

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901789501A1

Publication Date

20110602

Applicant

UNIVERSITA' CAMPUS BIO-MEDICO DI ROMA

Title

DISPOSITIVO E METODO DI LOCOMOZIONE, PARTICOLARMENTE
PER APPLICAZIONI ENDOSCOPICHE.

DISPOSITIVO E METODO DI LOCOMOZIONE, PARTICOLARMENTE IDONEI PER APPLICAZIONI ENDOSCOPICHE

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un dispositivo e ad un metodo di
5 locomozione, particolarmente idonei per applicazioni endoscopiche,
specialmente nel settore della endoscopia digestiva.

Le procedure endoscopiche richiedono l'utilizzo di una sonda, che viene inserita
attraverso i naturali orifizi del corpo e che tipicamente è dotata di sensori, mezzi
10 di visualizzazione ed eventualmente strumenti biotici.

Le procedure endoscopiche richiedono una buona abilità manuale da parte
dell'endoscopista che esegue detto inserimento e che gestisce la navigazione
della sonda. Nel caso di interventi sul tratto gastro-intestinale, tali procedure
comportano un non trascurabile disagio psicologico e fisico per il paziente. Tali
15 limiti hanno stimolato lo sviluppo di endoscopi robotici in grado di auto-
propellersi e di assicurare una maggiore destrezza dello strumento durante la
locomozione.

Le attuali proposte esistenti riguardo alle tecniche di locomozione di dispositivi
endoscopici possono essere suddivise in due grandi famiglie, che riguardano in
20 particolare:

- i sistemi cablati; e
- le capsule robotiche.

Per quanto attiene alla prima famiglia, un primo approccio noto alla
locomozione è quello cosiddetto "*inchworm-like*", in cui viene simulato il modo in
25 cui si muovono i bruchi. In particolare, il dispositivo avanza alternando fasi di
distensione e di contrazione di un opportuno corpo estendibile e realizzando
così un movimento peristaltico. Tale approccio richiede, inoltre, due organi di
presa disposti ai due estremi del dispositivo, che hanno il compito di trasferire al
substrato le forze necessarie alla locomozione.

Un secondo approccio relativo alla prima famiglia è quello cosiddetto “*snake-like*”, in cui viene generato un movimento ondulatorio di una struttura centrale mediante, ad esempio, l'utilizzo di leghe a memoria di forma poste attorno ad essa, in modo tale che il robot possa orientarsi e piegarsi in modo tridimensionale.

Per quanto attiene invece alla seconda famiglia, ossia alle tecniche di locomozione per capsule robotiche, un primo approccio noto prevede uno spostamento passivo realizzato sfruttando le onde peristaltiche del tratto intestinale da esplorare.

In tempi recenti, è stata poi sviluppata una capsula robotica equipaggiata con un sistema di locomozione basato su di un set di zampe in fili di leghe a memoria di forma che assicurano una grande elasticità agli organi di movimento. Tale capsula è in grado di fermarsi in un dato sito grazie a micro-uncini posti sulla parte terminale delle zampe, ma non è in grado di ruotare sul posto e quindi di orientarsi rispetto ad un dato target. Il sistema di locomozione, inoltre, occupa la quasi totalità dell'intero spazio all'interno della capsula, rendendo difficoltoso l'alloggiamento di batterie, del sistema di visione e di altri strumenti.

Un terzo approccio noto, anch'esso recente, prevede invece, sempre per le capsule robotiche, un sistema di locomozione basato sull'impiego di campi magnetici. In particolare, variando il campo è possibile controllare la posizione e l'orientamento della capsula per mezzo di magneti opportuni integrati in essa.

I sistemi di locomozione noti sopra menzionati presentano alcuni importanti inconvenienti, e in particolare:

- impossibilità o difficoltà a mantenere la presa rispetto al distretto corporeo esplorato e quindi incapacità di mantenersi in loco al sopraggiungere di azioni esterne perturbative quali onde peristaltiche;;
- impossibilità di ruotare sul posto e/o di orientarsi durante la locomozione, oppure presenza di sistemi ingombranti o meccanicamente complessi per

realizzare tale orientamento;

- in alcuni casi ed anche alla luce degli inconvenienti sopra citati, eccessiva complessità meccanica dell'unità che realizza la locomozione;
- sempre anche in relazione agli inconvenienti già citati sopra, necessità di
5 apparati e strumenti da disporre addosso o intorno al paziente - ad esempio giubbetti magnetici e/o manipolatori robotici - per la localizzazione e la movimentazione del dispositivo dall'esterno del corpo tramite opportuni campi magnetici.

10 Anche se gli inconvenienti sopra citati sono stati riferiti al settore specifico della navigazione in un distretto corporeo, e specificamente nel tratto gastro-intestinale, analoghe esigenze possono presentarsi in contesti industriali nei quali ci sia necessità (o possibilità) di navigazione su di un substrato deformabile, ad esempio cedevole, elastico o visco-elastico, ad esempio su tessuti, membrane, tubazioni o simili.

