



*Ministero dello Sviluppo Economico*

---

Ricevuta di presentazione

per

Brevetto per invenzione industriale

---

Domanda numero: 102020000006100

Data di presentazione: 23/03/2020

## DATI IDENTIFICATIVI DEL DEPOSITO

Ruolo	Mandatario
Depositante	Marco Prendin
Data di compilazione	23/03/2020
Riferimento depositante	MBI16887-IT - UNIFE
Titolo	Meccanismo parallelo traslazionale
Carattere domanda	Ordinaria
Esenzione	NO
Accessibilità al pubblico	NO
Numero rivendicazioni	10
Autorità depositaria	

## PRIVACY

Autorizzo il trattamento dei dati personali, inseriti all'interno del deposito, ai sensi del GDPR (Regolamento UE 2016/679) e del Decreto Legislativo 30 giugno 2003, n. 196 "Codice in materia di protezione dei dati personali"

## RICHIEDENTE/I

Natura giuridica	Persona giuridica
Denominazione	UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA
P.IVA/CF	00434690384
Tipo Società	le universita'
Nazione sede legale	Italia
Comune sede legale	Ferrara (FE)
Indirizzo	Via Ludovico Ariosto
Civico	35
CAP	44121
Telefono	
Fax	
Email	
Pec	

Quota percentuale

100.0%

## DOMICILIO ELETTIVO

Cognome/R.sociale	Cantaluppi & Partners S.r.l.
Indirizzo	via P. Strobel 8
Cap	20123
Nazione	Italia
Comune	Milano (MI)
Telefono	02 - 70636213
Fax	02 - 70607958
Email\PEC	main@pec.cantaluppi.com

## MANDATARI/RAPPRESENTANTI

Cognome	Nome
Prendin	Marco
Bardone	Anna Maria
Benettin	Arianna
Cantaluppi	Stefano
Cavallin	Tommaso
Come	Caroline Edith Bernadette
Currado	Luisa
Fabris	Stefano
Faia	Monica
Ghirardi	Valeria
Leone	Mario
Locas	Davide
Martinelli	Domenico
Montevecchi	Emma
Morabito	Sara
Rota	Emanuela

Susanetto

Carlo

## INVENTORI

## Cognome

DI GREGORIO

## Nome

Raffaele

## Nazione residenza

Italia

## CLASSIFICAZIONI

## Sezione

B

## Classe

25

## Sottoclasse

J

## Gruppo

## Sottogruppo

## NUMERO DOMANDE COLLEGATE

## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

Tipo documento	Riserva	Documento
Rivendicazioni	NO	MBI16887-IT_RIVENDICAZIONI.pdf.p7m hash: 37803ac1e9bd524e0140aac7c3a0e439
Riassunto	NO	MBI16887-IT_RIASSUNTO.pdf.p7m hash: efeaaaf2379e4335337a9a61f4211953f
Disegni provvisori	NO	MBI16887-IT_DISEGNI PROVVISORI.pdf.p7m hash: d1e1ce06251c6f9d8a84f0289ec3af9d
Descrizione in italiano*	NO	MBI16887-IT_DESCRIZIONE.pdf.p7m hash: e9105a8b7b9b0af558e9c7077172a09a
Disegni	SI	hash:
Rivendicazioni in inglese	SI	hash:
Lettera di Incarico	SI	hash:

**PAGAMENTI**

<b>Tipo</b>	<b>Identificativo</b>	<b>Data</b>
Bollo	01190803020434	19/02/2020

**ESENZIONI INDICATE**

Esenzione su diritti e tasse	DM 02/04/2007 - art. 2: esonero dal pagamento dei diritti di deposito e di trascrizione relativamente ai brevetti per invenzioni industriali, e modelli di utilita' a vantaggio di: Universita'; Amministrazioni Pubbliche aventi fra i loro scopi istituzionali finalita' di ricerca; Amministrazioni della Difesa; Amministrazioni delle Politiche Agricole, alimentari e forestali.
------------------------------	--

**DOVUTO**

**Gli importi indicati non tengono conto delle eventuali esenzioni applicabili**

Importo Tasse:	€ 50,00
Importo Imposta Bollo:	€ 20,00

**NOTE**

## RIASSUNTO

Meccanismo parallelo traslazionale comprendente tre gambe, in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

- un primo giunto cardanico comprendente una prima coppia rotoidale ed una seconda coppia rotoidale,
- 5 • un primo membro connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità ad un telaio mediante il primo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale sia fissa al telaio, e connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una prima estremità di un secondo membro mediante una terza coppia rotoidale,
- un secondo giunto cardanico comprendente una quarta coppia rotoidale ed una quinta coppia rotoidale,
- 10 • il secondo membro che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una piattaforma mobile mediante il secondo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della quinta coppia rotoidale sia fissa alla piattaforma mobile,

in cui le prime coppie rotoidali e le quinte coppie rotoidali definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche. Gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nel telaio oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 15 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe. Gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nella 20 piattaforma mobile oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe.

## Meccanismo parallelo traslazionale

### DESCRIZIONE

#### Ambito tecnico

La presente invenzione si riferisce a un meccanismo parallelo traslazionale (MPT), nello specifico ad un particolare MPT di tipo 3-URU, anche combinabile con altri dispositivi per la realizzazione di meccanismi non semplicemente traslazionali.

#### Sfondo tecnologico

L'invenzione trova particolare, ancorché non esclusiva, applicazione nel settore tecnico pertinente a robot industriali destinati alla movimentazione e al posizionamento di oggetti nello spazio mediante un elemento di presa nonché al settore tecnico inerente a macchine di misura, dispositivi aptici, joystick e stampanti 3D.

I MPT vengono solitamente impiegati da soli e/o con altri meccanismi per realizzare dispositivi, in particolare robot industriali, sia con tre gradi di libertà (traslazione spaziale, nota con la sigla 3T), che con quattro gradi di libertà per movimenti 3T1R (traslazione spaziale + una rotazione intorno ad un asse con direzione fissa) di tipo SCARA per svolgere operazioni di pick-and-place su un piano di lavoro e/o assemblaggio. Un esempio di robot industriale è rappresentato dal robot Delta.

Esempi di dispositivi per la movimentazione e il posizionamento di elementi nello spazio sono inoltre descritti nei brevetti statunitensi US 4,976,582 A e US 6,729,202 B2.

Inoltre, esempi di manipolatori paralleli di tipo 3-URU (cioè, con tre catene cinematiche, definite ciascuna dalla serie costituita da un primo giunto universale (U), una coppia rotoidale (R) e un secondo giunto universale (U), che collegano in parallelo il gripper (piattaforma) al telaio (base)) sono descritti nelle seguenti pubblicazioni:

- Huda, S.; Takeda, Y. Kinematic analysis and synthesis of a 3-URU pure rotational parallel mechanism with respect to singularity and workspace. J. of Adv. Mech. Design, System and Manufacturing 2007, 1(1), 81-92, DOI: 10.1299/jamdsm.1.81;
- Huda, S.; Takeda, Y. Kinematic Design of 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Consideration

of Uncompensatable Error. J. of Adv. Mech. Design, Systems, and Manufacturing 2008, 2(5), 874–886, DOI: 10.1299/jamdsm.2.874;

- Carbonari, L.; Corinaldi, D.; Palpacelli, M.; Palmieri, G.; Callegari, M. A Novel Reconfigurable 3-URU Parallel Platform. In Advances in Service and Industrial Robotics, Ferraresi, C., Quaglia, G., Eds.; Springer:

5 Dordrecht, Germany, 2018; pp. 63 – 73, ISBN: 978-3-319-61275-1 .

Tuttavia, si osserva che i manipolatori paralleli traslazionali con architettura 3-URU noti soffrono di uno o più dei seguenti limiti: prestazioni non soddisfacenti in termini di precisione e/o velocità, regione dello spazio operativo idonea a collocare lo spazio di lavoro utile relativamente limitata, configurazioni singolari indesiderate, complessità costruttiva significativa e ingombro eccessivo.

#### 10 Sommario dell'invenzione

Scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un meccanismo parallelo traslazionale strutturalmente e funzionalmente concepito per superare almeno un limite della tecnica nota sopra citata.

Questo scopo è conseguito mediante un meccanismo parallelo traslazionale realizzato in accordo con la rivendicazione indipendente acclusa alla presente descrizione.

15 La rivendicazione indipendente ha per oggetto un meccanismo parallelo traslazionale comprendente tre gambe, in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

- un primo giunto cardanico comprendente una prima coppia rotoidale ed una seconda coppia rotoidale,
- un primo membro connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità ad un telaio mediante il primo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale sia fissa al telaio, e
- 20 connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una prima estremità di un secondo membro mediante una terza coppia rotoidale,
- un secondo giunto cardanico comprendente una quarta coppia rotoidale ed una quinta coppia rotoidale,
- il secondo membro che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una piattaforma mobile mediante il secondo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della quinta coppia
- 25 rotoidale sia fissa alla piattaforma mobile,

in cui le prime coppie rotoidali e le quinte coppie rotoidali definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche, in cui gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nel telaio oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe, ed in cui gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nella piattaforma mobile oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe.

10 Caratteristiche preferite dell'invenzione sono definite nelle rivendicazioni dipendenti.

Nel contesto della presente invenzione, lo spazio operativo di una piattaforma mobile è individuata da un iperspazio  $n$ -dimensionale con  $n \leq 6$  che ha per coordinate i parametri geometrici che identificano la postura della piattaforma mobile. Nel caso di un MPT (meccanismo parallelo traslazionale) la postura della piattaforma mobile è univocamente determinata quando sono assegnate le coordinate di un punto della piattaforma mobile in un sistema di riferimento cartesiano solidale con il telaio (base). Pertanto, in un MPT, lo spazio operativo è tridimensionale e coincide con lo spazio Euclideo mappato da un sistema cartesiano.

Nel contesto della presente invenzione, le configurazioni singolari (singolarità) di un meccanismo parallelo sono quelle in cui il legame fra vettori caratteristici del campo di velocità della piattaforma mobile dell'MPT (cioè, velocità angolare e velocità di un punto della piattaforma) non sono più in corrispondenza biunivoca con le derivate prime rispetto al tempo delle variabili di giunto (velocità di giunto) dei giunti attuati dell'MPT. Il legame funzionale tra velocità della piattaforma mobile e velocità dei giunti attuati è un'applicazione lineare, che prende il nome di relazione input-output istantanea.

Un elenco di pubblicazioni inerenti alle singolarità dei meccanismi paralleli è di seguito riportato:

- Zlatanov, D.; Bonev, I.A.; Gosselin, C.M. Constraint Singularities as C-Space Singularities. In *Advances in Robot Kinematics: Theory and Applications*, Lenarčič, J., Thomas, F., Eds.; Springer: Dordrecht, Germany,

2002; pp. 183 – 192, ISBN: 978-90-481-6054-9;

- Gosselin C.M., Angeles J. Singularity analysis of closed-loop kinematic chains. IEEE Trans. Robot. Automat. 1990, 6(3), 281–290;

- Zlatanov D., Fenton R.G., Benhabib B. A unifying framework for classification and interpretation of  
5 mechanism singularities. ASME J. Mech. Des. 1995, 117(4), 566–572 .

Il meccanismo parallelo traslazionale (di seguito chiamato anche MPT per brevità), oggetto dell'invenzione, comprende due corpi rigidi, uno mobile (piattaforma) e l'altro fisso (base o detto anche telaio) collegati tramite tre catene cinematiche (gambe) di tipo URU.

Inoltre, un corpo rigido che fa parte dell'MPT oggetto dell'invenzione verrà indicato con il termine  
10 “membro”, cosicché, il meccanismo possa essere descritto come un insieme di membri interconnessi fra di loro tramite coppie cinematiche.

Nel contesto della presente invenzione, per corpo rigido si intende un solido realizzato con materiale le cui deformazioni siano piccole rispetto alle dimensioni del solido e, comunque, tali da non compromettere il funzionamento del meccanismo, come, ad esempio, piastre, aste ed altri componenti meccanici che entrano  
15 nella composizione di una macchina reale.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende un primo giunto universale (U), anche detto cardanico, che è costituito da due coppie rotoidali (R) con assi ortogonali ed incidenti in un punto, detto centro del primo giunto cardanico, che collegano una membro intermedio (crociera) da un lato al telaio e dall'altro ad un primo membro mobile della gamba. Il centro del primo giunto cardanico è fisso nel telaio.

20 La prima coppia rotoidale di questo primo giunto cardanico è la prima coppia rotoidale della gamba, collega il telaio alla crociera del giunto cardanico ed ha asse fisso al telaio. La seconda coppia rotoidale di questo stesso giunto è la seconda coppia rotoidale della gamba e collega la crociera al primo membro mobile della gamba.

Il primo membro mobile della gamba è altresì connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad  
25 una prima estremità di un secondo membro mobile della gamba mediante un'altra coppia rotoidale, che è la

terza coppia rotoidale della gamba ed ha asse parallelo a quello della seconda coppia rotoidale della gamba.

Il secondo membro mobile della gamba è altresì connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità alla crociera di un secondo giunto cardanico tramite una coppia rotoidale, che è la quarta coppia rotoidale della gamba ed ha l'asse parallelo all'asse della seconda e della terza coppia rotoidale della gamba. Inoltre, la  
5 crociera di questo secondo giunto cardanico è collegata tramite un'altra coppia rotoidale, che è la quinta (ed ultima) coppia rotoidale della gamba, alla piattaforma mobile ed ha asse fisso nella piattaforma stessa.

L'asse di rotazione della quarta coppia rotoidale della gamba e l'asse di rotazione della quinta coppia rotoidale della gamba sono ortogonali fra loro ed incidenti. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è definito come centro del secondo giunto cardanico (U) della gamba ed è un punto fisso della piattaforma.

10 In breve, la catena cinematica di tipo URU di ciascuna gamba è anche indicabile, con maggior dettaglio, come di tipo  $R \perp R \parallel R \perp R$ , cioè, costituita da cinque coppie rotoidali (identificate con la lettera R) in serie di cui tre intermedie con assi di rotazione paralleli fra di loro (il simbolo  $\parallel$ , interposto fra due R, indica che gli assi delle due coppie rotoidali adiacenti sono paralleli) e due di estremità con assi di rotazione perpendicolari a quelli delle altre tre (il simbolo  $\perp$ , interposto fra due R, indica che gli assi di rotazione delle due coppie  
15 rotoidali adiacenti sono ortogonali ed incidenti).

Secondo un aspetto dell'invenzione, le tre gambe di tipo URU sono montate in modo tale che l'asse della prima coppia rotoidale di ciascuna gamba sia parallelo all'asse della quinta coppia rotoidale della stessa gamba. Inoltre, il telaio (base) e la piattaforma mobile sono dimensionati in modo tale che i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sul telaio (base) ed i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba)  
20 fissi nella piattaforma permettano questo montaggio.

Durante il movimento della piattaforma rispetto alla base, gli assi della seconda coppia rotoidale, della terza coppia rotoidale e della quarta coppia rotoidale di ciascuna gamba restano paralleli tra di loro per ragioni costruttive. Inoltre, il sopra menzionato particolare montaggio delle gambe garantisce che l'orientamento della piattaforma rispetto alla base resti costante (cioè, la piattaforma è vincolata a traslare rispetto alla base)  
25 purché non si raggiungano particolari configurazioni, chiamate in letteratura "constraint singularities".

