



Università Politecnica delle Marche

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**Stato dell'arte dei giunti riconfigurabili nelle
macchine a cinematica parallela**

**State of the art of reconfigurable joints in
parallel kinematic machines**

Relatore:
Prof. Matteo Claudio Palpacelli

Candidato:
Emanuele Spreccacè

Anno Accademico 2018/2019

SOMMARIO

1 - INTRODUZIONE	4
2 - MACCHINE SERIALI E MACCHINE PARALLELE	6
2.1 - PROTOTIPI E PROGETTI DI MACCHINE A CINEMATICA PARALLELA.....	10
3 - GIUNTI RICONFIGURABILI	13
3.1 - GIUNTO rT	13
3.2 - GIUNTO RICONFIGURABILE CON RIGIDITA' VARIABILE (JVSR).....	17
3.3 - GIUNTO IDRAULICO RICONFIGURABILE DI DISACCOPPIAMENTO	21
3.4 - ALTRE TIPOLOGIE DI GIUNTI IDRAULICI.....	28
3.5 - GIUNTO S_r APPLICATO AD UN MANIPOLATORE 3-CPU	32
3.6 - GIUNTO S_r APPLICATO AD UN MANIPOLATORE 3-URU	42
3.7 - GIUNTO SFERICO AUTOBLOCCANTE	49
4 - APPLICAZIONI DEI GIUNTI NELLE MACCHINE PARALLELE RICONFIGURABILI	53
4.1 - PKM CON PIATTAFORMA MOBILE RICONFIGURABILE ..	53
4.2 - PIATTAFORMA CON QUATTRO GAMBE R_bRPS	55
4.3 - ReSI-Bot.....	57
4.4 - MANIPOLATORE RICONFIGURABILE 3-CPU	59
4.5 - MANIPOLATORE RICONFIGURABILE 3-URU	63
5 - POSSIBILI GUASTI	66
11 - CONCLUSIONI	67
BIBLIOGRAFIA	68

1 – INTRODUZIONE



Figura 1.1: Giunto universale riconfigurabile realizzato con tecniche di prototipazione rapida. [1]

In questi ultimi anni le macchine a cinematica parallela stanno assumendo una decisa importanza industriale ed economica, in numerosi e differenti campi applicativi, ponendosi in competizione con le tecnologie tradizionali e con i robot seriali. Centrale è la necessità di ottenere manipolatori che consentano di raggiungere un certo grado di flessibilità e che garantiscano una grande capacità adattiva per processi produttivi che potrebbero richiedere, nell'ambito di uno stesso compito, differenti capacità di destrezza o mobilità. Per manipolatore riconfigurabile si intende una macchina capace di mostrare differenti modalità cinematiche fermo restando la propria struttura.

La riconfigurazione, o cambio di mobilità, avviene solitamente attraverso il passaggio mediante un punto di biforcazione del comportamento cinematico, che molto spesso coincide con un punto di singolarità dello spazio di lavoro, oppure una riconfigurazione locale e controllata della topologia dei giunti. Nel primo caso, il robot sarà soggetto ad una temporanea singolarità che potrebbe mettere a rischio la sua integrità. Nel secondo, si rende necessario un apposito dispositivo meccanico in grado di effettuare la necessaria riconfigurazione dei giunti. [2] Questo elaborato propone un'analisi del progetto del giunto riconfigurabile nel campo delle macchine a cinematica parallela, ovvero uno studio delle modalità grazie alle quali il giunto è in grado di modificare le capacità di movimentazione della macchina su cui è montato. Inizialmente l'elaborato propone la descrizione delle funzionalità delle macchine a cinematica parallela, mostrando le principali differenze con le macchine seriali, vantaggi e svantaggi delle due tipologie. Come esempi vengono riportati brevemente tre diversi progetti di macchine a cinematica parallela. Successivamente verranno proposte varie tipologie di giunti riconfigurabili: il giunto rT, il giunto a rigidità variabile, i giunti idraulici, due giunti sferici riconfigurabili applicati ai manipolatori 3-CPU e 3-URU ed un giunto autobloccante. Possibili applicazioni dei giunti verranno poi esposte mediante la presentazione di alcune macchine a cinematica parallela.

2 – MACCHINE SERIALI E MACCHINE PARALLELE

Le macchine utensili, comunemente denominate "Robot", possono essere classificate secondo diversi criteri. È usuale fare riferimento ad un certo tipo di Robot indicando il numero di gradi di libertà (in gergo tecnico anche denominati "assi") che ne caratterizza le possibilità di movimento. A seconda del numero, del tipo ed alla disposizione spaziale di tali gradi di libertà si può ottenere una classificazione basata sulla forma dello spazio di lavoro raggiungibile dalla macchina. Nella prassi comune qualsiasi tipo di classificazione sottintende che l'argomento trattato riguardi i cosiddetti "Robot seriali" o "manipolatori seriali". L'aggettivo "seriali" indica la disposizione consecutiva dei vari elementi strutturali che compongono la macchina, elementi connessi fra loro da giunti che rendono possibili i vari movimenti.

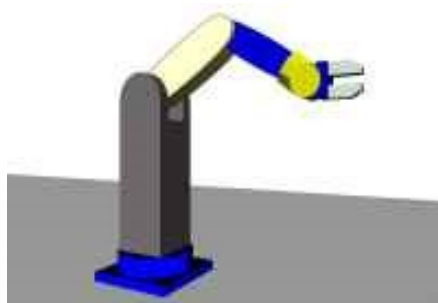


Figura 2.1: robot seriale [3]

In figura 2.1 è riportato lo schema di un tipico Robot basato sull'architettura seriale. In particolare si tratta di un manipolatore comunemente indicato come "antropomorfo", poiché la sua struttura cinematica ricalca le possibilità di movimento del braccio umano. È evidente la sequenza giunto-elemento

strutturale-giunto-elemento strutturale caratterizzante tutta la catena cinematica che risulta aperta, cioè senza la possibilità di seguire percorsi chiusi percorrendo idealmente la successione degli elementi che la compongono. In tempi recenti l'interesse della Robotica si è rivolto ad un nuovo tipo di macchina, caratterizzato da una struttura profondamente diversa rispetto a quella citata. La differenza sostanziale è rappresentata dal fatto che la struttura della macchina è costituita da una catena cinematica chiusa, ciò significa che percorrendo idealmente una qualsiasi sequenza di elementi contigui, si ottiene sempre un percorso chiuso.

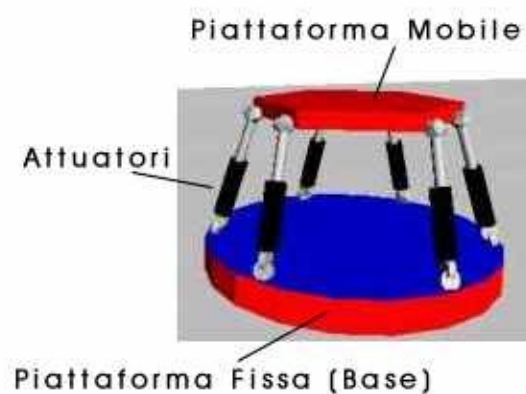


Figura 2.2: Robot parallelo [3]

La figura 2.2 presenta un classico tipo di macchina caratterizzata da una cinematica cosiddetta "parallela". È facile osservare come ciascun attuttore sia connesso direttamente con gli elementi estremi della catena cinematica, nel caso in esame la piattaforma mobile e la piattaforma fissa indicati in figura. Il collegamento degli attuatori con le piattaforme avviene tramite giunti sferici e giunti universali. La figura 2.2 illustra una macchina dotata di sei gradi di libertà dove il posizionamento della piattaforma mobile si ottiene agendo sulla lunghezza dei sei attuatori. Lo spazio di lavoro è tridimensionale. Si tenga comunque ben presente che esiste una varietà notevole di possibili applicazioni dell'architettura parallela, ad esempio per macchine con un ridotto numero di gradi di libertà o con uno spazio di lavoro caratterizzato da un

numero di dimensioni inferiore a tre. [3] Le macchine parallele presentano vari vantaggi che possono essere molto utili in compiti differenti, dai più tradizionali (come l'assemblaggio o le lavorazioni per asportazione di truciolo), a quelli più avanzati o specifici (dispositivi spaziali o medicali, sistemi a scala microscopica, simulatori delle prestazioni di macchine complesse, ecc.). Anche se restano ancora da risolvere alcuni importanti problemi di carattere teorico ed applicativo, il corrente stato dell'arte delle tecnologie interessate ha consentito lo sviluppo di una miriade di prototipi di ricerca ed anche di alcune interessanti realizzazioni industriali, attualmente disponibili sul mercato. Sebbene il concetto di macchina a cinematica parallela sia ancora troppo recente e troppo differente da quanto tradizionalmente utilizzato nell'industria per essere universalmente accettato, si ha la sensazione che il loro uso in molte applicazioni di automazione sia così necessario che queste macchine diventeranno indispensabili in un futuro molto prossimo. [4]

Vantaggi della struttura cinematica parallela:

- Elevata capacità di carico
- Elevata rigidità
- Frequenze naturali elevate
- Attuatori posizionabili sul telaio
- Basse masse in movimento
- Elevate accelerazioni
- Ottima accuratezza
- Costruzione meccanica semplice e modulare

Svantaggi della struttura cinematica parallela

- Difficoltà di progettazione
- Spazio di lavoro limitato e dalla geometria complessa
- Bassa destrezza e singolarità interne allo spazio di lavoro
- Complessità delle relazioni cinematiche
- Sensibilità agli effetti termici
- Difficoltà di calibrazione

Applicazioni più comuni dei robot paralleli

- Macchine utensili
- Robot di assemblaggio veloce, packaging, manipolazione
- Robot per assemblaggio con forzamento
- Dispositivi di posizionamento
- Dispositivi di puntamento
- Simulatori di volo
- Robot per applicazioni chirurgiche e medicali
- Dispositivi per la deambulazione
- Dispositivi ottici e per la guida in tele-manipolazione
- Robot per la micro-manipolazione (MEMS)
- Sensori di forza

2.1 - PROTOTIPI E PROGETTI DI MACCHINE A CINEMATICA PARALLELA

ROBOT I.CA.RO.

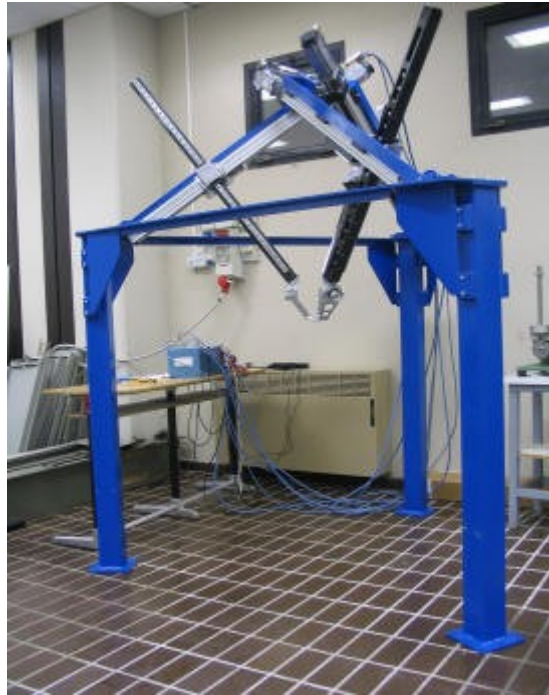


Figura 2.3: Robot I.Ca.Ro. [5]

I.Ca.Ro. (Innovative Cartesian Robot) è un prototipo di robot ad architettura parallela innovativa sviluppato dal gruppo di Meccanica Applicata alle Macchine. La cinematica utilizzata conferisce alla piattaforma mobile 3 gradi di libertà di pura traslazione e pertanto risulta di largo interesse per una vasta gamma di applicazioni. Tra le prestazioni più interessanti si possono menzionare la capacità di spinta verticale di 4300 N , la velocità ed accelerazione massime rispettivamente di $1,06\text{ m/s}$ e di 9 g in direzione verticale. Il sistema di controllo è realizzato su scheda dSPACE: un controllo di posizione PID consente attualmente di pilotare il terminale lungo traiettorie classiche, mentre un controllo attivo di impedenza permette una interazione del manipolatore con l'ambiente esterno. [5]

ROBOT SPHE.I.RO.

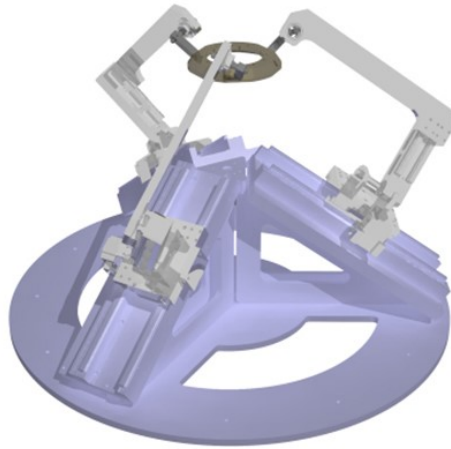


Figura 2.4: Robot Sphe.I.Ro. [6]

Sphe.I.Ro. (Spherical Innovative Robot) è un prototipo di robot ad architettura parallela innovativa sviluppato dal gruppo di Meccanica Applicata alle Macchine. La cinematica è analoga a quella del robot I.Ca.Ro., ma attraverso una diversa disposizione dei membri la piattaforma mobile presenta 3 gradi di libertà di pura rotazione. L'utilizzo di motori lineari conferisce prestazioni elevate in termini di accelerazioni massime raggiungibili al terminale; inoltre la natura parallela del robot si traduce in una elevata rigidità strutturale. Il sistema di controllo è realizzato su piattaforma National Instruments (scheda Flexmotion): le rotazioni sono ottenute attraverso un controllo di posizione PID e l'interazione del manipolatore con l'ambiente esterno è gestita mediante un controllo attivo di impedenza. [5]

MINI POLSO A 2 G.D.L.

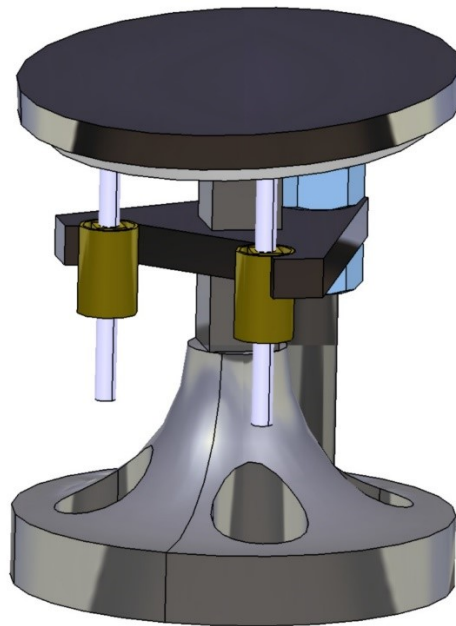


Figura 2.5: Mini polso a 2 g.d.l. [5]

Il dispositivo mostrato in figura è un mini polso di puntamento a 2 gradi di libertà; tale mobilità è resa possibile grazie ad un giunto flessibile in materiale superelastico (Nitinol) di collegamento tra la colonna portante e la piattaforma mobile. Il movimento è generato da due motori piezoelettrici Squiggle, disposti in verticale, che, agendo su due piani verticali ortogonali, danno origine alla rotazione della piattaforma. Il contatto tra gli steli dei motori e la superficie inferiore della piattaforma è mantenuto dal richiamo elastico del giunto flessibile. Il mini polso è in fase di prototipazione a seguito di numerose analisi ed ottimizzazioni cineto-statiche. I motori sono attualmente disponibili per la realizzazione di un banco prova necessario per uno studio preliminare delle loro prestazioni. [5]

3 – GIUNTI RICONFIGURABILI

3.1 - GIUNTO rT

Il giunto rT è un giunto di recente sviluppo utilizzato anche esso per costruire meccanismi paralleli riconfigurabili. La proprietà chiave del giunto rT è che uno degli assi possono essere modificati liberamente rispetto alla base o all'arto anche dopo l'assemblaggio dei meccanismi, mentre il tradizionale giunto di Hooke non ha questa capacità. È risaputo che il giunto di Hooke consiste in una coppia di giunti di rivoluzione con assi che si intersecano agli angoli a destra. I due assi intersecano e generano un connettore forma di T che poggia su due paia di cuscinetti. Questo è di solito chiamato come giunto T. I due collegamenti, connessi da questo giunto, hanno due gradi di libertà di rotazione rispetto all'altra sugli assi del connettore T, come in Figura 3.1.

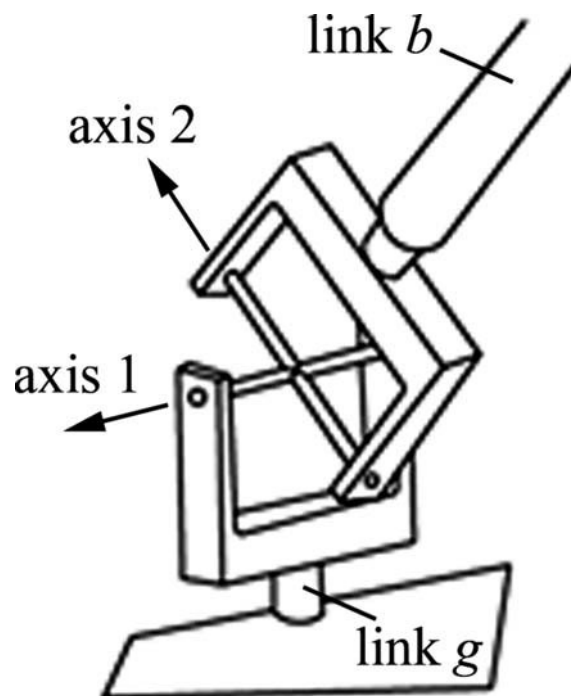


Figura 3.1: Un tradizionale giunto di Hooke [7]

Ogni collegamento è perpendicolare al suo asse di rotazione. Ad esempio, il collegamento g è perpendicolare asse 1 e il collegamento b è perpendicolare al suo asse di rotazione 2. Quando un giunto di Hooke è fisso, gli assi di rotazione sono fissi rispetto una base o un arto. Tuttavia, dal punto di vista della metamorfosi per la riconfigurazione, si prevede che la direzione di rotazione dell'asse sia alterata. Questo porta ad un nuovo design. Figura 3.2 presenta la progettazione del nuovo giunto.