15 Pertanto, il problema tecnico posto e risolto dalla presente invenzione è quello di fornire un dispositivo di locomozione ed un associato metodo che consentano di ovviare agli inconvenienti sopra menzionati con riferimento alla tecnica nota.

Tale problema viene risolto da un dispositivo di locomozione secondo la rivendicazione 1 e da un metodo secondo la rivendicazione 16.

20 Caratteristiche preferite della presente invenzione sono presenti nelle rivendicazioni dipendenti della stessa.

La presente invenzione fornisce alcuni rilevanti vantaggi. Il vantaggio principale consiste nel fatto che essa consente una presa costante ed affidabile del
25 dispositivo al substrato cedevole o deformabile, ad esempio elastico o visco-elastico, e in particolare alla mucosa esterna degli organi cavi del corpo umano, quale il tratto gastro-intestinale, mediante un sistema di locomozione che si presta ad essere realizzato in modo meccanicamente semplice, affidabile ed auto-contenuto, ossia che non richiede specifici strumenti ausiliari esterni.

Inoltre, il dispositivo dell'invenzione si presta ad una estrema compattezza costruttiva, tale da garantire un significativo volume residuo all'interno della capsula robotica o mezzo equivalente che lo alloggia.

5 Ancora, in base ad una forma di realizzazione preferita che prevede una duplice coppia di elementi in moto relativo fra di essi, il dispositivo dell'invenzione consente una variazione del proprio orientamento e quindi una specifica capacità di modificare la direzione di locomozione.

10 Altri vantaggi, caratteristiche e modalità di impiego della presente invenzione risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di alcune forme di realizzazione, presentate a scopo esemplificativo e non limitativo. Verrà fatto riferimento alle figure dei disegni allegati, in cui:

- le Figure 1A, 1B ed 1C mostrano uno schema di funzionamento di un dispositivo di locomozione secondo la presente invenzione, riferendosi ciascuna ad una rispettiva fase di pinzamento o avanzamento;
- 15 ▪ la Figura 2 mostrano uno schema di funzionamento di una variante del dispositivo di Figura 1;
- la Figura 3 si riferisce ad una forma di realizzazione preferita del dispositivo di Figura 1, mostrandone una vista in esploso; e
- 20 ▪ le Figure 4A, 4B e 4C si riferiscono ad una capsula endoscopica che incorpora il dispositivo di Figura 3, mostrandone rispettivamente una vista in prospettiva laterale una vista frontale ed una vista laterale.

Le Figure 1A, 1B ed 1C rappresentano una illustrazione del principio di locomozione alla base del dispositivo dell'invenzione.

25 Tale principio, che può essere chiamato di "*pinch locomotion*", si basa sulla possibilità di eseguire micro-richiami ("pinzamenti" o "*pinches*") sul substrato, ad esempio sulla mucosa intestinale, sfruttando opportuni organi del robot che esercitano una forza di presa (ossia di "*pinching*") e di locomozione sul substrato, entro i limiti di sicurezza del substrato stesso.

Con riferimento a dette Figure 1A-1C, l'idea alla base del principio della "*pinch locomotion*" può essere compresa a livello astratto immaginando due ruote 101 e 102 adiacenti e tangenti alla mucosa M. Preferibilmente, gli organi volventi 101 e 102 sono connessi da un elemento elastico 103 che si oppone ad una
5 variazione della distanza fra i rispettivi centri, agendo quindi da elemento di contrasto. La forza esercitata da detto organo fornisce la necessaria forza di presa (o "pinzamento"). Detto elemento elastico può essere realizzato in svariati modi, ad esempio tramite molle ad elica o lamelle elastiche, ovvero può
10 sostituito da un organo attivo, ossia attuato, quale un sistema vite-madrevite, esplicante la medesima funzione di generare la forza di presa.

La locomozione si svolge in due fasi. Durante una fase iniziale ("*pinching*"), mostrata in Figura 1A e 1B, le due ruote 101 e 102 ruotano in senso opposto per richiamare il substrato. In questa fase il substrato M, ad esempio la mucosa gastrointestinale, grazie alla sua cedevolezza, viene richiamato tra i due organi
15 volventi 101 e 102 a seguito della forza di trazione esercitata da ciascuno di questi in virtù di detto moto.

Sempre in questa fase, l'elemento elastico 103 consente un adattamento passivo della distanza tra le due ruote 101 e 102, la quale distanza varia in funzione dello spessore della porzione di substrato richiamato a seguito della
20 rotazione. L'azione esercitata dall'elemento elastico di contrasto 103 consente al contempo il mantenimento della presa sul substrato.

