



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| <b>DOMANDA NUMERO</b>     | <b>102015902344568</b> |
| <b>Data Deposito</b>      | <b>16/04/2015</b>      |
| <b>Data Pubblicazione</b> | <b>16/10/2016</b>      |

|                |               |                    |               |                    |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 02            | K                  |               |                    |
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 02            | K                  |               |                    |
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 02            | K                  |               |                    |
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 02            | K                  |               |                    |
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 02            | K                  |               |                    |

Titolo

METODO DI COSTRUZIONE DI UNA MACCHINA ELETTRICA PRESENTANTE UN  
AVVOLGIMENTO STATORICO CON BARRE RIGIDE

## D E S C R I Z I O N E

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"METODO DI COSTRUZIONE DI UNA MACCHINA ELETTRICA  
PRESENTANTE UN AVVOLGIMENTO STATORICO CON BARRE RIGIDE"

di MAGNETI MARELLI S.P.A.,

di nazionalità italiana,

con sede a VIALE ALDO BORLETTI 61/63

CORBETTA (MI)

Inventori: CIAMPOLINI Franco, MAGRI Marco

\*\*\* \*\*

### SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un metodo di costruzione di una macchina elettrica presentante un avvolgimento statorico con barre rigide.

### ARTE ANTERIORE

La domanda di brevetto EP2437378A1 descrive una macchina elettrica presentante un avvolgimento statorico con barre rigide. In un avvolgimento statorico realizzato mediante barre rigide, vengono utilizzate una serie di barre rigide che vengono inizialmente conformate ad "U" e quindi vengono infilate assialmente nelle cave di statore formando un lato di ingresso, in cui si dispongono le cuspidi delle barre conformate ad "U", ed un lato di uscita, in cui si dispongono le gambe (cioè le porzioni diritte) delle barre conformate ad "U". Una volta infilate

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

le barre nelle cave di statore le gambe nel lato di uscita vengono piegate e quindi le estremità libere delle gambe vengono tra loro collegate mediante saldatura per costituire i percorsi elettrici dell'avvolgimento statorico.

Nel lato uscita, per collegare tra loro le estremità di alcune gambe vengono utilizzati dei ponti di collegamento, ciascuno dei quali è costituito da una piastra piana disposta perpendicolarmente all'asse di rotazione centrale e presenta per ciascun gamba una corrispondente sede che è conformata ad "U" ed è atta ad accogliere l'estremità della gamba stessa.

Tuttavia, è stato osservato che l'accoppiamento dei ponti di collegamento all'avvolgimento statorico è relativamente complesso (e quindi difficilmente automatizzabile) in quanto richiede un certo aggiustamento (eseguito manualmente da un operatore) per inserire correttamente le estremità delle gambe nelle corrispondenti sedi del ponte di collegamento.

#### DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un metodo di costruzione di una macchina elettrica presentante un avvolgimento statorico con barre rigide, il quale metodo di costruzione sia di facile ed economica realizzazione e, nello stesso tempo, sia esente dagli inconvenienti sopra

descritti.

Secondo la presente invenzione viene fornito un metodo di costruzione di una macchina elettrica presentante un avvolgimento statorico con barre rigide, 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 in sezione trasversale, schematica e con parti asportate per chiarezza di una macchina elettrica realizzata in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista prospettica, schematica, e con parti asportate per chiarezza di uno statore della macchina elettrica della figura 1;
- la figura 3 è una vista prospettica e schematica di una barra rigida ripiegata ad "U" facente parte di un avvolgimento statorico dello statore della figura 2;
- le figure 4 e 5 sono due viste diverse viste prospettiche ed in scala ingrandita di una cuspidi della barra rigida della figura 3;
- la figura 6 è una vista prospettica e con in evidenza dei piani di curvatura di una cuspidi della barra rigida della figura 3;

- la figura 7 è una vista prospettica di un lato di ingresso dello statore della figura 2;
- la figura 8 è una vista prospettica dello statore della figura 2 durante la costruzione dell'avvolgimento statorico;
- le figure 9 e 10 sono due viste in scala ingrandita di rispettivi particolari della figura 8;
- la figura 11 è una vista schematica che mostra la piegatura a "Z" di corrispondenti gambe di due diverse barre conformate a "U" dell'avvolgimento statorico;
- la figura 12 è una ulteriore vista prospettica di parte dello statore della figura 2 durante la costruzione dell'avvolgimento statorico;
- la figura 13 è una vista prospettica di un elemento di supporto accoppiato a dei ponti di collegamento dell'avvolgimento statorico;
- la figura 14 è una vista prospettica ed esplosa dell'elemento di supporto della figura 13;
- le figure 15-18 sono ulteriori viste prospettiche di parte dello statore della figura 2 durante la costruzione dell'avvolgimento statorico;
- la figura 19 è una vista schematica di una stazione di saldatura utilizzata durante la costruzione dell'avvolgimento statorico; e
- le figure 20-26 sono sei viste schematiche che

illustrato le fasi della saldatura di due gambe adiacenti dell'avvolgimento statorico.

#### FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, 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 una coppia meccanica motrice, sia come generatore elettrico assorbendo energia meccanica e generando energia elettrica). 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 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 6 magnetico che è costituito da una serie di lamierini serrati a pacco e presenta una forma tubolare centralmente forata; il nucleo 6 magnetico è attraversato longitudinalmente da trentasei cave 7 di statore che sono uniformemente distribuite lungo il lato interno del nucleo 6 magnetico ed alloggiavano un avvolgimento 8 statorico trifase (illustrato nella figura 2); ovviamente il numero di cave 7 di statore potrebbe essere diverso (ad esempio quarantotto oppure settantadue

cave 7 di statore). Nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, l'avvolgimento 8 statorico trifase è distribuito in trentasei cave 7 di statore ed il rotore 4 a magneti permanenti comprende sei poli; di conseguenza, la macchina 1 elettrica sincrona presenta due cave per polo e per fase.

Secondo quando illustrato nella figura 2, l'avvolgimento 8 statorico trifase comprende una serie di barre 9 rigide conformate ad "U", ciascuna delle quali comprende due gambe 10 collegate tra loro da una cuspidi 11 (come meglio illustrato nelle figure 3, 4 e 5); le due gambe 10 di una stessa barra 9 costituiscono due corrispondenti conduttori dell'avvolgimento 8 statorico.

Come meglio illustrato nella figura 6, la cuspidi 11 di ciascuna barra 9 conformata ad "U" presenta una piegatura "tridimensionale", cioè presenta una piegatura su due piani A e B tra loro perpendicolari. In particolare, la cuspidi 11 di ciascuna barra 9 conformata ad "U" presenta una piegatura che segue il piano A, il quale è sostanzialmente parallelo al piano di giacitura definito dalla barra 9 conformata ad "U" ed è conformato ad "S"; inoltre, la cuspidi 11 di ciascuna barra 9 conformata ad "U" presenta una ulteriore piegatura che segue il piano B, il quale è sostanzialmente perpendicolare al piano di giacitura definito dalla barra 9 conformata ad "U" (ovvero

è sostanzialmente perpendicolare al piano A) ed è conformato ad "U".

Come ben illustrato nella figura 6, il piano A è composto lateralmente da due porzioni di superficie cilindrica, le quali sono centrate sull'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica e presentano raggi leggermente diversi (in quanto una gamba 10 della barra 9 conformata ad "U" è inserita in una cava 7 di statore in posizione più interna, ovvero in corrispondenza di un raggio più piccolo, mentre l'altra gamba 10 della barra 9 conformata ad "U" è inserita in una cava 7 di statore in posizione più esterna, ovvero in corrispondenza di un raggio più grande); inoltre, nel piano A le due porzioni di superficie cilindrica disposte lateralmente sono centralmente raccordate tra loro da una porzione centrale sagomata ad "S". Come ben illustrato nella figura 6, il piano B presenta una forma ad "U" che impartisce alla corrispondente barra 9 la forma ad "U". La piegatura ad "S" lungo il piano A impartisce alla corrispondente barra 9 la forma necessaria sia a permettere l'inserimento delle due gambe 10 nelle corrispondenti cave 7 di statore in posizioni diverse (una più interna ed una più esterna), sia a permettere di disporre le cuspidi 11 di tutte le barre 9 conformate ad "U" una di fianco all'altra senza interferenze meccaniche reciproche (come illustrato nella

figura 7). E' importante osservare che in ciascuna barra 9 conformata ad "U", le due gambe 10 sono inclinate una rispetto all'altra (ovvero le due gambe 10 formano tra loro un angolo acuto) e ciascuna gamba 10 è orientata in modo da "guardare" l'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica .

Grazie alla sopra descritta conformazione delle barre 9 conformate ad "U", è possibile realizzare l'intero avvolgimento 8 statorico piegando le barre 9 in corrispondenza delle cuspidi 11 in una unica fase di piegatura prima di inserire le barre 9 nelle corrispondenti cave 7 di statore; in altre parole, una volta che le barre 9 conformate ad "U" sono state inserite nelle corrispondenti cave 7 di statore non viene impartita alcuna ulteriore piegatura alle cuspidi 11. Inoltre, grazie alla sopra descritta conformazione delle barre 9 conformate ad "U", è possibile inserire le barre 9 conformate ad "U" all'interno delle corrispondenti cave 7 di statore con estrema facilità (ovvero con poco sforzo) in quanto vengono del tutto evitate interferenze meccaniche tra le barre 9 conformate ad "U" che obbligherebbero a forzare l'inserimento (ovvero a spingere con forza) per deformare leggermente le barre 9 conformate ad "U" stesse; in questo modo, la costruzione dell'avvolgimento 8 statorico è facile e veloce e soprattutto si evitano rischi di danneggiamento

dell'isolamento esterno delle barre 9 conformate ad "U".

Inoltre, grazie alla sopra descritta conformazione delle barre 9 conformate ad "U" è possibile ridurre la lunghezza (e quindi il peso complessivo) delle cuspidi 11, ovvero è possibile ridurre la quantità di rame presente all'esterno delle cave 7 di statore (il rame presente all'esterno delle cave di 7 statore è necessario per permettere la circolazione di corrente elettrica nell'avvolgimento 8 statorico ma è del tutto inutile ai fini della generazione della coppia meccanica all'albero 2). In altre parole, la sopra descritta conformazione delle barre 9 conformate ad "U" permette di ottimizzare (minimizzare) la lunghezza (e quindi il peso complessivo) delle cuspidi 11.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, le barre 9 conformate ad "U" sono inserite attraverso le cave 7 di statore definendo un lato 12 di ingresso, in cui si dispongono le cuspidi 11 delle barre 9 conformate ad "U", ed un lato 13 di uscita, in cui si dispongono le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U". In particolare, in ciascuna cava sono disposte quattro gambe 10 (cioè quattro conduttori dell'avvolgimento 8 statorico) appartenenti a quattro corrispondenti barre 9 rigide conformate ad "U" tra loro diverse. Le estremità delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" sono tra loro elettricamente collegate

(saldate) per costituire i percorsi elettrici dell'avvolgimento 8 statorico.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, l'avvolgimento 8 statorico trifase comprende tre morsetti 14 di potenza che costituiscono l'interfaccia elettrica con l'esterno dell'avvolgimento 8 statorico e vengono collegati elettricamente ad un convertitore elettronico di potenza (non illustrato) che pilota la macchina 1 elettrica sincrona.

Secondo una preferita (ma non limitante) forma di attuazione illustrata nella figura 2, tra i due cerchi interni ed i due cerchi esterni di gambe 10 che sporgono dal lato 13 di uscita del nucleo 6 magnetico di statore viene interposto uno strato S isolante di forma anulare e di materiale elettricamente isolante (tipicamente carta isolante "Nomex®"). In alternativa, tra i quattro cerchi di gambe 10 possono venire interposti tre strati S isolanti di forma anulare e di materiale elettricamente isolante, oppure gli strati S isolanti di forma anulare e di materiale elettricamente isolante potrebbero anche non essere presenti.