La particolare geometria della piattaforma, della base e delle gambe insieme alla particolare scelta delle coppie cinematiche da attuare determina l'ampiezza della regione dello spazio operativo della macchina entro cui la piattaforma può muoversi senza incontrare singolarità. Pertanto, l'individuazione di una geometria particolare di 3-URU e di un set particolare di giunti da attuare che garantiscano un'ampia regione priva di singolarità è un aspetto rilevante dell'invenzione.

Secondo un aspetto dell'invenzione, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla base, cioè, quelli delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e che, qualora non siano incidenti in un unico punto della base, la distanza fra di essi sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i tre centri dei tre giunti cardanici (uno per gamba) che collegano la base alle tre gambe.

In particolare, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla base, cioè, quelli delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi nella piattaforma, cioè, quelli delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e che, qualora non siano incidenti in un unico punto della piattaforma, la distanza fra di essi sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i tre centri dei tre giunti cardanici (uno per gamba) che collegano la base alle tre gambe.

In particolare, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla piattaforma, cioè, quelli delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, in ciascuna gamba, c'è un solo giunto attuato ed il giunto attuato è la seconda coppia rotoidale della gamba.

Il meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione differisce pertanto dai manipolatori paralleli di tipo 3-URU noti, i quali presentano sia gli assi di rotazione delle coppie rotoidali adiacenti alla base sia gli

assi di rotazione delle coppie rotoidali adiacenti alla piattaforma complanari o, quando non sono complanari, attuano la prima coppia rotoidale di ciascuna gamba.

Deve essere osservato che sia la variazione della disposizione di tali assi di rotazione che la scelta delle coppie rotoidali da attuare comporta un cambiamento sostanziale del comportamento di un meccanismo di tipo 3-URU sia in termini di redistribuzione dei carichi tra i membri del meccanismo che in termini funzionali (spazio di lavoro).

Le caratteristiche del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione rendono tale MPT particolarmente apprezzabile sotto il profilo dell'ampiezza della regione dello spazio operativo della piattaforma mobile che è priva di singolarità. Più è ampia tale regione e più ampio può essere lo spazio di lavoro utile dell'MPT perché lo spazio di lavoro utile dell'MPT deve essere collocato all'interno di tale regione. Una dimostrazione di tali aspetti verrà fornita a seguire con riferimento ad una particolare forma di realizzazione dell'invenzione.

Secondo una forma di realizzazione dell'invenzione, gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba possono essere mutuamente ortogonali ed incidenti in un unico punto fisso nel telaio.

Secondo una forma di realizzazione dell'invenzione, gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba possono essere mutuamente ortogonali ed incidenti in un unico punto fisso nella piattaforma mobile.

Tali caratteristiche si rivelano particolarmente vantaggiose in termini di ingombro contenuto dell'MPT nonché di rigidità e di semplicità costruttiva.

Secondo una forma di realizzazione alternativa dell'invenzione, gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali possono essere anche sghembi e/o gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali possono essere anche sghembi.

L'intersezione suddetta tra gli assi di rotazione non è infatti un requisito necessario dell'MPT secondo l'invenzione, a condizione che la distanza tra due qualsiasi di tali assi sia minore del 20% del diametro della circonferenza passante per il centro dei tre giunti cardanici adiacenti alla base e l'angolo formato fra due

qualsiasi di tali assi sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, il meccanismo parallelo traslazionale comprende un attuatore per ciascuna gamba. Tali attuatori sono accoppiati alla seconda coppia rotoidale della rispettiva gamba per il loro azionamento.

- 5 Secondo un aspetto dell'invenzione, almeno uno dei suddetti attuatori comprende un motore con carter fissato al telaio in modo tale che l'albero del motore abbia asse coincidente con l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale della gamba in cui è montato. Inoltre, tale attuatore comprende un sistema di trasmissione del moto (ad esempio, una coppia conica collegata all'albero del motore (preferibilmente attraverso un riduttore)) che aziona la seconda coppia rotoidale della gamba in cui è montato. Questa
- 10 soluzione riduce le masse in movimento e permette di realizzare un MPT con prestazioni dinamiche più elevate.

In una forma alternativa dell'invenzione, il carter del motore per l'azionamento della seconda coppia rotoidale può non essere fissato al telaio ma ad un altro elemento dell'MPT.

- Il dispositivo MPT secondo l'invenzione si presta comunque anche ad un impiego senza attuatori in cui la
- 15 piattaforma è azionata dall'esterno ed, in corrispondenza delle seconde coppie rotoidali di ciascuna gamba si preleva un segnale collegato all'angolo di rotazione di queste coppie rotoidali, come, ad esempio, se fosse impiegato per realizzare un joystick o una cella di carico particolare, ecc. .

- In una possibile configurazione dell'MPT passiva, ossia senza attuatori, il movimento della piattaforma mobile può essere guidato da un operatore che in modo diretto afferra tale piattaforma e monitorato da
- 20 opportuni sensori (ad esempio un encoder per ciascuna gamba) che possono essere montati in luogo degli attuatori, ossia sulle seconde coppie rotoidali di ciascuna gamba.

In altri termini, il meccanismo parallelo traslazionale può comprendere un sensore per ciascuna gamba (in aggiunta o in alternativa all'attuatore). Tali sensori sono accoppiati alle seconde coppie rotoidali delle rispettive gambe per generare un segnale correlato all'angolo di rotazione di tali coppie rotoidali.

- 25 Secondo una particolare forma dell'invenzione, l'MPT, oltre alle tre gambe URU già descritte, comprende

una ulteriore gamba, preferibilmente di tipo RUPUR (cioè, costituita dalla catena cinematica seriale coppia rotoidale(R)-giunto universale(U)-coppia prismatica (P)-giunto universale (U)-coppia rotoidale (R)), che collega la piattaforma mobile alla base per controllare la rotazione di un utensile o un gripper collegato tramite una coppia rotoidale alla piattaforma mobile. Questa disposizione permette di realizzare un movimento 3T1R di tipo SCARA.

#### Breve descrizione dei disegni

Caratteristiche ed ulteriori vantaggi dell'invenzione meglio risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue di suoi esempi di realizzazione preferiti, ancorché non esclusivi, i quali sono illustrati, a titolo indicativo e non limitativo, con riferimento agli uniti disegni in cui:

- la figura 1 è una rappresentazione schematica di una prima forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione,
- la figura 2 è uno schema costruttivo di una i-esima gamba di una forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, e
- la figura 3 è una rappresentazione schematica di una seconda forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale con la quarta gamba RUPUR secondo l'invenzione.

#### Descrizione di forme di realizzazione dell'invenzione

Con riferimento iniziale alla figura 1, con il numero 100 è indicato complessivamente un meccanismo parallelo traslazionale secondo una prima forma di realizzazione dell'invenzione.

Il meccanismo parallelo traslazionale 100 è provvisto di tre gambe 1, 2 e 3, ciascuna delle quali individua una rispettiva catena cinematica. La figura 2 mostra una forma di realizzazione di una gamba.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende un primo giunto cardanico 4 che comprende una prima coppia rotoidale R1 ed una seconda coppia rotoidale R2.

La prima coppia rotoidale R1 e la seconda coppia rotoidale R2 sono provvisti di rispettivi assi di rotazione indicati con i numeri 5 e, rispettivamente, 6.

Con riferimento alle figure 1 e 2, l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 e l'asse di rotazione 6

della seconda coppia rotoidale R2 sono incidenti e ortogonali fra loro. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è il centro del primo giunto cardanico 4.

I centri dei primi giunti cardanici 4 appartenenti alle gambe 1, 2, 3 sono, rispettivamente, indicati con i simboli  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ .

- 5 La catena cinematica di ciascuna gamba comprende altresì un primo membro 7, realizzato in forma di asta, connesso in corrispondenza di una sua prima estremità 8 ad un telaio 9 mediante il primo giunto cardanico 4 in modo tale che l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 sia fissa al telaio 9.

Il primo membro 7 è connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità 10 ad una prima estremità 11 di un secondo membro 12, realizzato in forma di asta, mediante una terza coppia rotoidale R3.

- 10 La terza coppia rotoidale R3 è provvista di un asse di rotazione indicato con il numero di riferimento 13.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende altresì un secondo giunto cardanico 14 comprendente una quarta coppia rotoidale R4 ed una quinta coppia rotoidale R5.

La quarta coppia rotoidale R4 e la quinta coppia rotoidale R5 sono provvisti di rispettivi assi di rotazione indicati con i numeri 15 e, rispettivamente, 16.

- 15 L'asse di rotazione 15 della quarta coppia rotoidale R4 e l'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 sono incidenti e ortogonali fra loro. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è il centro del secondo giunto cardanico 14.

I centri dei secondi giunti cardanici 14 appartenenti alle gambe 1, 2, 3 sono, rispettivamente, indicati con i simboli  $B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3$ .

- 20 Il secondo membro 12 è connesso, o connettibile, in corrispondenza di una sua seconda estremità 17 ad una piattaforma mobile 18 mediante il secondo giunto cardanico 14 in modo tale che l'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 sia fissa alla piattaforma mobile 18.

La catena cinematica di ciascuna gamba 1, 2 e 3 è dunque costituita da cinque coppie rotoidali R1, R2, R3, R4 e R5, in serie, di cui tre intermedie (R2, R3 e R4) con assi di rotazione paralleli 6, 13 e 15 fra di loro e due

- 25 di estremità (R1 e R5) con assi di rotazione 5 e 16 perpendicolari a quelli delle altre tre coppie rotoidali.

Le prime coppie rotoidali R1 e le quinte coppie rotoidali R5 definiscono, pertanto, le estremità della relativa catena cinematica aperta.

Deve essere quindi osservato che l'MPT 100 rientra nella famiglia dei meccanismi paralleli di tipo 3-URU.

Con riferimento alla figura 1, le prime coppie rotoidali R1 e le quinte coppie rotoidali R5 sono disposte in modo tale che l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 sia parallela all'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 che appartiene alla medesima catena cinematica.

E' noto in letteratura (Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. A Translational 3-DOF Parallel Manipulator. In Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control; J. Lenarcic and M. L. Husty, Eds.; Kluwer: Norwell, MA, USA, 1998; pp. 49-58, ISBN: 978-90-481-5066-3) che se i membri di un 3-URU sono realizzati ed assemblati (in un configurazione non singolare) in modo tale che, in ciascuna gamba, gli assi di rotazione delle coppie rotoidali di estremità siano paralleli fra di loro e gli assi di rotazione delle coppie rotoidali intermedie siano paralleli fra di loro, la piattaforma mobile può soltanto traslare (cioè, mantiene orientamento costante durante il moto) rispetto al telaio.

Le prime coppie rotoidali R1 di ciascuna gamba dell'MPT 100 sono disposte in modo tale che i relativi assi di rotazione 5 siano mutuamente ortogonali ed incidenti nel punto O della base (vedasi Fig. 1).

In aggiunta, le quinte coppie rotoidali R5 di ciascuna gamba dell'MPT 100 sono disposte in modo tale che i relativi assi di rotazione 16 siano mutuamente ortogonali ed incidenti nel punto P della piattaforma (vedasi Fig. 1).

Inoltre, i primi giunti cardanici 4 sono disposti in modo tale che i relativi centri  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$  individuano i vertici di un primo triangolo solidale col telaio 9 che è geometricamente simile ad un secondo triangolo, solidale con la piattaforma mobile 18, avente come vertici i centri  $B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3$  dei secondi giunti cardanici 14. L'MPT 100 così descritto gode di un'ampia regione dello spazio operativo della piattaforma mobile 18 privo di singolarità entro cui collocare lo spazio di lavoro utile di tale macchina.

La dimostrazione dell'ampia regione dello spazio operativo della piattaforma mobile 18 privo di singolarità viene di seguito riportata con riferimento alla figura 1.

Si considerino innanzitutto le seguenti definizioni/assunzioni:

- $Ox_b y_b z_b$  e  $Px_p y_p z_p$  sono due sistemi di riferimento cartesiani solidali rispettivamente al telaio 9 e alla piattaforma mobile 18; senza introdurre restrizioni, questi due sistemi di riferimento sono stati scelti con gli assi omologhi paralleli (il parallelismo degli assi coordinati è mantenuto durante il movimento della
- 5 piattaforma mobile perché il meccanismo in oggetto è un meccanismo parallelo traslazionale 3-URU);

- $A_i$  con  $i=1,2,3$  sono i centri dei primi giunti cardanici 4;
- $B_i$  con  $i=1,2,3$  sono i centri dei secondi giunti cardanici 14;

Senza perdita di generalità (si veda Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. A Translational 3-DOF Parallel Manipulator. In Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control; J. Lenarcic and M. L. Husty, Eds.;

- 10 Kluwer: Norwell, MA, USA, 1998; pp. 49-58, ISBN: 978-90-481-5066-3) si assume che, nell' $i$ -esima gamba,  $i=1,2,3$ , i punti  $A_i$  e  $B_i$  giacciono su di uno stesso piano perpendicolare agli assi di rotazione delle tre coppie rotoidali intermedie (R2, R3 e R4), il quale interseca in  $C_i$  l'asse di rotazione della terza coppia rotoidale R3 dell' $i$ -esima gamba;

- $e_1$ ,  $e_2$ , ed  $e_3$  sono i versori degli assi coordinati  $x_b$ ,  $y_b$ , e  $z_b$  ( $x_p$ ,  $y_p$ , e  $z_p$ ), rispettivamente, e,
- 15 contemporaneamente, versori degli assi di rotazione delle tre prime coppie rotoidali R1 e delle tre quinte coppie rotoidali R5 di ciascuna gamba;
- $g_i$ ,  $i=1, 2, 3$ , è il versore che identifica la direzione degli assi di rotazione delle tre coppie rotoidali intermedie R2, R3 ed R4 della  $i$ -esima gamba.

Inoltre:

- 20
- $d_b = A_1O = A_2O = A_3O$ ;
  - $d_p = B_1P = B_2P = B_3P$ ;
  - $\theta_{ij}$ ,  $i=1,2,3$ , e  $j=1, \dots, 5$ , è la variabile di giunto della  $j$ -esima coppia rotoidale della  $i$ -esima gamba; le variabili dei giunti attuati (o dotati di sensori nel caso di meccanismo passivo) sono le  $\theta_{i2}$ ,  $i=1,2,3$ ;
  - $f_i = A_iC_i$ , per  $i=1,2,3$ ;
- 25
- $p = (P - O) = x e_1 + y e_2 + z e_3$ , dove  $(x, y, z)^T$  raccoglie le coordinate del punto P in  $Ox_b y_b z_b$ ;

- $\mathbf{a}_i = (A_i - O) = d_b \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{b}_i = (B_i - O) = \mathbf{p} + d_p \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{c}_i = (C_i - O) = \mathbf{a}_i + f_i \mathbf{u}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{h}_i = \mathbf{g}_i \times \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$ ;

5 •  $\mathbf{u}_i = (C_i - A_i)/f_i = \cos\theta_{i2} \mathbf{e}_i + \sin\theta_{i2} \mathbf{h}_i$ , per  $i=1,2,3$ .

