



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102011901989844
Data Deposito	24/10/2011
Data Pubblicazione	24/04/2013

Classifiche IPC

Titolo

ARCHITETTURA DI ROBOT ARTICOLATO PER USO MEDICO.

**Titolo:** “Architettura di robot articolato per uso medico.”

La presente invenzione si riferisce ad un’architettura di robot articolato per uso medico.

Negli ultimi decenni la robotica ha consentito di sviluppare strumenti di dimensioni sempre più ridotte che trovano impiego in campo medico ed in particolare nella chirurgia robotica mini-invasiva (MIRS).

I robot sviluppati presentano caratteristiche funzionali non ottenibili con strumenti puramente manuali. In tecniche chirurgiche tradizionali, quali ad esempio la chirurgia laparoscopica, i tessuti del paziente sono trattati utilizzando strumenti che vengono inseriti attraverso piccole incisioni sull'addome. Gli strumenti hanno generalmente una traslazione e tre rotazioni intorno al punto di incisione più mobilità aggiuntive per orientare lo strumento. La visione del campo operatorio è ottenuta con ulteriori strumenti dedicati quali gli endoscopi.

In tecniche di intervento alternative, quali la chirurgia transluminale endoscopica NOTES (acronimo inglese di Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery), gli strumenti accedono attraverso orifizi naturali del paziente alla cavità peritoneale ed attraverso opportune incisioni ai tessuti di organi cavi interni. In tal modo, l'intervento chirurgico è reso ancora meno invasivo per il paziente.

Queste tecniche chirurgiche NOTES comportano notevoli vantaggi. Da un lato il paziente presenta un minore dolore e l'assenza di cicatrici visibili, dall'altro lo strumento attraversa pareti sottili di organi interni con minore resistenza alla deformazione, l'incisione può essere vicina alla regione da trattare e la parte dello strumento all'interno della cavità è ridotta.

Tutte le tecniche chirurgiche richiedono strumenti con elevati gradi di libertà per affrontare e risolvere il fenomeno della parallasse. Inoltre, si ha l'esigenza di strumenti chirurgici ad elevata mobilità per consentire di impiegare tecniche

chirurgiche di tipo NOTES per tipologie di interventi chirurgici oggi non disponibili.

Robot articolati risolvono in parte tali esigenze comprendendo generalmente bracci meccanici, dotati di telecamera ad alta risoluzione e microstrumenti chirurgici opportunamente controllati mediante sistemi di controllo computerizzati.

- 5        Il chirurgo invece di manipolare direttamente lo strumento, utilizza interfacce aptiche per interagire con manipolatori che attuano i microstrumenti. Il sistema di controllo riceve i comandi dalle interfacce aptiche, controlla i manipolatori, acquisisce ed elabora i dati e fornisce al chirurgo informazioni sull'operazione in corso.
- 10      Un robot manipolatore noto è il sistema “Da Vinci” che comprende una console chirurgica, un carrello sul lato paziente con bracci meccanici associati a strumenti quali ad esempio quelli noti con il nome di polsi ruotanti o “EndoWrist”, dotati di due gradi di libertà. In particolare, i polsi opportunamente guidati da tendini, possono ruotare attorno all'asse longitudinale del braccio meccanico ed 15 attorno ad un asse trasversale il quale è sostanzialmente perpendicolare all'asse longitudinale. I diametri degli strumenti variano tra 5mm e 8mm e le incisioni tra 10mm e 20mm.

Il robot manipolatore ha un ruolo significativo ma il potenziale e la prestazione chirurgica dipendono principalmente da mobilità, spazio di lavoro e 20 destrezza con cui il polso viene azionato quando situato all'interno del paziente.

Si sono sviluppati così architetture robotizzate modulari comprendenti bracci meccanici con più elementi collegati tra loro da giunti, opportunamente comandati dalla CPU nella console chirurgica esterna e con lo strumento associato all'estremità terminale. Il movimento del braccio meccanico, indicato dal chirurgo, è suddiviso in 25 micro-movimenti con un orientamento più preciso dello strumento nel punto di

lavoro.

Tali architetture robotizzate pur essendo più precise e permettendo una maggiore mobilità presentano alcuni inconvenienti. In particolare, i giunti del braccio meccanico guidati e controllati dalla CPU esterna sono movimentati attraverso la  
5 console esterna o con attuatori disposti in prossimità dei giunti i quali sono comandati dai sistemi di controllo esterni attraverso trasmissioni di segnali via cavo. Questo comporta dimensioni del braccio meccanico piuttosto notevoli in relazione all'ambiente chirurgico e agli strumenti richiesti nonché una complessità di gestione ed una perdita in rigidezza necessaria quest'ultima per esercitare le forze di  
10 interazione con i tessuti.

In vista dello stato della tecnica descritto, scopo della presente invenzione è quello di fornire una architettura di robot articolato per uso medico con una struttura del braccio tale da aumentare la mobilità e la rigidità del braccio meccanico stesso e di conseguire una movimentazione in sicurezza, aumentando nel contempo il livello  
15 di miniaturizzazione.

Un ulteriore scopo dell'invenzione è quello di fornire una architettura che consenta di pilotare in modo rapido e preciso ciascun modulo che compone il braccio meccanico, semplificando i sistemi di controllo esterni.

Un altro scopo dell'invenzione è quello di fornire una architettura schermata  
20 ai disturbi esterni.

In accordo con la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto mediante una architettura di robot articolato per uso medico realizzata secondo la rivendicazione 1.

Le caratteristiche ed i vantaggi della presente invenzione risulteranno evidenti  
25 dalla seguente descrizione dettagliata di una forma di realizzazione pratica, data a

titolo di esempio non limitativo con riferimento agli uniti disegni, nei quali:

- la figura 1 mostra in una vista schematica una architettura di robot realizzata secondo la presente invenzione,
- le figure 2 e 3 mostrano in rispettive viste prospettiche schematiche uno spezzone di un braccio snodato dell'architettura di robot di figura 1,
- 5 -la figura 4 mostra uno schema a blocchi di un micro-modulo attivo compreso nel braccio snodato dell'architettura di robot di figura 1,
- la figura 5 mostra in una vista schematica in prospettiva un micro-modulo attivo con alcune parti disegnati in trasparenza,
- 10 -le figure 6 e 7 mostrano in viste schematiche in prospettiva diverse porzioni dei mezzi di movimentazione associati al micro-modulo attivo di figura 5,
- la figura 8 mostra in una vista schematica in prospettiva una porzione del braccio di figura 2,
- 15 -la figura 9 mostra uno schema di un motore compreso nel micro-modulo attivo di figura 4,
- la figura 10 mostra uno schema di comunicazione tra un encoder ed il micro-processore compresi nel micro-modulo attivo di figura 4,
- la figura 11 mostra uno schema del ricetrasmettitore compreso nel micro-modulo illustrato in figura 4,
- 20 -la figura 12 mostra uno schema a blocchi del funzionamento dell'architettura secondo la presente invenzione,
- la figura 13 mostra uno schema a blocchi del funzionamento di un micro-modulo attivo realizzato secondo la presente invenzione,
- le figure 14 mostra una vista schematica di una variante dell'architettura di
- 25 robot realizzata secondo la presente invenzione,

-la figura 15 mostra una vista prospettica di un braccio snodato della variante di figura 14,

-la figura 16 mostra uno schema a blocchi di un ulteriore variante dell'architettura di robot realizzata secondo la presente invenzione.

5 Con riferimento alle figure indicate, con 1 è globalmente indicata una architettura 1 di robot articolato per uso medico realizzata secondo la presente invenzione.

L'architettura di robot 1 articolato comprende una unità centrale 2 a microprocessore, che pilota e controlla un braccio 3 snodato.

10 Il braccio 3 snodato comprende una serie di micro-moduli attivi 5 disposti in cascata tra loro in un numero variabile, ed associati con mezzi elettrici di connessione e mezzi meccanici di connessione.

I mezzi elettrici di connessione comprendono un sistema a bus che attraversa detto braccio 3 snodato e che è disposto internamente a ciascun micro-modulo attivo 15 5, come sarà più chiaro nel seguito della descrizione.

Il sistema a bus comprende un primo bus 4 di alimentazione elettrica ed un secondo bus 8 di comunicazione.

Il primo bus 4 di alimentazione consente di alimentare i singoli micro-moduli attivi 5 a partire da una fonte di energia elettrica posta ad un livello di tensione prefissato. Mentre, il secondo bus 8 di comunicazione permette di trasferire selettivi 20 segnali dati di pilotaggio tra l'unità centrale 2 a microprocessore e ciascuno di detti micro-moduli attivi 5.

I mezzi meccanici di connessione del braccio 3 snodato, comprendono nodi articolati 6 i quali sono interposti tra successivi micro-moduli attivi 5 e consentono di 25 movimentare in modo singolo ed indipendente ciascun micro-modulo 5 attivo della

serie.

I micro-moduli attivi 5 comprendono un corpo 11 sostanzialmente cilindrico con un asse che si sviluppa secondo una direzione X-X ed atto a definire al suo interno un volume di alloggiamento 19.

