



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**A Study of Manual Regulatory
Procedures for Packaging Machines**

**Studio di un Sistema di Regolazione
Manuale per Macchine Sacchettatrici**

Relatore:

Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:

Elena Santinelli

Correlatore:

Ing. Massimiliano Piccioli

Anno Accademico 2018-2019

Indice

1	Introduzione	1
2	Sistemi cinematici	2
2.1	Macchine a cinematica parallela e seriale.....	2
2.2	Vantaggi e svantaggi delle strutture a cinematica parallela e seriale	5
3	Cenni storici sui PKM e tecnologia attualmente presente	8
3.1	Cenni storici riguardo i PKM	8
3.2	Suddivisione dei PKM	12
3.2.1	Manipolatori paralleli a 3 gradi di libertà.....	13
3.2.2	Manipolatori paralleli a 6 gradi di libertà.....	20
4	Definizione dei parametri significativi per lo sviluppo progettuale	24
4.1	Sistema attualmente in uso.....	24
4.2	Definizione delle specifiche.....	29
5	Analisi della struttura cinematica da utilizzare	30
5.1	Progetto concettuale.....	30
5.1.1	Riadattamento della Piattaforma di Stewart	30
5.1.2	Ulteriore riadattamento della Piattaforma di Stewart.....	34
5.1.3	Utilizzo della struttura a cinematica parallela dei robot 6 PUS.....	35
5.2	Scelta del modello da sviluppare.....	36
5.2.1	Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 1	36
5.2.2	Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 2	38
5.2.3	Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 3	38
6	Prototipazione e studio della mobilità della struttura	40
6.1	Prototipazione	40
6.2	Studio della mobilità della struttura.....	42
6.2.1	Singularità.....	44
6.2.2	Giochi dei giunti.....	45
7	Studio del sistema di serraggio della struttura	46
7.1	Analisi delle sfere.....	46
7.2	Analisi degli scavi delle piattaforme.....	48
7.3	Meccanismo di serraggio.....	51
8	Struttura finale	54
8.1	Modello finale.....	54
8.2	Disegni	56
	Bibliografia	63
	Ringraziamenti	64

1 Introduzione

La tesi cerca di fornire una soluzione pratica al problema relativo ad un sistema di regolazione manuale di organi interni per macchine sacchettatrici, nato a causa della recente intolleranza, da parte dell'azienda che lo utilizza, ai rischi a cui espone i propri dipendenti durante la regolazione del sistema corrente.

È stata sviluppata durante un tirocinio, svolto tra settembre e gennaio presso lo studio di Ingegneria EUMECA S.r.l., per conto dell'azienda FIORINI INTERNATIONAL ITALIA S.p.a. che si occupa della produzione di sacchetti.

EUMECA è uno studio di progettazione meccanica con sede a Fano (PU), che offre al mercato una molteplicità di servizi inerenti alla progettazione ed alla consulenza.

FIORINI INTERNATIONAL ITALIA è un'azienda con sede a Trecastelli (AN), leader nel settore del packaging che offre un'ampia gamma di sacchetti in carta per usi industriali e commerciali.

L'analisi svolta ha un approccio pratico mediante l'utilizzo del software: Solid Edge e di modellini fisici, non sono state trattate analisi cinematiche di velocità e accelerazioni.

Nel caso in esame un sistema a regolazione manuale viene utilizzato in una macchina che produce sacchetti; in particolare esso si trova nel corpo macchina nel quale il lembo di carta, che costituisce il materiale del sacchetto, viene tagliato, incollato longitudinalmente ed infine piegato sul fondo grazie al passaggio del lembo di carta sulle palette che vengono regolate, in fase preliminare, mediante un sistema a cinematica seriale nelle sei direzioni dello spazio in base alla dimensione del sacchetto da formare.

I sistemi a regolazione manuale vengono utilizzati in applicazioni che non richiedono un'elevata precisione durante la regolazione ma che garantiscono un'eccellente rigidità durante il funzionamento della macchina che li contiene, mantenendo bassi i costi.

Sono ampiamente utilizzati sistemi cinematici seriali che si servono di viti, morsetti, guide lineari e cuscinetti che incarnano i ruoli delle coppie cinematiche e che forniscono fino a 6 gradi di libertà.

Per attuare questi sistemi solitamente è necessario andare ad agire su ogni corpo mobile o giunto presente in essi e questo comporta la perdita dell'intuitività durante la regolazione che obbliga l'operatore all'acquisizione di un'esperienza pregressa o a lavorare in condizioni di non sicurezza.

Nel caso in esame per ovviare all'inconveniente del dispendio di tempo e per garantire la sicurezza dell'operatore si è cercato di sostituire il sistema di regolazione in uso, di tipo seriale, con uno a meccanica parallela mantenendo i gradi di libertà precedentemente posseduti dal sistema e garantendo la regolazione manuale.

A tale scopo nel capitolo due sono contenuti: una descrizione generale dei sistemi a cinematica parallela e seriale, i vantaggi annessi ad ognuna e le loro principali applicazioni.

Nel terzo capitolo si analizzano i sistemi a cinematica parallela attualmente presenti sul mercato alle quali ci si è ispirati e le loro origini.

L'analisi del caso in esame viene fatta nel quarto capitolo nel quale vengono definite le specifiche di progetto e si descrive il sistema attualmente in uso.

Nel quinto capitolo vengono illustrate le principali strutture prese in considerazione e si procede alla scelta di quella da sviluppare in base al sistema di serraggio.

Nel sesto viene illustrato il processo di prototipazione e si analizzano i comportamenti del modellino fisico realizzato soffermandosi sulle sue singolarità e sugli effetti dei giochi dei giunti della struttura.

Nel settimo vengono illustrati i vari sistemi di serraggio applicabili, soffermandosi sui punti di forza e debolezza di ognuno fino ad individuarne uno per la struttura.