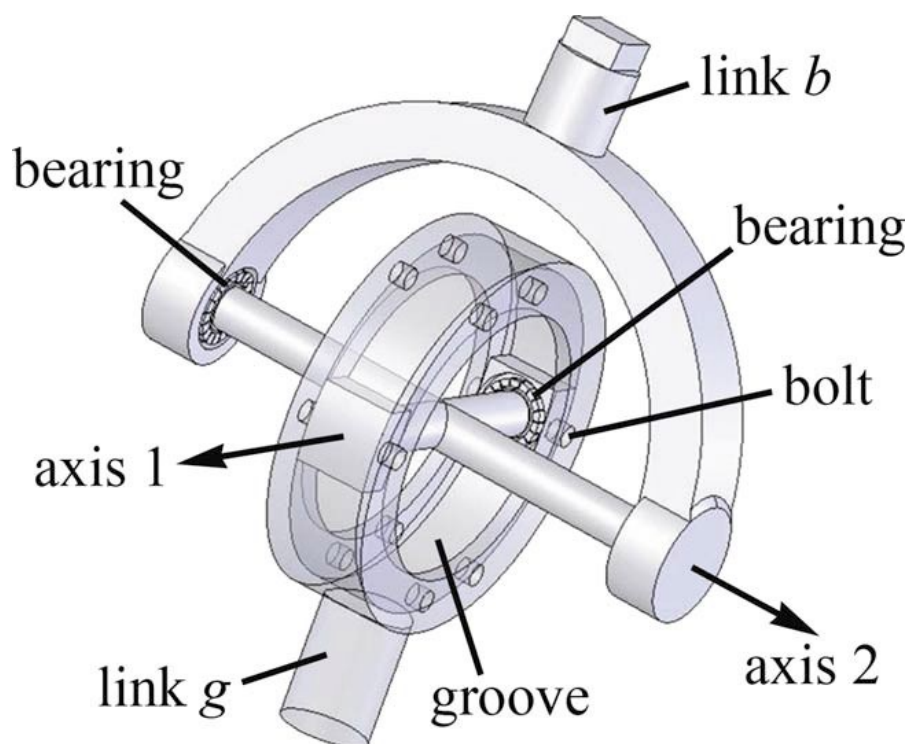


Figura 3.2: Un giunto rT [7]

Il nuovo design inserisce un ulteriore grado di libertà di rotazione tra l'anello di riposo e il connettore T. Mentre l'asse 2 è perpendicolare al collegamento b, l'asse 1 può cambiare la sua direzione all'interno di una scanalatura nell'anello. Questo modifica l'angolo relativo tra il collegamento g e l'asse 1 in contrasto con un disegno convenzionale dove l'angolo tra il collegamento e il

corrispondente asse di rotazione è costante. Questa libera rotazione è incorporata in un anello che consente al connettore T di ruotare. Così lungo la scanalatura, l'asse 1 può ruotare di 360 gradi intorno all'asse 2 e può essere fissato mediante bullonatura alla scanalatura. Ciò consente al collegamento b di modificare il suo asse di rotazione rispetto al collegamento g. Questo giunto è indicato come giunto rT, dove r sta per rivoluzione lungo la scanalatura e viene utilizzato per modificare l'orientamento del connettore T. T indica i due giunti di rivoluzione sugli assi 1 e 2. Questo simbolo può anche indicare che, dopo aver imbullonato il giunto rT, esso consente due gradi di libertà rotazionali al meccanismo assemblato. Così l'orientamento di uno degli assi del giunto rT può essere alterato rispetto alla sua parte fissa su una piattaforma o un arto. Questo modifica di conseguenza la configurazione dei meccanismi e la sua mobilità. Il giunto rT può avere infinite configurazioni come uno degli assi può avere configurazioni diverse ruotando di una qualsiasi quantità angolo intorno a un altro asse. In seguito speciali e utili configurazioni possono essere ottenute utilizzando il giunto rT con il suo effetto successivo sugli arti per ottenere una mobilità variabile. La configurazione di tipo g rappresenta le configurazioni dove la scanalatura del giunto rT è fissata alla base o alla piattaforma, mentre la configurazione di tipo b denota che il supporto (link b) è fissato alla base o alla piattaforma. Nella configurazione di tipo g, la configurazione varia con la modifica dell'asse dell'anello scanalato. In particolare, quando l'asse è fissato parallelamente alla base o piattaforma, la configurazione è specificata come di tipo g1. Quando l'asse è fisso perpendicolarmente alla base o alla piattaforma, la configurazione è di tipo g2. Quando l'asse è fisso in qualsiasi altra direzione, la configurazione è di tipo g3. Inserendo questi tipi di articolazioni negli arti, possono essere prodotti vari tipi di meccanismi paralleli e la metamorfosi è generata per cambiare i meccanismi di mobilità. Nella tipologia b, il collegamento staffa è fissato alla base o alla piattaforma e l'asse dell'anello scanalato è fissato perpendicolarmente all'arto

come configurazione di assemblaggio b_1 o in linea con un arto come b_2 configurazione dell'assemblaggio. [7]

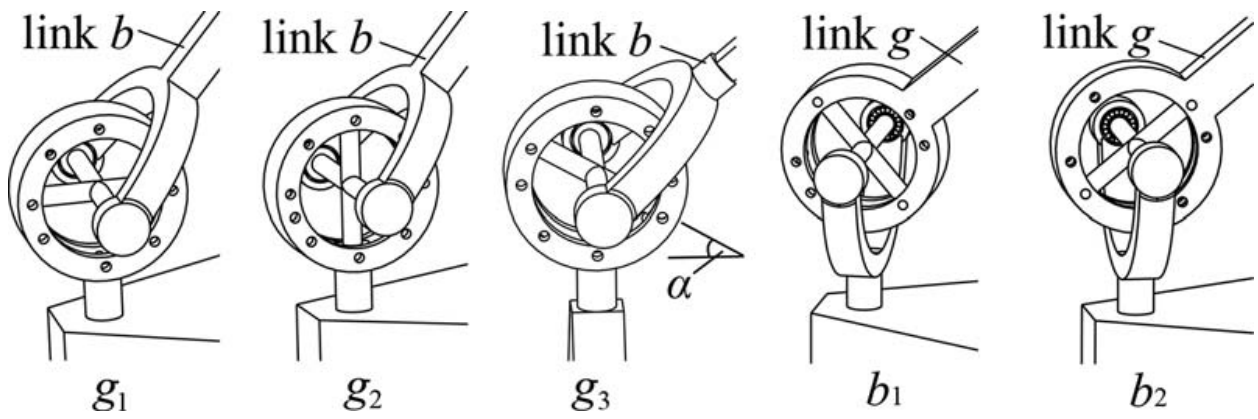


Figura 3.3. Configurazioni scanalatura fissa e supporto fisso del giunto rT [7]

3.2 - GIUNTO RICONFIGURABILE CON RIGIDITA' VARIABILE (JVSR)

Fino ad oggi, sono state proposte molti giunti conformi che presentano diverse prestazioni di rigidità. Essi possono essere classificati in due tipi: i giunti di conformità fissa e i giunti di conformità regolabile. I giunti di conformità fissa di solito utilizzano molle lineari in serie con irrigiditori. A causa della rigidità costante, l'efficienza energetica del dispositivo robotico è generalmente bassa e può essere migliorata solo quando il comportamento della traiettoria del dispositivo robotico corrisponde alla frequenza naturale del sistema. In alternativa, negli ultimi anni sono state sviluppate giunzioni di conformità fisse con comportamenti non lineari, considerando che il comportamento non lineare offre più parametri di progettazione di uno lineare e più flessibile nel plasmare profili di rigidità/deflessione della coppia. Contrariamente ai giunti di conformità fissa, le articolazioni di conformità regolabili sono in grado di cambiare la loro rigidità dinamica. Essi possono essere progettati con diversi principi, come il principio basato sul precarico a molla, il principio basato sul rapporto di trasmissione e le molle speciali. Tuttavia, nella maggior parte dei casi di giunti conformi regolabili, un motore secondario viene solitamente utilizzato per sintonizzare attivamente un elemento elastico per ottenere la variazione della rigidità. In questo capitolo viene presentato un nuovo giunto riconfigurabile di rivoluzione con rigidità variabile (JVSR). Il nuovo design cerca di ottenere una rigidità variabile con più modalità ed è mirato per facilitare la regolazione della rigidità. Questo consente di utilizzare il giunto per molte applicazioni potenziali nella robotica. L'idea del progetto del meccanismo con giunto conforme è mostrata in figura 3.4. Attraverso la regolazione del precarico di progettazione, è possibile ottenere la rigidità variabile e si possono realizzare tre modalità di lavoro che mostrano comportamenti induriti, ammorbiditi e lineari. Inoltre, viene proposto un design riconfigurabile basato sul meccanismo per facilitare efficacemente la regolazione delle sue gamme di rigidità e di coppia di uscita.

Il meccanismo proposto è nuovo nelle sue capacità di riconfigurazione e regolazione della rigidità variabile e presenta un'architettura compatta. [8]

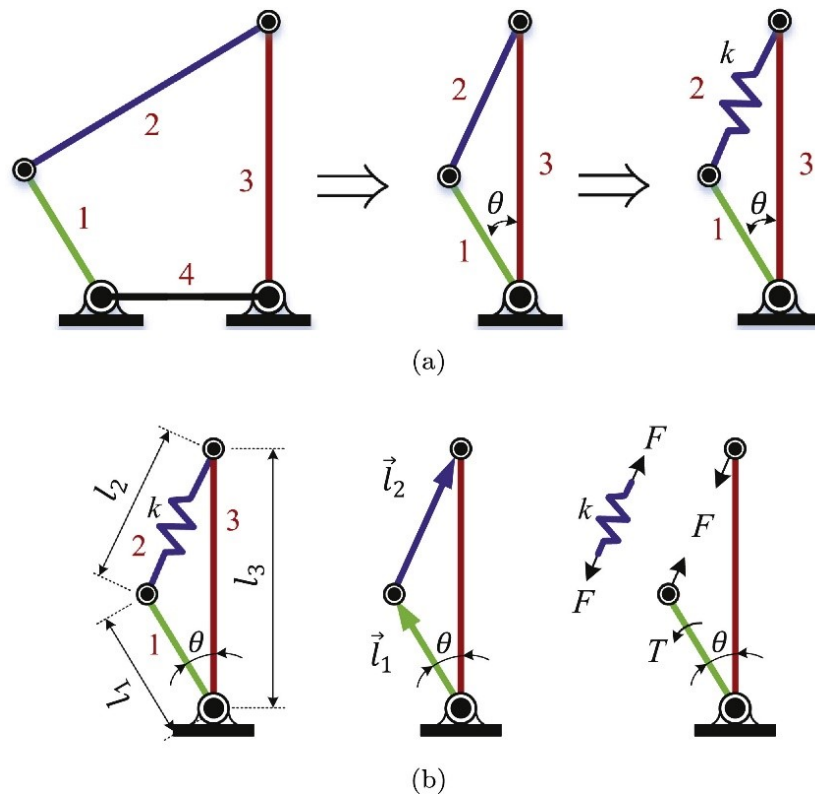


Figura 3.4: (a) Il concetto di costruire un giunto conforme utilizzando un caso speciale di collegamento a quattro barre. b) Diagramma cinematico e statico del meccanismo. [8]

PROGETTAZIONE DEL JVSR

Sulla base del principio della variazione della rigidità sopracitato, un meccanismo di giunzione di rivoluzione riconfigurabile conforme è proposto come mostrato in figura 3.5.

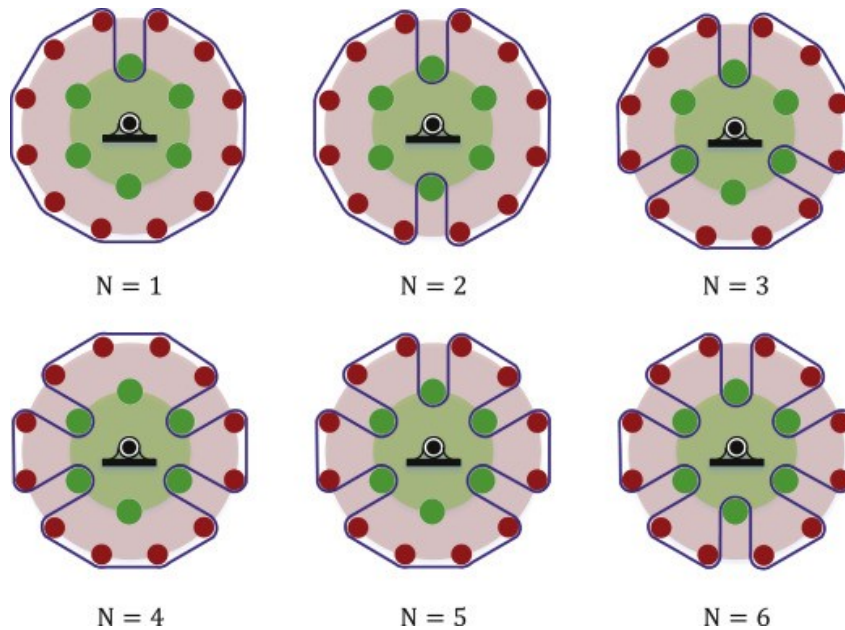


Figura 3.6: Riconfigurazione del JCSR ($n=6$) indicato dal numero di perni avvolti. [8]

PROTOTIPO DEL JCSR

Il modello prototipo di JCSR è mostrato in figura 3.7. Il progetto è conforme al modello descritto nella figura 3.5(b). È possibile ottenere un totale di quattro configurazioni. Nella prova, l'albero di ingresso è fissato all'alloggiamento di JCSR (vedi Fig. 3.7 (a)) e non può ruotare negli esperimenti. In questo prototipo, c'è una sola posizione di equilibrio, ovvero all'angolo pari a 0. Nella progettazione futura, l'albero di ingresso può essere collegato a un motore di posizione, in modo che la posizione di equilibrio e la rigidità possano essere controllate in modo indipendente. Figura 3.7 (b) mostra i dettagli della disposizione dei cavi nel prototipo. Un cavo di nylon di 1 mm di diametro viene utilizzato in questo prototipo JCSR, che è in grado di sostenere una tensione massima di circa 50N. La molla lineare è collegata ad un'estremità del cavo in nylon. L'altra estremità del cavo di nylon è fissata sull'alloggiamento. Il prototipo JCSR è in grado di lavorare sia in modalità di ammorbidimento che in modalità di indurimento per il limite di tensione controllabile del cavo. La tabella 1

riassume i principali parametri di progettazione del prototipo JVSR. Per valutare l'influenza di k sulle prestazioni di rigidità di JVSR, sono state utilizzate due molle, molla 1 di $K_{s,1}=0,6613$ N/mm e molla 2 di $K_{s,2}=0,214$ N/mm. [8]

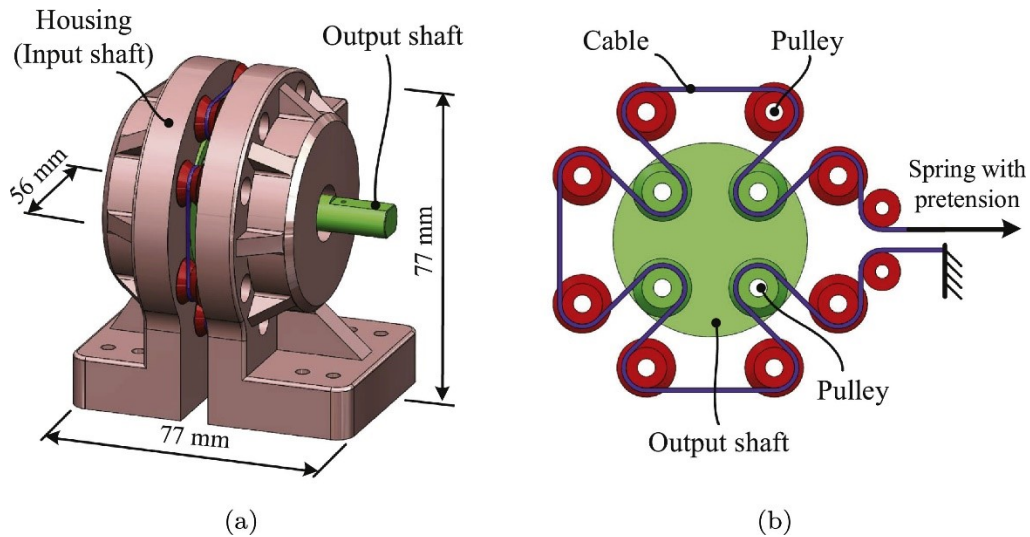


Figura 3.7: Progettazione JVSR per test sperimentali. (a) Modello CAD del prototipo JVSR; (b) Progettazione della disposizione dei cavi. [8]

Parametri	Valori
Dimensioni	77x56x77 mm
Peso	0,268 kg
n	4
Rapporto λ	0,6
Rapporto λ_1	0,18
Lunghezza della barra-3, l3	25 mm

Tabella 1: Parametri per il prototipo JVSR. [8]

3.3 - GIUNTO IDRAULICO RICONFIGURABILE DI DISACCOPIAMENTO

Nei giunti servo-idraulici, la valvola servo idraulica è la chiave. La sua elevata precisione, la risposta rapida e l'elevata produzione di coppia lo rende ampiamente utilizzato in molti sistemi meccanici, sistemi di azionamento aerospaziale di bordo, apparecchiature di prova su larga scala. Il giunto idraulico riconfigurabile in miniatura può essere costruito utilizzando la tecnologia idraulica servo-auto rotativa. A causa di vincoli strutturali e difficoltà nella produzione, ci sono alcuni problemi nel sistema servo-auto rotativo idraulico, come lo squilibrio della forza radiale della valvola servo idraulica e l'elevata forza di bloccaggio della bobina idraulica e l'elevato attrito. Analizzando i problemi del sistema servo-auto rotativo idraulico, una nuova bobina con bilanciamento della forza assiale e della forza radiale è stata studiata. La nuova tecnologia servo idraulica ha reso migliori le caratteristiche dinamiche della bobina. Questa tecnologia combina il sistema servo idraulico con il controllo del motore. Utilizzando la tecnologia servo-auto rotativa idraulica nelle valvole idrauliche, la dimensione del giunto possono essere ridotte senza una struttura a ingranaggi. La sezione della valvola servo-idraulica è riportata nella figura 3.8. In figura 3.8, G denota il cilindro servo-idraulico, I denota la cover della valvola, H denota il corpo della valvola, E denota la bobina di controllo, C indica la lama sul corpo della valvola, D indica il blocco fisso sul cilindro. C è stato fissato con H e D è stato fissato con G nella valvola idraulica rotativa servo-auto. Nello stato iniziale, la posizione dell'elettrovalvola rispetto al corpo della valvola è relativamente in posizione neutra, le porte nell'elettrovalvola e nel corpo della valvola sono chiusi. Il fluido non può entrare nel cilindro servo-idraulico, il cilindro è autobloccante. In secondo luogo, quando il motore è guidato per ruotare un angolo, le porte tra l'elettrovalvola e il corpo della valvola vengono aperti. Il fluido entra nella camera di lavoro A nel cilindro idraulico, l'altra camera di lavoro (camera di lavoro B) è collegata al tubo di ritorno. Così il corpo della valvola è guidato per

ruotare con l'elettrovalvola nella stessa direzione dalla pressione idraulica, fino a che la posizione relativa dell'elettrovalvola rispetto al corpo della valvola ritorna allo stato iniziale. La posizione auto-servo dell'elettrovalvola rispetto al corpo della valvola è raggiunta, e viceversa. Grazie alla distribuzione perpendicolare delle coppie di porte P e T, la forza radiale nella bobina della valvola è bilanciata. Anche la forza assiale della valvola della bobina è bilanciata quando il tubo dell'olio è disposto razionalmente. Quando l'elettrovalvola gira a sinistra rispetto al corpo della valvola, la porta P è collegata alla camera di lavoro B. La stessa forza è generata dagli effetti dell'olio ad alta pressione sul corpo della valvola. Quando l'elettrovalvola gira a destra rispetto al corpo della valvola, la porta P è collegata alla camera di lavoro A. La forza che è generato dall'olio ad alta pressione sul corpo della valvola è anche in equilibrio. A causa dell'equilibrio della forza radiale, meno eccentrico nell'elettrovalvola, piccola forza di bloccaggio idraulica, piccola resistenza al movimento, che la servo-valvola è sensibile all'angolo di controllo e servo-cieco è piccolo.

