orientata verso le testate degli avvolgimenti 6 statorici per favorire il raffreddamento delle testate stesse mediante getti continui del fluido di raffreddamento; è importante osservare che le testate degli avvolgimenti 6 statorici sono normalmente il punto più caldo del motore 1 elettrico. Secondo una possibile forma di attuazione, tutti i fori 16 di uscita in ciascuna camera 15 di distribuzione sono orientati verso le testate degli avvolgimenti 6 statorici; in alternativa, solo una parte dei fori 16 di uscita in

ciascuna camera 15 di distribuzione è orientata verso le testate degli avvolgimenti 6 statorici, mentre la restante parte dei fori 16 di uscita in ciascuna camera 15 di distribuzione è orientata verso le estremità del rotore 4 (ovvero verso i cuscinetti che supportano l'albero 2 per migliorare la lubrificazione dei cuscinetti stessi).

Secondo quanto illustrato nelle figure 4 e 5, ciascuna camera 17 di raccolta presenta almeno una corrispondente apertura 18 di uscita del fluido di raffreddamento, attraverso la quale il fluido di raffreddamento viene evacuato dalla camera 17 di raccolta e rimesso in circolo (ovvero fatto passare attraverso un radiatore per smaltire parte del calore asportato dalla macchina 1 elettrica e quindi re-immesso in pressione nel circuito 12 di raffreddamento attraverso l'apertura 13 di ingresso comune).

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure 4, 5 e 7, ciascun percorso 14 elicoidale è delimitato internamente da una superficie esterna dello statore 5 ed delimitato lateralmente ed esternamente dalla parete 9 laterale della carcassa 8. In altre parole, ciascun percorso 14 elicoidale è definito da una scanalatura che è ricavata attraverso la parete 9 laterale della carcassa 8 ed è chiusa internamente dalla superficie esterna dello statore 5.

Secondo una preferita forma di attuazione, è previsto un condotto 19 di ingresso (ben visibile nella figura 2) per la mandata del fluido di raffreddamento che termina nella apertura 13 di

ingresso comune ed è orientato tangenzialmente rispetto alla carcassa 8.

Il circuito 12 di raffreddamento sopra descritto presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, il circuito 12 di raffreddamento sopra descritto permette di ottenere un raffreddamento uniforme che è mirato alle zone in cui il calore viene generato. Il fatto di raffreddare prima l'esterno dello statore 5 (attraverso i percorsi 14 elicoidali) e successivamente le testate degli avvolgimento 6 statorici mantiene più uniforme il salto termico tra il fluido di raffreddamento e le parti raffreddate della macchina 1 elettrica: infatti, il fluido di raffreddamento freddo raffredda prima le parti meno calde della macchina 1 elettrica (ovvero l'esterno dello statore 5), e solo successivamente le parti più calde della macchina 1 elettrica (ovvero le testate degli avvolgimento 6 statorici).

Inoltre, il circuito 12 di raffreddamento sopra descritto permette di mantenere la velocità di scorrimento del fluido di raffreddamento (tipicamente olio minerale) sulle superfici da raffreddare a valori che garantiscono la più efficace rimozione del calore.

E' importante osservare che il circuito 12 di raffreddamento sopra descritto è stato concepito per venire utilizzato con olio minerale, ma può vantaggiosamente venire utilizzato anche con altri fluidi di raffreddamento (tipicamente acqua).

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Macchina (1) elettrica rotante comprendente:

un albero (2) montato girevole per ruotare attorno ad un asse (3) di rotazione centrale;

un rotore (4) portato dall'albero (2);

uno statore (5) che supporta degli avvolgimenti (6) statorici ed è disposto attorno al rotore (4) per racchiudere al proprio interno il rotore (4) stesso;

una carcassa (8) cilindrica che racchiudere al proprio interno lo statore (5); ed

un circuito (12) di raffreddamento che è destinato alla circolazione di un fluido di raffreddamento ed è ricavato in corrispondenza della carcassa (8);

la macchina (1) elettrica è **caratterizzata dal fatto che** il circuito (12) di raffreddamento presenta una unica apertura (13) di ingresso comune del fluido di raffreddamento disposta assialmente al centro di una parete (9) laterale della carcassa (8), e due percorsi (14) elicoidali specularmente gemelli, ciascuno dei quali si origina centralmente dalla apertura (13) di ingresso comune, e si sviluppa dal centro della carcassa (8) verso una corrispondente estremità della carcassa (8).

2) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 1, in cui ciascun percorso (14) elicoidale termina in una camera (15) di distribuzione anulare che presenta una forma

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

circolare ed è disposta in corrispondenza di una estremità della carcassa (8).

3) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 2, in cui ciascuna camera (15) di distribuzione presenta una pluralità di fori (16) di uscita passanti che sono disposti radialmente e si aprono attraverso una parete interna della camera (15) di distribuzione per sfociare verso l'asse (3) di rotazione centrale.

4) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 3, in cui i fori (16) di uscita mettono in comunicazione ciascuna camera (15) di distribuzione con una corrispondente camera (17) di raccolta.

5) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 4, in cui nelle camere (17) di raccolta sono disposte le testate degli avvolgimenti (6) statorici.

6) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 5, in cui almeno parte dei fori (16) di uscita è orientata verso le testate degli avvolgimenti (6) statorici.

7) Macchina (1) elettrica secondo la rivendicazione 5, in cui una parte dei fori (16) di uscita è orientata verso le estremità del rotore (4).

8) Macchina (1) elettrica secondo una delle rivendicazioni da 4 a 8, in cui ciascuna camera (17) di raccolta presenta una corrispondente apertura (18) di uscita del fluido di raffreddamento.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

9) Macchina (1) elettrica secondo una delle rivendicazioni da 4 a 8, in cui ciascuna camera (17) di raccolta è disposta radialmente più all'interno della corrispondente camera (15) di distribuzione.

10) Macchina (1) elettrica secondo una delle rivendicazioni da 4 a 9, in cui ciascuna camera (17) di raccolta è disposta assialmente più all'interno della corrispondente camera (15) di distribuzione.

11) Macchina (1) elettrica secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10, in cui ciascun percorso (14) elicoidale è delimitato internamente da una superficie esterna dello statore (5) ed delimitato lateralmente ed esternamente dalla parete (9) laterale della carcassa (8).

12) Macchina (1) elettrica secondo una delle rivendicazioni da 1 a 11, in cui è previsto un condotto (19) di ingresso per la mandata del fluido di raffreddamento che termina nella apertura (13) di ingresso comune ed è orientato tangenzialmente rispetto alla carcassa (8).

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N.987/BM)

TITLE: "ROTATING ELECTRICAL MACHINE FOR VEHICLES WITH LIQUID COOLING"

CLAIMS

1) A rotating electrical machine (1) comprising:

a shaft (2), which is mounted so as to rotate around a central rotation axis (3);

a rotor (4), which is supported by the shaft (2);

a stator (5), which supports stator windings (6) and is arranged around the rotor (4) so as to surround the rotor (4);

a cylindrical casing (8), which contains in its inside the stator (5); and

a cooling circuit (12), which is suited to house the circulation of a cooling fluid and is obtained in correspondence to the casing (8);

the electrical machine (1) is **characterised in that** the cooling circuit (12) presents a single common inlet opening (13) for letting the cooling fluid in, which is axially arranged at the centre of a lateral wall (9) of the casing (8), and two helicoidal paths (14), each of which is a mirror-image twin of the other one, centrally originates from the common inlet opening (13) and extends from the centre of the casing (8) towards a corresponding end of the casing (8).

2) An electrical machine (1) according to claim 1,

wherein each helicoidal path (14) ends in an annular distribution chamber (15), which presents a circular shape and is arranged in correspondence to an end of the casing (8).

3) An electrical machine (1) according to claim 2, wherein each distribution chamber (15) presents a plurality of outlet through holes (16), which are arranged in a radial fashion and open through an inner wall of the distribution chamber (15) in order to lead to the central rotation axis (3).

4) An electrical machine (1) according to claim 3, wherein the outlet holes (16) establish a communication between each distribution chamber and a corresponding collecting chamber (17).

5) An electrical machine (1) according to claim 4, wherein the heads of the stator windings (6) are arranged in the collecting chambers (17).

6) An electrical machine (1) according to claim 5, wherein at least part of the outlet holes (16) are oriented towards the heads of the stator windings (6).

7) An electrical machine (1) according to claim 5, wherein part of the outlet holes (16) are oriented towards the ends of the rotor (4).

8) An electrical machine (1) according to any of the claims from 4 to 8, wherein each collecting chamber (17)