Nella fase successiva a quella di "*pinching*", mostrata in Figura 1C, le due ruote 101 e 102 ruotano nel medesimo verso, consentendo la traslazione del sistema. Durante la traslazione, l'organo fronte-marcia richiama fra i due organi volventi
25 una nuova porzione di substrato, mentre l'organo posteriore ne rilascia una uguale quantità.

Il sistema mostrato nelle Figure 1A-1C è costituito da una sola coppia di organi volventi, che consente di realizzare uno spostamento mono-dimensionale (ossia avanti e indietro), senza capacità di ruotare sul posto e orientarsi durante
30 la locomozione.

Affinché il sistema sia in grado di orientarsi è necessario aggiungere una seconda coppia di ruote 201 e 202, come mostrato in Figura 2. In questa configurazione, infatti, la rotazione del dispositivo di locomozione viene prodotta in modo analogo a quella realizzata da sistemi dotati di due cingoli autonomi, 5
ossia azionando le due coppie a velocità differente.

Con riferimento ora alla Figura 3, un dispositivo di locomozione secondo una forma di realizzazione preferita dell'invenzione è complessivamente denotato con 1. Il dispositivo 1 è concepito per la navigazione nelle cavità del tratto 10
gastro-intestinale.

Il dispositivo 1 comprende principalmente:

- un telaio 2 sostanzialmente piatto,
- due unità motrici, rispettivamente 31 e 32, montate su tale telaio 2 da parti trasversalmente opposte di questo, e
- 15 – mezzi di pinzamento, azionati dalle unità motrici 31 e 32 e complessivamente denotati con 4.

La specifica disposizione e costruzione di tali componenti viene descritta in maggiore dettaglio a seguire.

Nel presente esempio, ciascuna unità motrice 31, 32 comprende un rispettivo 20
motore, ad esempio di tipo elettromagnetico, preferibilmente associato ad un rispettivo riduttore ad esempio di tipo epiciclodale (non mostrato nelle figure).

A titolo esemplificativo, ciascun motore può essere un motore commerciale a corrente continua privo di spazzole, con diametro esterno inferiore a 5 mm (ad esempio, micromotore Smoovy con diametro esterno 1.9 mm integrante 25
riduttore epicicloidale con rapporto di riduzione 1:47).

Per ridurre ulteriormente il rapporto di trasmissione in uscita, a ciascuna unità motrice 31, 32 sono poi associati ulteriori mezzi di trasmissione, complessivamente denotati rispettivamente con 51 e 52, che nel presente esempio sono di tipo ad accoppiamento corona dentata 511, 512 - vite senza

fine 521, 522.

A titolo esemplificativo, il rapporto di riduzione può essere 18:1, in modo tale che il rapporto di riduzione totale sia di 1:846.

- La ruota 511, 521 di ciascuno di tali accoppiamenti 51, 52 è poi solidale ad una
5 rispettiva prima o seconda puleggia principale 41, 42 dei mezzi di pinzamento
4.

Questi ultimi comprendono anche, per ciascuna prima o seconda puleggia principale 41, 42, una rispettiva prima o seconda cinghia 43, 44, che impegna la rispettiva puleggia principale 41, 42.

- 10 La prima cinghia 43 viene trascinata in rotazione dalla prima puleggia 41 e tensionata mediante due ulteriori pulegge ausiliarie cedenti 45, 46 montate in corrispondenza di rispettive estremità longitudinali di un bilanciere 47.

La disposizione complessiva è tale che la cinghia 43 assuma, in esercizio, un profilo sostanzialmente trapezoidale arrotondato.

- 15 Il bilanciere 47 è montato in modo basculante sul telaio 2 mediante un perno fisso 6, in modo tale da consentire una rotazione del bilanciere 47 secondo un asse sostanzialmente ortogonale al telaio 2. Fra perno 6 e bilanciere 47 è interposto un mezzo elastico di contrasto, che nel presente esempio è in forma di una molla di torsione 67.

- 20 La seconda cinghia 44 è trascinata in rotazione dalla seconda puleggia principale 42 e tensionata mediante una ulteriore puleggia ausiliaria cedente 48 montata in corrispondenza di una estremità longitudinale di un supporto 49.

La disposizione complessiva è tale che la seconda cinghia 44 assuma, in esercizio, un profilo sostanzialmente triangolare arrotondato.

- 25 La disposizione complessiva è inoltre tale che le due cinghie 43 e 44 si trovino affacciate ed adiacenti in corrispondenza di rispettive porzioni ad angolo arrotondato (o punta di freccia) 430, 440. In corrispondenza di tali porzioni di cinghia 430, 440 avviene quindi l'azione di pinzamento, come descritto in maggiore dettaglio più avanti.

Adiacentemente a tali porzioni – ed a monte di queste rispetto al verso di rotazione che provoca il “*pinching*” – le cinghie 43 e 44 presentano ciascuna una porzione a sviluppo rettilineo, rispettivamente 431 e 441, che risulta, in uso, sostanzialmente parallela ed a contatto con il substrato, esercitando quindi su di esso una azione di richiamo in virtù dell’attrito che si instaura.