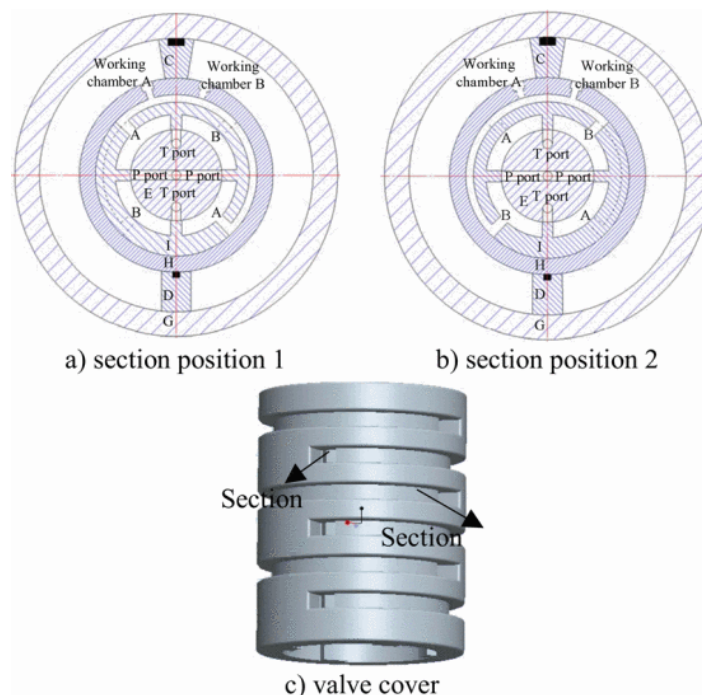


Figura 3.8: Struttura della valvola servo-auto rotativa [9]

Nella figura 3.8 (a) viene mostrata la posizione della sezione 1 nella cover della valvola, come mostrato in 3.8 (c); 3.8 (b) è la posizione della sezione 2 nella cover della valvola, come mostrato in 3.8 (c). Il giunto rotativo idraulico basato nel controllo della valvola idraulica rotativa servo-auto è mostrato nella figura 3.9.

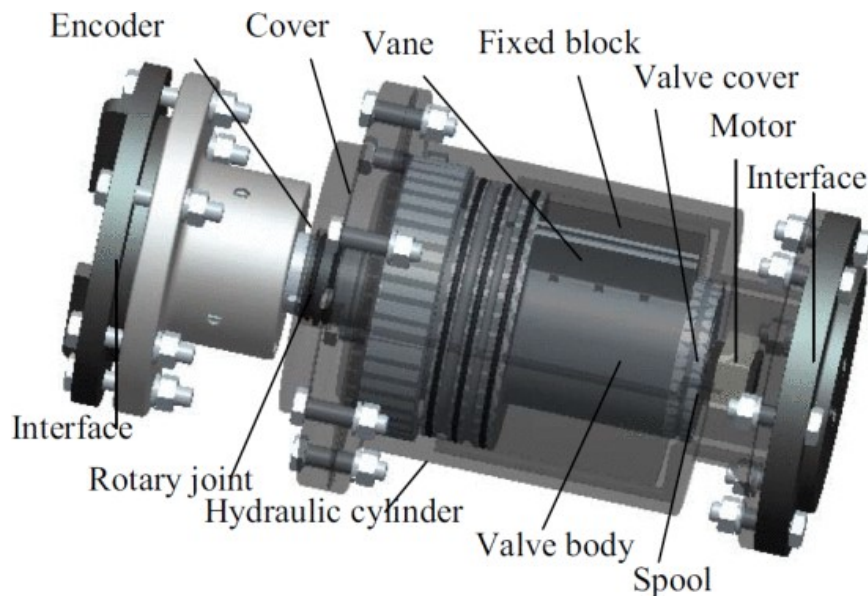


Figura 3.9: Struttura del giunto idraulico rotativo [9]

La simulazione del movimento indica che il giunto rotativo idraulico è caratterizzato dalla risposta all'alta frequenza e al movimento regolare, ha un'elevata precisione di controllo e capacità di carico. Il giunto rotativo idraulico può ridurre le dimensioni del robot sotto la premessa di mantenere una coppia elevata, in modo che la sua prospettiva di applicazione venga ampliata. La struttura del giunto idraulico di disaccoppiamento riconfigurabile, basato sulla tecnologia del controllo servo-auto idraulico rotativo è mostrato nella figura 3.10. Al fine di facilitare l'analisi, l'intersezione dei tre assi è l'origine del sistema di coordinate O come in figura 3.10. La lunghezza del giunto 3 è indicata con a . Al fine di garantire la riconfigurabilità, il giunto 1 e il giunto 3 sono identici. Il giunto idraulico di disaccoppiamento riconfigurabile ha tre gradi di libertà. Esso è composto da un giunto a croce universale 2-DOF e un giunto rotante. I tre assi si intersecano in un punto. Ci sono alcune strutture speciali nel giunto

idraulico di disaccoppiamento riconfigurabili, quindi la sequenza di movimento dei tre giunti non può influenzare i risultati del movimento. Il movimento di rotazione precedente ha garantito la posizione e l'attitudine al cambiamento dell'asse di rotazione, questi ultimi giunti si sono spostati secondo l'asse di rotazione precedente che era stato cambiato. L'asse y e l'asse z sono sempre perpendicolari nei giunti, e l'asse x e l'asse y sono anche sempre perpendicolari. Se il cilindro del giunto 1 è fisso, la posizione e l'orientamento dell'asse z rimangono invariati.

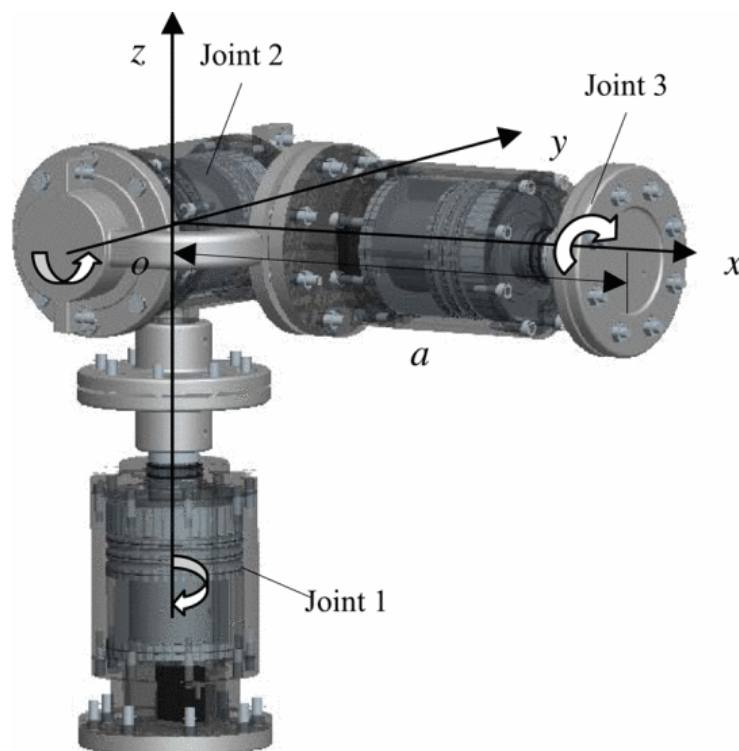
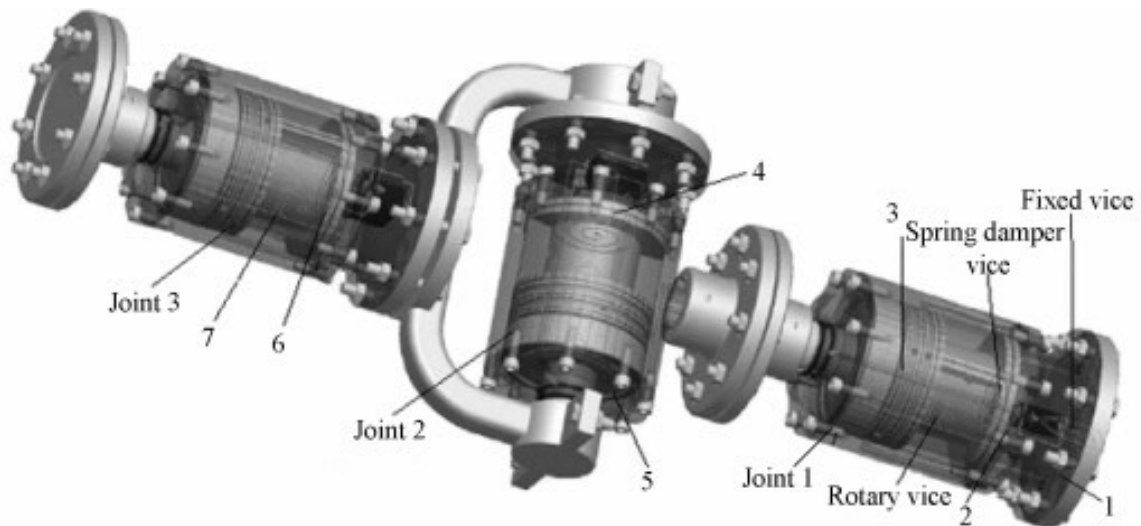


Figura 3.10: Giunto idraulico di disaccoppiamento riconfigurabile [9]

Per misurare lo spazio di movimento, il rilevamento delle prestazioni di disaccoppiamento del movimento, diverse funzioni di azionamento hanno bisogno di essere definite. Le funzioni di azionamento devono soddisfare i requisiti dei test e l'indipendenza dal movimento dei tre giunti. La struttura del giunto idraulico di disaccoppiamento riconfigurabile è mostrato nella figura 3.11. [9]



1 - Blocco cilindro di rotazione del giunto 1

2 - Elettrovalvola del giunto 1

3 - Corpo valvola del giunto 1 e blocco cilindro di rotazione del giunto 2

4 - Elettrovalvola del giunto 2

5 - Corpo valvola del giunto 2 e blocco cilindro di rotazione del giunto 3

6 - Elettrovalvola del giunto 3

7 - Corpo valvola, cover valvola e i suoi componenti del giunto 3

Figura 3.11: Struttura del giunto idraulico di disaccoppiamento riconfigurabile [9]

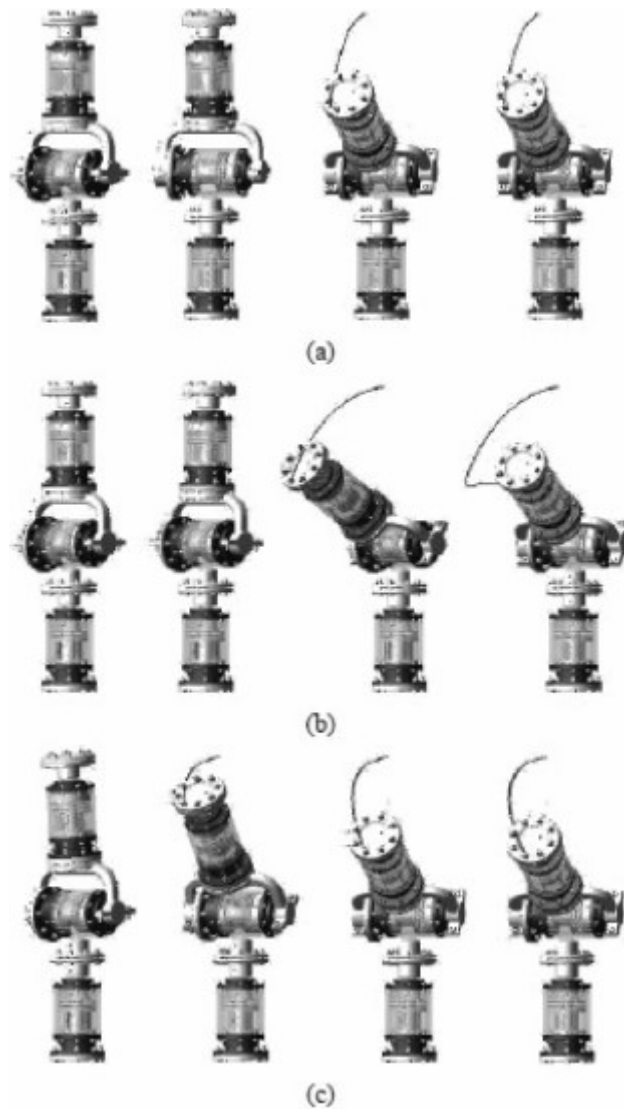


Figura 3.12: Esperimenti di disaccoppiamento del movimento [9]

3.4 - ALTRE TIPOLOGIE DI GIUNTI IDRAULICI

I seguenti giunti sono impiegati in un innovativo apparecchio creato all'interno del progetto AUTORECON della settima struttura della Commissione europea. L'apparecchio è progettato per rispondere alle esigenze dell'industria automobilistica ad alta modularità e piena flessibilità, permettendo la presa sicura multiforme di una gamma molto ampia di pezzi metallici tipici dell'operazione di assemblaggio dell'auto. L'apparecchio è utilizzato come terminale di un robot, che a sua volta agisce in collaborazione con altre macchine, come altri robot che eseguono lavorazioni o altri processi sulla parte. Il dispositivo di fissaggio è sia un dispositivo con struttura altamente riconfigurabile che un meccanismo robotico: muoversi come un robot programmabile per riconfigurare e fungere da struttura di supporto una volta che la parte è stata stabilita. Questo duplice funzionamento è stato reso possibile attraverso lo sviluppo del giunto di rivoluzione bloccabile. Il giunto può essere bloccato con forte coppia, alta precisione, zero contraccolpo, e in qualsiasi posizione. L'applicazione può essere utilizzata anche in altri casi, in cui la coppia utilizzata per spostare un giunto è molto più piccola di quella necessaria per il blocco ad esempio, un robot di sollevamento. Un giunto bloccabile, in grado fornire la propria coppia di bloccaggio, può contribuire ad aumentare il carico utile, la rigidità e la precisione dello strumento, riducendo la coppia motrice necessaria e, da qui, il peso e l'uso di energia. Per superare i limiti dei giunti esistenti, è necessario un design concettualmente nuovo. I requisiti di una grande coppia di bloccaggio e di una configurazione compatta suggeriscono l'uso di dispositivi idraulici all'interno dei giunti. [10]

GIUNTO BLOCCABILE CON PINZA A CONO

Nel primo design, la coppia di bloccaggio è fornita estrudendo una pinza a cono, un componente commerciale ampiamente utilizzato nel bloccaggio degli utensili, per il manicotto del giunto di rivoluzione. Il diagramma schematico è mostrato in figura 3.13. La forza elastica agisce sulla pinza a cono e viene trasferita al manicotto del giunto di rivoluzione. Ciò si traduce in forze di attrito tra le due superfici e una coppia di bloccaggio che impedisce la rotazione del giunto. Un cilindro idraulico sul lato del diametro piccolo della pinza a cono può superare la forza di precarico delle molle a tazza e può separare la pinza a cono dal manicotto del giunto, sbloccando automaticamente il giunto. In questo progetto, il blocco è passivo e il giunto deve essere sbloccato attivamente. Se il sistema perde potenza, la configurazione del sistema sarà mantenuta. Questo è un grande vantaggio, in quanto protegge persone e attrezzature all'interno dell'ambiente di lavoro. Tuttavia, il calcolo del rapporto tra le dimensioni della pinza a cono e la coppia di bloccaggio necessaria mostra che la pinza richiesta sarebbe troppo grande per essere collocata all'interno del giunto. Inoltre, il peso totale sarebbe elevato. [10]

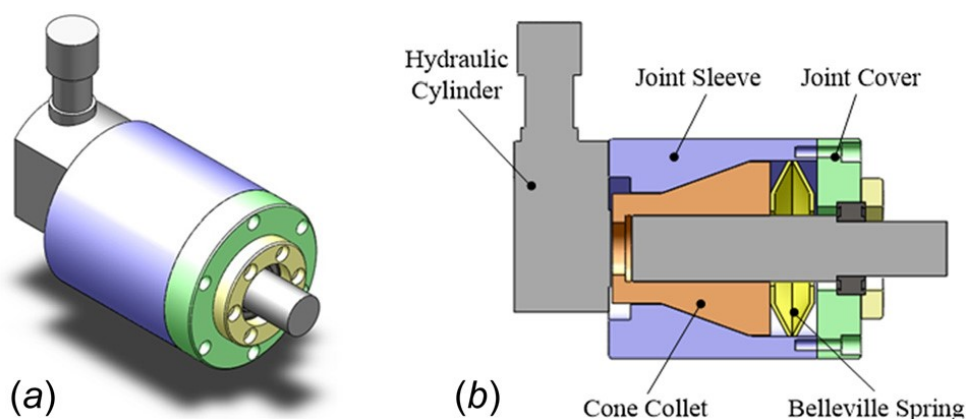


Figura 3.13: Design del giunto bloccabile con pinza a cono (Concept A) [10]

GIUNTO BLOCCABILE CON CILINDRO IDRAULICO

Due cilindri idraulici e molle a tazza sono collocati all'interno del braccio piuttosto che all'interno del giunto nel secondo concept, permettendogli di avere un diametro più piccolo. Il principio meccanico è illustrato in figura 3.14. Due blocchi scorrevoli spinti da una coppia di molle a tazza sono posizionati all'interno del braccio superiore. Pertanto, una pressione normale è applicata tra il blocco scorrevole e l'albero del giunto di rivoluzione. Una coppia di bloccaggio sufficiente può essere generata con una grande forza e un coefficiente di attrito elevato tra le due superfici di contatto. Il cilindro idraulico può spingere il blocco scorrevole in direzione opposta per sbloccare il giunto. Rispetto al primo concept, il diametro del giunto di rivoluzione può essere più piccolo. Tuttavia, poiché la coppia di bloccaggio viene generata dalla pressione normale su un lato dell'albero del giunto, quest'ultimo sarà soggetto a una certa deformazione, riducendo la rigidità e la durata del l'intero sistema. Inoltre, parte dello spazio all'interno del braccio superiore è occupato, il che infastidisce la corretta collocazione degli attuatori e il design della struttura del braccio superiore. [10]

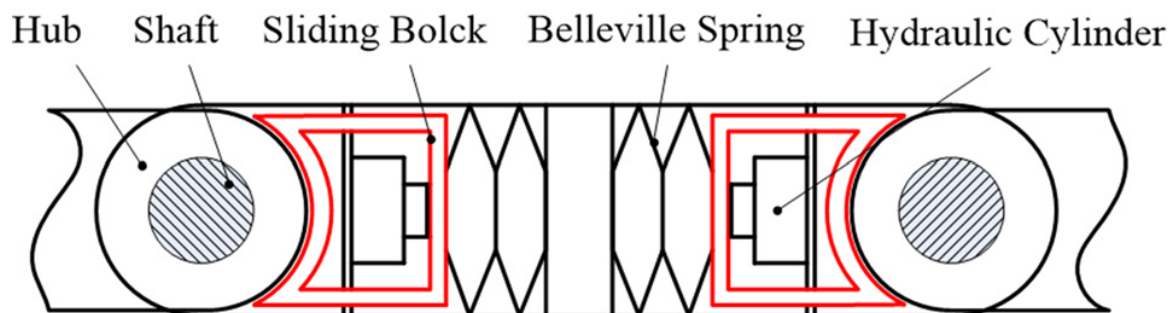


Figura 3.14: Principio meccanico del concept B [10]

GIUNTO BLOCCABILE CON MANICOTTO DI BLOCCAGGIO IDRAULICO

Un manicotto di bloccaggio idraulico viene utilizzato nel terzo concept. Si basa sull'idea di creare un giunto albero-mozzo azionato dall'adesione, supportando così in modo molto efficiente la funzione del giunto bloccabile.