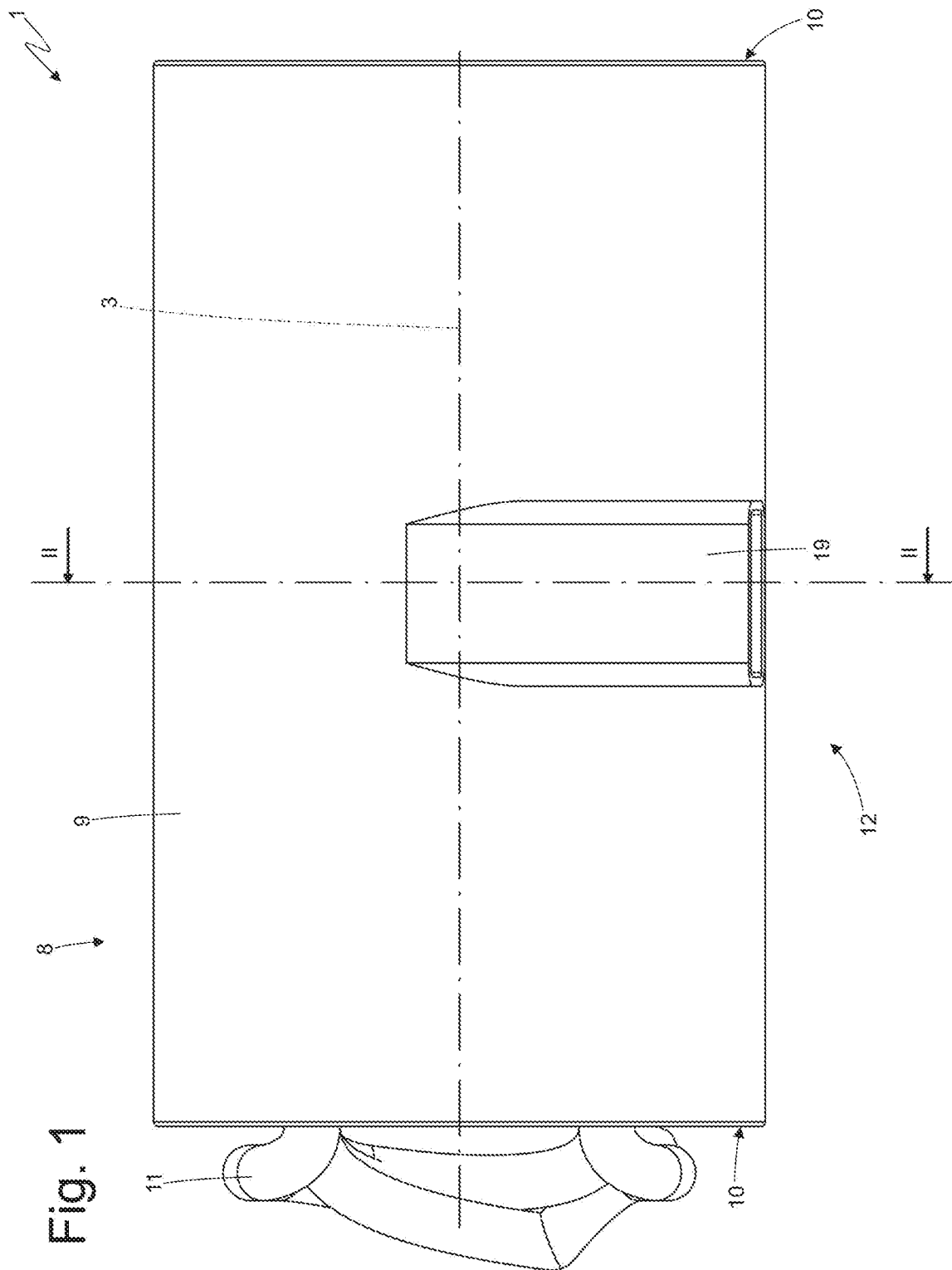
presents a corresponding outlet opening (18) for letting the cooling fluid out.

9) An electrical machine (1) according to any of the claims from 4 to 8, wherein each collecting chamber (17) is radially arranged more on the inside than the corresponding distribution chamber (15).

10) An electrical machine (1) according to any of the claims from 4 to 9, wherein each collecting chamber (17) is axially arranged more on the inside than the corresponding distribution chamber (15).

11) An electrical machine (1) according to any of the claims from 1 to 10, wherein each helicoidal path (14) is internally delimited by an outer surface of the stator (5) and laterally as well as externally delimited by the lateral wall of the casing (8).

12) An electrical machine (1) according to any of the claims from 1 to 11, wherein an inlet duct (19) is provided, which is suited to deliver the cooling fluid, ends in the common inlet opening (13) and is oriented in a tangential fashion with respect to the casing (8).



p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)