5 Il braccio 3 snodato, nella forma di realizzazione illustrata, presenta tre micro-modulo attivi 5, uguali tra loro. Ciascun micro-modulo attivo 5, nel volume di alloggiamento 19, comprende porzioni interne del primo bus 4 e del secondo bus 8, primi e secondi mezzi di movimentazione, 20 e 25, adatti a muovere il corpo 11 rispetto al proprio asse X-X, ed una unità logica locale 15 adatta a comandare e a  
10 controllare separatamente i primi e i secondi mezzi di movimentazione, 20 e 25.

In particolare, i primi mezzi di movimentazione 20 sono associati ad una estremità del corpo 11 e adatti a ruotare il micro-modulo attivo 5 attorno al proprio asse X-X. I secondi mezzi di movimentazione 25 sono associati all'estremità opposta e sono adatti a pilotare il nodo articolato 6 associato per una movimentazione  
15 cilindrica del micro-modulo attivo 5 attorno al nodo articolato 6 stesso.

I primi mezzi di movimentazione 20 ed i secondi mezzi di movimentazione 25 consentono a ciascun micro-modulo attivo 5 di esprimere due o tre gradi di libertà di movimento, a seconda delle forme di realizzazione, indipendenti tra loro che permettono di posizionare il micro-modulo attivo 5 secondo posizioni nello spazio X-  
20 Y-Z indipendenti ma correlate alla posizione del precedente micro-modulo attivo 5, facendo così assumere al braccio 3 snodato conformazioni curvilinee predefinite.

I mezzi elettrici di connessione, in corrispondenza dei nodi articolati 6, comprende porzioni di interconnessione 29 flessibili, di tipo elastico. Nell'esempio illustrato in figura 8, le porzioni di interconnessione 29 presentano una forma  
25 sostanzialmente a spirale aderenti alla superficie esterna del corpo 11 adatta a

garantire una continuità del sistema a bus posto internamente a ciascun micro-modulo attivo 5 della serie. Le porzioni di interconnessione 29 garantiscono il cinematismo relativo tra i micro-moduli attivi 5 successivi consentendo l'articolazione dei nodi articolati 6.

5 Ciascuna porzione di interconnessione 29 comprende le estremità associate esternamente al corpo 11 di due successivi micro-modulo attivi 5 della serie in corrispondenza di predisposte piazzole di interconnessioni 29a e 29b.

10 Ciascun micro-modulo attivo 5, come illustrato in figura 4, comprende un modulo elettronico atto ad integrare l'unità logica locale 15 associata ad un ricetrasmettitore 9. Il ricetrasmettitore 9 si interfaccia al secondo bus 8 e consente di leggere/trasferire segnali dati dalla/alla unità logica locale 15 all'unità centrale 2, attraverso segnali a bassa tensione del tipo LVDS.

15 L'unità logica locale 15 comprende un micro-processore master 16 ed un micro-processore slave 17, il quale è comandato dal micro-processore master 16. Il micro-processore master 16 ed un micro-processore slave 17, che in seguito indicheremo come micro-master 16 e micro-slave 17, sono adatti a comandare e a controllare contemporaneamente ma selettivamente i primi mezzi di movimentazione 20 ed i secondi mezzi di movimentazione 25.

20 I primi mezzi di movimentazione 20 comprendono un primo motore 21 adatto ad azionare e a pilotare opportunamente un primo giunto rotante 23 assiale.

Il primo giunto rotante 23 assiale è implementato tramite un sistema ad ingranaggi ed in particolare un rotismo epicicloidale il quale comprende una porzione fissa, solidale al bordo perimetrale dell'estremità del corpo 11, ed una porzione mobile che coopera con la porzione fissa a consentire la rotazione del corpo 25 11 cilindrico attorno all'asse X-X.

Un primo driver 22 di potenza interposto tra il primo motore 21 ed il micro-master 16 consente di amplificare il segnale PWM a bassa tensione in uscita dal micro-master 16.

Un primo encoder 24, di tipo rotativo, è accoppiato alla parte fissa del primo  
5 giunto rotante 23 ed è connesso al micro-master 16 per consentire un controllo retro-  
azionato della rotazione del corpo 11 nella direzione assiale X-X.

I secondi mezzi di movimentazione 25 comprendono un secondo motore 26  
che aziona e pilota opportunamente il nodo articolato 6 associato ad una estremità del  
micro-modulo attivo 5, in base a segnali ricevuti dal micro-slave 17 attraverso un  
10 secondo driver 27 di potenza.

Il nodo articolato 6, nell'esempio illustrato in figura 7, è sostanzialmente un  
secondo giunto rotante che ruota il corpo 11 del micro-modulo attivo 5 associato in una  
direzione Y-Y perpendicolare all'asse X-X.

Il secondo giunto 6 rotante comprende una piastra 61, adatta ad essere fissata  
15 ad una estremità del corpo 11 del micro-modulo attivo 5 precedente nella serie. La  
piastra 61 supporta una parte mobile 65 del secondo giunto 6. La parte mobile 65  
comprende un perno 64 girevole il quale è disposto nella direzione Y-Y ed è  
associato alla piastra 61 attraverso due rebbi 67. Il perno 64 è azionabile in rotazione  
da un organo girevole, ad esempio un cinematismo ad ingranaggi del tipo vite senza  
20 fine-ruota dentata.

L'organo girevole, nell'esempio illustrato in figura 7, comprende un pignone  
62 che si sviluppa nella direzione dell'asse X-X e che è inserito nell'alloggiamento  
66 del corpo 11, con una estremità sporgente la quale comprende una vite senza fine  
63. La vite senza fine 63 coopera con il perno 64 attraverso una ruota 66 dentata la  
25 quale è montata fissa sul perno 64 stesso.

Il corpo 11 comprende mezzi di aggancio 10 adatti a cooperare con il perno 64 del secondo giunto rotante 6 associato per consentire una rotazione del micro-modulo attivo 5 rispetto al perno 64.

In particolare, i mezzi di aggancio 10 comprendono due alette che 5 dall'estremità del corpo 11 si sviluppano radicalmente parallele tra loro nella direzione assiale X-X con le estremità associate al perno 64 trasversale.

Il secondo motore 26 azionando la vite senza fine 63 attraverso il pignone 62 consente una rotazione controllata della ruota 66 e del corpo 11 attorno al perno 64. In altri termini, il secondo motore 26 consente di generare un movimento di flessione 10 del corpo 11 del micro-modulo 5 attivo associato rispetto al micro-modulo 5 attivo precedente della serie. Opportunamente, il cinematismo del secondo giunto 6 vite-ruota permette di generare un meccanismo di blocco del movimento, infatti, il cinematismo vite-ruota ha il vantaggio di avere una sola direzione di rotazione che è positiva nel verso di rotazione del secondo motore 26, mentre la direzione opposta è impedita al 15 movimento.

Un secondo encoder 28 di tipo rotativo è accoppiato al secondo giunto 6 rotante ed è connesso al micro-slave 17 per consentire un controllo retro-azionato della rotazione del corpo 11 attorno al perno 64 nella direzione Y-Y.

Vantaggiosamente, un sensore 30 di forza è connesso al micro-slave 17 per la 20 misura dell'interazione meccanica tra il micro-modulo attivo 5 e l'ambiente esterno ed è posizionato trasversalmente rispetto ad una asta posizionata nella direzione dell'asse X-X internamente al corpo 11 tra le due estremità in modo tale da rilevare con estrema precisione le forze assiali agenti sul corpo 11.

Il sensore 30 rileva un valore proporzionale al valore della forza esercitata da 25 ciascun micro-modulo attivo 5 sui tessuti o la forza di perforazione di ciascun micro-

modulo attivo 5 durante l'inserimento di aghi.

Il sensore 30 è preferibilmente del tipo basato su trasduzione a strain-gauges e produce un segnale di uscita analogico o digitale che, opportunamente condizionato, in particolare amplificato da un modulo elettronico intermedio non rappresentato, 5 viene rilevato dal micro-slave 17 ed elaborato dallo stesso e/o dal micro-master 16.

Ciascun micro-modulo attivo 5 comprende inoltre un regolatore di tensione 35 che si interfaccia tra il primo bus 4 e ciascun componente del modulo elettronico 13 consentendo di adeguare il livello della tensione a partire dal livello di tensione prefissato.

10 Preferibilmente, il micro-modulo attivo 5 ha una struttura miniaturizzata con il corpo 11 cilindrico avente un diametro compreso tra (4-10)mm ed una lunghezza compresa tra (2-4)cm. Il primo motore 21 ed il secondo motore 26 sono del tipo brushless trifase, senza encoder, ed il primo driver 22 di potenza ed il secondo driver 27 di potenza forniscono una adeguata corrente di azionamento al primo motore 21 e 15 al secondo motore 26. Attraverso l'impiego di motori trifase, con correnti sfasate tra loro di 120°, è possibile far ruotare il motore in un verso o nell'altro variando il segnale alle tre fasi, ad esempio scambiando tra loro due fasi.

In una logica di miniaturizzazione, quale nella presente invenzione, i motori 20 di tipo brushless indicati consentono di avere dimensioni di ingombro ridotte, un aumento della precisione ed una riduzione della dissipazione di potenza rispetto ai classici motori a corrente continua, tuttavia altri tipo di motori potrebbero essere impiegati. Il primo encoder 24 ed il secondo encoder 28 sono del tipo magnetico ad effetto Hall permettendo di fornire al rispettivo micro-master 16 e micro-slave 17 informazioni riguardo alla rotazione dell'albero rispettivamente del primo motore 21 25 e del secondo motore 26.