Singularità di rotazione (constraint singularities)

Le singularità di rotazione di un MPT sono le configurazioni del meccanismo in cui la piattaforma mobile può eseguire una rotazione elementare (cioè, può violare il vincolo di pura traslazione imposto dall'architettura del meccanismo fuori dalla singularità) anche se gli attuatori sono bloccati.

10 La velocità angolare,  $\boldsymbol{\omega}$ , della piattaforma mobile è esprimibile nel seguente modo:

$$\boldsymbol{\omega} = (\dot{\theta}_{i1} + \dot{\theta}_{i5}) \mathbf{e}_i + (\dot{\theta}_{i2} + \dot{\theta}_{i3} + \dot{\theta}_{i4}) \mathbf{g}_i \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

Le equazioni vettoriali (1), moltiplicate scalarmente per  $\mathbf{h}_i$ , danno il seguente sistema lineare ed omogeneo di tre equazioni scalari in  $\boldsymbol{\omega}$

$$\mathbf{h}_i \cdot \boldsymbol{\omega} = 0 \quad i=1,2,3 \quad (2)$$

15 Il sistema (2) ammette soluzioni non nulle per  $\boldsymbol{\omega}$  se e soltanto se il determinante della matrice dei coefficienti è nullo, cioè, se

$$\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3) = 0 \quad (3)$$

L'equazione (3) è la condizione geometrica che individua le singularità di rotazione.

L'espressione esplicita di  $\mathbf{g}_i$  in funzione delle coordinate del punto P (cioè, della posizione della piattaforma

20 mobile) può essere ricavata considerando che (Figura 1)

$$\mathbf{g}_i = \frac{\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)}{|\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)|} = \frac{\mathbf{e}_i \times [\mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i]}{|\mathbf{e}_i \times [\mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i]|} = \frac{\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} \quad (4)$$

La formula (4), introdotta nella definizione di  $\mathbf{h}_i$  dà

$$\mathbf{h}_i = \mathbf{g}_i \times \mathbf{e}_i = \frac{(\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}) \times \mathbf{e}_i}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} = \frac{\mathbf{p} - (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{p}) \mathbf{e}_i}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} \quad (5)$$

che, dopo l'introduzione dell'espressione esplicita di  $\mathbf{p}$  (cioè,  $\mathbf{p} = x\mathbf{e}_1 + y\mathbf{e}_2 + z\mathbf{e}_3$ ), diventa

25 
$$\mathbf{h}_1 = \frac{y\mathbf{e}_2 + z\mathbf{e}_3}{\sqrt{y^2 + z^2}}; \quad \mathbf{h}_2 = \frac{x\mathbf{e}_1 + z\mathbf{e}_3}{\sqrt{x^2 + z^2}}; \quad \mathbf{h}_3 = \frac{x\mathbf{e}_1 + y\mathbf{e}_2}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (6)$$

Le formule (6), introdotte in  $\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3)$ , danno la seguente equazione della superficie dello spazio operativo che è luogo geometrico delle singularità di rotazione

$$\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3) = \frac{2xyz}{\sqrt{(x^2+z^2)(x^2+y^2)(y^2+z^2)}} = 0 \quad (7)$$

L'analisi della (7) mostra che il luogo delle singularità di rotazione è costituito dai tre piani coordinati  $x=0$ ,

5  $y=0$ , e  $z=0$ . Pertanto, escludendo i piani coordinati, lo spazio operativo dell'MPT 100 è completamente privo di singularità di rotazione, il che vuol dire che esistono otto ampie regioni connesse (gli otto ottanti) prive di questo tipo di singularità e sfruttabili per collocare lo spazio di lavoro utile di questo meccanismo.

#### Singularità di traslazione

Le singularità di traslazione di un MPT sono le configurazioni del meccanismo in cui la piattaforma mobile  
10 può eseguire una traslazione elementare anche se gli attuatori sono bloccati.

Dal momento che  $\boldsymbol{\omega}$  è nullo in una configurazione che non sia singularità di rotazione, valgono le seguenti espressioni della velocità di traslazione della piattaforma mobile 18:

$$\dot{\mathbf{p}} = \dot{\mathbf{b}}_i = (\dot{\theta}_{i1} \mathbf{e}_i + \dot{\theta}_{i2} \mathbf{g}_i) \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i) + \dot{\theta}_{i3} \mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) \quad i=1,2,3 \quad (8)$$

Le equazioni vettoriali (8), moltiplicate scalarmente per i vettori

$$15 \quad \mathbf{s}_i = [\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \times [\mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i)] = -\{[\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \cdot \mathbf{g}_i\} (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) = -[\mathbf{h}_i \cdot (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) \quad i=1,2,3 \quad (9)$$

danno la seguente relazione input-output istantanea

$$\dot{\mathbf{p}} \cdot \mathbf{s}_i = \dot{\theta}_{i2} [\mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \cdot \mathbf{s}_i \quad i=1,2,3 \quad (10)$$

Quando gli attuatori sono bloccati (cioè, quando  $\dot{\theta}_{i2} = 0$ ,  $i=1,2,3$ , considerando che le variabili dei giunti attuati sono le  $\theta_{i2}$ ,  $i=1,2,3$ ), il sistema (10) ammette soluzioni non nulle per  $\dot{\mathbf{p}}$  se e soltanto se il determinante

20 della matrice dei coefficienti è nullo, cioè, se

$$\mathbf{s}_1 \cdot (\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3) = -[\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{b}_1 - \mathbf{a}_1)] [\mathbf{h}_2 \cdot (\mathbf{b}_2 - \mathbf{a}_2)] [\mathbf{h}_3 \cdot (\mathbf{b}_3 - \mathbf{a}_3)] (\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)] = 0 \quad (11)$$

L'equazione (11) è la condizione geometrica che individua le singularità di traslazione.

L'analisi della (11) mostra che si ha una singularità di traslazione quando una delle seguenti condizioni è soddisfatta

25 a)  $[\mathbf{h}_i \cdot (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] = 0$  in almeno una gamba;

b) il prodotto misto  $(\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)]$  si annulla.

La condizione (a) si verifica quando in una gamba il segmento  $A_iB_i$  è parallelo ad  $\mathbf{e}_i$ . Questo avviene quando il punto P della piattaforma mobile giace sull'asse coordinato associato ad  $\mathbf{e}_i$ . Dal momento che gli assi coordinati già appartengono alla superficie luogo delle singolarità di rotazione (si veda dimostrazione sopra), questa condizione non aggiunge alcuna ulteriore restrizione al movimento della piattaforma.

La condizione (b) geometricamente si verifica quando i tre segmenti  $B_iC_i$ ,  $i=1,2,3$ , sono paralleli ad un unico piano. Questa condizione si verifica in situazioni molto particolari, ad esempio, quando le gambe sono tutte completamente estese oppure flesse. Da un punto di vista analitico, valgono le seguenti relazioni

$$(\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) = \mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i - f_i (\cos\theta_{i2} \mathbf{e}_i + \sin\theta_{i2} \mathbf{h}_i) \quad i=1,2,3 \quad (12)$$

che, sviluppate, danno

$$\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1 = [x + (d_p - d_b) - f_1 \cos\theta_{12}] \mathbf{e}_1 + [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1] y \mathbf{e}_2 + [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1] z \mathbf{e}_3 \quad (13a)$$

$$\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2 = [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2] x \mathbf{e}_1 + [y + (d_p - d_b) - f_2 \cos\theta_{22}] \mathbf{e}_2 + [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2] z \mathbf{e}_3 \quad (13b)$$

$$\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3 = [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] x \mathbf{e}_1 + [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] y \mathbf{e}_2 + [z + (d_p - d_b) - f_3 \cos\theta_{32}] \mathbf{e}_3 \quad (13c)$$

con

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{y^2 + z^2}}, \quad k_2 = \frac{1}{\sqrt{x^2 + z^2}}, \quad k_3 = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (14)$$

L'introduzione delle formule (13) nel prodotto misto  $(\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)]$  dà la seguente equazione della superficie dello spazio operativo che è luogo geometrico delle singolarità di traslazione

$$\begin{aligned} (\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)] = & xyz [1 - r_2 r_3 - r_1 r_2 - r_1 r_3 + 2 r_1 r_2 r_3] + xy q_3 (1 - r_1 r_2) + \\ & + xz q_2 (1 - r_1 r_3) + yz q_1 (1 - r_2 r_3) + x q_2 q_3 + y q_1 q_3 + z q_1 q_2 + q_1 q_2 q_3 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

dove sono state introdotte le seguenti posizioni:

$$r_1 = [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1]; \quad r_2 = [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2]; \quad r_3 = [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] \quad (16a)$$

$$q_1 = (d_p - d_b) - f_1 \cos\theta_{12}; \quad q_2 = (d_p - d_b) - f_2 \cos\theta_{22}; \quad q_3 = (d_p - d_b) - f_3 \cos\theta_{32} \quad (16b)$$

L'equazione (15) contiene i parametri geometrici  $(d_p, d_b, f_1, f_2, f_3)$  dell'MPT, dunque può essere sfruttata per dimensionare tale macchina in modo tale da allontanare le singolarità di traslazione dalla regione dello spazio operativo in cui si intende collocare lo spazio di lavoro utile dell'MPT.

Pertanto, si può concludere che l'MPT 100 ha un'ampia regione dello spazio operativo priva di singolarità entro cui si può collocare lo spazio di lavoro utile di tale macchina.

Deve essere notato che la dimostrazione sopra presentata riguarda la geometria inerente alla forma di realizzazione dell'MPT mostrato in figura 1. Tuttavia, la regione dello spazio operativo priva di singolarità

5 resta comunque ampia quando questa geometria è modificata purché non sia completamente stravolta (Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. Influence of the geometric parameters of the 3-UPU parallel mechanism on the singularity loci. In: Procs. of the Int. Workshop on Parallel Kinematic Machines - PKM'99, Milan, Italy, November 30, 1999; pp. 79-86, ISBN: 88-900426-0-5).

In particolare, i vantaggi conseguiti dall'MPT 100 mostrato in figura 1 sono raggiunti anche da forme di  
10 realizzazione differenti del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, ossia con gli assi di rotazione 5 delle prime coppie rotoidali R1 sghembi o comunque che non si intersecano tutti nel primo punto O e con gli assi di rotazione 16 delle quinte coppie rotoidali R5 sghembi o comunque che non si intersecano tutti nel secondo punto P, purché il telaio sia dimensionato in modo tale che la distanza tra due qualsiasi degli assi di rotazione 5 delle coppie rotoidali R1 sia inferiore al 20% del diametro della circonferenza passante per  
15 i punti  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$ , che sono i centri dei primi giunti cardanici 4, e la piattaforma mobile sia dimensionata in modo tale che la distanza tra due qualsiasi degli assi di rotazione 16 delle coppie rotoidali R5 sia inferiore al 20% del diametro della circonferenza passante per i punti  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$ .

Inoltre, i vantaggi conseguiti dall'MPT 100 mostrato in figura 1 sono raggiunti anche da forme di  
20 realizzazione differenti del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, ossia con gli assi di rotazione 5 delle prime coppie rotoidali R1 non mutuamente ortogonali e con gli assi di rotazione 16 delle quinte coppie rotoidali R5 non mutuamente ortogonali, purché l'angolo formato fra due assi di rotazione 5 qualsiasi delle prime coppie rotoidali R1 sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$  e l'angolo formato fra due assi di rotazione 16 qualsiasi delle quinte coppie rotoidali R5 sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Il meccanismo parallelo traslazionale 100 comprende un attuatore 21 per ciascuna catena cinematica, ossia  
25 per ciascuna gamba. Tali attuatori sono accoppiati alla seconda coppia rotoidale R2 delle rispettive catene

cinematiche per il loro azionamento.

Con particolare riferimento alla figura 2, ciascun attuatore 21 comprende un motore elettrico 22 con carter fissato al telaio 9 in modo tale che l'albero 23 del motore elettrico 22 abbia asse coincidente con l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 della gamba relativa a tale attuatore 21.

5 L'attuatore 21 comprende altresì un sistema di trasmissione del moto 24 comprendente un riduttore 25 e una coppia conica 26. La coppia conica 26 è azionata dall'albero 23 del motore elettrico 22 ed, a sua volta, aziona il perno 27 della seconda coppia rotoidale R2.

La figura 2 mostra, inoltre, una forma di realizzazione della crociera 35 del primo giunto cardanico 4, connessa mediante cuscinetti al telaio 9 e al perno 27 della seconda coppia rotoidale R2. Il primo membro 7 è  
10 solidale al perno 27 nella sua prima estremità a forcella 8 ed è collegato al secondo membro 12 mediante la terza coppia rotoidale R3. Il secondo membro 12 è collegato ad una flangia 28 mediante il secondo giunto cardanico 14 la cui crociera è indicata con il numero 29. La flangia 28 è destinata ad essere fissata alla piattaforma mobile 18.

La figura 3 mostra una forma di realizzazione alternativa del meccanismo parallelo traslazionale che verrà  
15 indicata con il numero di riferimento 100'.

Rispetto all'MPT 100 mostrato in figura 1, il meccanismo parallelo traslazionale 100' comprende un'ulteriore catena cinematica. La piattaforma mobile 18 dell'MPT 100' è collegata tramite una coppia rotoidale ad un utensile 30 che è il membro di uscita di questa ulteriore catena cinematica (gamba) 31 di tipo RUPUR che funge da albero di trasmissione azionato da un motore elettrico 32 il cui carter è fisso al telaio 9  
20 ed il cui albero motore è collegato tramite una coppia rotoidale al telaio 9.

L'utensile 30 può essere una pinza (gripper).

L'invenzione consegue così lo scopo proposto, ottenendo al contempo i vantaggi sopra menzionati.

In particolare, il fatto che le catene cinematiche comprendano preferibilmente solamente coppie rotoidali rende l'MPT oggetto dell'invenzione costruttivamente semplice da realizzare.

25 L'MPT oggetto dell'invenzione si rivela altresì essere un'architettura non sopra-vincolata (not-

overconstrained), il che permette di definire tolleranze di lavorazione non particolarmente strette sulla maggior parte delle costanti geometriche del meccanismo, ottenendo pertanto bassi costi di lavorazione e di assemblaggio.

Inoltre, fatti salvi i parallelismi tra gli assi delle coppie rotoidali in ciascuna gamba assemblata, tutti gli altri  
5 errori geometrici non influiscono sulla traslazione della piattaforma mobile e possono essere eliminati tramite procedure di calibrazione che non intervengono sul meccanismo, ma comportano semplicemente la modifica di alcune costanti nel modello dell'MPT utilizzato da un sistema di controllo.

Inoltre, gli ingombri dell'MPT secondo l'invenzione possono essere confrontabili con quelli del Delta robot mentre la sua struttura gli permette una migliore ripartizione dei carichi ed una maggiore rigidità.

