



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

DOMANDA NUMERO	102007901549726
Data Deposito	10/08/2007
Data Pubblicazione	10/02/2009

Titolo

DISPOSITIVO MECCATRONICO INDOSSABILE.

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:
"DISPOSITIVO MECCATRONICO INDOSSABILE" a nome della
Scuola Superiore di Studi Universitari S.Anna, con
sede a PISA (PI).

5

DESCRIZIONE

Ambito dell'invenzione

La presente invenzione riguarda un esoscheletro
meccatronico indossabile per la neuoriabilitazione
dell'arto di un paziente, in particolare in
10 corrispondenza dell'articolazione del gomito, ma anche
per spalle, polso o del ginocchio, ecc., e per
l'allenamento sportivo (training). Ulteriori
applicazioni riguardano la possibilità di utilizzare
l'esoscheletro per lo studio della biomeccanica del
15 braccio.

Stato dell'arte

Tra i dispositivi meccatronici noti per la
riabilitazione di un arto, in particolare dell'arto
superiore, ne esistono alcuni ad esoscheletro. Tra di
20 essi, alcuni hanno una trasmissione del moto alle
articolazioni, tramite dispositivi meccatronici ad
esoscheletro con ritorno di forza, per una varietà di
applicazioni come teleoperazione, realtà virtuale,
ecc.

25 US2004106881 descrive un sistema per la
riabilitazione del gomito indossabile, attuato con

cavi in modalità agonista/antagonista. Esso prevede la possibilità di utilizzare diverse tipologie di attuazione remota per la movimentazione dei cavi di attuazione. L'attuazione utilizza un singolo cavo
5 avvolto sulla puleggia di attuazione comandato da un singolo attuatore e questa soluzione non consente di controllare indipendentemente la posizione e la stiffness al giunto che richiede necessariamente l'utilizzo di due attuatori. L'accoppiamento
10 cinematico della struttura con il gomito del braccio è una cerniera quindi non è in grado di autoallinearsi con l'articolazione del braccio. Le interfacce meccaniche per l'accoppiamento del braccio sono costituite da manicotti in schiuma polimerica a celle
15 chiuse o aperte e fissate al braccio tramite degli straps. Il collegamento con i due bracci rigidi della cerniera avviene tramite cerniere o strap. Tale dispositivo noto non prevede un sistema elastico sensorizzato a doppio guscio.

20 Un altro sistema noto è quello descritto in WO9740789 relativo ad un sistema che permette di allineare un giunto rotoidale con l'inclinazione angolare iniziale dell'asse dell'articolazione. Questa registrazione è fissa per tutto il range di movimento
25 dell'articolazione comportando lo svantaggio di non permettere l'autoallineamento del giunto durante il

movimento dell'articolazione. L'interfaccia meccanica per l'accoppiamento con l'arto utilizza un guscio in materiale plastico accoppiato con delle schiume polimeriche e sistema a strap per fissare il sistema
5 all'arto. Tale dispositivo, inoltre ha lo svantaggio che non comprende alcuna tipologia di attuazione.

Sintesi dell'invenzione

È scopo della presente invenzione fornire un esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un
10 arto, quale in grado di trasmettere all'arto forze e coppie motrici necessarie per muoverlo senza indurre sollecitazioni non desiderate all'articolazione.

Un altro scopo dell'invenzione è fornire un esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un
15 arto, che consenta un corretto inseguimento dell'asse articolare e una corretta trasmissione della coppia motrice applicata all'articolazione evitando il generarsi di sollecitazioni dovute al disallineamento fra l'asse di articolazione e l'asse del giunto
20 stesso.

Ulteriore scopo dell'invenzione è fornire un esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un arto in grado di trasmettere all'arto una coppia motrice con uno schema di attuazione agonista/
25 antagonista che consente di implementare sistemi di controllo bioispirati in grado di interfacciarsi in

maniera ottimale con l'arto di un paziente sottoposto a riabilitazione.

Un altro scopo dell'invenzione è fornire un esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un
5 arto, facilmente adattabile ad utilizzatori di dimensioni antropometriche differenti tramite l'utilizzo di un'interfaccia personalizzata ad hoc sull'utente.

È ancora scopo dell'invenzione fornire un
10 esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un arto, che risulti indossabile e di ingombro e peso ridotti.

Un altro scopo dell'invenzione è fornire un esoscheletro mecatronico per la riabilitazione di un
15 arto che consenta il corretto accoppiamento del dispositivo all'impedenza dell'arto.

Questi ed altri scopi sono soddisfatti da un dispositivo mecatronico indossabile per la riabilitazione di un arto, detto arto comprendendo un
20 elemento prossimale ed un elemento distale uniti da una articolazione, detta articolazione avendo un asse istantaneo di articolazione, comprendente:

- una struttura prossimale portante rigida fissabile a detto elemento prossimale di detto
25 arto ed una struttura distale portante rigida fissabile a detto elemento distale di detto arto,

dette strutture prossimale e distale essendo girevolmente connesse fra loro attorno ad un asse di rotazione;

- mezzi per generare una coppia motrice tra dette
5 strutture prossimale e distale;
- mezzi per misurare la posizione angolare tra dette
strutture prossimale e distale;

detto dispositivo essendo caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi di autoallineamento istantaneo
10 di detto asse di rotazione e di detto asse istantaneo di articolazione, detti mezzi di autoallineamento comprendendo mezzi per muovere selettivamente detto asse di rotazione attorno ad un punto, all'interno di uno spazio delimitato da due
15 coni contrapposti aventi vertice coincidente in detto punto.

In particolare, detti mezzi di autoallineamento comprendono una coppia di giunti orientabili contrapposti, ciascun giunto orientabile essendo
20 formato da un anello e da un albero che costituisce detto asse di rotazione, detto anello e detto albero non potendo ruotare relativamente attorno a detto asse di rotazione, ma potendo ruotare in modo limitato attorno a due assi ortogonali a detto asse di
25 rotazione, in modo da definire un moto conico di detto albero rispetto a detto punto.

Preferibilmente, ciascun albero, che è vincolato tra dette strutture prossimale o distale, riceve girevolmente una puleggia motorizzata solidale all'altra tra dette strutture prossimale o distale.

5 In altre parole, l'albero è vincolato a detta struttura prossimale e la puleggia motorizzata è solidale a detta struttura distale, o viceversa.

In tal modo, azionando detta puleggia, detto asse di rotazione insegue operativamente detto asse
10 istantaneo di articolazione, senza indurre sollecitazioni indesiderate all'articolazione. Così, un siffatto dispositivo allineandosi passivamente alle variazioni della direzione dell'asse istantaneo di articolazione dell'arto trasmette una coppia tra detti
15 elemento prossimale e distale orientata secondo la direzione dell'asse di articolazione, ossia l'asse fisiologico. Con questa soluzione è quindi possibile trasmettere all'articolazione del gomito una coppia pura evitando che componenti non desiderate vadano a
20 sollecitare l'arto dell'utilizzatore in modo improprio.

Vantaggiosamente, detti giunti orientabili contrapposti sono rispettivamente associati ad una prima ed una seconda catena cinematica disposte
25 specularmente tra loro rispetto ad un piano longitudinale dell'arto e associate a detta struttura

prossimale o distale.

In particolare ciascuna catena cinematica ha in serie:

- un link rigido avente una prima estremità scorrevolmente connessa a detto giunto orientabile
tramite una guida circolare ed una seconda estremità scorrevolmente connessa a detta struttura prossimale o distale;
- almeno una biella incernierata ad una estremità a detto link rigido in prossimità di detta seconda estremità e ad un'altra estremità ad un bilanciere;
- detto bilanciere essendo incernierato al centro a detta struttura prossimale o distale e ad una estremità a detta biella, l'altra estremità di detto bilanciere essendo incernierata alla biella dell'altra catena cinematica.