Nell'ottavo capitolo viene presentata la struttura del modellino finale ed i relativi disegni tecnici.

2 Sistemi cinematici

2.1 Macchine a cinematica parallela e seriale

I robot o più in generale le macchine possono essere suddivise in: macchine a cinematica parallela e seriale.

Un meccanismo viene detto seriale quando è caratterizzato da una struttura aperta ovvero è costituito da membri collegati uno ad uno tra loro da giunti a partire da una base fissa detta telaio fino a terminare in un'estremità libera di muoversi nello spazio.

In questa tipologia di macchina ogni giunto è attivo, ovvero deve essere azionato da un input esterno per far sì che l'estremità libera raggiunga la posizione richiesta.

Solitamente i giunti di queste strutture sono ad un grado di libertà come ad esempio un giunto rotoidale che permette la rotazione attorno ad un solo asse o un giunto prismatico che consente la traslazione lungo un unico asse.

I gradi di libertà totali dei sistemi a cinematica parallela sono tipicamente pari alla somma dei giunti presenti nella struttura, essendo disposti in maniera sequenziali e consentendo un solo grado di libertà.

Alcuni esempi tipici di meccanismo seriale sono i robot industriale SCARA mostrato nella figura 2-1 o più in generale un robot antropomorfo in figura 2-2.



Figura 2-1 robot SCARA della Denso



Figura 2-2 robot palletizzatore della imanpack

Le macchine a cinematica parallela sono caratterizzate da una catena chiusa nella quale a differenza delle macchine seriali i membri non si susseguono ma sono disposti parallelamente a formare un loop chiuso.

In queste tipo di configurazione i corpi si muovono in modo indipendente uno dall'altro e la sua struttura è composta da giunti attivi e passivi, ovvero accoppiamenti che non richiedono input esterni per essere mossi ma che seguono i movimenti che vengono impartiti ai giunti attivi.

Solitamente le strutture a cinematica parallela sono costituite da una piattaforma fissa a telaio ed una mobile connessa alla base da varie gambe con numero uguale di membri e giunti in cui solitamente il numero di gambe corrisponde ad i gradi di libertà totali del sistema.

Ogni gamba è collegata ad un attuatore ed una volta bloccato la struttura diventa isostatica permettendo alle gambe di sostenere i carichi applicati alla piattaforma mobile; l'80% dei robot in commercio sono esapodi e tripodi ovvero sono composti da 6 o 3 gambe.

Identificati dall'acronimo PKM ossia Parallel Kinematics Machines oppure SPM cioè Spatial Parallel Manipulator costituiscono una realtà sempre più diffusa ed utilizzata nei robot industriali; il loro principale utilizzo è da ricercarsi in vari ambiti tra cui quello medico, ottico, industriale, spaziale, militare e nell'intrattenimento.

Alcuni esempi di strutture a cinematica parallela sono il Delta robot riportato in figura 2-3 e la piattaforma di Stewart figura 2-4.



Figura 2-3 Delta robot



Figura 2-4 Piattaforma di Stewart

Oltre ai meccanismi a cinematica parallela e seriale esistono delle strutture ibride chiamate così in quanto contengono degli elementi comuni ad entrambe le tipologie precedenti.

Un esempio di struttura ibrida è quella del Fanuc S-900W, riportato in figura 2-5, la cui struttura è composta alla base da una struttura a cinematica parallela per poi terminare in un braccio libero di muoversi nello spazio a cinematica seriale.

Il vantaggio della struttura ibrida in questo caso permette al robot di supportare carichi maggiori mantenendo la mobilità e la presa tipica di una struttura seriale.



Figura 2-5 robot Fanuc S-900W

2.2 Vantaggi e svantaggi delle strutture a cinematica parallela e seriale

Comparando le macchine a cinematica parallela con quelle seriali ci sono diverse applicazioni in cui sono avvantaggiati gli uni rispetto gli altri; a tale proposito segue un'analisi dei vantaggi e svantaggi di entrambi.

Capacità di carico

Il vantaggio più rilevante dei meccanismi a cinematica parallela è la loro capacità di carico; da qui la loro massiccia presenza in applicazioni nelle quali è necessario sostenere o movimentare carichi gravosi.

Nei sistemi a cinematica seriale il primo elemento mobile collegato alla base sostiene, oltre al peso dell'elemento movimentato dal membro finale libero nello spazio, il peso di ogni componente che si sussegue nella struttura aperta ed il peso totale degli attuatori.

Nei sistemi a cinematica parallela le gambe, lavorando in modo indipendente una dall'altra, sostengono solo una parte del peso totale della struttura.

Per esempio in un sistema esapode, composto da 6 gambe ed 1 giunto attivo, uno per gamba, nella posizione centrale, quella in cui la piattaforma mobile è orizzontale, ogni gamba sostiene $1/6$ del peso totale della struttura.

Oltretutto gli attuatori montati sulla catena aperta dei sistemi seriali contribuiscono ad aumentare il peso totale della struttura mentre nei sistemi paralleli c'è la possibilità di montarli alla base riducendo il peso complessivo della macchina.

Velocità di attuazione

Le configurazioni seriali sono svantaggiate in ambito dinamico in quanto, i corpi in movimento, che si susseguono nella catena aperta, provocano un'ingente aumento degli effetti inerziali.

L'elevata inerzia di questi sistemi risulta un problema per le applicazioni ad alta velocità ed accelerazione come quelle di pick and place.

Nei meccanismi paralleli invece, la possibilità di montare gli attuatori alla base, ed il peso della struttura distribuito su ogni gamba, consente di lavorare con basse inerzie e quindi di compiere operazioni ad alte velocità ed accelerazioni.