Il primo encoder 24 verifica l'effettiva posizione angolare del primo giunto rotante 23 assiale che viene registrata dal micro-master 16. Attraverso un sistema di controllo ad anello chiuso, il micro-master 16 compara il valore nominale dell'angolo di rotazione richiesto con l'effettiva posizione inviata dal primo encoder 5 24 e se una differenza è rilevata un corrispondente comando viene generato dal micro-master 16 verso il primo motore 21 per minimizzare tale differenza. Il sistema di controllo in retroazione consente di evitare di fatto un cambiamento della posizione del primo giunto rotante 23 attraverso sollecitazioni esterne. Analogamente, il micro-slave 17, il secondo motore 26 ed il secondo encoder 28 10 definiscono un sistema di controllo ad anello chiuso per il secondo giunto 6.

Oppportunamente, il micro-master 16 ed il micro-slave 17 sono micro-controllori che possono generare segnali con modulazione a larghezza d'impulso PWM (Pulse Width Modulation) del tipo trifase sincronizzati per la tipologia di motori da pilotare. Secondo una forma di realizzazione, ciascun motore presenta sei pin totali, due 15 pin per controllare ogni singola fase, ossia un pin PWMH (PWM high) e un pin PWML (PWM low). Attraverso i valori forniti rispettivamente dal primo encoder 24 e dal secondo encoder 28 e mediante controllo PID, il micro-master 16 ed il micro-slave 17 effettuano le opportune correzioni o le rotazioni volute, modificando la rotazione dell'albero del motore associato in un verso o nell'altro.

20 Opportunamente, la comunicazione tra il micro-master 16 o micro-slave 17 e il rispettivo primo e secondo encoder 24 e 28 è di tipo sincrona ed uno schema di connessione è illustrato in figura 10. Lo schema visualizza quattro linee di comunicazione compresa una linea di clock SCK per la sincronizzazione, una linea SS che serve per attivare rispettivamente il primo encoder 24 o il secondo encoder 25 28 ed è una linea active low, il cui valore viene posto "basso" quando il micro vuole

attivare l'encoder associato. Inoltre, una linea di input MISO è una linea in cui il micro chiede all'encoder associato di inviare il valore dell'angolo rilevato, valore che viene fornito su una linea di output MOSI.

In una forma di realizzazione, il primo driver 22 ed il secondo driver 5 27 comprendono componenti attivi, ad esempio transistori Mosfet, connessi in una configurazione a ponte che vengono opportunamente attivati in modo alternato a seconda del verso di rotazione del motore e della fase da attivare.

Il secondo bus 8 è opportunamente del tipo CAN-Bus (Controller Area Network Bus) basato su protocollo CAN che consente una comunicazione seriale con 10 segnale differenziale, segnale alto (CANH) e segnale basso (CANL), e a basso voltaggio (LVDS), a velocità elevata fino a 1Mbit/sec e presenta una soglia al rumore piuttosto alta sia alle vibrazioni che ai disturbi elettromagnetici dell'ambiente circostante.

I segnali dati del bus CAN 8 sono segnali definiti tramite un protocollo 15 specifico di codifica e di decodifica CAN, ad accesso multiplo con rilevamento del segnale portante associato a ciascuno dei segnali dati, tale protocollo essendo noto anche con l'acronimo inglese CSMA/CA (Carrier Sens Multiple Access/Collision Avoidance) comprende un sistema di arbitraggio cosiddetto “bit-wise”. In particolare, ai due valori possibili dei bit posti sul segnale portante si dà 20 l'interpretazione di “dominante” e “recessivo” e quando un primo micro-modulo 5 invia al bus CAN 8 un segnale dati con un segnale portante recessivo ed un secondo micro-modulo 5 invia al bus CAN un segnale dati con un segnale portante dominante, il primo micro-modulo 5 con il segnale portante recessivo deve ritirarsi e diventa automaticamente stazione ricevente e non ritenta trasmissioni fino a quando 25 il bus CAN 8 non è di nuovo libero.

I segnali dati di pilotaggio inviati dall'unità centrale 2 attraverso il bus CAN 8 presentano quindi un segnale identificatore adatto a definire il micro-modulo attivo 5 da indirizzare nella comunicazione ed almeno un segnale portante in cui viene inserita la priorità di tale segnale.

5 Una implementazione del ricetrasmettitore 9 di ciascun micro-modulo attivo 5 è illustrata in figura 11 e permette di interfacciare il bus CAN 8 con il micro-master 16, convertendo segnali a bassa tensione LVDS connessi ai pin 7 e 8, rispettivamente segnale alto CANH e segnale basso CANL, in segnali digitali I/O e viceversa tramite le linee di trasmissione e di ricezione di pacchetti di dati connesse ai pin 1 e 4.

10 Per quanto riguarda il funzionamento dell'architettura 1 di robot articolato, secondo la presente invenzione, il micro-master 16 attraverso un proprio firmware-master implementa le procedure necessarie per la gestione della comunicazione I/O con l'unità centrale 2 attraverso il ricetrasmettitore 9 ed il bus CAN 8 e con i primi mezzi di movimentazione 20. Analogamente, il micro-slave 17 attraverso un proprio 15 firmware-slave implementa le procedure necessarie per la gestione della comunicazione con i secondi mezzi di movimentazione 25 ed il sensore 30 di forza.

Inoltre, il micro-master 16 comanda e controlla il micro-slave 17 attraverso una comunicazione con interfaccia seriale del tipo SPI (Serial Peripheral Interface).

Il micro-master 16 ha una mappa di tutti i componenti del micro-modulo attivo 5 e delle relative relazioni di pertinenza ( $\mu$ C->motore,  $\mu$ C->sensore). Il funzionamento vero e proprio del micro-master 16 è dato da un ciclo continuo di operazioni specifiche, le quali sono governate da interrupt registrati o avviati attraverso una implementazione del firmware-master.

Sostanzialmente, secondo lo schema a blocchi di figura 12, all'attivazione 25 dell'architettura di robot 1 articolato, il modulo elettronico di ciascun micro-modulo

attivo 5 è alimentato da una fase di alimentazione 50 e verifica che i suoi componenti siano connessi ed attivi elettricamente. In caso positivo, si procede con la prima fase di attivazione 51 del modulo elettronico attraverso il micro-master 16 ed in particolare si inizializza il timer, le porte I/O associate, il modulo ECAN ed il 5 modulo PWM associati. Successivamente, si procede con la seconda fase di attivazione 52 attraverso il micro-slave 17 ed in particolare si inizializza il timer, le porte I/O associate, il modulo ECAN ed il modulo PWM associati.

Si procede quindi con una fase di diagnostica 53, in cui il micro-master 16 ed il micro-slave 17 eseguono un controllo dei primi mezzi di movimentazione 20 e dei 10 secondi mezzi di movimentazione 25, seguita da una fase di verifica 54 sul sensore 30 di forza attraverso il micro-slave 17.

Quindi, dopo una fase di sincronizzazione 55 tra il micro-master 16 ed il micro-slave 17 tramite SPI, si procede con una fase di abilitazione esterna 56, in cui il micro-master 16 abilita una procedura di interrupt di ricezione/trasmissione sul bus 15 CAN 8, ed una fase di abilitazione interna 57, in cui il micro-master 16 abilita la comunicazione con il micro-slave 17 tramite l'abilitazione dell'interrupt SPI. Si procede quindi con una fase continua di attesa 58 in cui il micro-master 16 ed il micro-slave 17 entrano in un ciclo continuo di operazioni specifiche fino alla ricezione di un segnale dati specifico per il micro-modulo attivo 5 dal bus CAM 8 e 20 quindi dall'unità centrale 2.

In particolare, nel ciclo continuo di operazioni specifiche, il micro-master 16 verifica periodicamente lo stato elettrico e fisico di tutti i componenti del micro-modulo attivo 5 ricevendo, in particolare, i segnali dal primo encoder 24 e quindi lo stato dei primi mezzi di movimentazione 20. Il micro-slave 17 analogamente verifica 25 periodicamente lo stato, elettrico e fisico, dei secondi mezzi di movimentazione 25 e

del sensore 30 di forza e comunica il risultato al micro-master 16.

Nel momento in cui il micro-master 16 riceve un segnale dati dal BUS CAM 8 si procede con la decodifica e con l'elaborazione del segnale dati ricevuto attraverso il ricetrasmettitore 9 ed attraverso il micro-master 16 che processa 5 ulteriormente tale segnale dati ricevuto.

Secondo lo schema a blocchi illustrato in figura 13, che rappresenta un esempio di attivazione dei secondi mezzi di movimentazione 25 di un micro-modulo attivo 5, si procede con una fase di trasmissione 70 in cui i segnali dati di pilotaggio vengono inviati dall'unità centrale 2 sul bus CAN 8. Successivamente, si procede 10 con una fase di analisi/ricezione 71 in cui il ricetrasmettitore di ciascun micro-modulo attivo 5 analizza attraverso il modulo CAN ciascun segnale dati di pilotaggio presente sul bus CAN 8 e quando identifica un proprio segnale dati di pilotaggio una procedura di interrupt è attivata attraverso il micro-master 16 relativamente al modulo CAN. Si procede quindi con una fase di interpretazione 72 in cui il micro- 15 master 16 estrae i comandi inseriti nel segnale dati di pilotaggio ricevuto.