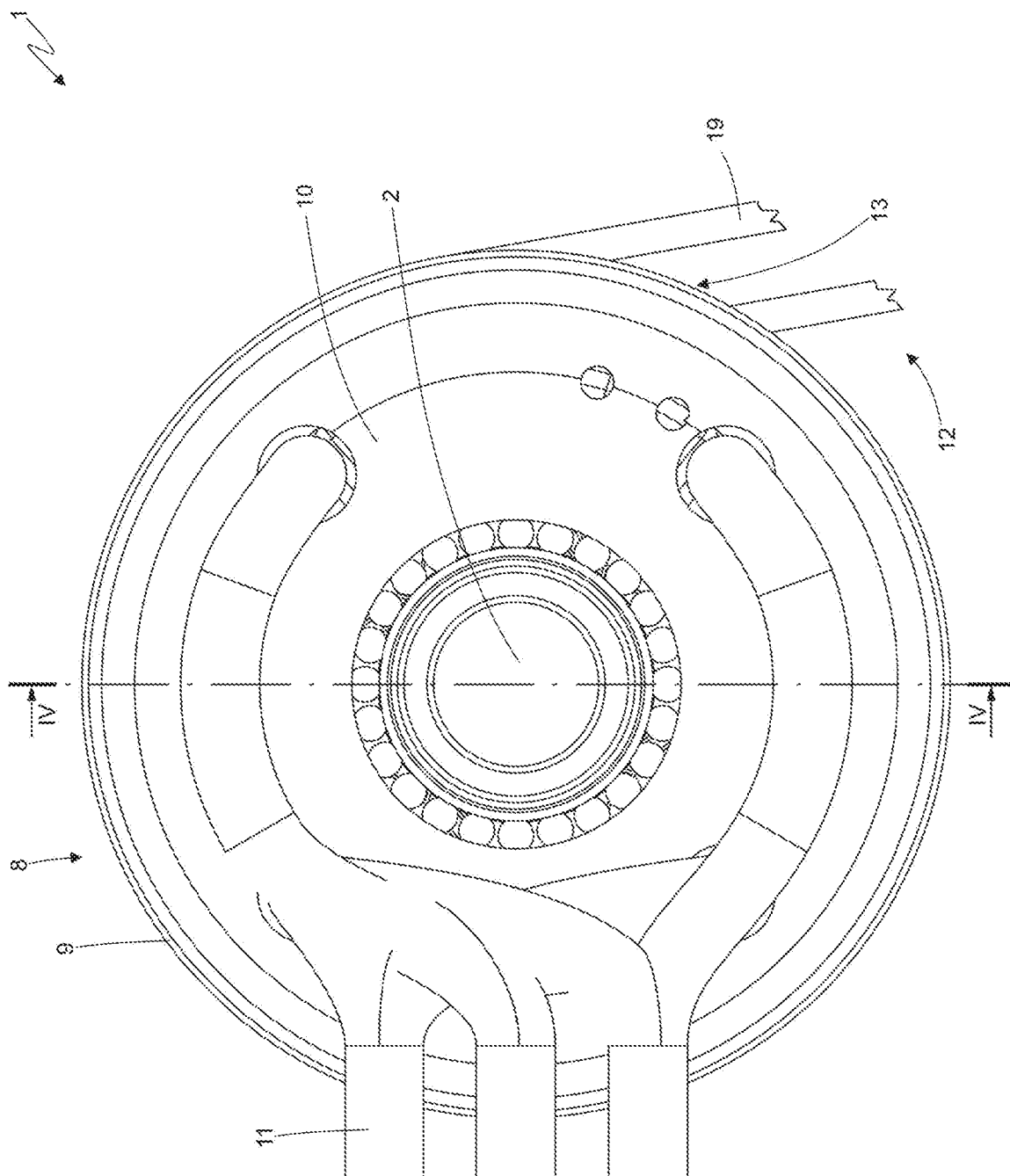


Fig. 3

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)

