

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000012392
Data Deposito	13/06/2022
Data Pubblicazione	13/12/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	25	J	9	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	25	J	15	02

Titolo

MANO ROBOTICA SOTTOATTUATA

MANO ROBOTICA SOTTOATTUATA

PREMESSA

La presente domanda di brevetto per invenzione industriale riguarda una mano robotica sotto-attuata ad elevata robustezza, intesa sia come capacità di resistenza alle sollecitazioni esterne (compliance) che come grado di resistenza ad ingresso di liquidi e particelle solide.

In particolare la presente domanda riguarda un meccanismo di comando delle quattro dita allineate di una mano antropomorfa.

CAMPO DELLA TECNICA

Il termine “mano robotica” si riferisce ad un dispositivo con ispirazione antropomorfa. Le mani robotiche proposte in letteratura sono suddivisibili in tre categorie principali, a seconda del loro numero di gradi di libertà (DOFs - Degrees of Freedom) e del loro numero di gradi di attuazione (DOAs - Degrees of Actuation): completamente attuate, sotto-attuate e ad attuazione ridondante.

Le mani robotiche completamente attuate hanno un numero di gradi di libertà pari al numero di gradi di attuazione. Le mani robotiche sotto-attuate hanno un numero di gradi di libertà superiore al numero di gradi di attuazione. Le mani robotiche ad attuazione ridondante hanno un numero di gradi di libertà inferiore al numero di gradi di attuazione.

Le mani robotiche completamente attuate, nonostante siano capaci di prese efficienti, risultano estremamente complesse, e ciò le porta ad avere costi elevati ed una complessiva mancanza di robustezza. Ciò in misura ancora maggiore vale per le mani robotiche ad attuazione ridondante. Questo è il motivo principale per cui negli ultimi anni si è sviluppato un interesse crescente nei design di mani robotiche sotto-attuate.

L'idea alla base della sotto-attuazione nella presa robotica è quella di utilizzare un sistema meccanico che, tramite l'utilizzo di elementi passivi come molle e limiti meccanici, possa

conformarsi automaticamente alla specifica forma dell'oggetto impugnato, in modo che sia richiesto un numero di attuatori minore del numero di DOFs. Ciò si traduce in sistemi di controllo più semplici e nella riduzione del costo del manipolatore.

Uno dei modi per ottenere un meccanismo sotto-attuato è quello di ricorrere ai sistemi differenziali, che distribuiscono automaticamente un input su diversi output, con il rapporto fra tali output definito dal loro stato cinematico e dai parametri di progettazione del meccanismo stesso. Per ottenere più di due output possono essere utilizzati diversi moduli differenziali, configurati in serie o in parallelo a seconda delle esigenze, ognuno dei quali aggiunge 1 DOF al sistema. In generale, per ottenere n output sono quindi necessari $(n - 1)$ stadi differenziali.

PRIOR ART

Sono note allo stato dell'arte, in particolare, mani robotiche sotto attuate che fanno uso di uno o più stadi differenziali per trasmettere il moto alle varie dita. Un esempio è descritto nel documento KR100848170. Un ulteriore esempio è descritto in JP2001277175, in cui viene descritta una mano robotica il cui schema cinematico, tratto dal documento citato, è mostrato in figura 0.

PROBLEMA TECNICO

Rimane tuttavia irrisolto il problema di fornire una mano robotica sotto-attuata che consenta l'attuazione di tutte le dita allineate in modo semplice per l'utilizzatore, che sia di costruzione robusta e che consenta una semplice sostituzione delle dita, ad esempio in caso di guasto, e regolazione del meccanismo delle stesse, e che abbia inoltre elevate caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni meccaniche ed alla penetrazione di liquidi e polveri, in modo da minimizzare la necessità di interventi manutentivi durante la vita utile del dispositivo.

Un ulteriore problema tecnico irrisolto allo stato dell'arte è quello di fornire una mano

robotica altamente sotto-attuata, con meccanismo basato su ruote e cinghie dentate e senza l'uso di mezzi di attuazione unidirezionale, tipo i tendini, in modo da avere un comportamento altamente ripetibile e quindi facilmente controllabile dall'utilizzatore.

Ancora un altro problema tecnico risolto dalla presente invenzione è quello di fornire una mano antropomorfa di dimensioni e peso comparabili con quelli di un arto normale, riducendo il numero dei componenti attivi (motori) in modo da contenere il peso del dispositivo ed aumentarne l'utilizzabilità.

Ulteriore problema risolto dalla mano secondo la presente invenzione è quello di fornire una mano robotica sotto-attuata il cui meccanismo consenta di imitare in maniera il più fedele possibile la funzionalità della mano umana, ed in particolare che consenta di distribuire la coppia di serraggio in maniera diversificata tra le varie dita, come avviene per la mano umana.

Da ultimo un problema tecnico risolto dalla presente invenzione è quello di fornire una mano robotica sotto-attuata in cui la dimensione delle falangi delle dita possa essere modificata senza rendere necessaria una riprogettazione del meccanismo e senza modificare il comportamento in presa del dispositivo.

BREVE DESCRIZIONE

Il trovato oggetto della presente invenzione realizza gli scopi prefissati in quanto trattasi di un meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa comprendente un motore (M1) e tre stadi differenziali configurati per trasmettere il moto da detto motore (M1) a dette dita allineate (2,3,4,5) caratterizzato dal fatto che: detti stadi differenziali sono stadi differenziali a ruote coniche, comprendenti ciascuno un portatreno (14, 24, 34) e due ruote solari (15, 16, 25, 26, 35, 36); detti stadi differenziali sono disposti in modo che siano allineati gli assi di rotazione di detti portatreno (14, 15, 16); detto motore (M1) è configurato per muovere il portatreno (14, 24, 34) di uno di

detti stadi differenziali; detti stadi differenziali sono configurati in modo che almeno uno dei solari di detto stadio differenziale mosso dal motore M1 sia solidale al portatreno di un secondo stadio differenziale ad esso adiacente; detti stadi differenziali sono configurati per muovere dette quattro dita allineate (2,3,4,5) per mezzo di quattro di dette ruote solari (15, 16, 25, 26, 35, 36); la ruota solare non impegnata nel movimento di dette dita allineate e non solidale al portatreno di detto secondo stadio differenziale è solidale al portatreno di detto terzo stadio differenziale.

DESCRIZIONE DELLE FIGURE

In figura 0 è mostrato un modo di realizzazione di un amano robotica noto allo stato dell'arte; in figura 1-a è mostrata una vista schematica di un modo di realizzazione preferenziale della mano robotica secondo l'invenzione; in figura 1b sono mostrati degli schemi dei gradi di libertà della mano umana (sx) e della mano robotica (dx) secondo l'invenzione con riferimento alle dita allineate; in figura 2 è mostrata una vista schematica di un modo di realizzazione preferenziale della mano robotica secondo l'invenzione; in figura 3 è mostrata una vista schematica della mano robotica secondo l'invenzione, con e senza la cover applicata; In figura 4 è mostrata una vista in sezione degli stadi differenziali della mano secondo l'invenzione con una delle dita allineate; in figura 5-a e 5-b sono mostrate due viste in sezione degli stadi differenziali della mano secondo l'invenzione con e senza il frame in cui sono installati; In figura 5-c è mostrata una vista in sezione di un dito; In figura 5-d è mostrato uno schema cinematico noto allo stato dell'arte; In figura 6 è mostrata una vista esplosa del modo di assemblaggio degli stadi differenziali; In figura 7 è mostrato un dettaglio di un modo di realizzazione del trasferimento del moto dal motore agli stadi differenziali, con il motore ubicato in posizione laterale; in figura 8 è mostrato lo schema cinematico di un modo di realizzazione di stadi differenziali a ruote coniche noto allo stato dell'arte; in figura 9 è

mostrata una vista di un modo di realizzazione preferenziale del dito secondo l'invenzione con evidenza della chiavetta utilizzata per l'accoppiamento delle falangi distali; in figura 10-a, 10-b e 11 sono mostrate viste di un modo di realizzazione preferenziale del dito indice secondo l'invenzione; in figura 12 sono mostrate viste esemplificative di un modo di realizzazione del dito a tre falangi; in figura 13 è mostrato un particolare dell'accoppiamento del dito al frame; in figura 14 sono mostrati i movimenti di adduzione ed abduzione passiva di una delle dita, con deformazione degli elementi elastici; in figura 15 sono mostrati esempi degli angoli di adduzione e abduzione passiva delle dita secondo l'invenzione; in figura 16 è mostrato un modo di realizzazione preferenziale dei guantini per il dito secondo l'invenzione.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA

Come visibile dalle figure allegate – si veda ad esempio la figura 1-a - la protesi secondo la presente invenzione comprende 4 dita, corrispondenti rispettivamente alle dita indice (II), medio (III), anulare (IV) e mignolo (V) della mano umana.

Ciascuna di dette dita comprende una falange media-distale (mp_{II} , mp_{III} , mp_{IV} e mp_V rispettivamente per indice, medio, anulare e mignolo), una falange prossimale (pp_{II} , pp_{III} , pp_{IV} e pp_V rispettivamente per indice, medio, anulare e mignolo) e un'appendice (ap_{II} , ap_{III} , ap_{IV} e ap_V rispettivamente per indice, medio, anulare e mignolo).

Le falangi distali e prossimali sono vincolate fra loro da un giunto interfalangeo PIP (PIP_{II} , PIP_{III} , PIP_{IV} e PIP_V rispettivamente per indice, medio, anulare e mignolo). Si specifica che il giunto interfalangeo è realizzato tramite una coppia rotoidale, cioè un vincolo che consente solo la rotazione relativa e non la traslazione.

Le falangi prossimali sono vincolate alle appendici dal primo di due assi di rotazione di un giunto metacarpo-falangeo (MCP_{II} , MCP_{III} , MCP_{IV} e MCP_V rispettivamente per indice, medio, anulare e mignolo) che consente una rotazione nel piano di flessione-estensione. Le appendici

(ap_{II} , ap_{III} , ap_{IV} e ap_V) sono poi vincolate ad un frame (00) - che corrisponde al palmo della mano umana - dal secondo dei due assi di rotazione dello stesso giunto metacarpo-falangeo, che consente una rotazione nel piano di abduzione-adduzione.

Si specifica che il giunto metacarpo-falangeo, che nella mano umana è un giunto a sella e consente la rotazione relativa di due componenti su due diversi assi tra loro perpendicolari, nella mano secondo l'invenzione è realizzato mediante due coppie rotoidali, che collegano fra loro rispettivamente:

- frame (00) e appendice (movimento di adduzione/abduzione delle dita)
- appendice e falange prossimale (seconda rotazione, relativa al movimento di flessione/estensione).

Preferibilmente inoltre la mano secondo l'invenzione comprende un dito corrispondente al pollice (I), un metacarpo ed un relativo meccanismo di attuazione.

Nel modo di realizzazione descritto di seguito, il meccanismo di movimentazione delle quattro dita allineate presenta 12 gradi di libertà, identificati ciascuno da un valore della variabile $\theta_{i,j}^k$. Questa variabile si riferisce alla rotazione del giunto j-esimo ($j = 1$ o $j = 2$ o $j = 3$ rispettivamente per TM, MCP e PIP) relativo al dito i-esimo ($i = I, II, III, IV, V$ rispettivamente per pollice, indice, medio, anulare e mignolo); l'apice k si riferisce invece agli angoli di flesso-estensione ($k = X$) o abduzione-adduzione ($k = Z$).

Di questi 12 gradi di libertà: 8 sono controllabili attivamente e bidirezionalmente per mezzo di un meccanismo sottoattuato, comandato da un unico motore (M1) posizionato nel palmo 00. Si tratta di 4 DOFs corrispondenti ai movimenti di flesso-estensione dei giunti MCP delle dita II-V, ottenuti con giunti rotoidali ($\theta_{II,2}^X$, $\theta_{III,2}^X$, $\theta_{IV,2}^X$ e $\theta_{V,2}^X$) e di 4 DOFs corrispondenti ai movimenti di flesso-estensione dei giunti PIP delle dita II-V, ottenuti con giunti rotoidali ($\theta_{II,3}^X$, $\theta_{III,3}^X$, $\theta_{IV,3}^X$ e $\theta_{V,3}^X$); 4 sono passivi, corrispondenti al movimento di abduzione-adduzione dei

giunti MCP delle dita II-V, ottenuti con giunti rotoidali ($\theta_{II,2}^Z$, $\theta_{III,2}^Z$, $\theta_{IV,2}^Z$ e $\theta_{V,2}^Z$), che possono adattarsi entro certi limiti alla forma dell'oggetto impugnato - come meglio spiegato in seguito - ma non possono essere comandati attivamente.

La mano secondo l'invenzione comprende inoltre una scheda elettronica di controllo configurata per ricevere in ingresso dei segnali di comando (preferibilmente ma non limitativamente rilevati tramite sensori mioelettrici applicati sulla cute dell'utente) e per comandare i motori presenti in funzione di detti segnali di comando.

Preferibilmente inoltre il dispositivo secondo l'invenzione comprende una pluralità di elementi elastici (214, 314, 414, 514) – visibili ad esempio in figura 4 e 16 - frapposti fra gli elementi in rotazione relativa dei giunti MCP_{II}, MCP_{III}, MCP_{IV} e MCP_V in corrispondenza dei gradi di libertà passivi fra appendici e frame ($\theta_{II,2}^Z$, $\theta_{III,2}^Z$, $\theta_{IV,2}^Z$ e $\theta_{V,2}^Z$). La funzione di detti elementi elastici è di attutire potenziali urti ricevuti dalle dita allineate da II a V.