10

## RIVENDICAZIONI

1. Meccanismo parallelo traslazionale (100;100') comprendente tre gambe (1,2,3), in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

• un primo giunto cardanico (4) comprendente una prima coppia rotoidale (R1) ed una seconda coppia rotoidale (R2),

• un primo membro (7) connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità (8), ad un telaio (9) mediante detto primo giunto cardanico (4) in modo tale che l'asse di rotazione (5) di detta prima coppia rotoidale (R1) sia fissa a detto telaio (9), e connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità (10), ad una prima estremità (11) di un secondo membro (12) mediante una terza coppia rotoidale (R3),

• un secondo giunto cardanico (14) comprendente una quarta coppia rotoidale (R4) ed una quinta coppia rotoidale (R5),

• detto secondo membro (12) che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità (17), ad una piattaforma mobile (18) mediante detto secondo giunto cardanico (14) in modo tale che l'asse di rotazione (16) di detta quinta coppia rotoidale (R5) sia fissa a detta piattaforma mobile (18),

in cui dette prime coppie rotoidali (R1) e quinte coppie rotoidali (R5) definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) di ciascuna gamba (1,2,3) sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto (O) fisso in detto telaio (9) oppure che la distanza fra due qualsiasi di detti assi di rotazione (5) sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza (19) passante per i centri di detti primi giunti cardanici (4), ed in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) di ciascuna gamba (1,2,3) sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto (P) fisso in detta piattaforma mobile (18) oppure che la distanza fra due qualsiasi di detti assi di rotazione (16) sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza (19) passante per i centri di

detti primi giunti cardanici (4).

2. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 1, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .
- 5 3. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 2, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) di ciascuna gamba (1,2,3) sono mutuamente ortogonali ed incidenti in detto unico punto (O) fisso in detto telaio (9).
4. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) sono disposti in modo tale che l'angolo formato da  
10 due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .
5. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 4, in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) di ciascuna gamba (1,2,3) sono mutuamente ortogonali ed incidenti in detto unico punto (P) fisso in detta piattaforma mobile (18).
6. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente un  
15 attuatore (21) per ciascuna gamba, detti attuatori (21) essendo accoppiati alle seconde coppie rotoidali (R2) delle rispettive gambe per il loro azionamento.
7. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 6, in cui almeno uno di detti attuatori (21) comprende un motore (22) con carter fissato a detto telaio (9) in modo tale che l'albero (23) di detto motore (22) abbia asse coincidente con l'asse di rotazione (5) di detta prima coppia rotoidale (R1) della  
20 gamba in cui è montato, e un sistema di trasmissione del moto (24) predisposto per azionare detta seconda coppia rotoidale (R2) della gamba in cui è montato.
8. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente un sensore per ciascuna gamba, detti sensori essendo accoppiati a dette seconde coppie rotoidali (R2) delle rispettive gambe per generare un segnale correlato all'angolo di rotazione di tali coppie rotoidali (R2).
- 25 9. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente

un'ulteriore gamba costituita da una catena cinematica (31) che collega detta piattaforma mobile (18) a detto telaio (9) per controllare la rotazione di un utensile, o un gripper, collegato tramite una coppia rotoidale a detta piattaforma mobile (18).

10. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 9, in cui la catena cinematica (31)

5 dell'ulteriore gamba è di tipo RUPUR.



2/3

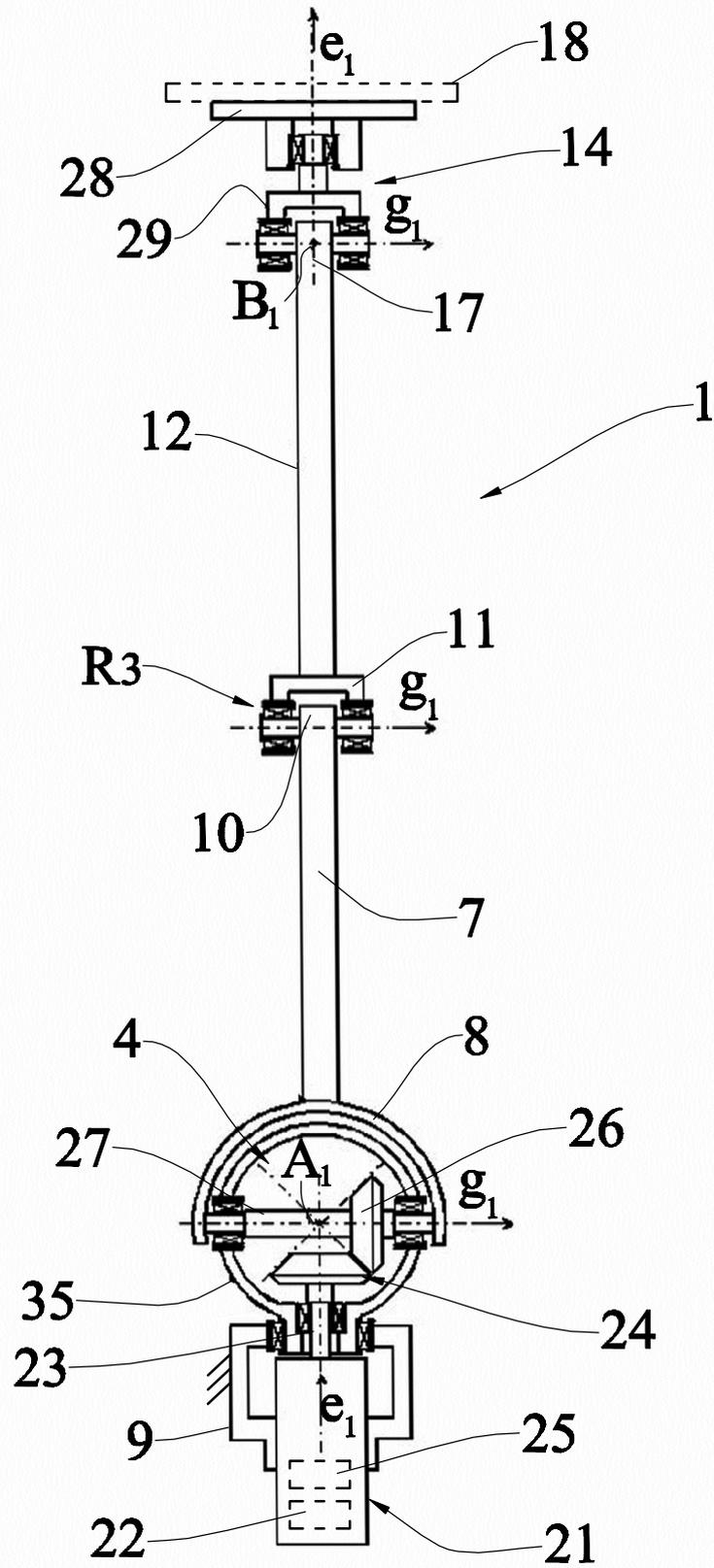


Fig. 2

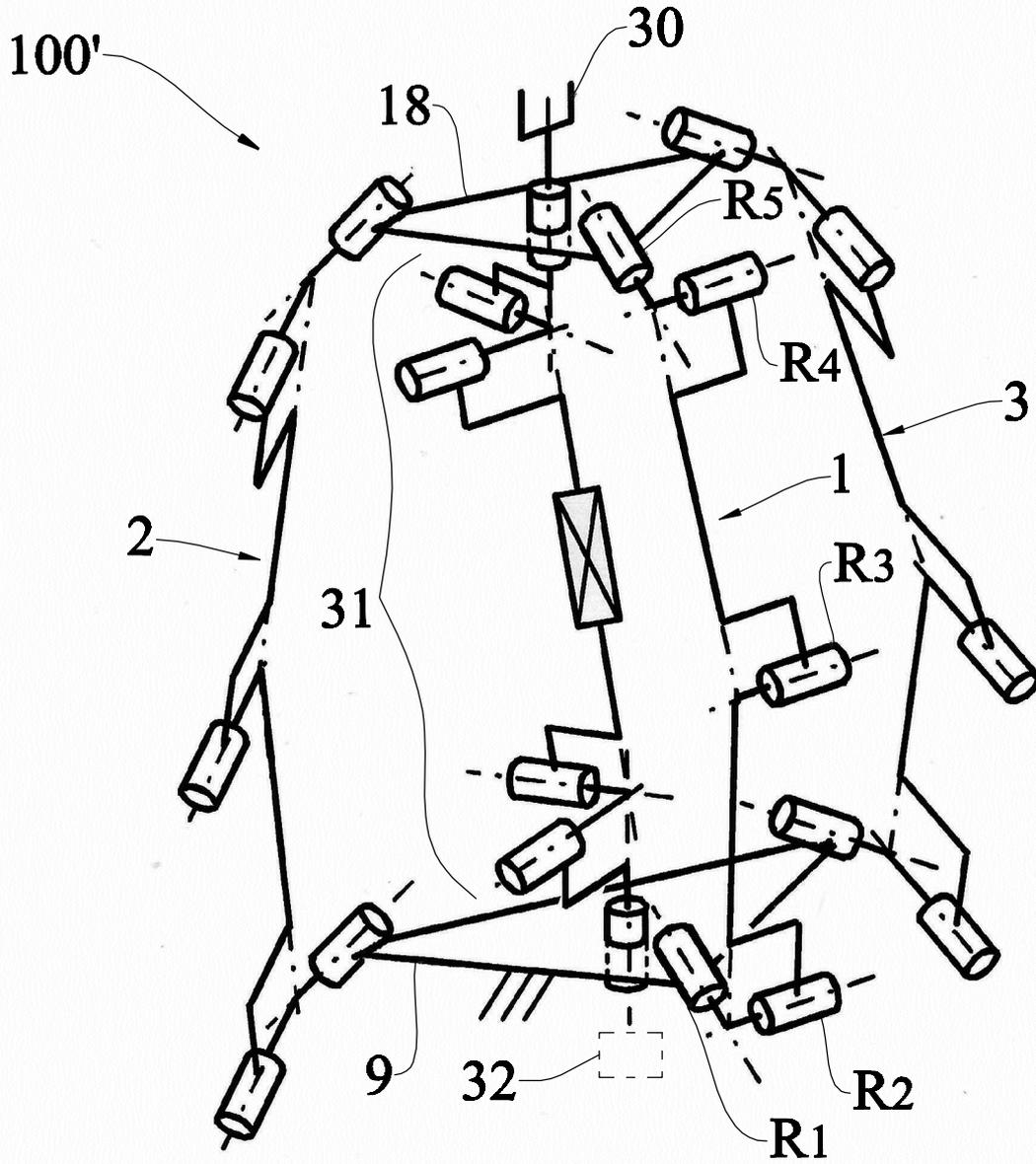


Fig. 3



# Ministero dello Sviluppo Economico

DIREZIONE GENERALE SVILUPPO PRODUTTIVO E COMPETITIVITA'-  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

## RAPPORTO DI RICERCA

Numero della domanda

IO 98014  
IT 202000006100

DOCUMENTI CONSIDERATI DI RILIEVO			
Categoria	Citazione del documento con indicazione, se appropriata, delle parti rilevanti	Rivendicazioni rilevanti	CLASSIFICAZIONE DELLA DOMANDA (IPC)
A	CARBONARI LUCA ET AL: "Kinematics of a Novel 3-URU Reconfigurable Parallel Robot", 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECONFIGURABLE MECHANISMS AND ROBOTS (REMAR), IEEE, 20 June 2018 (2018-06-20), pages 1-7, XP033394623, DOI: 10.1109/REMAR.2018.8449898 [retrieved on 2018-08-28] * figures 1,4 *	1-10	INV. B25J9/00
A	SYAMSUL HUDA ET AL: "Kinematic design of 3-URU pure rotational parallel mechanism to perform precise motion within a large workspace", MECCANICA, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DO, vol. 46, no. 1, 10 December 2010 (2010-12-10), pages 89-100, XP019875434, ISSN: 1572-9648, DOI: 10.1007/S11012-010-9400-2 * figures 1,2 *	1-10	
A	RU 110 326 U1 (UNIV MOSC TEXTILE) 20 November 2011 (2011-11-20) * figure 1 *	1-10	
Questo rapporto di ricerca è stato redatto sulla base di tutte le rivendicazioni			
Munich		Data di completamento della ricerca 10 December 2020	Esaminatore Champion, Jérôme
CATEGORIA DEI DOCUMENTI CITATI			
X : di particolare rilevanza se considerato singolarmente Y : di particolare rilevanza se combinato con un altro documento della stessa categoria A : informazione generica O : divulgazione orale P : documento intermedio		T : teoria o principio alla base dell'invenzione E : documento brevettuale antecedente, ma pubblicato dopo o alla data di deposito D : documento citato nella domanda L : documento citato per altre ragioni ..... & : membro della stessa famiglia di brevetti, documento corrispondente	

1

EPO FORM 1503 07.08 (P04C74)

**ALLEGATO AL RAPPORTO DI RICERCA  
SULLA DOMANDA DI BREVETTO ITALIANO N.**

IO 98014  
IT 202000006100

Questo allegato enumera i membri della famiglia di brevetti relativi a documenti brevettuali citati nel summenzionato rapporto di ricerca.

I membri sono indicati come da database dell'Ufficio Europeo dei Brevetti al 10-12-2020

L'Ufficio Europeo dei Brevetti non si assume alcuna responsabilità per queste indicazioni, che vengono fornite a solo scopo informativo.

Documenti brevettuali citati nel rapporto di ricerca	Data di pubblicazione	Membri della famiglia di brevetti	Data di pubblicazione
RU 110326	U1	20-11-2011	NONE
-----			



# Ministero dello Sviluppo Economico

DIREZIONE GENERALE SVILUPPO PRODUTTIVO E COMPETITIVITA' -  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

OPINIONE SCRITTA

N. dossier IO98014	Data di deposito (gg/mm/aa) 23.03.2020	Data di priorità (gg/mm/aa)	N. domanda IT202000006100
Classificazione Internazionale dei Brevetti (IPC) INV. B25J9/00			
Richiedente UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA			

Questa opinione fornisce indicazioni riguardanti i seguenti elementi:

- Riquadro N. I Base dell'opinione
- Riquadro N. II Priorità
- Riquadro N. III Non-redazione di un'opinione a riguardo di novità, attività inventiva e applicazione industriale
- Riquadro N. IV Violazione del requisito d'unità dell'invenzione
- Riquadro N. V Dichiarazione motivata a riguardo di novità, attività inventiva o applicazione industriale; citazioni e spiegazioni giustificative della dichiarazione
- Riquadro N. VI Particolari documenti citati
- Riquadro N. VII Difetti particolari nella domanda
- Riquadro N. VIII Osservazioni particolari a riguardo della domanda

	Esaminatore Champion, Jérôme
--	---------------------------------

## OPINIONE SCRITTA

N. domanda

IT202000006100

---

### Riquadro N. I Base dell'opinione

---

1. Questa opinione è stata redatta sulla base delle ultime rivendicazioni depositate prima dell'inizio della ricerca nella tecnica anteriore.
2. Per quanto concerne eventuali sequenze di nucleotidi e/o amminoacidi descritte nella domanda e necessarie per l'invenzione di cui oggetto nelle rivendicazioni, questa opinione è stata redatta sulla base di:
  - a. tipo di materiale:
    - una sequenza di DNA
    - una o più tabelle relative alla sequenza di DNA
  - b. formato del materiale:
    - cartaceo
    - elettronico
  - c. momento di deposito o presentazione:
    - depositato insieme alla domanda al momento del deposito della medesima
    - depositato insieme alla domanda in formato elettronico
    - presentato successivamente al fine della ricerca d'antiorità
3.  Inoltre, ove sia stata depositata o presentata più di una versione o copia di una sequenza di DNA e/o tabella ad essa relativa, è stata presentata anche la dichiarazione obbligatoria che le informazioni contenute nelle copie successive o addizionali sono identiche a quelle nella domanda come depositata o che, in ogni caso, non vanno oltre il contenuto della domanda depositata originariamente.
4. Note aggiuntive:



1 **Re Item V**

**Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1.1 Reference is made to the following documents :

D1 CARBONARI LUCA ET AL: "Kinematics of a Novel 3-URU Reconfigurable Parallel Robot",  
2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECONFIGURABLE MECHANISMS AND ROBOTS (REMAR), IEEE, 20 June 2018 (2018-06-20), pages 1-7, XP033394623,  
DOI: 10.1109/REMAR.2018.8449898  
[retrieved on 2018-08-28]

D2 SYAMSUL HUDA ET AL: "Kinematic design of 3-URU pure rotational parallel mechanism to perform precise motion within a large workspace",  
MECCANICA, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DO, vol. 46, no. 1, 10 December 2010 (2010-12-10), pages 89-100, XP019875434,  
ISSN: 1572-9648, DOI: 10.1007/S11012-010-9400-2

D3 RU 110 326 U1 20 November 2011 (2011-11-20)

1.2 **Independent claim 1 - Novelty and inventive step**

1.2.1 Preliminary remark : this opinion is given considering that the clarity objection of point 3.1 has been fully addressed.