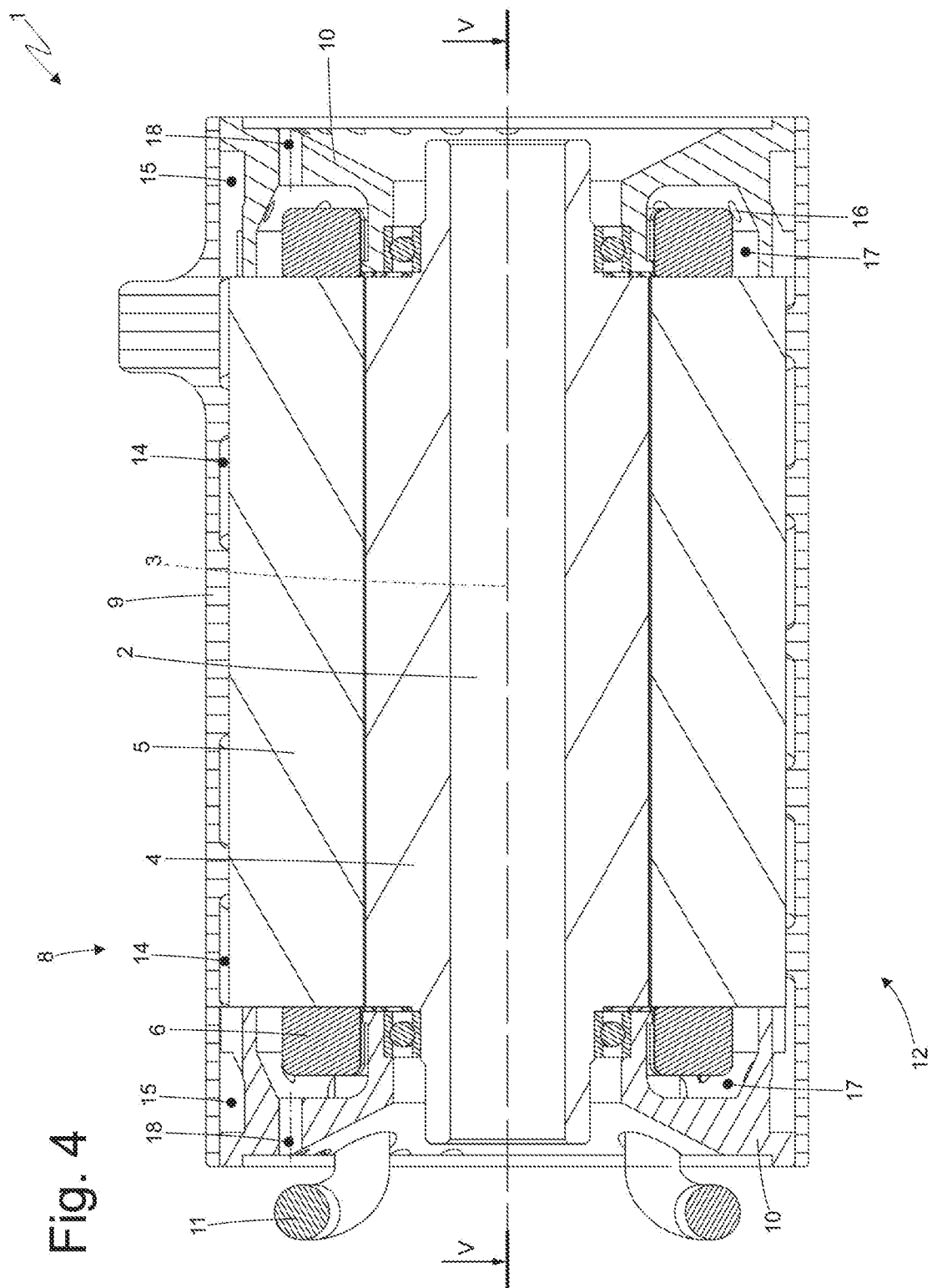
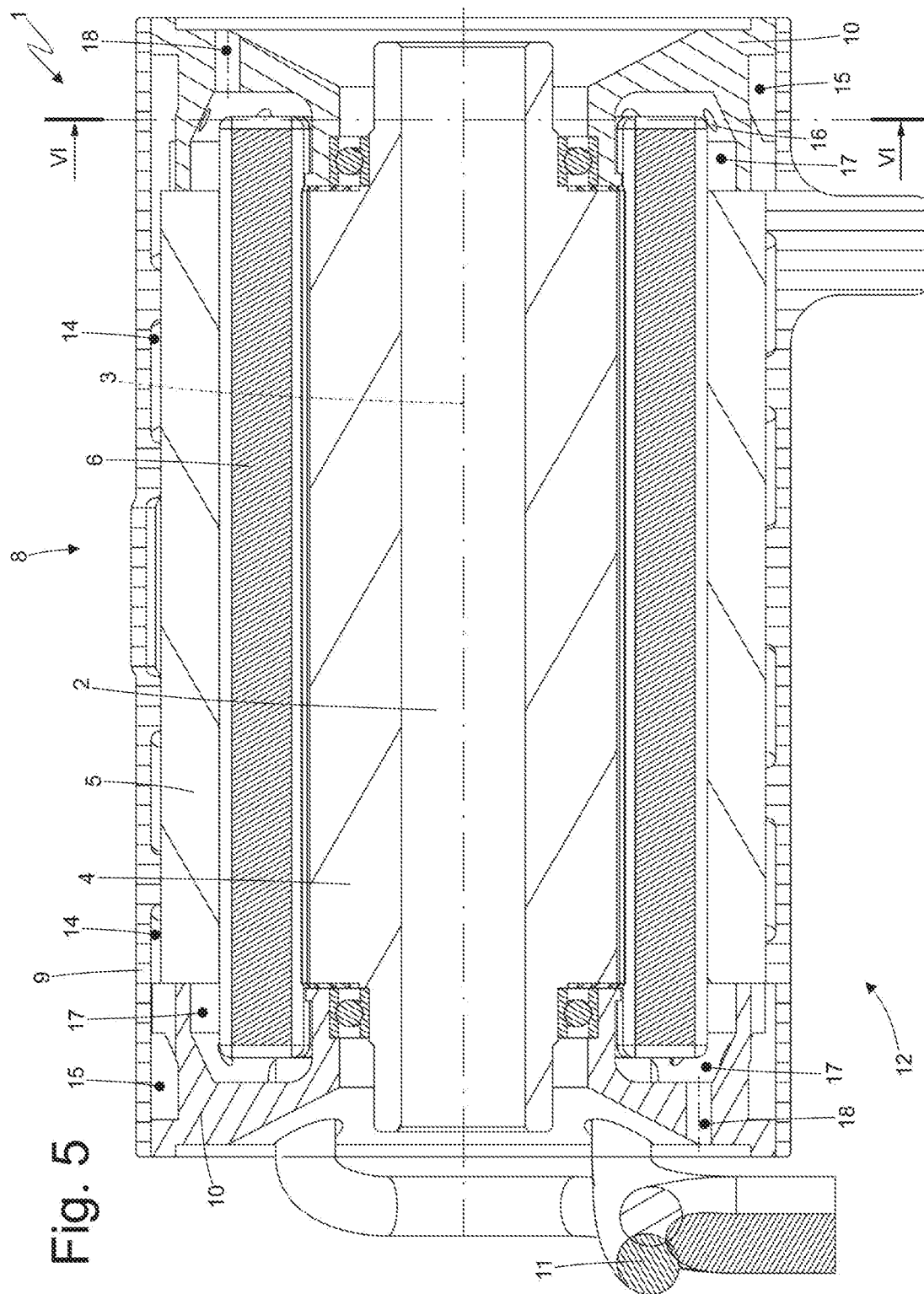


Fig. 4

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)



p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)