Accuratezza di posizionamento

Riguardo l'accuratezza sul posizionamento di robot o macchine ci sono vari fattori che possono comprometterla come ad esempio: l'imperfetta rigidità dei componenti, l'imprecisione degli attuatori, le tolleranze ed i giochi dei vari giunti presenti nella struttura.

Il posizionamento delle strutture parallele è migliore di quelle seriali; anche questo svantaggio è dovuto all'elevato carico a cui sono sottoposti i membri di quest'ultime che, soggette a carichi gravosi, tendono a deformarsi andando a compromettere il posizionamento dell'estremità libera.

Le torsioni ed i pesi gravosi, ai quali sono sottoposte le strutture seriali, aumentano il rischio di deformazione dei componenti della struttura compromettendo l'accuratezza nel posizionamento del membro finale, mentre nelle strutture parallele le sollecitazioni di trazione e flessione lo diminuiscono.

Per ovviare a queste carenze i membri delle macchine seriali sono realizzati in modo tale da lasciare meno incertezze possibili sul posizionamento finale della struttura rendendo la loro realizzazione piuttosto costosa.

Rigidità

La rigidità della struttura è uno degli aspetti più importanti nei robot manipolatori; in quanto va a compromettere l'accuratezza nel posizionamento.

I meccanismi paralleli hanno rigidità maggiore di quelli seriali grazie alla maggior capacità di carico, accuratezza di posizionamento e natura delle tensioni per lo più di trazione o compressione.

Spazio di lavoro

Lo spazio di lavoro è definito come la regione in cui può trovarsi un punto, situato sull'elemento terminale del manipolatore; che per un sistema a cinematica parallela si trova sulla piattaforma mobile.

La dimensione dello spazio di lavoro di una struttura coincide con i gradi di libertà di essa stessa.

Nelle macchine a cinematica parallela lo spazio di lavoro risulta di difficile determinazione in quanto la posizione finale del punto, fissato sulla piattaforma, dipende dall'orientamento della piattaforma stessa.

Ad esempio per i PKM a 6 gradi di libertà lo spazio di lavoro ha 6 dimensioni; la sua rappresentazione è difficoltosa e solitamente ne vengono rappresentati dei sotto-spazi: quello dei punti raggiungibili da una configurazione costante, oppure quello degli orientamenti possibili in un particolare punto assegnato, oppure l'insieme dei punti raggiungibili dal dispositivo tralasciando l'orientamento.

Nelle configurazioni a catena chiusa possono esistere molte situazioni di singolarità, definite come le configurazioni nella quali la velocità di un giunto non è definibile ed i gradi di libertà della struttura variano.

L'estensione dello spazio di lavoro dei meccanismi a cinematica parallela costituisce uno dei suoi svantaggi, in quanto oltre ad essere di difficile determinazione è molto inferiore a quello delle strutture seriali.

Analisi cinematica

Per le strutture seriali l'analisi cinematica da eseguire è quella diretta che permette di conoscere la posizione del membro terminale, nello spazio delle configurazioni, manipolando equazioni che mettono in relazione gli spostamenti dei giunti espressi in coordinate cartesiane.

L'analisi cinematica diretta nei PKM risulta però molto complessa ed alcune volte non si è neanche in grado di determinare a priori quante soluzioni ammetta il problema stesso, come ad esempio nello studio svolto da Ronga e Raghavan nel quale si dimostra come per lo studio tramite cinematica diretta di una Piattaforma di Stewart si ammettano fino a 40 soluzioni.

Per le PKM viene quindi utilizzata un'analisi a cinematica inversa che consiste nel fissare una configurazione finale del manipolatore per poi risalire alle corrispondenti coordinate cartesiane di giunti.

Nei meccanismi seriali l'approccio a cinematica inversa risulta complesso in quanto una certa configurazione finale può essere raggiunta con diverse combinazioni di movimenti da parte dei giunti, o percorsi da parte dei membri che si traduce nella presenza di più soluzioni.

Progettazione

Per le strutture a cinematica parallela il processo di progettazioni può essere in generale suddiviso in quattro fasi:

- 1) Definizione delle specifiche
- 2) Progetto concettuale
- 3) Sintesi dimensionale
- 4) Prototipazione e test

Nella prima fase sono definite le specifiche richieste nella particolare applicazione al fine di determinare caratteristiche fondamentali come: gradi di libertà del sistema o se si necessita di un meccanismo spaziale o piano.

Durante la seconda fase, quella di progetto concettuale, vengono considerate diverse proposte che successivamente vengono confrontate con strutture esistenti.

Qualora queste non risultino adeguate alle esigenze, può essere ideata una nuova struttura.

Nella terza fase denominata di sintesi dimensionale, si definiscono i parametri geometrici della struttura, il posizionamento dei giunti ed il loro orientamento.

Nella quarta ed ultima fase, ovvero quella di prototipazione e test, viene realizzata il prototipo per testare la validità della soluzione proposta.

Altri aspetti da citare per i PKM sono la loro alta frequenza naturale, abbinata all'elevata rigidità e la loro sensibilità agli effetti termici che è necessario soppesare per applicazioni di precisione.

3 Cenni storici sui PKM e tecnologia attualmente presente

3.1 Cenni storici riguardo i PKM

Le strutture a cinematica parallela vengono citate per la prima volta in un articolo risalente al 1813 scritto dal matematico Cauchy che espresse interesse riguardo il possibile moto di un ottaedro articolato.

L'ottaedro di Cauchy destò interesse anche in Gough, ingegnere aeronautico, che nel 1947 lo realizzò per movimentare dei pneumatici durante l'esecuzione di test dinamici finalizzati allo studio dell'usura.

In figura 3-1 viene riportata una foto del primo esapode, ovvero robot a sei arti, realizzato da Gough.