Le cinghie 43 e 44 sono quindi realizzate in un materiale e con una geometria superficiale idonei a stabilire un attrito efficace ai fini del pinzamento e della locomozione sul substrato, ossia, nel caso di tessuti biologici, quali la mucosa del tratto gastro-intestinale, in un materiale e con una geometria superficiale tali da garantire condizioni bio-tribologiche adeguate a garantire sufficiente attrito / adesione. A titolo esemplificativo e non esaustivo, la superficie delle cinghie può essere munita di micro-uncini di dimensioni tali da non infliggere lesioni non tollerabili alla mucosa del tratto gastro-intestinale.

Verrà ora illustrato il funzionamento del dispositivo 1.

Le unità motrici 31 e 32, tramite i mezzi di trasmissione 51 e 52, azionano in rotazione le pulegge principali 41 e 42, e quindi le cinghie 43 e 44 a queste associate, secondo versi di rotazione contrapposti, analogamente a quanto descritto sopra in relazione alle Figure 1A e 1B.

Una porzione di substrato, ad esempio di substrato intestinale, è quindi richiamato fra le porzioni affacciate 430, 440 di dette cinghie 43, 44 e si realizza così l’azione di “*pinching*” già descritta.

Ai fini di tale azione di “*pinching*”, la connessione basculante del bilanciere 47 al telaio 2 fa sì che la porzione di cinghia 430 possa allontanarsi dalla contrapposta porzione di cinghia 440 in modo tale da consentire l’inserimento di porzione di substrato fra di esse.

Al contempo, l’azione di contrasto della molla 67 assicura il trattenimento del substrato. In particolare, la deformazione della molla 67, che si oppone elasticamente allo spostamento del bilanciere 47, causa una forza che, trasmessa al substrato dalle pulegge ausiliarie 46 e 48, assicura il mantenimento della presa quando intervengono forze esterne, quali, ad esempio, le spinte dovute alle contrazioni peristaltiche.

Il bilanciante basculante 47, opportunamente dimensionato, permette altresì il mantenimento della tensione della prima cinghia 43, indipendentemente dallo spessore del substrato richiamato.

5 Sarà altresì apprezzato che la funzione di "*pinching*", e in particolare il richiamo del substrato fra le due porzioni affacciate 430 e 440, è favorita dall'interazione con il substrato stesso dei tratti a sviluppo rettilineo 431 e 441 delle cinghie 43 e 44.

10 In una fase successiva, le cinghie 43 e 44 vengono attuate secondo un verso di rotazione concorde, per realizzare la locomozione secondo le modalità già descritte con riferimento alla Figura 1C.

Il dispositivo 1 è associato a o incorpora una unità di controllo - o mezzi di azionamento selettivo - dei mezzi di pinzamento 4, atta a controllare o gestire l'attuazione di questi secondo la sequenza di fasi descritta in relazione alle Figure 1A,1B e 1C.

15 Inoltre, in base ad una seconda forma di realizzazione preferita che corrisponde allo schema di Figura 2, il dispositivo può incorporare una duplice coppia di pulegge e di relativi mezzi motori e di trasmissione indipendenti, le quali coppie di pulegge ed associati componenti di azionamento sono disposti da parti opposte del dispositivo in modo tale da consentire variazioni di orientamento di quest'ultimo.

20 Sarà inoltre compreso che, in base ad una variante di realizzazione compatibile con entrambe le forme di realizzazione sopra descritte, l'elemento elastico o molla di contrasto può essere assente. In tal caso, il trattenimento del substrato può essere assicurato dalla deformabilità elastica del materiale delle pulegge o di elementi rotativi alternativi che svolgono la funzione di queste ultime.

Con riferimento ora alle Figure 4A, 4B e 4C, due dispositivi come quello descritto con riferimento alla Figura 3 possono essere associati ad una capsula endoscopica 200 e disposti simmetricamente ai lati di questa.

Sarà apprezzato che il ridotto ingombro dei dispositivi di locomozione laterali lascia disponibili ampi spazi interni alla capsula per l'inserimento di opportuna strumentazione e di adeguati sistemi di alimentazione, quali batterie o super-condensatori. In particolare, nell'esempio qui considerato circa il 60% dello
5 spazio interno della capsula è disponibile per l'alloggiamento delle batterie, del sistema di visione, del sistema di controllo, del sistema di telemetria e così via.