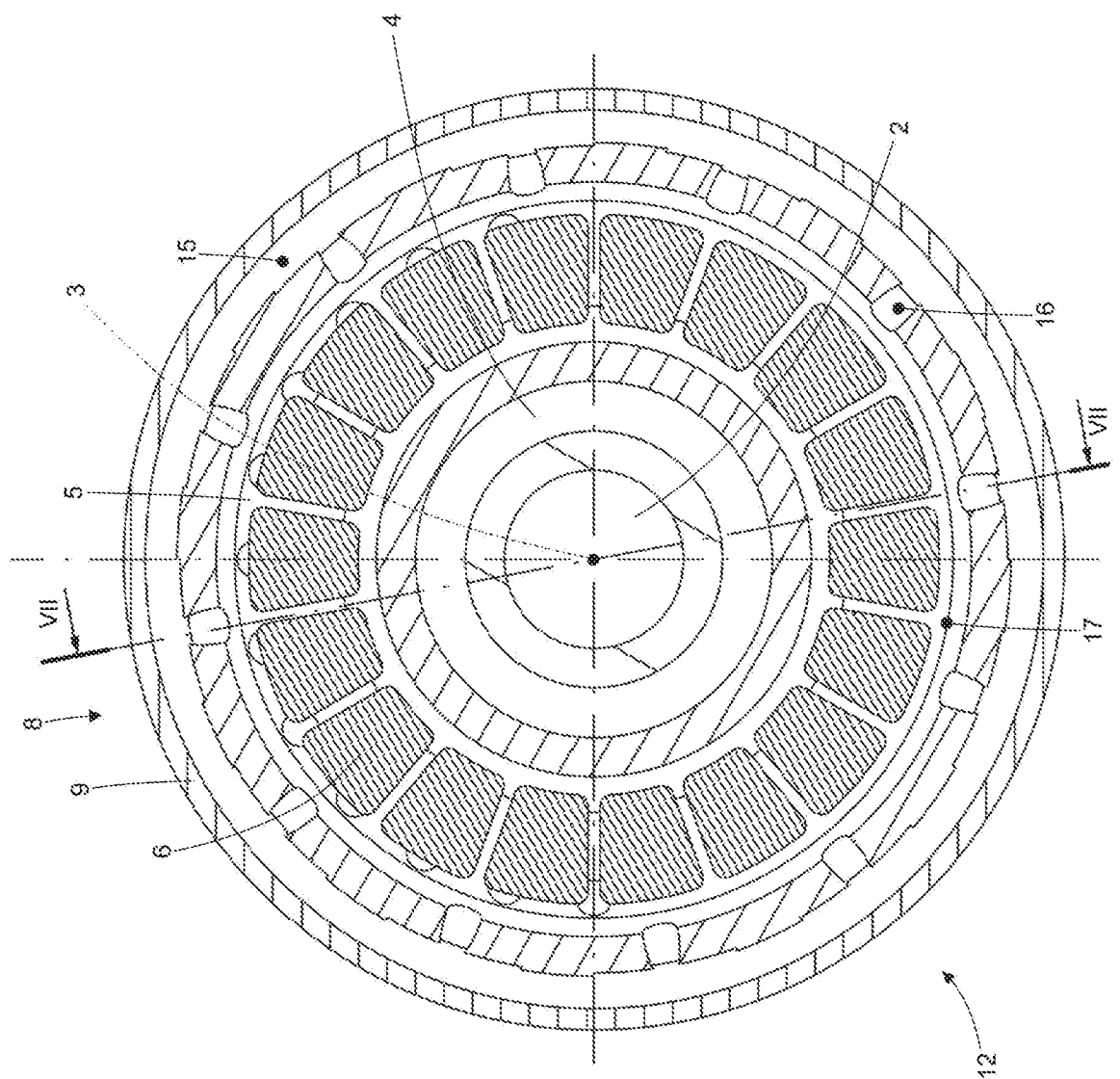


Fig. 6

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)