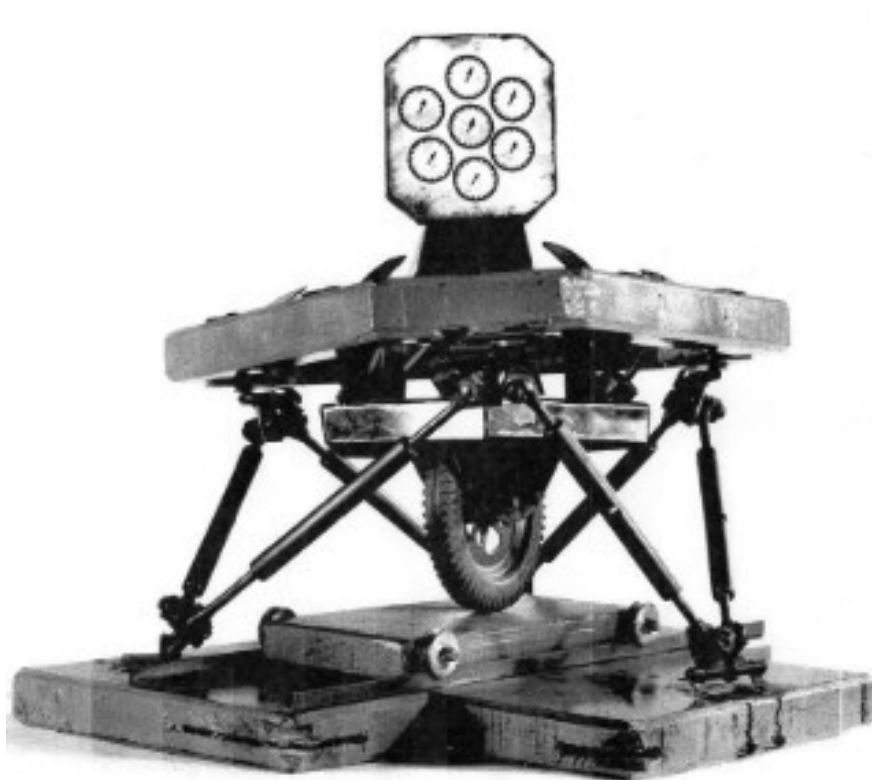


Figura 3-1 Esapode di Gough

Nel frattempo Pollard, ingegnere automobilistico, brevettò nel 1942 un dispositivo di verniciatura a struttura cinematica parallela denominato Tripode, che pur non essendo mai stato realizzato viene tutt'ora considerato la prima proposta di robot parallelo.

Nel 1965 fu pubblicato un importante articolo da Stewart, che propose l'adattamento dell'esapode di Gough come simulatore di volo.

La pubblicazione illuminò il mondo scientifico sulle potenzialità di questa nuova tipologia di meccanismi tanto che vennero chiamati Piattaforme di Stewart, anche se molto spesso la struttura utilizzata risulta più simile all'esapode di Gough.

In figura 3.2 viene riportato il modello di simulatore di volo di Stewart mentre nella 3.3 ne viene rappresentato uno moderno.

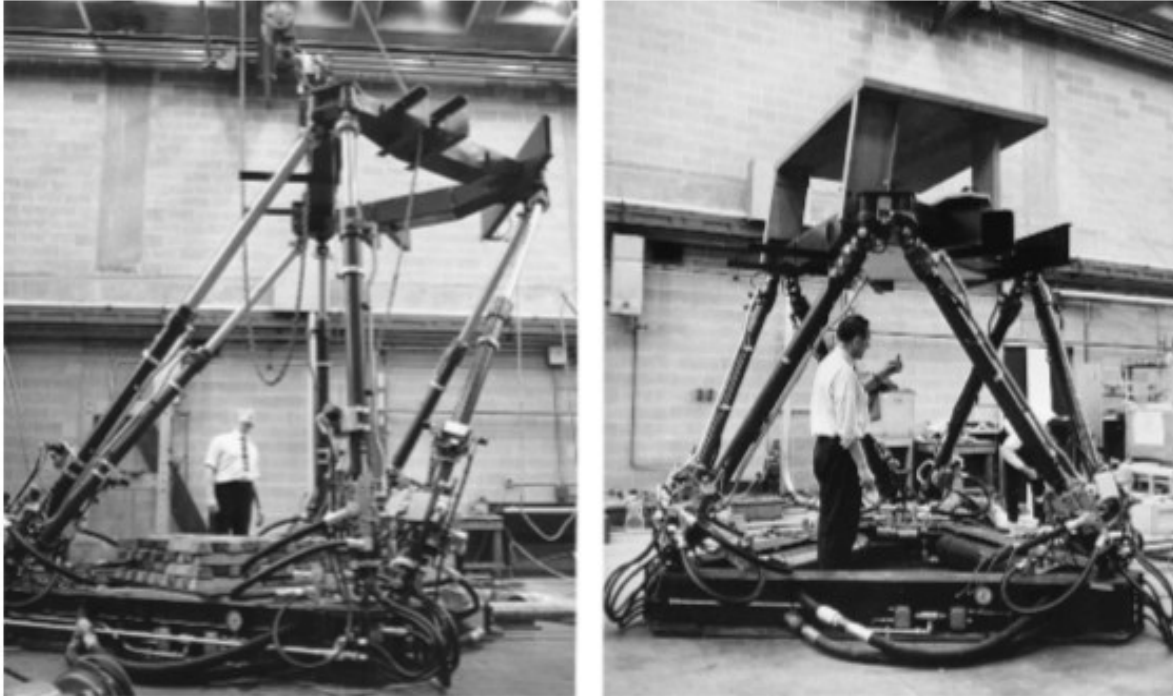


Figura 3-2 Primo simulatore di volo



Figura 3-3 Simulatore di volo moderno

L'effettivo sviluppo della tecnologia fu però frenata dalla grande complessità delle relazioni cinematiche, che rendevano difficoltoso lo studio dei meccanismi e quasi impossibile la realizzazione di un efficiente sistema di controllo per la loro movimentazione.