Nell'esempio illustrato, il micro-master 16 riceve un segnale che richiede l'operazione di movimentare i secondi mezzi di movimentazione 25. Il micro-master 16 invia tramite l'interfaccia SPI un adeguato primo segnale al micro-slave 17. Si procede quindi con una fase di decodifica 73, in cui il micro-slave 17 decodificando 20 il primo segnale estrapola un valore angolare target da far assumere al secondo motore 26 per far raggiungere una posizione specifica al corpo 11 del micro-modulo attivo 5, attraverso una rotazione controllata del secondo giunto 6 secondo la direzione Y-Y.

Successivamente alla fase di decodifica 73, si procede con una fase di 25 codifica 74 in cui il micro-slave 17 codifica il valore angolare target e genera un

segnale di comando PWM corrispondente da inviare al secondo driver 27 il quale attraverso una fase di condizionamento 75 amplifica il segnale di comando e lo invia al secondo motore 26.

Si procede con una fase di attuazione 76 in cui il secondo motore 26 viene  
5 comandato opportunamente dal segnale di comando amplificato, seguita da una fase  
di rotazione 77 in cui il secondo giunto 6 ed il corpo 11 vengono ruotati facendo  
assumere al selezionato micro-modulo attivo 5 una opportuna e voluta posizione  
spaziale.

Naturalmente, la struttura di robot articolato secondo la presente invenzione  
10 presenta numerose variante tutte rientranti nel medesimo concetto inventivo. Nella  
descrizione che segue parti e particolare aventi la stessa struttura e funzione di quelli  
precedentemente descritti verranno identificati con gli stessi numeri e segni di  
riferimento.

In accordo con una forma di realizzazione illustrata nelle figure 14 e 15, una  
15 architettura di robot 1 con associato un micro-strumento 150 all'estremità terminale  
di lavoro del braccio 3 snodato. Il braccio 3 snodato comprende una serie di micro-  
moduli attivi 5 disposti in cascata tra loro ed associati ad una unità centrale 2 a  
microprocessore con un sistema di connessione che comprende mezzi elettrici e  
mezzi meccanici. Ciascun micro-modulo attivo 5 pilota e controlla in modo  
20 indipendente e separato primi e secondi mezzi di movimentazione, 20 e 25.

In questo caso, il micro-strumento 150 comprende una micro-telescopio 160  
che è integrata nel modulo elettronico del micro-modulo attivo 5, mentre i mezzi  
elettrici di connessione comprendono altresì un terzo bus 80 per la comunicazione tra  
l'unità centrale 2 a microprocessore e la micro-telescopio 160 con il trasferimento  
25 del segnale immagine. In particolare, il terzo bus 80 è disposto internamente a

ciascun micro-modulo 5 attivo, alloggiato nel volume di alloggiamento 19 del corpo 11, attraversando di fatto il braccio 3 snodato ed è compreso nelle porzioni di interconnessione 29. Il terzo bus 80 è del tipo HFP ed implementato tramite un protocollo GigaEthernet consentendo la trasmissione di segnali video. Il protocollo 5 utilizzato non è vincolante. Opportunamente, la micro-teleguida 160 può altresì contenere un sensore ECO ultrasonico i cui segnali sonori sono trasmessi all'unità centrale 2 a microprocessore tramite il terzo bus 80.

In particolare, il micro-strumento 150 viene regolato e controllato dal micro-modulo attivo 5 che lo comprende.

10 In altre forme di realizzazione il micro-strumento 150 è un micro-modulo separato che viene accoppiato e disaccoppiato al braccio 3 snodato seconda le necessità.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione, il micro-strumento 150 comprende una forbice, una pinza, un ablatore, un sistema di sutura o un altro 15 strumento chirurgico.

In una ulteriore forma di realizzazione illustrata in figura 16, l'architettura di robot 1 permette un trasferimento di sostanze tra un serbatoio, non illustrato in figura, ed il micro-strumento 150. In particolare, i mezzi meccanici di connessione comprendono un quarto bus 90 che sostanzialmente è un canale fisico disposto nel 20 volume di alloggiamento 19 del corpo 11 di ciascun micro-modulo 5 attivo, attraversando di fatto il braccio 3 snodato. Ancor più in particolare, il quarto bus 90 presenta spezzoni di canale inseriti nell'alloggiamento 19 ed interconnessi in corrispondenza di ciascun nodo articolato 6 attraverso micro-tubi flessibili ed estendibili, inseribili in detti elementi di interconnessione 9, per il trasferimento 25 controllato di sostanze tra i micro-moduli attivi 5. Il trasferimento può prevedere il

prelievo o il deposito di sostanze o tessuto ed i micro-tubi flessibili possono prevedere micro-valvole di interconnessione.

In un'altra forma di realizzazione, i mezzi meccanici di connessione comprendono giunti attuati da sistemi elettromagnetici o piezoelettrici associati a rispettivi elementi in grado di processare e gestire in modo autonomo i segnali dati che transitano sul secondo bus 8 e che provengono dall'unità centrale 2.

In un'altra forma di realizzazione, il braccio 3 snodato presenta una o più biforcazione e più estremità terminali, in tal caso i nodi articolati 6 sono biforcati ed altresì il sistema a bus sarà del tipo biforcato.

10 In una ulteriore forma di realizzazione, il sistema a bus può presentare una connessione di tipo wireless in corrispondenza dei nodi articolati 6.

Per quanto riguarda alcune caratteristiche tecniche della presente invenzione è preferibile realizzare il corpo 11 in materiale metallico, ad esempio in leghe di titanio o alluminio e lavorato attraverso microlavorazioni con macchine a controllo numerico.

15 Impiegando preferibilmente acciaio con un auto-accoppiamento cinematico a basso coefficiente di attrito, in particolare con un coefficiente di attrito pari a 0,1. Mentre, per quanto riguarda il perno 64 del nodo articolato 6 si preferisce utilizzare acciaio del tipo 40NiCrMo7 particolarmente resistente. Inoltre, è preferibile che ciascun micro-modulo attivo 5 abbia un peso di circa 15g.

20 Per quanto riguarda i motori impiegati si preferisce utilizzare mini-motori brushless in grado di produrre coppie all'albero nell'ordine di 0,66mNm a 200rpm e 0,19mNm a 900rpm i quali presentano un diametro di 2mm ed una lunghezza di 15mm, oppure nell'ordine di 5mNm a 85rpm e 1,5mNm a 350rpm i quali presentano un diametro di 4mm ed una lunghezza di 20mm.

25 Opportunamente, i rotismi del primo giunto rotante 23 assiale e del secondo

giunto 6 presentano una conformazione tale da generare rispettivamente una coppia risultante di 10mNm e di 100nMn in grado di esercitare una forza pari a circa 1N all'estremità terminale di lavoro del braccio 3 il quale comprende tre micro-moduli attivi 5 ed una distanza di circa 10cm.

5       Ancor più in particolare, in termini dinamici, il braccio 3 deve essere in grado di sostenere il proprio peso, pari a circa 45N, esercitare adeguate forze di trazione durante la manipolazione dei tessuti biologici di circa (0.25-5)N, produrre delicate e precise forze di spinta durante task di inserimento di aghi per biopsie, di circa 5mN. Inoltre, durante qualunque task il braccio deve garantire una sufficiente rigidezza.

10     Come si può apprezzare da quanto descritto, l'architettura di robot articolato per uso medico secondo la presente invenzione consente di superare gli inconvenienti menzionati con riferimento alla tecnica nota. Nella fattispecie, l'architettura comprende micro-moduli attivi pilotati in modo selettivo e in grado di pilotare e di controllare in modo indipendente la rotazione di ciascun micro-modulo attivo che  
15     genera il braccio attraverso una rotazione controllata dei due giunti articolati. Questo permette di conseguire una maggiore mobilità del braccio snodato, importante nella chirurgia mini-invasiva in cui vi sono movimenti complessi da eseguire per seguire l'andamento dei dotti anatomici e superare punti con aderenze o rigonfiamenti.

20     Inoltre, la suddivisione dell'unità logica locale nel micro-processore master e nel micro-processore slave si riflette in un maggior e più adeguato controllo dei due motori, che avviene contemporaneamente ma separatamente. In ogni caso, l'architettura secondo la presente invenzione, consente di delegare ad un unico micro-processore, il micro-processore master, la comunicazione con l'unità centrale a garanzia di un sicurezza che l'architettura deve presentare. Inoltre, la presenza di  
25     due micro-processori permette di impiegare micro-processori a dimensioni ridotte.

L'architettura secondo la presente invenzione garantisce un livello di sicurezza elevato grazie alla ridondanza dei sistemi di sicurezza e di diagnostica che si possono attuare.

Altro vantaggio della presente invenzione, è la possibilità di impiegare materiali e sostanze pericolose per la salute umana e di interagire con oggetti in ambienti a rischio.