Con riferimento alle figure 8-18 viene di seguito descritta la modalità di costruzione dell'avvolgimento 8 statorico.

Inizialmente (e come descritto in precedenza) le barre

9 vengono piegate centralmente di 180° per venire conformate ad "U" ed assumere la forma mostrata nelle figure 3-6. Questa piegatura viene preferibilmente realizzata mediante una macchina utensile a controllo elettronico che in una unica operazione conferisce a ciascuna barra 9 la forma definitiva. Le cuspidi 11 delle barre 9 conformate ad "U" sono conformate per presentare tutto lo stesso salto di cave (pari a sei cave 7 di statore nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate); in altre parole, tra due gambe 10 di una stessa barra 9 conformata ad "U" è presente sempre un salto di sei cave 7 di statore. Inoltre, le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" possono avere tutte la stessa lunghezza, oppure possono avere lunghezze differenziate (cioè le gambe 10 di alcune barre 9 conformate ad "U" sono leggermente più lunghe o più corte delle gambe 10 di altre barre 9 conformate ad "U"); la soluzione in cui le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" hanno tutte la stessa lunghezza comporta un maggiore consumo di rame ma è di più semplice gestione e quindi viene normalmente preferita in presenza di volumi produttivi ridotti.

Una volta che le barre 9 conformate ad "U" sono pronte (in particolare nell'avvolgimento 8 statorico illustrato nelle figure allegate sono presenti settantadue barre 9 conformate ad "U"), ciascuna barra 9 conformata ad "U"

viene inserita singolarmente (cioè da sola) nelle corrispondenti due cave 7 di statore (cioè le due gambe 10 della barra 9 conformata ad "U" vengono inserite assialmente nelle corrispondenti due cave 7 di statore). In altre parole, all'interno di due cave 7 di statore non adiacenti viene inserita una sola barra 9 conformata ad "U" alla volta. Preferibilmente, prima di inserire le barre 9 conformate ad "U" nelle cave 7 di statore, ciascuna cava 7 di statore viene internamente "rivestita" mediante uno strato isolante (non illustrato) di materiale elettricamente isolante (tipicamente carta isolante "Nomex®").

Quando è stato terminato l'inserimento nelle cave 7 di statore di tutte le settantadue barre 9 conformate ad "U" le corrispondenti gambe 10 che fuoriescono nel lato 13 di uscita del nucleo 6 magnetico vengono piegate mediante rispettive doppie pieghe per assumere una forma a "Z" come illustrato nella figura 8. In alternativa, viene inizialmente inserita solo una parte (normalmente metà) delle barre 9 conformate ad "U" ed una volta terminato l'inserimento di parte delle barre 9 conformate ad "U" le corrispondenti gambe 10 che fuoriescono nel lato 13 di uscita del nucleo 6 magnetico vengono piegate mediante rispettive doppie pieghe per assumere una forma a "Z"; successivamente viene inserita anche la restante parte

(normalmente la restante metà) delle barre 9 conformate ad "U" ed una volta terminato l'inserimento della restante parte delle barre 9 conformate ad "U" le corrispondenti gambe 10 che fuoriescono nel lato 13 di uscita del nucleo 6 magnetico vengono piegate mediante rispettive doppie pieghe per assumere una forma a "Z".

Secondo una preferita forma di attuazione, durante la piegatura delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" le gambe 10 non vengono piegate tutte insieme, ma vengono piegate per gruppi; in altre parole, le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" vengono divise in almeno due gruppi che vengono piegati con due operazioni successive (cioè non contemporanee). Durante la piegatura di un primo gruppo di gambe 10, le gambe 10 del secondo gruppo che verranno piegate in seguito vengono temporaneamente traslate assialmente lungo le cave 7 di statore in modo da ridurre la lunghezza che sporge dalle cave 7 di statore nel lato 13 di uscita (tipicamente fino ad annullare o quasi annullare la lunghezza delle gambe 10 che sporge dalle cave 7 di statore nel lato 13 di uscita). In questo modo le gambe 10 del secondo gruppo non sono di ostacolo alla piegatura delle gambe 10 del primo gruppo, ma nello stesso tempo le gambe 10 del secondo gruppo impegnano le cave 7 di statore per contribuire a mantenere ferme le gambe 10 del primo gruppo durante la piegatura. Al termine della

piegatura del primo gruppo di gambe 10, le gambe 10 del secondo gruppo vengono traslate assialmente in senso inverso per tornare nella posizione originale e quindi venire piegate a loro volta. In questo modo, viene semplificata la piegatura delle gambe 10 del primo gruppo in quanto tale piegatura avviene senza l'ostacolo rappresentato dalle gambe 10 del secondo gruppo. La piegatura delle gambe 10 del secondo gruppo è comunque più semplice, in quanto avviene quando le gambe 10 del primo gruppo sono già state piegate e quindi presentano un ingombro assiale molto più ridotto.

Una volta completata la piegatura delle gambe 10 che fuoriescono nel lato 13 di uscita del nucleo 6 magnetico e solo se necessario alcune gambe 10 vengono tagliate (ovvero spuntate) per conferire loro la lunghezza desiderata.

Come meglio illustrato negli ingrandimenti delle figure 9 e 10, ciascuna doppia piega di una gamba 10 comprende una piegatura 15 interna (cioè più vicina al nucleo 6 magnetico dello statore 5) in una direzione ed una piegatura 16 esterna (cioè più lontana al nucleo 6 magnetico dello statore 5) in una direzione opposta. A titolo di esempio, per ciascuna gamba 10 la piegatura 15 interna ha una ampiezza di circa  $60^\circ$  in un verso e la piegatura 15 interna ha una ampiezza di circa  $60^\circ$  nel verso opposto. In ciascuna cava 7 di statore sono disposte

quattro corrispondenti gambe 10 (appartenenti a quattro corrispondenti barre conformate ad "U" diverse) che sono piegate in versi alternativamente opposti mediante rispettive doppie pieghe a "Z". In altre parole, metà delle gambe 10 è piegata in verso orario con una data ampiezza mentre l'altra metà delle gambe 10 è piegata in verso antiorario (cioè in verso opposto) con la stessa ampiezza.

Secondo quanto illustrato nella figura 11, dopo la doppia piega a "Z" ciascuna gamba 10 presenta un tratto 10a iniziale orientato assialmente (cioè parallelamente all'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica e quindi parallelamente alle cave 7 di statore), un tratto 10b intermedio inclinato, ed un tratto 10c finale nuovamente orientato assialmente; il tratto 10b intermedio raccorda tra loro il tratto 10a iniziale ed il tratto 10c finale che sono tra loro paralleli. In ciascuna gamba 10, il tratto 10b intermedio è inclinato di uno stesso angolo  $\alpha$  (nella forma di attuazione illustrata di circa  $60^\circ$ ) sia rispetto al tratto 10a iniziale, sia rispetto al tratto 10c finale; in altre parole, partendo dalla gamba 10 dritta, la gamba 10 viene inizialmente piegata alla base dell'angolo  $\alpha$  per formare la piegatura 15 interna (tra il tratto 10a iniziale ed il tratto 10b intermedio) e la gamba 10 viene successivamente piegata alla sommità dell'angolo  $\alpha$  per formare la piegatura 16 esterna (tra il tratto 10b

intermedio ed il tratto 10c finale).

In ciascuna gamba 10 e per effetto della doppia piega a "Z" il tratto 10a iniziale ed il tratto 10c finale sono tra loro paralleli (ovvero entrambi orientati assialmente) e distanziati di un passo che può assumere un valore P1 più elevato oppure un valore P2 più ridotto (nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, il passo P1 corrisponde alla distanza esistente tra tre cave 7 di statore mentre il passo P2 corrisponde alla distanza esistente tra due cave 7 di statore e mezza). Per differenziare tra il passo P1 ed il passo P2 non viene modificato l'angolo  $\alpha$  di piegatura (in effetti tutte le gambe 10 vengono sempre piegate dello stesso angolo  $\alpha$  per formare le doppie pieghe), ma viene variata l'estensione del tratto 10b intermedio (e di conseguenza anche il tratto 10c finale presenta una diversa lunghezza); in altre parole, per ottenere il passo P1 più lungo viene utilizzato un tratto 10b intermedio più lungo, mentre per ottenere il passo P2 più corto viene utilizzato un tratto 10b intermedio più corto mantenendo sempre lo stesso angolo  $\alpha$  di piegatura per formare le doppie pieghe.

Come detto in precedenza, il salto di cave è uguale per tutte le barre 9 conformate ad "U", ovvero tutte le barre 9 conformate ad "U" determinano tra le proprie gambe 10 un salto di sei cave 7 di statore; di conseguenza, per

realizzare i percorsi elettrici dell'avvolgimento 8 statorico è necessario che le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" presentino delle differenziazioni nelle doppie pieghe a "Z": come descritto in precedenza con riferimento alla figura 11, la maggior parte delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" presenta una doppia piegatura a "Z" standard che prevede il passo P1 (corrispondente alla distanza esistente tra tre cave 7 di statore) ed una limitata parte delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" presenta una doppia piegatura a "Z" accorciata che prevede il passo P2 (corrispondente alla distanza esistente tra due cave 7 di statore e mezza). In alternativa alla doppia piegatura a "Z" accorciata che prevede il passo P2 (corrispondente alla distanza esistente tra due cave 7 di statore e mezza), potrebbe essere possibile utilizzare una doppia piegatura a "Z" allungata che prevede un passo corrispondente alla distanza esistente tra tre cave 7 di statore e mezza).

Come illustrato nella figura 8, le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" presentanti la doppia piegatura a "Z" accorciata (passo P2) sono concentrate in un settore 17 di interconnessione dell'avvolgimento 8 statorico che presenta una estensione di circa un quarto dell'intero avvolgimento 8 statorico ed in cui sono anche disposti i morsetti 14 di potenza.

Una volta terminata la piegatura delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U", le estremità superiori delle gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" vengono tra loro collegare elettricamente (mediante saldatura eseguita al laser come verrà meglio spiegato in seguito) per costituire i percorsi elettrici dell'avvolgimento 8 statorico.

In corrispondenza del settore 17 di interconnessione dell'avvolgimento 8 statorico, alcune gambe 10 presentano le estremità 10c terminali più lunghe (più estese) per realizzare alcuni collegamenti dell'avvolgimento 8 statorico come descritto in seguito.

Come illustrato nella figura 12, per permettere la realizzazione dei percorsi elettrici dell'avvolgimento 8 statorico nella parte dell'avvolgimento 8 statorico di ciascuna fase le estremità di almeno una coppia di gambe 10 non adiacenti (quindi non direttamente saldabili tra loro) sono tra loro elettricamente collegate mediante un ponte 18 di collegamento. Come illustrato nella figura 12, nell'avvolgimento 8 statorico illustrato nelle figure allegate ciascuna fase comprende due corrispondenti ponti 18 di collegamento e quindi complessivamente in tutto l'avvolgimento 8 statorico sono presenti sei ponti 18 di collegamento. Secondo una preferita forma di attuazione, ciascun ponte 18 di collegamento è costituito da una piastra piana che è disposta perpendicolarmente all'asse 3

di rotazione centrale della macchina 1 elettrica e presenta due sedi 19 contrapposte che impegnano le estremità delle rispettive gambe 10. Una volta che le estremità delle gambe 10 sono state accoppiate ai corrispondenti ponti 18 di collegamento, viene realizzata mediante laser (con modalità meglio descritte in seguito) una saldatura tra l'estremità di ciascuna gamba 10 ed il corrispondente ponte 18 di collegamento.