In tal modo, detto giunto orientabile consente di orientare gli alberi di collegamento, dimensionati per ricevere una coppia motrice necessaria a movimentare l'articolazione. Il dispositivo è progettato e dimensionato affinché l'asse individuato dalle guide circolari sia perpendicolare e incidente con l'asse formato dagli alberi di collegamento. Il sistema a bilanciere garantisce un accoppiamento antisimmetrico fra i due link per garantire il mantenimento

dell'allineamento degli assi degli alberi di collegamento.

In particolare, dette bielle di collegamento hanno lunghezza registrabile, e dette bielle hanno
5 preferibilmente teste a snodo sferico per realizzare l'incernieramento con detto link rigido o detto bilanciere.

Vantaggiosamente, dette guide lineari e/o circolari sono accoppiate a slitte a basso attrito, in
10 particolare slitte a sfere.

In particolare, detto link rigido è sagomato ad L e piegato su una superficie sostanzialmente cilindrica in modo da disporsi operativamente attorno all'arto.

Vantaggiosamente, detta struttura prossimale e
15 distale hanno forma anatomica sostanzialmente a sella, con sezione ad U, per consentire all'arto di inserirsi al suo interno, in particolare dette strutture essendo conformate in modo da comprendere fermi meccanici per evitare l'iperestensione dell'arto. Una tale
20 conformazione conferisce al dispositivo secondo l'invenzione un ingombro ridotto.

Vantaggiosamente, detta prima e seconda struttura hanno forma scatolata cava all'interno, in particolare realizzata in fibra di carbonio. In tal modo il
25 dispositivo secondo l'invenzione risulta leggero e l'intercapedine interna delle suddette strutture

esterne può essere sfruttata per il passaggio dei cablaggi di sensori e sistemi di attuazione, ma anche per alloggiare strutture meccaniche di sostegno.

Vantaggiosamente, detti mezzi per generare una
5 coppia motrice tra detta prima e seconda struttura comprendono mezzi di attuazione in configurazione agonista/antagonista.

Vantaggiosamente, detti mezzi di attuazione in configurazione agonista/antagonista comprendono:

- 10 - una puleggia associata a detto albero orientabile, detta puleggia essendo solidale a detta struttura prossimale o distale;
- una coppia di cavi che rispettivamente si avvolgono e si svolgono su detta puleggia per
15 attuare la rotazione tra detta struttura prossimale e detta struttura distale, detti cavi avendo un'estremità vincolata rispettivamente ad un primo ed un secondo punto di attacco periferico di detta puleggia.

20 Vantaggiosamente, detti cavi sono scorrevoli all'interno di una rispettiva guaina, detta guaina avendo un'estremità vincolata a detta struttura distale. In tal modo, la disposizione della puleggia rispetto ai punti di attacco dei cavi Bowden consente
25 di scaricare le forze di reazione delle guaine alla struttura su cui è vincolata la puleggia rendendo

auto-equilibrato la struttura del dispositivo.

Alternativamente, anziché una puleggia montata folle, detti mezzi di attuazione comprendono un riduttore epicicloidale avente:

- 5 - una puleggia di avvolgimento di detti cavi di attuazione;
- un ingranaggio solare solidale coassialmente a detta puleggia di avvolgimento;
- ingranaggi satelliti che ingranano perifericamente
- 10 su detto ingranaggio solare;
- un portatreno solidale a detto guscio distale o prossimale;
- una corona solare scorrevolmente connessa su detto albero di detto giunto orientabile.

- 15 Vantaggiosamente, detto albero autoallineante comprende un sensore di coppia in grado di misurare la coppia tra detta struttura prossimale e detta struttura distale.

- In particolare, detto sensore di coppia è
- 20 integrato su detta puleggia, detta puleggia avendo una pluralità di razze, dette razze comprendendo almeno un estensimetro in grado di trasferire informazioni di forza ad un sistema di controllo, detto almeno un estensimetro essendo preferibilmente associato a un
- 25 ponte di Wheatstone per filtrare le componenti di forza applicate dai cavi dalla coppia pura tra le

strutture.

Alternativamente, sono previsti mezzi per misurare le forze applicate a ciascuno di detti cavi di attuazione, comprendenti una cella di carico avente
5 una prima estremità fissa ed una seconda estremità girevolmente connessa ad una puleggia devia-cavo su cui è operativamente impegnato detto cavo, detto cavo premendo trasversalmente su detta puleggia devia-cavo ed azionando detta cella di carico, detta cella di
10 carico fornendo in uscita un segnale proporzionale ad una componente trasversale F_y di detta forza, da detta componente trasversale F_y essendo ricavabile detta forza.

L'utilizzo di un sistema di trasmissione con
15 Bowden cable consente di disporre il sistema di attuazione a monte del dispositivo in una posizione remota rispetto all'utilizzatore. In questo modo è possibile prevedere l'utilizzo di diverse tipologie di attuatori per l'azionamento del sistema.

20 Vantaggiosamente, detta prima e seconda struttura sono realizzate mediante un guscio interno ed un guscio esterno, connessi tramite mezzi di accoppiamento, detto guscio interno rimanendo operativamente a contatto con l'elemento distale o
25 prossimale dell'arto, mentre detto guscio esterno essendo accoppiato a detto guscio interno.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, i suddetti scopi sono soddisfatti da un dispositivo meccatronico indossabile per la riabilitazione di un arto nella articolazione tra un elemento prossimale ed un elemento distale, detto dispositivo essendo in
5 grado di misurare e controllare l'effettiva posizione tra detti elementi e di trasmettere forze e coppie motrici necessarie per muoverli, comprendente:

- una struttura prossimale portante rigida
10 fissabile a detto elemento prossimale di detto arto ed una struttura distale portante rigida fissabile a detto elemento distale di detto arto, dette strutture prossimale e distale essendo girevolmente connesse fra loro attorno ad un asse
15 di rotazione;
- mezzi per generare una forza motrice di rotazione tra dette strutture prossimale e distale;
- mezzi per misurare la posizione angolare tra dette strutture prossimale e distale;
- 20 caratterizzato dal fatto che detta struttura prossimale o distale sono realizzate mediante un guscio esterno ed un guscio interno connessi tramite mezzi di accoppiamento.

Vantaggiosamente, detto guscio interno ha una
25 struttura anatomica, in particolare conformato sull'arto. Esso costituisce l'interfaccia meccanica

confortevole tra la struttura rigida portante esterna del guscio esterno e l'arto, impedendo che quest'ultimo vada ad interferire con i mezzi di autoallineamento.

5 In particolare, detto guscio interno prossimale o distale comprende almeno uno tra:

- uno strato esterno in materiale termoformante, in particolare polipropilene;
- uno strato interno di imbottitura in materiali
10 polimerici espansi di basso spessore, in particolare plastazote o evalux.

In altre parole, lo strato esterno viene termoformato sulla forma dell'arto dell'utente ed il materiale utilizzato (polipropilene) ha la
15 caratteristica di essere sufficientemente rigido per sostenere un collegamento meccanico e sufficientemente elastico per adattarsi all'arto su cui verrà vincolato. I materiali di imbottitura interna a basso spessore e bassa deformabilità mantengono il comfort
20 per l'utente poiché anch'essi sono termoformati sull'arto interessato. L'utilizzo di materiali ortesici garantisce la traspirabilità e lo spazio esistente fra i gusci garantisce una adeguata aerazione per il drenaggio dell'umidità. L'utilizzo di
25 un guscio interno termoformato sull'arto interessato, permette di distribuire gli sforzi trasmessi su tutta

la superficie di accoppiamento con l'arto del
paziente, evitando la concentrazione di sforzi su aree
localizzate dell'arto che potrebbero danneggiare il
tessuto del braccio del paziente e generare sensazioni
5 di fastidio e scomodità.