Preferibilmente inoltre il dispositivo secondo l'invenzione comprende anche elementi elastici (215, 315, 415, 515) - visibili ad esempio in figura 12 e 13 - frapposti fra l'asse di rotazione in corrispondenza dei gradi di libertà passivi ($\theta_{II,2}^Z$, $\theta_{III,2}^Z$, $\theta_{IV,2}^Z$ e $\theta_{V,2}^Z$) e le appendici, configurati in modo da consentire il disingaggio temporaneo del meccanismo delle dita rispetto al frame (00), al fine di attutire potenziali urti ricevuti dalle dita II - V. Il frame comprende inoltre preferibilmente una cover (01), che serve a proteggere il meccanismo e detta scheda elettronica interna e a migliorare l'estetica della protesi, avvicinandola quanto più possibile a quella di una mano umana.

Si descrive adesso un modo di realizzazione preferenziale del meccanismo secondo l'invenzione. In virtù della complessità del meccanismo si ritiene utile anticipare i criteri secondo i quali è stata assegnata la nomenclatura.

Gli elementi dei tre stadi differenziali a ruote coniche sono indicati con un riferimento

numerico composto da un numero da 1 a 3 (identificativo dello stadio) seguito da un numero identificativo dello specifico elemento (numero 4 per il portatreno, numero 5 per la ruota solare sinistra, numero 6 per la ruota solare destra). Così, ad esempio, il portatreno del terzo stadio è indicato con il riferimento (34), mentre il solare sinistro del secondo stadio è indicato con il riferimento (25).

Le falangi sono indicate con riferimenti composti da un numero da 1 a 5 identificativo del dito, seguito da un numero identificativo della falange (numero 1 per la falange distale, 2 per la falange prossimale, 3 per l'appendice). Ad esempio quindi la falange distale del dito anulare è indicata con il riferimento (41), l'appendice del dito medio con il riferimento (33), e così via. Per ogni dito inoltre la prima puleggia e la cinghia dentata di collegamento alla puleggia successiva sono indicate con il riferimento del dito seguito da 10 ed 11. Analogamente la seconda puleggia è indicata con il riferimento del dito seguito da 12. La seconda puleggia del dito medio, ad esempio, è indicata con il riferimento (312). Per ogni dito sono inoltre indicati rispettivamente con 20 e 40 gli assi di rotazione x (flessione/estensione) tra falange distale e falange prossimale e tra falange prossimale e appendice e con 60 l'asse di rotazione z (abduzione/adduzione) fra appendice e frame. L'asse x del dito mignolo, di rotazione tra falange prossimale e appendice, secondo il criterio, è pertanto indicato con (540), mentre l'asse z del dito indice, di rotazione fra appendice e frame, è indicato con il riferimento (260). Avendo specificato i criteri di assegnazione dei riferimenti numerici, è ora possibile descrivere un modo di realizzazione preferenziale del meccanismo, mostrato in figura 3. Si precisa che è mostrata una mano destra, osservata dalla parte del palmo della mano. Evidentemente il medesimo meccanismo potrà essere realizzato per una mano sinistra senza uscire dagli scopi dell'invenzione.

Nel modo di realizzazione mostrato è riprodotto il funzionamento di una mano robotica

antropomorfa, dotata di quattro dita sostanzialmente allineate, dall'indice (2) al mignolo (5), e di un dito ad esse opponibile (1).

La presente invenzione riguarda un modo di realizzazione particolarmente robusto ed efficace del meccanismo di trasmissione del moto alle quattro dita allineate per mezzo di un unico motore (M1), nonché un modo di realizzazione di ciascuna di queste quattro dita che ne consenta un rapido montaggio e smontaggio, oltre che un posizionamento relativo quanto più possibile simile a quello di una mano antropomorfa. Qualunque meccanismo di realizzazione e movimentazione del pollice, tra i molti di per sé noti allo stato dell'arte potrà essere utilizzato senza uscire dagli scopi dell'invenzione.

Come mostrato in Figura 4, il meccanismo di movimentazione delle quattro dita allineate comprende un motore M1 e tre stadi differenziali.

In un primo modo di realizzazione il portatreno (14) del primo stadio differenziale è mosso direttamente dal motore (M1). Ciò avviene preferibilmente tramite un accoppiamento fra vite senza fine (R1) e corona (T1) del portatreno. Il primo stadio differenziale trasmette il moto per mezzo del solare sinistro (15) al portatreno (24) del secondo stadio differenziale, che si occupa del movimento di indice e medio, e per mezzo del solare destro (16) al portatreno (34) del terzo stadio differenziale, che si occupa del movimento di anulare e mignolo.

Si osserva che, nello schema cinematico secondo l'invenzione, il portatreno (14) del primo stadio differenziale è l'unica ruota direttamente mossa dal motore (M1).

Al fine di ottimizzare l'affidabilità e gli ingombri del meccanismo, il solare sinistro (15) del primo stadio ed il portatreno (24) del secondo stadio sono solidali tra loro. Lo stesso accade per il solare destro (16) del primo stadio che è solidale al portatreno (34) del terzo stadio. Si precisa che l'aver reso solidali i solari (15, 16) del primo stadio con i portatreni (24, 34) degli stadi successivi (anziché collegarli per mezzo di un accoppiamento a ruote dentate) consente

di ridurre non solo gli ingombri ma anche i giochi e gli attriti del meccanismo.

Gli stadi differenziali sono mantenuti alla corretta distanza relativa tramite due distanziali (D1) e (D2) rispettivamente interposti fra primo e secondo stadio differenziale e fra primo e terzo stadio differenziale. Da un punto di vista costruttivo, come mostrato in figura 4, gli stadi differenziali sin qui descritti sono preferibilmente stadi differenziali a ruote coniche.

Secondo quanto anticipato il moto viene trasmesso dal secondo e terzo stadio differenziale alle quattro dita sostanzialmente allineate. Trattandosi di differenziali a ruote coniche, con la configurazione mostrata in figura 4, la coppia viene splittata dal motore alle 4 dita in modo equo (25% per ogni dito).

Il modo di realizzazione degli stadi differenziali consente, con una semplice riconfigurazione, di variare la distribuzione di coppia del motore tra le varie dita, consentendo di collegare i due solari di uno stadio alternativamente ai portatreni di due ulteriori stadi differenziali a ruote coniche, a due ruote folli che controllano la flessione di due dita o al portatreno di uno stadio differenziale a ruote coniche e alla ruota folle che controlla la flessione del dito.

In questo modo, collegando ad esempio il motore al secondo stadio invece che al primo (secondo lo schema illustrato in Figura 7), si può ottenere la distribuzione della coppia del motore alle dita secondo le proporzioni di: 50% per indice, 25% per medio, 12,5% per anulare e mignolo, più simile alla reale distribuzione di forza che avviene nella mano umana e, comunque, più utile nelle varie prese che sono necessarie per svolgere le diverse attività di vita quotidiana per un soggetto amputato.

Per ottenere lo stesso risultato il documento EP3548228 descrive l'utilizzo di differenziali a ruote coniche con solari a diametro differente all'interno dello stesso stadio differenziale (figura 8). Da un punto di vista costruttivo ciò implica però la necessità di inclinare gli assi dei satelliti, e di conseguenza comporta necessariamente ingombri maggiori e maggiore difficoltà

costruttiva, oltre alla necessità di avere le due metà del portatreno costruttivamente diverse.

La modularità del meccanismo qui proposto, invece, consente di ottenere un risultato simile semplicemente assemblando gli stessi componenti dei differenziali in modo diverso.

Il treno differenziale costituito dai tre stadi è contenuto all'interno di una cava cilindrica opportunamente ricavata nel frame (00), aperta solo su un lato per permettere l'inserimento del treno differenziale, che viene poi richiusa con un apposito coperchio (C1). Tra il treno differenziale e il frame, all'interno della cava è presente una molla lineare (60), mentre il coperchio (C1), forato al centro, presenta un pulsante (P1) libero di ruotare rispetto al coperchio (C1) e di traslare lungo l'asse di rotazione del treno differenziale. Effettuando una pressione sul pulsante (P1), quindi, tutto il treno differenziale trasla comprimendo la molla (60) e disingaggiando i solari (25), (26), (35), (36) rispettivamente dalle dita (2), (3), (4) e (5). Tale meccanismo di sicurezza costituisce quindi uno sgancio meccanico della presa, che gli utilizzatori possono usare nelle condizioni in cui sia necessario aprire la mano ma l'elettronica non risponda correttamente.

Prima di descrivere la trasmissione del moto, appare utile descrivere il modo di realizzazione preferenziale di ciascuna delle dita allineate. Ciascun dito comprende due falangi e un'appendice, tra loro incernierate a coppie intorno ad un asse di rotazione relativa. Le appendici delle dita dall'indice all'anulare sono incernierate al frame della mano (00), intorno ad un asse di rotazione relativa (260).

La forma dei componenti (falangi, appendici, frame) è tale per cui la rotazione consentita intorno a tutti i rispettivi assi di rotazione è limitata a valori simili a quelli fisiologicamente assunti dalle rispettive componenti della mano umana.

Senza che ciò sia limitativo per gli scopi dell'invenzione, secondo un modo preferenziale di realizzazione le dita sostanzialmente allineate (dall'indice al mignolo), rispetto alla

configurazione base con dita completamente estese, hanno la possibilità di essere flesse tra gli 85 ed i 95° circa per la falange prossimale e tra gli 85 ed i 95° circa per la falange media-distale.

Si descrive ora il modo preferenziale di realizzazione delle dita secondo l'invenzione, con riferimento per semplicità al dito indice. A meno delle evidenti differenze dimensionali, le altre dita (medio, anulare, mignolo) possono essere realizzate nella medesima maniera.

Il dito indice è incernierato al palmo della mano (00) in corrispondenza dell'asse di rotazione (260) relativo al movimento di adduzione-abduzione dell'appendice (23) rispetto al frame (00).

La prima puleggia dentata (212) è posizionata in corrispondenza dell'asse di rotazione (240) tra falange prossimale (22) e appendice (23), è folle rispetto a tale asse di rotazione ed ingrana con una ruota dentata di rimando (213) con asse di rotazione (270) rispetto al palmo (00), anch'essa folle rispetto all'asse di rotazione (270). Tale ruota di rimando (213) ingrana poi con il solare sinistro (25) del secondo stadio differenziale. È questo accoppiamento che trasmette la coppia del motore al dito indice e, considerando le relative ruote solari degli altri stadi differenziali, alle altre dita.

Si consideri che, da un punto di vista costruttivo, le prime pulegge dentate di ciascuna delle dita sostanzialmente allineate (212, 312, 412 e 512) sono convenientemente costituite da una ruota dentata solidale ad una puleggia dentata.

La ruota dentata ingrana con la relativa ruota di rimando (213), mentre la puleggia dentata è collegata per mezzo di una cinghia dentata (211) alla puleggia successiva (210), che ha l'asse coincidente con l'asse di rotazione relativa tra la falange prossimale (22) e la falange distale (21).

Si consideri che, da un punto di vista costruttivo, ciascuna delle seconde pulegge dentate delle

dita sostanzialmente allineate (210, 310, 410 e 510) è convenientemente resa solidale alla rispettiva falange distale (21) mediante l'inserimento di una chiavetta (27), che si poggia su spianature allo scopo predisposte sia sulla puleggia che sulla forcella di accoppiamento (2006) della falange distale (21), impedendo la rotazione relativa della seconda puleggia dentata rispetto alla falange distale (figura 9).

Essendo la prima puleggia (212) folle rispetto al relativo asse, il moto del solare sinistro (25) del secondo stadio differenziale, trascurando per semplicità di esposizione gli attriti, viene trasmesso attraverso la ruota dentata di rimando (213) direttamente alla puleggia (220) solidale alla falange distale (21) del dito indice, senza che la falange prossimale (22) ruoti.

Una volta che la falange distale (21) arriva a contatto con l'oggetto da impugnare oppure arriva a fine corsa, il suo movimento è bloccato e la seconda puleggia (220) ad essa solidale non può più ruotare relativamente alla falange prossimale (22). Si specifica che il fine corsa della falange distale è determinato dai limiti fisici delle forcelle (2006, 2001), come mostrate in figura 9. In virtù del collegamento per mezzo della cinghia dentata (211), non può a quel punto ruotare nemmeno la prima puleggia (212) rispetto alla falange prossimale (22), per cui quest'ultima comincia a ruotare rispetto al palmo. Quando anche la falange prossimale (22) è bloccata dall'oggetto impugnato (o arriva a fine corsa, determinato dai limiti fisici della forcella (2002) e dell'appendice (23) mostrate in figura 9), il solare sinistro (25) del secondo stadio differenziale si ferma, per cui la velocità del portatreno (24) si scarica tutta sul solare destro (26), che trasmette in maniera assolutamente analoga il movimento al dito medio. Se anche il dito medio si ferma (perché in contatto con l'oggetto da afferrare o perché tutte le rotazioni sono arrivate a fine corsa) non può ruotare nemmeno il relativo solare (26) del terzo stadio differenziale e, quindi, anche il relativo portatreno (24) si ferma. In maniera del tutto analoga funzionano le dita anulare e mignolo, che sono mosse dal terzo stadio differenziale,

rispettivamente per mezzo del solare sinistro (35) e destro (36). Quando le dita dall'indice al mignolo sono a contatto con l'oggetto (o sono arrivate a fine corsa) il motore (M1) è costretto a fermarsi.

Preferibilmente la scheda elettronica di controllo è configurata per controllare in corrente il motore (M1), determinando in tal modo la coppia massima esercitata e, quindi, la coppia massima trasmessa alle dita che determina la forza della presa. Secondo un modo di realizzazione preferenziale, il motore (M1) può essere inoltre configurato per essere controllato tramite un encoder (E1), in modo da controllare la velocità con cui la presa viene effettuata.

