

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901857676A1

Publication Date

20120115

Applicant

TREVI S.P.A.

Title

TESTA DI INIEZIONE PER INIETTARE MISCELE CONSOLIDANTI FLUIDE
PRESSURIZZATE NEL TERRENO.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Testa di iniezione per iniettare miscele consolidanti fluide pressurizzate nel terreno"

Di: TREVI S.p.A., nazionalità italiana, via Dismano, 5819 - 47023 Cesena (FC)

Inventore designato: SACCANI Cesare

Depositata il: 15 luglio 2010

* * *

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad una testa di iniezione ad efficienza elevata per iniettare miscele consolidanti fluide pressurizzate in un terreno al fine di formare porzioni di terreno consolidate.

Le tecniche note con l'espressione "*jet grouting*" sono utilizzate per formare nel terreno strutture colonnari di conglomerato artificiale. Queste tecniche sono basate sulla miscelazione delle particelle del suolo stesso con leganti, solitamente miscele cementizie, che vengono iniettate a pressioni elevate attraverso ugelli generalmente radiali di piccole dimensioni formati in una testa di iniezione (comunemente denominata "*monitor*"), fissata vicino all'estremità inferiore di un batteria di aste tubolari che viene comandata in rota-

zione ed estratta verso la superficie. Al fondo della batteria di aste, sotto il *monitor*, è fissato un utensile di perforazione che va lubrificato, durante la fase di scavo, con un fluido di perforazione alimentato attraverso le aste che, nella fattispecie, fungono da condotte.

I getti di legante disgregano e si miscelano con il terreno circostante, generando un blocco di conglomerato, generalmente di forma cilindrica, che una volta indurito costituisce un consolidamento del terreno.

Le batterie attualmente più impiegate nel settore delle fondazioni prevedono un condotto di grande sezione attraverso cui la miscela acqua-cemento viene alimentata fino alla zona del *monitor* dove sono presenti gli ugelli. Questi ultimi sono alloggiati in fori orientati radialmente, cioè perpendicolarmente all'asse longitudinale del *monitor*. Dal punto di vista fluidodinamico, questa configurazione riduce le perdite di carico distribuite lungo il percorso, poiché la velocità di scorrimento del fluido è bassa fintanto che il fluido non raggiunge l'estremità del *monitor*. Una volta giunto in questa zona, il flusso devia ortogonalmente nella regione dell'ugello creando anche moti liberi

disordinati caratterizzati da una forte turbolenza nella regione di deviazione del flusso. Questo fatto provoca un'elevata perdita di carico, proprio in prossimità dell'uscita dagli ugelli, conseguenza di una turbolenza tale da impedire al flusso di fuoriuscire dagli ugelli in maniera ordinata, ovvero con il vettore velocità della singola particella di materiale in uscita orientato secondo l'asse principale di ciascun ugello.

Le modalità secondo cui il fluido transita dall'interno all'esterno del *monitor* sono causa di una notevole quota di perdite di carico e vanno intese quindi non solo in termini di maggior consumo di energia ma anche di riduzione del diametro della colonna di materiale trattato. Nel settore è quindi sentita l'esigenza di limitare le perdite di carico che si generano all'interno del *monitor*.

Dalla letteratura brevettuale sono noti diversi *monitor* per il settore del *jet grouting* definenti al loro interno una pluralità di canalizzazioni ritorte secondo uno schema geometrico multi - elicoidale, capaci di guidare il flusso in un moto elicoidale dall'imbocco del *monitor* sino all'ingresso del relativo ugello. Un esempio è dato da JP-A-2008285811. Questo tipo di geometria multi - eli-

coidale non garantisce di per sé il massimo miglioramento delle prestazioni rispetto alla conformazione usualmente impiegata (cioè quella che genera un moto libero turbolento), a meno che non vengano individuati i parametri fondamentali per il corretto dimensionamento della struttura stessa e siano modificate le zone di entrata e uscita del getto al fine di massimizzarne l'efficienza.

Sono inoltre descritti, nella letteratura brevettuale, altri *monitor* che presentano uno o più condotti curvi per deviare la miscela fluida convogliandola dal condotto principale verso gli ugelli laterali, seguendo percorsi a cambiamento graduale di direzione, riducendo in tal modo le turbolenze e le perdite di carico concentrate. In US-5228809 si fa uso di un condotto a sezione costante e curvatura regolare; in EP-1396585 si usano condotti a curvatura variabile rastremati in modo progressivo. Tuttavia, il diametro dei condotti per il transito della miscela fluida lungo tutto l'ultimo tratto di imbocco agli ugelli è condizionato dalla necessità di bilanciare due esigenze opposte: da un lato, occorre contenere gli ingombri esterni del *monitor* (in generale relativamente piccoli e nell'ordine del centinaio di mm); dall'altro, si cerca di dare

ai condotti il miglior raggio di curvatura possibile. In altri termini, tali sistemi prevedono un tratto di lunghezza apprezzabile avente diametro ridotto e paragonabile a quello di sbocco dell'ugello. Pertanto, il vantaggio derivante dalle minori perdite concentrate viene limitato dal fatto che all'interno del tratto finale il fluido assume velocità molto elevate, con conseguenti perdite di carico distribuite assai elevate. Inoltre, la presenza di condotti, curve e raccordi complica di molto l'architettura complessiva del *monitor*, rendendo molto più complesse le fasi di montaggio, manutenzione e smontaggio.

Lo scopo primario dell'invenzione è di realizzare un *monitor* o testa di iniezione avente la massima efficienza possibile in termini di capacità penetrante dei getti in uscita dal *monitor*, ovvero di ottenere un maggiore effetto disgregante sul terreno da trattare, a parità di spesa energetica.

Questo ed altri scopi e vantaggi, che saranno compresi meglio in seguito, sono ottenuti secondo l'invenzione da una testa di iniezione o *monitor* avente le caratteristiche enunciate nelle rivendicazioni annesse.

Verrà ora descritta una forma di realizzazione

preferita ma non limitativa dell'invenzione, facendo riferimento ai disegni allegati, in cui:

- le figure 1, 1A e 2 sono diagrammi illustrativi della forma geometrica di un'elica;
- la figura 3 riporta viste schematiche di due condotti convergenti;
- la figura 4 è una vista prospettica schematica, in parziale trasparenza, di una forma di realizzazione di una testa di iniezione o monitor secondo l'invenzione
- la figura 5 è una vista schematica in pianta, in scala leggermente ingrandita, del monitor della figura 4;
- la figura 6 è una vista in sezione assiale di un corpo elicoidale incorporato nel monitor della figura 4;
- la figura 7 è una vista sezione trasversale secondo la traccia VII-VII nella figura 6;
- la figura 8 è una vista prospettica in alzato del componente della figura 6;
- la figura 9 è una vista in scala ingrandita di un dettaglio della figura 6;
- le figure 10A-10C sono viste prospettiche, da angolazioni differenti, di uno stesso componente da applicare al corpo elicoidale delle figure 6 e 8;

- le figure 11 e 12 sono viste diagrammatiche che illustrano lo sviluppo in piano un esempio di un condotto elicoidale interno al monitor;
- le figure 13 e 14 sono viste prospettiche di due diverse forme di realizzazione di un corpo elicoidale situato all'interno del monitor.

Prima di descrivere nel dettaglio una forma di attuazione preferenziale dell'invenzione, si enunciano qui di seguito i criteri che hanno condotto all'ottenimento dell'invenzione e che sono basati tutti sulla ricerca della massima efficienza del getto. In tale ottica si è condotta una analisi energetica sul flusso del fluido in moto nel *monitor*, analizzandone le perdite di carico. Da tale analisi è emerso come, visti i vincoli posti dall'architettura del *monitor*:

- ingresso del flusso prevalentemente verticale o parallelo all'asse del *monitor*,
- uscita del flusso prevalentemente ortogonale rispetto all'asse del *monitor*, e
- presenza di un condotto centrale, interno al *monitor*, da lasciare libero per il passaggio del fluido di raffreddamento della testa dell'asta, il percorso che il fluido deve seguire all'interno del *monitor* per ottenere la massima efficienza pos-

sibile (ovvero la minima perdita di carico) è un percorso elicoidale. In questo modo, difatti, è possibile realizzare una deviazione continua della direzione del flusso, così come è possibile realizzare una variazione continua della sezione e del diametro idraulico del condotto che determina il percorso elicoidale. In questo contesto, si è definito "percorso" il luogo geometrico dei punti che individua il centro delle sezioni del condotto ortogonali al flusso del fluido all'interno del *monitor*. In altri termini, il percorso coincide con la linea (elicoidale) mediana del condotto, come descritto in dettaglio più avanti. Risulterà chiaro che non tutti i percorsi ad elicoide sono in grado di produrre l'effetto desiderato in termini di minimizzazione delle perdite. A questo fine, e cioè per minimizzare le perdite di carico dovute all'attraversamento del *monitor* stesso, si è trovato che il percorso ottimale ad elicoide che il fluido deve seguire è individuato da cinque condizioni di minimizzazione delle perdite, come descritto qui di seguito.

Con riferimento alla figura 1, l'equazione di un generico percorso ad elica viene definito nelle componenti:

$$x = r(\theta) \cos \theta$$

$$y = r(\theta) \sin \theta$$

$$z = h(\theta)$$

in cui $r(\theta)$ e $h(\theta)$ sono funzioni dell'angolo θ , variabile all'interno di un intervallo compreso tra i valori θ_1 (ingresso del *monitor*) e θ_2 (valore angolare all'ugello di uscita).