Vantaggiosamente, detti mezzi di accoppiamento tra
detto guscio esterno e detto guscio interno
comprendono mezzi elastici di collegamento, in
particolare comprendenti mezzi sensori.

10 In particolare, detti mezzi elastici di
collegamento comprendono almeno una boccola elastica
con giunto sferico in modo da permettere un limitato
movimento relativo, in particolare, detti mezzi
elastici di collegamento essendo disposti in
15 prossimità di quattro vertici di detto guscio.

In particolare, detti mezzi sensori sono sensori
di forza, preferibilmente a tre assi. Dalla conoscenza
della forza di interfaccia e dalle caratteristiche
elastiche dei mezzi elastici di collegamento è
20 possibile calcolare gli spostamenti relativi. Inoltre,
la misura del valore delle forze di interfaccia
permette di garantire un adeguato livello di comfort
per l'utilizzatore e di ricevere una informazione
aggiuntiva sulla ripartizione della coppia motrice che
25 movimenta il giunto.

Breve descrizione dei disegni

L'invenzione verrà di seguito illustrata con la descrizione che segue di una sua forma realizzativa, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento ai disegni annessi in cui:

- 5 - le figure 1 e 2 mostrano due diverse viste prospettiche di una struttura prossimale portante connessa ad una struttura distale portante tramite un giunto orientabile di un dispositivo meccatronico indossabile secondo l'invenzione, in
10 cui tali strutture sono prive di guscio interno per semplicità di descrizione;
- la figura 3 mostra un dettaglio di un siffatto giunto autoallineante, avente un sensore di posizione angolare;
- 15 - la figura 4 mostra una vista prospettica di un siffatto dispositivo meccatronico indossabile;
- la figura 5 mostra un dettaglio di un giunto autoallineante secondo l'invenzione, comprendete una puleggia di azionamento su cui rispettivamente
20 si avvolge e si svolge un primo ed un secondo cavo Bowden;
- le figure 6, 7 e 8 mostrano come un siffatto dispositivo meccatronico può essere applicato ad un arto superiore di un utilizzatore, in particolare
25 al braccio e all'avambraccio, ricoprendo la parte posteriore dell'arto;

- la figura 9 mostra un esempio di guscio interno
conformato sull'arto dell'utilizzatore per un
migliore comfort di utilizzo, avente elementi di
collegamento, alla struttura rigida, elastici e
5 sensorizzati;
- la figura 10 mostra in dettaglio la struttura
meccanica del giunto autoallineante secondo
l'invenzione, avente un asse di rotazione mobile
all'interno di un doppio cono, in grado di
10 inseguire l'asse di rotazione tra braccio e
avambraccio dell'utilizzatore;
- la figura 11 mostra lo schema cinematico di una
siffatta struttura meccanica;
- la figura 12 mostra schematicamente in sezione una
15 possibile forma realizzativa di un giunto
autoallineante secondo l'invenzione;
- la figura 13 mostra in vista prospettica un
siffatto giunto autoallineante;
- le figure 14 e 15 mostrano schematicamente una
20 realizzazione di mezzi per misurare la forza
applicata ai cavi di azionamento e quindi per
misurare la coppia applicata al giunto.

Descrizione delle forme di realizzazione preferite.

Nelle figure 1 e 2 è illustrata una forma
25 realizzativa possibile di un dispositivo mecatronico
indossabile per la riabilitazione di un arto di un

paziente. In particolare, la forma realizzativa descritta nelle figure seguenti si riferisce ad una ortesi attuata per l'arto superiore, per la riabilitazione del gomito, ma, ovviamente gli stessi
5 principi si possono estendere ed applicare alle articolazioni di spalla e polso, come anche ad un arto inferiore.

Il dispositivo descritto nelle figure 1 e 2 comprende una struttura prossimale 2 rigida fissabile
10 ad esempio ad un braccio 40 di figure 6, 7 e 8, ed una struttura distale 3 rigida fissabile ad esempio ad un avambraccio 41. Le due strutture 2 e 3 sono connesse tra loro da un giunto rotativo autoallineante 6 e 7 che permette loro di ruotare attorno ad un asse di
15 rotazione autoallineante 4, in grado di inseguire istante per istante l'asse di rotazione tra braccio 40 ed avambraccio 41. Infatti, tale rotazione, in un arto superiore umano non è una semplice rotazione attorno ad un asse fisso, ma attorno ad un asse che varia la
20 sua inclinazione durante la rotazione stessa.

Le strutture prossimale e distale 2 e 3, sulle quali si scaricano le forze in gioco, sono formate da due gusci esterni "scatolati" cavi, aventi all'interno un'intercapedine 10, realizzati ad esempio
25 in fibra di carbonio. La conformazione di derivazione anatomica dei due gusci 2 e 3 ha permesso di ridurre

gli ingombri del sistema, inoltre essi sono sagomati per evitare l'iper-estensione del braccio tramite l'utilizzo di fermi meccanici non mostrati nelle figure.

5 I gusci 2 e 3 sono scatolati e cavi all'interno al fine di mantenere la struttura leggera e sfruttare l'intercapedine 10 per il passaggio dei cablaggi di sensori e sistemi di attuazione non mostrati in figure 1 e 2. Inoltre lo spazio fra guscio interno ed esterno
10 si presta per l'alloggiamento di mezzi di autoallineamento 5 che sostengono il giunto orientabile 6 e 7 sviluppato per inseguire l'orientamento dell'asse del gomito durante il suo movimento. Questo meccanismo è in grado di allinearsi
15 passivamente alle variazioni della direzione di un asse ed integra la possibilità di trasmettere una coppia orientata secondo la direzione dell'asse del giunto stesso 6 e 7. Con questa soluzione è possibile trasmettere all'articolazione del gomito una coppia
20 pura evitando che delle componenti, non desiderate, vadano a sollecitare l'arto del soggetto in modo improprio.

Come mostrato in figura 10, i suddetti mezzi di autoallineamento 5 dell'asse autoallineante 4
25 comprendono due catene cinematiche 11 e 12 speculari aventi un'estremità connessa con un bilanciere 60

incernierato in un suo punto intermedio alla struttura prossimale. Le catene cinematiche 11 e 12 sono connesse al bilanciere 60 tramite due rispettive bielle 55, ciascuna delle quali aventi le estremità
5 connesse tramite snodi sferici 56, 58 e 57, 59. Le catene cinematiche 11 e 12 sono scorrevoli parallelamente tra loro, scorrendo su rispettive guide lineari 53 e 54 solidali alla struttura prossimale. Tali guide lineari 53 e 54 possono essere, ad esempio,
10 guide lineari a sfere a basso attrito. Ciascuna catena cinematica 11 e 12 comprende un link rigido 51 o 52 avente una prima estremità connessa alla guida lineare 53 o 54 e allo snodo 56 o 57 delle bielle 55, ed una seconda estremità avente una guida circolare 61 o 62,
15 ad esempio a sfere, con centro coincidente col centro dell'articolazione. Le guide circolari 61 e 62 guidano un rispettivo giunto a due g.d.l. 63 e 64 che consente di orientare due rispettivi alberi di collegamento 31 e 32, dimensionati per ricevere la coppia motrice
20 necessaria a movimentare l'articolazione.

Il sistema è progettato e dimensionato affinché l'asse individuato dalle guide circolari 61 e 62 sia perpendicolare e incidente con l'asse formato dagli alberi di collegamento 31 e 32. Il sistema a
25 bilanciere 60 garantisce un accoppiamento antisimmetrico fra i due link 51 e 52 per garantire il

mantenimento dell'allineamento degli assi degli alberi di collegamento 31 e 32. L'asse di rotazione 4 del giunto può variare passivamente all'interno del doppio cono 65, riportato in figura 10. Le catene cinematiche 11 e 12 sono montate all'interno della struttura prossimale e conformate in modo tale da muoversi liberamente.