Secondo un modo di realizzazione preferenziale, sia la ruota dentata solidale al solare (25), sia la ruota dentata di rimando (213), sia la ruota dentata solidale alla puleggia (212) sono convenientemente modellate come ruote coniche, e non a denti dritti. Ciò consente di dare all'indice (2) una posizione di base leggermente inclinata rispetto al medio (3) (che presenta invece preferibilmente tutte ruote a denti dritti), aumentando in misura sostanziale la somiglianza della protesi proposta con la mano umana. Lo stesso accade per il dito anulare (4) e mignolo (5). Preferibilmente le ruote di accoppiamento delle varie dita sono configurate in modo che il dito indice (2) sia inclinato di 5° rispetto al medio (3), il dito anulare (4) sia inclinato di 5° rispetto al medio (3) ma nella direzione opposta rispetto all'indice (2) ed il dito mignolo (5) sia inclinato di 10° rispetto al medio (3), nella stessa direzione del dito anulare (4). Valori differenti per le inclinazioni relative tra le varie dita possono essere utilizzati senza uscire dagli scopi dell'invenzione.

Per fare in modo che il moto si trasmetta con la massima efficienza possibile, si deve fare in modo che tutte e tre le ruote dentate interessate dalla catena cinematica (ad esempio le ruote 25, 213 e 212 nel caso dell'indice) presentino un angolo di apertura del cono primitivo pari

alla metà dell'inclinazione desiderata del dito (prendendo come esempio il dito indice, tale angolo dovrà essere di $2,5^\circ$).

Inoltre, in questo modo durante il movimento di flessione le dita indice (2), anulare (4) e mignolo (5) convergono verso il dito medio (3), ottenendo una maggiore somiglianza con la mano umana e rendendo possibile la presa di oggetti sottili sfruttando l'accostamento delle dita indice (2) e medio (3) a seguito della loro flessione, presa utile in differenti attività della vita quotidiana.

Questo modo di realizzazione supera inoltre quanto descritto nel brevetto EP3548228 (vedi figura 5) che fa uso di giunti di cardano. Quanto ivi descritto, oltre ad essere costruttivamente molto più complesso (e quindi anche soggetto a maggior tasso di rottura), costringe le dita indice e medio ad assumere la stessa inclinazione α e le dita anulare e mignolo ad assumere la stessa inclinazione β , impedendo che durante la flessione di queste dita vadano a ridursi gli spazi fra indice e medio e fra anulare e mignolo, rendendo quindi più complesse le prese di oggetti sottili. Ciò non accade invece con il meccanismo proposto nel presente brevetto, che consente di impostare un angolo di inclinazione diverso per ogni dito.

Si illustrano di seguito ulteriori dettagli costruttivi di un modo di realizzazione preferenziale di un dito, prendendo a riferimento il dito indice (2) mostrato in Figura 9 e 10.

Il corpo della falange prossimale è composto da quattro componenti principali, vincolati tra loro tramite apposite spine e bulloni: due forcelle laterali (2001, 2002) e un corpo centrale composto da due parti (2003 e 2004).

La prima forcella laterale (2001) condivide l'asse di rotazione (220) con la falange distale (21) e la seconda forcella laterale (2002) condivide l'asse di rotazione (240) con l'appendice (23).

Per modificare la lunghezza della falange prossimale è quindi sufficiente modificare la lunghezza del corpo centrale, cioè dei componenti (2003) e (2004).

Le forcelle (2001, 2002) possono quindi essere realizzate in maniera uguale fra tutte le dita, e ciò consente di sfruttare al meglio le economie di scala legate alla produzione di tali componenti.

Il corpo delle falangi distali è invece composto da due componenti principali: una forcella distale posta su un lato (2006) ed un corpo distale (2007). La forcella distale (2006) condivide l'asse di rotazione (220) con la falange prossimale (22). Il corpo distale (2007) è sagomato in modo somigliante alla parte terminale del dito umano. Preferibilmente a tale scopo il corpo distale (2007) comprende un unghia ed un polpastrello (2008) realizzato tramite un pad in materiale elastomerico (2008), come silicone o gomma, al fine di aumentare l'attrito fra le dita e gli oggetti impugnati oltre che un miglior adattamento alla loro forma e dimensione. Preferibilmente inoltre anche la falange prossimale comprende un pad elastomerico (2005) solidale al corpo centrale (2003).

I pad elastomerici (2005, 2008) possono essere vincolati per mezzo di accoppiamenti con viti e fori filettati, in modo da poter essere facilmente sostituiti direttamente dai tecnici ortopedici o dagli utilizzatori durante le operazioni di manutenzione ordinaria del dispositivo. Altre tipologie di accoppiamento, quale ad esempio l'accoppiamento per mezzo di idonei incastri o l'incollaggio, sono possibili.

I componenti che costituiscono la falange prossimale (2001, 2002, 2003, 2004) e distale (2006, 2007) sono fra loro resi solidali per mezzo di spine e bulloni.

Due tendicinghia (2009 e 2010) vengono utilizzati per aumentare la coppia trasmissibile dal sistema, aumentando l'angolo di avvolgimento della cinghia (211) attorno alle pulegge (210) e (212).

La regolazione dei tendicinghia consente inoltre di impostare la corretta tensione operativa della cinghia (211), in modo che questa non slitti se soggetta a coppie pari o inferiori alla

massima esercitabile dal motore M1 e slitti se soggetta a coppie superiori (ad esempio a causa di un urto esterno), aumentando quindi la compliance del sistema e la resistenza alle sollecitazioni esterne che potrebbero danneggiarlo. È infatti sufficiente aumentare o diminuire il diametro dei tendicinghia utilizzato per poter effettuare questa regolazione.

Tale meccanismo consente quindi di superare i limiti di quanto descritto in EP3548228, in cui non è presentato alcun sistema per effettuare una regolazione del tensionamento della cinghia, per cui non è possibile determinare un limite di slittamento che consenta di utilizzare il dito durante le normali operazioni, quando questo viene mosso dal motore, e di slittare quando invece il dito viene sollecitato da un urto esterno di forza superiore a quella che danneggerebbe il sistema.

Come mostrato in Figura 11, il meccanismo del dito comprende inoltre due molle lineari (2011, 2016). La prima (2011) di dette molle regola il movimento tra la falange distale (21) e la falange prossimale (22), mentre la seconda (2016) di dette molle regola il movimento tra la falange prossimale (22) e l'appendice (23). In particolare la prima molla (2011) è configurata per opporsi all'apertura della falange distale (21) rispetto a quella prossimale (22), supportando il motore M1 in fase di chiusura delle dita, quando è necessario avere a disposizione più coppia per attuare una presa più salda, ed opponendosi ad esso in fase di apertura delle stesse, quando non è richiesta una coppia elevata, mentre la seconda molla (2016) è configurata per opporsi all'apertura della falange prossimale (22) rispetto all'appendice (23) e quindi rispetto al frame (00).

Come mostrato in figura 11 la molla (2011) è posizionata in una cava ricavata nella falange distale (21), fra una slitta mobile (2012) e un'estremità ricavata su un componente della falange distale (21) e durante il movimento di apertura del dito viene compressa per mezzo di un cavo (2013) che ha un'estremità fissata ad una spina (2014) presente sulla falange distale

(21) e un'estremità avvolta attorno ad un bullone (2015) presente sulla falange prossimale (22). Con il movimento la molla (2011) passa dalla lunghezza L_{2dp} alla lunghezza L_{1dp} : la molla (2011) non è sollecitata quando le falange distale (21) è chiusa rispetto alla prossimale (22). Quando la falange distale (21) si apre la distanza fra i due punti di aggancio del cavo (2013) aumenta ma, essendo il cavo inestensibile, questo tende a muovere la slitta mobile (2012), che comprime la molla (2011).

La seconda molla (2016) è invece posizionata in una cava ricavata nella falange prossimale (22), fra una slitta mobile (2017) e un'estremità ricavata sul corpo centrale (2003) della falange, e durante il movimento di apertura del dito viene compressa per mezzo di un secondo cavo (2018) che ha un'estremità fissata ad una spina (2019) presente sulla falange prossimale (22) e un'estremità avvolta attorno ad un bullone (2020) presente sull'appendice (23). Con il movimento, la molla (2016) passa dalla lunghezza L_{2pp} alla lunghezza L_{1pp} : con la stessa logica espressa per la molla (2011), la molla (2016) si oppone all'apertura della falange prossimale (22) rispetto all'appendice (23) e quindi rispetto al frame (00).

Si specifica che utilizzando rigidzze differenti per le due molle all'interno di ciascun dito è possibile determinare l'ordine di chiusura ed apertura delle due falangi. Inoltre, per come è costruito il meccanismo, la somma delle rigidzze delle due molle utilizzate per ciascun dito determina una rigidzza equivalente per ciascun dito. Utilizzando rigidzze equivalenti differenti per le varie dita è possibile determinare l'ordine di chiusura ed apertura delle stesse. Inoltre, sempre al fine di determinare l'ordine di apertura delle falangi nel singolo dito o delle dita fra loro, la coppia generata da ciascuna molla può essere regolata avvitando o svitando il relativo bullone, attorno a cui è avvolto il cavo, senza che sia necessario disassemblare il meccanismo. Questa seconda modalità di regolazione consente di avere a disposizione due gradi di regolazione per ogni dito, per effettuare delle regolazioni di fino post-assemblaggio,

che sarebbe impossibile effettuare a priori, e che permettono di agire:

- sulla distribuzione di coppia e di velocità presente tra falange prossimale e distale in ogni singolo dito, facendo in modo che sia sempre la falange prossimale a chiudersi per prima, in modo da abbassare la probabilità di eiettare l'oggetto impugnato dalla presa. In genere, quindi, si utilizzeranno delle molle con maggiore rigidità sulla falange prossimale e minore rigidità sulla falange distale (e/o equivalentemente si pre-caricheranno maggiormente le molle sulla falange prossimale rispetto a quelle sulla falange distale, avvitando il relativo bullone);
- sulla distribuzione di coppia e velocità presente fra dita diverse, fondamentale per decidere l'ordine di chiusura delle dita. In particolare, è importante fare in modo che il primo dito ad aprirsi sia sempre l'indice, in modo che l'utilizzatore possa usare il dispositivo per tutte le prese che necessitano dell'attivazione di un trigger (ad esempio l'attivazione di un trapano, di un mouse, ecc). Per come è progettato il meccanismo, infatti, il primo dito ad aprirsi sarà l'ultimo a chiudersi, e per evitare che l'oggetto sfugga dalla presa di medio, anulare e mignolo mentre l'indice attiva il trigger dell'oggetto è importante che tali dita si aprano dopo l'indice. Si utilizzeranno pertanto delle molle con minore rigidità sull'indice e maggiore rigidità sulle altre dita (e/o equivalentemente si pre-caricheranno in misura minore le molle del dito indice rispetto a quelle delle altre dita, avvitando i bulloni di regolazione presenti sull'indice);

La presenza delle molle è inoltre fondamentale per ottenere un dispositivo che non sia sotto vincolato, in quanto essendo il meccanismo sotto-attuato (un grado di attuazione corrispondente al motore M1 e otto gradi di libertà corrispondenti alle flessione-estensioni delle falangi distali e prossimali delle dita 2, 3, 4, e 5) è necessario vincolare in posizione base tutti i gradi di libertà. Inoltre a causa dei giochi inevitabilmente presenti nei treni di ingranaggi, in

assenza di molle il motore, prima di muovere le dita, ruoterebbe a vuoto per recuperare tali giochi. In presenza di molle, invece, le ruote sono sempre riportate, dalle molle stesse, in una posizione che comporta un gioco nullo.

Il meccanismo appena descritto consente quindi di superare i limiti del meccanismo descritto in EP3548228 che consentiva esclusivamente una regolazione di fine del tensionamento delle molle rotoidali presenti nei giunti tra falangi e tra falange prossimale e frame, con conseguente impossibilità di riuscire a gestire in modo efficace l'ordine di apertura delle falangi distali rispetto a quelle prossimali e l'ordine di chiusura delle dita, fondamentale per ottenere un corretto comportamento del dispositivo.

Inoltre nemmeno i dispositivi descritti in altri documenti noti allo stato dell'arte consentono una regolazione della rigidità degli elementi elastici senza disassemblare il dispositivo, rendendo di fatto impossibile per il tecnico ortopedico effettuare un settaggio di fine per adeguare il funzionamento alle preferenze di ogni singolo utilizzatore.

Nello schema realizzativo sin qui descritto si è supposto che le dita dalla 2 alla 5 fossero costituite da due sole falangi (prossimale e media-distale). Il meccanismo descritto è però modulare, per cui ulteriori n falangi, costruttivamente simili a quella prossimale già descritta, possono essere aggiunte per renderlo più simile alla mano umana (3 falangi invece di 2) o per utilizzare lo stesso dispositivo in campi diversi da quello protesico (robotica umanoide, bin picking, robotic harvesting, ecc) dove rimangono fondamentali le caratteristiche di compliance e auto-conformazione delle dita alla forma ed alle dimensioni degli oggetti impugnati.

In figura 12 è riportato l'esempio di un dito comprendente tre falangi. La falange prossimale (22) e distale (21) sono realizzate in maniera analoga a quanto già spiegato a proposito della realizzazione di un dito con due falangi. Tra le due è però interposta una falange media (28),

configurata per ruotare rispetto alla falange prossimale (22) intorno all'asse di rotazione (220). La falange distale (21) ruota rispetto alla falange media (28) intorno all'asse di rotazione (280). La falange media (28) è dotata di un meccanismo di tensionamento in tutto e per tutto analogo a quello descritto per la falange prossimale (22).

Come detto, le falangi prossimali sono incernierate tramite le appendici intorno agli assi di rotazione relativa rispetto al frame (260, 360, 460, 560) , e tali vincoli consentono i gradi di libertà passivi di adduzione/abduzione delle dita (2, 3, 4 e 5). Ovviamente, da un punto di vista costruttivo, in corrispondenza di tali assi sono presenti degli alberi. Si noti che tali alberi sono convenientemente costituiti da dei bulloni (265), che si possono avvitare e svitare senza rimuovere alcun altro componente della mano, in modo da poter agevolmente rimuovere e sostituire le dita in caso di rottura.