La prima condizione di minimizzazione delle perdite è che il raggio r del percorso ad elica si mantenga idealmente costante. In certi casi ciò non è possibile per ragioni costruttive; il raggio deve comunque variare in maniera lineare tra l'ingresso e l'uscita del *monitor*. Fissando arbitrariamente a zero l'estremo inferiore dell'intervallo di appartenenza dell'angolo θ (ovvero $\theta_1=0$), si sottintende che la variabile da determinarsi sarà piuttosto θ_2 o, in maniera equivalente, l'altezza del *monitor* H , intesa come distanza sull'asse del *monitor* tra imbocco e uscita del *monitor* stesso. Per quel che riguarda la funzione $h(\theta)$, nel caso di elica con passo costante (riferimenti in figura 2) si avrebbe la seguente relazione.

passo $p = z(\theta=2\pi) = h \cdot 2\pi$ (con h valore costante, maggiore di zero)

$$\operatorname{tg} \alpha = h/r$$

$$z = h \theta = r \operatorname{tg} \alpha \theta$$

La condizione di passo costante è in realtà non verificata nell'esempio qui illustrato, poiché è presente una variazione dell'angolo di inclinazione α del percorso ad elica imposta tra ingresso ($\alpha \approx 90^\circ$) e uscita del *monitor* ($\alpha \approx 0^\circ$).

La seconda condizione di minimizzazione delle perdite è la seguente: la funzione che esprime la variazione dell'angolo α di inclinazione del percorso ad elica tra ingresso e uscita del *monitor* deve essere lineare; in altri termini, la funzione che esprime la variazione dell'angolo α di inclinazione dell'elica lungo il percorso è a derivata costante.

L'angolo α in ingresso non può essere posto uguale a 90° poiché a tale valore dell'angolo corrisponde un valore infinito della derivata. Si deve pertanto raccordare l'ingresso del *monitor* in maniera tale da deviare il flusso su di una direzione quasi verticale che differisce di una quantità Δ dalla direzione rigorosamente verticale tale da minimizzare le perdite (terza condizione di minimizzazione delle perdite). Ad esempio, un valore noto dalla letteratura per un imbocco conico con perdite concentrate trascurabili è quello di un angolo di

raccordo Δ pari a 20° , a cui corrisponde un imbocco reale all'ingresso del fluido (inizio percorso) con valore di α pari a 70° (cioè $90^\circ - 20^\circ$) che produce, appunto, perdite di carico concentrate trascurabili. Se la derivata della funzione che descrive la variazione dell'angolo di inclinazione del percorso ad elica α è costante rispetto a θ , ne deriva che la funzione stessa sarà di tipo lineare, tenuto conto delle condizioni di vincolo alle estremità, cioè del tipo:

$$\alpha = a + b \theta = (\pi/2 - \Delta) (1 - \theta/\theta_2)$$

A questo punto bisogna ricavare il legame tra z e la tangente di α . L'incremento di quota dz , diverso in ogni punto del percorso ad elica, a causa della variabilità di α lungo il percorso stesso, ovvero in funzione di θ , viene dato da:

$$dz = r \operatorname{tg} \alpha \, d\theta$$

da cui, integrando, si ottiene il valore di z associato ad ogni valore di θ .

$$z = \int r \operatorname{tg} \alpha \, d\theta = - r/b [\ln |\cos \alpha| - \ln |\cos a|]$$

Dalla nota equazione per il calcolo delle perdite di carico di fluidi in moto nei condotti e attingendo dalla letteratura tecnica, sono state definite alcune relazioni determinanti ai fini della

individuazione del percorso ottimale; in particolare, si fa riferimento alla relazione esistente tra la variazione di sezione (o del quadrato del diametro idraulico) e il corrispondente coefficiente di perdita concentrata relativo, appunto, alla variazione puntuale di sezione.

Si è osservato come, avendo una variazione di sezione (o del quadrato del diametro idraulico) imposta tra ingresso e uscita del *monitor*, la funzione S che esprime la diminuzione della sezione (o la funzione D che esprime la diminuzione del quadrato del diametro idraulico) tra ingresso e uscita del *monitor* devono essere lineari, ovvero a derivata costante (quarta condizione di minimizzazione delle perdite).

Un'ulteriore osservazione deriva dallo studio delle perdite di carico nei condotti convergenti. Noti il diametro idraulico all'ingresso e all'uscita dal *monitor*, lo sviluppo lineare del percorso mostra come, a seconda del valore del semiangolo di apertura del convergente così costruito, si possa ottenere un percorso estremamente corto ($L1$ in figura 3), che comporta maggiori perdite concentrate a causa della brusca variazione di sezione, o estremamente lungo ($L2$ in figura 3) che

comporta invece maggiori perdite distribuite causate dall'attrito sulle pareti, ma perdite concentrate trascurabili per la modesta entità dell'angolo δ .

Dalla letteratura tecnica è noto che, per avere perdite di carico sostanzialmente trascurabili, il semiangolo ottimale δ di rastremazione del condotto deve rimanere compreso tra 5° - 15° ; è allora possibile definire un intervallo entro il quale fare variare il valore della lunghezza L che rende il percorso sostanzialmente ottimizzato (quinta condizione di minimizzazione delle perdite di carico).

Nella progettazione del *monitor*, la scelta ricadrà inizialmente sul massimo valore ammissibile dell'angolo di rastremazione δ (cioè 15°) in quanto realizza il minor percorso possibile senza generare perdite concentrate di rilevante entità. A posteriori, andrà verificata la fattibilità della scelta operata in quanto si possono verificare intersezioni tra le sezioni di passaggio del condotto tra passi consecutivi dell'elicoide così come può essere rilevato uno spessore tra le sezioni di passaggio del condotto tra passi consecutivi dell'elicoide inferiore a quello minimo, che è funzione della pressione di esercizio del fluido in

moto all'interno del *monitor*. Pertanto, è necessario ricorrere ad un processo di tipo iterativo che vada ad individuare il massimo valore di δ compatibile con le esigenze costruttive.

Le cinque condizioni sopra esposte sono sufficienti per determinare analiticamente l'equazione dell'elicoide che minimizza le perdite di carico all'interno del *monitor*. Dalla determinazione analitica del percorso dell'elicoide, si procede alla "costruzione" del condotto, intesa come inserimento punto per punto sul percorso di un corrispondente valore dell'area della sezione di passaggio, intendendo la sezione orientata in ogni punto del percorso dell'elicoide ortogonalmente allo stesso.

L'equazione del percorso (inteso come sopra) ottimale risulta allora definita dai seguenti vincoli:

$$(1) \quad x = r \cos \theta$$

$$(2) \quad y = r \sin \theta$$

$$(3) \quad z = -r/b [\ln |\cos \alpha| - \ln |\cos a|]$$

$$(4) \quad \theta \in [0 ; \theta_2]$$

$$(5) \quad r = \cos t$$

$$(6) \quad \alpha = (\pi/2 - \Delta) (1 - \theta/\theta_2)$$

$$(7) \quad a = \pi/2 - \Delta$$

$$(8) \quad b = -(\pi/2 - \Delta) / \theta_2$$

$$(9) \quad L = \int (dx^2 + dy^2 + dz^2)^{0,5} = (D_1 - D_2) / [2 \operatorname{tg} \delta]$$

Noti la sezione di ingresso S_1 , il diametro idraulico D_1 ed il raggio r (che corrispondono di fatto alle grandezze costruttive di riferimento), è necessario stabilire un valore per i parametri Δ e δ . In particolare, la scelta dell'angolo δ va verificata al termine del primo calcolo e può richiedere un processo iterativo. Definite queste condizioni, è possibile ricavare le grandezze mancanti in funzione del diametro idraulico D_2 , che di fatto andrà a coincidere con il diametro reale dell'ugello. Difatti, fissare D_2 equivale a determinare, tramite l'equazione (9), il valore della lunghezza L del nostro elicoide. Dalla risoluzione dell'integrale definito sempre con l'equazione (9) si ottiene il valore di θ_2 . Dalle equazioni (1), (2) e (3) è possibile ricostruire il percorso dell'elicoide.

Riassumendo, quindi:

- l'area delle sezioni di passaggio decresce in maniera lineare, ovvero a gradiente costante;
- il quadrato del diametro idraulico delle sezioni di passaggio decresce in maniera lineare, ovvero a gradiente costante;

- la lunghezza del percorso risulta definita, noti il diametro idraulico all'ingresso D_1 e all'uscita D_2 ;
- il raggio dell'elica che definisce il percorso si mantiene preferibilmente costante; se ciò non fosse possibile per ragioni costruttive, esso deve variare in maniera lineare tra ingresso ed uscita del *monitor*;
- la variazione di inclinazione α dell'elica che definisce il percorso risulta lineare, ovvero la funzione che esprime la variazione di α rispetto a θ deve essere a gradiente costante; l'imbocco del *monitor* presenta un raccordo a sezione costante in cui il flusso in ingresso viene deviato di una quantità Δ (compresa tra 5° e 30° , ad esempio 20°) rispetto alla direzione verticale;
- il passo dell'elica che definisce il percorso risulta decrescente tra ingresso e uscita del *monitor*;
- il condotto raccorda sia il flusso in arrivo al *monitor* con l'ingresso in direzione prevalentemente assiale del *monitor* e sia il flusso in uscita con direzione prevalentemente radia-

le del *monitor* con l'ingresso dell'ugello, dove per raccordare si intende guidare senza brusche variazioni di sezione o direzione.