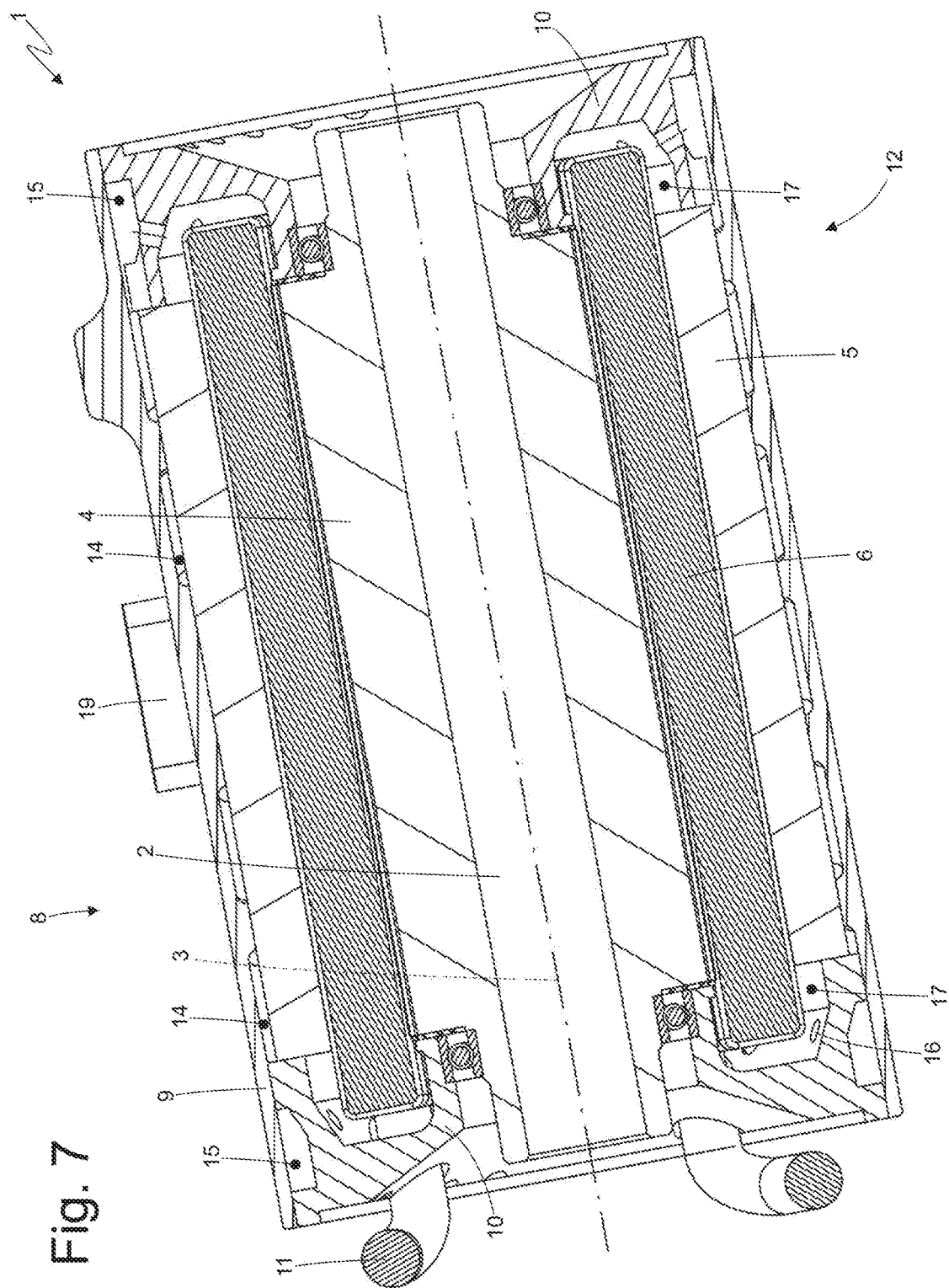


Fig. 7

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo N. 987/BM)