Tale accoppiamento rotoidale non è però sufficiente per consentire il movimento di abduzione/adduzione del dito, in quanto per alcuni angoli potrebbe portare in interferenza la ruota dentata facente parte del solare (25) e la ruota di rimando (213).

Per consentire l'abduzione/adduzione, quindi, le appendici non sono direttamente a contatto con l'albero, ma tra appendice e albero è interposto un componente realizzato in materiale elastico (215) che presenta un foro centrale coassiale all'albero presente in corrispondenza dell'asse di abduzione/adduzione (260). Questo componente è visibile in figura 13 con riferimento, a titolo esemplificativo, al dito indice, ed ha forma allungata quando visto in sezione, come mostrato in figura 13.

Il componente elastico (215) deformandosi consente un certo grado di traslazione delle appendici rispetto al palmo. La combinazione dei movimenti di rotazione e di traslazione fra appendice e bullone, solidale al frame, consente al dito di ruotare senza che le ruote (25) e (213) compenetrino. In particolare, per fare in modo di consentire la massima rotazione

possibile del dito senza avere compenetrazione fra i sopra citati componenti, in posizione di equilibrio del dito l'asse maggiore (a) del componente (215), deve essere perpendicolare alla retta generatrice (b) del cono primitivo della ruota conica di rimando (213). Ad esempio, per il dito indice, l'asse (a) del componente 215 è inclinata di $2,5^\circ$ rispetto alla verticale del medio in posizione base (vedi figura 13).

Il comportamento elastico del componente (215) tende chiaramente a riportare l'appendice (23) alla distanza base dal frame una volta che la sollecitazione esterna sia cessata.

Inoltre, attorno all'appendice (215), fra appendice e frame, è presente un collare elastico comprimibile (214), solidale al frame, che consente sia di attutire gli urti esterni che di riportare il dito nell'inclinazione base una volta che tali sollecitazioni sono cessate.

Il collare elastico (214) conferisce inoltre resistenza all'acqua all'accoppiamento tra dita e palmo.

In figura 14a è mostrato il dito indice non soggetto ad alcuna sollecitazione; in figura 14b è mostrato il dito indice soggetto ad una sollecitazione che tende ad inclinarlo verso il dito medio, comprimendo quindi l'elemento elastico (214) nella sua parte sinistra fino a consentire una rotazione massima di $+5^\circ$ (inclinazione risultante del dito indice pari a 0°); in figura 14c è mostrato il dito indice soggetto ad una sollecitazione che tende ad inclinarlo allontanandolo dal dito medio, comprimendo quindi l'elemento elastico (214) nella sua parte destra fino a consentire una rotazione massima di -5° (inclinazione risultante del dito indice pari a -10°).

In figura 15-a, 15-b e 15-c sono mostrate tutte le dita di una mano sinistra vista dal dorso, rispettivamente sollecitate verso sinistra, in equilibrio e sollecitate verso destra, con una indicazione di esempio dei massimi angoli che possono essere raggiunti. Tali angoli possono essere variati modificando le dimensioni degli elementi elastici (214, 314, 414, 514).

Si sottolinea inoltre che sia i componenti elastici che consentono l'adduzione/abduzione

passiva delle dita (2, 3, 4 e 5), sia le molle presenti all'interno delle dita e precedentemente descritte hanno anche lo scopo di attutire gli urti indesiderati sulle dita, aumentando la compliance del dispositivo e creando una "zona cuscinetto" fra le dita stesse e il palmo, che assicura una maggiore durata dei componenti utilizzati. In particolare, gli elementi elastici (215), (315), (415), (515) consentono di attutire sia gli urti che tendono a flettere le dita che quelli che tendono ad estenderle, a differenza di quanto avviene in dispositivi descritti in altri documenti noti allo stato dell'arte, quali WO2021250233A1, WO2020065266A1, WO2022038506A1, che sono invece protetti solo da sollecitazioni che tendono a chiudere le dita.

Come specificato in precedenza, gli alberi presenti in corrispondenza degli assi (260, 360, 460, 560) sono costituiti da bulloni, che si possono rimuovere per sganciare le appendici dal frame e per sostituire le dita in caso di danneggiamento.

Solitamente le protesi di arto superiore non sono progettate in modo da poter essere riparate direttamente sul campo dai tecnici ortopedici, in quanto presentano un design molto complesso. I tecnici ortopedici devono quindi inviare il dispositivo in casa madre del produttore per ogni guasto, e ciò causa lunghi tempi di attesa per gli utenti e costi elevati anche per il produttore, che mentre ripara il dispositivo è costretto ad inviare all'utente un dispositivo sostitutivo temporaneo. Le poche protesi che presentano dita sostituibili, invece, non presentano un design waterproof, in quanto risulta tecnicamente molto complesso progettare una tenuta fra dita e palmo che funzioni in modo ripetibile a valle dello smontaggio e della sostituzione delle dita da parte dei tecnici ortopedici.

Il meccanismo progettato supera questo limite tramite dei piccoli guanti (29, 39, 49, 59) – mostrati in figura 16 per il dito indice - realizzati in materiale elastico, configurati per ricoprire ciascuno un rispettivo dito dall'esterno ed installati in maniera solidale alle appendici (23) di

ciascun dito.

Prendendo a riferimento il dito indice (2), la caratteristica di resistenza all'acqua si ottiene in quanto al momento dell'inserimento dell'appendice (23) nel frame (00), il guanto (29) viene compresso fra l'appendice (23) e il collarino elastico (214) solidale al frame (00), chiudendo a tenuta l'intero meccanismo sul lato frontale. Il lato superiore ed inferiore della mano sono invece protetti dall'ingresso di liquidi e polveri tramite i vari componenti della cover, che nei punti di giunzione presentano opportune guarnizioni. In particolare, quindi, quando un dito viene sostituito, anche il relativo guantino viene sostituito assieme ad esso, continuando a conservare il grado waterproof senza particolari operazioni che sarebbero complesse da svolgere per i non addetti.

Poiché inoltre le dita sono collegate ad un unico motore, quando un dito viene sostituito perché danneggiato non è necessario disassemblare e sostituire anche il motore, abbattendo i costi dei componenti sostitutivi.

L'utilizzo di un riduttore a vite senza fine, oltre a fornire un modo estremamente compatto per effettuare la riduzione di velocità/aumento di coppia del motore, è anche un meccanismo non invertibile: agendo sulle dita, tali componenti non possono essere riaperti perché è impossibile trasmettere il moto dal portatreno del primo stadio differenziale al motore M1. Una volta che la piena chiusura delle dita viene raggiunta è possibile quindi spegnere il motore (risparmiando carica delle batterie) in quanto la presa rimane comunque stabile perché le dita non possono essere riaperte passivamente.

Sono evidenti, dalla descrizione del meccanismo appena effettuata, alcuni vantaggi.

In particolare il funzionamento è assolutamente analogo sia per il movimento di chiusura della mano che per il movimento di apertura della stessa, dal momento che tutti i collegamenti utilizzati sono bidirezionali (ruote dentate e cinghie dentate) e non si fa alcun uso di elementi

unidirezionali (tendini, tiranti...), che presentano peraltro il limite di non poter esercitare grandi forze e di avere maggiori attriti interni.

Un ulteriore vantaggio dell'utilizzo di differenziali a ruote coniche sta nell'indipendenza delle forze esercitate dai solari rispetto alla loro posizione cinematica. I differenziali a ruote coniche sono globalmente forza isotropici, per cui indipendentemente dalla posizione cinematica del dito esercitano una forza costante, assicurando performance costanti in tutto lo spazio di lavoro. Tale vantaggio viene esteso all'interno delle dita tramite l'utilizzo di trasmissione con cinghia, caratterizzata dall'indipendenza delle forze trasmesse dall'interasse tra le pulegge e dall'inclinazione relativa delle falangi. Lo stesso non avviene con altri tipi di trasmissioni, quali quelle basate sui cavi, in cui le forze esercitate esibiscono un andamento variabile a seconda dell'inclinazione relativa delle falangi.

RIVENDICAZIONI

1. Meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa comprendente un motore (M1) e tre stadi differenziali configurati per trasmettere il moto da detto motore (M1) a dette dita allineate (2,3,4,5)

caratterizzato dal fatto che:

- detti stadi differenziali sono stadi differenziali a ruote coniche, comprendenti ciascuno un portatreno (14, 24, 34) e due ruote solari (15, 16, 25, 26, 35, 36);
- detti stadi differenziali sono disposti in modo che siano allineati gli assi di rotazione di detti portatreno (14, 15, 16);
- detto motore (M1) è configurato per muovere il portatreno (14, 24, 34) di uno di detti stadi differenziali;
- detti stadi differenziali sono configurati in modo che almeno uno dei solari di detto stadio differenziale mosso dal motore M1 sia solidale al portatreno di un secondo stadio differenziale ad esso adiacente;
- detti stadi differenziali sono configurati per muovere dette quattro dita allineate (2,3,4,5) per mezzo di quattro di dette ruote solari (15, 16, 25, 26, 35, 36);
- la ruota solare non impegnata nel movimento di dette dita allineate e non solidale al portatreno di detto secondo stadio differenziale è solidale al portatreno di detto terzo stadio differenziale.

2. Meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa secondo la rivendicazione 1

caratterizzato dal fatto che

lo stadio differenziale mosso da detto motore (M1) è lo stadio centrale di detti tre stadi differenziali allineati,

dal fatto che

detto stadio differenziale centrale ha le due ruote solari (15, 16) solidali ai portatreni (24, 34) di detti secondo e terzo stadio differenziale ad esso adiacenti.

3. Meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che i primo stadio differenziale trasmette il moto per mezzo del solare sinistro (15) al portatreno (24) del secondo stadio differenziale, che è configurato per muovere il dito indice e il dito medio, e per mezzo del solare destro (16) al portatreno (34) del terzo stadio differenziale, che è configurato per muovere il dito anulare ed il dito mignolo.

4. Meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa secondo la rivendicazione 1

caratterizzato dal fatto che

lo stadio differenziale mosso da detto motore (M1) è uno stadio laterale di detti tre stadi differenziali allineati,

dal fatto che

detto stadio differenziale laterale ha una ruota solare (26) solidale al portatreno (14) dello stadio differenziale ad esso adiacente e l'altra ruota solare (25) configurata per comandare il

movimento dl dito indice di detta mano antropomorfa.

5. Meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) di una mano antropomorfa secondo una delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che la trasmissione del moto dal motore (M1) allo stadio differenziale mosso direttamente dal motore avviene mediante accoppiamento tra una vite senza fine (R1) ed una corona (T1) solidale al portatreno di detto stadio differenziale.

6. Mano robotica antropomorfa comprendente un meccanismo per la movimentazione delle quattro dita allineate (2,3,4,5) secondo una delle rivendicazioni precedenti

7. Mano robotica antropomorfa secondo la rivendicazione 6 comprendente inoltre un frame (00) e quattro dita allineate comprendenti ciascuna due falangi e un'appendice tra loro incernierate a coppie intorno ad un asse di rotazione relativa, dette dita essendo configurate in modo che le appendici delle dita dall'indice all'anulare sono incernierate a detto frame (00), intorno ad un asse di rotazione relativa (260).

8. Mano robotica antropomorfa secondo la rivendicazione 6 o 7 caratterizzata dal fatto che detti tre stadi differenziali sono contenuti all'interno di una cava cilindrica opportunamente ricavata nel frame (00), aperta solo su un lato per permetterne l'inserimento, e dal fatto che detta mano comprende inoltre un coperchio (C1) di chiusura di detta cava e dal fatto che tra il treno differenziale e il frame, all'interno della cava è presente una molla lineare (60).

9. Mano robotica antropomorfa secondo la rivendicazione 8 caratterizzata dal fatto che detto

coperchio (C1) è dotato di un foro centrale e comprende un pulsante (P1) libero di traslare lungo l'asse di rotazione del treno differenziale, configurato in modo che una pressione su detto pulsante (P1) faccia traslare lungo il proprio asse detti tre stadi differenziali, disingaggiando i solari (25), (26), (35), (36) rispettivamente dalle dita (2), (3), (4) e (5).

10. Mano antropomorfa secondo una delle rivendicazioni da 6 a 9 caratterizzata dal fatto di comprendere inoltre una pluralità di elementi elastici (214, 314, 414, 514) frapposti fra gli elementi in rotazione relativa in corrispondenza dei gradi di libertà passivi fra appendici e frame ($\theta_{II,2^Z}$, $\theta_{III,2^Z}$, $\theta_{IV,2^Z}$ e $\theta_{V,2^Z}$).

11. Mano antropomorfa secondo una delle rivendicazioni da 6 a 10 caratterizzata dal fatto di comprendere inoltre elementi elastici (215, 315, 415, 515) frapposti fra l'asse di rotazione in corrispondenza dei gradi di libertà passivi ($\theta_{II,2^Z}$, $\theta_{III,2^Z}$, $\theta_{IV,2^Z}$ e $\theta_{V,2^Z}$) e le appendici, configurati in modo da consentire il disingaggio temporaneo del meccanismo delle dita rispetto al frame (00)

12. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 6 a 11 caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette dita comprende una prima puleggia dentata (212) posizionata in corrispondenza dell'asse di rotazione (240) tra falange prossimale (22) e appendice (23), folle rispetto a tale asse di rotazione e configurata per ingranare con una ruota dentata di rimando (213) folle rispetto ad un asse di rotazione (270) rispetto al frame (00) e configurata per ingranare con una ruota solare (25) di uno di detti stadi differenziali, in modo che detta ruota solare possa trasmettere la coppia derivante da detto motore (M1) al dito.