In figura 3.15 la parte 1 è l'albero del giunto di rivoluzione; il manicotto esterno, composto da un cilindro cavo e due coperture, è il mozzo; la parte 3 è il manicotto di bloccaggio. Il manicotto di bloccaggio è fissato al manicotto esterno. Una volta che il primo funziona, la pressione dell'olio viene applicata tra i sigilli del rivestimento del manicotto, e questa viene convertita in una forza di bloccaggio radiale. L'albero viene afferrato e il giunto è bloccato. Quando la pressione dell'olio viene completamente rimossa, le molle del manicotto tornano elasticamente nella posizione di partenza, rilasciando la parte.

Sebbene sia coinvolta la trasmissione della forza d'attrito, le superfici dell'albero non saranno danneggiate. In questo concept, la pressione dell'olio viene convertita in forza di bloccaggio senza perdita, quindi l'efficienza della trasmissione è molto alta. Questo riduce le dimensioni del manicotto di bloccaggio e riduce il peso del giunto bloccabile. Il concept offre libertà progettuale: grazie alle sue dimensioni più piccole, il giunto bloccabile può essere ben integrato in diverse soluzioni di progettazione. [10]

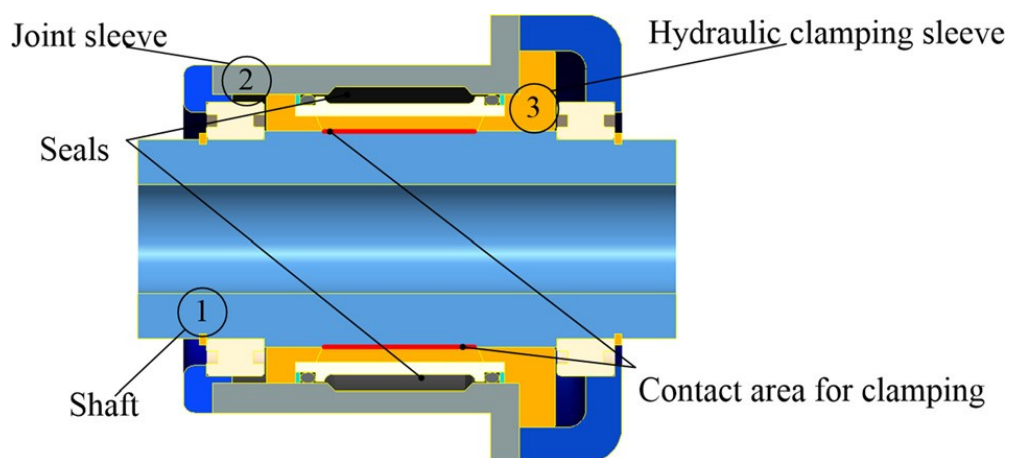


Figura 3.15: Giunto bloccabile con manicotto di bloccaggio idraulico (Concept C) [10]

3.5 - GIUNTO Sr APPLICATO AD UN MANIPOLATORE 3-CPU

L'idea centrale su cui si basa il progetto è quella di concepire un giunto in grado di passare da una configurazione all'altra attraverso una condizione intermedia sovra-vincolata. In questo modo è garantito che il manipolatore rimanga immobile durante la fase di transizione senza il funzionamento di un dispositivo esterno, ma solo frenando i motori. Tuttavia, la condizione sovra-vincolata introduce diversi problemi nel progetto meccanico del giunto. Infatti, se le tolleranze geometriche e dimensionali non sono sufficientemente rigorose, la movimentazione delle parti che compongono il giunto è possibile solo con uno sforzo rilevante del sistema di gestione, responsabile della modifica della configurazione. Di conseguenza, la condizione sovra-vincolata causa stress e carichi sui componenti che possono portare a giochi a causa dell'eccessiva usura. Alcune possibili architetture per giunto riconfigurabile sono qui presentati delineando la loro caratteristiche funzionali. [11]

POSSIBILI ARCHITETTURE DEL GIUNTO RICONFIGURABILE

I primi due esempi, illustrati nelle figure 3.16 e 3.17, sono giunti universali riconfigurabili, perché solo due su tre assi di rotazione possono funzionare contemporaneamente. Tale condizione è sufficiente per fornire al robot la mobilità rotazionale, ma l'ulteriore configurazione di mobilità completa non è consentita in questo caso. Come già menzionato uno dei tre assi del un giunto sferico è sempre libero di ruotare, mentre gli altri due sono attivati alternativamente. Pertanto quest'ultima connessione può essere pensata come un giunto di rivoluzione tra due corpi rigidi con un dispositivo meccanico in grado di modificare l'asse congiunto di azione. I due schemi funzionali proposti differiscono per il sistema di attuazione, ma sono entrambi basati sullo stesso concetto e su elementi simili: un anello esterno (link 1) con quattro fori

disposti in una croce quadrata, che rappresenta il membro di input del un giunto sferico e un corpo più piccolo (link 2) posto all'interno dell'anello, che rappresenta il corpo intermedio del giunto riconfigurabile. Due scanalature ortogonali sono realizzate sul corpo intermedio dove quattro perni cilindrici possono scivolare. Infine, il membro di uscita viene collegato al corpo intermedio per mezzo del giunto di rivoluzione libero di ruotare. I perni menzionati vengono spostati a coppie sulla stessa linea, due diretti verso l'interno e gli altri due verso l'esterno. Questi ultimi si impegnano nei fori corrispondenti dell'anello esterno, realizzando la connessione del giunto di rivoluzione desiderata. Un sistema di attuazione permette di scegliere quale coppia di perni deve essere impiegata. [11]

I ARCHITETTURA

Il primo concept del giunto riconfigurabile (figura 3.16) si basa su un meccanismo di collegamento a quattro barre in cui gli angoli sono collegati ai quattro perni. Il secondo asse del giunto universale è sempre il giunto di rivoluzione libero di ruotare, mentre il primo asse è uno dei due assi che formano la croce sul piastra porta perni in base alle configurazioni I o III. L'interruttore può essere fatto da un attuatore che ruota un collegamento connesso ai punti centrali di due bordi opposti del collegamento a quattro barre. È necessaria una rotazione piccola e finita per attivare le tre configurazioni. Per evitare l'intervento manuale durante la transizione tra le configurazioni I e III, è necessaria un'ulteriore configurazione (II nella figura 3.16), dove tutti i perni vengono inseriti nei fori, anche se parzialmente. Tale configurazione fornisce una condizione sovra-vincolata al manipolatore.

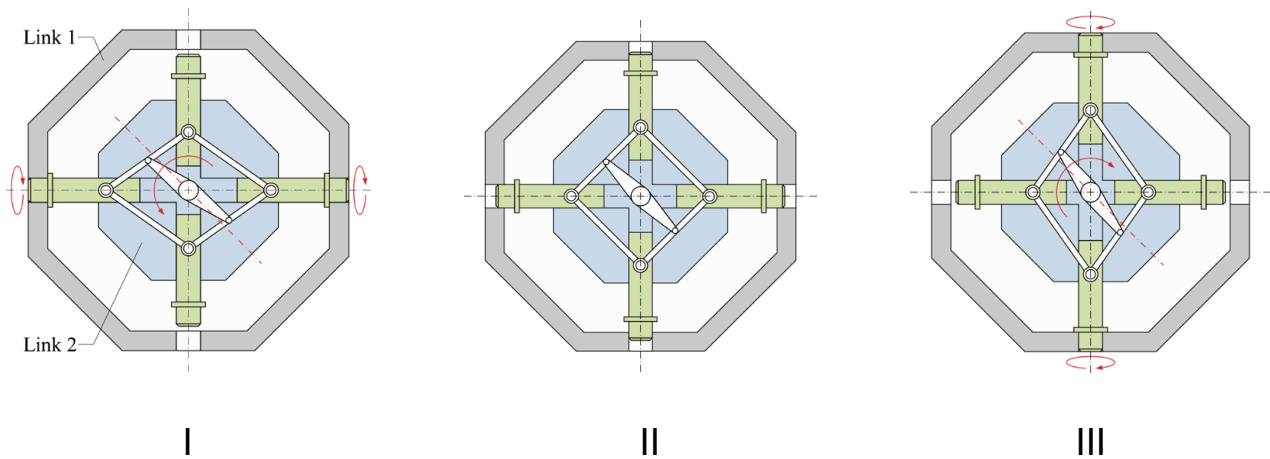


Figura 3.16: Meccanismo di collegamento a quattro barre: I e III sono le configurazioni di lavoro, II è la configurazione sovra-vincolata. [11]

II ARCHITETTURA

Il secondo progetto funzionale, rappresentato nella figura 3.17, è simile al primo, ma lo scorrimento dei perni è generato dalla rotazione di una camma a faccia scanalata. Il profilo della camma è concepito in modo che il passaggio tra le configurazioni I e III sia possibile con una rotazione di 90 gradi, mentre a 45 gradi tutti i perni sono impegnati ed è assunta la configurazione sovra-vincolata II. Un'ulteriore differenza sta nella realizzazione dei perni, infatti in questo caso la camma permette di spostare un paio di perni internamente solo quando l'altra coppia è completamente impegnata. Ne consegue che i perni possono essere progettati con una testa conica collegati al corpo del perno da un cuscinetto a sfera a contatto angolare. La forma conica garantisce un facile auto-centraggio dei perni mentre i cuscinetti consentono un attrito basso durante la rotazione. Tale scelta non può essere seguita per il primo schema funzionale del giunto, perché il meccanismo di collegamento a quattro barre non permettono di tenere due perni opposti completamente tesi e impegnati quando gli altri due vengono spostati. [11]

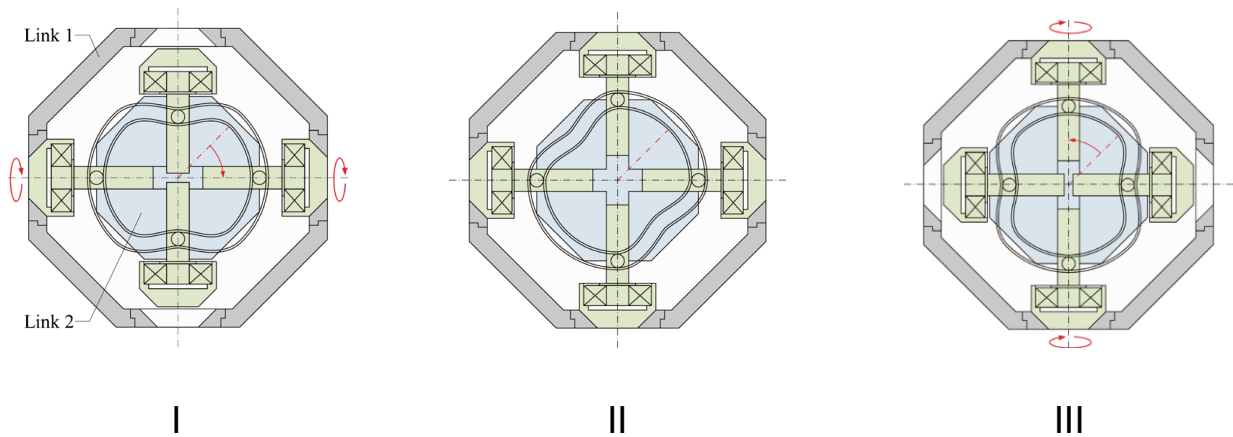


Figura 3.17: Meccanismo a camma a faccia scanalata: I e III sono le configurazioni di lavoro, II è la configurazione sovra-vincolata. [11]

III ARCHITETTURA

L'ultimo concetto funzionale presentato in questo documento è totalmente diverso da quelli precedenti e in realtà realizza un giunto sferico riconfigurabile, dove i tre assi di rivoluzione possono essere abilitati tutti insieme. Si basa su un accoppiamento di ingranaggi conici come mostrato nella figura 3.18. Un cursore scorrevole C è guidato da un attuatore attraverso quattro diverse posizioni, che conferiscono al giunto due diverse modalità di lavoro. Il cursore ha una forma cilindrica con un ingranaggio a denti esterni e uno a denti interni in alto. Nella configurazione III il cursore C si impegna meccanicamente in anelli con l'ingranaggio a denti interni simultaneamente con il membro A, che è fisso e rappresenta il membro di input del giunto e con la forcilla meccanica B. In questo caso A, B e C sono fissi. Una seconda forcilla con un ingranaggio conico rigidamente collegato può ruotare intorno all'asse dell'ingranaggio rispetto all'altra forcilla B. Il suo movimento è possibile perché in questo caso l'ingranaggio conico è libero di ruotare. Infatti l'elemento D, che ha una forma cilindrica con due ingranaggi ai suoi estremi, è sempre impegnato al suo estremo superiore per mezzo del ingranaggio conico ma non è impegnato

all'estremo inferiore, dove viene utilizzato un semplice ingranaggio cilindrico. Pertanto l'elemento D può ruotare sui suoi assi durante la rotazione relativa tra le forcelle. In definitiva, la configurazione III consente le rotazioni ϑ_x e ϑ_y . Se il cursore viene spostato verso il basso nelle configurazioni IV, il membro B è libero di ruotare attorno all'asse z rimanente e il giunto diventa sferico. Al contrario, se il cursore è spostato da III a II, ne risulta che i membri A, B, C, e D diventano tutti fissi e l'unica rotazione consentita del membro di uscita E è ϑ_y . Quando il cursore viene posizionato ulteriormente verso l'alto alla configurazione I solo i membri B e D rimangono solidali con il cursore C e la rotazione relativa ϑ_z tra A e l'assemblaggio B-C-D è consentita insieme a ϑ_y . [11]

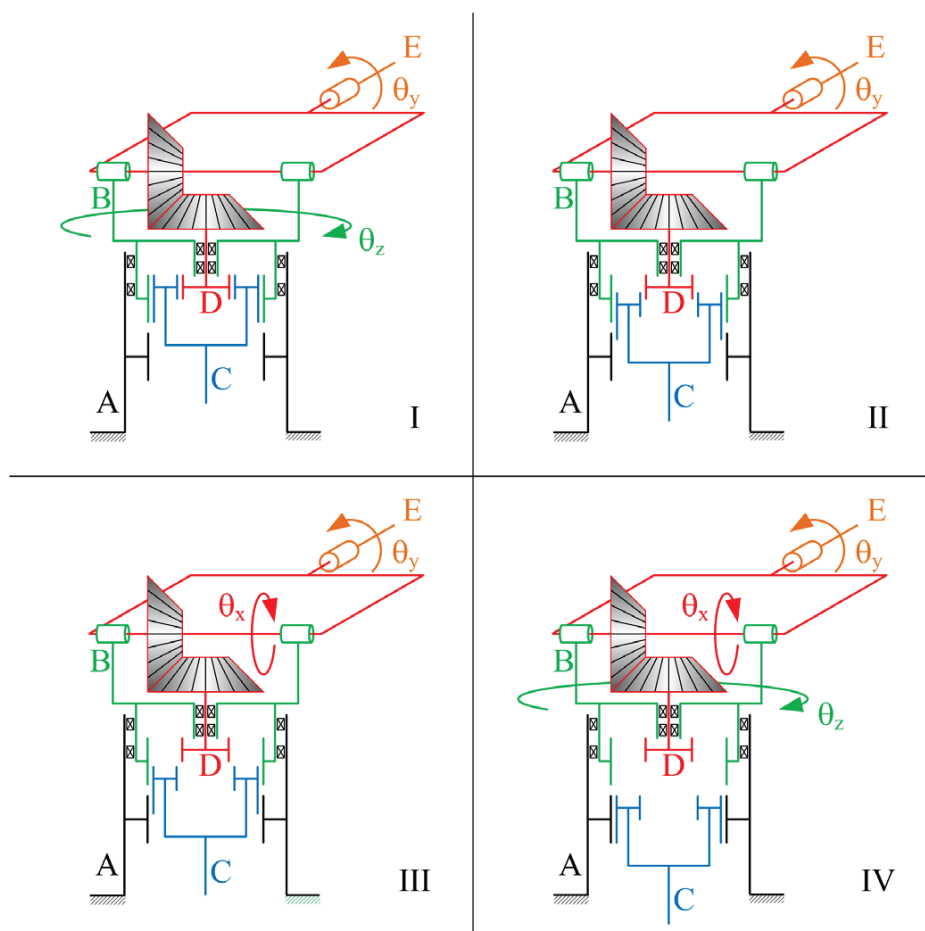


Figura 3.18: Meccanismo a ingranaggi conici del giunto riconfigurabile [11]

PROGETTAZIONE MECCANICA

Analizzando più nel dettaglio il giunto mostrato nel III progetto vediamo che un guscio cilindrico esterno A, rigido con il secondo collegamento della gamba del robot, è collegato all'elemento B attraverso due cuscinetti a sfera precaricati. L'elemento B ha una forma particolare ottenuto dalla connessione rigida di un corpo tubolare con una forcella posta in alto. La connessione avviene con cuscinetti a sfera convenzionali di A e B. Quest'ultimo può ruotare attorno all'asse di A. L'albero D è interno alla parte cilindrica di B e può ruotare per mezzo di due cuscinetti a sfera precaricati.