Un altro vantaggio, è dato dalla maggiore destrezza e stabilità della manipolazione e della visione permettendo di integrare nel micro-modulo terminale del braccio articolato la micro-telecamera.

Ovviamente un tecnico del ramo, allo scopo di soddisfare esigenze contingenti e specifiche, potrà apportare numerose modifiche e varianti alle configurazioni sopra descritte, tutte peraltro contenute nell'ambito di protezione dell'invenzione quale definito dalle seguenti rivendicazioni.

## RIVENDICAZIONI

1. Architettura di robot (1) articolato per uso medico comprendente:
  - una unità centrale (2) a microprocessore;
  - un braccio (3) snodato comprendente una serie di micro-moduli attivi (5) disposti in cascata tra loro ed interconnessi attraverso mezzi elettrici di connessione e mezzi meccanici di connessione,
  - detti mezzi elettrici di connessione comprendendo un sistema a bus che attraversa detto braccio (3) snodato e che è disposto internamente a detti micro-moduli attivi (5), detto sistema a bus comprendendo un primo bus (4) di alimentazione elettrica di detta serie di micro-moduli attivi (5) ed un secondo bus (8) per la comunicazione tra detta unità centrale (2) a microprocessore e ciascuno di detti micro-moduli attivi (5),
  - detti mezzi meccanici di connessione comprendendo nodi articolati (6) interposti tra successivi micro-moduli attivi (5) di detta serie;
  - ciascuno di detti micro-modulo attivo (5) comprendendo un corpo (11), sostanzialmente cilindrico che si sviluppa nella direzione assiale (X-X), primi mezzi di movimentazione (20) associati a detto corpo (11) per ruotare detto micro-modulo attivo (5) attorno al proprio asse (X-X) e secondi mezzi di movimentazione (25) adatti a pilotare il nodo articolato (6) associato ad una estremità di detto corpo (11) a consentire una movimentare cilindrica di detto micro-modulo attivo (5) attorno a detto nodo articolato (6) associato,
  - ciascun micro-modulo attivo (5) comprendendo inoltre una unità logica locale (15) che è pilotata da detta unità centrale (2) a microprocessore e che pilota e controlla separatamente detti primi mezzi di movimentazione (20) e detti secondi mezzi di movimentazione (25).
- 25 2. Architettura secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che detta

unità logica locale (15) comprende un micro-processore master (16) e un micro-processore slave (17) che è comandato da detto micro-processore master (16), detto micro-processore master (16) comandando e controllando detti primi mezzi di movimentazione (20), detto micro-processore slave (17) comandando e controllando detti secondi mezzi di movimentazione (25), detto micro-processore master (16) operando simultaneamente ed indipendentemente a detto micro-processore slave (17).

3. Architettura secondo la rivendicazione 2 caratterizzata dal fatto che detti primi mezzi di movimentazione (20) comprendono un primo motore (21) che aziona un primo giunto rotante (23) associato al corpo (11) di detto micro-modulo attivo (5) per ruotare detto corpo (11) attorno al proprio asse (X-X).

4. Architettura secondo la rivendicazione 2 caratterizzata dal fatto che detti secondi mezzi di movimentazione (25) comprendono un secondo motore (26) che aziona detto nodo articolato (6) associato a detto corpo (11) per guidare una rotazione di detto corpo (11) in una direzione (Y-Y) perpendicolare a detto asse (X-X).

5. Architettura secondo la rivendicazione 4 caratterizzata dal fatto che detto corpo (11) comprende mezzi di aggancio (10) associati ad una estremità ed adatti a cooperare con detto nodo articolato (6), detto nodo articolato (6) comprendendo un perno (64) disposto in una direzione (Y-Y) perpendicolare rispetto all'asse (X-X) di detto corpo (11) ed adatto ad impegnare detti mezzi di aggancio (10), detto nodo articolato (6) comprendendo un organo girevole per azionare in rotazione detto perno (64) e determinare la rotazione di detto corpo (11) attorno a detto perno (64).

6. Architettura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detti micro-moduli attivi (5) comprendono un sensore (30) di forza connesso a detta unità

logica locale (15) per misurare l'interazione meccanica tra detto micro-modulo attivo (5) e l'ambiente esterno.

7. Architettura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto secondo bus (8) è un bus basato su protocollo CAN (Controller Area Network Bus).

5 8. Architettura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto braccio (3) snodato comprende un micro-strumento (150) associato in prossimità della sua estremità terminale di lavoro, detto micro-strumento (150) essendo connesso al micro-modulo attivo (5) terminale di detta serie oppure implementato in detto micro-modulo attivo (5) terminale.

10 9. Architettura secondo la rivendicazione 8 caratterizzata dal fatto che i mezzi elettrici di connessione comprendono un terzo bus (80) per la comunicazione tra detta unità centrale (2) a microprocessore e detto micro-strumento (150) ed un quarto bus (90) per il trasferimento di sostanze, detto terzo bus (80) e detto quarto bus (90) essendo disposti internamente a detti corpi (11) di detti micro-modulo attivi (5) di detta serie attraversando detto braccio (3) snodato.

15 10. Architettura secondo una o più delle rivendicazioni precedenti caratterizzata dal fatto che detto sistema a bus comprende elementi di interconnessione (9) interposti tra detti micro-moduli attivi (5) successivi di detta serie, detti elementi di interconnessione (9) comprendendo porzioni di interconnessione (29) flessibili.