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure 12, 13 e 14, ciascun ponte 18 di collegamento comprende delle sedi 19, ciascuna delle quali è conformata ad "U" ed è atta a ricevere ed alloggiare l'estremità di una corrispondente gamba 10. Ciascuna sede 19 presenta inizialmente una sezione trasversale più grande della sezione trasversale della corrispondente gamba 10 in modo tale che la gamba 10 stessa possa entrare con un certo gioco all'interno della sede 19; in altre parole, ciascuna sede 19 è inizialmente più grande della corrispondente gamba 10 per alloggiare con gioco la gamba 10 e quindi permettere un ingresso agevole della estremità della gamba 10. Una volta che l'estremità di una gamba 10 è stata inserita in una corrispondente sede 19 di un ponte 18 di collegamento, la sede 19 viene stretta mediante deformazione plastica per stringere la gamba 10 (ovvero per aderire fermamente alla gamba 10); in particolare, mediante

una apposita pinza la sede 19 viene deformata contro la gamba 10 per essere a stretto contatto (anche con una certa pressione) della gamba 10 stessa.

In questo modo da un lato è possibile inserire agevolmente le estremità delle gambe 10 nelle corrispondenti sedi 19 e dall'altro lato è possibile assicurare un accoppiamento meccanico stabile e senza fessure tra le estremità delle gambe 10 e le corrispondenti sedi 19 in modo tale da garantire un successiva saldatura ottimale tra le estremità delle gambe 10 e le corrispondenti sedi 19. In altre parole, grazie al fatto che le sedi 19 di ciascun ponte 18 di collegamento sono inizialmente più grandi delle corrispondenti gambe 10 risulta agevole e veloce (quindi facilmente automatizzabile) accoppiare il ponte 18 di collegamento all'avvolgimento 8 statorico; inoltre, grazie al fatto che le sedi 19 di ciascun ponte 18 di collegamento vengono plasticamente deformate per stringere le corrispondenti gambe 10 è possibile ottenere sempre un contatto (meccanico e quindi elettrico) ottimale tra il ponte 18 di collegamento e le corrispondenti gambe 10.

Per permettere di deformare agevolmente le sedi 19 attorno alle estremità delle corrispondenti gambe 10, il ponte 18 di collegamento è costituito da un corpo centrale di sezione sostanzialmente costante e da una serie di

appendici che si elevano a sbalzo dal corpo centrale e sono disposte perpendicolarmente al corpo centrale stesso; ciascuna sede 19 è delimitata posteriormente dal corpo centrale ed è delimitata lateralmente da una coppia di appendici disposte una di fronte all'altra. Preferibilmente, in ciascuna sede 19 una appendice ha uno sviluppo lineare (cioè presenta in pianta una forma lineare) e l'altra appendice ha uno sviluppo ad "L" (cioè presenta in pianta una forma ad "L"); in questo modo, l'appendice avente uno sviluppo ad "L" può abbracciare su due lati l'estremità della corrispondente gamba 10. Inizialmente (ovvero prima di inserire l'estremità della corrispondente gamba 10) una appendice (nelle forme di attuazione illustrate nelle figure allegate l'appendice lineare) forma con il corpo centrale un angolo retto (cioè un angolo di  $90^\circ$ ) mentre l'altra appendice (nelle forme di attuazione illustrate nelle figure allegate l'appendice conformata ad "L") forma con il corpo centrale un angolo ottuso (cioè un angolo maggiore di  $90^\circ$ ); la deformazione di ciascuna sede 19 coinvolge essenzialmente (ma non esclusivamente) l'appendice che inizialmente forma con il corpo centrale un angolo ottuso. In altre parole, l'appendice che inizialmente forma con il corpo centrale un angolo ottuso presenta maggiori margini di deformazione in quanto prima della deformazione è leggermente più lontana

dalla estremità della corrispondente gamba 10 rispetto all'altra appendice che inizialmente forma con il corpo centrale un angolo retto.

Normalmente il collegamento elettrico tra due estremità adiacenti di due gambe 10 avviene tra due gambe 10 distanti una dall'altra sei cave 7 di statore (cioè con un salto di sei cave 7 di statore ottenuto mediante la doppia piegatura a "Z" standard che prevede il passo P1 di tre cave); inoltre, ad ogni giro completo del nucleo 6 magnetico di statore è necessario che vi sia un salto di cinque cave 7 di statore (ottenuto mediante la doppia piegatura a "Z" accorciata che prevede il passo P2 di due cave e mezza) oppure un salto di sette cave 7 di statore (ottenuto mediante i ponti 18 di collegamento) in modo tale da seguire i percorsi elettrici dell'avvolgimento 8 statorico.

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure 12-15, è previsto un supporto 20 isolante, il quale alloggia i ponti 18 di collegamento ed è disposto al di sotto dei ponti 18 di collegamento. Secondo una preferita forma di attuazione, il supporto 20 isolante è realizzato in materiale plastico stampato che è elettricamente isolante. Il supporto 20 isolante comprende una base 21 che è conformata ad arco di circonferenza e presenta una superficie inferiore che si appoggia alle

sottostanti estremità delle gambe 10 ed una superficie superiore su cui sono appoggiati i ponti 18 di collegamento. La base 21 del supporto 20 isolante presenta una pluralità di fori 22 passanti, all'interno dei quali si inseriscono alcune gambe 10 che devono passare attraverso il supporto 20 isolante per connettersi ai ponti 18 di collegamento o per connettersi ad ulteriori elementi (descritti in seguito) disposti sopra ai ponti 18 di collegamento.

Il supporto 20 isolante comprende una pluralità di elementi 23 di posizionamento, i quali sporgono a sbalzo e verso il basso dalla superficie inferiore della base 21 e si incastrano in interstizi presenti tra le sottostanti estremità delle gambe 10 (come illustrato nella figura 12) sia per garantire un corretto posizionamento del supporto 20 isolante, sia per vincolare meccanicamente il supporto 20 isolante alla sottostante parte dell'avvolgimento 8 statorico. Nella preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, gli elementi 23 di posizionamento sono disposti perpendicolarmente alla base 21. Il supporto 20 isolante comprende una pluralità di colonnine 24, le quali sporgono a sbalzo e verso l'alto dalla superficie superiore della base 21 (ovvero dal lato opposto ed in verso opposto rispetto agli elementi 23 di posizionamento) e forniscono un sostegno meccanico ad ulteriori elementi

(descritti in seguito) disposti sopra al supporto 20 isolante. Nella preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, le colonnine 24 sono disposte circonferenzialmente sia sul bordo interno, sia sul bordo esterno del supporto 20 isolante.

Internamente, il supporto 20 isolante comprende delle sedi 25 (illustrate nella figura 14), ciascuna delle quali è atta ad accogliere senza sostanziale gioco ed a bloccare meccanicamente nella posizione corretta un corrispondente ponte 18 di collegamento. Ciascuna sede 25 è costituita da elementi 26 di ritenuta che sporgono a sbalzo e verso l'alto dalla superficie superiore della base 21 e sono disposti in corrispondenza del bordo del corrispondente ponte 18 di collegamento; almeno una parte degli elementi 26 di ritenuta presenta un dente 27 che si appoggia ad una superficie superiore del corrispondente ponte 18 di collegamento in seguito ad una deformazione elastica dell'elemento 26 di ritenuta stesso. In altre parole, ciascun ponte 18 di collegamento viene inserito a forza all'interno della corrispondente sede 25 per determinare una deformazione elastica di almeno parte degli elementi 26 di ritenuta; di conseguenza, per estrarre un ponte 18 di collegamento dalla corrispondente sede 25 è necessario deformare elasticamente almeno parte degli elementi 26 di ritenuta.

L'utilizzo del supporto 20 isolante permette di semplificare notevolmente l'accoppiamento dei ponti 18 di collegamento all'avvolgimento 8 statorico; in particolare, è possibile pre-montare (e bloccare ad incastro) i ponti 18 di collegamento nelle corrispondenti sedi 25 del supporto 20 isolante lontano dall'avvolgimento 8 statorico e quindi accoppiare insieme ed in una unica operazione il supporto 20 isolante assieme a tutti i ponti 18 di collegamento all'avvolgimento 8 statorico. Inoltre, il supporto 20 isolante permette di mantenere in modo stabile i ponti 18 di collegamento nella posizione desiderata durante la costruzione dell'avvolgimento 8 statorico (ovvero prima di stringere le sedi 19 dei ponti 18 di collegamento attorno alle estremità delle corrispondenti gambe 10 e prima di saldare i ponti 18 di collegamento alle estremità delle corrispondenti gambe 10).

Secondo quanto illustrato nella figura 15, le tre estremità di rispettive gambe 10 che costituiscono un centro-stella dell'avvolgimento 8 statorico sono tra loro elettricamente collegate mediante un ponte 28 di collegamento, il quale è costituito da una piastra piana che è disposta perpendicolarmente all'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica ed è provvista di tre sedi che impegnano le estremità delle rispettive gambe 10. I ponti 28 di collegamento sono del tutto simili ai ponti

20 di collegamento descritti in precedenza e quindi comprendono rispettive sedi che vengono deformate plasticamente dopo l'inserimento delle estremità delle corrispondenti gambe 10. Come illustrato nella figura 15, nell'avvolgimento 8 statorico illustrato nelle figure allegate sono previsti due collegamenti a stella che sono a loro volta tra loro collegati in parallelo (come verrà meglio descritto in seguito). I due ponti 28 di collegamento sono disposti sopra ai sei ponti 18 di collegamento. Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, è previsto un supporto 29 isolante, il quale alloggia i ponti 28 di collegamento, è disposto al di sotto dei ponti 28 di collegamento, ed è del tutto analogo al supporto 20 isolante.

In particolare, il supporto 29 isolante si appoggia inferiormente alla sommità delle colonnine 24 del supporto 20 isolante. L'unica differenza sostanziale (a parte ovviamente la forma e disposizione delle sedi 25) tra il supporto 29 isolante ed il supporto 20 isolante è che il supporto 29 isolante è privo degli elementi 23 di posizionamento in quanto si appoggia alle colonnine 24 del sottostante supporto 20 isolante. Per il resto, il supporto 29 isolante comprende una base forata mediante fori passanti come il supporto 20 isolante, comprende delle colonnine come il supporto 20 isolante, e presenta delle

sedi provviste di elementi di ritenuta eventualmente dotati di denti come il supporto 20 isolante.

Secondo quanto illustrato nella figura 16, è previsto un ponte 30 di collegamento, il quale è provvisto di un morsetto 14 di potenza, è disposto sopra ai ponti 28 di collegamento, ed è costituito da una piastra piana che è disposta perpendicolarmente all'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica ed è provvista di due sedi che impegnano le estremità delle rispettive gambe 10. Il ponte 30 di collegamento è del tutto simile ai ponti 20 di collegamento descritti in precedenza e quindi comprende rispettive sedi che vengono deformate plasticamente dopo l'inserimento delle estremità delle corrispondenti gambe 10. Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, è previsto un supporto 31 isolante, il quale alloggia il ponte 30 di collegamento, è disposto al di sotto del ponte 30 di collegamento, ed è del tutto analogo ai supporti 20 e 29 isolanti. In particolare, il supporto 31 isolante si appoggia inferiormente alla sommità delle colonnine del supporto 29 isolante. L'unica differenza sostanziale (a parte ovviamente la forma e disposizione delle sedi 25) tra il supporto 31 isolante ed il supporto 20 isolante è che il supporto 31 isolante è privo degli elementi 23 di posizionamento in quanto si appoggia alle colonnine del sottostante supporto 29

isolante. Per il resto, il supporto 31 isolante comprende una base forata mediante fori passanti come il supporto 20 isolante, comprende delle colonnine come il supporto 20 isolante, e presenta delle sedi provviste di elementi di ritenuta eventualmente dotati di denti come il supporto 20 isolante

Secondo quanto illustrato nella figura 17, è previsto un ponte 32 di collegamento, il quale è provvisto di un morsetto 14 di potenza, è disposto sopra al ponte 30 di collegamento, ed è costituito da una piastra piana che è disposta perpendicolarmente all'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica ed è provvista di due sedi che impegnano le estremità delle rispettive gambe 10. Il ponte 32 di collegamento è del tutto simile ai ponti 20 di collegamento descritti in precedenza e quindi comprende rispettive sedi che vengono deformate plasticamente dopo l'inserimento delle estremità delle corrispondenti gambe 10. Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, è previsto un supporto 33 isolante, il quale alloggia il ponte 32 di collegamento, è disposto al di sotto del ponte 32 di collegamento, ed è del tutto analogo ai supporti 20, 29 e 31 isolanti. In particolare, il supporto 33 isolante si appoggia inferiormente alla sommità delle colonnine del supporto 31 isolante. L'unica differenza sostanziale (a parte ovviamente la forma e

disposizione delle sedi 25) tra il supporto 33 isolante ed il supporto 20 isolante è che il supporto 33 isolante è privo degli elementi 23 di posizionamento in quanto si appoggia alle colonnine del sottostante supporto 31 isolante. Per il resto, il supporto 33 isolante comprende una base forata mediante fori passanti come il supporto 20 isolante, comprende delle colonnine come il supporto 20 isolante, e presenta delle sedi provviste di elementi di ritenuta eventualmente dotati di denti come il supporto 20 isolante.