1.2.2 D1 is regarded as being the prior art closest to the subject-matter of claim 1, and discloses (see figures 1 and 4) :

- a translational parallel mechanism (*see joints configuration B*) comprising three legs, in which each leg is a kinematic chain which comprises
- a first cardan joint comprising a first revolute pair and a second revolute pair,

- a first member which is connected in the region of a first end thereof to a frame by means of the first cardan joint in such a manner that the rotation axis of the first revolute pair is fixed to the frame, and which is connected in the region of a second end thereof to a first end of a second member by means of a third revolute pair,
- a second cardan joint comprising a fourth revolute pair and a fifth revolute pair,
- the second member which is connected in the region of a second end thereof to a movable platform by means of the second cardan joint in such a manner that the rotation axis of the fifth revolute pair is fixed to the movable platform,
- wherein the first revolute pairs and fifth revolute pairs define the ends of the respective kinematic chains,
- wherein the rotation axes of the first revolute pairs of each leg are arranged in such a manner that they are neither coplanar nor parallel with a single plane ~~and in such a manner that they are incident at a single fixed point in the frame or that the spacing between any two of the rotation axes is less than or equal to 20% of the diameter of the circumference which passes through the centres of the first cardan joints~~, and
- wherein the rotation axes of the fifth revolute pairs of each leg are arranged in such a manner that they are neither coplanar nor parallel with a single plane ~~and in such a manner that they are incident at a single fixed point in the movable platform or that the spacing between any two of the rotation axes is less than or equal to 20% of the diameter of the circumference which passes through the centres of the first cardan joints~~.

1.2.3 The subject-matter of claim 1 therefore differs from this known translational parallel mechanism of D1 in that the rotation axes of the first revolute pairs of each leg are incident at a single fixed point in the frame or that the spacing between any two of the rotation axes is less than or equal to 20% of the diameter of the circumference which passes through the centres of the first cardan joints, and in that the rotation axes of the fifth revolute pairs of each leg are incident at a single fixed point in the movable platform or that the spacing between any two of the rotation axes is less than or equal to 20% of the diameter of the circumference which passes through the centres of the first cardan joints

The subject-matter of claim 1 is therefore novel.

- 1.2.4 The problem to be solved by the present invention may be regarded as improving the kinematic of such a 3-URU parallel mechanism.
- 1.2.5 D2 and D3 disclose (see the corresponding figures) a 3-URU parallel mechanism comprising all the features of claim 1 - first option for the rotation axis of the first and fifth revolute pairs - besides the "translational" feature. So, in D2 and D3 the parallel mechanism is rotational, i.e. for each leg the rotation axis of the first and fifth revolute pairs are not parallel, and the rotation axis of the first and fifth revolute pairs are all six crossing at the same point. For these reasons, it would not seem obvious for the skilled person, considering the teaching of D2 or D3, to modify the orientation of the rotation axis of the first and fifth revolute pairs of the parallel mechanism of D1 in order to obtain the subject-matter of claim 1 of the present application.  
The solution to this problem proposed in claim 1 of the present application is thus considered as involving an inventive step.

1.3 **Dependent claims 2 to 10 - Novelty and inventive step**

Claims 2-10 are dependent on independent claim 1 whose subject-matter is considered as being novel and inventive, as discussed above, and as such said dependent claims also meet the requirements of novelty and inventive step.

2 **Re Item VII**

**Certain defects in the application**

- 2.1 Independent claim 1 is not in the two-part form, which in the present case would be appropriate, with those features known in combination from the prior art being placed in the preamble and the remaining features being included in the characterising part.
- 2.2 The relevant background art disclosed in D1 to D3 is not mentioned in the description, nor are these documents identified therein.

3 **Re Item VIII**

**Certain observations on the application**

Claim 1 and the description are not clear.

- 3.1 Claim 1 does not meet the requirements of clarity in that the matter for which protection is sought is not clearly defined. The functional statement "translational" does not enable the skilled person to determine which technical features are necessary to perform the stated function. These needed technical features should be added to claim 1, specifically the fact that for each leg the rotation axis of the first and fifth revolute pairs are parallel and the rotation axis of the second, third and fourth revolute pairs are parallel.
- 3.2 Description - contradiction : in the last paragraph of page 7 of the description - Italian version - the wording "e l'angolo formato fra due qualsiasi di tali assi sia compreso fra 70° e 110°", i.e. the axis are all crossing one to each other, is in contradiction with the rest of this paragraph, wherein it is specified that the axis are not crossing (and a distance between them can thus be defined).

## RIASSUNTO

Meccanismo parallelo traslazionale comprendente tre gambe, in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

- un primo giunto cardanico comprendente una prima coppia rotoidale ed una seconda coppia rotoidale,
- 5 ● un primo membro connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità ad un telaio mediante il primo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale sia fissa al telaio, e connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una prima estremità di un secondo membro mediante una terza coppia rotoidale,
- un secondo giunto cardanico comprendente una quarta coppia rotoidale ed una quinta coppia rotoidale,
- 10 ● il secondo membro che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una piattaforma mobile mediante il secondo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della quinta coppia rotoidale sia fissa alla piattaforma mobile,

in cui le prime coppie rotoidali e le quinte coppie rotoidali definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche. Gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nel telaio oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 15 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe. Gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nella 20 piattaforma mobile oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe.

## Meccanismo parallelo traslazionale

### DESCRIZIONE

#### Ambito tecnico

La presente invenzione si riferisce a un meccanismo parallelo traslazionale (MPT), nello specifico ad un particolare MPT di tipo 3-URU, anche combinabile con altri dispositivi per la realizzazione di meccanismi non semplicemente traslazionali.

#### Sfondo tecnologico

L'invenzione trova particolare, ancorché non esclusiva, applicazione nel settore tecnico pertinente a robot industriali destinati alla movimentazione e al posizionamento di oggetti nello spazio mediante un elemento di presa nonché al settore tecnico inerente a macchine di misura, dispositivi aptici, joystick e stampanti 3D.

I MPT vengono solitamente impiegati da soli e/o con altri meccanismi per realizzare dispositivi, in particolare robot industriali, sia con tre gradi di libertà (traslazione spaziale, nota con la sigla 3T), che con quattro gradi di libertà per movimenti 3T1R (traslazione spaziale + una rotazione intorno ad un asse con direzione fissa) di tipo SCARA per svolgere operazioni di pick-and-place su un piano di lavoro e/o assemblaggio. Un esempio di robot industriale è rappresentato dal robot Delta.

Esempi di dispositivi per la movimentazione e il posizionamento di elementi nello spazio sono inoltre descritti nei brevetti statunitensi US 4,976,582 A e US 6,729,202 B2.

Inoltre, esempi di manipolatori paralleli di tipo 3-URU (cioè, con tre catene cinematiche, definite ciascuna dalla serie costituita da un primo giunto universale (U), una coppia rotoidale (R) e un secondo giunto universale (U), che collegano in parallelo il gripper (piattaforma) al telaio (base)) sono descritti nelle seguenti pubblicazioni:

- Huda, S.; Takeda, Y. Kinematic analysis and synthesis of a 3-URU pure rotational parallel mechanism with respect to singularity and workspace. J. of Adv. Mech. Design, System and Manufacturing 2007, 1(1), 81-92, DOI: 10.1299/jamdsm.1.81;
- Huda, S.; Takeda, Y. Kinematic Design of 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Consideration

of Uncompensatable Error. J. of Adv. Mech. Design, Systems, and Manufacturing 2008, 2(5), 874–886, DOI: 10.1299/jamdsm.2.874;

- Carbonari, L.; Corinaldi, D.; Palpacelli, M.; Palmieri, G.; Callegari, M. A Novel Reconfigurable 3-URU Parallel Platform. In Advances in Service and Industrial Robotics, Ferraresi, C., Quaglia, G., Eds.; Springer:

5 Dordrecht, Germany, 2018; pp. 63 – 73, ISBN: 978-3-319-61275-1 .

Tuttavia, si osserva che i manipolatori paralleli traslazionali con architettura 3-URU noti soffrono di uno o più dei seguenti limiti: prestazioni non soddisfacenti in termini di precisione e/o velocità, regione dello spazio operativo idonea a collocare lo spazio di lavoro utile relativamente limitata, configurazioni singolari indesiderate, complessità costruttiva significativa e ingombro eccessivo.

#### 10 Sommario dell'invenzione

Scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un meccanismo parallelo traslazionale strutturalmente e funzionalmente concepito per superare almeno un limite della tecnica nota sopra citata.

Questo scopo è conseguito mediante un meccanismo parallelo traslazionale realizzato in accordo con la rivendicazione indipendente acclusa alla presente descrizione.

15 La rivendicazione indipendente ha per oggetto un meccanismo parallelo traslazionale comprendente tre gambe, in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

- un primo giunto cardanico comprendente una prima coppia rotoidale ed una seconda coppia rotoidale,
- un primo membro connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità ad un telaio mediante il primo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale sia fissa al telaio, e  
20 connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una prima estremità di un secondo membro mediante una terza coppia rotoidale,
- un secondo giunto cardanico comprendente una quarta coppia rotoidale ed una quinta coppia rotoidale,
- il secondo membro che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità ad una piattaforma mobile mediante il secondo giunto cardanico in modo tale che l'asse di rotazione della quinta coppia  
25 rotoidale sia fissa alla piattaforma mobile,

in cui le prime coppie rotoidali e le quinte coppie rotoidali definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche, in cui gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nel telaio oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe, ed in cui gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto fisso nella piattaforma mobile oppure che la distanza fra due qualsiasi di tali assi di rotazione sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i centri dei primi giunti cardanici delle tre gambe.

10 Caratteristiche preferite dell'invenzione sono definite nelle rivendicazioni dipendenti.

Nel contesto della presente invenzione, lo spazio operativo di una piattaforma mobile è individuata da un iperspazio  $n$ -dimensionale con  $n \leq 6$  che ha per coordinate i parametri geometrici che identificano la postura della piattaforma mobile. Nel caso di un MPT (meccanismo parallelo traslazionale) la postura della piattaforma mobile è univocamente determinata quando sono assegnate le coordinate di un punto della piattaforma mobile in un sistema di riferimento cartesiano solidale con il telaio (base). Pertanto, in un MPT, lo spazio operativo è tridimensionale e coincide con lo spazio Euclideo mappato da un sistema cartesiano.

Nel contesto della presente invenzione, le configurazioni singolari (singolarità) di un meccanismo parallelo sono quelle in cui il legame fra vettori caratteristici del campo di velocità della piattaforma mobile dell'MPT (cioè, velocità angolare e velocità di un punto della piattaforma) non sono più in corrispondenza biunivoca con le derivate prime rispetto al tempo delle variabili di giunto (velocità di giunto) dei giunti attuati dell'MPT. Il legame funzionale tra velocità della piattaforma mobile e velocità dei giunti attuati è un'applicazione lineare, che prende il nome di relazione input-output istantanea.

Un elenco di pubblicazioni inerenti alle singolarità dei meccanismi paralleli è di seguito riportato:

- Zlatanov, D.; Bonev, I.A.; Gosselin, C.M. Constraint Singularities as C-Space Singularities. In *Advances in Robot Kinematics: Theory and Applications*, Lenarčič, J., Thomas, F., Eds.; Springer: Dordrecht, Germany,

2002; pp. 183 – 192, ISBN: 978-90-481-6054-9;

- Gosselin C.M., Angeles J. Singularity analysis of closed-loop kinematic chains. IEEE Trans. Robot. Automat. 1990, 6(3), 281–290;

- Zlatanov D., Fenton R.G., Benhabib B. A unifying framework for classification and interpretation of  
5 mechanism singularities. ASME J. Mech. Des. 1995, 117(4), 566–572 .

Il meccanismo parallelo traslazionale (di seguito chiamato anche MPT per brevità), oggetto dell'invenzione, comprende due corpi rigidi, uno mobile (piattaforma) e l'altro fisso (base o detto anche telaio) collegati tramite tre catene cinematiche (gambe) di tipo URU.

Inoltre, un corpo rigido che fa parte dell'MPT oggetto dell'invenzione verrà indicato con il termine  
10 “membro”, cosicché, il meccanismo possa essere descritto come un insieme di membri interconnessi fra di loro tramite coppie cinematiche.

Nel contesto della presente invenzione, per corpo rigido si intende un solido realizzato con materiale le cui deformazioni siano piccole rispetto alle dimensioni del solido e, comunque, tali da non compromettere il funzionamento del meccanismo, come, ad esempio, piastre, aste ed altri componenti meccanici che entrano  
15 nella composizione di una macchina reale.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende un primo giunto universale (U), anche detto cardanico, che è costituito da due coppie rotoidali (R) con assi ortogonali ed incidenti in un punto, detto centro del primo giunto cardanico, che collegano una membro intermedio (crociera) da un lato al telaio e dall'altro ad un primo membro mobile della gamba. Il centro del primo giunto cardanico è fisso nel telaio.

20 La prima coppia rotoidale di questo primo giunto cardanico è la prima coppia rotoidale della gamba, collega il telaio alla crociera del giunto cardanico ed ha asse fisso al telaio. La seconda coppia rotoidale di questo stesso giunto è la seconda coppia rotoidale della gamba e collega la crociera al primo membro mobile della gamba.

Il primo membro mobile della gamba è altresì connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità ad  
25 una prima estremità di un secondo membro mobile della gamba mediante un'altra coppia rotoidale, che è la

terza coppia rotoidale della gamba ed ha asse parallelo a quello della seconda coppia rotoidale della gamba.