20

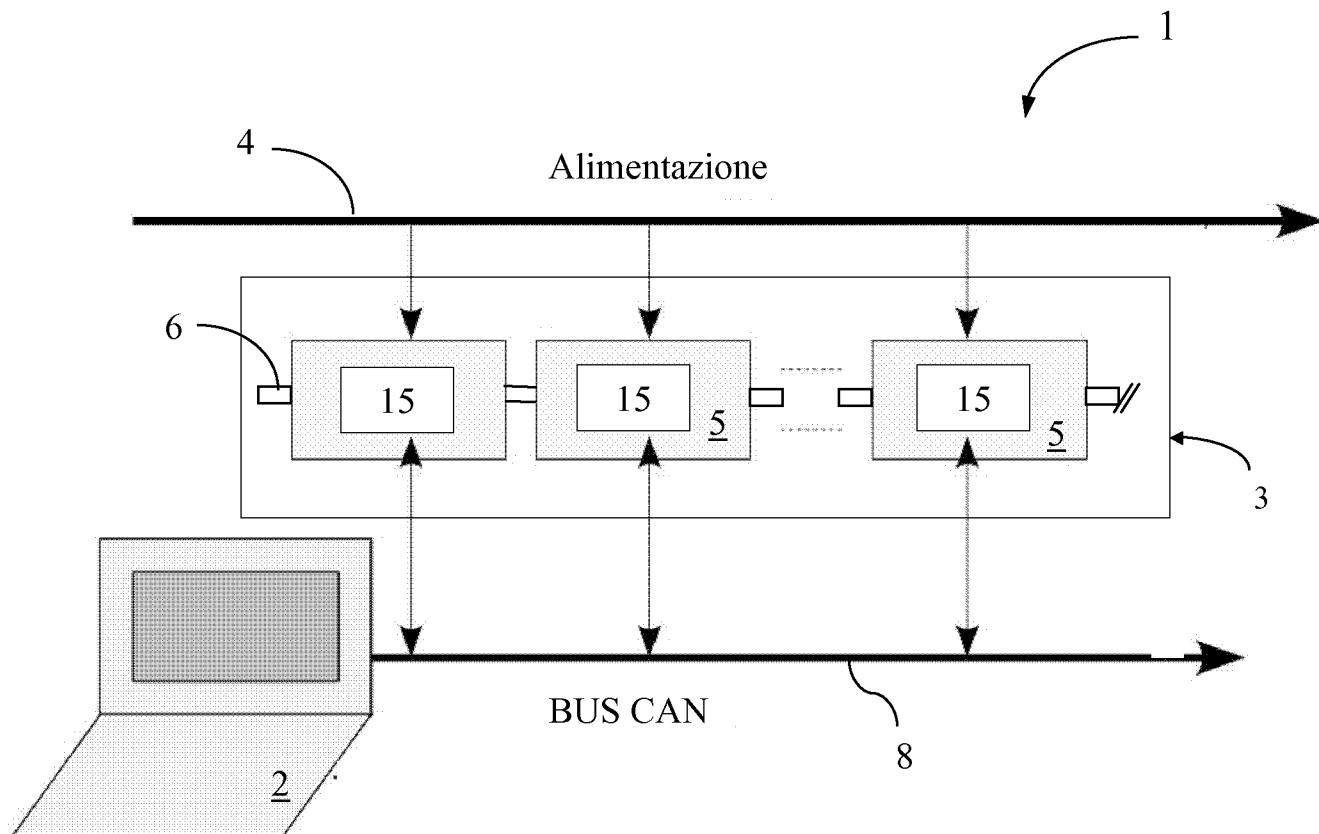


Fig. 1

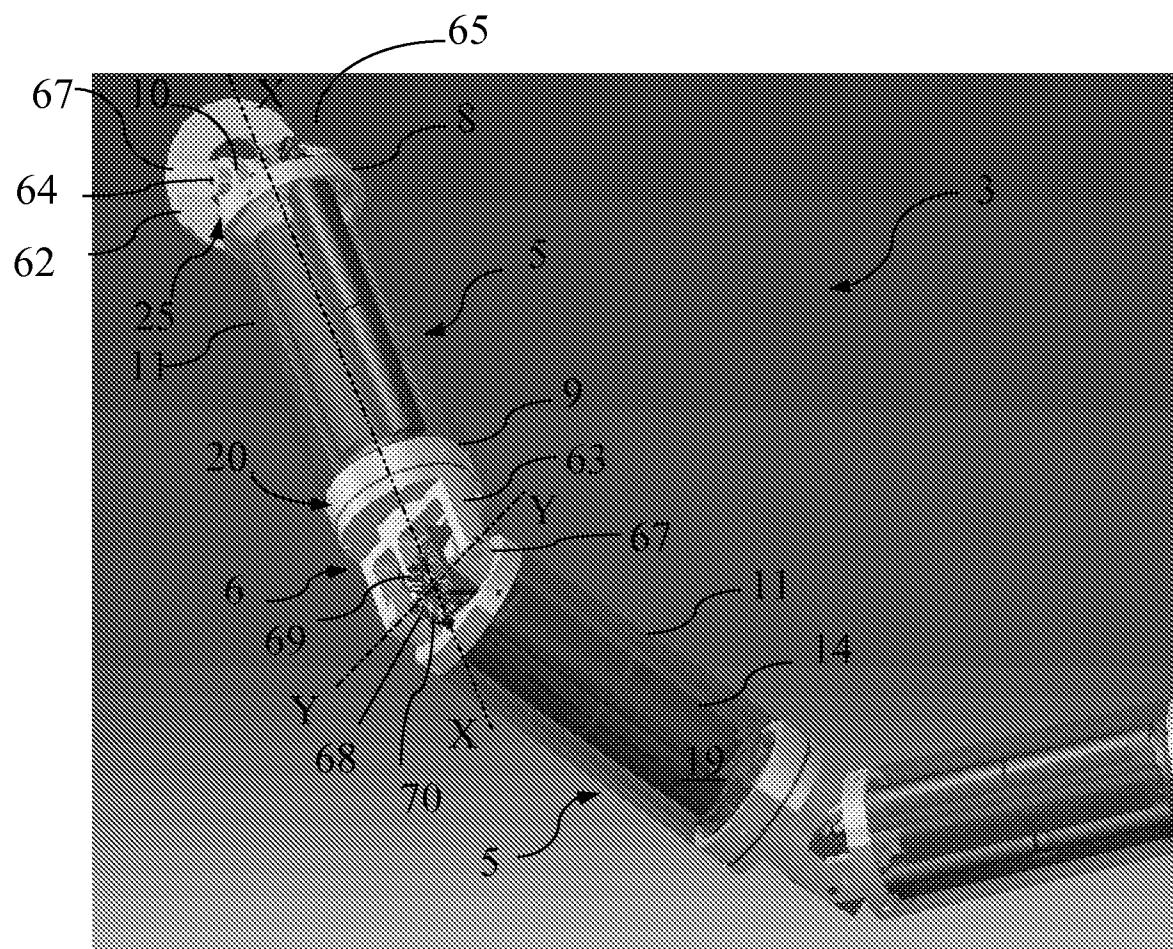


Fig. 3

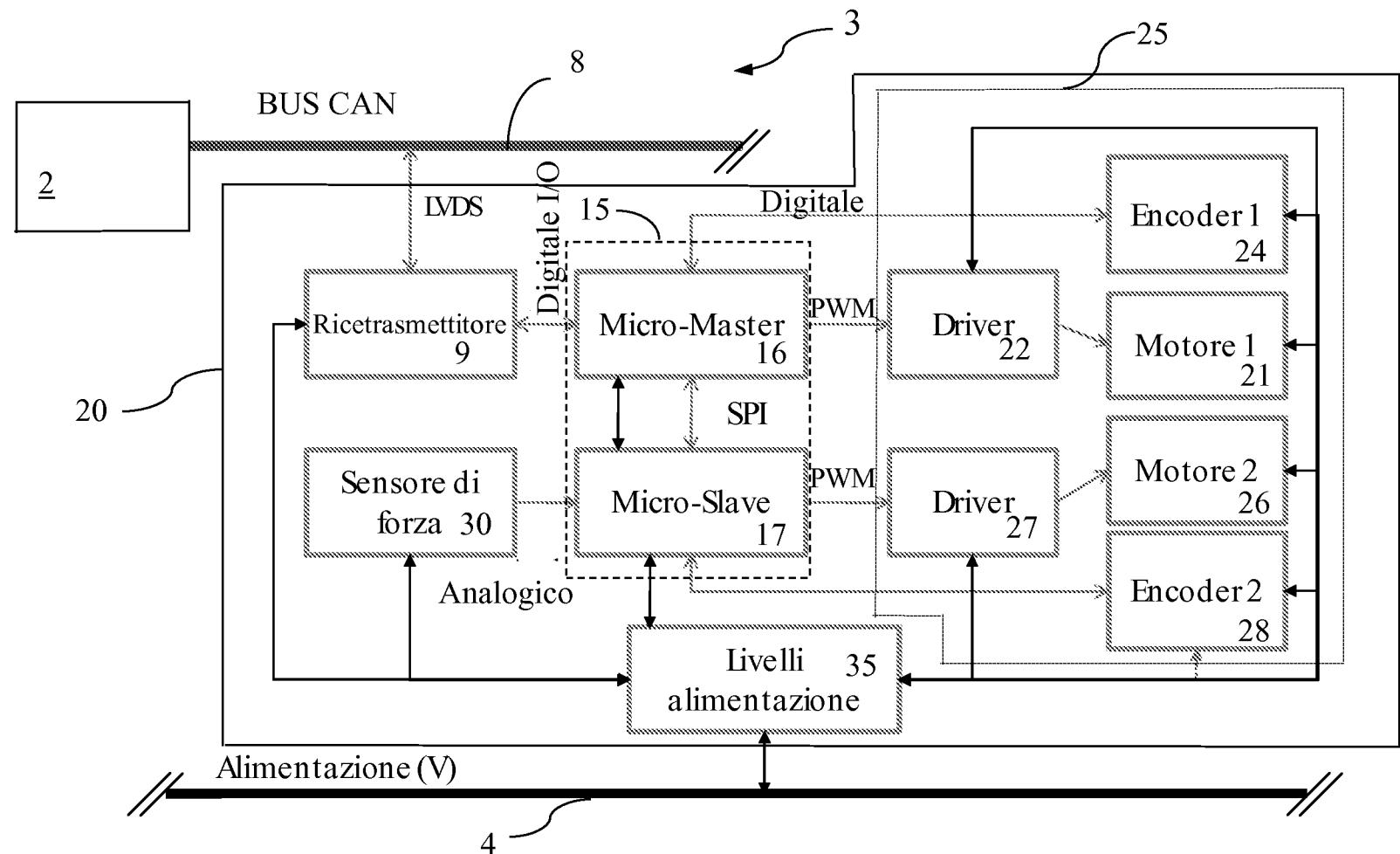


Fig. 4

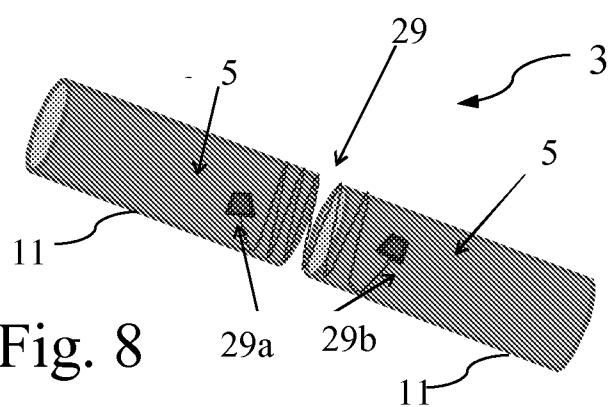


Fig. 8

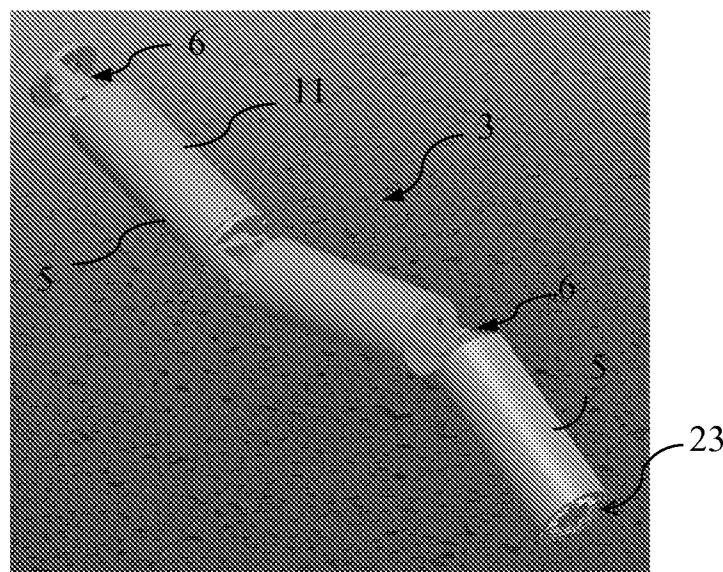


Fig. 2

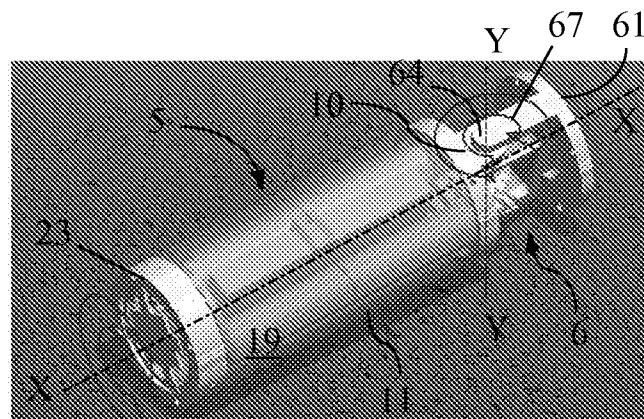


Fig. 5