Facendo ora riferimento alle figure 4 e 5, una testa di iniezione o *monitor* è indicata nel suo insieme con 10. Il *monitor* comprende una boccola o manicotto esterno 12 di forma cilindrica tubolare con una superficie cilindrica esterna 15a ed una superficie cilindrica interna 15b. Il *monitor* serve per erogare un getto pressurizzato di una miscela fluida consolidante, tipicamente una miscela cementizia, attraverso uno o più ugelli laterali 11 al fine di disgregare il terreno circostante e consolidarlo. L'estremità superiore del *monitor* è collegabile, in modo di per sé noto, ad una batteria di aste tubolari (non illustrate) al fine di movimentare il *monitor* in verticale e metterlo in rotazione attorno all'asse centrale longitudinale z. Nella presente descrizione e nelle rivendicazioni che seguono, termini ed espressioni che indicano posizioni ed orientamenti, quali ad esempio "longitudinale", "trasversale", "radiale", "superiore" ed "inferiore", vanno intesi con riferimento all'asse centrale z e ad una condizione di uso nella quale l'asse z è essenzialmente verticale.

Superiormente il *monitor* presenta un ingresso 16 attraverso il quale viene introdotta una miscela consolidante pressurizzata da erogare agli ugelli di iniezione laterali. Gli ugelli laterali 11, che nell'esempio illustrato nelle figure 4 e 5 sono in numero di due, sono orientati in piani sostanzialmente orizzontali, e cioè perpendicolari all'asse longitudinale Z del *monitor*, in modo tale da dirigere i rispettivi getti in uscita secondo direzioni non passanti per l'asse Z. Gli ugelli 11 sono situati in prossimità dell'estremità inferiore del *monitor* e sono collegati in comunicazione di fluido all'ingresso superiore 16 attraverso rispettivi condotti 13 ad elicoide che impartiscono al fluido immesso nell'ingresso 16 una componente tangenziale che fa ruotare il flusso attorno all'asse centrale longitudinale z del *monitor*. In altri termini, il moto impresso al fluido è di tipo elicoidale. Il moto del fluido è guidato e confinato lateralmente dalla superficie cilindrica interna 15b del maniccotto 12. La forma ad elicoide di ciascun condotto 13 è determinata da coppie di superfici ad elicoide affacciate, una superiore 14a ed una inferiore 14b, formate entrambe da un corpo elicoidale rigido 17 (figura 8), preferibilmente metallico, almeno tem-

poraneamente vincolato nella cavità o superficie cilindrica interna 15b del manicotto 12. Nella forma di realizzazione preferita, le superficie ad elicoidale 14a, 14b sono elicoidi "rigati", generati dal movimento elicoidale di una retta. Con il numero 19 è designato un nucleo tubolare centrale, formato dallo stesso corpo elicoidale 17, ed avente una superficie esterna cilindrica 20 ed una cavità assiale centrale 21 atta a permettere il passaggio di un fluido di lubrificazione della punta di perforazione (non illustrata) montata sotto il *monitor*. La sezione trasversale del condotto 13, in questo esempio, è rettangolare, essendo delimitata superiormente dalla superficie elicoidale 14a, inferiormente dalla superficie elicoidale 14b, esternamente dalla superficie cilindrica 15b e internamente dalla superficie cilindrica 20. L'invenzione non è però da intendersi limitata ad un condotto di sezione rettangolare, essendo possibili condotti di sezioni differenti, ad esempio circolari o differenzialmente raccordati. Il corpo 17, illustrato separatamente nelle figure 6, 7 e 8, è preferibilmente lavorato dal pieno tramite macchina utensile, per ricavare le scanalature elicoidali che unitamente alla superficie interna del manicotto 12, de-

finiscono i condotti del *monitor*.

In tutte le diverse forme di realizzazione qui descritte e illustrate, il condotto elicoidale 13 è progressivamente rastremato verso il rispettivo ugello 11 e comprende un tratto di condotto terminale avente una linea mediana elicoidale m (figure 11 e 12); tale tratto terminale è raccordato all'ugello in modo rastremato, sia quando questo tratto è visto in piani di sezione (indicati schematicamente con P nelle figure 1 e 1A) paralleli all'asse longitudinale Z e tangenti alla linea mediana elicoidale m , e sia quando il tratto terminale è visto in piani di sezione orizzontali o perpendicolari all'asse Z .

Per effetto della forma elicoidale dei condotti 13, il fluido immesso nel *monitor* segue un determinato percorso ad elica senza subire variazioni repentine di traiettoria, minimizzando quindi la creazione di turbolenze, ovvero componenti disordinate del moto, con conseguenti dissipazioni energetiche. Lungo il condotto, l'area della sezione utile per il passaggio del fluido decresce in maniera lineare, ovvero a gradiente costante; più in particolare, come detto sopra, il quadrato del diametro idraulico delle sezioni di passaggio decresce in ma-

niera lineare, ovvero a gradiente costante, fino alla zona degli ugelli 11. Il raggio dell'elica che definisce il percorso dei condotti 13 si mantiene sostanzialmente costante, mentre l'inclinazione α della medesima elica si riduce in modo lineare in direzione dell'ugello; in altri termini, il passo dell'elica che definisce il percorso si riduce linearmente verso l'ugello di scarico.

Rispetto ai *monitor* tradizionali discussi nella parte introduttiva della descrizione, la sezione maggiore del *monitor* secondo la presente invenzione comporta, a parità di portata e pressione, perdite di carico nettamente minori, ovvero le minime possibili, data la geometria elicoidale. Come noto, le perdite di carico distribuite, nel caso di fluido incomprimibile, sono inversamente proporzionali alla quinta potenza della dimensione trasversale del condotto. Pertanto agli ugelli del *monitor* pervengono getti di energia superiore a quella dei *monitor* tradizionali. Di conseguenza, l'azione del jet grouting risulterà più efficace perché a parità di potenza impiegata si otterrà una colonna di terreno consolidato di diametro maggiore.

Al fine di trarre il massimo vantaggio in termini di rendimento, gli ugelli sono orientati se-

condo direzioni tangenziali o secanti rispetto alla superficie cilindrica esterna del *monitor*, e concordi con il senso di avanzamento del fluido, come indicato schematicamente nella figura 5. Il numero, la tipologia e l'inclinazione degli ugelli rispetto ad uno o più piani orizzontali (o perpendicolari all'asse longitudinale del *monitor*) potrà variare a seconda delle esigenze. Nella forma di realizzazione della figura 5, i getti di fluido in uscita dagli ugelli 11 sono orientati in sensi opposti lungo due rette fra loro parallele.

La capacità del *monitor* di mantenere uniti tutti i filetti fluidi fino all'ugello di uscita riduce drasticamente le turbolenze nella parte terminale; questo fattore, unitamente alla netta riduzione delle perdite di carico distribuite, contribuisce ad incrementare il rendimento del *monitor* rispetto a quelli tradizionali e di massimizzarne l'efficienza idraulica.

Ciascun ugello laterale 11 include un inserto 18 di materiale antiusura, il quale presenta un passaggio interno a forma di imbuto.

Nel caso di condotti elicoidali 13 a sezione poligonale, come quelli rettangolari dell'esempio della figura 4, i tratti terminali in prossimità

degli ugelli, i quali generalmente hanno sezione di forma circolare, comprendono un deflettore 25 (figure 6, 7 e 8), illustrato separatamente nelle figure 10A-C, che realizza un passaggio graduale dalla sezione poligonale a quella circolare, al fine di evitare perdite di carico localizzate. Gli elementi 25 generano una bocca d'ingresso poligonale ed un'uscita circolare. Tali elementi 25 possono vantaggiosamente essere costruiti in materiale antiusura come gli inserti 18 degli ugelli, dato che la velocità del fluido in questo tratto è comunque elevata, e quindi l'azione erosiva è più marcata. Nell'esempio illustrato nella figura 8 i deflettori 25 sono fissati per saldatura sulla struttura 15b. In alternativa, l'intero *monitor* può essere ricavato da una operazione di fusione di precisione o elettroerosione o con processi similari e pertanto gli elementi 25 possono formare un pezzo unico con le superfici elicoidali. Anche nei punti di ingresso degli elementi di raccordo 25, il semiangolo δ è compreso tra 5° - 15° .

Con 24 sono indicati elementi di tenuta che impediscono il trafilamento tra il condotto elicoidale e l'uscita dell'ugello. Infatti, a causa dell'altissima pressione, il getto di iniezione non

rimarrebbe confinato all'interno del condotto qualora ci fosse una semplice battuta o riscontro meccanico. Stessa cosa succede tra il corpo elicoidale interno 17 quando inserito dentro il manicotto 12. In questo caso non sono inseriti elementi di tenuta tra il bordo cilindrico 14c congiungente due superfici elicoidali (superiore 14a ed inferiore 14b) ed il flusso di materiale di iniezione potrebbe trafilare da un passo di spira superiore a quello inferiore (questo capiterebbe comunque solo durante la fase di inizio pompaggio, quando il monitor non è completamente riempito e adeguatamente in pressione). In questa forma esecutiva assemblata invece, occorre garantire la tenuta tra il corpo elicoidale interno 17 e la cavità interna 15b del manicotto 12. Per questa ragione superiormente agli ugelli e inferiormente agli stessi sono state inserite almeno una coppia di guarnizioni 26 che garantiscono la tenuta del fluido all'interno del condotto. In assenza di questi il materiale iniettato potrebbe trafilare e uscire lambendo la superficie 15b con conseguenti problemi di perdita di liquido e di pressione e inefficienze sulla capacità erosiva finale del getto.