Secondo quanto illustrato nella figura 18, è previsto un ponte 34 di collegamento, il quale è provvisto di un morsetto 14 di potenza, è disposto sopra al ponte 32 di collegamento, ed è costituito da una piastra piana che è disposta perpendicolarmente all'asse 3 di rotazione centrale della macchina 1 elettrica ed è provvista di due sedi che impegnano le estremità delle rispettive gambe 10. Il ponte 34 di collegamento è del tutto simile ai ponti 20 di collegamento descritti in precedenza e quindi comprende rispettive sedi che vengono deformate plasticamente dopo l'inserimento delle estremità delle corrispondenti gambe 10. Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, è previsto un supporto 35 isolante, il quale alloggia il ponte 34 di collegamento, è disposto al di sotto del ponte 34 di collegamento, ed è del tutto

analogo ai supporti 20, 29, 31 e 33 isolanti. In particolare, il supporto 35 isolante si appoggia inferiormente alla sommità delle colonnine del supporto 33 isolante. L'unica differenza sostanziale (a parte ovviamente la forma e disposizione delle sedi 25) tra il supporto 35 isolante ed il supporto 20 isolante è che il supporto 35 isolante è privo degli elementi 23 di posizionamento in quanto si appoggia alle colonnine del sottostante supporto 33 isolante. Per il resto, il supporto 35 isolante comprende una base forata mediante fori passanti come il supporto 20 isolante, comprende delle colonnine come il supporto 20 isolante, e presenta delle sedi provviste di elementi di ritenuta eventualmente dotati di denti come il supporto 20 isolante.

Grazie ai ponti 30, 32 e 24 di collegamento, ciascun morsetto 14 di potenza è elettricamente collegato alle estremità di due gambe 10 che costituiscono rispettivi terminali di un collegamento a stella dell'avvolgimento 8 statorico e che sporgono oltre ai corrispondenti elementi 31, 33 e 35 di supporto; in questo modo, i ponti 30, 32 e 24 di collegamento realizzano il collegamento in parallelo dei due collegamenti a stella dell'avvolgimento 8 statorico.

Nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate vengono utilizzati cinque ponti 18, 28, 30, 32 e

34 di collegamento disposti uno sull'altro (ovvero impilati uno sull'altro); secondo alternative e perfettamente equivalenti forme di attuazione può essere previsto un diverso numero (ad esempio quattro o sei) di ponti di collegamento.

Con riferimento a quanto illustrato nelle figure 19-25, vengono di seguito descritte le modalità che vengono utilizzate per eseguire le saldature all'interno dell'avvolgimento 8 statorico, ovvero per collegare le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" tra loro oppure ai ponti 18, 28, 30, 32 e 34 di collegamento. Le figure 19-25 illustrano la saldatura tra le estremità di due gambe 10 adiacenti, ma con le analoghe modalità avviene anche la saldatura tra una gamba 10 ed un corrispondente ponte 18, 28, 30, 32 o 34 di collegamento.

Secondo quanto illustrato nella figura 19, la saldatura viene eseguita in una stazione 36 di saldatura comprendente un dispositivo 37 emettitore che è atto a generare ed emettere un raggio 38 laser, il quale è atto a fondere il rame, ovvero a fondere il metallo costituente l'avvolgimento 8 statorico. La stazione 36 di saldatura comprende inoltre un telecamera 39, la quale è atta ad acquisire immagini digitali degli elementi che devono venire saldati tra loro (le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" nella forma di attuazione illustrata

nella figura 19). Secondo una preferita forma di attuazione, la stazione 36 di saldatura comprende un dispositivo 40 illuminatore, il quale è atto ad illuminare gli elementi che devono venire saldati tra loro (le gambe 10 delle barre 9 conformate ad "U" nella forma di attuazione illustrata nella figura 19); preferibilmente, il dispositivo 40 illuminatore presenta una forma anulare, è disposto attorno all'obiettivo della telecamera 39, ed è atto ad emettere una luce rossa (la quale permette di ottimizzare la visione degli elementi da saldare durante le operazioni di saldatura) mediante una matrice di LED.

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nella figura 19, è previsto un dispositivo 41 di compressione, il quale viene meccanicamente accoppiati alle gambe 10 da saldare tra loro per spingere le gambe 10 una contro l'altra e quindi disporre le gambe 10 stessa in stretto contatto reciproco per favorire un collegamento elettrico ottimale. Il dispositivo 41 di compressione comprende due ganasce 42 che vengono disposte su lati opposti del gruppo di gambe 10 e sono tra loro meccanicamente collegate per stringere tra loro le gambe 10 stesse.

Nelle figure 20-25, è illustrata la saldatura eseguita nella stazione 36 di saldatura delle estremità di due gambe 10 adiacenti; i due elementi metallici da saldare tra loro,

ovvero le due gambe 10, sono disposti uno di fianco all'altro ed hanno rispettive superfici 43 superiori che sono disposte tra loro complanari e presentano almeno un bordo 44 comune.

Inizialmente e secondo quanto illustrato nella figura 20, le due gambe 10 adiacenti da saldare tra loro vengono spinte una verso l'altra mediante le ganasce 42 del dispositivo 41 di compressione. Nella figura 20 sono schematicamente illustrate solo le due gambe 10 da saldare tra loro e le ganasce 42 sono direttamente premute contro entrambe le gambe 10, ma normalmente le ganasce 42 comprimono un gruppo di quattro gambe 10 come illustrato nella figura 19. Come illustrato nella figura 21, l'azione delle ganasce 42 del dispositivo 41 di compressione porta le due gambe 10 a stretto contatto annullando eventuali spazi indesiderati presenti tra le due gambe 10 in corrispondenza del bordo 44 comune.

Successivamente e come illustrato nella figura 22 viene acquisita una immagine digitale delle due superfici 43 superiori di entrambe le gambe 10 mediante la telecamera 39. Successivamente una unità di controllo analizza l'immagine digitale sia per determinare la posizione dei bordi esterni delle due superfici 43 superiori (evidenziati con linea punteggiata nella figura 22), sia per determinare la posizione degli spigoli dei bordi esterni delle due

superfici 43 superiori. Utilizzando la posizione degli spigoli dei bordi esterni delle due superfici 43 superiori, l'unità di controllo determina la posizione del centro (ovvero del baricentro) delle due superfici 43 superiori (evidenziato con una croce in linea punteggiata nella figura 22). I bordi esterni delle due superfici 43 superiori ed il centro delle due superfici 43 superiori costituiscono dei riferimenti geometrici che vengono utilizzati dalla unità di controllo per pilotare la posizione del raggio 38 laser (ovvero per controllare dove il raggio 38 laser impatta contro le due superfici 43 superiori).

Sfruttando i riferimenti geometrici ottenuti dalla analisi della immagine digitale delle due superfici 43 superiori di entrambe le gambe 10 e come illustrato nella figura 23, l'unità di controllo pilota il dispositivo 37 emettitore per indirizzare verso le superfici 43 superiori delle due gambe 10 un raggio 38 laser, il quale è atto a fondere il rame (ovvero il metallo costituente le gambe 10) e viene avanzato lungo una linea 45 di saldatura che è perpendicolare al bordo 44 comune ed attraversa il bordo 44 comune stesso. Secondo una preferita forma di attuazione, la posizione della linea 45 di saldatura viene determinata in funzione della posizione del centro delle due superfici 43 superiori, mentre l'orientamento della linea 45 di

saldatura viene determinato in funzione dei bordi esterni delle due superfici 43 superiori (in particolare la generazione dei raggi 38 laser viene pilotata in modo tale che i raggi 38 laser siano paralleli ai bordi esterni delle due superfici 43 superiori che sono perpendicolari al bordo 44 comune). Il raggio 38 laser che disegna sulle superfici 43 superiori delle due gambe 10 la linea 45 di saldatura provoca la fusione di parte del metallo costituente le gambe 10 e quindi determina la formazione di un bagno 46 di metallo fuso che si dispone attorno alla linea 45 di saldatura.

Sfruttando i riferimenti geometrici ottenuti dalla analisi della immagine digitale delle due superfici 43 superiori di entrambe le gambe 10 e come illustrato nella figura 24, l'unità di controllo pilota il dispositivo 37 emettitore per indirizzare verso le superfici 43 superiori delle due gambe 10 un raggio 38 laser, il quale è atto a fondere il rame (ovvero il metallo costituente le gambe 10) e viene avanzato lungo una linea 47 di saldatura che è perpendicolare al bordo 44 comune, attraversa il bordo 44 comune stesso, è parallela alla e distanziata dalla linea 45 e presenta una lunghezza inferiore alla linea 45. Secondo una preferita forma di attuazione, la posizione della linea 47 di saldatura viene determinata in funzione della posizione del centro delle due superfici 43

superiori, mentre l'orientamento della linea 47 di saldatura viene determinato in funzione dei bordi esterni delle due superfici 43 superiori (in particolare la generazione dei raggi 38 laser viene pilotata in modo tale che i raggi 38 laser siano paralleli ai bordi esterni delle due superfici 43 superiori che sono perpendicolari al bordo 44 comune). Il raggio 38 laser che disegna sulle superfici 43 superiori delle due gambe 10 la linea 47 di saldatura provoca la fusione di parte del metallo costituente le gambe 10 e quindi determina la formazione di un bagno 48 di metallo fuso che si dispone attorno alla linea 47 di saldatura e si unisce (formando un unico bagno di metallo fuso) con il bagno 46 di metallo fuso generato in precedenza.

Il fatto che la linea 47 di saldatura sia più corta della linea 45 di saldatura permette di ottenere una saldatura ben bilanciata, in quanto, pur in presenza di una linea 47 di saldatura più corta, il bagno 48 di metallo fuso presenta sostanzialmente lo stesso volume del bagno 46 di metallo fuso; infatti, la linea 47 di saldatura viene eseguita quando le superfici 43 superiori delle due gambe 10 sono state già riscaldate dalla precedente linea 45 di saldatura e quindi pur fornendo complessivamente una minore quantità di calore permette di fondere sostanzialmente la stessa quantità di metallo. Grazie alla corretta

bilanciatura dei due bagni 46 e 48 di metallo fuso (corretta bilanciatura ottenuta differenziando le lunghezze delle due linee 45 e 47 di saldatura), è possibile realizzare una saldatura estesa (quindi meccanicamente robusta ed elettricamente a bassa resistenza) senza correre il rischio di sbavature di metallo fuso esternamente alle superfici 43 superiori delle due gambe 10; tali sbavature di metallo fuso possono essere molto dannose in quanto possono creare dei cortocircuiti indesiderati e potenzialmente distruttivi all'interno dell'avvolgimento 8 statorico.