Un reale interesse industriale per questo tipo di macchine si manifestò a partire dalla fine degli anni '80.

Nel 1994 all' IMTS di Chicago venne portato in esposizione il primo esemplare di macchina parallela: il Variax, robot di fresatura della Giddings and Lewis con struttura 6SPS, mostrato in figura 3.4.

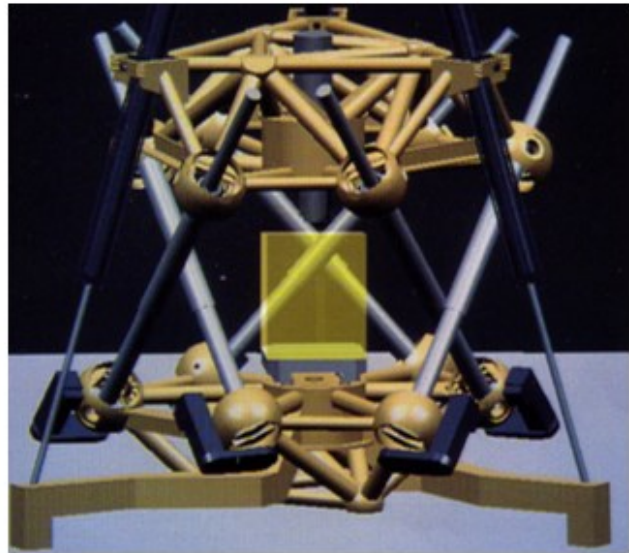
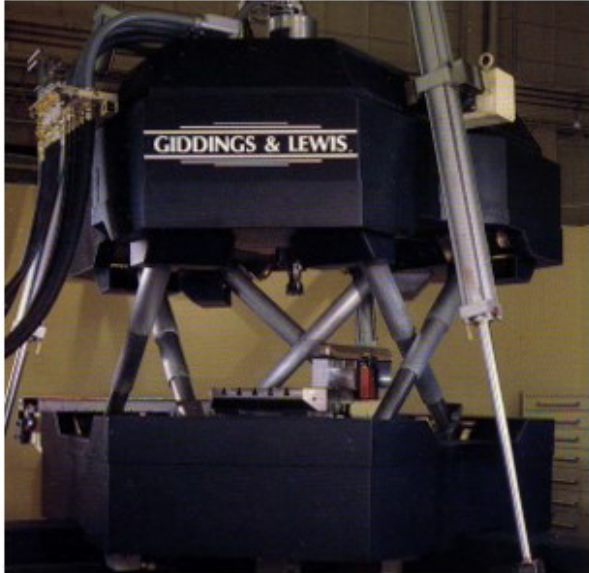


Figura 3-4 Variax di Giddings & Lewis

Pertanto ci vollero 30 anni perché la primitiva idea proposta da Steward nel suo articolo del 1965 arrivasse a vedere un'effettiva realizzazione industriale; da allora la produzione di nuove macchine a cinematica parallela è aumentata progressivamente.

L'interesse per le macchine a cinematica parallela è particolarmente vivo negli anni 90 come testimoniato dagli esemplari esposti alle più importanti fiere delle macchine utensili; all'EMO vengono presentate: la Geodetic nel 1995, ben 11 macchine a cinematica parallela nel 1997 e molti altri prototipi nel 1999 mentre all'IMTS fu presentata la macchina di Giddings and Lewis nel 1994.

Infine, non si può omettere il lavoro del Professor Reymond Clavel, Direttore dell'Institut de Systemes Robotiques della Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne in Svizzera, che, sviluppando ricerche nel campo dei robot a lavorazioni a brevissimo tempo ciclo inventò negli anni '80 il Delta robot grazie al quale vinse nel 1999 il prestigioso premio Golden Robot Award.

Il Delta robot realizzato, su licenza, dapprima dalla Demarex Robotique & Microtechnique e poi ceduto ad altre importanti società come: la Abb Flexible Automation che lo realizzò nel 1999 con il nome di FlexPicker per operazioni di prelievo e imballaggio robotizzato ad alta velocità, la Hitachi che lo utilizzò come macchina per la foratura di precisione fino ad arrivare nel 2017 in cui la Harvard's Microbotics Lab ne riproduce una versione miniaturizzata da 15mm X 15mm X 20mm, capace di muoversi ad una velocità di 0.45 m/s con un'accelerazione di 215 m/s², riportato in figura 3.5.

Il Delta robot viene utilizzato tutt'oggi nei settori più disparati: da quello del packaging a quello medico per eseguire operazioni ad alta precisione; dall'applicazioni nelle interfacce aptiche a quelle delle stampanti 3D.