Inoltre, come si può osservare meglio dalla fi-

gura 7, a causa dello spessore dell'inserto 18, realizzato anch'esso in materiale antiusura e sostituibile, è conveniente raccordare la superficie laterale radialmente più esterna del condotto 13 con l'imbocco del passaggio rastremato ricavato nell'inserto 18. In altri termini, occorre raccordare la superficie cilindrica interna 15b del manicotto 12 con l'ingresso dell'inserto 18. Il deflettore 25 è in grado di deviare progressivamente la corrente fluida dalla zona periferica, in adiacenza alla superficie 15b, verso una zona leggermente più centrale, sostanzialmente secondo la direzione di una corda passante per l'asse dell'ugello. Il deflettore 25 presenta una superficie cilindrica esterna 25b atta a contattare la superficie 15b del manicotto 12, ed una superficie arcuata interna 25a che serve a deflettere la corrente. Il deflettore aumenta gradualmente di spessore, in modo tale per cui la superficie arcuata interna 25a parte da un'estremità sottile 25c, collocata in una zona più a monte del condotto 13, e termina all'estremità più spessa 25d situata più a valle, all'imbocco dell'inserto 18. I bordi del deflettore possono presentare smussi 25e per la saldatura alla superficie 15b. I deflettori 25 sono convenientemente

fatti di materiali antiusura, ad esempio di Widia o carburo di tungsteno, o materiali sinterizzati, o altri ancora.

Le figure 11 e 12 riportano gli sviluppi, in un piano verticale, delle sezioni verticali di due esempi di condotti elicoidali 13; con m è indicata la linea mediana di un condotto elicoidale 13. In ascissa sono riportati i valori degli angoli misurati nel piano orizzontale a partire dal valore angolare zero che si riferisce ad un piano verticale passante per l'asse centrale Z del *monitor* e per il punto inferiore dove il condotto elicoidale 13 termina nell'inserito 18.

Si intende che l'invenzione non è limitata alle forme di realizzazione qui descritte ed illustrate, che sono da considerarsi come un esempio di attuazione del *monitor*; l'invenzione è invece suscettibile di modifiche relative a forma e disposizioni di parti, dettagli costruttivi e di funzionamento. Ad esempio, nel tratto terminale di ciascun condotto elicoidale possono trovarsi uno o più ugelli, situati alla stessa quota o a quote diverse. Inoltre, per applicazioni con getti bifluido (per es. aria - boiaccia o acqua - boiaccia), è prevista un'intercapedine esterna in grado di alimentare

l'aria (o l'acqua) alla sezione di uscita degli ugelli come è attualmente in uso con i *monitor* tradizionali. Inoltre tali condotti dedicati possono venire utilizzati per inserire al loro interno delle strumentazioni o cavi dedicati al passaggio informazioni (trasmissione dati) dall'utensile all'esterno e viceversa. Infine, si potranno comporre due o più *monitor* di questo tipo (un *monitor* monofluido e un *monitor* bifluido) per eseguire trattamenti jet grouting di tipo trifluido.

Sulla forma del condotto elicoidale si è già detto che essa dipende dalle modalità costruttive e queste tecniche sono più o meno convenienti a seconda dei numeri di *monitor* prodotti. Così si potrebbe passare dalla forma descritta che è realizzata di pezzo con una sezione trasversale a carattere prevalentemente poligonale, per pochi pezzi, ad una forma ottenuta di fusione o elettroerosione, nella quale il condotto potrebbe essere realizzato molto più vicino alla forma teorica ottimale, con ampie raccordature in ingresso e uscita del *monitor*.

RIVENDICAZIONI

1. Testa di iniezione (10) per iniettare miscele consolidanti fluide pressurizzate in un terreno al fine di formare porzioni di terreno consolidate, dove la testa include:

- un corpo cilindrico esterno (12) definente un asse longitudinale centrale (Z),
- almeno un ingresso superiore (16) per ricevere fluidi da una batteria di aste tubolari montabile superiormente alla testa,
- almeno un ugello laterale di uscita (11) giacente in un piano sostanzialmente perpendicolare all'asse longitudinale (Z),
- almeno un condotto elicoidale (13) che presenta una linea mediana elicoidale (m) e che collega l'ingresso superiore (16) all'ugello (11), così da impartire al fluido che lo percorre un moto elicoidale attorno all'asse longitudinale (Z) verso l'ugello (11);

caratterizzata dal fatto che il condotto elicoidale (13) è progressivamente rastremato verso l'ugello (11) e comprende un tratto di condotto terminale che è raccordato all'ugello in modo rastremato, sia quando visto in piani di sezione (P) paralleli all'asse longitudinale (Z) e tangenti al-

la linea mediana elicoidale, e sia quando visto in piani di sezione perpendicolari all'asse (Z).

2. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che il condotto elicoidale (13) è raccordato all'ingresso superiore (16) in modo tale per cui in tale zona di raccordo l'asse longitudinale (Z) forma un angolo acuto minore o uguale a 30° con una retta tangente alla linea elicoidale mediana (m) del condotto (13).

3. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzata dal fatto che:

a) il raggio (r) dell'elica è sostanzialmente costante o aumenta linearmente o diminuisce linearmente dall'ingresso (16) verso l'ugello (11) di uscita;

b) il passo dell'elica o l'angolo (α) di inclinazione dell'elica decresce in modo costante dall'ingresso (16) verso l'ugello (11) di uscita; e

c) l'area della sezione del condotto (13) ortogonale alla linea mediana (m) decresce linearmente dall'ingresso (16) verso l'ugello (11) di uscita.

4. Testa di iniezione secondo una qualunque delle rivendicazioni da 1 a 3, caratterizzata dal fatto che l'angolo (α) di inclinazione dell'elica

all'ingresso (16) è compreso tra circa 60° e circa 90° , ed è preferibilmente di circa 70° .

5. Testa di iniezione secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che il semiangolo (δ) di rastremazione del condotto elicoidale (13) è compreso tra circa 5° e circa 15° .

6. Testa di iniezione secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detto almeno un condotto elicoidale (13) è delimitato:

- internamente o verso l'asse longitudinale (Z) da una superficie cilindrica (20) di un nucleo tubolare centrale (19) avente una cavità assiale centrale (21) per il passaggio di un fluido, ed
- esternamente o perifericamente dalla superficie cilindrica interna (15b) del corpo esterno (12) nel quale è fissato un corpo rigido (17) che forma almeno una scanalatura elicoidale avente una coppia di superfici ad elicoide affacciate, una superiore (14a) ed una inferiore (14b).

7. Testa di iniezione secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che:

- il condotto elicoidale (13) ha sezione trasver-

sale di forma poligonale, in particolare rettangolare,

- il relativo ugello (11) ha sezione circolare, e che

- in detto tratto terminale, il condotto elicoidale (13) è raccordato all'ugello (11) tramite almeno un deflettore (25) definente un ingresso poligonale di forma congruente a quello della sezione del condotto (13) nel punto di raccordo, un'uscita circolare congruente a quella dell'ugello (11) ed un tratto intermedio di passaggio graduale dalla sezione poligonale a quella circolare.

8. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che nel condotto elicoidale (13), immediatamente a monte dell'ugello (11), è fissato o formato un deflettore (25) avente una superficie arcuata (25a), rivolta verso l'interno del condotto, atta a deviare progressivamente la corrente fluida dalla zona periferica, in adiacenza alla superficie laterale periferica (15b) del condotto (13) fino ad una zona più centrale, dove l'estremità della superficie arcuata (25a) situata più a valle si raccorda uniformemente all'imbocco dell'ugello (11).

9. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 7

o 8, caratterizzata dal fatto che il deflettore (25) è in materiale antiusura, ad esempio di Widia o carburo di tungsteno, o di materiali sinterizzati.

10. Testa di iniezione secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che la forma ad elicoide di ciascun condotto (13) è determinata da coppie di superfici ad elicoide affacciate, una superiore (14a) ed una inferiore (14b), formate entrambe da un corpo elicoidale rigido (17) vincolato in una cavità cilindrica interna (15b) di un manicotto costituente il corpo cilindrico esterno (12).

11. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 10, caratterizzata dal fatto che comprende mezzi di tenuta (26) interposti tra il corpo elicoidale interno (17) e la superficie interna (15b) del manicotto (12).

12. Testa di iniezione secondo la rivendicazione 10 o 11, caratterizzata dal fatto che il deflettore (25) è costituito da un elemento rigido arcuato fissato nel condotto elicoidale (13), ed avente una superficie cilindrica esterna (25b) che contatta la superficie cilindrica interna (15b) del manicotto (12), e che il deflettore aumenta gradualmente di

spessore, in modo tale per cui la superficie arcuata interna (25a) parte da un'estremità più sottile (25c), collocata in una zona più a monte del condotto (13), e termina con un'estremità più spessa (25d) situata più a valle, all'imbocco dell'ugello (11).