Secondo una ulteriore forma di attuazione non illustrata, in alcuni casi può venire utilizzata anche una ulteriore (terza) linea di saldatura che è perpendicolare al bordo 44 comune ed attraversa il bordo 44 comune stesso, è parallela alla e distanziata dalla linea 47 di saldatura e presenta una lunghezza inferiore alla linea 47 di saldatura.

Secondo una preferita forma di attuazione le linee 45 e 47 di saldatura non sono centrate una rispetto all'altra. In particolare, la linea 45 di saldatura è divisa simmetricamente dal bordo 44 comune, mentre la linea 47 di saldatura è divisa asimmetricamente dal bordo 44 comune; in questo modo è possibile ridurre ulteriormente il rischio di sbavature di metallo fuso esternamente alle superfici 43

superiori delle due gambe 10. Nella forma di attuazione illustrata nelle figure allegate, ciascuna linea 45 e 47 di saldatura si estende da un punto di partenza disposto su una gamba 10 ad un punto di arrivo disposto sull'altra gamba 10, i punti di partenza delle due linee 45 e 47 di saldatura sono disposti ad una stessa distanza dal bordo 44 comune, ed i punti di arrivo delle due linee 45 e 47 di saldatura sono disposti a distanze differenziate dal bordo 44 comune.

Da quanto sopra esposto, risulta chiaro che i raggi 38 laser che producono le due linee 45 e 47 di saldatura vengono generati in (rapida) successione dall'unico dispositivo 37 emettitore.

Come illustrato nella figura 25, una volta che i due bagni 46 e 48 di metallo fuso si sono sufficientemente raffreddati, le ganasce 42 del dispositivo 41 di compressione vengono disaccoppiate dalle gambe 10 terminando le operazioni di saldatura. Durante l'esecuzione della saldatura, le ganasce 42 del dispositivo 41 di compressione spingono e mantengono spinte le due gambe 10 una verso l'altra lungo una direzione di spinta perpendicolare al bordo 44 comune. Tale spinta viene generata prima di iniziare l'emissione dei raggi 38 laser e viene normalmente mantenuta fino ad un raffreddamento almeno parziale dei bagni 46 e 48 di metallo fuso.

Secondo una preferita forma di attuazione, le due ganasce 42 del dispositivo 41 di compressione presentano una forma anulare, vengono montate sull'avvolgimento 8 statorico prima di iniziare la saldatura, e vengono smontate dall'avvolgimento 8 statorico al termine della saldatura. Una ganascia 42 interna viene disposta dentro all'avvolgimento 8 statorico a diretto contatto con le gambe 10 più interne, ed una ganascia 42 esterna viene disposta fuori dall'avvolgimento 8 statorico a diretto contatto con le gambe 10 più esterne per spingere le gambe 10 più esterne verso le gambe 10 più interne e viceversa.

Le modalità di esecuzione della saldatura laser sono state descritte, con riferimento a quanto illustrato nelle figure 19-25, per la saldatura tra le estremità di due gambe 10 adiacenti, ma con le analoghe modalità avviene anche la saldatura tra una gamba 10 ed un corrispondente ponte 18, 28, 30, 32 o 34 di collegamento; nel caso della Le sopra descritte modalità di esecuzione della saldatura laser non è previsto l'utilizzo di un dispositivo di compressione in quanto le sedi 19 dei ponti 18, 28, 30, 32 o 34 di collegamento vengono preventivamente deformare plasticamente per stringere le estremità delle corrispondenti gambe 10.

Le sopra descritte modalità di esecuzione della saldatura laser presentano numerosi vantaggi, in quanto

permettono di ottenere un processo di saldatura efficace (ovvero in grado di realizzare una saldatura meccanicamente robusta, di bassa resistenza elettrica e duratura nel tempo), efficiente (ovvero presentante tempi di lavorazione molto ridotti) e semplice (ovvero facilmente automatizzabile ed eseguibile con precisione senza particolari accorgimenti). Inoltre, le sopra descritte modalità di esecuzione della saldatura laser non richiedono una preventiva spellatura (ovvero rimozione dello strato esterno isolante) delle estremità finali delle gambe 10 in corrispondenza delle superfici 43 superiori; in altre parole, per eseguire la saldatura laser come sopra descritta non è necessario preventivamente spelare (ovvero rimuovere lo strato esterno isolante da) le estremità finali delle gambe 10 in corrispondenza delle superfici 43 superiori.

La macchina 1 elettrica illustrata nelle figure allegate è una macchina elettrica sincrona con rotore a magneti permanenti, ma ovviamente la macchina 1 elettrica potrebbe essere di qualunque altro tipo (ad esempio asincrona e quindi senza magneti permanenti nel rotore).

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

1) Metodo di costruzione di una macchina (1) elettrica, la quale comprende:

uno statore (5) comprendente un nucleo (6) magnetico attraversato longitudinalmente da una pluralità di cave (7) di statore; ed

un avvolgimento (8) statorico presentante un numero di fasi e comprendente una serie di barre (9) rigide, le quali sono conformate ad "U" e sono inserite attraverso le cave (7) di statore definendo un lato (12) di ingresso, in cui si dispongono le cuspidi (11) delle barre (9) conformate ad "U", ed un lato (13) di uscita, in cui si dispongono le gambe (10) delle barre (9) conformate ad "U";

il metodo di costruzione comprende le fasi di:

piegare le gambe (10) delle barre (9) conformate ad "U" che fuoriescono nel lato (13) di uscita del nucleo (6) magnetico mediante rispettive doppie pieghe, ciascuna delle quali comprende una piegatura (15) interna in una direzione ed una piegatura (16) esterna in una direzione opposta;

collegare elettricamente tra loro le estremità delle gambe (10) delle barre (9) conformate ad "U" per costituire i percorsi elettrici dell'avvolgimento (8) statorico; e

collegare elettricamente le estremità di almeno due gambe (10) non adiacenti mediante un ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento, il quale è costituito da una piastra

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

piana disposta perpendicolarmente all'asse (3) di rotazione centrale e presenta per ciascun gamba (10) una corrispondente sede (19) conformata ad "U" ed atta ad accogliere l'estremità della gamba (10) stessa;

il metodo di costruzione è **caratterizzato dal fatto di** comprendere le ulteriori fasi di:

realizzare inizialmente le sedi (19) del ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento con una dimensione maggiore rispetto alle estremità delle corrispondenti gambe (10);

inserire nelle sedi (19) del ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento le estremità delle corrispondenti gambe (10); e

deformare localmente e plasticamente il ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento per stringere le sedi (19) del ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento attorno alle estremità delle corrispondenti gambe (10).

2) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 1 e comprendente l'ulteriore fase di saldare il ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento alle estremità delle corrispondenti gambe (10) dopo la fase di deformare localmente e plasticamente il ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento.

3) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui:

il ponte (18; 28; 30; 32; 34) di collegamento è

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

costituito da un corpo centrale di sezione sostanzialmente costante e da una serie di appendici che si elevano a sbalzo dal corpo centrale e sono disposte perpendicolarmente al corpo centrale stesso; e

ciascuna sede (19) è delimitata posteriormente dal corpo centrale ed è delimitata lateralmente da una coppia di appendici disposte una di fronte all'altra.

4) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 3, in cui in ciascuna sede (19) una appendice ha in pianta una forma lineare e l'altra appendice ha in pianta una forma ad "L" per abbracciare su due lati l'estremità della corrispondente gamba (10).

5) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 4, in cui inizialmente l'appendice di forma lineare forma con il corpo centrale un angolo retto e l'appendice di forma ad "L" forma con il corpo centrale un angolo ottuso.

6) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 3 o 4, in cui inizialmente una appendice forma con il corpo centrale un angolo retto e l'altra appendice forma con il corpo centrale un angolo ottuso.

7) Metodo di costruzione secondo una delle rivendicazioni da 1 a 6 e comprendente le ulteriori fasi di:

disporre un insieme di primi ponti (18) di collegamento tra loro complanari ad una prima quota

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

assiale; e

disporre un insieme di secondi ponti (28) di collegamento tra loro complanari ad una seconda quota assiale diversa dalla prima quota assiale in modo tale che i secondi ponti (28) di collegamento siano sovrapposti ai primi ponti (18) di collegamento.

8) Metodo di costruzione secondo la rivendicazione 7, in cui:

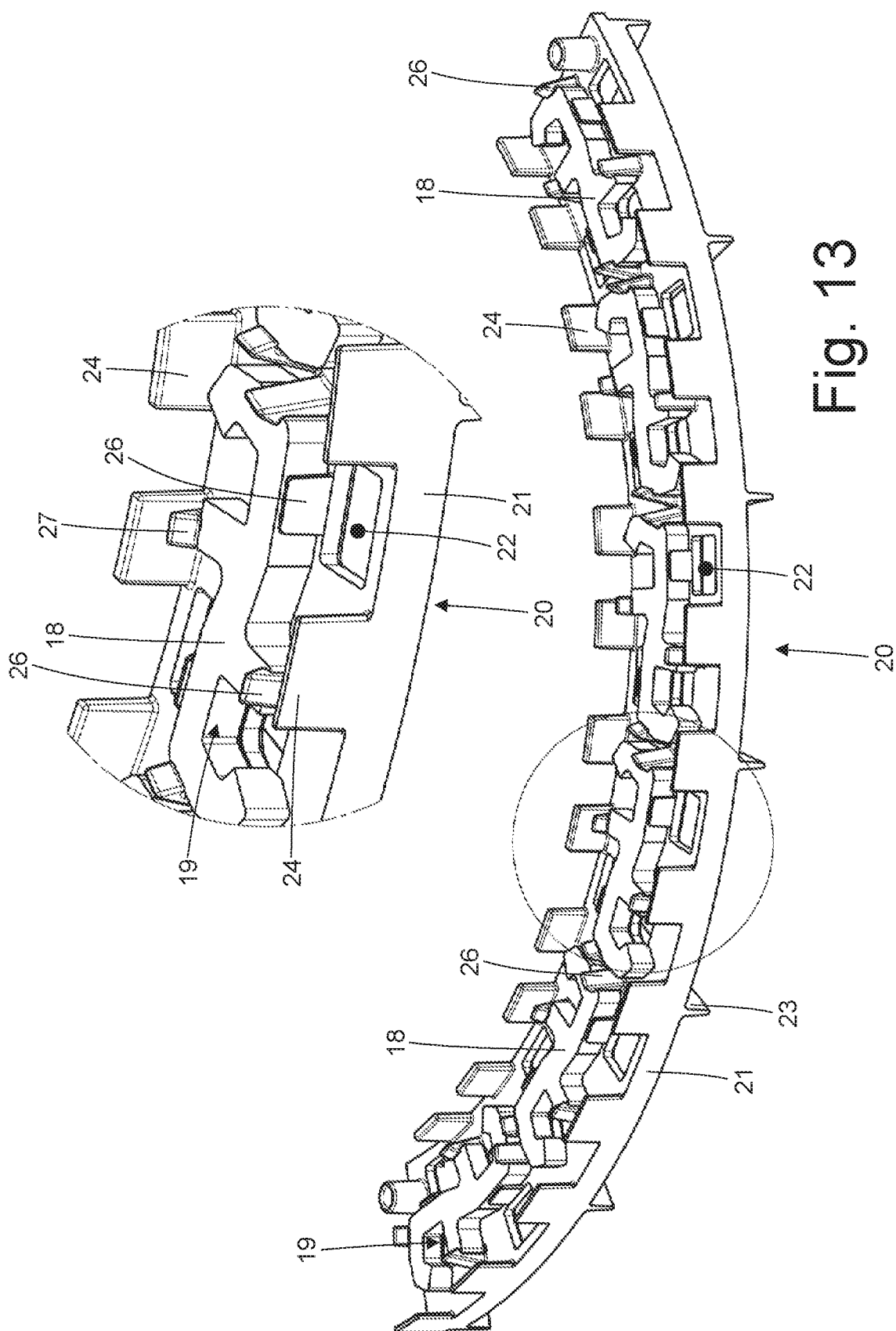
ciascun primo ponte (18) di collegamento presenta due sedi (19) per collegare tra loro le estremità di due corrispondenti gambe (10); e

ciascun secondo ponte (28) di collegamento presenta tre sedi (19) per collegare tra loro le estremità di tre corrispondenti gambe (10).