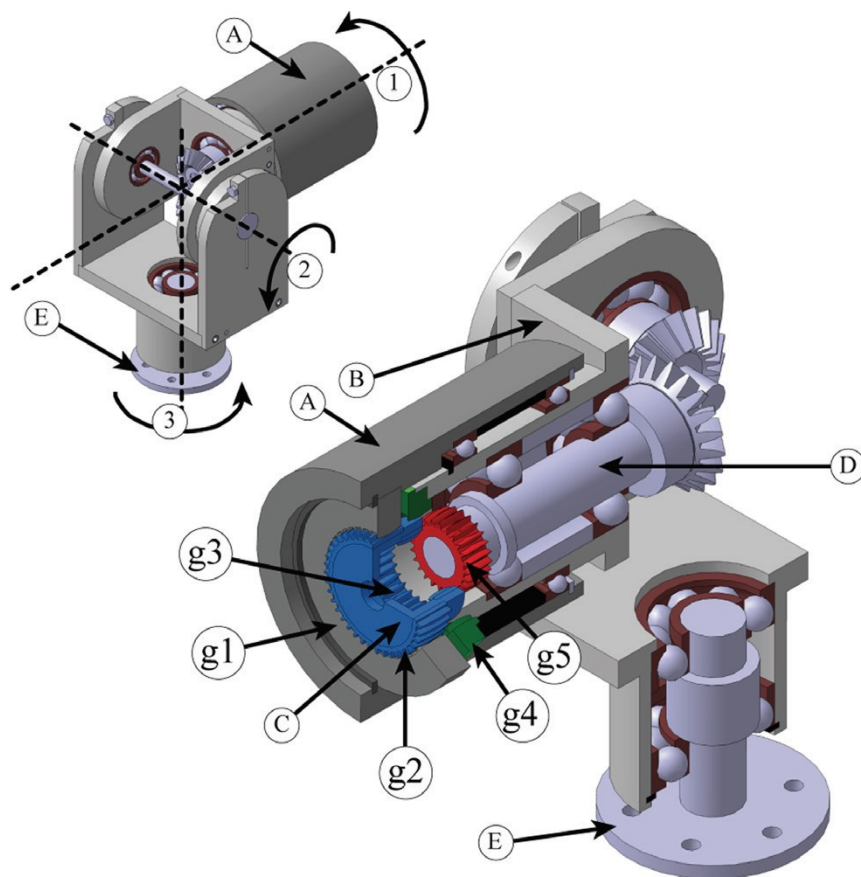


Figura 3.19: Progettazione meccanica e sezione del giunto universale riconfigurabile. [11]

All'estremo esterno di questo albero, un accoppiamento di ingranaggi conici viene realizzato con il secondo asse di rotazione dell' U-joint riconfigurabile. Le rotazioni reciproche dei tre componenti A, B e D è regolato dal cursore C. La figura 3.19 mostra anche gli ingranaggi utilizzati per gestire la riconfigurabilità del giunto. L'impegno dei cinque ingranaggi g1, g2, g3, g4 e g5 determina quali sono gli assi attivi di rotazione del giunto sferico riconfigurabile. La traslazione del cursore C produce quattro configurazioni corrispondenti a 4 mobilitazioni offerte dal giunto. I collegamenti sono creati dai 4 cursori come mostrato nella figura 3.20.

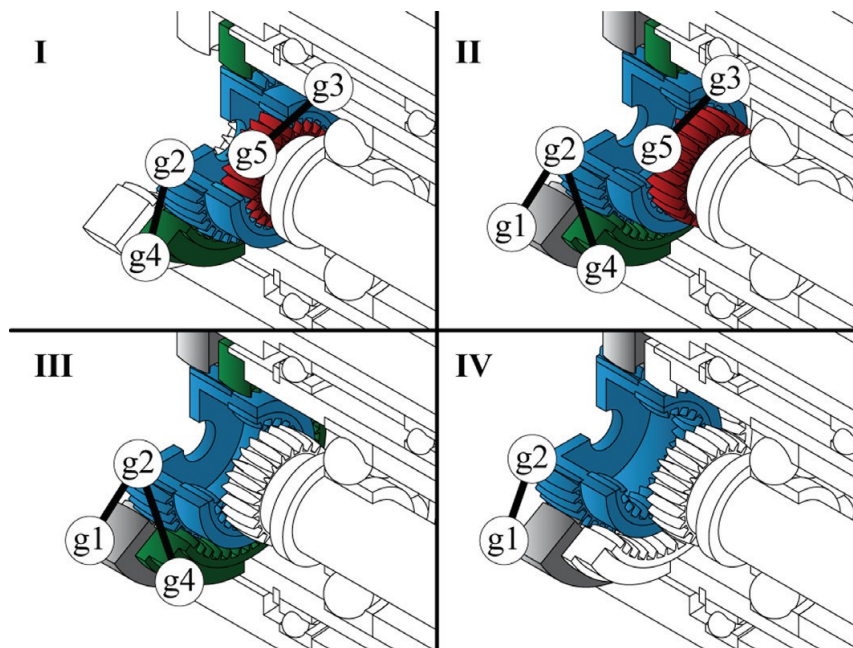


Figura 3.20: Analisi delle quattro configurazioni del cursore azionato. [11]

In particolare sono:

I) g2-g4 e g3-g5: questa configurazione blocca il reciproco movimento dei corpi B e D che sono ancora in grado di ruotare rispetto allo guscio A. La rotazione del giunto intorno all'asse 2 è bloccato e l'intero robot si comporterà come una pura macchina traslazionale.

II) g1-g2-g4 e g3-g5: oltre ai collegamenti già descritto in I), l'accoppiamento degli ingranaggi g1 e g2 inibisce la rotazione attorno all'asse 1 dell'articolazione, perché A, B, C e D diventano un unico corpo rigido. Anche la rotazione intorno all'asse 2 risulta vietata e di conseguenza l'intero robot rimane bloccato in una condizione che aiuta il passaggio tra la modalità di traslazione e rotazione.

III) g1-g2-g4: l'ingranaggio g2 del cursore collega gli ingranaggi g1 (solidale con il guscio A) e g4 (solido con la forcina B); l'accoppiamento impedisce la rotazione della forcina intorno all'asse 1 del giunto, ma lascia l'asse 2 libero di ruotare e il robot a 3 CPU assume un puro comportamento rotazionale.

IV) g1-g2: il cursore C è collegato solo al guscio A: non viene fornito alcun impegno degli altri ingranaggi e tutti gli assi dei giunti sono liberi di ruotare. [11]

ATTUAZIONE

Per manovrare il cursore C, può essere utilizzato un attuatore lineare a solenoide o un piccolo pistone pneumatico. L'uso di tale attuazione porta vantaggi in termini di facilità di controllo, perché non richiede la presenza di un'unità di guida. Dall'altro lato, sarà possibile controllare il giunto solo su due configurazioni (cioè configurazioni I e III). Il passaggio attraverso la configurazione II aiuterà il cambiamento in modalità operativa ma il cursore non può essere tenuto nella configurazione sovra-vincolata. La presenza di questa ridondanza di vincoli eviterà movimenti infinitesimali durante la transizione senza che influiscano sul posizionamento del robot riconfigurabile. Tuttavia, un sistema di attuazione più complesso può essere progettato al fine di sfruttare effettivamente tutte le disposizioni di figura 3.20. Ad esempio, un meccanismo a cricchetto può essere usato per ottenere le quattro configurazioni con un attuatore lineare on/off. Quando il giunto è declassato a

un giunto di rivoluzione il manipolatore presenta una cinematica 3-CPR sovravincolata, che rimane nella sua “home configuration” quando i tre assi dei motori sono bloccati. Gli assi dell'articolazione sferica riconfigurabile devono essere reciprocamente ortogonali entro una certa tolleranza per consentire l'interruttore. Una piccola tolleranza è consentita dalla geometria peculiare dei denti dell'albero “spline”: come mostrato nella figura 3.20, piccole smussi sono realizzate sulle sezioni esterne dei denti al fine di compensare piccoli disallineamenti che possono verificare durante la fase di ingaggio. Supponendo una cinematica perfetta dopo un processo di calibrazione meccanica, la capacità di portare gli assi del giunto nella configurazione di commutazione dipende dalla risoluzione dei sensori utilizzati sugli assi attivati. [11]

ANALISI DELLE FORZE

Al fine di scegliere una corretta attuazione per l'articolazione riconfigurabile, le forze che agiscono sui suoi componenti dovrebbero essere analizzate indicando la peggiore condizione in cui dovrebbe funzionare. I seguenti calcoli sono stati eseguiti considerando l'applicazione del giunto riconfigurabile su un Sphe.I.Ro parallelo. Come mostrato nella figura 3.21 (a), il dente del albero scanalato utilizzato nell'articolazione ha facce piane parallele con smussi alle sezioni esterne, tagliate con un angolo di $\alpha=10$ gradi. Il contatto tra due denti di un accoppiamento albero-mozzo può avvenire in due modi: nella parte dritta del dente, come mostrato nella figura 3.21 (b), o nello smusso, come mostrato nella figura 3.21 (c), quando le parti sono in contatto. Riferendosi al primo caso, se la forza tangenziale F_t è nota, la forza di attrito statico T che deve essere superata per iniziare lo scorrimento può essere trovata come $T = f_s F_t$; f_s nell'espressione precedente rappresenta il coefficiente di attrito statico, considerato pari a 0,11 per il caso di superfici acciaio-acciaio lubrificate. Se il

contatto si verifica nello smusso, accade che la forza normale alla superficie F_c è inclinata di un angolo α , e, una volta nota F_t , può essere trovata come $F_c = F_t / \cos\alpha$; pertanto, la componente assiale della forza di attrito è $T_a = T \cos\alpha = f_s F_c \cos\alpha = f_s F_t$, mentre la componente assiale di F_c è $F_a = F_t \tan\alpha$. In questo caso la forza da superare è totalmente uguale a $T_a + F_a = (f_s + \tan\alpha)F_t$. [11]

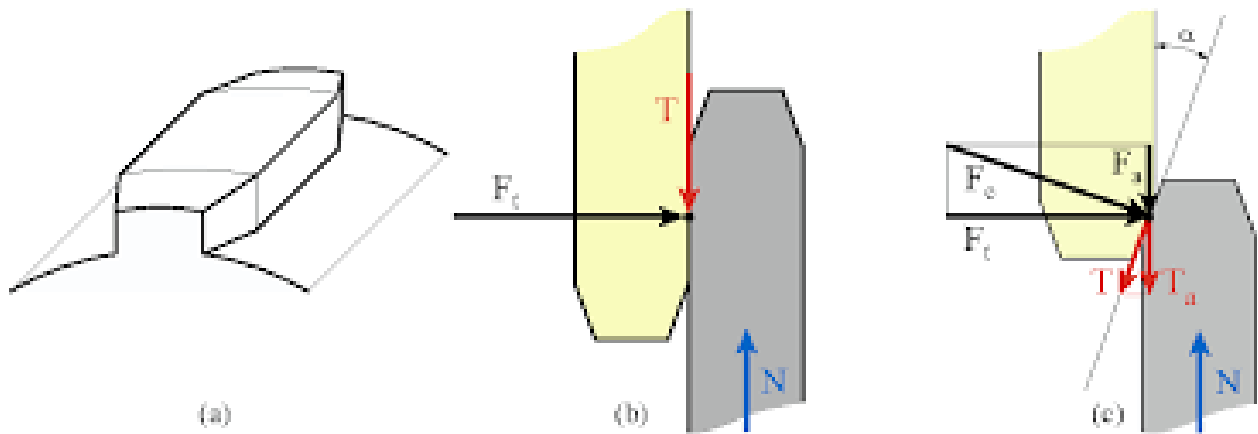


Figura 3.21: Analisi delle forze. [11]

3.6 - GIUNTO S_r APPLICATO AD UN MANIPOLATORE 3-URU

Nella progettazione del giunto riconfigurabile per un manipolatore 3-URU, sia l'attuatore della gamba che e l'attuatore del cursore di commutazione si trovano esternamente, fissati a terra. Ciò rappresenta un aspetto di importanza cruciale dell'attuale versione del giunto riconfigurabile, il che lo rende un versione significativamente migliorata del dispositivo riconfigurabile a 3-URU. Nell'esempio fatto precedentemente (3-CPU) l'attuatore è stato dedicato per riconfigurare un giunto passivo all'interno della catena cinematica, con una serie di conseguenti problemi inevitabili. In primo luogo, l'attuatore è stato spostato nello spazio di lavoro del robot, solidamente con l'ultimo giunto della gamba (quindi saldamente con il terminale del robot). In questo caso invece (3-URU) non c'è stato bisogno di azionare il grado di libertà riconfigurato.

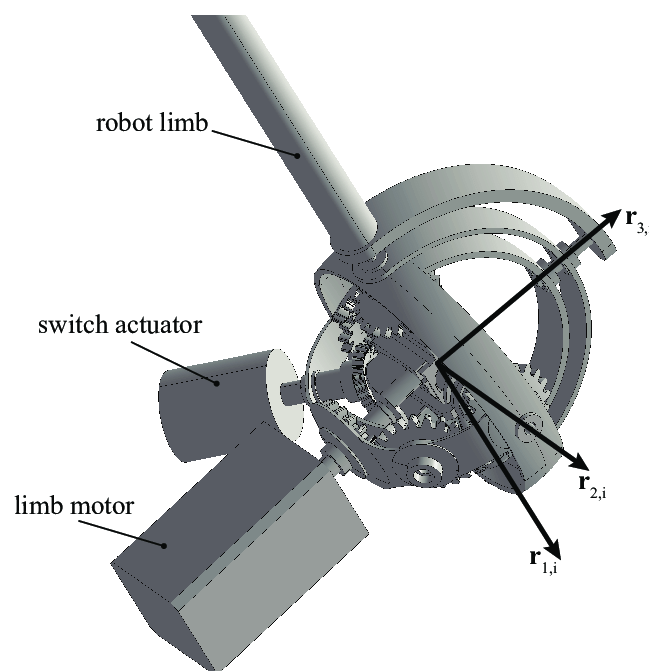


Figura 3.22: Progettazione del giunto riconfigurabile [12]

Tali considerazioni hanno portato a una diversa progettazione funzionale del giunto sferico, basata su una serie di collegamenti sferici collegati da un sistema di ingranaggi. Globalmente, la mobilità è caratterizzata da una

rotazione dell'arto intorno $r_{3,i}$ che è sempre libero; tale rotazione è preceduta da una prima rotazione, il cui asse può essere selezionato tra $r_{1,i}$ o $r_{2,i}$ che agiscono sull'interruttore. [12]

PRINCIPIO OPERATIVO

Il giunto sfrutta alcuni accoppiamenti di ingranaggi conici, come nel caso del manipolatore 3-CPU. Tuttavia ci sono alcune differenze. In particolare, gli ingranaggi conici classici adottati in precedenza erano estremamente vincolanti in termini di dimensione e assemblaggio. Pertanto, una diversa soluzione è stata adottata, con ingranaggi ottenuti da gusci sferici al fine di massimizzare lo spazio disponibile all'interno dell'accoppiamento degli ingranaggi; tale spazio può essere utilizzato per contenere il cursore di commutazione. I componenti del giunto sono assemblati su diversi strati, come illustrato nella figura 3.23.

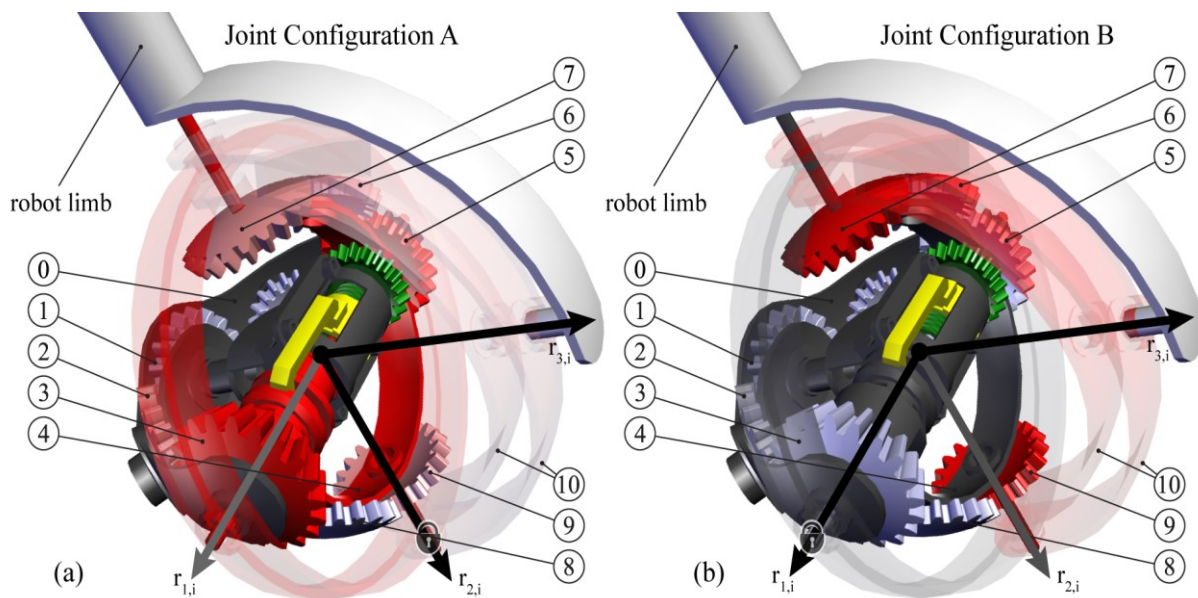


Figura 3.23: Dettagli del giunto riconfigurabile disposti per la configurazione dei giunti A (a) e per la configurazione dei giunti B (b). [12]

- Configurazione A (Figura 3.23 (a)): l'attuatore dell'arto è fissato al corpo a terra 0 (colorato in grigio scuro) ed è collegato all'ingranaggio conico 1 che muove gli ingranaggi 2 e 3. In questa configurazione, il meccanismo di bloccaggio, descritto più avanti, collega saldamente l'ingranaggio 3 al corpo 4 (colorato in rosso nella figura 3.23 (a)). Così, la rotazione dell'ingranaggio 3 muove l'arto del robot intorno l'asse $r_{1,i}$, come richiesto dalla configurazione A del giunto. L'ingranaggio 5, che ruota solidamente con 3, non influisce sulla mobilità in quanto non è collegato al corpo 4, così come gli ingranaggi 6, 7, 8 e 9. La rotazione intorno all'asse $r_{2,i}$ è limitata dal fatto che gli ingranaggi 7 e 9 sono sempre solidali con la forcella 10. Tali ingranaggi ruotano intorno $r_{1,i}$ per mezzo del movimento del corpo 4, evitando loro di ruotare intorno ai propri assi. Rotazione attorno $r_{3,i}$ non è controllato in alcun modo, come richiesto dalla cinematica robotica.