13. Mano robotica secondo la rivendicazione 12 caratterizzata dal fatto che dette prime pulegge dentate di ciascuna di dette dita allineate (212, 312, 412, 512) comprendono una ruota dentata solidale ad una puleggia dentata, detta ruota dentata essendo configurata per ingranare con la relativa ruota di rimando (213, detta puleggia dentata essendo collegata per mezzo di una cinghia dentata (211) ad una puleggia successiva (210), avente asse di rotazione coincidente con l'asse di rotazione relativa tra la falange prossimale (22) e la falange distale (21).

14. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 6 a 13 comprendente inoltre un dito corrispondente al pollice (I), un metacarpo ed un relativo meccanismo di attuazione.

15. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 6 a 14 comprendente inoltre una scheda elettronica di controllo configurata per ricevere in ingresso dei segnali di comando da parte dell'utente e per comandare detto motore M1 in funzione di detti segnali di comando.

16. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 6 a 15 caratterizzata dal fatto che le pulegge dentate di accoppiamento delle varie dita al frame sono configurate in modo che il dito indice (2) sia inclinato di 5° rispetto al medio (3), il dito anulare (4) sia inclinato di 5° rispetto al medio (3) ma nella direzione opposta rispetto all'indice (2) ed il dito mignolo (5) sia inclinato di 10° rispetto al medio (3), nella stessa direzione del dito anulare (4).

17. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 6 a 16 caratterizzata dal fatto che ciascun dito comprende inoltre una prima ed una seconda molla lineare (2011, 2016), e dal fatto che detta prima molla (2011) è configurata per opporsi all'apertura della falange distale (21) rispetto a quella prossimale (22) e detta seconda molla (2016) è configurata per opporsi all'apertura della falange prossimale (22) rispetto all'appendice (23) e quindi rispetto al frame (00).

18. Mano robotica secondo la rivendicazione 17 caratterizzata dal fatto che detta prima molla (2011) è posizionata in una cava ricavata nella falange distale (21), fra una slitta mobile (2012) e un'estremità ricavata su un componente della falange distale (21) e durante il movimento di apertura del dito viene compressa per mezzo di un cavo (2013) che ha un'estremità fissata ad una spina (2014) presente sulla falange distale (21) e un'estremità avvolta attorno ad un bullone (2015) presente sulla falange prossimale (22).

19. Mano robotica secondo la rivendicazione 17 caratterizzata dal fatto che detta seconda molla (2016) è posizionata in una cava ricavata nella falange prossimale (22), fra una slitta mobile (2017) e un'estremità ricavata sul corpo centrale (2003) della falange, e durante il movimento di apertura del dito viene compressa per mezzo di un cavo (2018) che ha un'estremità fissata ad una spina (2019) presente sulla falange prossimale (22) e un'estremità avvolta attorno ad un bullone (2020) presente sull'appendice (23).

20. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 17 a 19, caratterizzata dal fatto che il pretensionamento di ciascuna di dette molle lineari (2011, 2016) può essere regolato agendo

sul rispettivo bullone (2015, 2020).

21. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 17 a 20, caratterizzata dal fatto che le due molle lineari (2011, 2016) associate a ciascun dito hanno rigidzze differenti, ed in particolare la molla associata alla falange prossimale (2016) ha rigidzza maggiore della molla associata alla falange distale (2011).

22. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni da 17 a 21, caratterizzata dal fatto che le molle lineari (2011, 2016) associate alle varie dita hanno rigidzze tra loro differenti, ed in particolare le molle associate al dito indice sono di rigidzza minore delle molle associate alle altre dita

23. Mano robotica secondo una delle rivendicazioni precedenti comprendente inoltre una pluralità di guanti (29, 39, 49, 59) realizzati in materiale elastico, configurati per ricoprire ciascuno un rispettivo dito dall'esterno ed installati in maniera solidale alle appendici (23) di ciascun dito, detti guanti (29, 39, 49, 59) essendo installati in modo che quando l'appendice (23) è inserita nel frame (00), il guanto (29) viene compresso fra l'appendice (23) ed un collarino elastico (214) solidale al frame (00).