Il secondo membro mobile della gamba è altresì connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità alla crociera di un secondo giunto cardanico tramite una coppia rotoidale, che è la quarta coppia rotoidale della gamba ed ha l'asse parallelo all'asse della seconda e della terza coppia rotoidale della gamba. Inoltre, la  
5 crociera di questo secondo giunto cardanico è collegata tramite un'altra coppia rotoidale, che è la quinta (ed ultima) coppia rotoidale della gamba, alla piattaforma mobile ed ha asse fisso nella piattaforma stessa.

L'asse di rotazione della quarta coppia rotoidale della gamba e l'asse di rotazione della quinta coppia rotoidale della gamba sono ortogonali fra loro ed incidenti. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è definito come centro del secondo giunto cardanico (U) della gamba ed è un punto fisso della piattaforma.

10 In breve, la catena cinematica di tipo URU di ciascuna gamba è anche indicabile, con maggior dettaglio, come di tipo  $R \perp R \parallel R \perp R$ , cioè, costituita da cinque coppie rotoidali (identificate con la lettera R) in serie di cui tre intermedie con assi di rotazione paralleli fra di loro (il simbolo  $\parallel$ , interposto fra due R, indica che gli assi delle due coppie rotoidali adiacenti sono paralleli) e due di estremità con assi di rotazione perpendicolari a quelli delle altre tre (il simbolo  $\perp$ , interposto fra due R, indica che gli assi di rotazione delle due coppie  
15 rotoidali adiacenti sono ortogonali ed incidenti).

Secondo un aspetto dell'invenzione, le tre gambe di tipo URU sono montate in modo tale che l'asse della prima coppia rotoidale di ciascuna gamba sia parallelo all'asse della quinta coppia rotoidale della stessa gamba. Inoltre, il telaio (base) e la piattaforma mobile sono dimensionati in modo tale che i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sul telaio (base) ed i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba)  
20 fissi nella piattaforma permettano questo montaggio.

Durante il movimento della piattaforma rispetto alla base, gli assi della seconda coppia rotoidale, della terza coppia rotoidale e della quarta coppia rotoidale di ciascuna gamba restano paralleli tra di loro per ragioni costruttive. Inoltre, il sopra menzionato particolare montaggio delle gambe garantisce che l'orientamento della piattaforma rispetto alla base resti costante (cioè, la piattaforma è vincolata a traslare rispetto alla base)  
25 purché non si raggiungano particolari configurazioni, chiamate in letteratura "constraint singularities".

La particolare geometria della piattaforma, della base e delle gambe insieme alla particolare scelta delle coppie cinematiche da attuare determina l'ampiezza della regione dello spazio operativo della macchina entro cui la piattaforma può muoversi senza incontrare singolarità. Pertanto, l'individuazione di una geometria particolare di 3-URU e di un set particolare di giunti da attuare che garantiscano un'ampia regione priva di  
5 singolarità è un aspetto rilevante dell'invenzione.

Secondo un aspetto dell'invenzione, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla base, cioè, quelli delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e che, qualora non siano incidenti in un unico punto della base, la distanza fra di essi sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i tre centri dei tre giunti  
10 cardanici (uno per gamba) che collegano la base alle tre gambe.

In particolare, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla base, cioè, quelli delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi nella  
15 piattaforma, cioè, quelli delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e che, qualora non siano incidenti in un unico punto della piattaforma, la distanza fra di essi sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza passante per i tre centri dei tre giunti cardanici (uno per gamba) che collegano la base alle tre gambe.

In particolare, i tre assi delle tre coppie rotoidali (una per gamba) fissi sulla piattaforma, cioè, quelli delle  
20 quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba, sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, in ciascuna gamba, c'è un solo giunto attuato ed il giunto attuato è la seconda coppia rotoidale della gamba.

Il meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione differisce pertanto dai manipolatori paralleli di  
25 tipo 3-URU noti, i quali presentano sia gli assi di rotazione delle coppie rotoidali adiacenti alla base sia gli

assi di rotazione delle coppie rotoidali adiacenti alla piattaforma complanari o, quando non sono complanari, attuano la prima coppia rotoidale di ciascuna gamba.

Deve essere osservato che sia la variazione della disposizione di tali assi di rotazione che la scelta delle coppie rotoidali da attuare comporta un cambiamento sostanziale del comportamento di un meccanismo di tipo 3-URU sia in termini di redistribuzione dei carichi tra i membri del meccanismo che in termini funzionali (spazio di lavoro).

Le caratteristiche del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione rendono tale MPT particolarmente apprezzabile sotto il profilo dell'ampiezza della regione dello spazio operativo della piattaforma mobile che è priva di singolarità. Più è ampia tale regione e più ampio può essere lo spazio di lavoro utile dell'MPT perché lo spazio di lavoro utile dell'MPT deve essere collocato all'interno di tale regione. Una dimostrazione di tali aspetti verrà fornita a seguire con riferimento ad una particolare forma di realizzazione dell'invenzione.

Secondo una forma di realizzazione dell'invenzione, gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali di ciascuna gamba possono essere mutuamente ortogonali ed incidenti in un unico punto fisso nel telaio.

Secondo una forma di realizzazione dell'invenzione, gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali di ciascuna gamba possono essere mutuamente ortogonali ed incidenti in un unico punto fisso nella piattaforma mobile.

Tali caratteristiche si rivelano particolarmente vantaggiose in termini di ingombro contenuto dell'MPT nonché di rigidità e di semplicità costruttiva.

Secondo una forma di realizzazione alternativa dell'invenzione, gli assi di rotazione delle prime coppie rotoidali possono essere anche sghembi e/o gli assi di rotazione delle quinte coppie rotoidali possono essere anche sghembi.

L'intersezione suddetta tra gli assi di rotazione non è infatti un requisito necessario dell'MPT secondo l'invenzione, a condizione che la distanza tra due qualsiasi di tali assi sia minore del 20% del diametro della circonferenza passante per il centro dei tre giunti cardanici adiacenti alla base e l'angolo formato fra due

qualsiasi di tali assi sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Secondo un aspetto dell'invenzione, il meccanismo parallelo traslazionale comprende un attuatore per ciascuna gamba. Tali attuatori sono accoppiati alla seconda coppia rotoidale della rispettiva gamba per il loro azionamento.

- 5 Secondo un aspetto dell'invenzione, almeno uno dei suddetti attuatori comprende un motore con carter fissato al telaio in modo tale che l'albero del motore abbia asse coincidente con l'asse di rotazione della prima coppia rotoidale della gamba in cui è montato. Inoltre, tale attuatore comprende un sistema di trasmissione del moto (ad esempio, una coppia conica collegata all'albero del motore (preferibilmente attraverso un riduttore)) che aziona la seconda coppia rotoidale della gamba in cui è montato. Questa
- 10 soluzione riduce le masse in movimento e permette di realizzare un MPT con prestazioni dinamiche più elevate.

In una forma alternativa dell'invenzione, il carter del motore per l'azionamento della seconda coppia rotoidale può non essere fissato al telaio ma ad un altro elemento dell'MPT.

- Il dispositivo MPT secondo l'invenzione si presta comunque anche ad un impiego senza attuatori in cui la
- 15 piattaforma è azionata dall'esterno ed, in corrispondenza delle seconde coppie rotoidali di ciascuna gamba si preleva un segnale collegato all'angolo di rotazione di queste coppie rotoidali, come, ad esempio, se fosse impiegato per realizzare un joystick o una cella di carico particolare, ecc. .

- In una possibile configurazione dell'MPT passiva, ossia senza attuatori, il movimento della piattaforma mobile può essere guidato da un operatore che in modo diretto afferra tale piattaforma e monitorato da
- 20 opportuni sensori (ad esempio un encoder per ciascuna gamba) che possono essere montati in luogo degli attuatori, ossia sulle seconde coppie rotoidali di ciascuna gamba.

In altri termini, il meccanismo parallelo traslazionale può comprendere un sensore per ciascuna gamba (in aggiunta o in alternativa all'attuatore). Tali sensori sono accoppiati alle seconde coppie rotoidali delle rispettive gambe per generare un segnale correlato all'angolo di rotazione di tali coppie rotoidali.

- 25 Secondo una particolare forma dell'invenzione, l'MPT, oltre alle tre gambe URU già descritte, comprende

una ulteriore gamba, preferibilmente di tipo RUPUR (cioè, costituita dalla catena cinematica seriale coppia rotoidale(R)-giunto universale(U)-coppia prismatica (P)-giunto universale (U)-coppia rotoidale (R)), che collega la piattaforma mobile alla base per controllare la rotazione di un utensile o un gripper collegato tramite una coppia rotoidale alla piattaforma mobile. Questa disposizione permette di realizzare un movimento 3T1R di tipo SCARA.

#### Breve descrizione dei disegni

Caratteristiche ed ulteriori vantaggi dell'invenzione meglio risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue di suoi esempi di realizzazione preferiti, ancorché non esclusivi, i quali sono illustrati, a titolo indicativo e non limitativo, con riferimento agli uniti disegni in cui:

- 10 • la figura 1 è una rappresentazione schematica di una prima forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione,
- la figura 2 è uno schema costruttivo di una i-esima gamba di una forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, e
- 15 • la figura 3 è una rappresentazione schematica di una seconda forma di realizzazione del meccanismo parallelo traslazionale con la quarta gamba RUPUR secondo l'invenzione.

#### Descrizione di forme di realizzazione dell'invenzione

Con riferimento iniziale alla figura 1, con il numero 100 è indicato complessivamente un meccanismo parallelo traslazionale secondo una prima forma di realizzazione dell'invenzione.

Il meccanismo parallelo traslazionale 100 è provvisto di tre gambe 1, 2 e 3, ciascuna delle quali individua una rispettiva catena cinematica. La figura 2 mostra una forma di realizzazione di una gamba.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende un primo giunto cardanico 4 che comprende una prima coppia rotoidale R1 ed una seconda coppia rotoidale R2.

La prima coppia rotoidale R1 e la seconda coppia rotoidale R2 sono provvisti di rispettivi assi di rotazione indicati con i numeri 5 e, rispettivamente, 6.

25 Con riferimento alle figure 1 e 2, l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 e l'asse di rotazione 6

della seconda coppia rotoidale R2 sono incidenti e ortogonali fra loro. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è il centro del primo giunto cardanico 4.

I centri dei primi giunti cardanici 4 appartenenti alle gambe 1, 2, 3 sono, rispettivamente, indicati con i simboli  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ .

- 5 La catena cinematica di ciascuna gamba comprende altresì un primo membro 7, realizzato in forma di asta, connesso in corrispondenza di una sua prima estremità 8 ad un telaio 9 mediante il primo giunto cardanico 4 in modo tale che l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 sia fissa al telaio 9.

Il primo membro 7 è connesso in corrispondenza di una sua seconda estremità 10 ad una prima estremità 11 di un secondo membro 12, realizzato in forma di asta, mediante una terza coppia rotoidale R3.

- 10 La terza coppia rotoidale R3 è provvista di un asse di rotazione indicato con il numero di riferimento 13.

La catena cinematica di ciascuna gamba comprende altresì un secondo giunto cardanico 14 comprendente una quarta coppia rotoidale R4 ed una quinta coppia rotoidale R5.

La quarta coppia rotoidale R4 e la quinta coppia rotoidale R5 sono provvisti di rispettivi assi di rotazione indicati con i numeri 15 e, rispettivamente, 16.

- 15 L'asse di rotazione 15 della quarta coppia rotoidale R4 e l'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 sono incidenti e ortogonali fra loro. Il punto di incidenza di tali assi di rotazione è il centro del secondo giunto cardanico 14.

I centri dei secondi giunti cardanici 14 appartenenti alle gambe 1, 2, 3 sono, rispettivamente, indicati con i simboli  $B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3$ .

- 20 Il secondo membro 12 è connesso, o connettibile, in corrispondenza di una sua seconda estremità 17 ad una piattaforma mobile 18 mediante il secondo giunto cardanico 14 in modo tale che l'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 sia fissa alla piattaforma mobile 18.

La catena cinematica di ciascuna gamba 1, 2 e 3 è dunque costituita da cinque coppie rotoidali R1, R2, R3, R4 e R5, in serie, di cui tre intermedie (R2, R3 e R4) con assi di rotazione paralleli 6, 13 e 15 fra di loro e due

- 25 di estremità (R1 e R5) con assi di rotazione 5 e 16 perpendicolari a quelli delle altre tre coppie rotoidali.

Le prime coppie rotoidali R1 e le quinte coppie rotoidali R5 definiscono, pertanto, le estremità della relativa catena cinematica aperta.

Deve essere quindi osservato che l'MPT 100 rientra nella famiglia dei meccanismi paralleli di tipo 3-URU.

Con riferimento alla figura 1, le prime coppie rotoidali R1 e le quinte coppie rotoidali R5 sono disposte in modo tale che l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 sia parallela all'asse di rotazione 16 della quinta coppia rotoidale R5 che appartiene alla medesima catena cinematica.

E' noto in letteratura (Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. A Translational 3-DOF Parallel Manipulator. In Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control; J. Lenarcic and M. L. Husty, Eds.; Kluwer: Norwell, MA, USA, 1998; pp. 49-58, ISBN: 978-90-481-5066-3) che se i membri di un 3-URU sono realizzati ed assemblati (in un configurazione non singolare) in modo tale che, in ciascuna gamba, gli assi di rotazione delle coppie rotoidali di estremità siano paralleli fra di loro e gli assi di rotazione delle coppie rotoidali intermedie siano paralleli fra di loro, la piattaforma mobile può soltanto traslare (cioè, mantiene orientamento costante durante il moto) rispetto al telaio.

Le prime coppie rotoidali R1 di ciascuna gamba dell'MPT 100 sono disposte in modo tale che i relativi assi di rotazione 5 siano mutuamente ortogonali ed incidenti nel punto O della base (vedasi Fig. 1).

In aggiunta, le quinte coppie rotoidali R5 di ciascuna gamba dell'MPT 100 sono disposte in modo tale che i relativi assi di rotazione 16 siano mutuamente ortogonali ed incidenti nel punto P della piattaforma (vedasi Fig. 1).

Inoltre, i primi giunti cardanici 4 sono disposti in modo tale che i relativi centri  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$  individuano i vertici di un primo triangolo solidale col telaio 9 che è geometricamente simile ad un secondo triangolo, solidale con la piattaforma mobile 18, avente come vertici i centri  $B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3$  dei secondi giunti cardanici 14.

L'MPT 100 così descritto gode di un'ampia regione dello spazio operativo della piattaforma mobile 18 privo di singolarità entro cui collocare lo spazio di lavoro utile di tale macchina.

La dimostrazione dell'ampia regione dello spazio operativo della piattaforma mobile 18 privo di singolarità viene di seguito riportata con riferimento alla figura 1.