- Configurazione B (Figura 3.23 (b)): in questa configurazione, il meccanismo di bloccaggio collega il corpo 4 al suolo 0, evitando la rotazione intorno a $r_{1,i}$. L'attuazione ricomincia dall'ingranaggio 1 ed è trasmessa a 2, 3 e poi a 8 e 9. In questo caso, la rotazione dell'ingranaggio 9 mette in rotazione la forcella 10 intorno $r_{2,i}$, come prescritto dalla cinematica richiesta dalla configurazione B. Gli ingranaggi 5, 6 e 7 funzionano esattamente allo stesso modo fornendo un azionamento simmetrico alla forcella 10. Anche in questo caso, la rotazione attorno a $r_{3,i}$ non è controllato in alcun modo. [12]

MECCANISMO DI BLOCCAGGIO

L'intera funzionalità del giunto riconfigurabile si basa su un meccanismo che è in grado di bloccare alternativamente il corpo 4 all'ingranaggio conico 3 (configurazione A) o a terra 0 (configurazione B). Tale meccanismo è illustrato in dettaglio nella Figura 3.24.

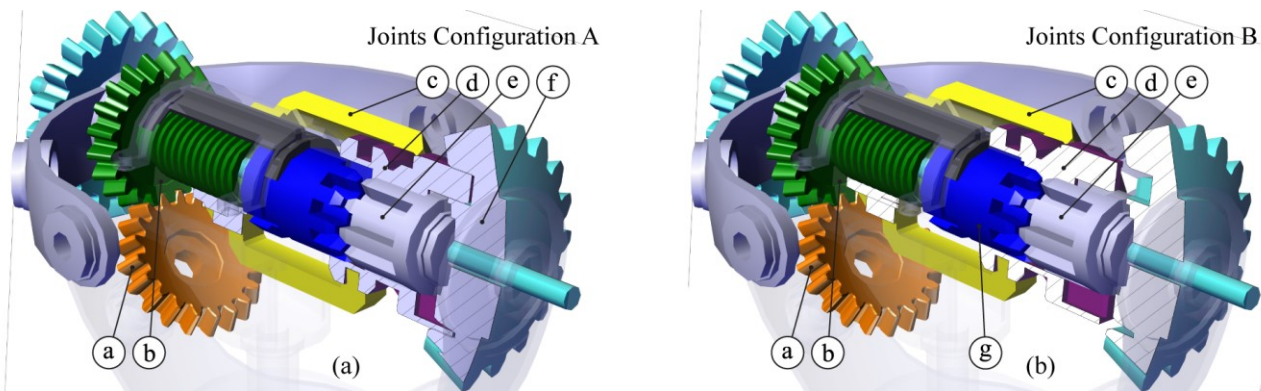


Figura 3.24: Meccanismo di commutazione a vite-dado per la configurazione dei giunti A (a), e per la configurazione dei giunti B (b). [12]

- Configurazione A (Figura 3.24 (a)): l'attuazione del meccanismo di bloccaggio passa attraverso l'ingranaggio conico "a", che muove l'ingranaggio "b", saldamente collegato a una vite. Tale vite mette in traslazione un dado collegato alla forcella "c" che spinge il cursore "d". Lo scopo di tale organo è quello di vincolare l'albero scanalato "e" insieme con l'ingranaggio conico "f".

- Configurazione B (Figura 3.24 (b)): in questo caso, il cursore vincola l'albero "e" insieme al elemento "g" che è solidale con il terreno. In questo modo, il corpo 4 della figura 3.24 (b) è collegato terra, come richiesto dalla cinematica del robot.

Vale la pena ricordare che il meccanismo di bloccaggio deve essere spostato da un attuatore dedicato che deve essere il più semplice possibile. Il compito particolare che deve adempiere, infatti, è solo quello di ruotare l'ingranaggio "a" di due posizioni specifiche, perché non è necessario assumere pose intermedie. Di conseguenza, un semplice attuatore binario rotazionale pneumatico, idraulico o solenoide realizzerà lo scopo senza influire considerevolmente sul costo dell'intero robot. [12]

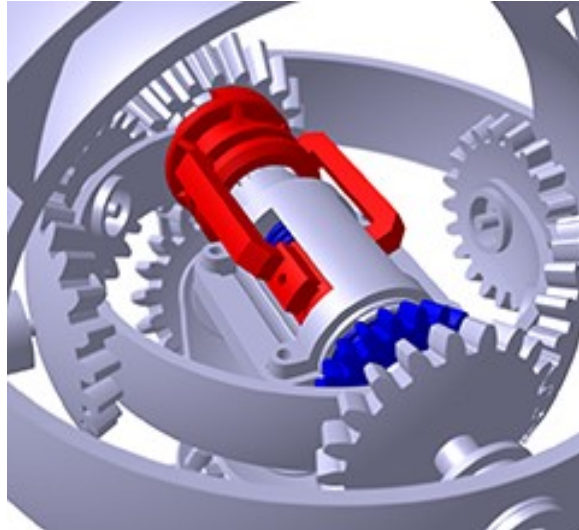


Figura 3.25: Particolare del cursore (rosso) che, messo in movimento dalla ruota conica (blu) attraverso un accoppiamento vite-madrevite opera la riconfigurazione del meccanismo. [13]

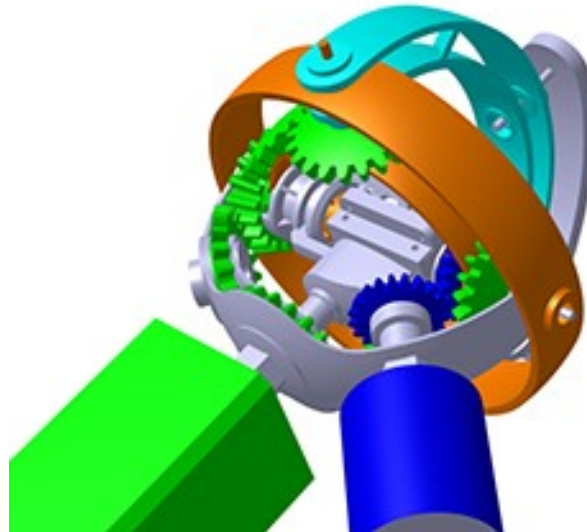


Figura 3.26: Il motore (verde) trasmette il moto all'asse azionato attraverso una serie di ruote dentate coniche (verdi). Il servo-attuatore (blu) è incaricato di operare la riconfigurazione che permette di movimentare la culla (arancio) o la forchetta (azzurro). [13]

VERIFICA STRUTTURALE

I componenti sono stati strutturalmente verificati attraverso la verifica con il metodo degli elementi finiti (FEM). Le proprietà dei materiali dei modelli FEM sono state impostate alla tecnologia utilizzata per la prototipazione del giunto riconfigurabile.

Proprietà del materiale:

- Forza di tensione massima 65 [MPa]
- Modulo di Young 2.8 [GPa]
- Modulo di flessibilità 2.2 [GPa]
- Allungamento a rottura 6.2%

Le analisi di verifica strutturale sono state eseguite su ogni componente del giunto riconfigurabile, con particolare attenzione agli schemi vincolari e ai carichi applicati. Per nessuno degli componenti è stato osservato un livello critico dello stress. Nella figura seguente sono mostrati i risultati della sollecitazione per un paio di parti. Come mostrato, il più alto valore calcolato della sollecitazione è di circa 14 [MPa], ampiamente sotto l'ultima resistenza di tensione del materiale di 65 [MPa]. Questo margine di sicurezza, insieme all'ingrandimento carichi, garantisce che i componenti del giunto non raggiungano un guasto del materiale durante le operazioni. [1]

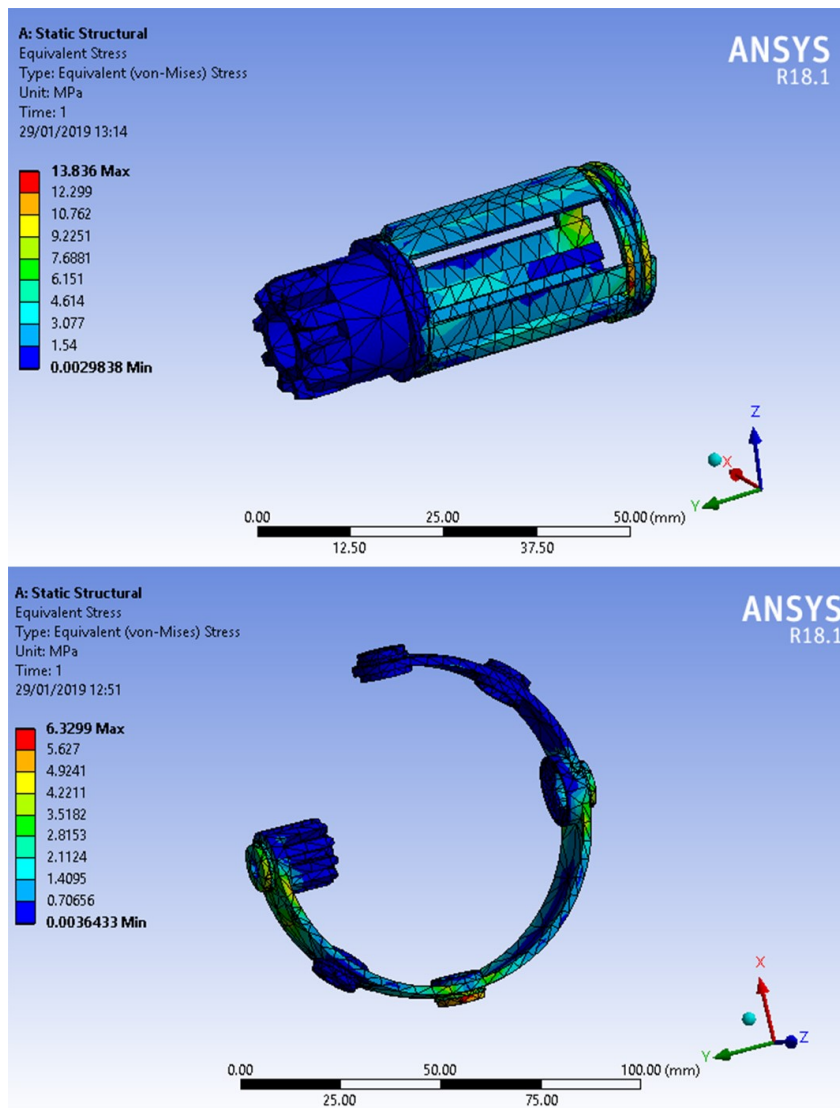


Figura 3.27: Esempio di analisi sui componenti dei giunti riconfigurabili: come visibile, la tensione di Von Mises è ampiamente sotto il limite massimo di 65 [MPa]. [1]

3.7 - GIUNTO SFERICO AUTOBLOCCANTE

Questa tipologia di giunti sferici sono stati progettati per essere incorporati in un manipolatore parallelo 3-SPS (Spherical-Prismatic-Spherical). Come previsto che la rigidità è compromessa in questo sistema, perché il sistema si trova fisicamente su tre giunti a sfera. I giunti a sfera sono scelti per le loro caratteristiche intrinseche di fornire tre gradi di libertà all'interno di un volume compatto. Tuttavia, le sei sfere possono fornire un movimento incontrollabile, ad esempio, durante la traslazione in qualsiasi asse, l'errore può essere generato a causa del movimento non vincolato delle sfere. Per superare questo problema, è necessario una sorta di vincolo o precarico per ridurre al minimo l'errore. In questo scenario, è necessario progettare un giunto sferico che consenta il libero movimento di rotazione intorno a tre assi mentre il manipolatore è in esecuzione e può fermarsi a qualsiasi orientamento quando viene comandato di fermarsi. Di conseguenza, il precarico fornisce ulteriore rigidità al manipolatore, quando questo è in esecuzione o arrestato all'interno dello spazio di lavoro. Questo sistema di frenatura speciale è richiesto nel sistema 3-SPS per il manipolatore di lavorare in modo efficace. Inoltre, sarà necessaria una forza di tenuta iniziale in modo che il manipolatore possa stare saldamente nella sua posizione di partenza quando il sistema viene spento e i freni non vengono applicati. Le giunzioni a sfera devono essere rese auto-bloccabili. Il design auto-bloccabile del giunto sferico può avere molte opzioni in termini di progetto e tipo di selezione dell'attuatore. È difficile meccanicamente fermare la sfera completamente alla rotazione. La figura 3.28 (a) mostra un concetto di sfera "sliced" del giunto sferico. Il concetto mostra che i due lembi laterali della sfera a fette vengono spinti dall'attuatore interno. La superficie interna dell'alloggiamento è l'ostacolo per i lembi spinti. I lembi laterali sono spinti verso l'alloggiamento e l'attrito tra le superfici è responsabile di fermare la sfera. Il risultato finale è una frenata o un bloccaggio dell'giunto sferico. Nella figura 3.28 (b), il concetto di design mostra la sfera sostenuta

dalle strisce di supporto. Un attuatore elettromagnetico è posizionato per fermare la rotazione della sfera. Ma il movimento rotazionale della sfera potrebbe non essere fermato anche se viene applicata una forza elevata. Per evitare il singolo punto di contatto tra la sfera e l'attuatore magnetico, il polo magnetico viene lavorato per aumentare l'efficacia dell'attuatore elettromagnetico. Il criterio di selezione del concept è che il giunto deve essere facile da costruire, assemblare e far funzionare in una dimensione miniaturizzata. Un giunto sferico rigido è necessario per operare in sincronizzazione con gli attuatori lineari. La figura 3.28 (a) mostra un'opzione di progettazione da utilizzare con attuatori di tipo solenoidali o piezometrici. Tuttavia, la sua produzione richiede una sfera cava da lavorare e un attuatore miniaturizzato da inserire all'interno della sfera. In questo caso, forza di spinta dell'attuatore è limitata in quanto il giunto a sfera è richiesto in una piccola dimensione per un manipolatore da tavolo. Per questi motivi, nel progetto presentato nella figura 3.28 (b) si trova una scelta migliore per il prototipo.

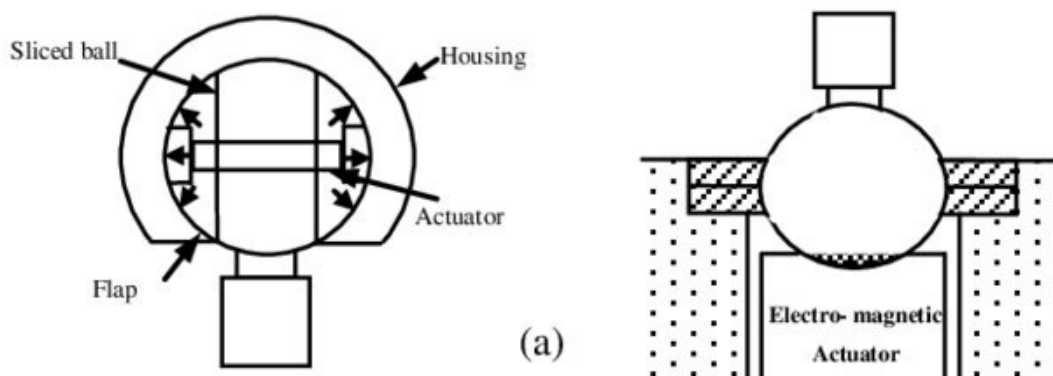


Figura 3.28: Concept di giunti auto-bloccabili. [14]

Viene utilizzato un attuatore elettromagnete disponibile in commercio con un diametro di 25 mm, massima forza di tenuta di 130 N e opera su 12 V, normalmente utilizzato nelle serrature delle porte. La forza di tenuta massima del magnete è disponibile solo per accoppiarsi con un componente a

faccia piatta. Quando la sfera è posizionata sul polo del magnete, l'elettromagnete originale permette un singolo contatto con punto della sfera che non è sufficiente per impedire alla sfera di ruotare. Una cavità sferica viene tagliata sul polo del magnete per aumentare la superficie di contatto tra la sfera e l'attuatore magnetico. La sfera è tenuta con la forza di tenuta effettiva, ma tutto questo in realtà non viene utilizzato per fermare la rotazione della sfera. Solo la componente tangenziale della forza di tenuta (F_{Bt}) è coinvolta nell'arresto della rotazione della sfera come mostrato nella figura 3.29 (a). La componente tangenziale totale della forza di tenuta magnetica per l'intera superficie di contatto del polo è 12 N che è solo l'11% della forza di tenuta totale. Il resto della forza è normale in direzione e non contribuisce a fermare il rotazione della sfera.