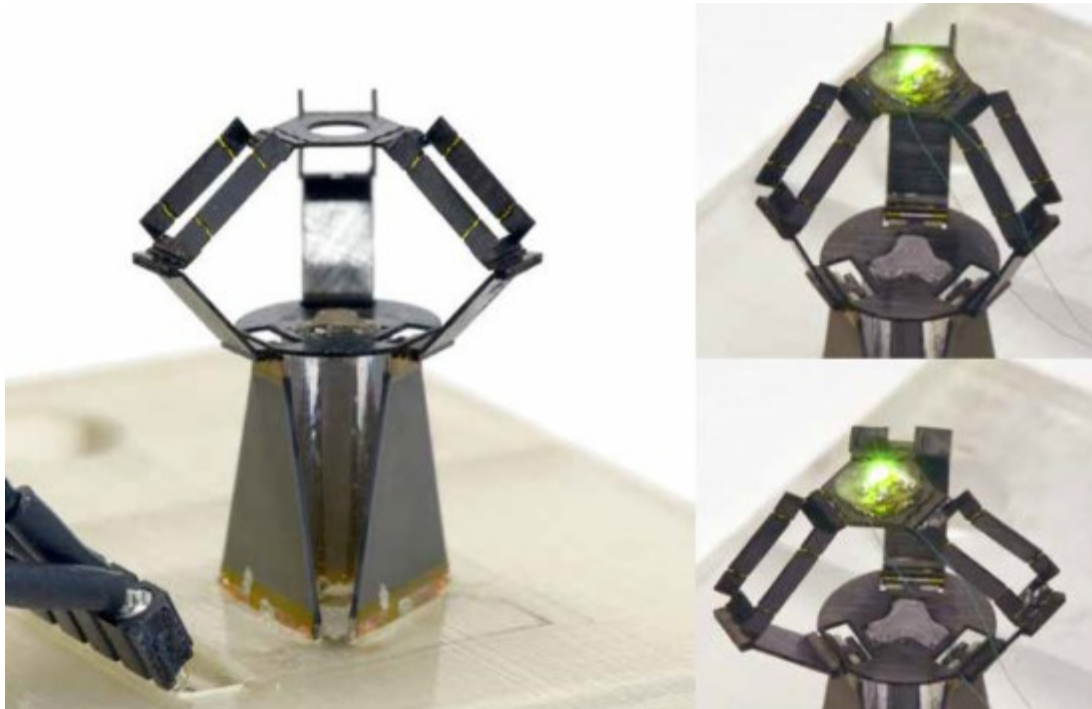


Figura 3-5 Millidelta robot

D'importanza rilevante è inoltre il Tricept, robot ideato da Karl-Erik Neumann presidente e fondatore della svedese Neos Robotica, costruito per la prima volta nel 1989; diventato una realtà commerciale solamente nel 1992 abbinato al controllo multi-processore della Comau.

Il Tricept attualmente prodotto dalla SMT Tricept e dalla ABB Flexible Atomation è utilizzato per operazioni di foratura e fresatura.

In figura.3.6 viene mostrato un'esemplare di Tricept.



Figura 3-6 Tricept T606

3.2 Suddivisione dei PKM

Per quanto riguarda le strutture dei PKM, pur essendo modulari e ripetibili, vantano un'ampia varietà di architetture.

Le cosiddette architetture dei PKM fanno riferimento alla disposizione, tipologie e numero di coppie utilizzate; tipicamente: rotoidali, prismatiche, cilindriche, sferiche e universali.

Come già evidenziato in precedenza, solitamente il progettista sceglie la struttura da utilizzare selezionandola da architettura già esistenti.

Esistono varie tipologie di classificazioni dei PKM che fanno riferimento rispettivamente: alla tipologia del moto generato dalla macchina, ai gradi di libertà del manipolatore e alla sequenza dei giunti che collegano la base fissa a quella mobile.

Le strutture a 3 DOF vengono classificate a seconda del tipo di moto prodotto: puramente planari, spaziali di pura traslazione, rotazionali oppure moti ibridi non approfonditi in questa trattazione.

Le strutture a 6 DOF offrono moti spaziali e vengono classificate in base al tipo di sequenza di coppie cinematiche che caratterizzano la struttura delle gambe; possiamo suddividerle in robot a catena UPS, PUS, RUS, RPRS e robot a catena mista.

Le lettere che compongono gli acronimi che denominano il tipo di catene fanno riferimento a: P: giunto prismatico, S: giunto sferico, R: giunto rotoidale, U: giunto universale e Pa: giunto a parallelogramma; inoltre un giunto universale, avendo la stessa mobilità di due giunti rotoidali, con assi di rotazione perpendicolari, può anche essere indicato come RR al posto U e viceversa.

Oltre alle strutture a 6 e 3 gradi di libertà sono presenti anche quelle a 4 o a 5 che però non vengono citate nella seguente trattazione.

3.2.1 Manipolatori paralleli a 3 gradi di libertà

3.2.1.1 3 DOF manipolatori per moti planari

I manipolatori planari a 3 gradi di libertà sono quelli la cui piattaforma mobile può compiere movimenti in un unico piano ed in particolare traslare lungo gli assi x e y e ruotare attorno all'asse z perpendicolare al piano.

Questa tipologia di struttura, se caratterizzata da un ugual numero di gradi di libertà e gambe, vanta 3 catene cinematiche indipendenti controllate da 3 differenti attuatori.

Le catene cinematiche sono collegate a terra in 3 punti ed in ugual numero di punti alla piattaforma mobile, che può essere considerata di forma triangolare.

La classificazione di tali strutture fa riferimento alla sequenza di giunti che le contraddistinguono; in particolare abbiamo catene cinematiche del tipo: RRR, RPR, RRP, RPP, PRR, PPR, PRP; rappresentate in figura 3.7.