Uno schema cinematico dei mezzi di autoallineamento 5 di figura 10 è descritto in figura 11, in cui si distinguono le catene cinematiche 11 e 12 speculari e collegate dal bilanciere 60 incernierato nella cerniera 14 alla struttura prossimale, che in questo caso ha funzione di telaio. Alle estremità del bilanciere 60 sono vincolate le bielle 55 tramite coppie sferiche 58 e 59. Le bielle 55 sono poi vincolate ad una prima estremità dei link 51 e 52 tramite le coppie sferiche 56 e 57. Le stesse estremità dei link 51 e 52 sono vincolate al telaio tramite rispettive guide lineari a sfere a basso attrito 53 e 54. All'estremità opposta dei link 51 e 52 è connessa una rispettiva coppia prismatica circolare 61 e 62 avente una guida circolare su cui scorre un rispettivo giunto orientabile. Ciascuno dei due giunti orientabili ha due gradi di libertà formando rispettivamente le coppie rotoidali ortogonali 66, 68 e 67, 69, permettendo agli alberi di

collegamento di orientarsi liberamente secondo la direzione dell'asse di rotazione tra braccio e avambraccio dell'utilizzatore.

La cinematica del meccanismo è studiata affinché
5 eventuali sollecitazioni esterne agenti sui gusci
portanti vengano scaricate principalmente sul
bilanciere 60. In questo modo l'arto di chi indossa il
sistema non viene sollecitato, ad esempio, dal peso
proprio della struttura e dalle sollecitazioni
10 dinamiche che si possono indurre durante il movimento,
ad esempio generate da forze centrifughe.

In una possibile forma realizzativa il dispositivo
secondo l'invenzione comprende un guscio interno 70,
mostrato in figura 9, che operativamente è in contatto
15 con l'arto ed è accoppiato con la struttura portante.
In tal caso i mezzi di autoallineamento 5 sono
interposti tra il guscio e la struttura, che per
permettere all'arto di inserirsi al suo interno ha una
configurazione ad U. Il guscio 70 ha forma di guscio
20 anatomico, in quanto è termoformato sull'arto
interessato, permettendo di distribuire gli sforzi
trasmessi dagli elementi elastici su tutta la
superficie di accoppiamento con l'arto del paziente,
evitando la concentrazione di sforzi su aree
25 localizzate dell'arto che potrebbero danneggiare il
tessuto del braccio del paziente e generare sensazioni

di fastidio e scomodità. Esso costituisce l'interfaccia meccanica confortevole tra la struttura rigida portante 2 e 3 esterna e l'arto stesso dell'utilizzatore impedendo che quest'ultimo vada ad
5 interferire con i mezzi di autoallineamento.

Il guscio interno è realizzato a strati: esso ha, infatti, uno strato esterno costituito da materiale termoformante 72, ad esempio di polipropilene, ed uno strato interno 73 costituito da materiali polimerici
10 espansi di basso spessore termoformanti, ad esempio plastazote o evalux.

Tali materiali derivano da una consolidata esperienza nel settore ortopedico e garantiscono quindi una adeguata biocompatibilità.

15 Lo strato esterno viene termoformato sulla forma dell'arto dell'utente ed il materiale utilizzato (polipropilene) ha la caratteristica di essere sufficientemente rigido per sostenere un collegamento meccanico e sufficientemente elastico per adattarsi
20 all'arto su cui verrà vincolato.

Tra la struttura rigida 2 e 3 e il guscio interno sono presenti mezzi di collegamento elastico che comprendono almeno una boccia con giunto sferico. Nel caso descritto in figura sono presenti quattro
25 elementi elastici 71 per il collegamento alla struttura rigida 2 e 3 delle figure 1, 2, 6-8, mentre

queste ultime presentano corrispondenti boccole di collegamento 8. Gli elementi elastici 71, possono essere provvisti di sensori di forza triassiali in grado di misurare il vettore forza che viene trasmesso
5 attraverso di essi. La misura del valore delle forze di interfaccia permette di garantire un adeguato livello di comfort per l'utilizzatore e di ricavare una informazione aggiuntiva sulla ripartizione della coppia motrice che movimentata il giunto.

10 Essendo il collegamento tra la struttura rigida 2 e 3 e il guscio 70 elastico, la struttura rigida 2 e 3, entro certi limiti, può compensare gli eventuali disallineamenti dovuti agli artefatti da tessuto molle (muscoli, cute, adipe, ecc).

15 Inoltre, l'utilizzo di un guscio interno conformato sull'anatomia dell'arto dell'utente permette di evitare registrazioni in loco della struttura del sistema indossabile semplificando le procedure di indossaggio. Ogni utilizzatore sarà
20 provvisto del proprio set di involucri interni che verranno vincolati alle strutture rigide tramite elementi elastici appositamente predisposti.

Tutte le figure precedenti fanno vedere solo la struttura rigida esterna per semplicità di
25 descrizione, ma si intende che essa è accoppiata al guscio 70. Ovviamente, possono essere previste forme

realizzative della presente invenzione, prive di guscio.

La figura 12 mostra schematicamente in sezione una possibile forma realizzativa di mezzi di trasmissione del moto tra la struttura prossimale e la struttura distale 2 e 3, mentre la figura 13 mostra siffatti mezzi di trasmissione in vista prospettica. In tal caso, tali mezzi di trasmissione comprendono una puleggia di avvolgimento 23 dei cavi di attuazione 101 e 102, un ingranaggio solare 82 solidale all'albero 32 ed alla puleggia 23, ingranaggi satelliti 83, ad esempio 4, del riduttore epicicloidale, un portatreno 84 solidale al guscio distale 3, una corona solare 85 del riduttore traslante sull'albero 89 del giunto a due g.d.l.

La trasmissione del moto di rotazione al guscio distale 3 avviene tramite il suddetto riduttore epicicloidale, avente lo scopo di ridurre il valore della coppia in ingresso necessaria alla movimentazione. Questo accorgimento consente di ridurre le forze necessarie trasmesse dai cavi 101 e 102 alla puleggia motrice 32.

I cavi sono disposti su una puleggia liscia 23, tipo "capstan". Uno spessore calibrato 90 interposto tra la gola della puleggia 23 e la parete della corona 103 impedisce l'avvolgimento irregolare del cavo 101 e

102. Le estremità dei cavi 101 e 102 sono fissate al corpo della puleggia 23 in modo diametralmente opposto: così l'avvolgimento del cavo antagonista 101 sulla superficie della puleggia e viceversa.

5 La puleggia 23 è coassiale con il pignone 82 che costituisce l'ingranaggio solare di ingresso della coppia motrice al riduttore epicicloidale. Il portatreno 84, solidale al guscio esterno distale 3, sostiene i satelliti 83 del riduttore. Il movimento
10 del portatreno 84 quindi realizza la rotazione relativa dei due gusci esterni 2 e 3. Una coppia prismatica tra la corona 85 e l'albero 89, realizzata con un profilo scanalato, garantisce la sola trasmissione della corona solare 85 rispetto
15 all'albero 89 del giunto a due g.d.l. collegato al guscio esterno prossimale 2.

In questo modo la coppia di reazione, agente sulla corona, viene trasferita sul guscio esterno prossimale, consentendo la rotazione del portatreno 84
20 e contemporaneamente la traslazione rispetto al giunto a 2 g.d.l.

L'angolo di rotazione fisiologico del gomito dell'utilizzatore è inferiore a 180° , quindi anche il riduttore epicicloidale è progettato al fine di
25 garantire un angolo di rotazione del portatreno 84 inferiore a 180° . Sulla base di questa osservazione la

corona solare 5 è provvista di una apertura, ottenuta mediante fresatura di parte della parete esterna della corona 85, per consentire il movimento del guscio esterno distale 2 solidale al portatreno 84.