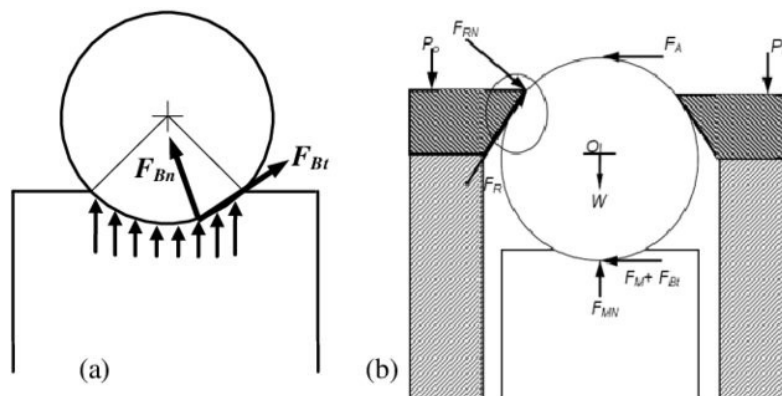


Figura 3.29: (a) Componenti tangenziali e normali della forza di tenuta magnetica. (b) Forze diverse che agiscono sulla sfera. [14]

Inoltre, nella posa iniziale o per la maggior parte delle vite della macchina, gli elettromagneti rimarranno spenti. Il manipolatore ha bisogno di una forza aggiuntiva che rimane presente (entrambe le situazioni di on/off). Ma la sua grandezza dovrebbe essere tale che le sfere sono autorizzate a muoversi quando la PKM è in movimento e fornisce inoltre al manipolatore un rigidità iniziale, in modo che la piattaforma in movimento possa mantenersi da sola. A questo scopo, si crea attrito tra la sfera e l'alloggiamento. La figura 3.29 (b)

mostra i componenti d'attrito e le forze magnetiche nella progettazione completa dei giunti sferici. Le rigidità del giunto è composta dai suoi componenti costituenti. L'attrito è fornito dall'anello superiore così come dalla cavità magnetica. L'altro fattore che contribuisce è la componente tangenziale della forza magnetica. Quando la forza esterna F_A viene applicata sul giunto a sfera della gamba attuatore, la sfera tenderà di ruotare. La rotazione della sfera viene contrastata prima dall'anello superiore, dove il forza d'attrito F_R resisterà alla rotazione. La seconda superficie di accoppiamento è tra la sfera e il magnete. La forza di attrito F_M tra la sfera e il magnete fornisce anche resistenza alla rotazione. La terza resistenza è data dalla componente tangenziale della forza magnetica F_{Bt} . F_{MN} e F_{RN} sono le reazioni normali. La forza di attrito totale si trova aggiungendo F_R e F_M . Un altro carico applicato esternamente è P_o cioè la forza di serraggio dell'anello superiore. Qui dei dadi fissano l'intero giunto. Le equazioni di equilibrio tra forza e momento rivelano che forza applicata F_A deve essere nota per calcolare la forza di serraggio P_o del dado. Ad esempio, con F_A pari a 40 N, P_o si trova come 15 N e il valore di rigidità torsionale si trova come 30k Nmm/rad. [14]



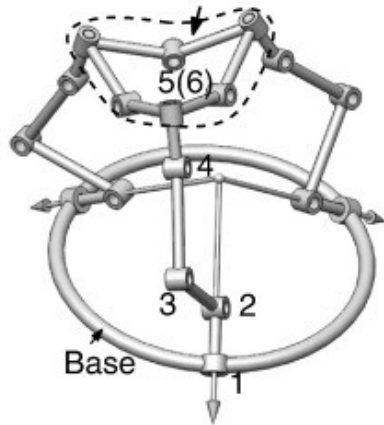
Figura 3.30: Prototipo fisico di un giunto a sfera auto-bloccabile. [14]

4 – APPLICAZIONI DEI GIUNTI NELLE MACCHINE PARALLELE RICONFIGURABILI

4.1 - PKM CON PIATTAFORMA MOBILE RICONFIGURABILE

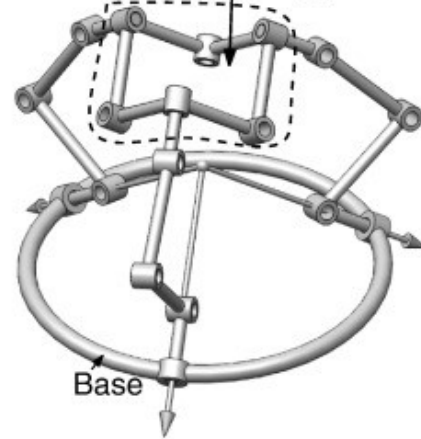
Questa tipologia di robot parallelo riconfigurabile, denominata 5R PM, si basa sul bricard-linkage. Il meccanismo (illustrato in figura 2) è composto da tre gambe 5R che collegano il bricard-linkage alla base. In ogni gamba, gli assi dei tre giunti R intermedi (2, 3 e 4) hanno assi paralleli. Gli assi dei primi giunti (1) in tutte le gambe si incontrano in un punto. L'asse del quinto giunto (5) in ogni gamba è coassiale con l'asse di un giunto R (6) del bricard-linkage. Bloccando un giunto R della piattaforma mobile riconfigurabile con il bricard-linkage a diverse posizioni, le posizioni relative dei quinti giunti in tutte le gambe possono variare. Di conseguenza la piattaforma mobile può subire diversi modelli di movimento 3-DOF, compresa la traslazione spaziale (figura 4.1 (b)), il movimento sferico (figura 4.1 (c)), il movimento planare (lungo tre piani diversi), il movimento a torsione zero e il movimento generale 3-DOF. La figura 4.1 (d) mostra un prototipo di questo meccanismo costruito nel 2010. [15]

Bricard-linkage-based reconfigurable moving platform



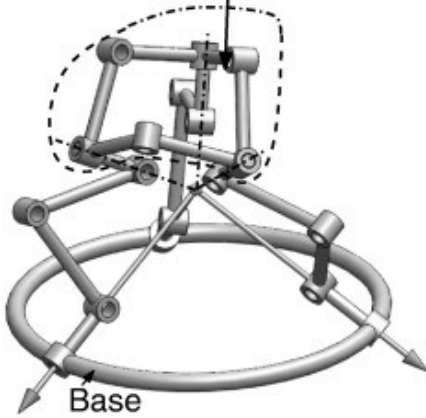
(a) General 3-DOF mode.

Bricard-linkage-based reconfigurable moving platform



(b) Translation mode.

Bricard-linkage-based reconfigurable moving platform



(c) Spherical mode.

Bricard-linkage-based reconfigurable moving platform



(d) Photo of the prototype

Figura 4.1: Una macchina a cinematica parallela con una piattaforma mobile riconfigurabile basata sul bricard-linkage. [15]

4.2 - PIATTAFORMA CON QUATTRO GAMBE RbRPS

Nell'ultimo mezzo secolo, la piattaforma Gough-Stewart è stata ampiamente applicata per automatizzare diversi compiti a causa dei suoi meriti ben noti in termini di velocità, rigidità, larghezza di banda dinamica, precisione, costo, ecc. Dal momento che la Piattaforma Gough-Stewart ha 6 DoF (gradi di libertà), alcuni robot paralleli DoF-limitati sono stati progettati per applicazioni che non richiedono piena mobilità, con l'obiettivo di semplificare la struttura e il controllo della piattaforma generale Gough-Stewart, ma senza perdere il suo suddetti meriti. La piattaforma Gough-Stewart è costituita da una base e da una piattaforma mobile collegata da sei UPS (Universal-Prismatic-Spherical), dove il giunto prismatico è azionato.



Figura 4.2: Esempio di piattaforma Gough-Stewart [16]

Se un certo numero di queste gambe UPS vengono eliminate, la mobilità di altrettante gambe rimanenti deve essere ridotta di un DoF ciascuna, allo stesso momento, per mantenere la posizione della piattaforma controllabile. Il manipolatore parallelo risultante avrà un numero di DoF pari al numero di gambe rimanenti. La sostituzione delle gambe UPS con le gambe RbRPS, dove Rb indica un giunto di rivoluzione bloccabile in qualsiasi momento

durante il funzionamento attraverso un freno, è una possibilità per l'attuazione di questa riduzione della mobilità. Infatti, ogni RbRPS si comporterà come una catena RPS quando il giunto Rb è bloccato e, disponendo correttamente l'asse dei giunti di rivoluzione, come una catena UPS quando non lo è. Il numero massimo di eliminazioni di gambe è tre. Molte sono le famiglie di manipolatori che possono essere generate dalla piattaforma Gough-Stewart con questa tecnica. [17]

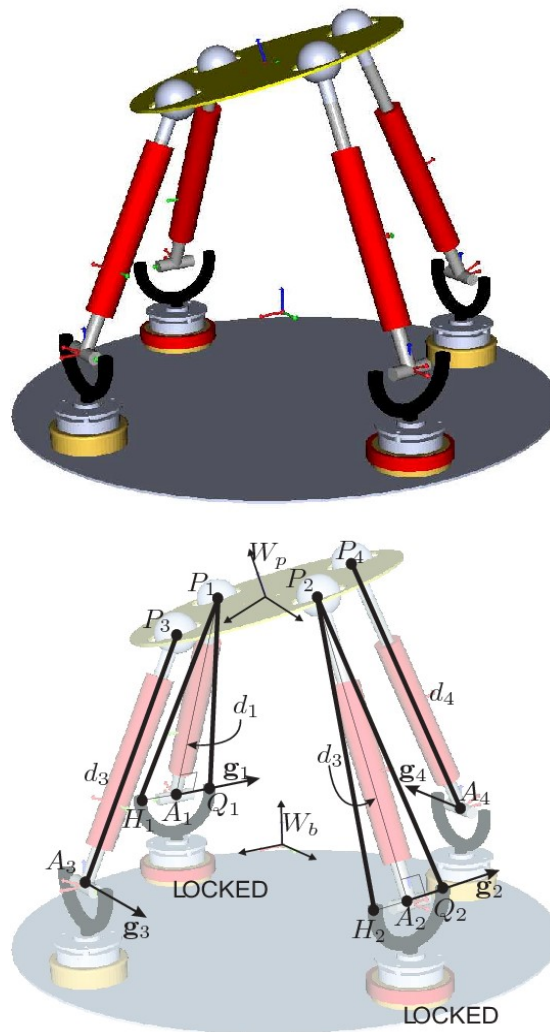


Figura 4.3: La piattaforma proposta è costituita da quattro gambe RbRPS attaccate alla base attraverso giunti di rivoluzione bloccabili passivi (in alto). Dal momento che due freni devono essere bloccati in qualsiasi momento per mantenere la piattaforma rigidamente collegata alla base, si comporta come una piattaforma 2RPS-2UPS riconfigurabile (in basso). [17]

4.3 - ReSI-Bot

Il robot parallelo ibrido seguente viene chiamato ReSI-Bot. È un manipolatore 6-DOF con la caratteristica di essere auto-riconfigurabile. Come viene illustrato nella figura 4.4, il ReSI-Bot è composto da tre gambe, ognuna delle quali è identica all'altra e ha due giunti di rivoluzione, un giunto prismatico e uno sferico. Sono disposti nell'ordine RRPS (revolute-revolute-prismatic-spherical) dove il primo giunto di rivoluzione e prismatico sono attuati. Il progetto include un sistema di ingranaggi che abilita il sistema di riconfigurazione del robot. La prima attuazione della riconfigurazione avviene nel ingranaggio a cono centrale indicato nella figura 4.4. Questo ingranaggio a cono centrale guida altri tre ingranaggi a cono, ognuno dei quali è collegato a un sistema a vite Acme che guida l'asse verticale del primo giunto di rivoluzione e l'intero primo collegamento. Il robot è denominato ReSI-Bot, abbreviazione di "Reconfigurable Swing-link Parallel Robot". È importante sottolineare che, a causa del design intrinseco del robot, una volta guidato l'asse verticale del primo giunto rotante verso la parte esterna della base, il collegamento oscillante deve ruotare di 180 gradi, fornendo un'interessante configurazione alternativa. Questo lo si può notare nella configurazione B della figura 4.5, in opposizione con la configurazione A della figura 1. [18]

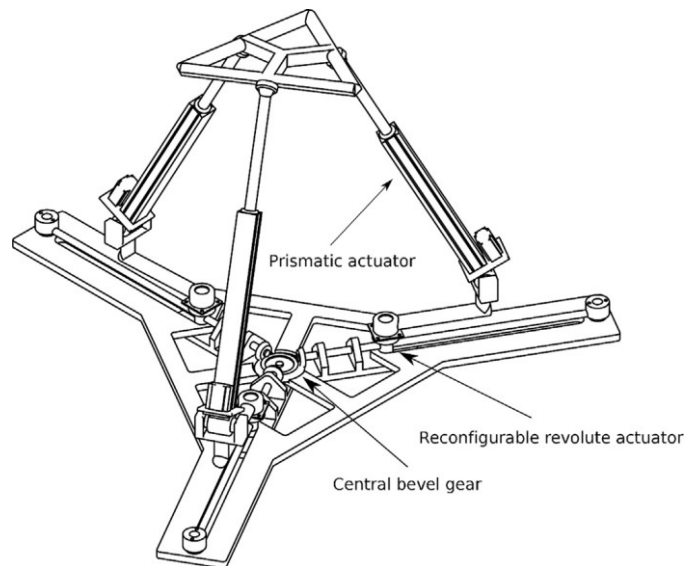


Figura 4.4: Design del manipolatore parallelo (configurazione A). [18]

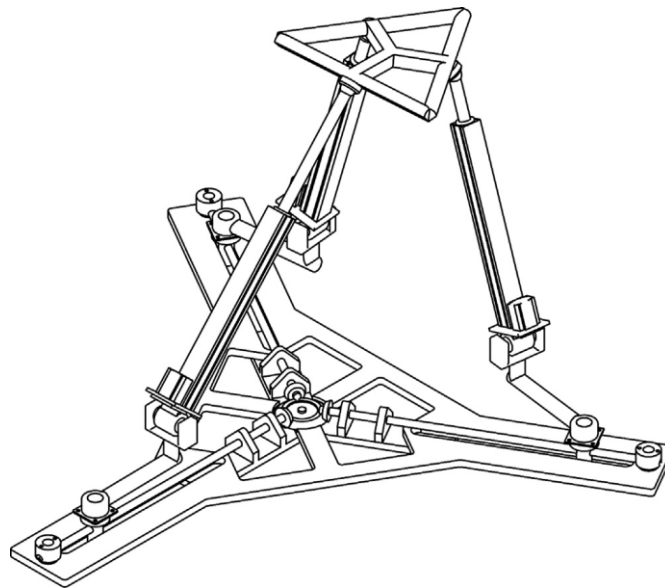


Figura 4.5. Design del manipolatore parallelo (configurazione B). [18]

4.4 - MANIPOLATORE RICONFIGURABILE 3-CPU

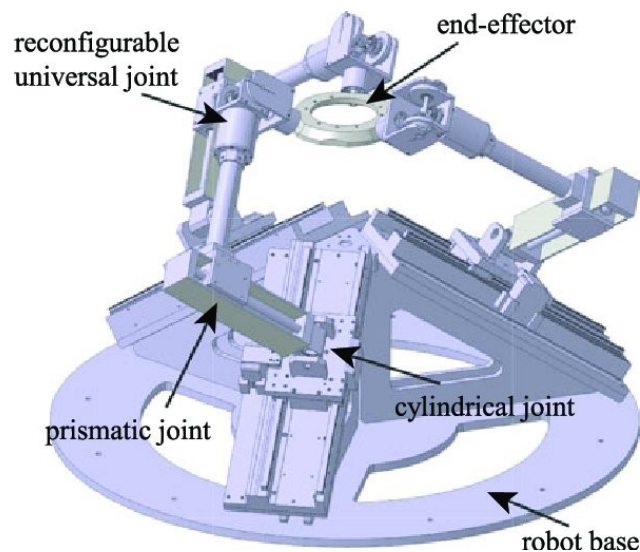


Figura 4.6: Progettazione meccanica del robot riconfigurabile 3-CPU. [19]

Il manipolatore 3-CPU riconfigurabile è un macchina composta da una base fissa e una piattaforma mobile collegate tramite tre gambe identiche azionate. Il manipolatore prende il nome dalla cinematica delle gambe, infatti una sequenza di giunti Cilindrico-Prismatico-Universale viene utilizzata per assemblare i due membri di ogni gamba insieme e con le piattaforme fisse e mobili. Lo spostamento lineare delle coppie cilindriche è azionato, guidando i tre gradi di libertà della piattaforma mobile: una riconfigurazione dei giunti universali permette di cambiare la mobilità della piattaforma dalla pura traslazione alla pura rotazione. Ne consegue che gli stessi tre motori possono essere utilizzati per guidare i tre gradi di libertà forniti dalla cinematica a 3-CPU, con la possibilità di passare da una mobilità all'altra secondo le esigenze degli utenti. Il cambiamento di mobilità avviene solo in un posizione della piattaforma mobile, chiamata "home configuration", dove la configurazione del giunto universale può essere modificata.

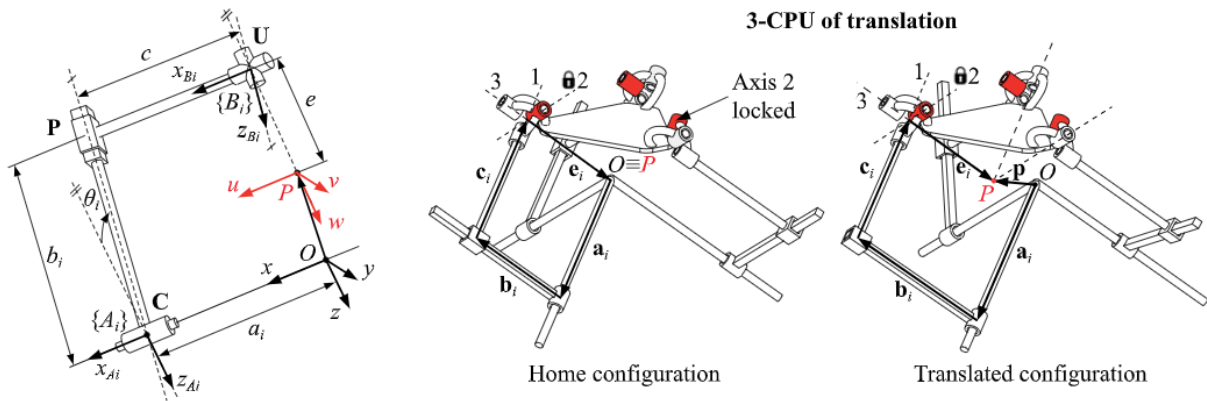


Figura 4.7: Robot 3-CPU di pura traslazione. Schizzo della cinematica delle gambe. [19]

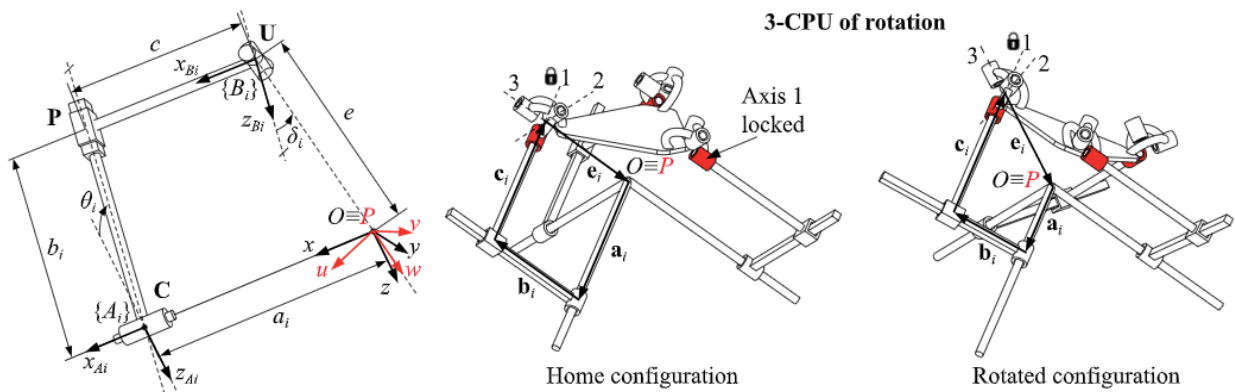


Figura 4.8: Robot 3-CPU di pura rotazione. Schizzo della cinematica delle gambe. [19]