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

**Matteo MACCAGNAN**

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



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

Matteo MACCAGNAN  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

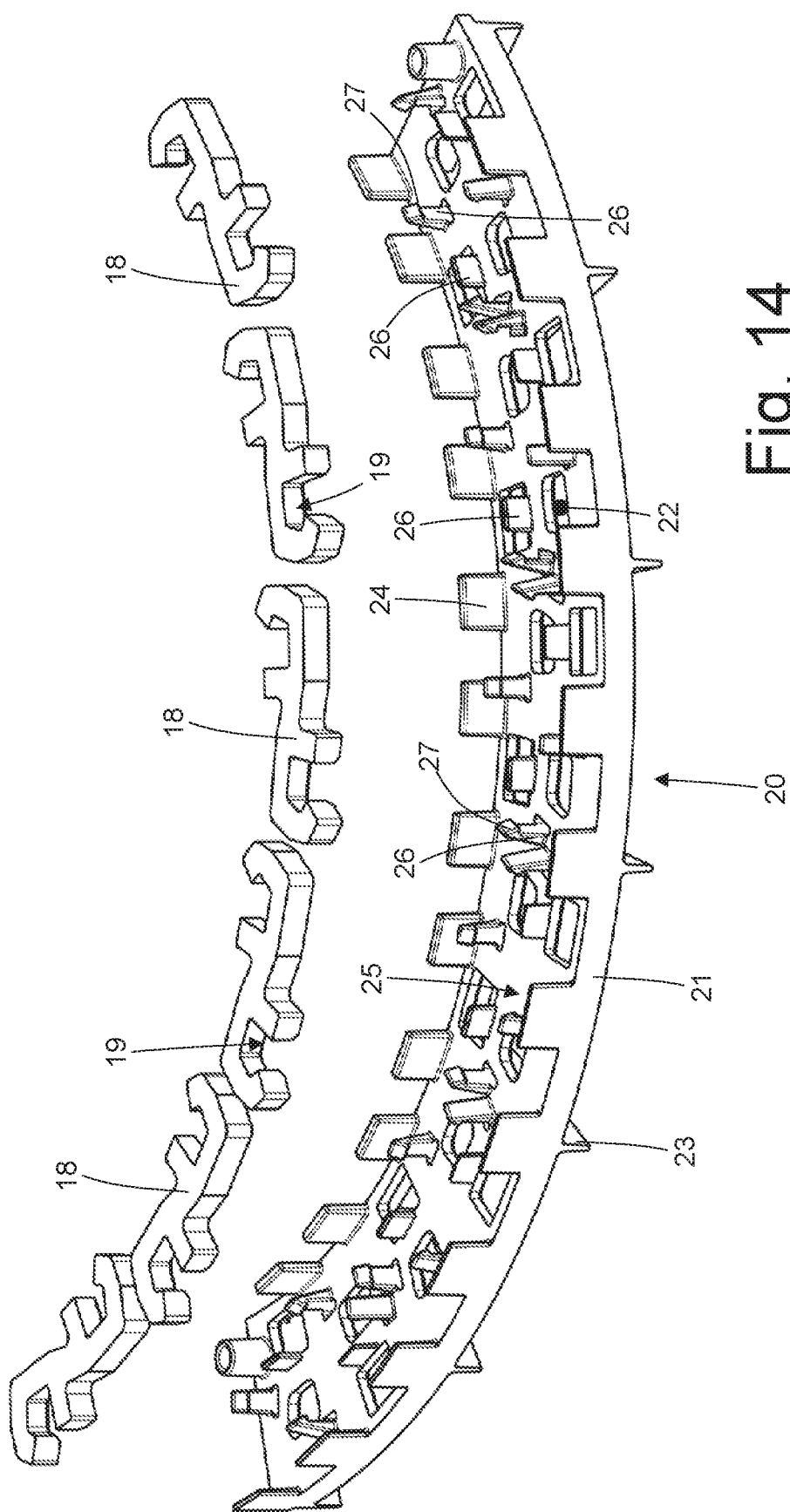


Fig. 14

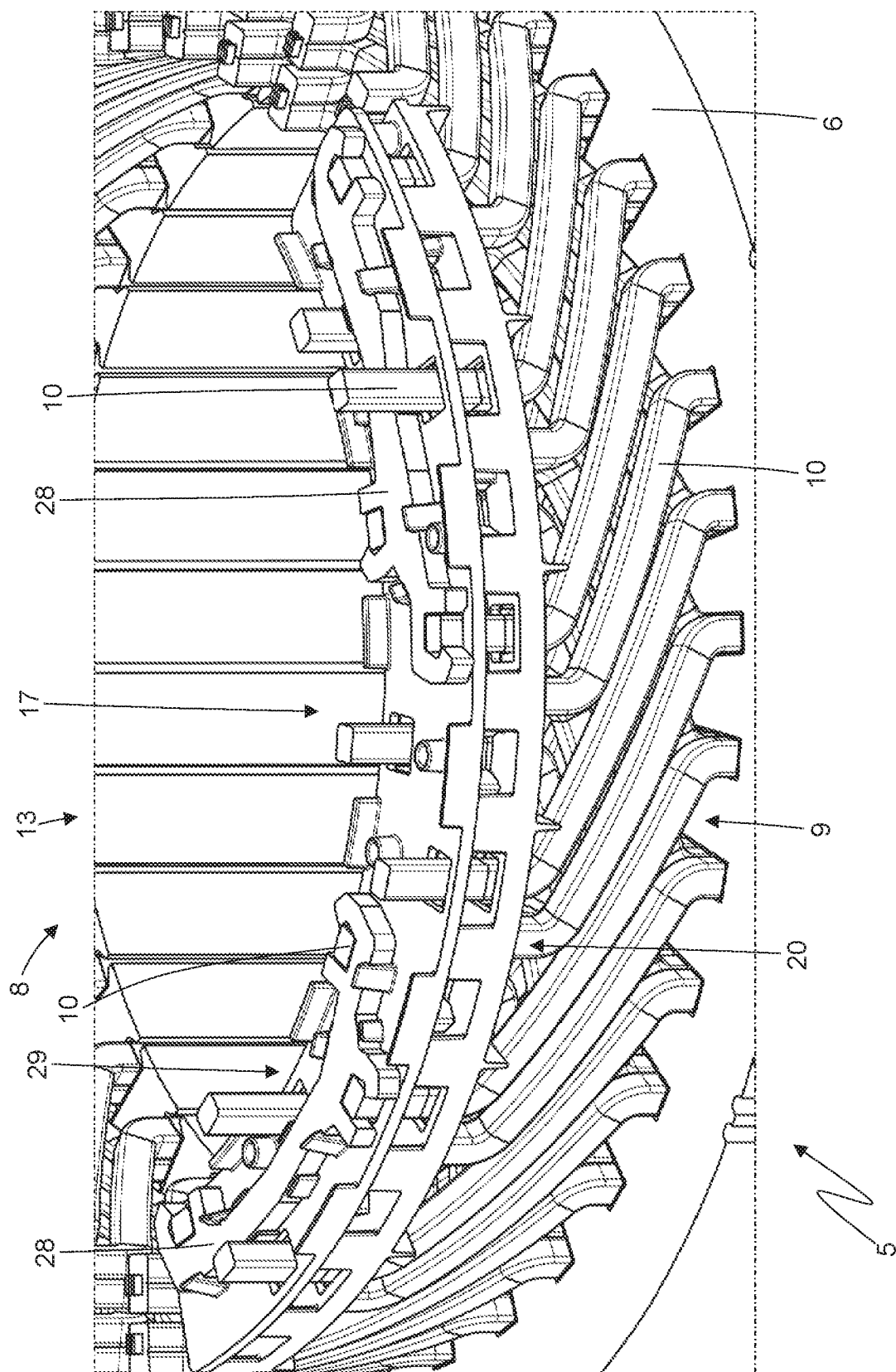


Fig. 15

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

Matteo MACCAGNAN  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

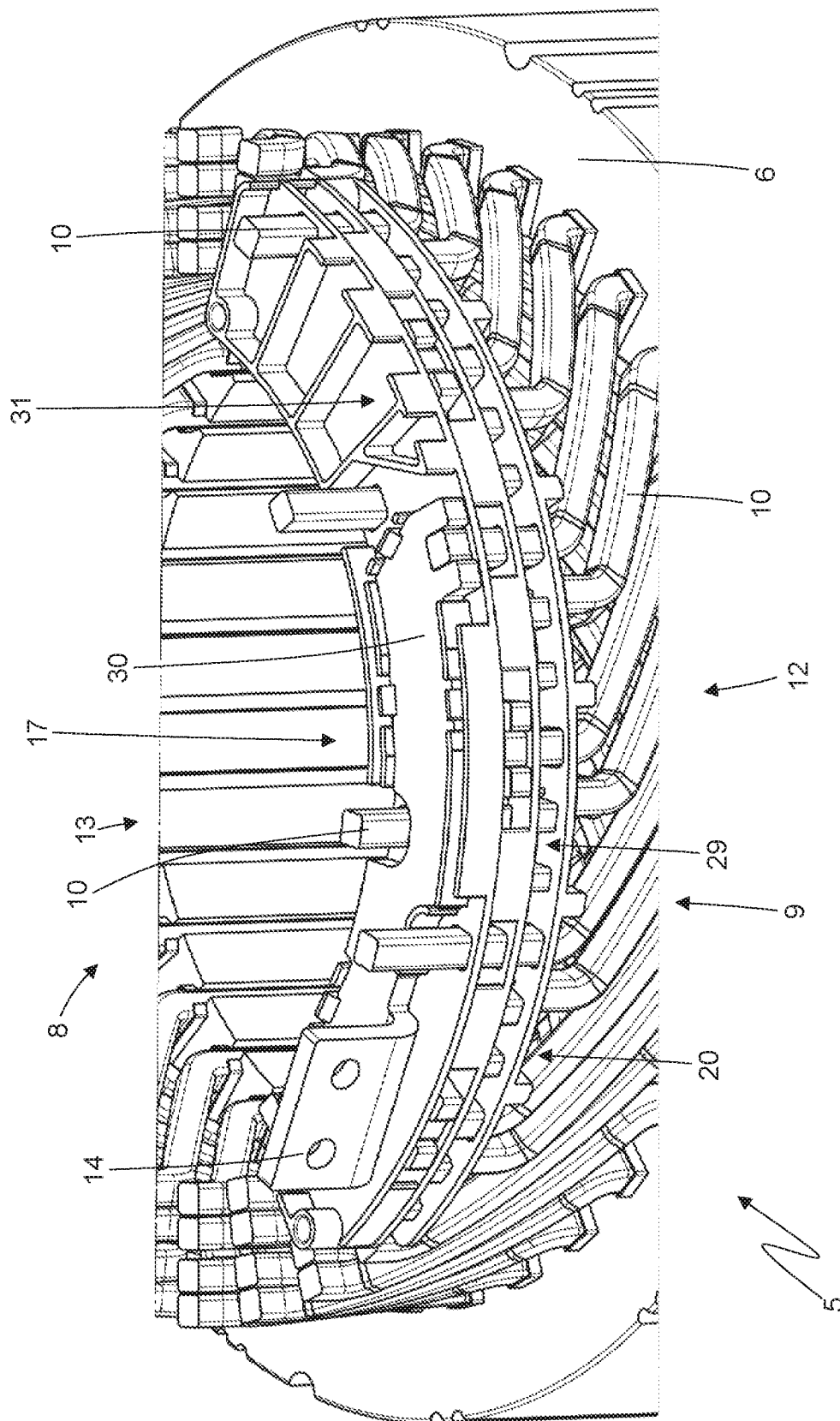


Fig. 16

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

Matteo MACCAGNAN  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

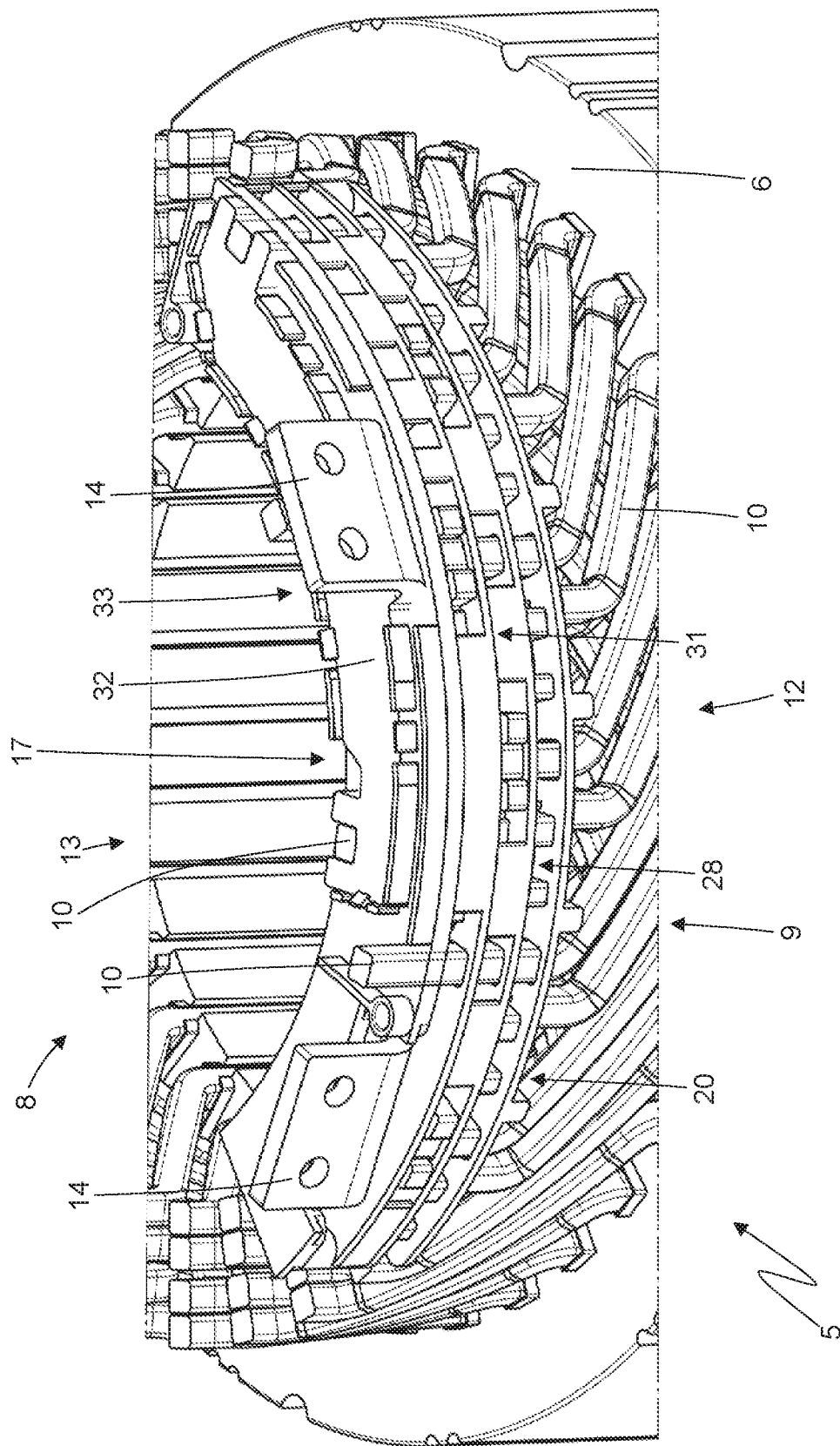


Fig. 17

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

Matteo MACCAGNAN  
(Iscrizione Albo N.987/BM)