5 Una forma realizzativa alternativa di un giunto orientabile è mostrata in figure 3, 4 e 5. In tal caso, essa utilizza una trasmissione a cavi con guaine (Bowden cable), non mostrati, vincolate alle estremità in configurazione agonista/antagonista. I due cavi
10 agonista e antagonista non mostrati, rispettivamente si avvolgono e si svolgono su una puleggia 23 solidale alla struttura rigida distale. La disposizione della puleggia 23 rispetto ai punti di attacco 24 delle Bowden cable consente di scaricare le forze di
15 reazione delle guaine alla struttura su cui è vincolata la puleggia 23 di attuazione rendendo auto-equilibrata la struttura esterna distale. La puleggia 23 è progettata in modo da essere essa stessa un sensore di coppia al fine di trasferire informazione
20 al sistema di controllo. Le razze della puleggia, non mostrate, sono sensorizzate con estensimetri non mostrati disposti opportunamente in un ponte di Wheatstone al fine di filtrare le componenti di forza di tensione dei cavi e restituire l'informazione pura
25 in coppia.

La puleggia 23 è realizzata per potersi accoppiare

tramite una coppia prismatica con l'albero di collegamento 32 o 31 del giunto orientabile al fine di mantenere l'asse 4 del giunto allineato con quello effettivo di articolazione dell'arto
5 dell'utilizzatore.

L'utilizzo di un sistema di trasmissione con Bowden cable consente di disporre il sistema di attuazione a monte del dispositivo mecatronico indossabile in una posizione remota rispetto
10 all'utilizzatore, non gravando su di esso. In questo modo è possibile prevedere l'utilizzo di diverse tipologie di attuatori per l'azionamento del sistema.

Come mostrato in figure 14 e 15, possono essere previsti mezzi per misurare le forze applicate ai cavi
15 di attuazione per azionare i giunti. Nelle suddette figure sono mostrati i cavi di attuazione agonista ed antagonista 95 e 96, impegnati sulla puleggia 23 solidale ad uno dei gusci prossimale o distale.

I suddetti mezzi per misurare le forze, per
20 ciascuno dei due cavi 95 e 96, comprendono una cella di carico 97 e 98, per la misura di una componente trasversale F_y della risultante F_T applicata ai cavi, in cui la cella di carico 97 e 98 ha un'estremità libera connessa ad una rispettiva puleggia devia-cavo
25 99 e 100.

Il cavo 95 proveniente dalla puleggia di

attuazione 23 su cui è avvolto, viene deviato dalla puleggia 99 di un angolo noto α . Il perno, non mostrato, attorno al quale ruota la puleggia 23 è collegato ad una cella di carico 97 in grado di misurare il valore della componente F_y della forza risultante che agisce sulla puleggia. Noto l'angolo α è possibile risalire tramite un calcolo trigonometrico al valore della forza F applicata sul cavo. La cella di carico 97 e 98 è stata progettata ad hoc al fine di ridurre al minimo gli ingombri della stessa. Il medesimo principio viene utilizzato nei misuratori di tensione per le funi.

Conoscendo il valore delle forze applicate dai due cavi 95 e 96 è possibile risalire in maniera indiretta al valore della coppia applicata.

Le caratteristiche descritte conferiscono al dispositivo meccatronico indossabile secondo l'invenzione una facilità di utilizzo come ortesi attiva nel campo della riabilitazione dell'arto superiore e dell'assistenza personale.

La descrizione di cui sopra di varie forme esecutive specifiche è in grado di mostrare l'invenzione dal punto di vista concettuale in modo che altri, utilizzando la tecnica nota, potranno modificare e/o adattare in varie applicazioni tali forme esecutive specifiche senza ulteriori ricerche e

senza allontanarsi dal concetto inventivo, e, quindi,
si intende che tali adattamenti e modifiche saranno
considerabili come equivalenti delle forme esecutive
specifiche. I mezzi e i materiali per realizzare le
5 varie funzioni descritte potranno essere di varia
natura senza per questo uscire dall'ambito
dell'invenzione. Si intende che le espressioni o la
terminologia utilizzate hanno scopo puramente
descrittivo e per questo non limitativo.

RIVENDICAZIONI

1. Un dispositivo meccatronico indossabile per la riabilitazione di un arto, detto arto comprendendo un elemento prossimale ed un elemento distale uniti da una articolazione, detta articolazione avendo un asse istantaneo di articolazione, comprendente:
- una struttura prossimale portante rigida fissabile a detto elemento prossimale di detto arto ed una struttura distale portante rigida fissabile a detto elemento distale di detto arto, dette strutture prossimale e distale essendo girevolmente connesse fra loro attorno ad un asse di rotazione;
 - mezzi per generare una coppia motrice tra dette strutture prossimale e distale;
 - mezzi per misurare la posizione angolare tra dette strutture prossimale e distale;
- detto dispositivo essendo caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi di autoallineamento istantaneo di detto asse di rotazione e di detto asse istantaneo di articolazione, detti mezzi di autoallineamento comprendendo mezzi per muovere selettivamente detto asse di rotazione attorno ad un punto, all'interno di uno spazio delimitato da due coni contrapposti aventi vertice coincidente

in detto punto.

2. Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 1, in cui detti mezzi di
autoallineamento comprendono una coppia di giunti
5 orientabili contrapposti, ciascun giunto
orientabile essendo formato da un anello e da un
albero che costituisce detto asse di rotazione,
detto anello e detto albero non potendo ruotare
relativamente attorno a detto asse di rotazione,
10 ma potendo ruotare in modo limitato attorno a due
assi ortogonali a detto asse di rotazione, in modo
da definire un moto conico di detto albero
rispetto a detto punto.
3. Un dispositivo meccatronico, secondo la
15 rivendicazione 2, in cui ciascun albero, che è
vincolato tra dette strutture prossimale o
distale, riceve girevolmente una puleggia
motorizzata solidale all'altra tra dette strutture
prossimale o distale.
- 20 4. Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 2, in cui detti giunti orientabili
contrapposti sono rispettivamente associati ad una
prima ed una seconda catena cinematica disposte
specularmente tra loro rispetto ad un piano
25 longitudinale dell'arto e associate a detta
struttura prossimale o distale.

5. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 4, in cui ciascuna catena cinematica ha in serie:
- un link rigido avente una prima estremità scorrevolmente connessa a detto giunto orientabile tramite una guida circolare ed una seconda estremità scorrevolmente connessa a detta struttura prossimale o distale tramite una guida lineare;
 - almeno una biella incernierata ad una estremità a detto link rigido in prossimità di detta seconda estremità e ad un'altra estremità ad un bilanciere;
 - detto bilanciere essendo incernierato al centro a detta struttura prossimale o distale e ad una estremità a detta biella, l'altra estremità di detto bilanciere essendo incernierata alla biella dell'altra catena cinematica.
6. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 5, in cui dette bielle di collegamento hanno lunghezza registrabile, e dette bielle hanno preferibilmente teste a snodo sferico per realizzare l'incernieramento con detto link rigido o detto bilanciere.
7. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 5, in cui dette guide lineari e/o

circolari sono accoppiate a slitte a basso attrito, in particolare slitte a sfere.

5 **8.** Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 5, in cui detto link rigido è sagomato ad L e piegato su una superficie sostanzialmente cilindrica in modo da disporsi operativamente attorno all'arto.

10 **9.** Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 1, in cui detta struttura prossimale e distale hanno forma anatomica sostanzialmente a sella, con sezione ad U, per consentire all'arto di inserirsi al suo interno, in particolare dette strutture essendo conformate in modo da comprendere fermi meccanici per evitare
15 l'iperestensione dell'arto.

10. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 1, in cui detta prima e seconda struttura hanno forma scatolata cava all'interno, in particolare realizzata in fibra di carbonio.