CLAIMS

1. A head (10) for injecting consolidating pressurised fluid mixtures into the ground in order to form consolidated soil portions, the head including:

- an outer cylindrical body (12) defining a central, longitudinal axis (Z),
- at least one upper inlet (16) for receiving fluids from a string of tubular rods mountable above the head,
- at least one output side nozzle (11) lying in a plane substantially perpendicular to the longitudinal axis (Z),
- at least one helical duct (13), defining a helical central line (m), the duct (13) connecting the upper inlet (16) to the nozzle (11) so as to impart the fluid a helical motion about the longitudinal axis (Z) towards the nozzle (11);

characterised in that the helical duct (13) is progressively tapered towards the nozzle (11) and includes a terminal length of the duct which is radiused to the nozzle in a tapered manner, both when viewed in cross-sectional planes (P) parallel to the longitudinal axis (Z) and tangent to the helical central line (m), as well as when viewed in

cross-sectional planes perpendicular to the axis (Z).

2. An injection head according to claim 1, characterised in that the helical duct (13) is radiused to the upper inlet (16) in such manner that at that radiused zone the longitudinal axis (Z) forms an acute angle not exceeding 30° with a straight line tangent to the central helical line (m) of the duct (13).

3. An injection head according to claim 1 or 2, characterised in that:

a) the radius (r) of the helix is substantially constant or increases linearly or decreases linearly from the inlet (16) to the output nozzle (11);

b) the helical pitch or the helix angle (α) decreases constantly from the inlet (16) to the outlet nozzle (11); and

c) the area of the cross sections of the duct perpendicular to the central line (m) decrease linearly from the inlet (16) to the outlet nozzle (11).

4. An injection head according to any one of claims 1 to 3, characterised in that the helix angle (α) at the inlet (16) ranges between about 60° and about 90° , and is preferably about 70° .

5. An injection head according to any one of the preceding claims, characterised in that the half-angle (δ) by which the helical duct (13) is tapered is comprised between about 5° and about 15° .

6. An injection head according to any one of the preceding claims, characterised in that said at least one helical duct (13) is delimited:

- internally or towards the longitudinal axis (Z), by a cylindrical surface (20) of a central tubular core (19) having an axial central cavity (21) for the passage of a fluid, and
- externally or peripherally, by the internal cylindrical surface (15b) of the outer cylindrical body (12) in which there is fixed a rigid body (17) forming at least one helical channel providing a pair of helicoidal facing surfaces, of which an upper one (14a) and a lower one (14b).

7. An injection head according to any one of the preceding claims, characterised in that:

- the helical duct (13) has a transverse cross-section of polygonal shape, particularly rectangular,
- the relevant nozzle (11) has a circular cross-section, and that
- in said terminal length, the helical duct (13)

is radiused to the nozzle (11) by at least one deflector (25), the deflector defining

a polygonal inlet having a shape congruent to that of the cross-section of the duct (13) in that radiused point,

a circular outlet congruent to that of the nozzle (11) and

an intermediate length passing gradually from the polygonal cross-section to the circular cross-section.

8. An injection head according to claim 7, characterised in that within the helical duct (13), immediately upstream of the nozzle (11), there is fixed or formed a deflector (25) having an arched surface (25a) facing the inside of the duct and suitable for deviating progressively the fluid flow peripherally, adjacent to the peripheral outer side surface (15b) of the duct (13) up to a more central zone, where the end of the arched surface (25a) located downstream is radiused uniformly to the inlet of the nozzle (11).

9. An injection head according to claim 7 or 8, characterised in that the deflector (25) is made of a wear-resistant material, for example Widia or tungsten carbide, or sintered materials.

10. An injection head according to any one of the preceding claims, characterised in that the helical shape of each duct (13) is defined by a pair of facing helical surfaces, which include an upper (14a) one and a lower (14b) one, both formed by a rigid helical body (17) secured within an internal cylindrical cavity (15b) of a sleeve constituting the outer cylindrical body (12).

11. An injection head according to claim 10, characterised by comprising sealing means (26) interposed between the inner helical body (17) and the inner surface (15b) of the sleeve (12).

12. An injection head according to claim 10 or 11, characterised in that the deflector consists of at least one rigid arched element (25) fixed within the helical duct (13), and having an outer cylindrical surface (25b) contacting the inner cylindrical surface (15b) of the sleeve (12), and that the deflector (25) gradually increases in thickness, in such manner that the arched inner surface (25a) starts from a thinner end portion (25c), located upstream in the duct (13), and terminates with a thicker end portion (25d) located more downstream, at the inlet of the nozzle (11).

FIG.1

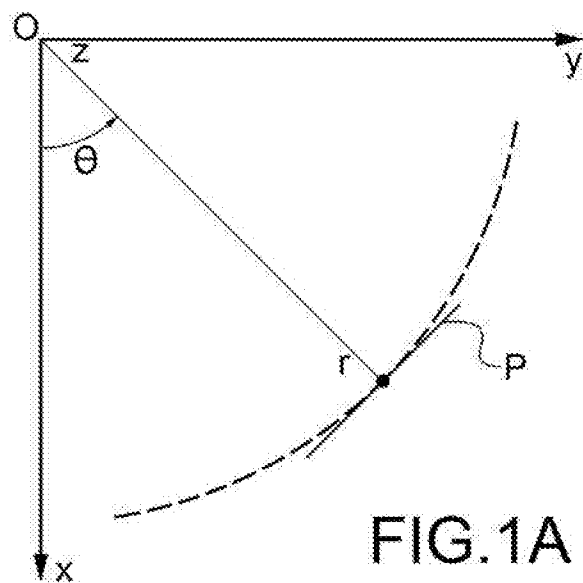
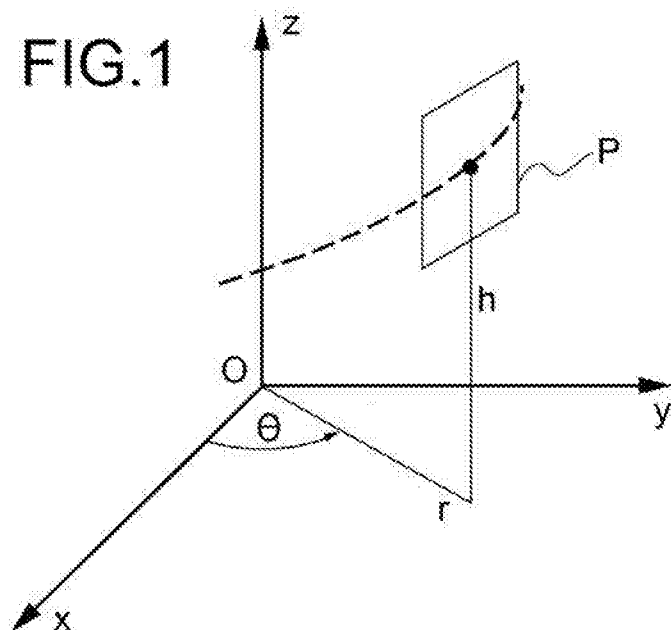