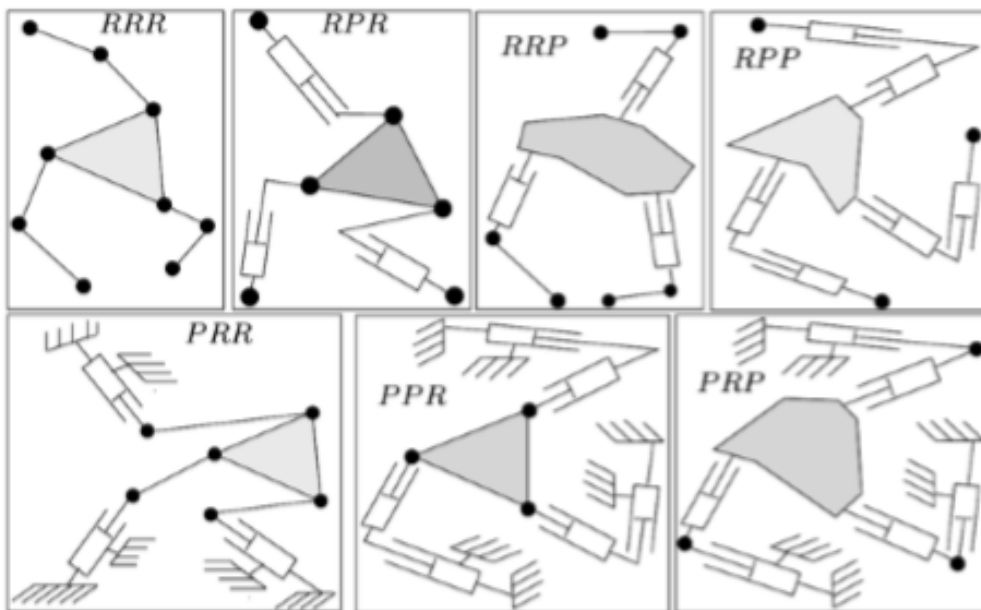


Figura 3-7 Le differenti catene cinematiche di una struttura planare

Come si può notare dalla figura sovrastante la struttura della catena cinematica RRP è equivalente a quella della PRR se si inverte la piattaforma mobile con quella fissa; la stessa cosa vale per le catene RPP e PPR.

Come solitamente accade per i PKM, gli attuatori dei 3 DOF planari, vengono posti in corrispondenza della base fissa per non appesantire la struttura.

Le problematiche e caratteristiche di robot 3RRR vennero studiate in maniera estesa da Kassner and Gosselin e Duffy pubblicò un'analisi statica sull'argomento; inoltre un robot del tipo 3-PRR fu menzionato da Hunt che ne studiò le caratteristiche e fu proposto come robot ad alta velocità.

La compagnia Hephaist Seiko usò l'architettura del 3-PRR per costruire il NAF3 mostrato in figura 3.8; questa compagnia giapponese propose la struttura per operazioni di micro posizionamento vantando un'ottima rigidità grazie al posizionamento degli attuatori su di un unico telaio rigido.

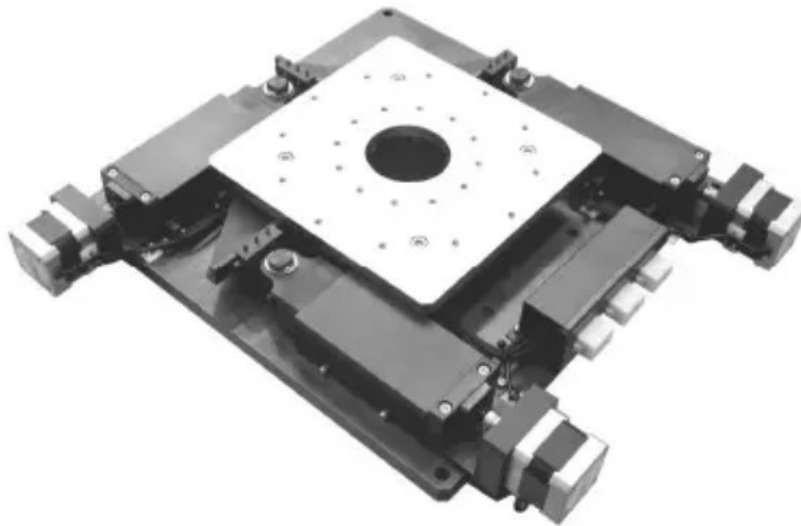


Figura 3-8 Manipolatore 3-PRR NAF3 della Hephaist Seiko

Oltre alle catene cinematiche elencate in precedenza, esistono strutture le cui gambe non sono collegate tutte allo stesso modo alle due basi fissa e mobile.

Un esemplare appartenente a questa famiglia a cinematica mista è il modello riportato in figura 3.9 proposto dal dipartimento di Ingegneria meccanica di McGill University, Montreal, QC, Canada e da quello dell'École de Technologie Supérieure costituito da due bracci PRP e un PPR.

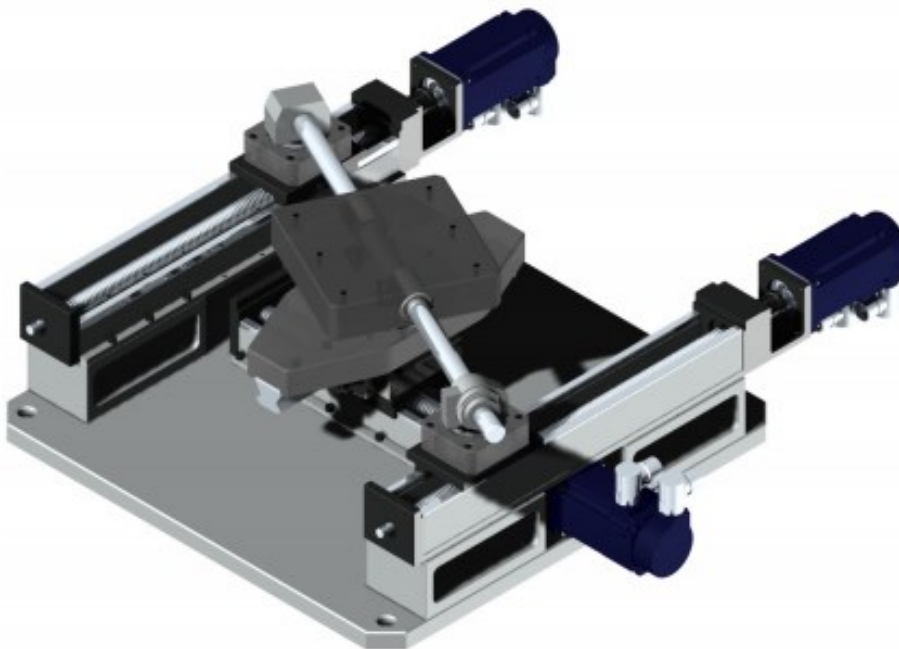


Figura 3-9 Manipolatore 3DOF a catene cinematica mista

3.2.1.2 3 DOF manipolatori per moti spaziali di pura traslazione

Nel corso degli anni molti studiosi hanno ritenuto opportuno approfondire lo studio dei sistemi che hanno come output moti di pura traslazione spaziali, caratterizzati da costi inferiore rispetto ai robot 6 DOF e da strutture meno complesse.