20 **11.** Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi per generare una coppia motrice tra detta prima e seconda struttura comprendono mezzi di attuazione in configurazione agonista/antagonista.

25 **12.** Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 11, in cui detti mezzi di

attuazione in configurazione agonista/antagonista
comprendono:

- una puleggia associata a detto albero orientabile, detta puleggia essendo solidale a detta struttura prossimale o distale;
- una coppia di cavi che rispettivamente si avvolgono e si svolgono su detta puleggia per attuare la rotazione tra detta struttura prossimale e detta struttura distale, detti cavi avendo un'estremità vincolata rispettivamente ad un primo ed un secondo punto di attacco periferico di detta puleggia.

13. Un dispositivo mecatronico, secondo la rivendicazione 12, in cui detti cavi sono scorrevoli all'interno di una rispettiva guaina, detta guaina avendo un'estremità vincolata a detta struttura distale.

14. Un dispositivo mecatronico, secondo la rivendicazione 11, in cui detti mezzi di attuazione comprendono:

- una puleggia associata a detto albero orientabile;
- una coppia di cavi che rispettivamente si avvolgono e si svolgono su detta puleggia per attuare la rotazione tra detta struttura prossimale e detta struttura distale, detti

- cavi avendo un'estremità vincolata
rispettivamente ad un primo ed un secondo punto
di attacco periferico di detta puleggia;
- un ingranaggio solare solidale coassialmente a
5 detta puleggia di avvolgimento;
 - ingranaggi satelliti che ingranano
perifericamente su detto ingranaggio solare;
 - un portatreno solidale a detto guscio distale o
prossimale;
 - 10 - una corona solare scorrevolmente connessa su
detto albero di detto giunto orientabile.
- 15.** Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 2, in cui detto albero comprende un
sensore di coppia in grado di misurare la coppia
15 tra detta struttura prossimale e detta struttura
distale.
- 16.** Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 15 e 12 o 14, in cui detto sensore
di coppia è integrato su detta puleggia, detta
20 puleggia avendo una pluralità di razze, dette
razze comprendendo almeno un estensimetro in grado
di trasferire informazioni di forza ad un sistema
di controllo, detto almeno un estensimetro essendo
preferibilmente associato a un ponte di Wheatstone
25 per filtrare le componenti di forza applicate dai
cavi dalla coppia pura tra le strutture.

17. Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 12 o 14, in cui sono previsti mezzi
per misurare le forze applicate a ciascuno di
detti cavi di attuazione, comprendenti una cella
5 di carico avente una prima estremità fissa ed una
seconda estremità girevolmente connessa ad una
puleggia devia-cavo su cui è operativamente
impegnato detto cavo, detto cavo premendo
trasversalmente su detta puleggia devia-cavo ed
10 azionando detta cella di carico, detta cella di
carico fornendo in uscita un segnale proporzionale
ad una componente trasversale F_y di detta forza,
da detta componente trasversale F_y essendo
ricavabile detta forza.
- 15 18. Un dispositivo meccatronico, secondo la
rivendicazione 1, in cui detta prima e seconda
struttura sono realizzate mediante un guscio
interno ed un guscio esterno, connessi tramite
mezzi di accoppiamento, detto guscio interno
20 rimanendo operativamente a contatto con l'elemento
distale o prossimale dell'arto, mentre detto
guscio esterno essendo accoppiato a detto guscio
interno.
19. Un dispositivo meccatronico indossabile per la
25 riabilitazione di un arto nella articolazione tra
un elemento prossimale ed un elemento distale,

detto dispositivo essendo in grado di misurare e controllare l'effettiva posizione tra detti elementi e di trasmettere forze e coppie motrici necessarie per muoverli, comprendente:

- 5 - una struttura prossimale portante rigida fissabile a detto elemento prossimale di detto arto ed una struttura distale portante rigida fissabile a detto elemento distale di detto arto, dette strutture prossimale e distale
10 essendo girevolmente connesse fra loro attorno ad un asse di rotazione;
- mezzi per generare una forza motrice di rotazione tra dette strutture prossimale e distale;
- 15 - mezzi per misurare la posizione angolare tra dette strutture prossimale e distale;
- caratterizzato dal fatto che detta struttura prossimale o distale sono realizzate mediante un guscio esterno ed un guscio interno connessi
20 tramite mezzi di accoppiamento.

20. Un dispositivo mecatronico, secondo la rivendicazione 18 o 19, in cui detto guscio interno ha una struttura anatomica, in particolare conformabile sull'arto.

25 **21.** Un dispositivo mecatronico, secondo la rivendicazione 20, in cui detto guscio interno

prossimale o distale comprende almeno uno tra:

- uno strato esterno in materiale termoformante, in particolare polipropilene;
- uno strato interno di imbottitura in materiali polimerici espansi di basso spessore, in particolare plastazote o evalux.

5
22. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 20, in cui detti mezzi di accoppiamento tra detto guscio esterno e detto
10 guscio interno comprendono mezzi elastici di collegamento, in particolare comprendenti mezzi sensori.

23. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 22, in cui detti mezzi elastici di
15 collegamento comprendono almeno una boccola elastica con giunto sferico in modo da permettere un limitato movimento relativo, in particolare, detti mezzi elastici di collegamento essendo disposti in prossimità di quattro vertici di detto
20 guscio.

24. Un dispositivo meccatronico, secondo la rivendicazione 22, in cui detti mezzi sensori sono sensori di forza, preferibilmente a tre assi.