FIG.1A

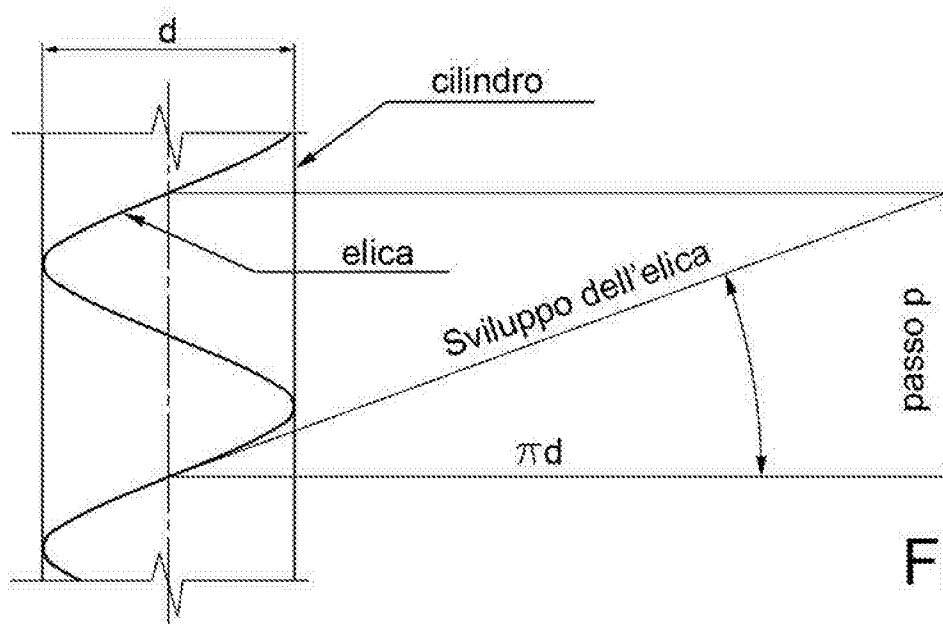


FIG.2

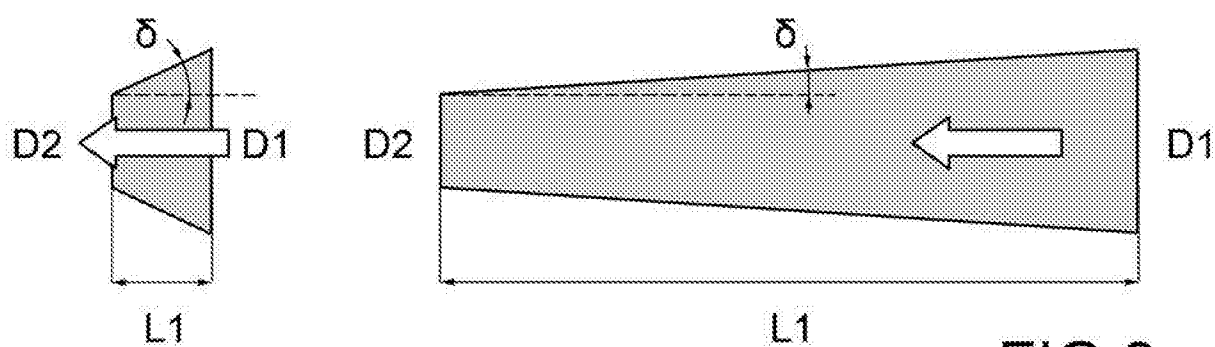


FIG.3

2/7

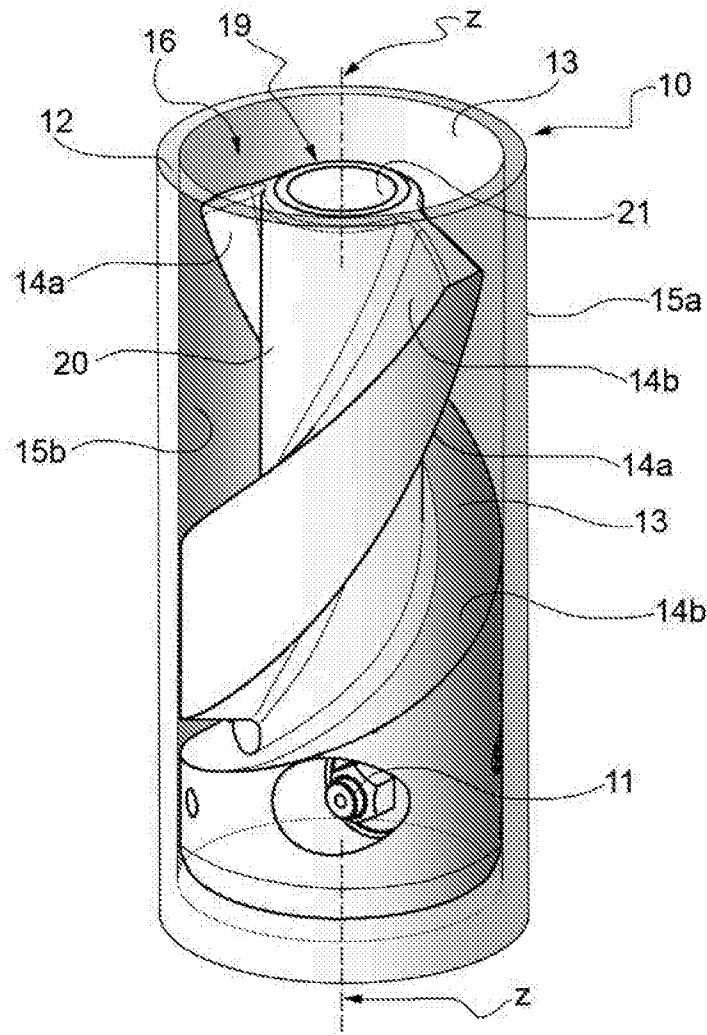


FIG. 4

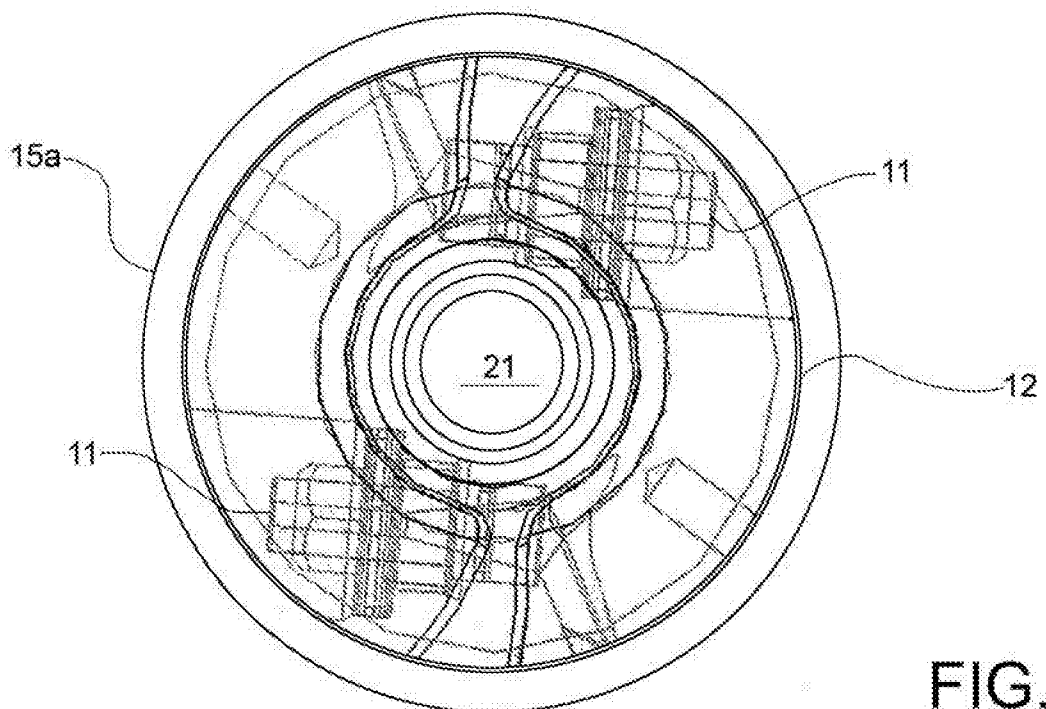


FIG. 5

FIG.6

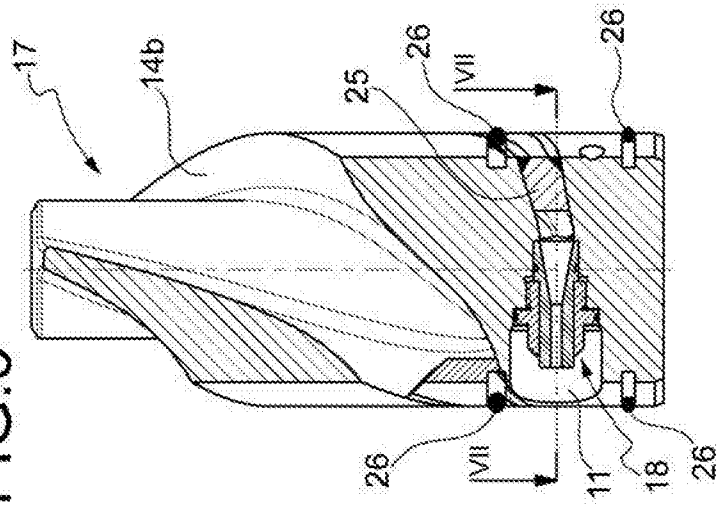


FIG.8

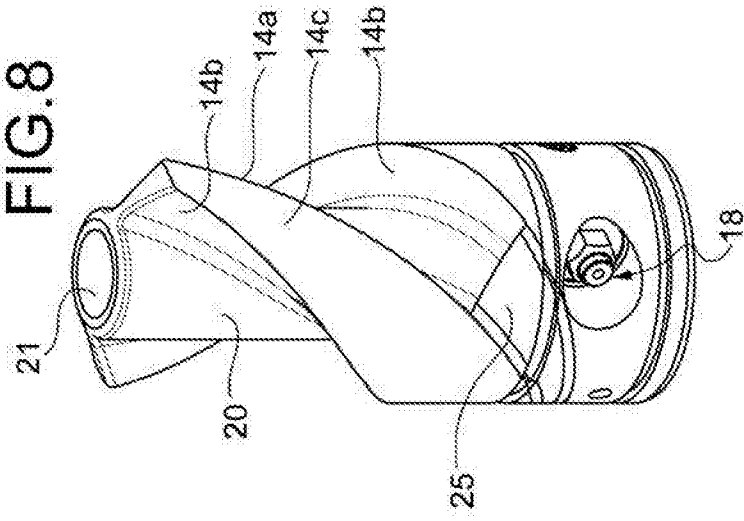


FIG.10A

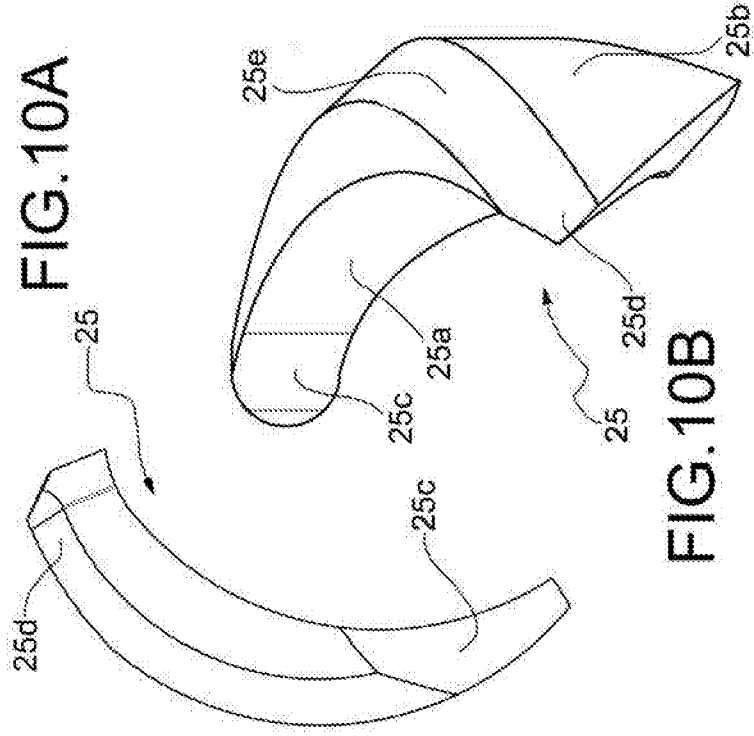


FIG.10B

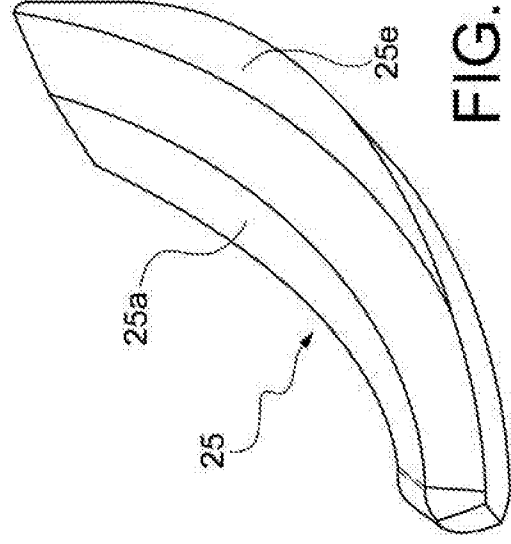


FIG.10C

FIG.9

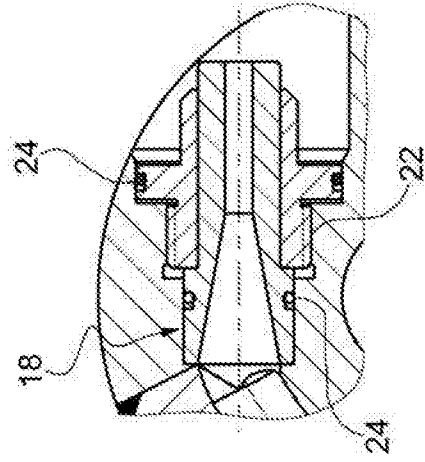
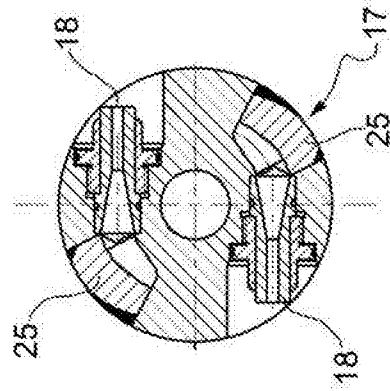