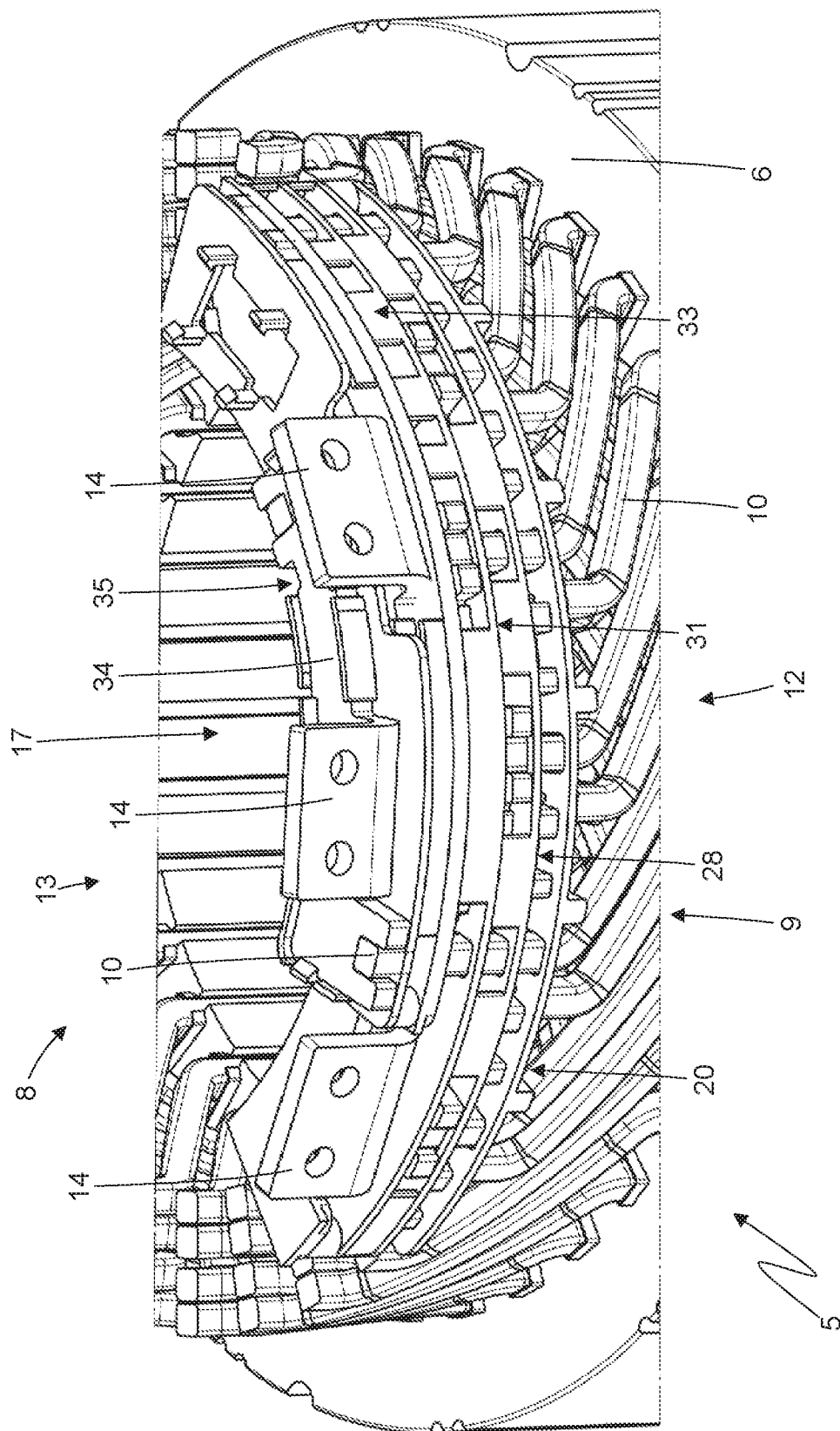


Fig. 18

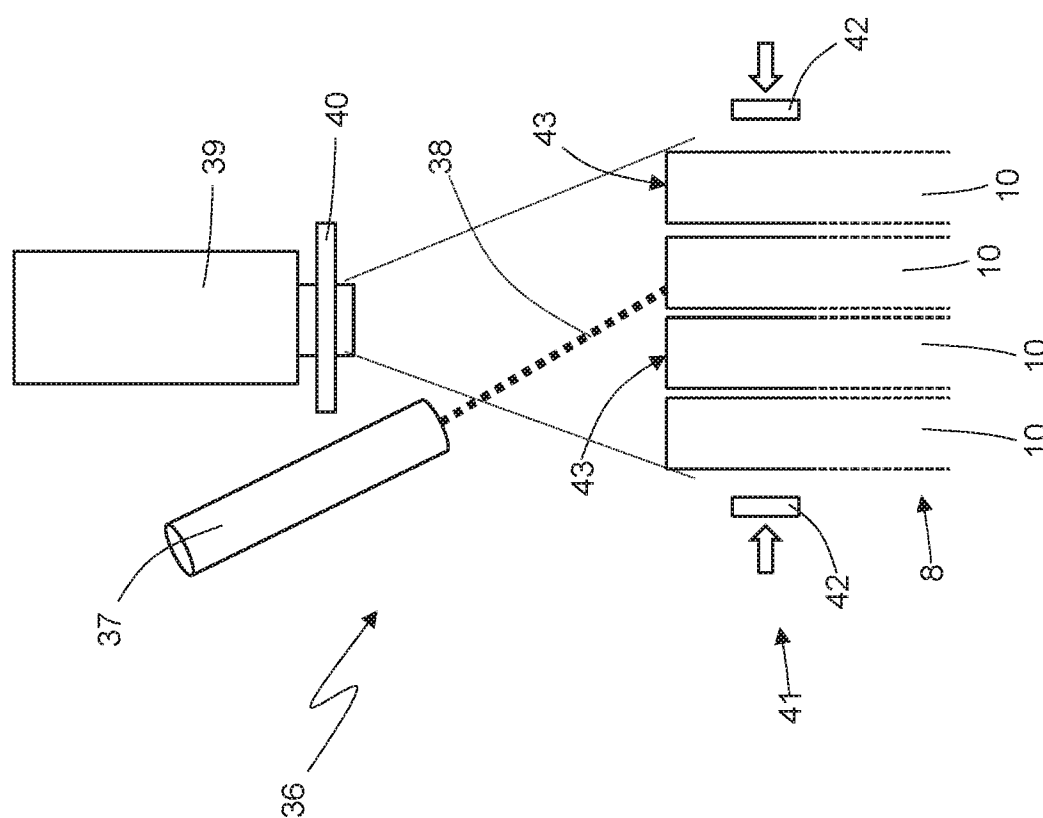


Fig. 19

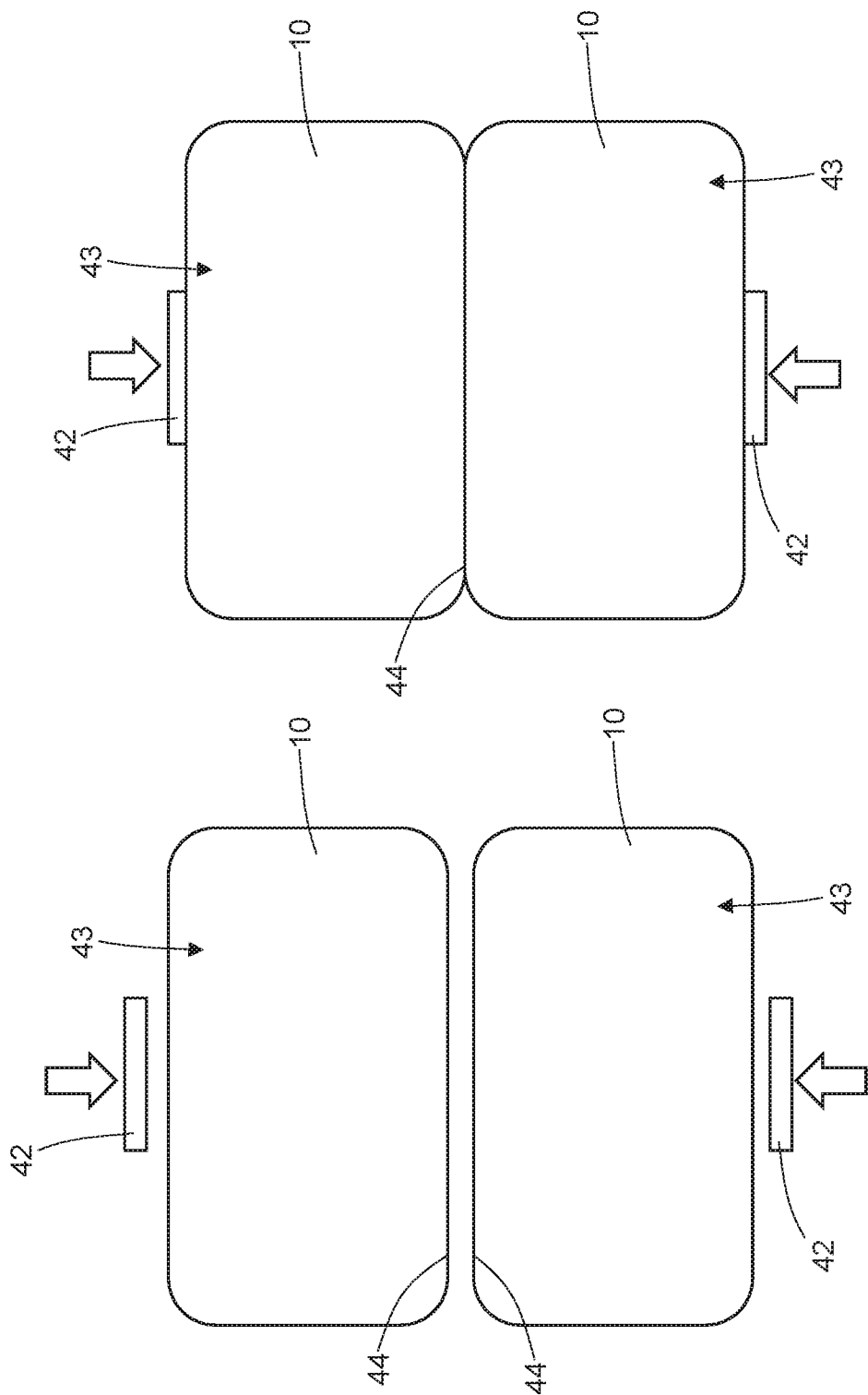


Fig. 21

Fig. 20