p.p. Scuola Superiore di Studi Universitari S.Anna

Fig.1

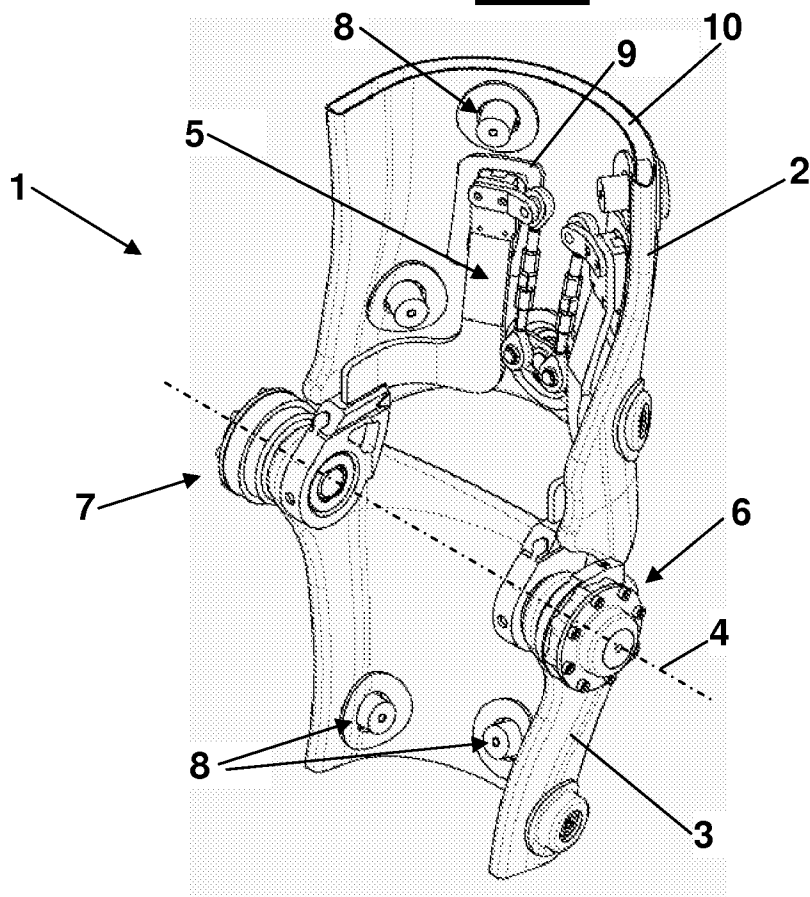
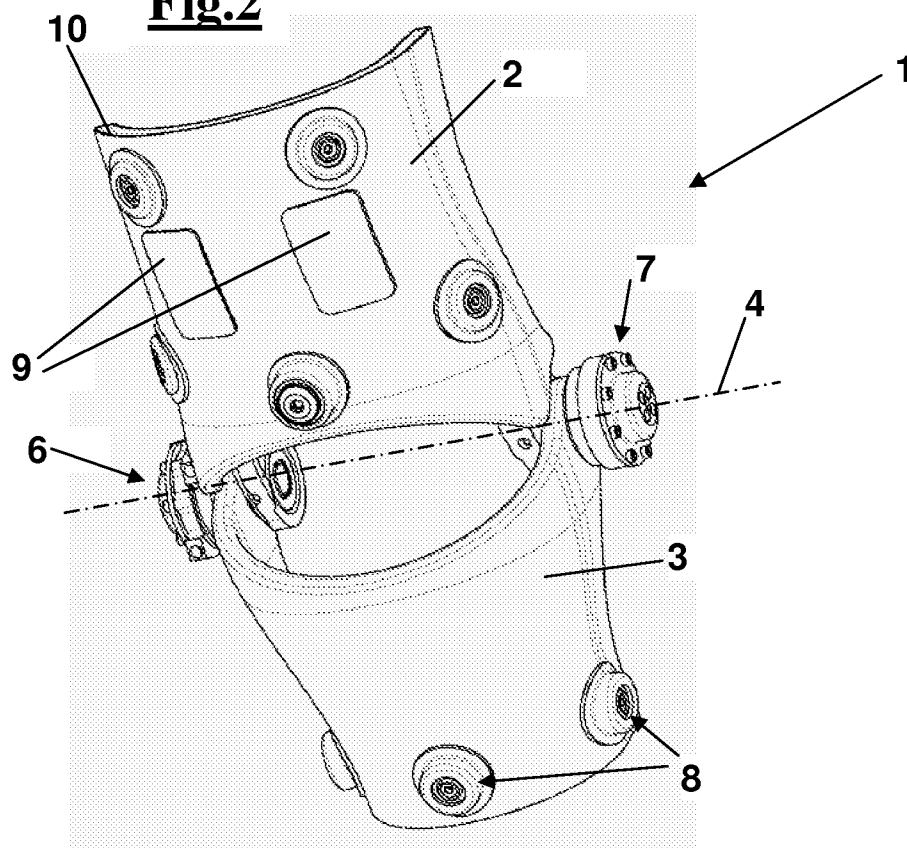