【図1】

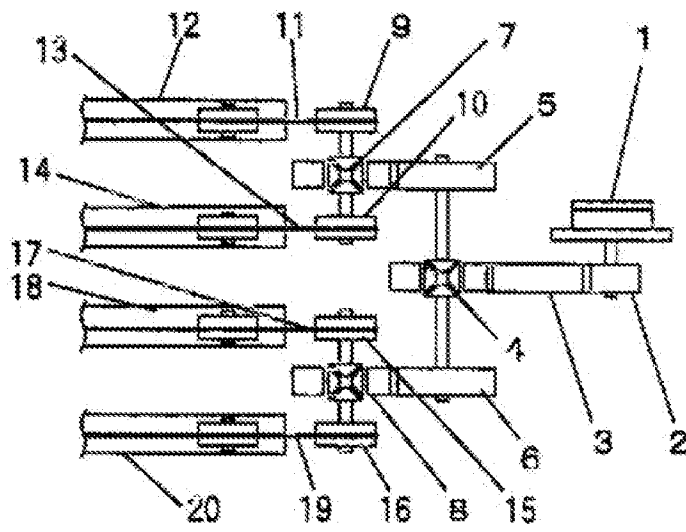


Fig. 0 – Prior art

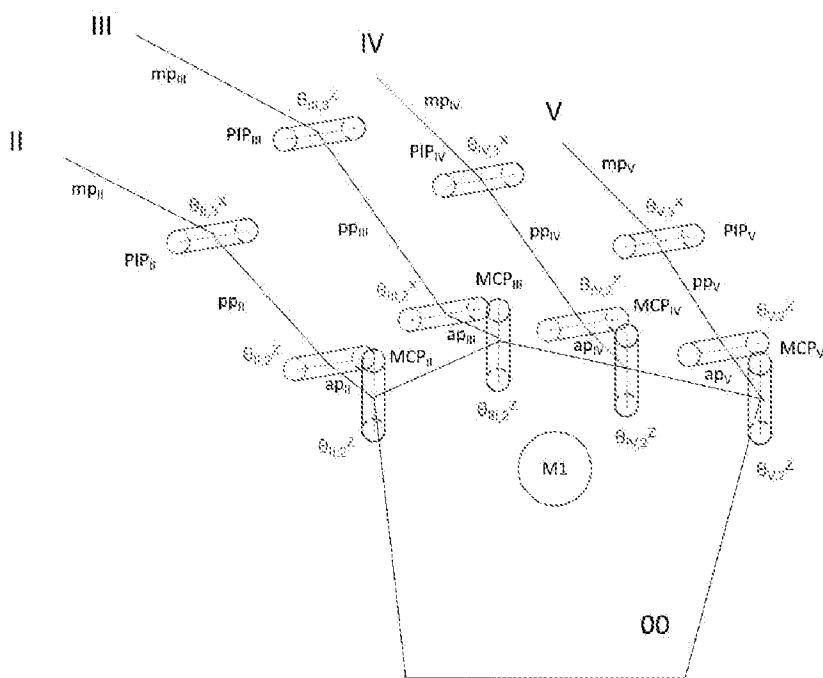


Fig. 1a

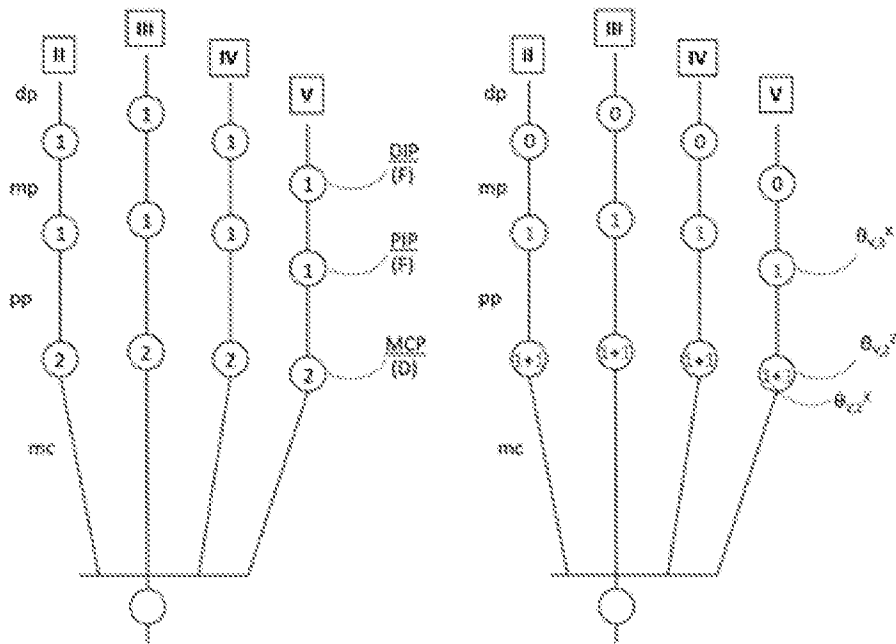


Fig. 1b

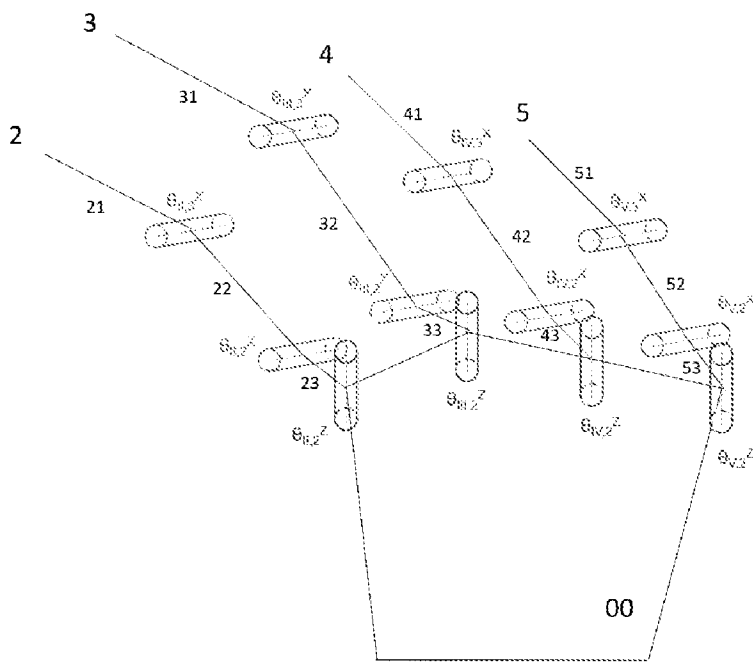


Fig. 2

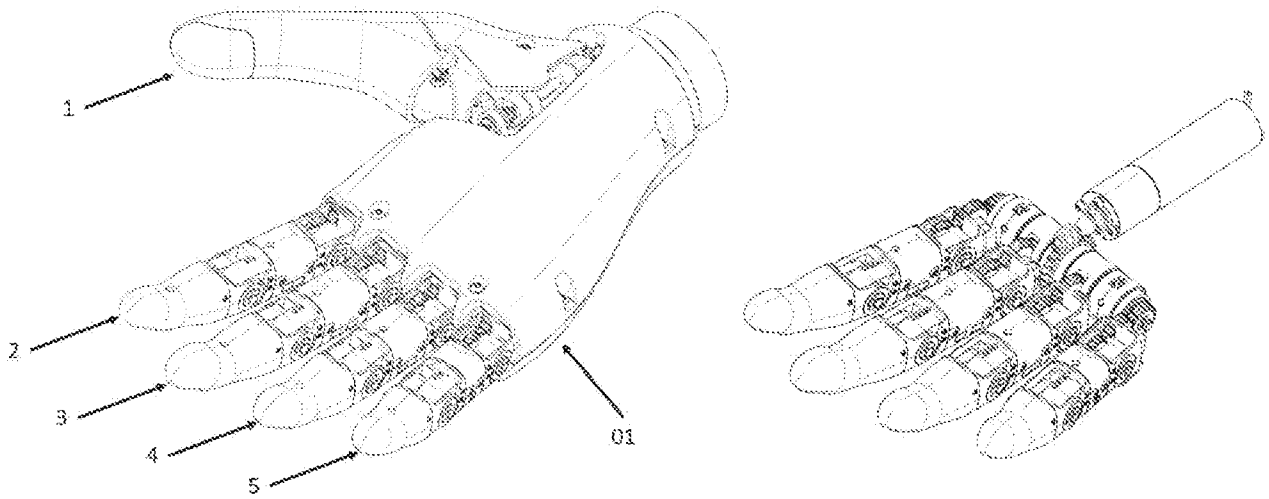


Fig. 3

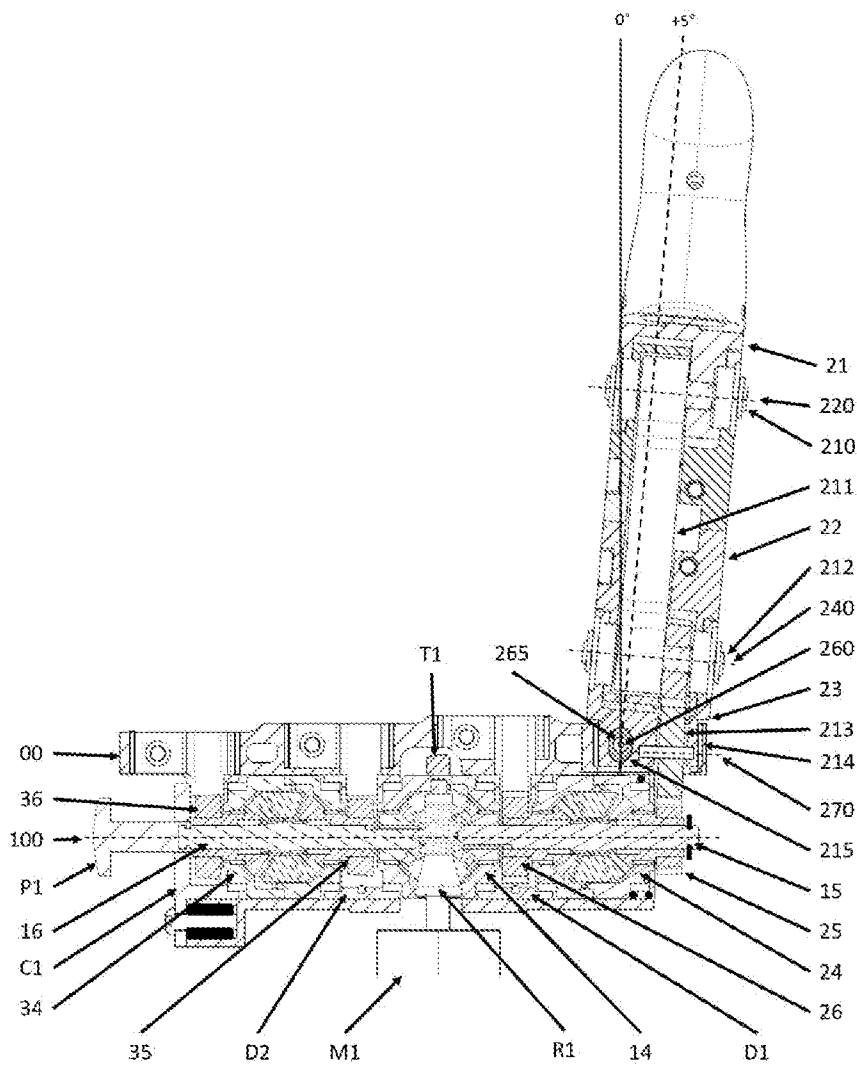


Fig. 4

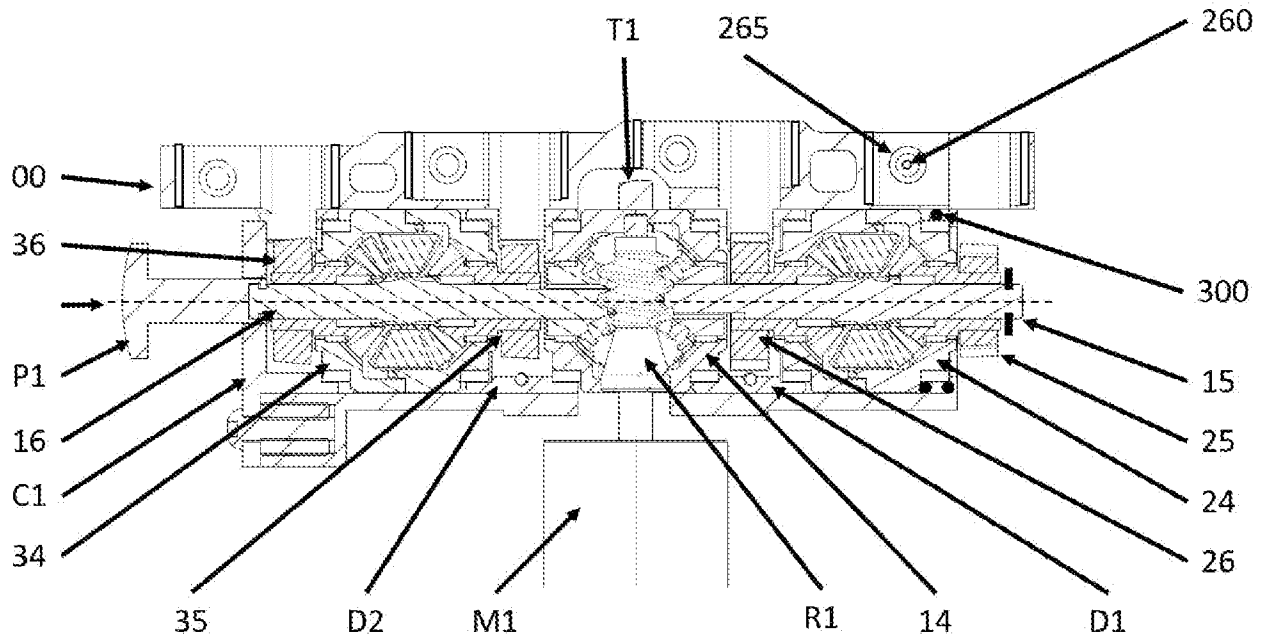


Fig. 5-a

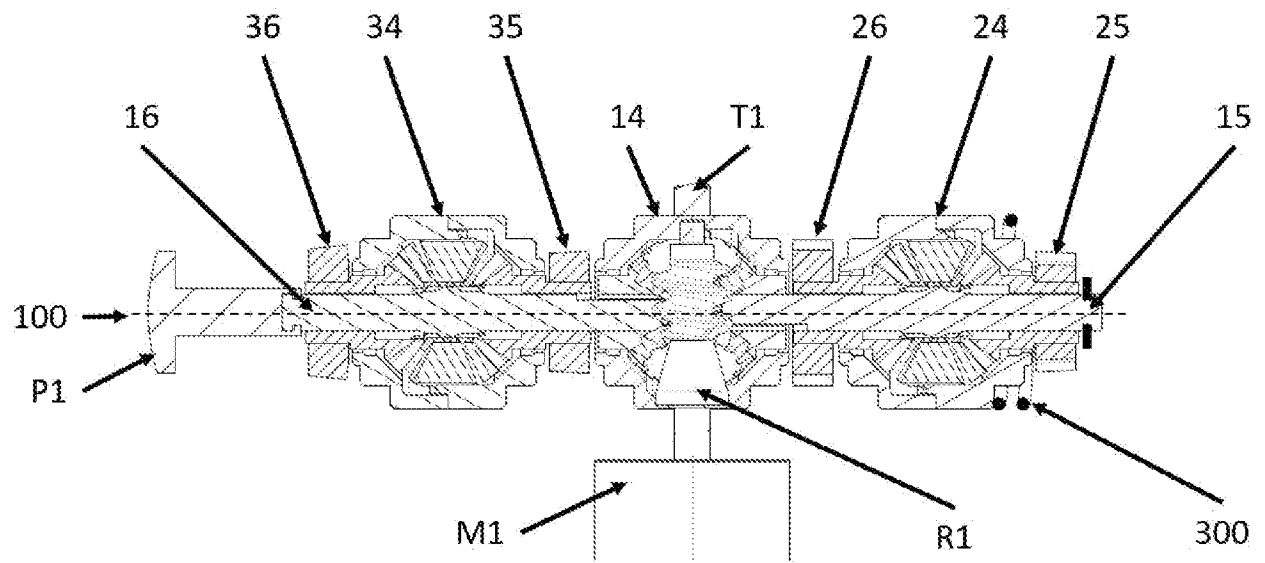