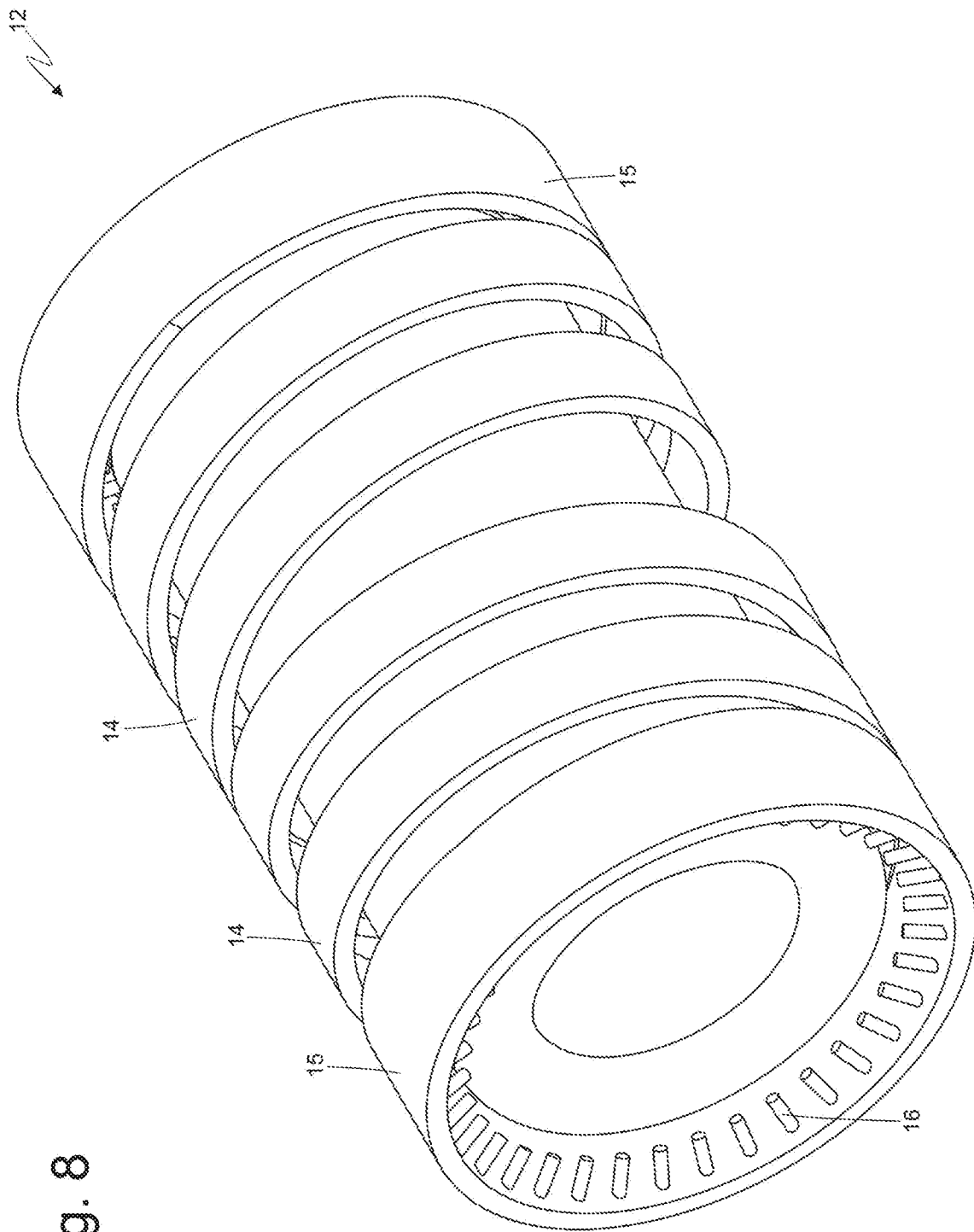


Fig. 8

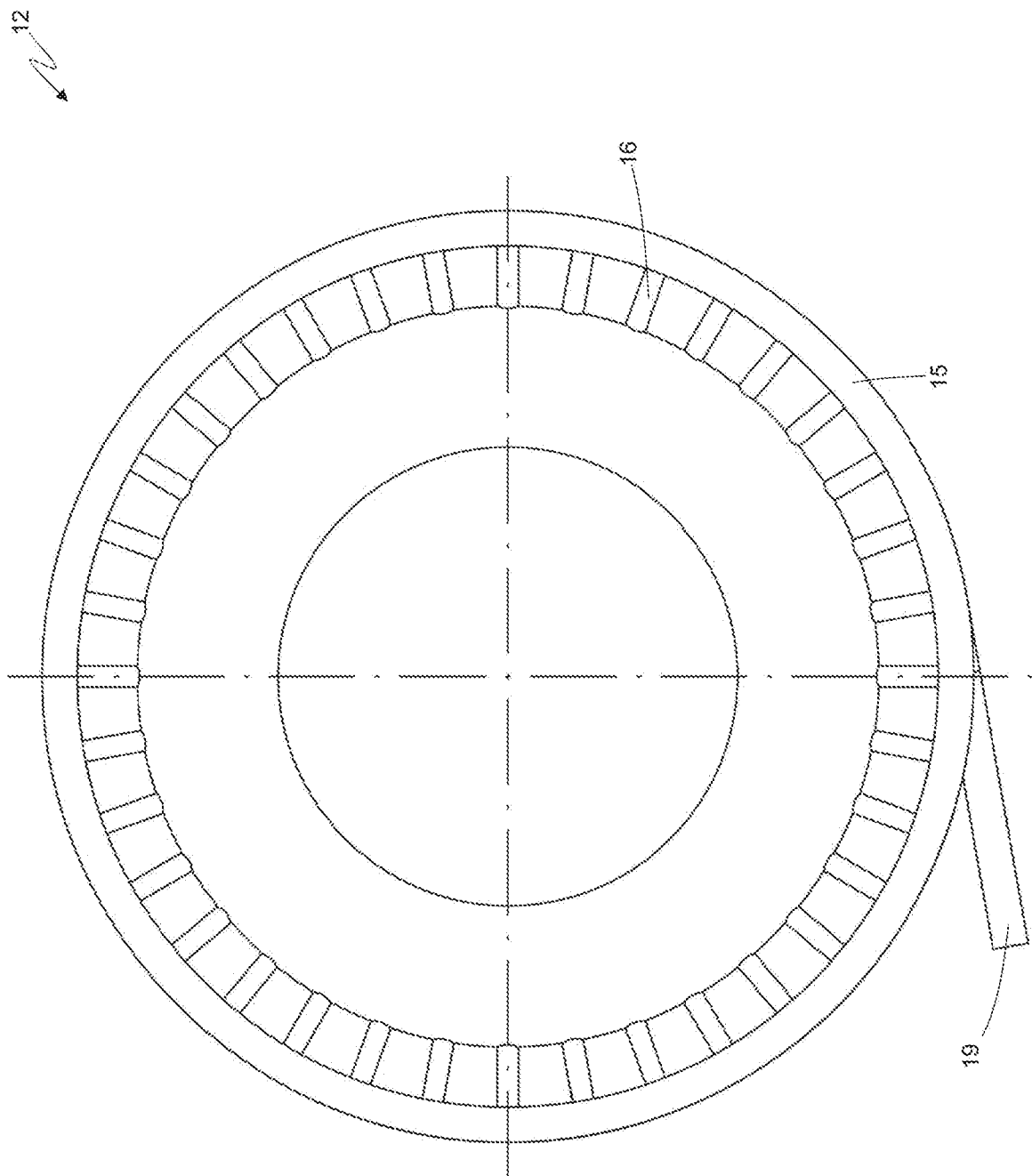


Fig. 9