Fig.2



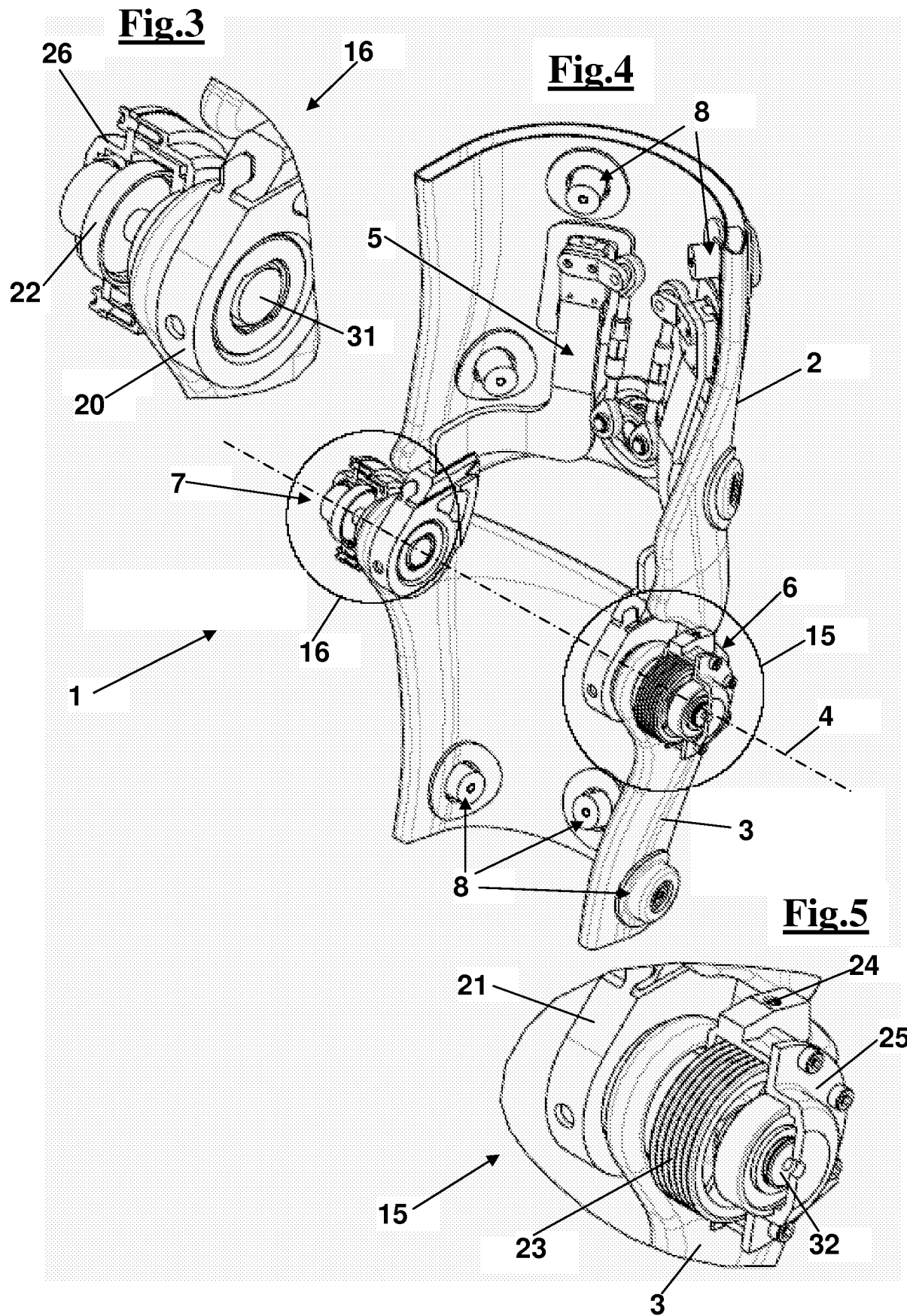


Fig.6

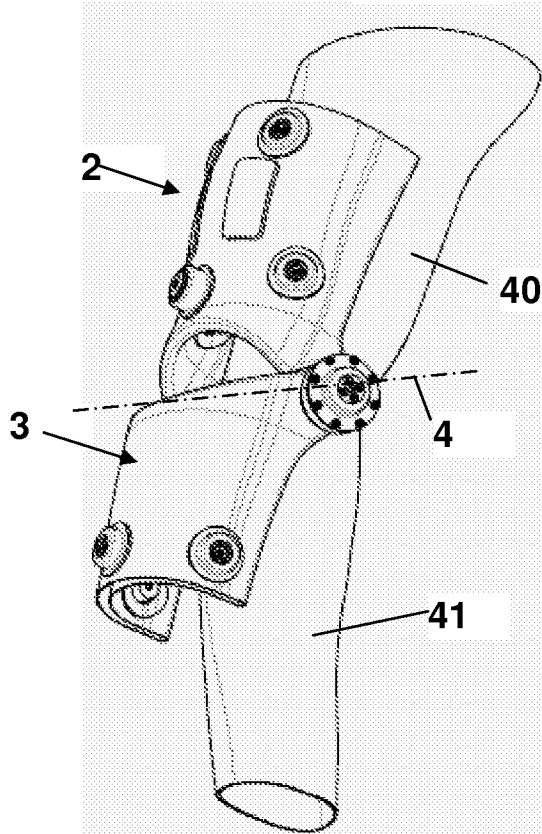


Fig.7

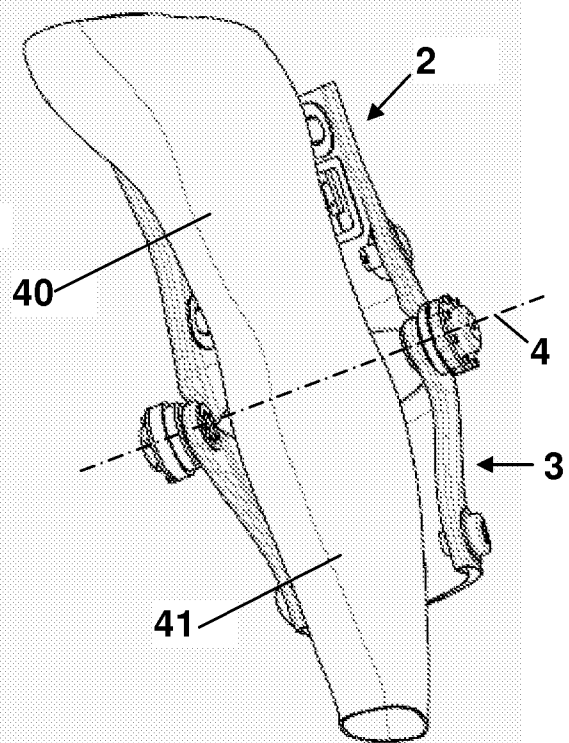


Fig.8

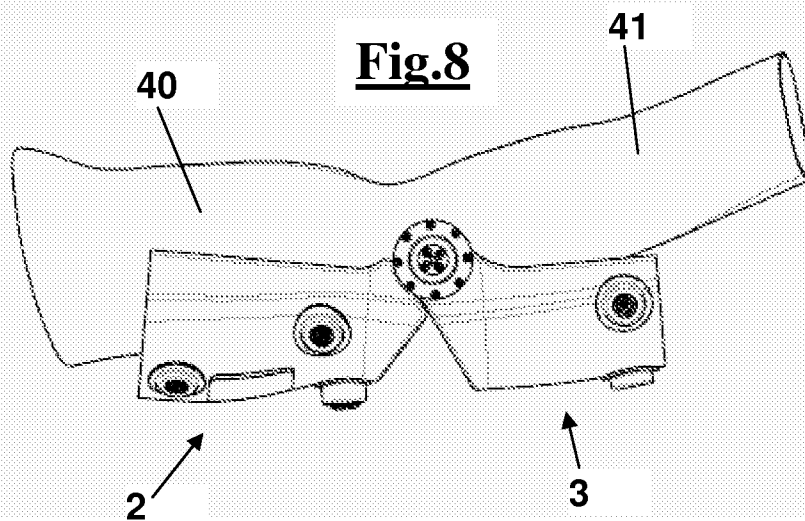


Fig.9

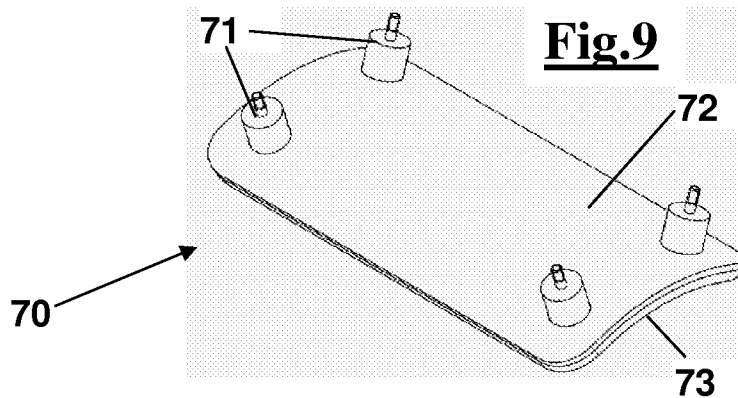


Fig.10

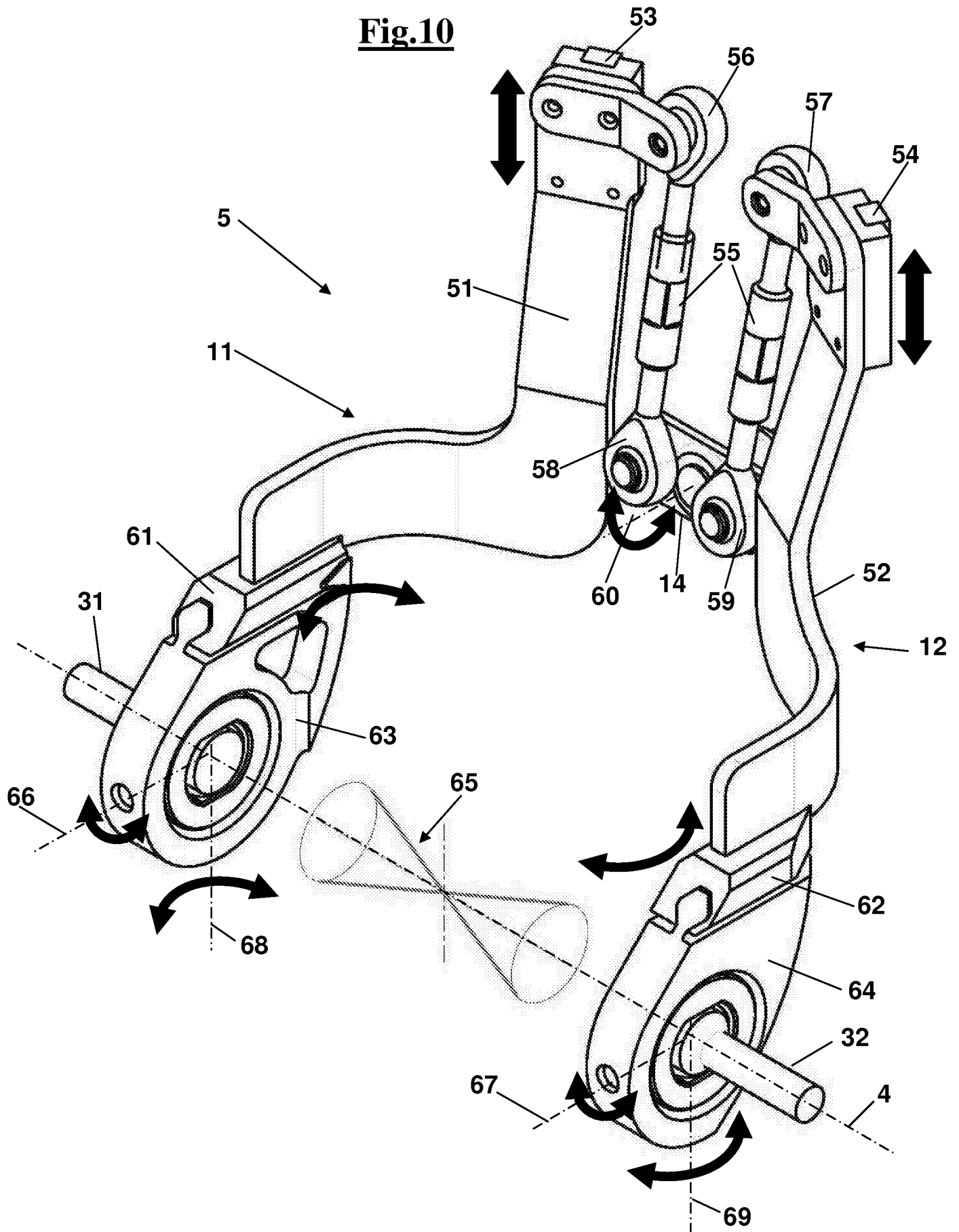


Fig.11