Fig. 5-b

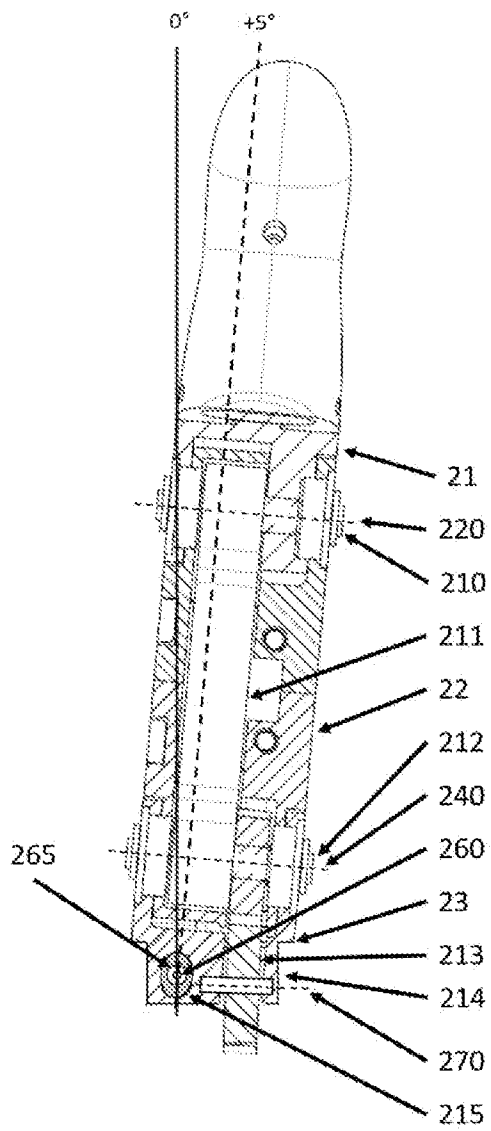


Fig. 5-c

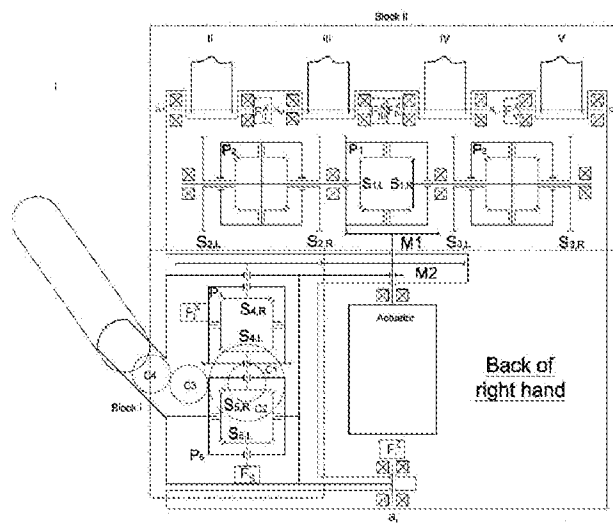


Fig. 5-d – Prior art

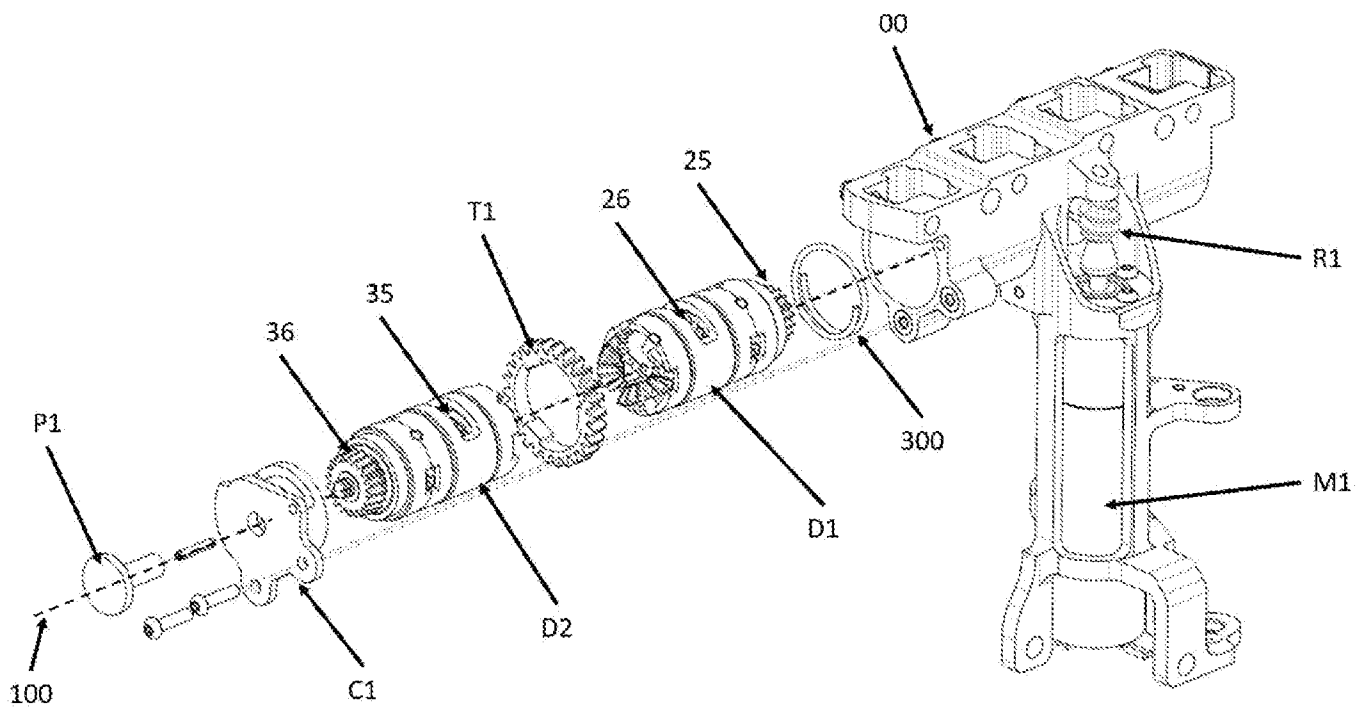


Fig. 6

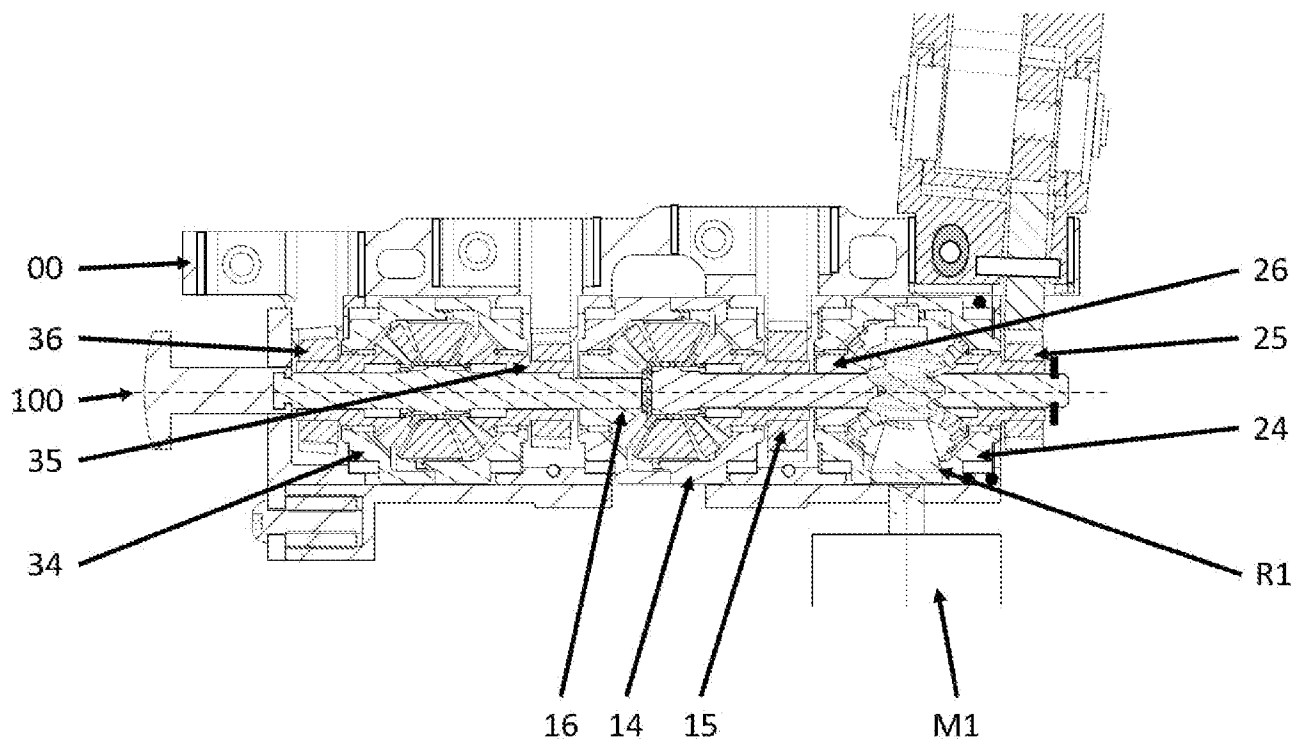


Fig. 7

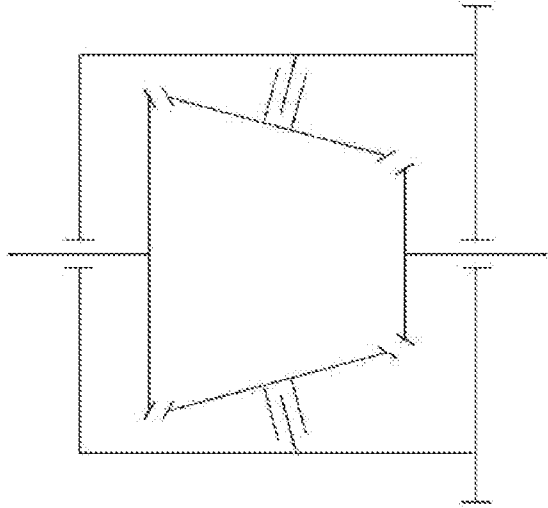


Fig. 8 - Arte nota

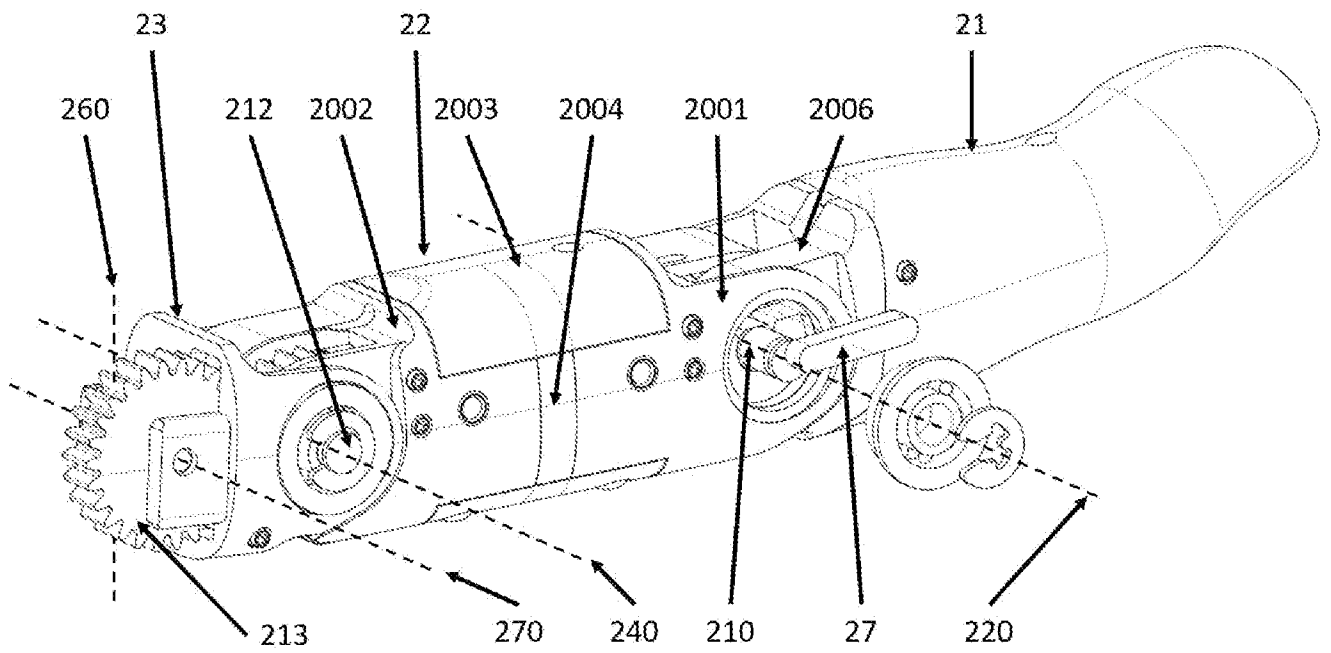


Fig. 9

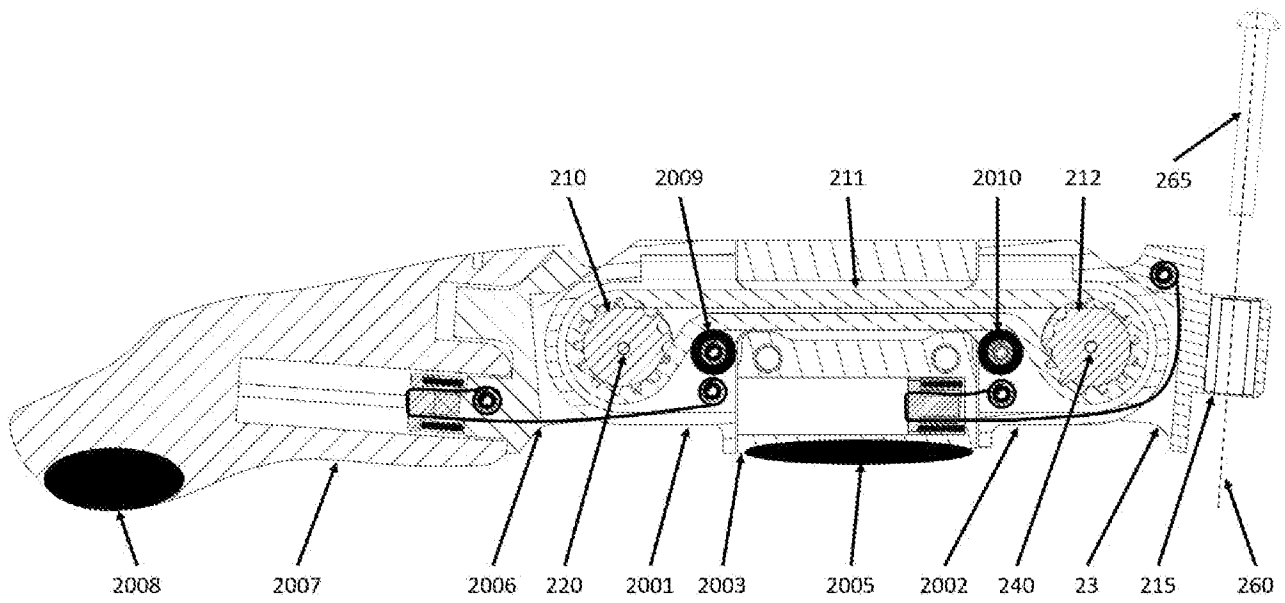


Fig. 10 - a