Si considerino innanzitutto le seguenti definizioni/assunzioni:

- $Ox_b y_b z_b$  e  $Px_p y_p z_p$  sono due sistemi di riferimento cartesiani solidali rispettivamente al telaio 9 e alla piattaforma mobile 18; senza introdurre restrizioni, questi due sistemi di riferimento sono stati scelti con gli assi omologhi paralleli (il parallelismo degli assi coordinati è mantenuto durante il movimento della

5

- $A_i$  con  $i=1,2,3$  sono i centri dei primi giunti cardanici 4;
- $B_i$  con  $i=1,2,3$  sono i centri dei secondi giunti cardanici 14;

Senza perdita di generalità (si veda Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. A Translational 3-DOF Parallel Manipulator. In Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control; J. Lenarcic and M. L. Husty, Eds.;

10

Kluwer: Norwell, MA, USA, 1998; pp. 49-58, ISBN: 978-90-481-5066-3) si assume che, nell' $i$ -esima gamba,  $i=1,2,3$ , i punti  $A_i$  e  $B_i$  giacciono su di uno stesso piano perpendicolare agli assi di rotazione delle tre coppie rotoidali intermedie ( $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), il quale interseca in  $C_i$  l'asse di rotazione della terza coppia rotoidale  $R_3$  dell' $i$ -esima gamba;

- $e_1$ ,  $e_2$ , ed  $e_3$  sono i versori degli assi coordinati  $x_b$ ,  $y_b$ , e  $z_b$  ( $x_p$ ,  $y_p$ , e  $z_p$ ), rispettivamente, e, contemporaneamente, versori degli assi di rotazione delle tre prime coppie rotoidali  $R_1$  e delle tre quinte coppie rotoidali  $R_5$  di ciascuna gamba;
- $g_i$ ,  $i=1, 2, 3$ , è il versore che identifica la direzione degli assi di rotazione delle tre coppie rotoidali intermedie  $R_2$ ,  $R_3$  ed  $R_4$  della  $i$ -esima gamba.

Inoltre:

20

- $d_b = A_1O = A_2O = A_3O$ ;
- $d_p = B_1P = B_2P = B_3P$ ;
- $\theta_{ij}$ ,  $i=1,2,3$ , e  $j=1, \dots, 5$ , è la variabile di giunto della  $j$ -esima coppia rotoidale della  $i$ -esima gamba; le variabili dei giunti attuati (o dotati di sensori nel caso di meccanismo passivo) sono le  $\theta_{i2}$ ,  $i=1,2,3$ ;
- $f_i = A_iC_i$ , per  $i=1,2,3$ ;

25

- $p = (P - O) = xe_1 + ye_2 + ze_3$ , dove  $(x, y, z)^T$  raccoglie le coordinate del punto  $P$  in  $Ox_b y_b z_b$ ;

- $\mathbf{a}_i = (A_i - O) = d_b \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{b}_i = (B_i - O) = \mathbf{p} + d_p \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{c}_i = (C_i - O) = \mathbf{a}_i + f_i \mathbf{u}_i$ , per  $i=1,2,3$  ;
- $\mathbf{h}_i = \mathbf{g}_i \times \mathbf{e}_i$ , per  $i=1,2,3$ ;

5 •  $\mathbf{u}_i = (C_i - A_i)/f_i = \cos\theta_{i2} \mathbf{e}_i + \sin\theta_{i2} \mathbf{h}_i$ , per  $i=1,2,3$ .

Singularità di rotazione (constraint singularities)

Le singularità di rotazione di un MPT sono le configurazioni del meccanismo in cui la piattaforma mobile può eseguire una rotazione elementare (cioè, può violare il vincolo di pura traslazione imposto dall'architettura del meccanismo fuori dalla singularità) anche se gli attuatori sono bloccati.

10 La velocità angolare,  $\boldsymbol{\omega}$ , della piattaforma mobile è esprimibile nel seguente modo:

$$\boldsymbol{\omega} = (\dot{\theta}_{i1} + \dot{\theta}_{i5}) \mathbf{e}_i + (\dot{\theta}_{i2} + \dot{\theta}_{i3} + \dot{\theta}_{i4}) \mathbf{g}_i \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

Le equazioni vettoriali (1), moltiplicate scalarmente per  $\mathbf{h}_i$ , danno il seguente sistema lineare ed omogeneo di tre equazioni scalari in  $\boldsymbol{\omega}$

$$\mathbf{h}_i \cdot \boldsymbol{\omega} = 0 \quad i=1,2,3 \quad (2)$$

15 Il sistema (2) ammette soluzioni non nulle per  $\boldsymbol{\omega}$  se e soltanto se il determinante della matrice dei coefficienti è nullo, cioè, se

$$\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3) = 0 \quad (3)$$

L'equazione (3) è la condizione geometrica che individua le singularità di rotazione.

L'espressione esplicita di  $\mathbf{g}_i$  in funzione delle coordinate del punto P (cioè, della posizione della piattaforma

20 mobile) può essere ricavata considerando che (Figura 1)

$$\mathbf{g}_i = \frac{\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)}{|\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)|} = \frac{\mathbf{e}_i \times [\mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i]}{|\mathbf{e}_i \times [\mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i]|} = \frac{\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} \quad (4)$$

La formula (4), introdotta nella definizione di  $\mathbf{h}_i$  dà

$$\mathbf{h}_i = \mathbf{g}_i \times \mathbf{e}_i = \frac{(\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}) \times \mathbf{e}_i}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} = \frac{\mathbf{p} - (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{p}) \mathbf{e}_i}{|\mathbf{e}_i \times \mathbf{p}|} \quad (5)$$

che, dopo l'introduzione dell'espressione esplicita di  $\mathbf{p}$  (cioè,  $\mathbf{p} = x\mathbf{e}_1 + y\mathbf{e}_2 + z\mathbf{e}_3$ ), diventa

25 
$$\mathbf{h}_1 = \frac{y\mathbf{e}_2 + z\mathbf{e}_3}{\sqrt{y^2 + z^2}}; \quad \mathbf{h}_2 = \frac{x\mathbf{e}_1 + z\mathbf{e}_3}{\sqrt{x^2 + z^2}}; \quad \mathbf{h}_3 = \frac{x\mathbf{e}_1 + y\mathbf{e}_2}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (6)$$

Le formule (6), introdotte in  $\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3)$ , danno la seguente equazione della superficie dello spazio operativo che è luogo geometrico delle singolarità di rotazione

$$\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{h}_2 \times \mathbf{h}_3) = \frac{2xyz}{\sqrt{(x^2+z^2)(x^2+y^2)(y^2+z^2)}} = 0 \quad (7)$$

L'analisi della (7) mostra che il luogo delle singolarità di rotazione è costituito dai tre piani coordinati  $x=0$ ,

5  $y=0$ , e  $z=0$ . Pertanto, escludendo i piani coordinati, lo spazio operativo dell'MPT 100 è completamente privo di singolarità di rotazione, il che vuol dire che esistono otto ampie regioni connesse (gli otto ottanti) prive di questo tipo di singolarità e sfruttabili per collocare lo spazio di lavoro utile di questo meccanismo.

#### Singolarità di traslazione

Le singolarità di traslazione di un MPT sono le configurazioni del meccanismo in cui la piattaforma mobile

10 può eseguire una traslazione elementare anche se gli attuatori sono bloccati.

Dal momento che  $\boldsymbol{\omega}$  è nullo in una configurazione che non sia singolarità di rotazione, valgono le seguenti espressioni della velocità di traslazione della piattaforma mobile 18:

$$\dot{\mathbf{p}} = \dot{\theta}_{i1} \mathbf{e}_i + \dot{\theta}_{i2} \mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i) + \dot{\theta}_{i3} \mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) \quad i=1,2,3 \quad (8)$$

Le equazioni vettoriali (8), moltiplicate scalarmente per i vettori

$$15 \quad \mathbf{s}_i = [\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \times [\mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i)] = -\{[\mathbf{e}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \cdot \mathbf{g}_i\} (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) = -[\mathbf{h}_i \cdot (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] (\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) \quad i=1,2,3 \quad (9)$$

danno la seguente relazione input-output istantanea

$$\dot{\mathbf{p}} \cdot \mathbf{s}_i = \dot{\theta}_{i2} [\mathbf{g}_i \times (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] \cdot \mathbf{s}_i \quad i=1,2,3 \quad (10)$$

Quando gli attuatori sono bloccati (cioè, quando  $\dot{\theta}_{i2} = 0$ ,  $i=1,2,3$ , considerando che le variabili dei giunti attuati sono le  $\theta_{i2}$ ,  $i=1,2,3$ ), il sistema (10) ammette soluzioni non nulle per  $\dot{\mathbf{p}}$  se e soltanto se il determinante

20 della matrice dei coefficienti è nullo, cioè, se

$$\mathbf{s}_1 \cdot (\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3) = -[\mathbf{h}_1 \cdot (\mathbf{b}_1 - \mathbf{a}_1)] [\mathbf{h}_2 \cdot (\mathbf{b}_2 - \mathbf{a}_2)] [\mathbf{h}_3 \cdot (\mathbf{b}_3 - \mathbf{a}_3)] (\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)] = 0 \quad (11)$$

L'equazione (11) è la condizione geometrica che individua le singolarità di traslazione.

L'analisi della (11) mostra che si ha una singolarità di traslazione quando una delle seguenti condizioni è soddisfatta

25 a)  $[\mathbf{h}_i \cdot (\mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i)] = 0$  in almeno una gamba;

b) il prodotto misto  $(\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)]$  si annulla.

La condizione (a) si verifica quando in una gamba il segmento  $A_iB_i$  è parallelo ad  $\mathbf{e}_i$ . Questo avviene quando il punto P della piattaforma mobile giace sull'asse coordinato associato ad  $\mathbf{e}_i$ . Dal momento che gli assi coordinati già appartengono alla superficie luogo delle singolarità di rotazione (si veda dimostrazione sopra), questa condizione non aggiunge alcuna ulteriore restrizione al movimento della piattaforma.

La condizione (b) geometricamente si verifica quando i tre segmenti  $B_iC_i$ ,  $i=1,2,3$ , sono paralleli ad un unico piano. Questa condizione si verifica in situazioni molto particolari, ad esempio, quando le gambe sono tutte completamente estese oppure flesse. Da un punto di vista analitico, valgono le seguenti relazioni

$$(\mathbf{b}_i - \mathbf{c}_i) = \mathbf{p} + (d_p - d_b) \mathbf{e}_i - f_i (\cos\theta_{i2} \mathbf{e}_i + \sin\theta_{i2} \mathbf{h}_i) \quad i=1,2,3 \quad (12)$$

che, sviluppate, danno

$$\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1 = [x + (d_p - d_b) - f_1 \cos\theta_{12}] \mathbf{e}_1 + [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1] y \mathbf{e}_2 + [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1] z \mathbf{e}_3 \quad (13a)$$

$$\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2 = [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2] x \mathbf{e}_1 + [y + (d_p - d_b) - f_2 \cos\theta_{22}] \mathbf{e}_2 + [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2] z \mathbf{e}_3 \quad (13b)$$

$$\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3 = [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] x \mathbf{e}_1 + [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] y \mathbf{e}_2 + [z + (d_p - d_b) - f_3 \cos\theta_{32}] \mathbf{e}_3 \quad (13c)$$

con

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{y^2 + z^2}}, \quad k_2 = \frac{1}{\sqrt{x^2 + z^2}}, \quad k_3 = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (14)$$

L'introduzione delle formule (13) nel prodotto misto  $(\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)]$  dà la seguente equazione della superficie dello spazio operativo che è luogo geometrico delle singolarità di traslazione

$$\begin{aligned} (\mathbf{b}_1 - \mathbf{c}_1) \cdot [(\mathbf{b}_2 - \mathbf{c}_2) \times (\mathbf{b}_3 - \mathbf{c}_3)] = xyz [1 - r_2 r_3 - r_1 r_2 - r_1 r_3 + 2 r_1 r_2 r_3] + xy q_3 (1 - r_1 r_2) + \\ + xz q_2 (1 - r_1 r_3) + yz q_1 (1 - r_2 r_3) + x q_2 q_3 + y q_1 q_3 + z q_1 q_2 + q_1 q_2 q_3 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

dove sono state introdotte le seguenti posizioni:

$$r_1 = [1 - f_1 \sin\theta_{12} k_1]; \quad r_2 = [1 - f_2 \sin\theta_{22} k_2]; \quad r_3 = [1 - f_3 \sin\theta_{32} k_3] \quad (16a)$$

$$q_1 = (d_p - d_b) - f_1 \cos\theta_{12}; \quad q_2 = (d_p - d_b) - f_2 \cos\theta_{22}; \quad q_3 = (d_p - d_b) - f_3 \cos\theta_{32} \quad (16b)$$

L'equazione (15) contiene i parametri geometrici  $(d_p, d_b, f_1, f_2, f_3)$  dell'MPT, dunque può essere sfruttata per dimensionare tale macchina in modo tale da allontanare le singolarità di traslazione dalla regione dello spazio operativo in cui si intende collocare lo spazio di lavoro utile dell'MPT.

Pertanto, si può concludere che l'MPT 100 ha un'ampia regione dello spazio operativo priva di singolarità entro cui si può collocare lo spazio di lavoro utile di tale macchina.

Deve essere notato che la dimostrazione sopra presentata riguarda la geometria inerente alla forma di realizzazione dell'MPT mostrato in figura 1. Tuttavia, la regione dello spazio operativo priva di singolarità

5 resta comunque ampia quando questa geometria è modificata purché non sia completamente stravolta (Di Gregorio, R.; Parenti-Castelli, V. Influence of the geometric parameters of the 3-UPU parallel mechanism on the singularity loci. In: Procs. of the Int. Workshop on Parallel Kinematic Machines - PKM'99, Milan, Italy, November 30, 1999; pp. 79-86, ISBN: 88-900426-0-5).

In particolare, i vantaggi conseguiti dall'MPT 100 mostrato in figura 1 sono raggiunti anche da forme di  
10 realizzazione differenti del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, ossia con gli assi di rotazione 5 delle prime coppie rotoidali R1 sghembi o comunque che non si intersecano tutti nel primo punto O e con gli assi di rotazione 16 delle quinte coppie rotoidali R5 sghembi o comunque che non si intersecano tutti nel secondo punto P, purché il telaio sia dimensionato in modo tale che la distanza tra due qualsiasi degli assi di rotazione 5 delle coppie rotoidali R1 sia inferiore al 20% del diametro della circonferenza passante per  
15 i punti  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$ , che sono i centri dei primi giunti cardanici 4, e la piattaforma mobile sia dimensionata in modo tale che la distanza tra due qualsiasi degli assi di rotazione 16 delle coppie rotoidali R5 sia inferiore al 20% del diametro della circonferenza passante per i punti  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$ .

Inoltre, i vantaggi conseguiti dall'MPT 100 mostrato in figura 1 sono raggiunti anche da forme di  
20 realizzazione differenti del meccanismo parallelo traslazionale secondo l'invenzione, ossia con gli assi di rotazione 5 delle prime coppie rotoidali R1 non mutuamente ortogonali e con gli assi di rotazione 16 delle quinte coppie rotoidali R5 non mutuamente ortogonali, purché l'angolo formato fra due assi di rotazione 5 qualsiasi delle prime coppie rotoidali R1 sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$  e l'angolo formato fra due assi di rotazione 16 qualsiasi delle quinte coppie rotoidali R5 sia compreso fra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .

Il meccanismo parallelo traslazionale 100 comprende un attuatore 21 per ciascuna catena cinematica, ossia  
25 per ciascuna gamba. Tali attuatori sono accoppiati alla seconda coppia rotoidale R2 delle rispettive catene

cinematiche per il loro azionamento.

Con particolare riferimento alla figura 2, ciascun attuatore 21 comprende un motore elettrico 22 con carter fissato al telaio 9 in modo tale che l'albero 23 del motore elettrico 22 abbia asse coincidente con l'asse di rotazione 5 della prima coppia rotoidale R1 della gamba relativa a tale attuatore 21.