FIG.7



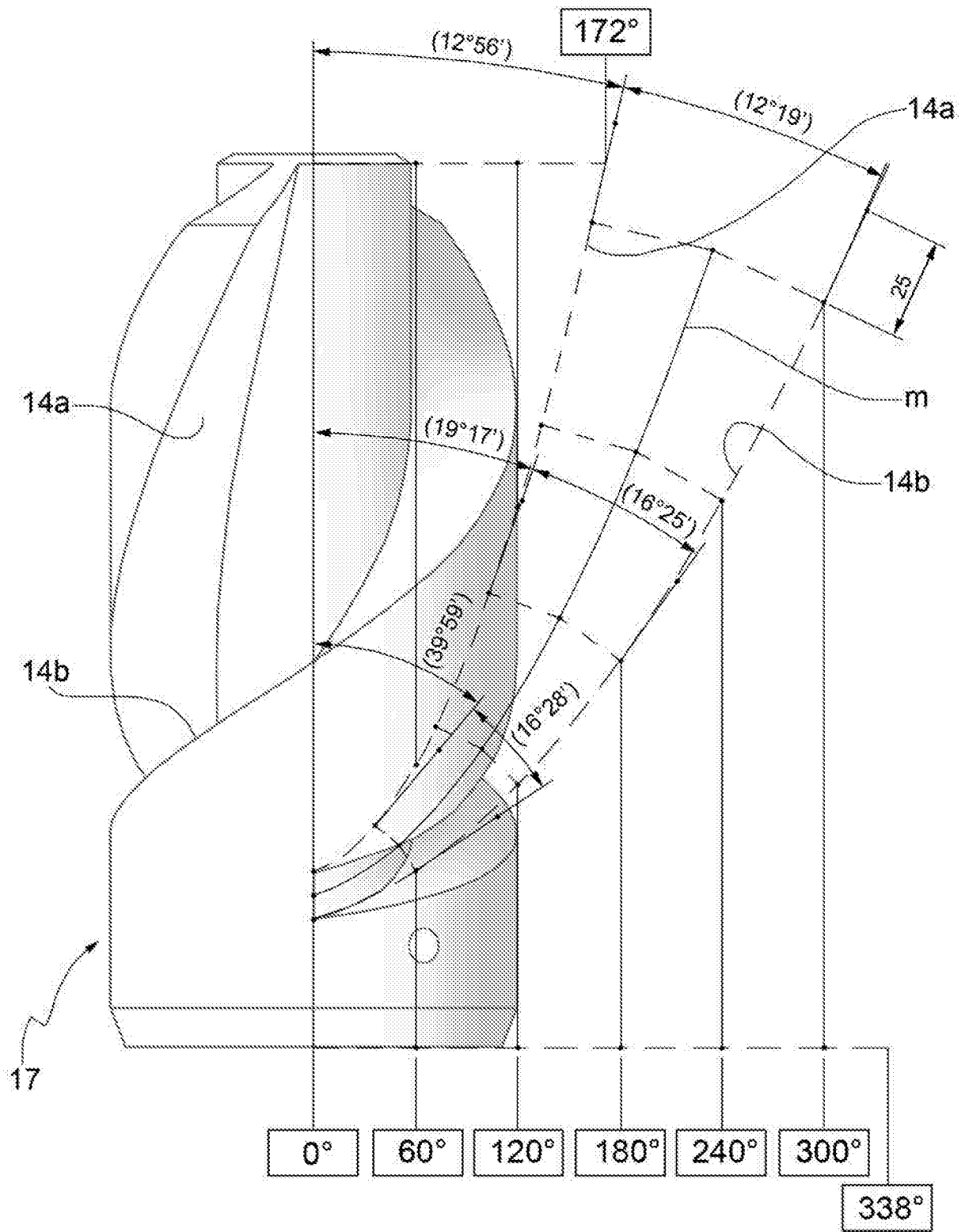


FIG.11

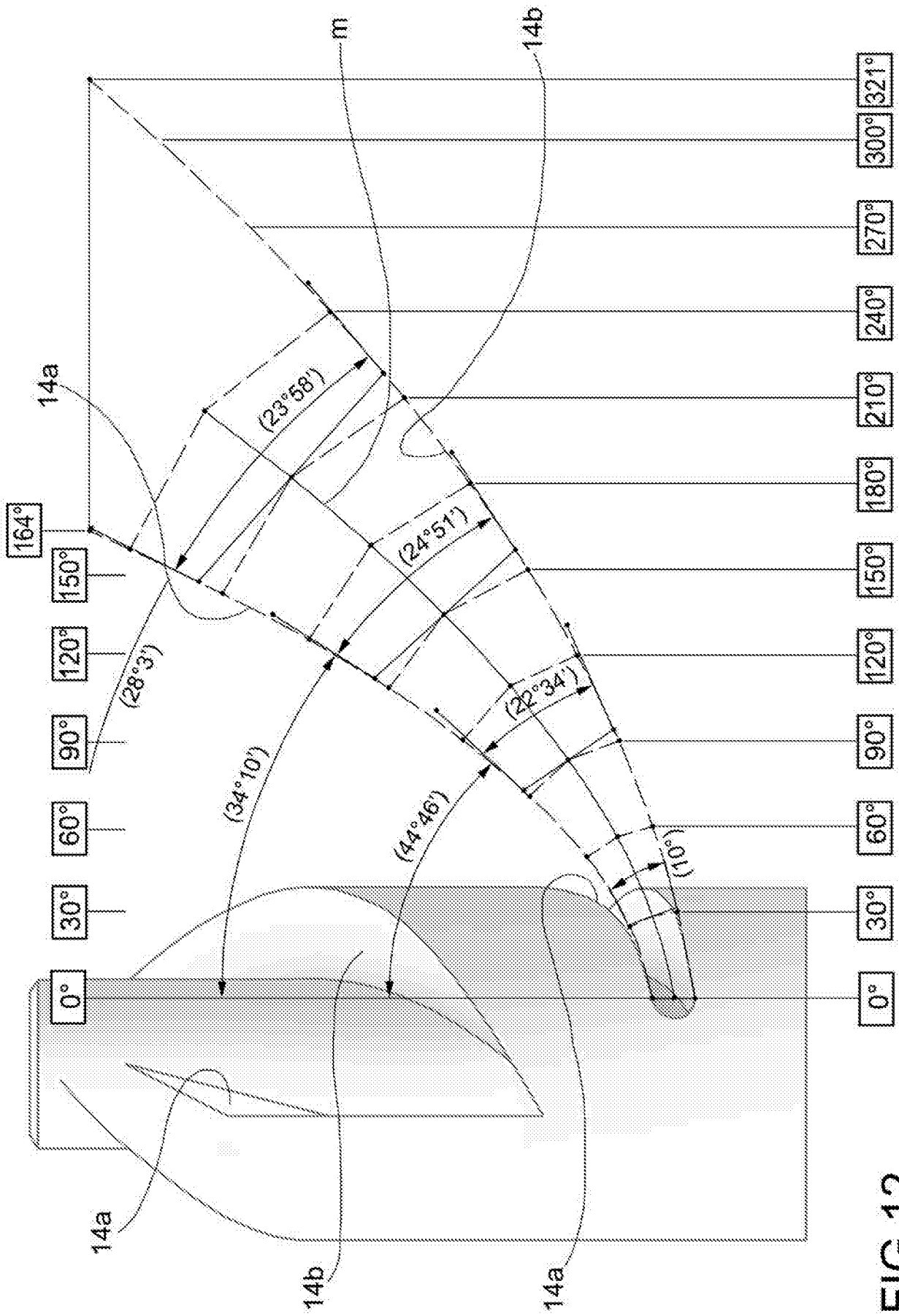


FIG. 12