Sarà quindi apprezzato meglio a questo punto che il dispositivo dell'invenzione, particolarmente nelle forma di realizzazione preferite descritte, consente il
10 conseguimento dei seguenti vantaggi:

- mantenimento continuo della presa sul substrato intestinale; ciò consente, tra l'altro, di implementare un controllo della posizione contro eventuali azioni disturbanti esterne, quali le contrazioni peristaltiche;
- capacità di ruotare sul posto e quindi di orientamento rispetto ad un target da
15 sottoporre all'attenzione diagnostica o terapeutica;
- capacità di ruotare durante la locomozione per raggiungere un target da sottoporre all'attenzione diagnostica o terapeutica;
- efficienza energetica: la potenza richiesta è compatibile con quella offerta dalle attuali batterie commerciali;
- 20 – compattezza e possibilità di elevata miniaturizzazione (lunghezza minore di 30 mm e diametro inferiore a 15 mm): l'intero sistema di locomozione può essere montato su una capsula robotica le cui dimensioni sono comparabili a quelle delle capsule robotiche passive esistenti; almeno il 60% del volume complessivo della capsula è lasciato libero per ospitare altri sotto-sistemi.

25

Sarà infine apprezzato che l'invenzione fornisce anche un metodo di locomozione di un dispositivo su di un substrato cedevole, ad esempio visco-elastico che, nella sua accezione più generale, comprende:

- (a) una fase di pinzamento, nella quale una porzione del substrato viene

richiamata e trattenuta fra mezzi di pinzamento preferibilmente del tipo sopra descritto, in modo tale da stabilire un punto di ancoraggio sul substrato stesso; e

- 5 (b) una fase di spostamento, successiva a detta fase di pinzamento, nella quale il dispositivo avanza rispetto al substrato rilasciando gradualmente il substrato richiamato in detta fase (a).

10 La descrizione sopra riportata è stata riferita alla forma di realizzazione preferita del dispositivo dell'invenzione intesa per applicazione in ambito di endoscopia del tratto digerente. Tuttavia, come già menzionato sopra, il dispositivo ed il metodo dell'invenzione sono applicabili anche in altri contesti industriali.

15 La presente invenzione è stata fin qui descritta con riferimento a forme preferite di realizzazione. È da intendersi che possano esistere altre forme di realizzazione che afferiscono al medesimo nucleo inventivo, come definito dall'ambito di protezione delle rivendicazioni qui di seguito riportate.

RIVENDICAZIONI

- 1.** Dispositivo di locomozione (1) su di un substrato deformabile (M), particolarmente idoneo per applicazioni endoscopiche nel tratto gastro-intestinale, comprendente
- 5 mezzi di pinzamento (4), atti a richiamare e trattenere una porzione del substrato in modo tale da stabilire un punto di ancoraggio del dispositivo (1) sul substrato stesso,
- i quali mezzi di pinzamento (4) comprendono una coppia di elementi girevoli (430, 440) atti ad essere azionati secondo versi di rotazione mutuamente
- 10 opposti ed atti, mediante tale moto relativo, a svolgere detta funzione di richiamo e trattenimento del substrato.
- 2.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione 1, in cui gli elementi (430, 440) di detta coppia presentano distanza relativa variabile, in modo tale da consentire il pinzamento del substrato fra di essi.
- 15 **3.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui detti mezzi di pinzamento (4) comprendono un elemento di contrasto (67) atto ad opporsi alla variazione di detta distanza relativa.
- 4.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui detto elemento di contrasto è una molla di torsione (67).
- 20 **5.** Dispositivo di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detti mezzi di pinzamento (4) comprendono una coppia di cinghie (43, 44) presentanti rispettive porzioni affacciate (430, 440) dotate di detto moto relativo.
- 6.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui
- 25 ciascuna di dette cinghie (43, 44) è tensionata mediante una o più rispettive pulegge (45, 46, 48), almeno una (46) delle quali mobile in modo tale da consentire una variazione della distanza relativa fra dette porzioni affacciate (430, 440).
- 7.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui

almeno una (46) di dette pulegge è montata su di un elemento bilanciante (47) basculante.

5 **8.** Dispositivo di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 5 a 7, in cui ciascuna di dette cinghie (43, 44) presenta una porzione a sviluppo sostanzialmente rettilineo (431, 441), disposta a monte di detta porzione affacciata (430, 440) sull'altra cinghia rispetto al verso di rotazione suddetto.

10 **9.** Dispositivo di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi motori (31, 32) per azionare detti mezzi di pinzamento (4) e mezzi di trasmissione (51, 52) interposti fra questi ultimi e detti mezzi motori (31, 32).

10. Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione precedente, in cui detti mezzi di trasmissione comprendono un riduttore.

15 **11.** Dispositivo di locomozione (1) secondo la rivendicazione 9 o 10, in cui detti mezzi di trasmissione (51, 52) comprendono un accoppiamento corona dentata (511, 521) - vite senza fine (512, 522).

12. Dispositivo di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente una duplice coppia di detti elementi dotati di moto relativo, dette coppie di elementi essendo azionabili in modo indipendente così da consentire una rotazione del dispositivo stesso rispetto al substrato.

20 **13.** Dispositivo di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi di attuazione di detti mezzi di pinzamento (4), atti a consentire un azionamento selettivo di questi ultimi in modo tale da alternare fasi di pinzamento del substrato a fasi di spostamento del dispositivo rispetto ad esso.