5 L'attuatore 21 comprende altresì un sistema di trasmissione del moto 24 comprendente un riduttore 25 e una coppia conica 26. La coppia conica 26 è azionata dall'albero 23 del motore elettrico 22 ed, a sua volta, aziona il perno 27 della seconda coppia rotoidale R2.

La figura 2 mostra, inoltre, una forma di realizzazione della crociera 35 del primo giunto cardanico 4, connessa mediante cuscinetti al telaio 9 e al perno 27 della seconda coppia rotoidale R2. Il primo membro 7 è  
10 solidale al perno 27 nella sua prima estremità a forcella 8 ed è collegato al secondo membro 12 mediante la terza coppia rotoidale R3. Il secondo membro 12 è collegato ad una flangia 28 mediante il secondo giunto cardanico 14 la cui crociera è indicata con il numero 29. La flangia 28 è destinata ad essere fissata alla piattaforma mobile 18.

La figura 3 mostra una forma di realizzazione alternativa del meccanismo parallelo traslazionale che verrà  
15 indicata con il numero di riferimento 100'.

Rispetto all'MPT 100 mostrato in figura 1, il meccanismo parallelo traslazionale 100' comprende un'ulteriore catena cinematica. La piattaforma mobile 18 dell'MPT 100' è collegata tramite una coppia rotoidale ad un utensile 30 che è il membro di uscita di questa ulteriore catena cinematica (gamba) 31 di tipo RUPUR che funge da albero di trasmissione azionato da un motore elettrico 32 il cui carter è fisso al telaio 9  
20 ed il cui albero motore è collegato tramite una coppia rotoidale al telaio 9.

L'utensile 30 può essere una pinza (gripper).

L'invenzione consegue così lo scopo proposto, ottenendo al contempo i vantaggi sopra menzionati.

In particolare, il fatto che le catene cinematiche comprendano preferibilmente solamente coppie rotoidali rende l'MPT oggetto dell'invenzione costruttivamente semplice da realizzare.

25 L'MPT oggetto dell'invenzione si rivela altresì essere un'architettura non sopra-vincolata (not-

overconstrained), il che permette di definire tolleranze di lavorazione non particolarmente strette sulla maggior parte delle costanti geometriche del meccanismo, ottenendo pertanto bassi costi di lavorazione e di assemblaggio.

Inoltre, fatti salvi i parallelismi tra gli assi delle coppie rotoidali in ciascuna gamba assemblata, tutti gli altri  
5 errori geometrici non influiscono sulla traslazione della piattaforma mobile e possono essere eliminati tramite procedure di calibrazione che non intervengono sul meccanismo, ma comportano semplicemente la modifica di alcune costanti nel modello dell'MPT utilizzato da un sistema di controllo.

Inoltre, gli ingombri dell'MPT secondo l'invenzione possono essere confrontabili con quelli del Delta robot mentre la sua struttura gli permette una migliore ripartizione dei carichi ed una maggiore rigidità.

10

## RIVENDICAZIONI

1. Meccanismo parallelo traslazionale (100;100') comprendente tre gambe (1,2,3), in cui ciascuna gamba è una catena cinematica che comprende:

• un primo giunto cardanico (4) comprendente una prima coppia rotoidale (R1) ed una seconda coppia rotoidale (R2),

• un primo membro (7) connesso, in corrispondenza di una sua prima estremità (8), ad un telaio (9) mediante detto primo giunto cardanico (4) in modo tale che l'asse di rotazione (5) di detta prima coppia rotoidale (R1) sia fissa a detto telaio (9), e connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità (10), ad una prima estremità (11) di un secondo membro (12) mediante una terza coppia rotoidale (R3),

• un secondo giunto cardanico (14) comprendente una quarta coppia rotoidale (R4) ed una quinta coppia rotoidale (R5),

• detto secondo membro (12) che è connesso, in corrispondenza di una sua seconda estremità (17), ad una piattaforma mobile (18) mediante detto secondo giunto cardanico (14) in modo tale che l'asse di rotazione (16) di detta quinta coppia rotoidale (R5) sia fissa a detta piattaforma mobile (18),

in cui dette prime coppie rotoidali (R1) e quinte coppie rotoidali (R5) definiscono le estremità delle rispettive catene cinematiche, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) di ciascuna gamba (1,2,3) sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto (O) fisso in detto telaio (9) oppure che la distanza fra due qualsiasi di detti assi di rotazione (5) sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza (19) passante per i centri di detti primi giunti cardanici (4), ed in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) di ciascuna gamba (1,2,3) sono disposti in modo tale che non siano né complanari né paralleli ad un unico piano e in modo tale che siano incidenti in un unico punto (P) fisso in detta piattaforma mobile (18) oppure che la distanza fra due qualsiasi di detti assi di rotazione (16) sia minore o uguale al 20% del diametro della circonferenza (19) passante per i centri di

detti primi giunti cardanici (4).

2. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 1, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) sono disposti in modo tale che l'angolo formato da due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .
- 5 3. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 2, in cui gli assi di rotazione (5) di dette prime coppie rotoidali (R1) di ciascuna gamba (1,2,3) sono mutuamente ortogonali ed incidenti in detto unico punto (O) fisso in detto telaio (9).
4. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) sono disposti in modo tale che l'angolo formato da  
10 due qualsiasi di questi assi sia compreso tra  $70^\circ$  e  $110^\circ$ .
5. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 4, in cui gli assi di rotazione (16) di dette quinte coppie rotoidali (R5) di ciascuna gamba (1,2,3) sono mutuamente ortogonali ed incidenti in detto unico punto (P) fisso in detta piattaforma mobile (18).
6. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente un  
15 attuatore (21) per ciascuna gamba, detti attuatori (21) essendo accoppiati alle seconde coppie rotoidali (R2) delle rispettive gambe per il loro azionamento.
7. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 6, in cui almeno uno di detti attuatori (21) comprende un motore (22) con carter fissato a detto telaio (9) in modo tale che l'albero (23) di detto motore (22) abbia asse coincidente con l'asse di rotazione (5) di detta prima coppia rotoidale (R1) della  
20 gamba in cui è montato, e un sistema di trasmissione del moto (24) predisposto per azionare detta seconda coppia rotoidale (R2) della gamba in cui è montato.
8. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente un sensore per ciascuna gamba, detti sensori essendo accoppiati a dette seconde coppie rotoidali (R2) delle rispettive gambe per generare un segnale correlato all'angolo di rotazione di tali coppie rotoidali (R2).
- 25 9. Meccanismo parallelo traslazionale secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente

un'ulteriore gamba costituita da una catena cinematica (31) che collega detta piattaforma mobile (18) a detto telaio (9) per controllare la rotazione di un utensile, o un gripper, collegato tramite una coppia rotoidale a detta piattaforma mobile (18).

10. Meccanismo parallelo traslazionale secondo la rivendicazione 9, in cui la catena cinematica (31)

5 dell'ulteriore gamba è di tipo RUPUR.

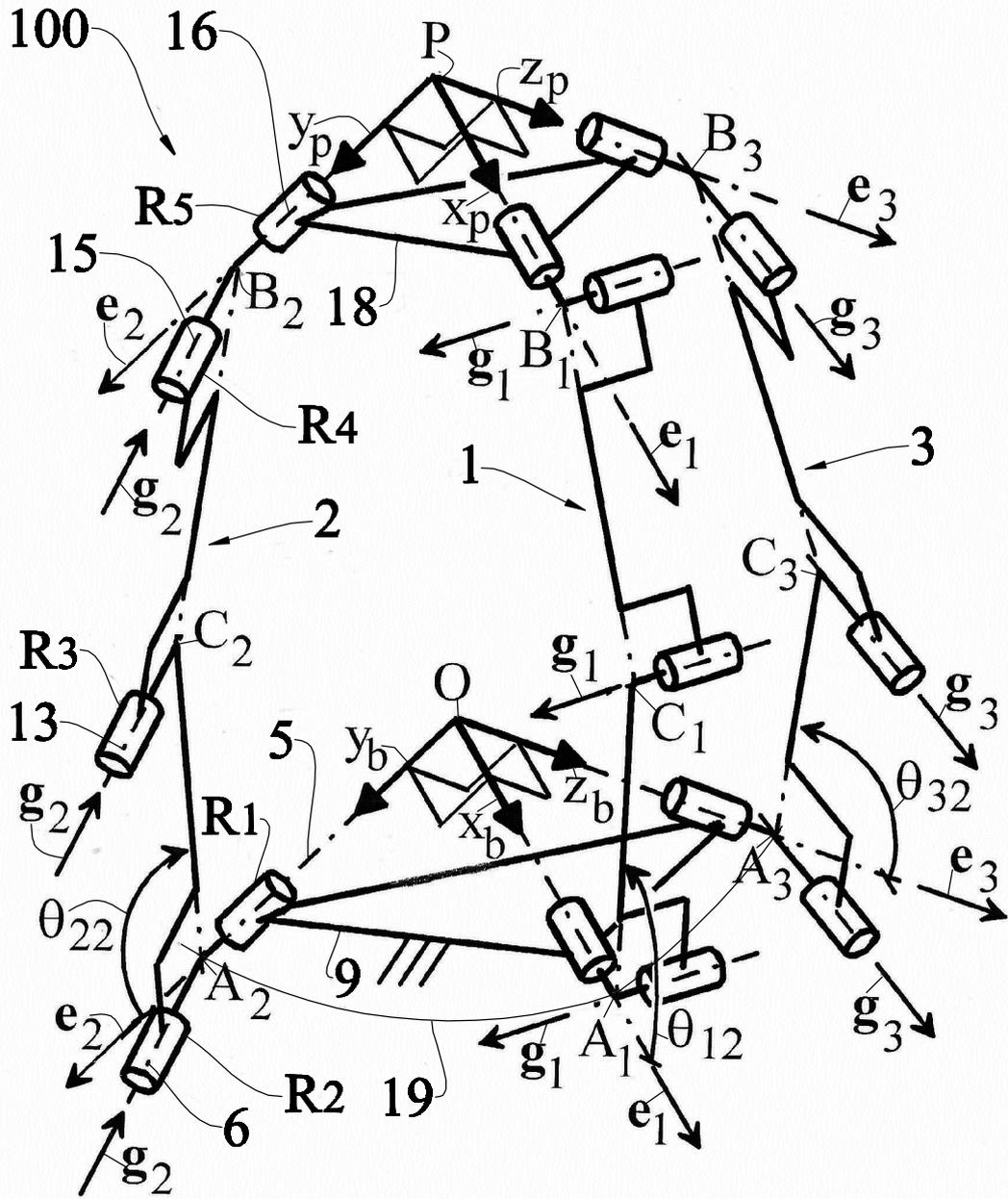


Fig. 1



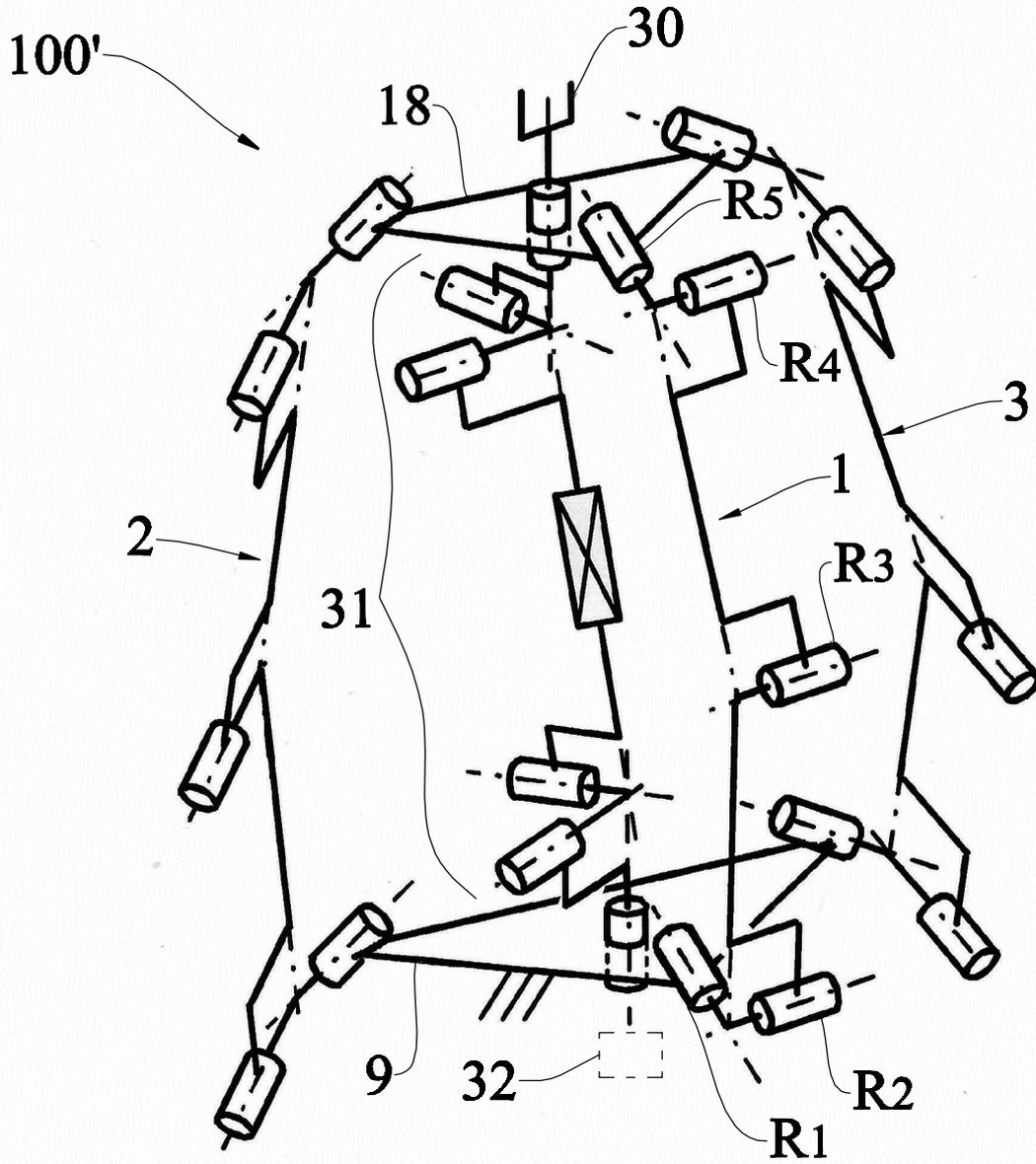


Fig. 3



*Ministero dello Sviluppo Economico*

Direzione generale per la tutela della proprietà industriale

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

## ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda:

**N. 102020000006100**

TITOLARE/I: • UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA 100.0%

Prendin Marco

DOMICILIO: Cantaluppi & Partners S.r.l.  
via P. Strobel 8  
20123 Milano

INVENTORE/I: • DI GREGORIO Raffaele

TITOLO: Meccanismo parallelo traslazionale

CLASSIFICA: B25J

DATA DEPOSITO: 23/03/2020

Roma, 27/04/2022

Il Dirigente della Divisione VII

*Loredana Guglielmetti*