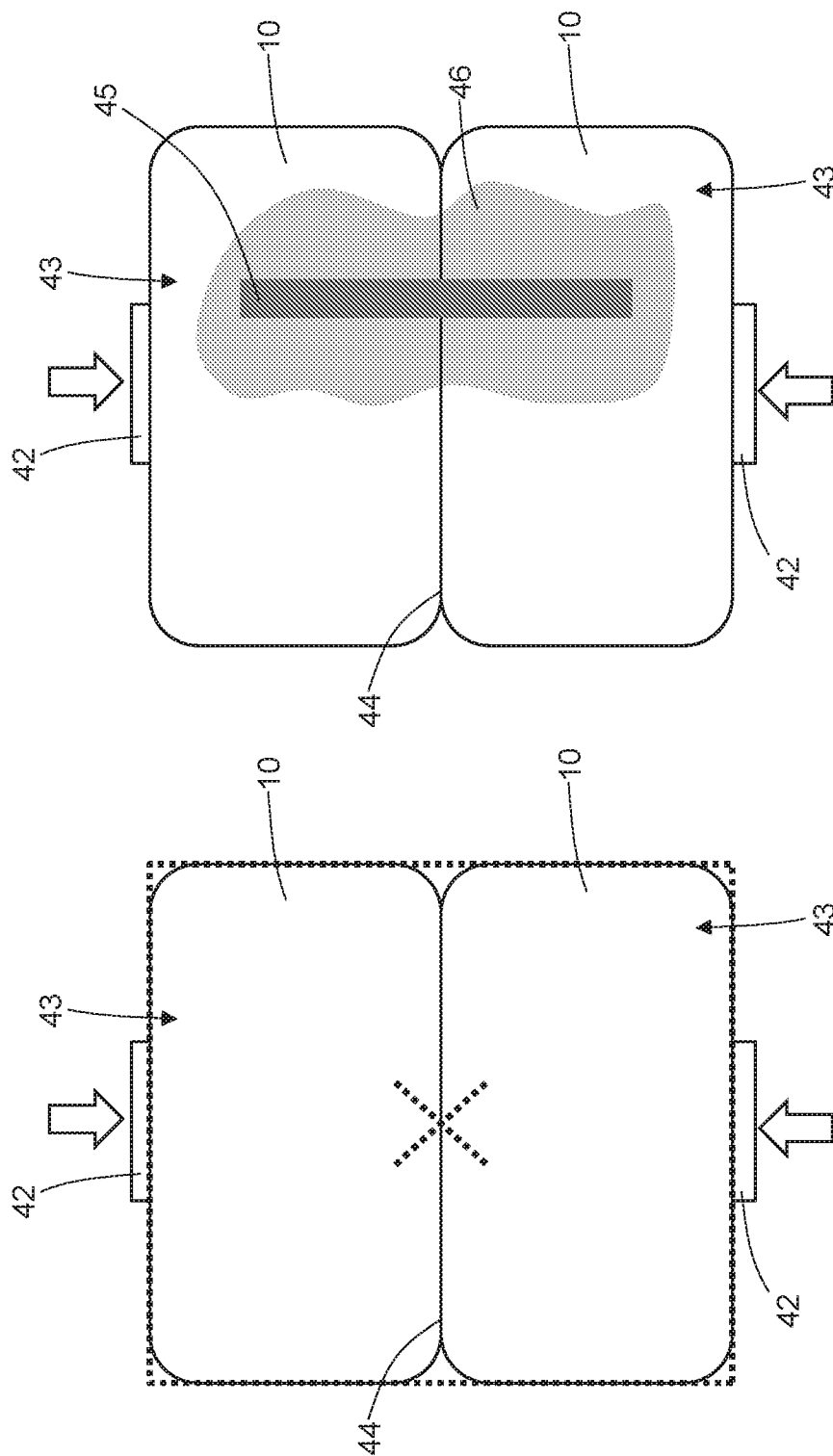


Fig. 23

Fig. 22

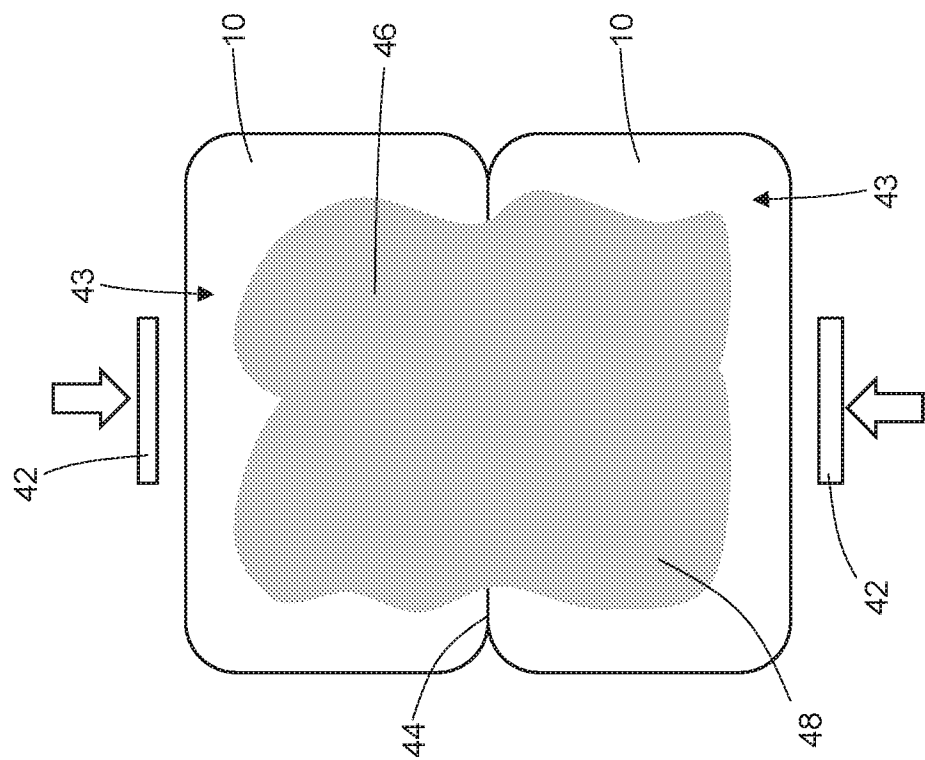


Fig. 25

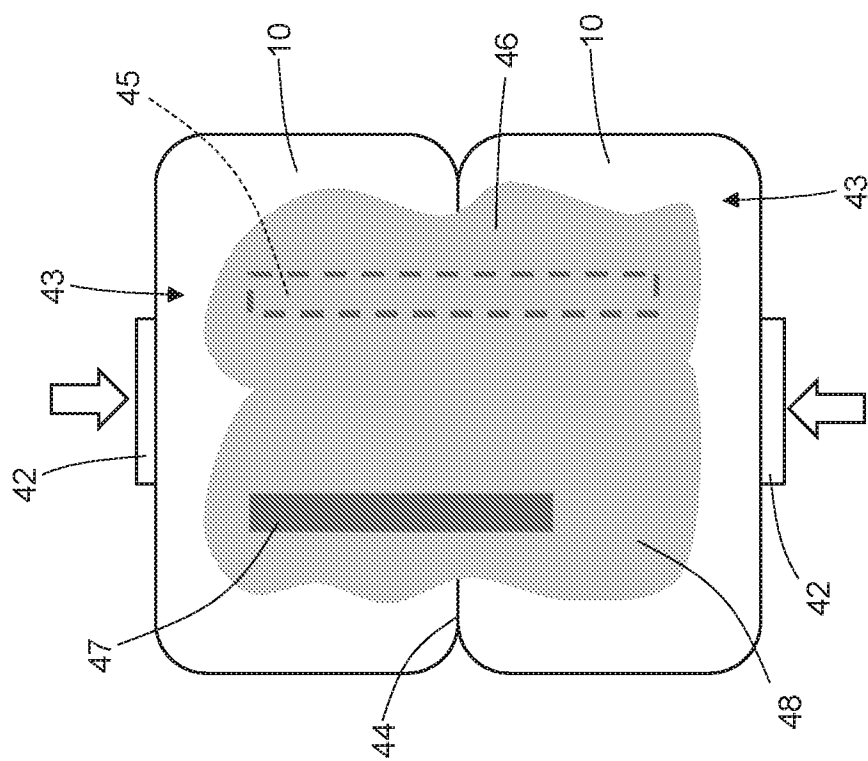


Fig. 24