25 **14.** Capsula endoscopica (200) comprendente uno o più dispositivi di locomozione (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

15. Capsula endoscopica (200) secondo la rivendicazione precedente, che comprende una coppia di detti dispositivi di locomozione, ciascuno disposto in corrispondenza di un rispettivo lato della capsula stessa.

30 **16.** Metodo di locomozione di un dispositivo su di un substrato deformabile,

comprendente:

- 5 (c) una fase di pinzamento, nella quale una porzione del substrato visco-elastico viene richiamata e trattenuta fra mezzi di pinzamento (4) del dispositivo, in modo tale da stabilire un punto di ancoraggio sul substrato stesso; e
- (d) una fase di spostamento, successiva a detta fase di pinzamento, nella quale il dispositivo avanza rispetto al substrato rilasciando gradualmente il substrato richiamato in detta fase (a).

10 **17.** Metodo di locomozione secondo la rivendicazione precedente, comprendente una pluralità di fasi di pinzamento (a) e spostamento (b) alternate.

18. Metodo secondo la rivendicazione 16 o 17, in cui detta fase (a) viene eseguita azionando due elementi girevoli (43, 44) secondo versi di rotazione mutuamente opposti, in modo tale che detti richiamo e trattenimento del
15 substrato vengano ottenuti tramite detto moto relativo.

19. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 16 a 18, in cui detto dispositivo (1) è realizzato secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 13.

CLAIMS

- 1.** A locomotion device (1) for locomotion onto a deformable substrate (M), particularly suitable for endoscopic applications in the gastrointestinal tract, comprising
- 5 pinching means (4), apt to draw and hold a portion of the substrate so as to establish an anchoring point of the device (1) onto the substrate itself,
- which pinching means (4) comprises a pair of rotatable members (430, 440) apt to be driven along mutually opposite verses of rotation and apt, by such a relative motion, to perform said substrate drawing and holding function.
- 10 **2.** The locomotion device (1) according to claim 1, wherein the members (430, 440) of said pair have a variable relative distance, so as to allow substrate pinching therebetween.
- 3.** The locomotion device (1) according to the preceding claim, wherein said pinching means (4) comprises a contrast member (67), apt to oppose a
- 15 variation of said relative distance.
- 4.** The locomotion device (1) according to the preceding claim, wherein said contrast member is a torsion spring (67).
- 5.** The locomotion device (1) according to any one of the preceding claims, wherein said pinching means (4) comprises a pair of belts (43, 44) having
- 20 respective facing portions (430, 440) provided with said relative motion.
- 6.** The locomotion device (1) according to the preceding claim, wherein each of said belts (43, 44) is tensioned by one or more respective pulleys (45, 46, 48), at least one (46) of which movable so as to allow a variation in the relative distance between said facing portion (430, 440).
- 25 **7.** The locomotion device (1) according to the preceding claim, wherein at least one (46) of said pulleys is mounted on a tilting rocker arm member (47).
- 8.** The locomotion device (1) according to any one of the claims 5 to 7, wherein each of said belts (43, 44) has a portion (431, 441) with a substantially

rectilinear development, arranged upstream of said portion (430, 440) facing the other belt with respect to the abovementioned verse of rotation.

9. The locomotion device (1) according to any one of the preceding claims, comprising motor means (31, 32) for driving said pinching means (4) and
5 transmission means (51, 52) interposed between the latter and said motor means (31, 32).

10. The locomotion device (1) according to the preceding claim, wherein said transmission means comprises a reduction gear.

11. The locomotion device (1) according to claim 9 or 10, wherein said
10 transmission means (51, 52) comprises a ring gear (511, 521) - worm (512, 522) coupling.

12. The locomotion device (1) according to any one of the preceding claims, comprising a double pair of said members provided with relative motion, said pairs of members being independently driveable so as to allow a rotation of the
15 device itself with respect to the substrate.

13. The locomotion device (1) according to any one of the preceding claims, comprising means for actuating said pinching means (4), apt to allow a selective actuation of the latter so as to alternate steps of pinching the substrate to steps of shifting the device with respect thereto.

14. An endoscopic capsule (200) comprising one or more locomotion
20 devices (1) according to any one of the preceding claims.

15. The endoscopic capsule (200) according to the preceding claim, comprising a pair of said locomotion devices, each arranged in correspondence of a respective side of the capsule itself.

16. A locomotion method for locomotion of a device on a deformable
25 substrate, comprising:

(a) a pinching step, in which a portion of the viscoelastic substrate is drawn and held between pinching means (4) of the device, so as to establish an anchoring point on the substrate itself; and

(b) a shifting step, subsequent to said pinching step, in which the device advances with respect to the substrate gradually releasing the substrate drawn in said step (a).