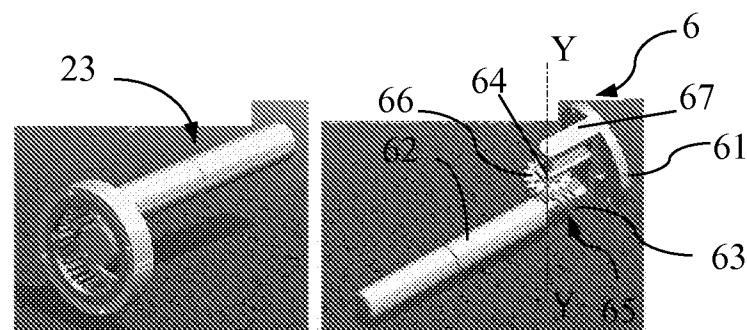


Fig. 6

Fig. 7

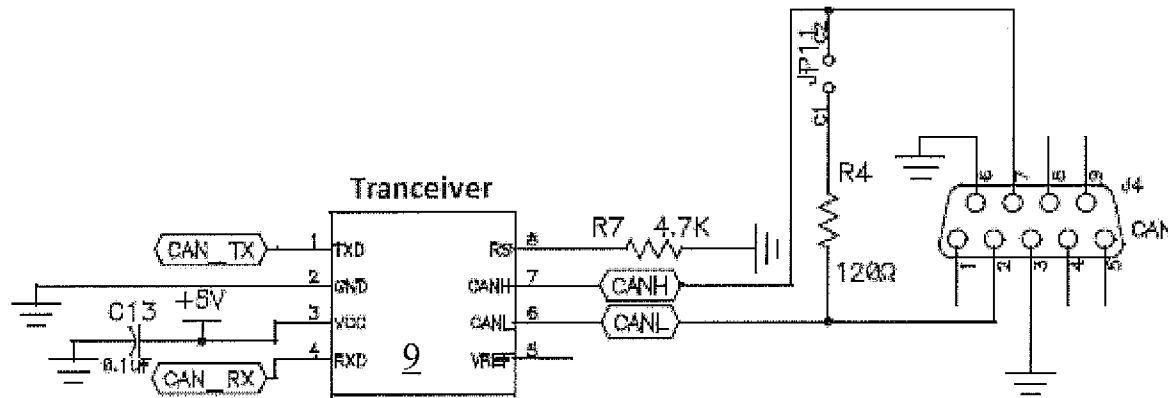


Fig. 11

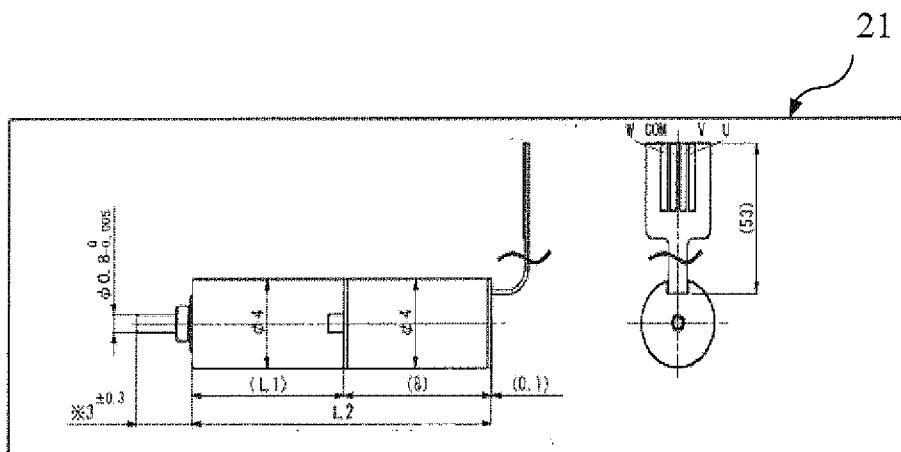


Fig. 9

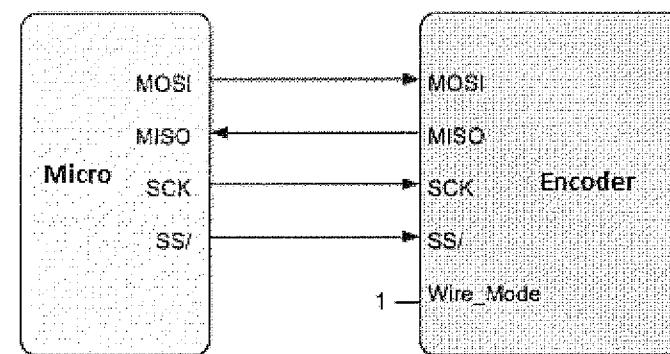


Fig. 10

6/8

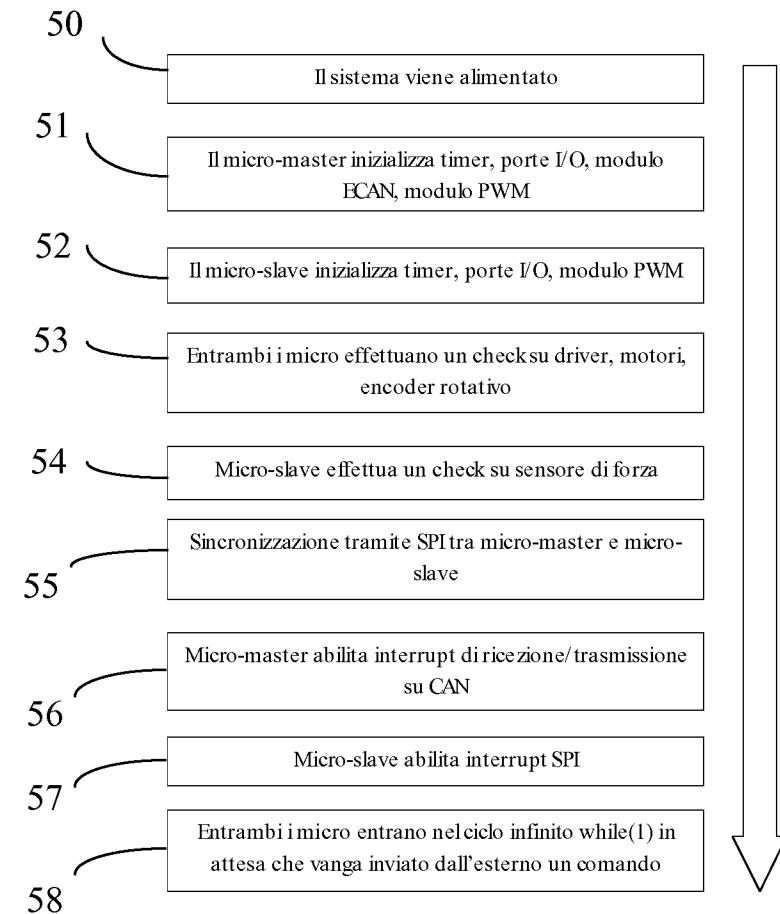
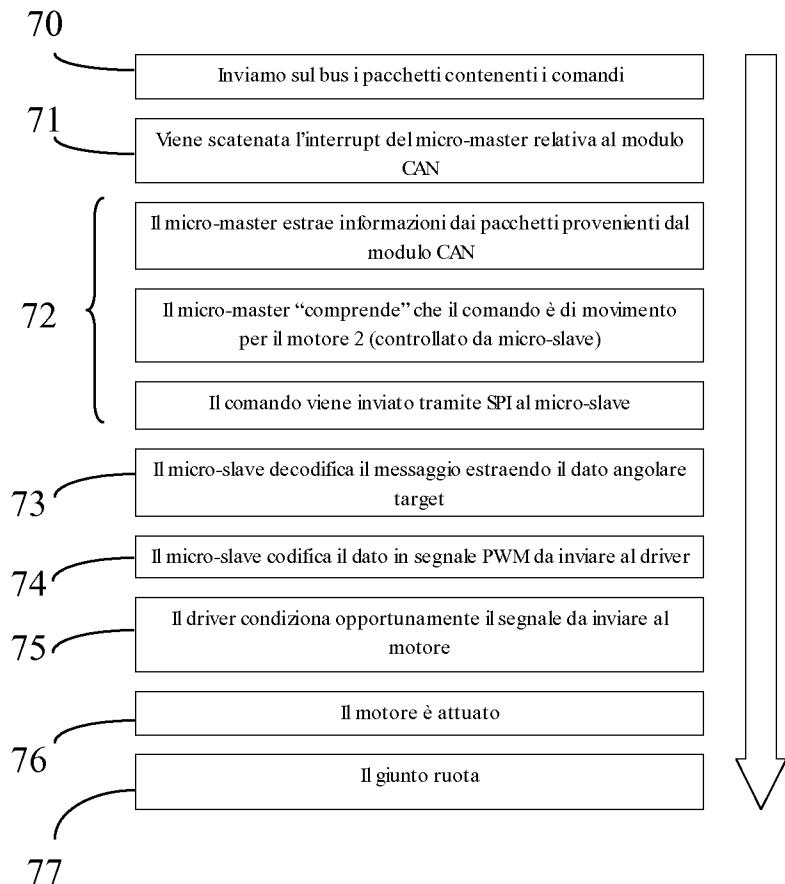