Le figure 4.7 e 4.8, rispettivamente, mostrano gli schizzi della cinematica delle gambe del robot a 3-CPU di pura traslazione e di pura rotazione. In entrambe le configurazioni dei dispositivi un sistema di riferimento $(O; x, y, z)$ è fissato alla struttura di base, mentre un sistema mobile $(P; u, v, w)$ è collegato alla piattaforma in movimento. Le articolazioni cilindriche sono reciprocamente ortogonali e dirette come i bordi di un cubo, quindi, l'origine del riferimento fissato alla struttura $(O; x, y, z)$ viene scelto per comodità al loro incrocio, con i suoi vettori di unità allineati con i loro assi. La gamba 1 è correlata all'asse x , la gamba 2 all'asse y e la gamba 3 all'asse z . Il giunto prismatico che collega

i due membri di ogni gamba è perpendicolare all'articolazione cilindrica correlata. Si intersecano in un punto A_i , in cui un sistema di riferimento (A_i ; x_{Ai} , y_{Ai} , z_{Ai}) è introdotto per ogni gamba, con l'asse x_{Ai} allineato con l'asse dell'articolazione cilindrica e l'asse z_{Ai} allineato come quando il dispositivo è nella sua "home configuration", vale a dire quando i piani definiti dalle gambe si sovrappongono ai piani del sistema cartesiano fisso: piano z-x per la prima gamba, piano x-y per la seconda gamba, e piano y-z per la terza. Un ulteriore sistema di riferimento (B_i ; x_{Bi} , y_{Bi} , z_{Bi}) è convenientemente definito al centro del giunto universale, con l'asse x_{Bi} parallelo a x_{Ai} e l'asse z_{Bi} parallelo al giunto prismatico. Ne consegue che x_{Bi} e z_{Bi} definiscono insieme il piano i -esimo della gamba. È chiaro dalle figure 4.7 e 4.8 che il giunto universale ha una diversa disposizione nei due casi. Infatti il Robot 3-CPU di pura traslazione ha l'asse di rivoluzione del giunto universale diretto parallelamente all'asse cilindrico nella stessa gamba, mentre si può dimostrare che l'asse di rivoluzione esterno ha un orientamento fisso rispetto al sistema di riferimento mobile. In particolare, coincide con l'asse "w" per la gamba 1, con l'asse "u" per la gamba 2, e con l'asse "v" per la gamba 3. Al contrario, il robot a 3 CPU di pura rotazione ha l'asse interno di rivoluzione normale al piano della gamba, mentre l'asse di rivoluzione esterna converge sempre verso l'origine P del sistema mobile; può essere dimostrato che tale punto rimane fisso e coincide con l'origine O del telaio fisso. Le figure 4.7 e 4.8 mostrano anche come realizzare la transizione tra le due soluzioni cinematiche: la "home configuration" può essere considerata come la geometria comune tra i due configurazioni a 3-CPU, in cui tutte le gambe e il movimento piattaforma hanno la stessa posizione fisica e lo stesso orientamento nello spazio cartesiano. L'unica differenza sta nelle direzioni degli assi del giunto universale. Più precisamente solo una soluzione della cinematica diretta è comune alle due configurazioni a 3-CPU. In particolare, se il giunto universale è concepito come un giunto sferico bloccabile con tre assi di rivoluzione collegati in serie, i robot

a 3-CPU di traslazione e rotazione possono essere abilitati al bloccaggio del, rispettivamente, secondo e primo asse. La sequenza di giunti incontrati dalla base fissa alla piattaforma mobile è scelta in ordine per realizzare i giunti universali desiderati: riferendosi alla “home configuration”, il primo asse di rotazione è allineato con l'asse del giunti cilindrico della stessa gamba, il secondo è ortogonale al piano gamba, e il terzo è ortogonale ai precedenti. [19]

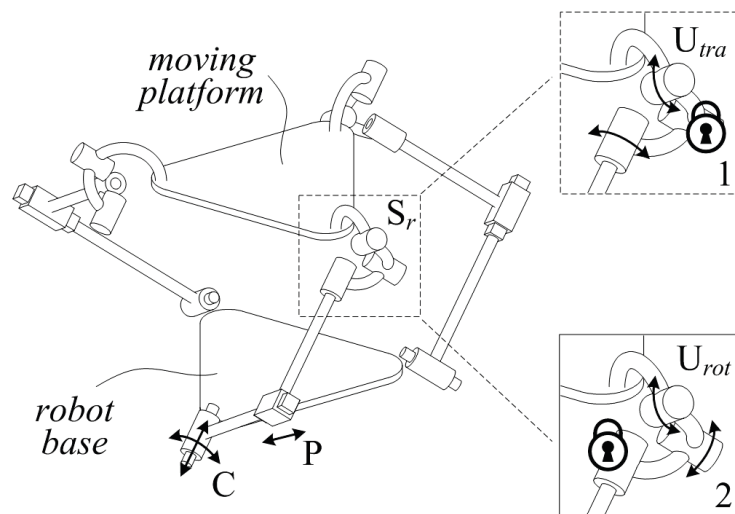


Figura 4.9: Schizzo del manipolatore riconfigurabile 3 CPU. [11]

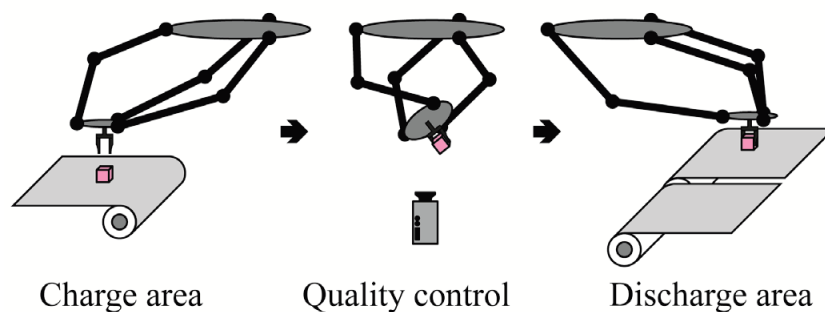


Figura 4.10: Applicazione di controllo qualità eseguita dal riconfigurabile 3 CPU. [11]

4.5 - MANIPOLATORE RICONFIGURABILE 3-URU



Figura 4.11: Prototipo virtuale del robot riconfigurabile 3-URU. [1]

Le osservazioni fatte fino ad ora sono riscontrabili in un'altra famiglia di macchine a cinematica parallela, dove un giunto di rivoluzione sostituisce il giunto prismatico che collega i due membri di ogni gamba. E' il caso del manipolatore parallelo 3-URU. Tale articolazione è realizzata come una combinazione di coppie di rivoluzione (Figura 4.12). Un sistema di bloccaggio consente di bloccare alternativamente uno dei primi due giunti di rivoluzione, dando alla macchina una diversa configurazione cinematica 3-URU che corrispondono a diversi tipi di mobilità. L'architettura cinematica di ogni gamba è composta da una SRU (Spherical-Revolute-Universal) catena di giunti. La coppia sferica, che deve essere ridotta a giunto universale per garantire la funzionalità della macchina, collega il primo corpo di ogni gamba al telaio. Il secondo collegamento è collegato al primo da un giunto di rivoluzione. Infine, un giunto universale collega il terminale alla gamba. Analizzando la figura 4.12, le tre coppie sferiche sono collocate in modo che i loro centri si trovino sugli

assi del telaio di riferimento fisso (0) alla stessa distanza, chiamata “a”, dal origine. Le tre rotazioni che compongono ogni coppia sono realizzate da tre giunti di rivoluzione perpendicolari, i cui assi concorrono in un punto (vale a dire il centro della coppia sferica). A tale punto, tre telai hanno un'origine comune: tali telai, chiamati (I1,i), (I2,i), (I3,i) per la gamba i-esima, sono fissati al corpi collegati in sequenza ai tre giunti di rivoluzione. Nella “home configuration”, dove il telaio della piattaforma mobile (1) è coincidente con il telaio fisso (0), è (I1,i)=(I2,i)=(I3,i).

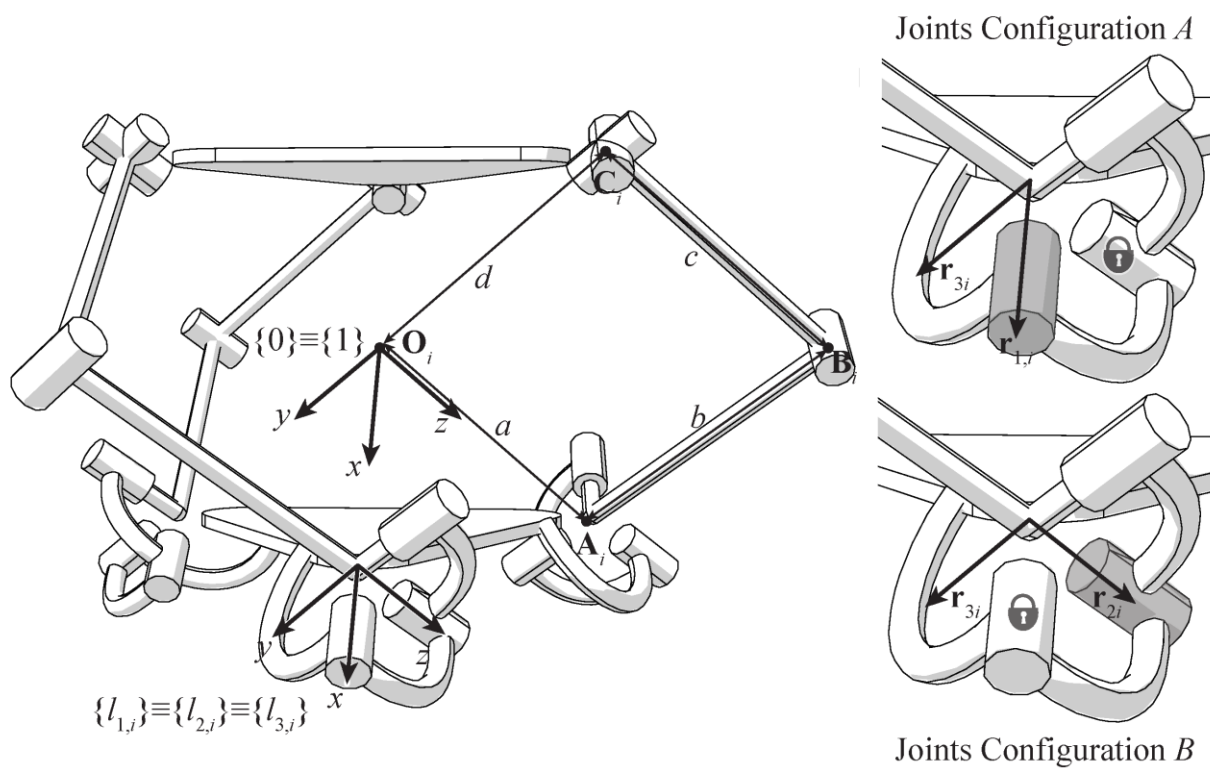


Figura 4.12: Impostazione degli assi dei giunti dell'architettura cinematica riconfigurabile 3-URU. [12]

Il meccanismo di blocco viene utilizzato in questo caso per produrre due configurazioni diverse, qui chiamate configurazione A e configurazione B. Nella configurazione A, la prima rotazione della coppia sferica è consentita e, in particolare, rappresenta il grado di libertà attuato del i-esima gamba. La seconda rotazione è bloccata, mentre la terza è libera. Nella configurazione B,

la prima rotazione è bloccata, la seconda è azionata e la terza è libera. Tali giunti permettono la generazione di movimenti di pura rotazione con la configurazione A e movimenti di pura traslazione con configurazione B senza ulteriori modifiche alla disposizione dei giunti passivi. Il resto della catena cinematica di ciascuna gamba è composta da un giunto di rivoluzione, parallelo all'ultima coppia di giri del giunto sferico riconfigurabile a distanza b , e da un giunto universale che collega il secondo collegamento della gamba al terminale. Il meccanismo di bloccaggio è progettato in modo da consentire alternativamente il movimento del primo e del secondo giunto di rivoluzione. Soluzione simile è stata osservata precedentemente nella riconfigurazione di un robot a 3-CPU. Tuttavia la soluzione del 3-URU è significativamente diversa. Nel 3-CPU è stato modificato la mobilità di un giunto passivo universale. Nel 3-URU, invece, la riconfigurazione implica che i giunti del robot azionati devono essere cambiati. Il progetto meccanico del giunto riconfigurabile è ovviamente influenzato da ciò. Da un lato, la necessità di collegare un attuatore a giunti diversi complica relativamente il problema. D'altra parte, il fatto che il dispositivo bloccabile sia collegato al telaio a terra e che non si muova insieme al terminale, agevola i parametri di progettazione in termini di peso e dimensione, e di conseguenza in termini di costi. [12]

5 – POSSIBILI GUASTI

Per guasto si intende l'incapacità del robot di eseguire le sue funzioni richieste. Il guasto dei robot paralleli potrebbe essere originato dai vari componenti di cui è composto come i collegamenti, i giunti passivi, i giunti attivi e il terminale. Nei giunti attivi, ci sono diversi componenti che sono soggetti a guasti, come gli attuatori, i sistemi di trasmissione, i sensori e i controllori. Possibili modalità di guasto dei giunti attivi sono l'inzeppamento del giunto, la perdita di controllo dell'attuatore, degradazione della forza dell'attuatore fino ad arrivare alla completa perdita di forza attuatore. L'inzeppamento del giunto comporta la perdita del proprio grado di libertà e, di conseguenza, la sua velocità diventa zero. La perdita di forza dell'attuatore avviene quando l'attuatore perde tutta la sua capacità di generare forza e, di conseguenza, il giunto diventa un giunzione passiva se il sistema di guida del giunto è retro-azionabile. Tuttavia nel caso in cui il sistema di guida del giunto non sia retro-azionabile, avverrà l'inzeppamento. Un manipolatore parallelo potrebbe anche perdere la forza dell'attuatore se il ramo di quell'attuatore viene interrotto dal manipolatore, in questo caso il manipolatore perde un ramo attivo. Analizzare l'effetto del guasto sulle prestazioni del manipolatori aiuta a determinare se il manipolatore potrebbe completare il suo compito dopo un errore senza arrestare l'operazione in attesa della riparazione. Un primo metodo per far fronte a questi problemi è stato basato sull'utilizzo della ridondanza di attuazione in cui la quantità di coppia persa è stata compensata dagli attuatori ridondanti. Il secondo metodo si basa sulla modifica del tempo di attività; cambiando le forze inerziali si diminuirà la coppia complessiva richiesta dall'attuatore. [20]

11 - CONCLUSIONI

L'idea centrale che sta alla base della progettazione del giunto riconfigurabile, è quella di combinare diverse mobilità in un singolo meccanismo, aumentando la sua versatilità pur mantenendo la semplicità del suo modello cinematico. Ciò è stata fonte di forte interesse da parte di diversi ricercatori. Di fondamentale importanza è che il giunto presenti caratteristiche come compattezza, leggerezza ed efficienza in modo da poter contenere i costi. Varie tipologie di giunti riconfigurabili sono state analizzate in questo elaborato, differenti per caratteristiche costruttive e applicazioni verso cui sono destinati. Riassumendo sono stati presentati i giunti rT, i giunti a rigidità variabile, varie tipologie di giunti idraulici, due giunti meccanici specifici applicati ai manipolatori 3-CPU e 3-URU ed infine un particolare giunto sferico autobloccante. In generale le macchine a cinematica parallela, dopo aver suscitato per oltre mezzo secolo un interesse crescente da parte della ricerca, stanno assumendo in questi ultimi anni una decisa importanza industriale ed economica in numerosi e differenti campi applicativi, ponendosi in competizione con le tecnologie tradizionali e con i robot seriali. La maggiore complessità dell'architettura parallela comporta nuovi problemi, ad oggi non completamente risolti, che tuttavia possono essere efficacemente affrontati utilizzando gli strumenti cinematici ed informatici attualmente disponibili ai ricercatori. Proprio per questo, lo sviluppo del progetto del giunto riconfigurabile presenta ancora un ampio margine di miglioramento e nuove opzioni di applicazione del giunto verso altri dispositivi possono ancora essere valutate.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mechanical design and prototype of a reconfigurable actuated universal joint
M.C. Palpacelli, L. Carbonari, G. Palmieri and M. Callegari
- [2] <http://www.meccanicadellemacchine.it/wp/progetti/robot-3uru/>
- [3] <http://web.tiscali.it/PKM2001/11.html>
- [4] Considerazioni sulla progettazione delle macchine a cinematica parallela
Massimo Callegari
Progettare (VNU), N247, Luglio-Agosto 2001
- [5] Analisi di macchine a cinematica parallela (PKM)
http://www.meccanicadellemacchine.it/old/ricerca/analisi_macchine_parallelle/main.htm
- [6] <http://www.meccanicadellemacchine.it/wp/progetti/spheiro/>
- [7] Mobility Change in Two Types of Metamorphic Parallel Mechanisms
Dongming Gan, Jian S. Dai, Qizheng Liao
- [8] A novel revoluted joint of variable stiffness with reconfigurability
Mechanism and Machine Theory
Zhongyi Li, Shaoping Bai
- [9] Easy control hydraulic rotary self-servo reconfigurable decoupling hydraulic joint
Jiang Lin, Zhao Jie, Wu Wenchao, Xiang Xianbao, Chen Xinyuan, Zhao Hui, Zeng Liangcai
2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation

- [10] Design and Testing of a Highly Reconfigurable Fixture With Lockable Robotic Arms
Shengnan Lu, Zeshan Ahmad, Matteo Zoppi, Xilun Ding, Dimiter Zlatanov, Rezia Molfino
- [11] A lockable spherical joint for robotic applications
Matteo Palpacelli, Luca Carbonari, Giacomo Palmieri
International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications
- [12] Design of a Lockable Spherical Joint for a Reconfigurable 3-URU Parallel Platform
Matteo Palpacelli, Luca Carbonari, Giacomo Palmieri and Massimo Callegari
- [13] <http://www.meccanicadellemacchine.it/wp/progetti/giunto-sferico-ricongfigurabile/>
- [14] Design Synthesis of a three legged SPS Parallel Manipulator
Azfar Khalid, Samir Mekid
- [15] Type Synthesis of 3-DOF Multi-Mode Translational/Spherical Parallel Mechanisms with Lockable Joint
Xianwen Kong, Yan Jin
- [16] <https://grabcad.com/library/stewart-gough-platform-hexapod-1>
- [17] Motion Planning for a Novel Reconfigurable Parallel Manipulator with Lockable Revolute Joints
Patrick Grosch, Raffaele Di Gregorio, Javier Lopez, and Federico Thomas
- [18] A 6-DOF reconfigurable hybrid parallel manipulator
Robotics and Computer-Integrated Manufacturing
Gianmarco Coppola, Dan Zhang, Kefu Liu

- [19] Analysis and Design of a Reconfigurable 3-DoF Parallel Manipulator for Multimodal Tasks
Matteo-Claudio Palpacelli, Luca Carbonari, Giacomo Palmieri, Massimo Callegari
IEEE/ASME Transactions on Mechatronics
- [20] Analysis of Active Joint Failure in Parallel Robot Manipulators
Mahir Hassan, Leila Notash