5 **17.** The locomotion method according to the preceding claim, comprising a plurality of alternate pinching (a) and shifting (b) steps.

18. The method according to claims 16 or 17, wherein said step (a) is carried out by driving two rotatable members (43, 44) along mutually opposite verses of rotation, so that said substrate drawing and pinching be obtained by means of said relative motion.

10 **19.** The method according to any one of the claims 16 to 18, wherein said device (1) is manufactured according to any one of the claims 1 to 13.

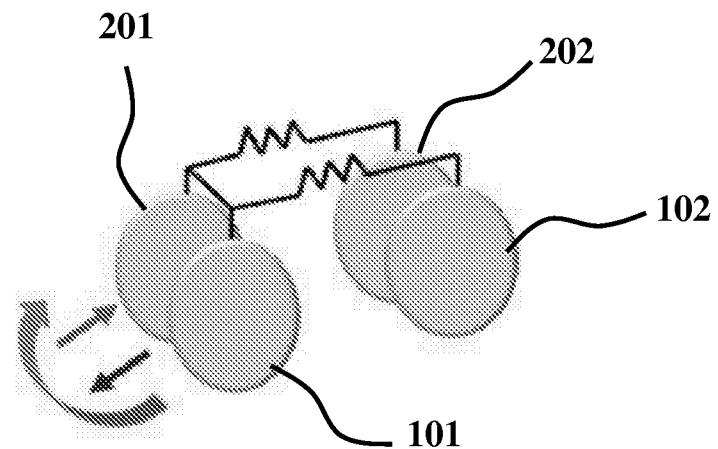
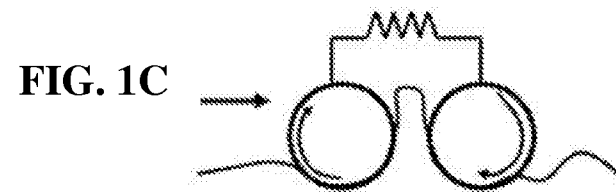
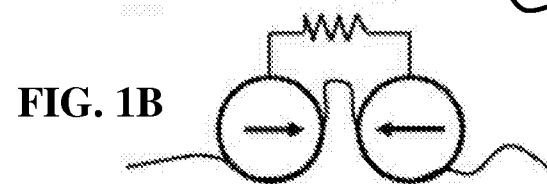
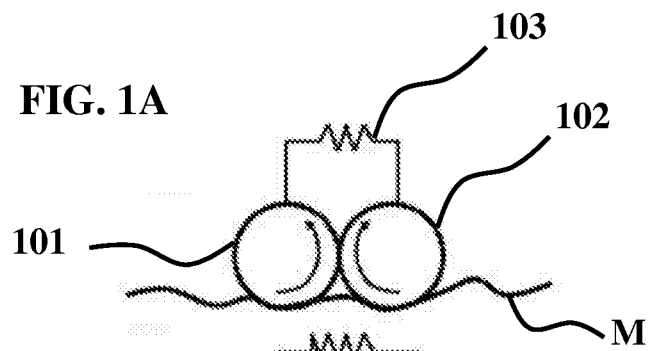