6/7

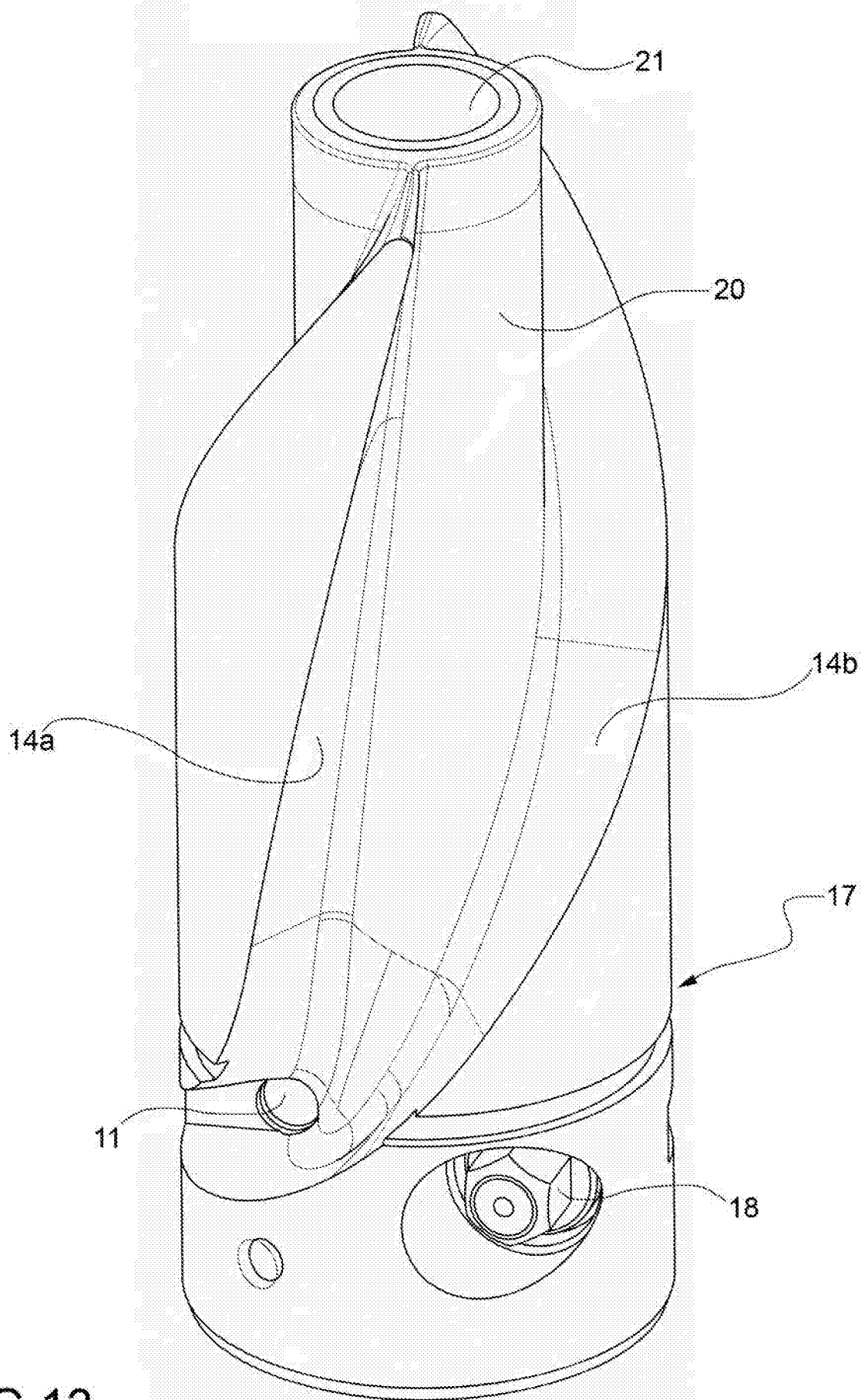


FIG.13

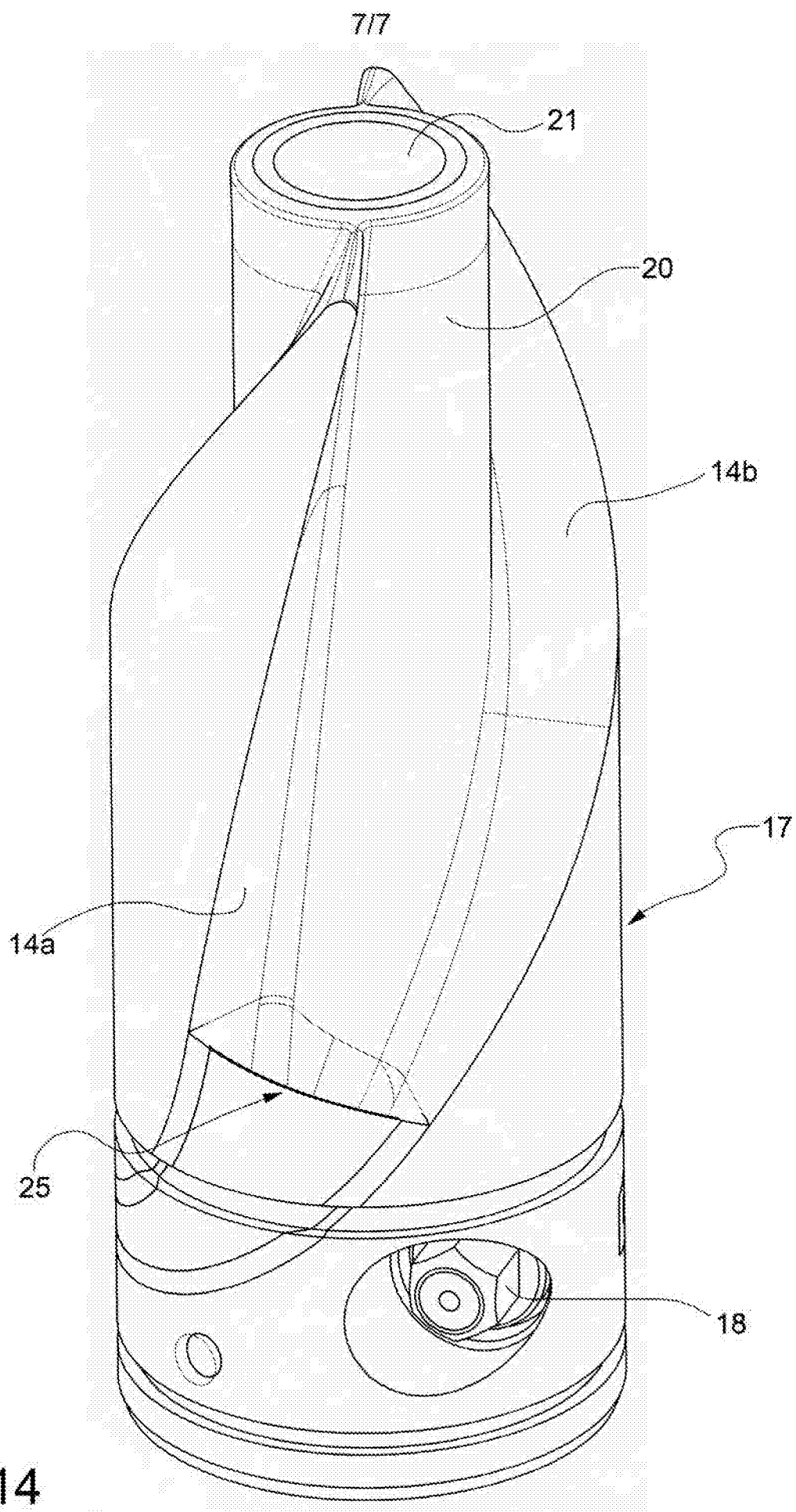


FIG.14