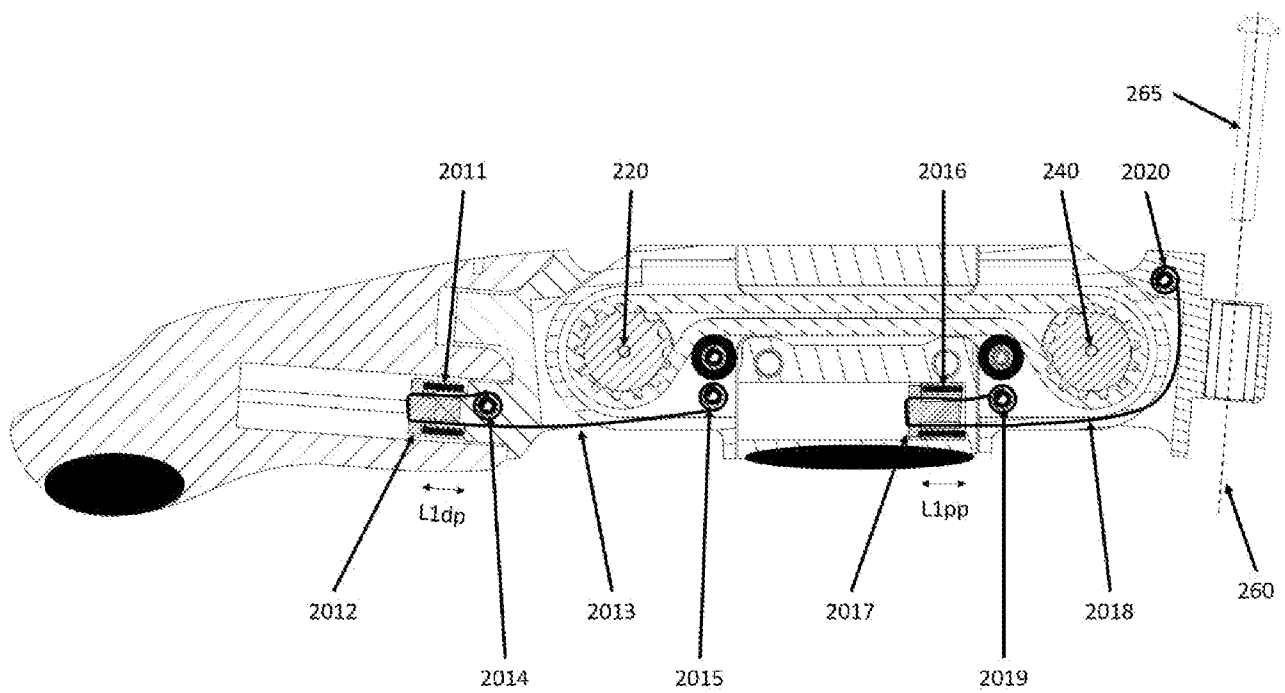


Fig. 10-b

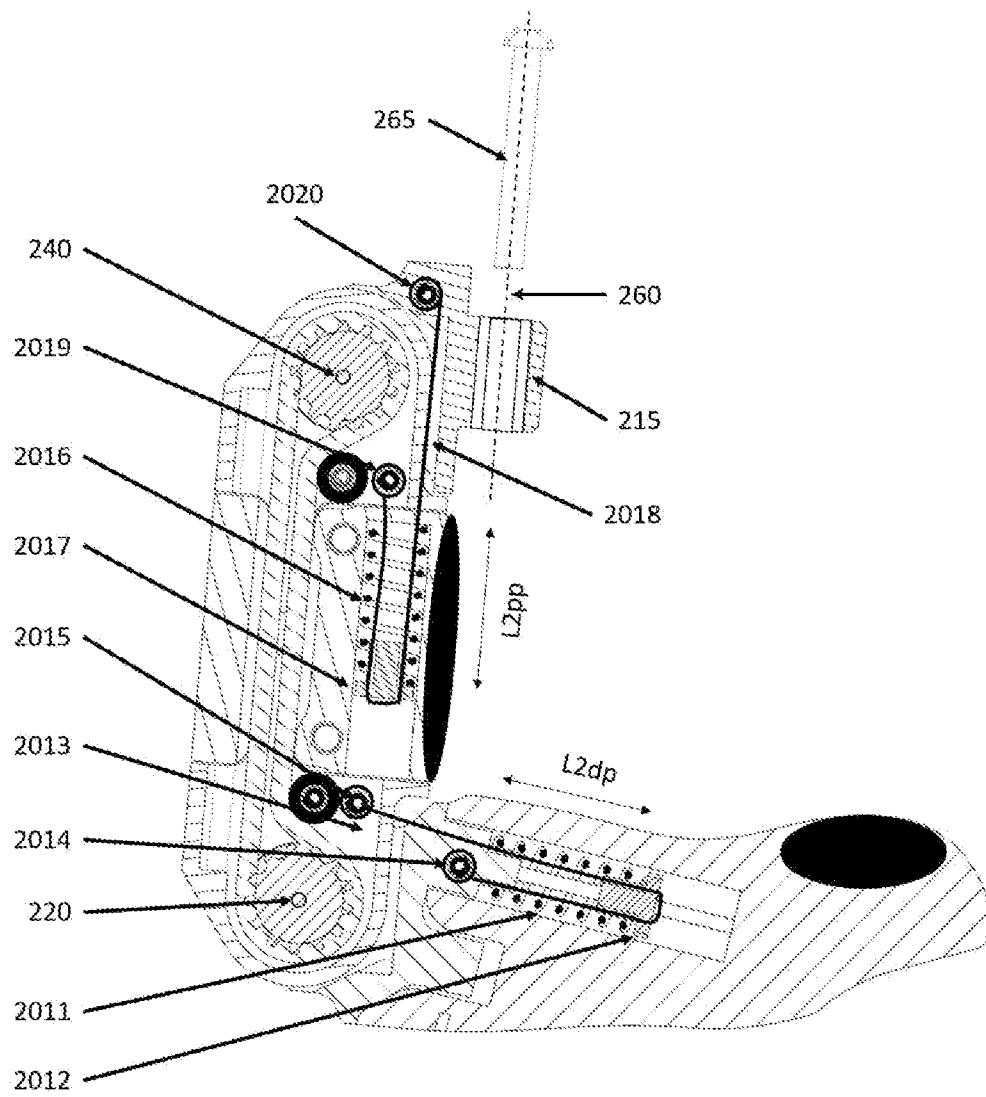


Fig. 11

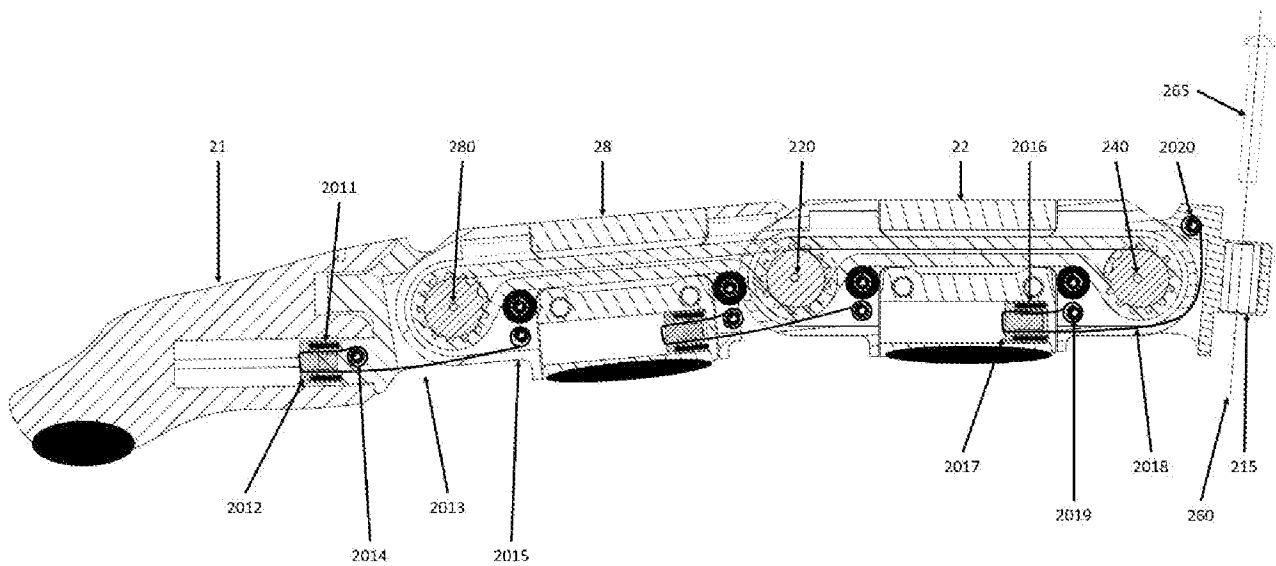


Fig. 12

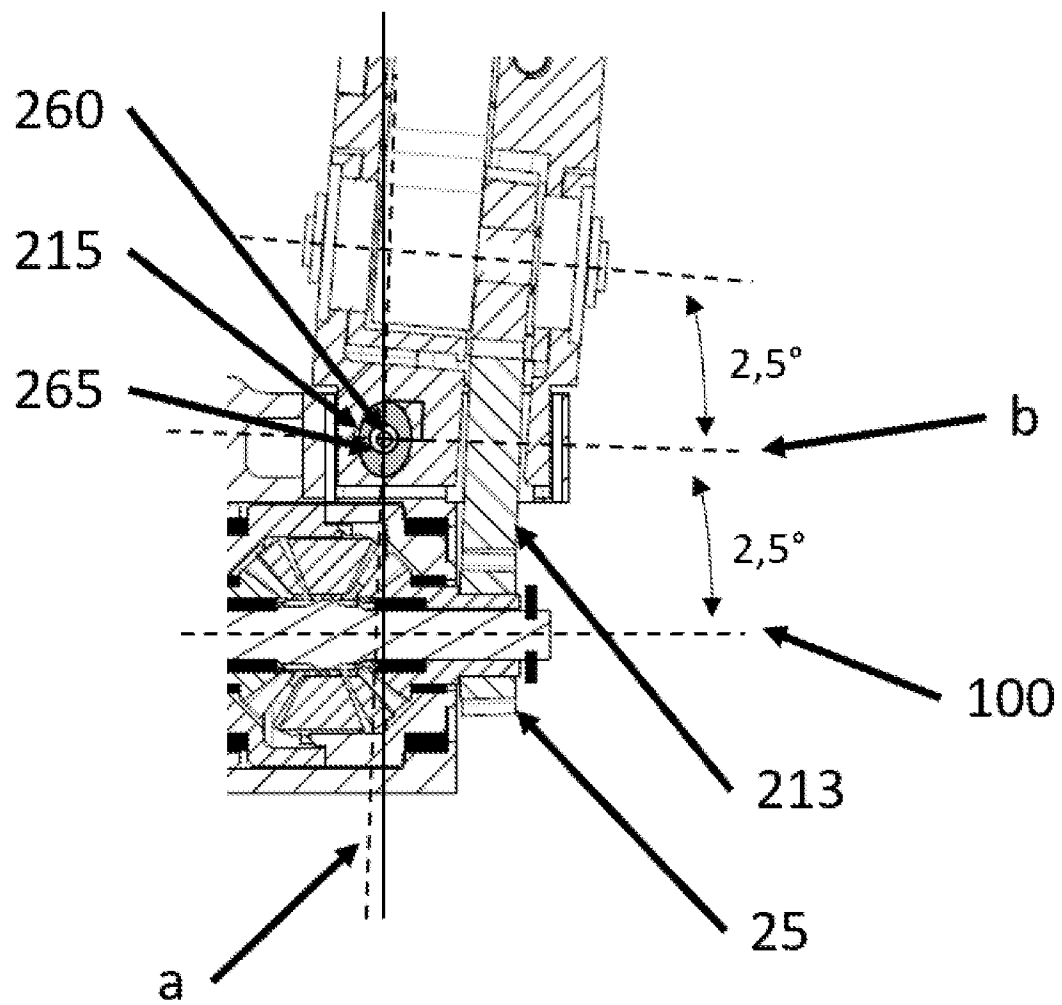


Fig. 13

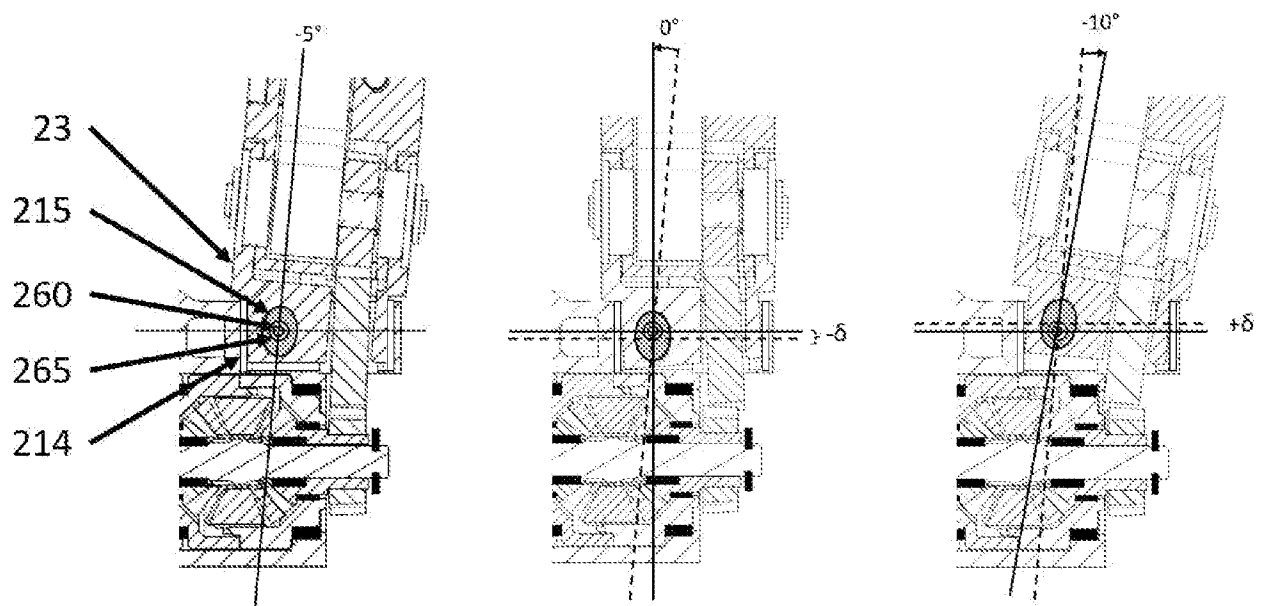


Fig. 14

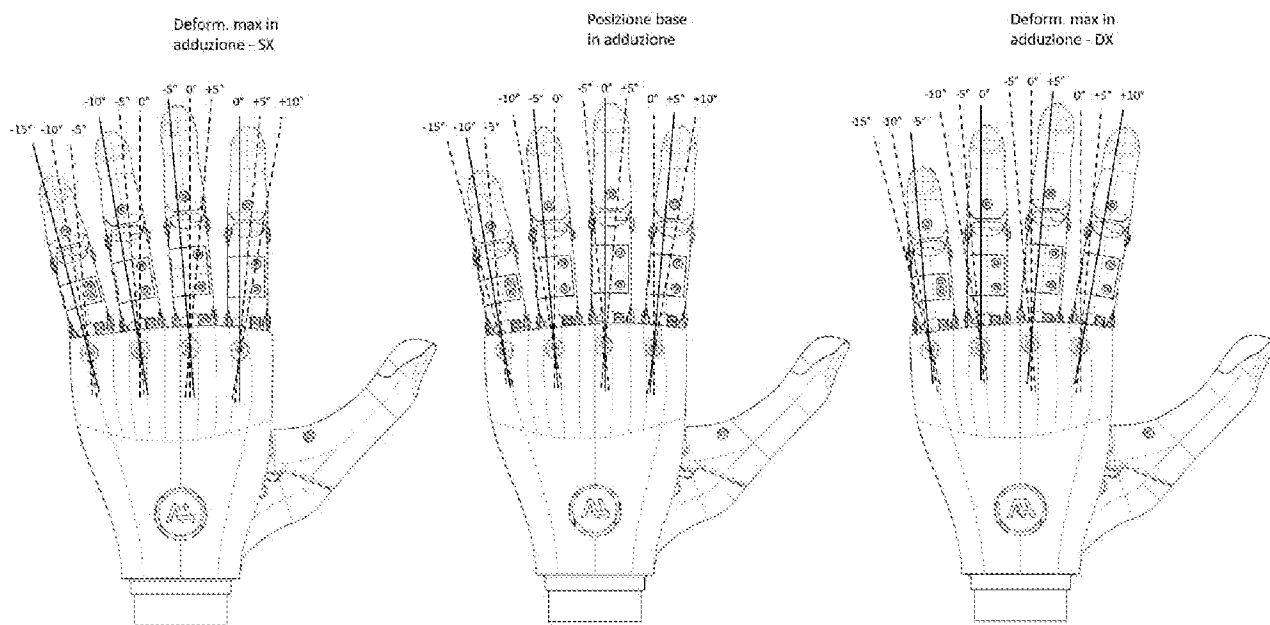


Fig. 15

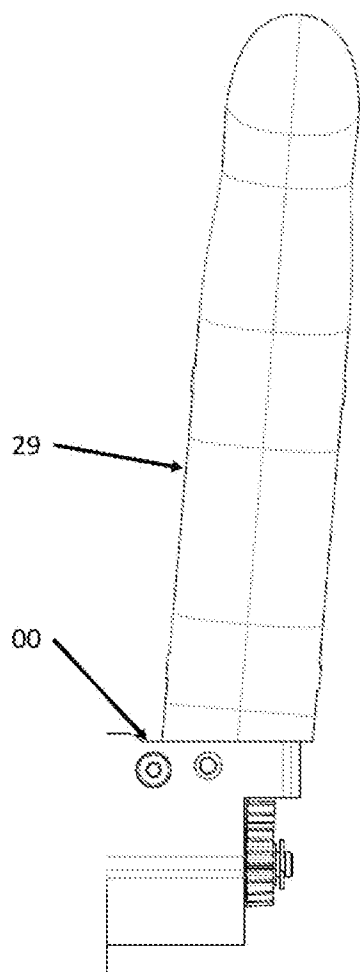


Fig. 16 - a

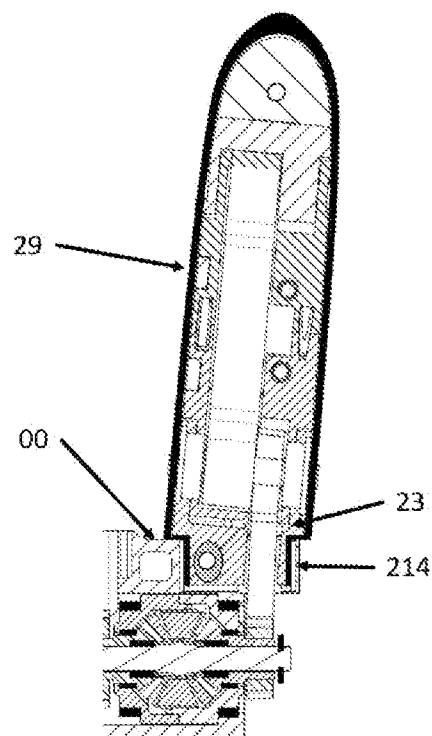


Fig. 16 - b