FIG. 2

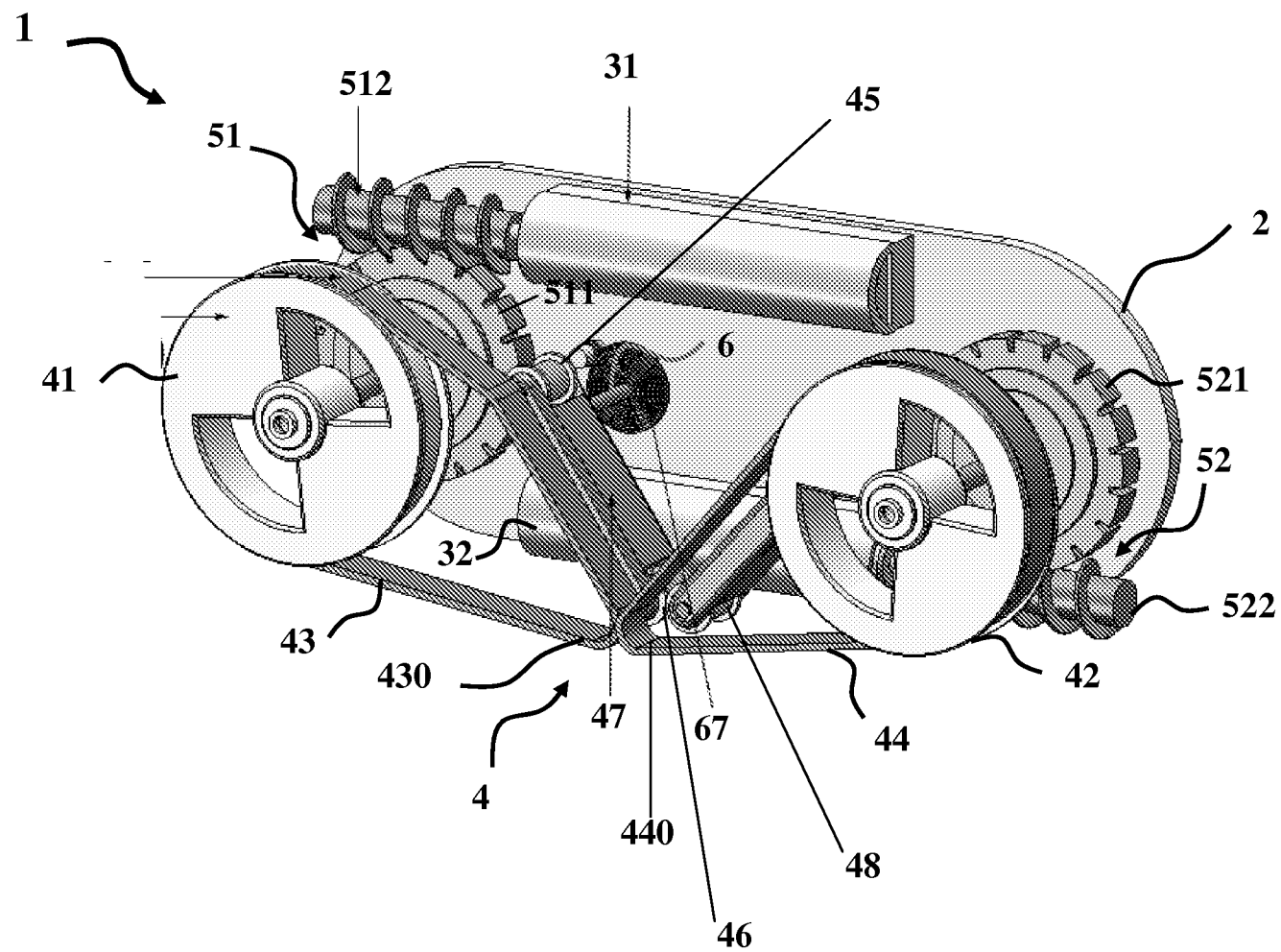


FIG. 3

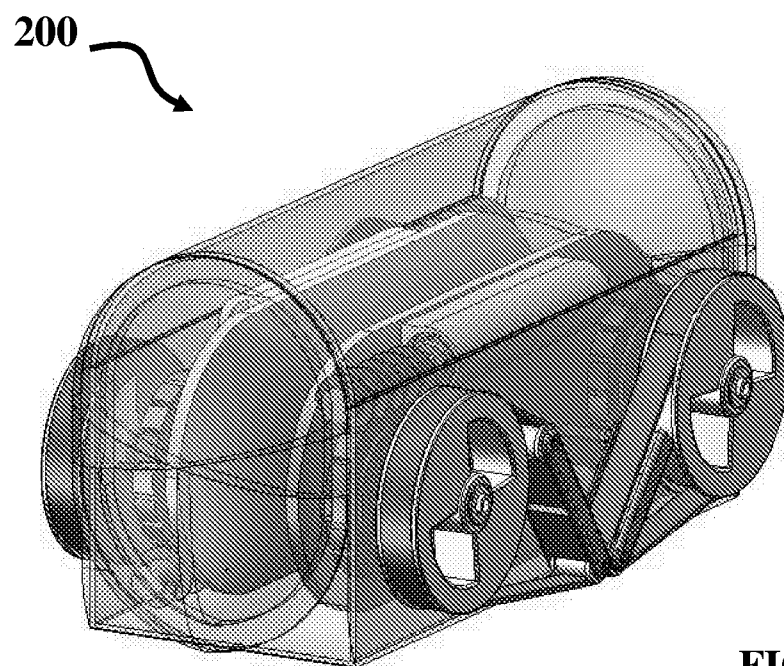


FIG. 4A

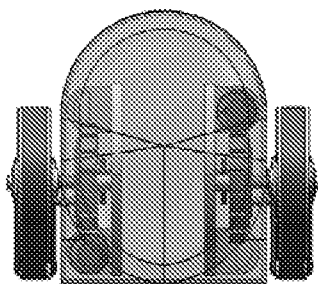


FIG. 4B

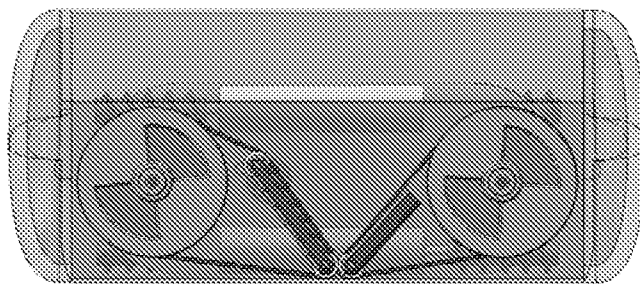


FIG. 4C