Fig. 12

Fig. 13



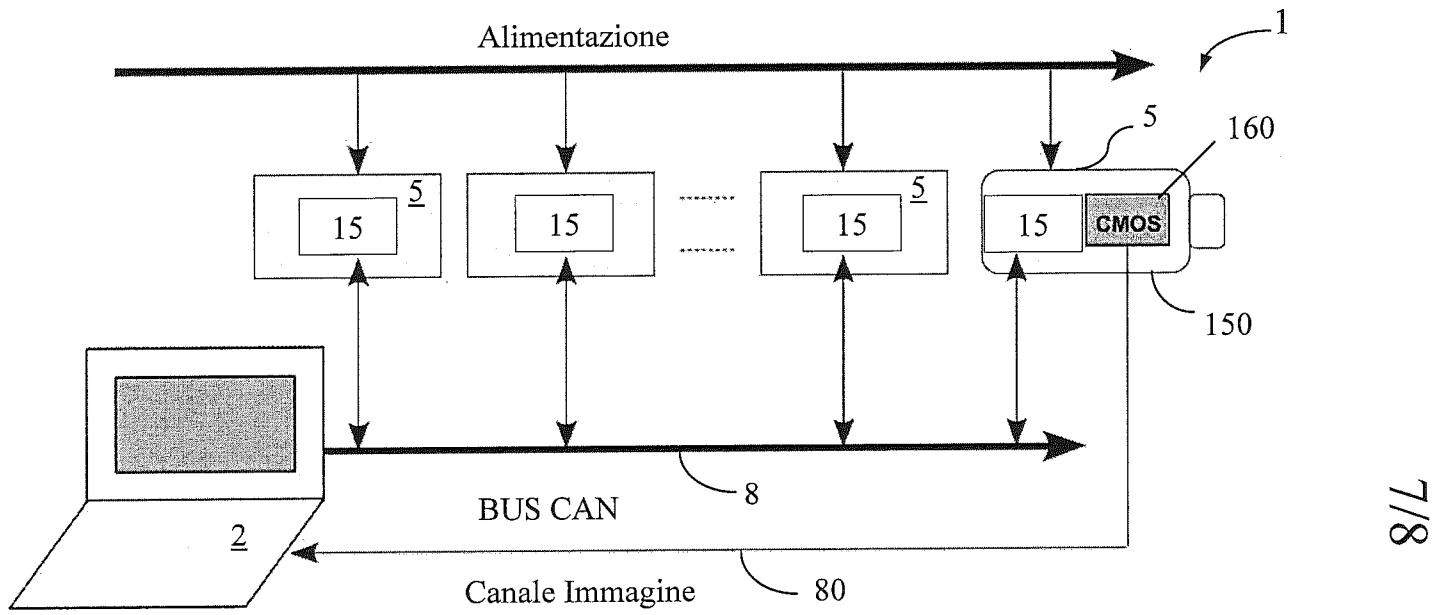


Fig. 14

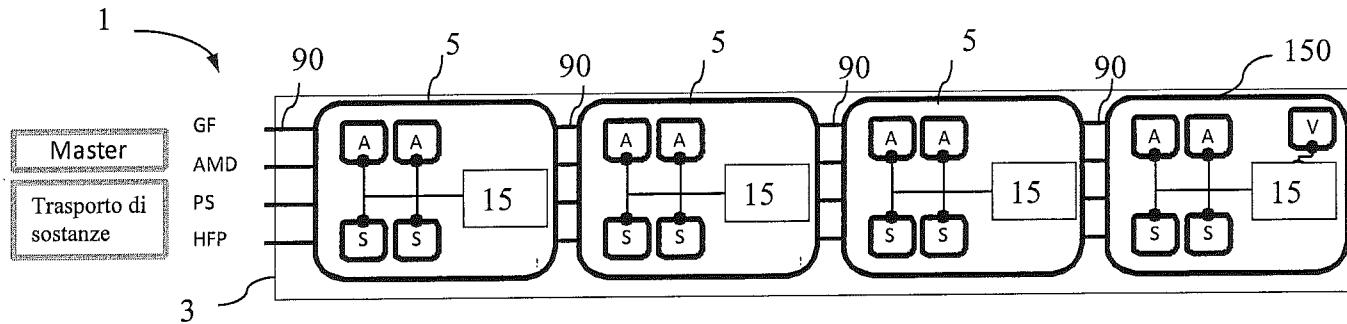


Fig. 16

8/8

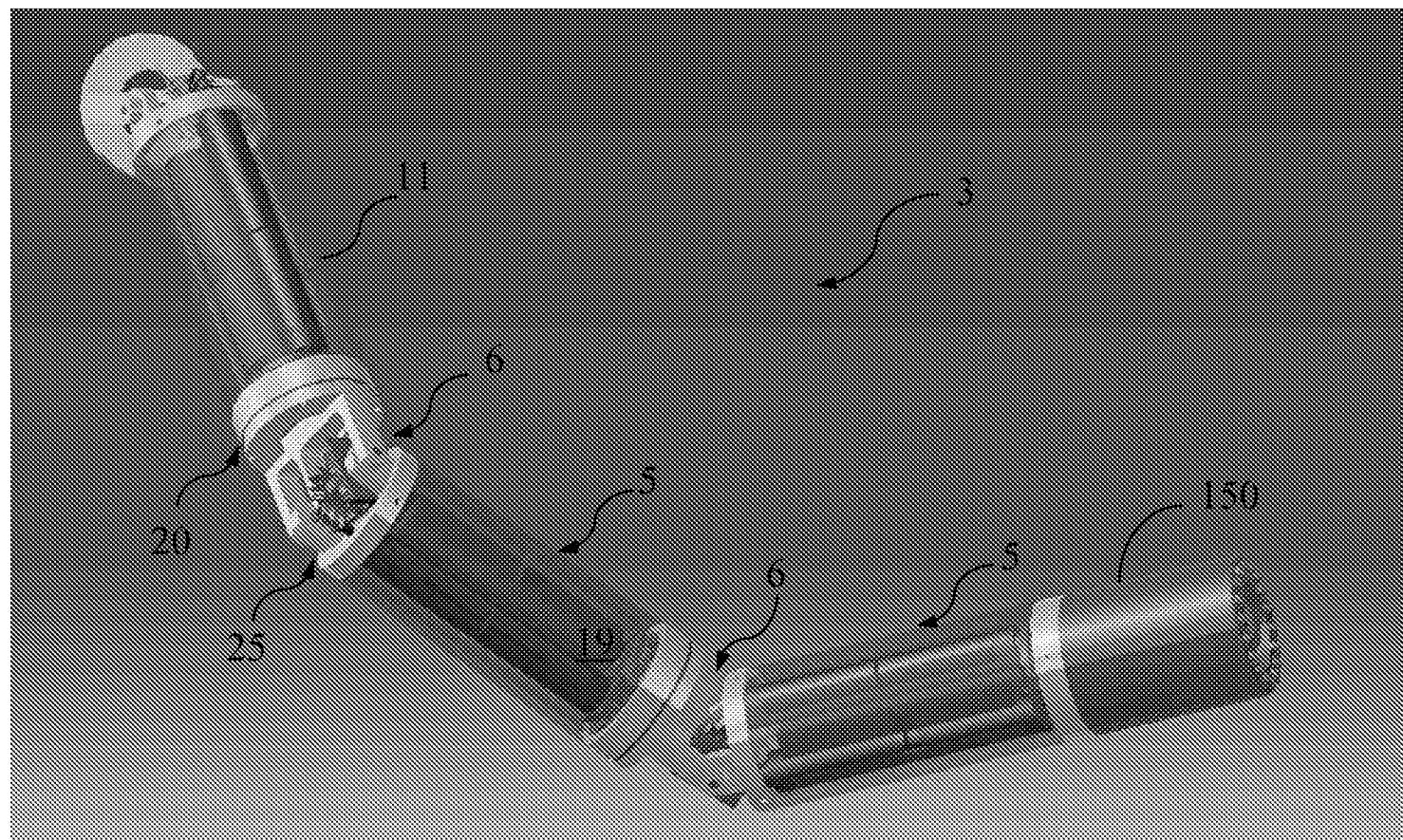


Fig. 15