Il manipolatore parallelo di pura traslazione a 3 DOF più famoso in assoluto è il Delta robot proposto nel 1988 dal Professor Reymond Clavel, Direttore dell'Institut de Systemes Robotiques della Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne in Svizzera.

Il Delta robot ha come tratto caratteristico l'uso della figura geometrica del parallelogramma.

La struttura del Delta robot è costituita da una combinazione spaziale di parallelogrammi articolati che consente all'output link di mantenere un'orientazione fissa rispetto all'input link togliendo così i 3 gradi di libertà relativi alle rotazioni.

Il robot è composto da: una piattaforma fissa detta base, un sistema di leve rotanti, collegate alla base e agli input link costituite da tre parallelogrammi, azionati da motori rotoidali o da attuatori lineari; i modelli azionati da attuatori lineari vengono solitamente chiamati Linapod o linear Delta.

Gli attuatori posizionati sulla base ed i bracci costruiti con materiali compositi consentono alla struttura di raggiungere accelerazioni notevoli e fanno in modo che le masse in movimento siano ridotte facendo diminuire l'inerzia della struttura.

Le accelerazioni raggiungibili sono di 50g in applicazioni sperimentali mentre in quelle industriali raggiungono i 12g; lo spazio di lavoro è cilindrico con un diametro di 1 m ed un'altezza di 0,2.

In figura 3.10 ne viene rappresentato un'esemplare.

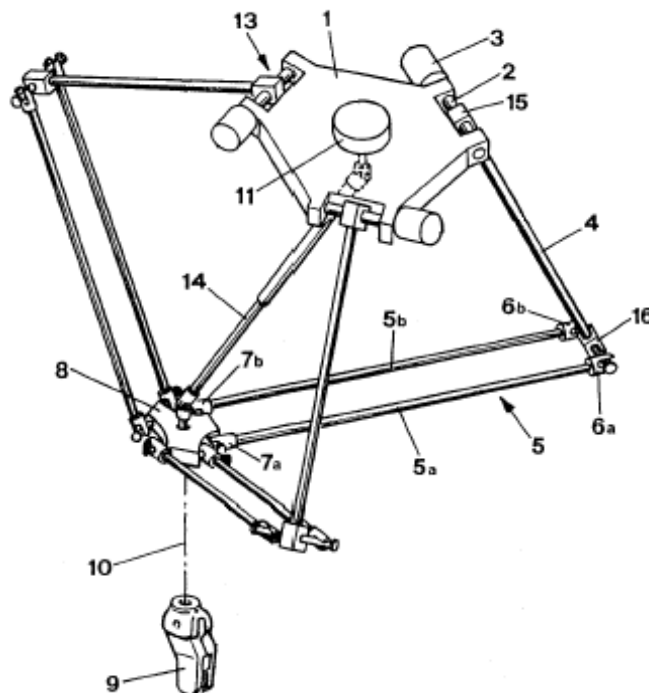


Figura 3-10 Delta di Clavel

Fa parte di questa famiglia anche lo Star robot, mostrato in figura. 3.11, movimentato da attuatori rotoidali che azionano una guida lineare alla quale sono collegate le gambe della struttura connesse a loro volta alla piattaforma mobile da giunti rotoidali; a differenza del Delta robot la struttura è sovraincolata dato che ogni gamba vincola di 2 gradi di libertà rotazionali la piattaforma.

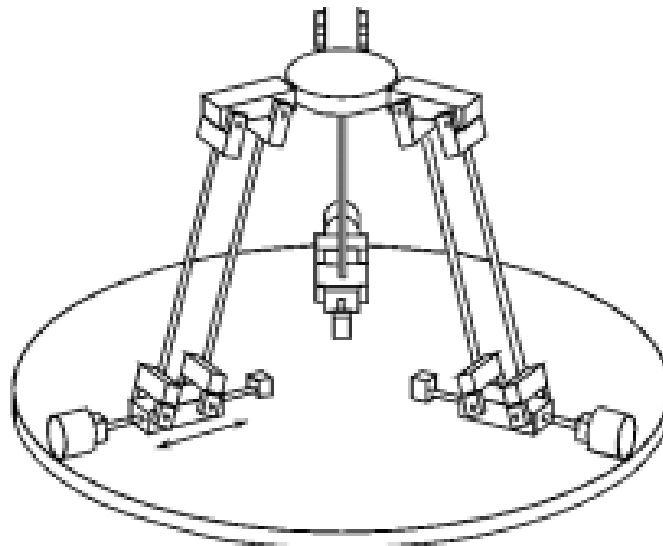


Figura 3-11 Star robott

Un'esemplare simile al Delta robot è inoltre il Triax proposto da Paul Sheldon sulla scia degli studi condotti da Giddings and Lewis riguardanti il Variax, allo scopo di ampliare l'utilizzo delle strutture a cinematica parallela nelle lavorazioni con macchine utensili.

Quest'ultima tipologia di struttura, figura 3.12, se pur così simile al Delta robot, ha uno schema di attuazione totalmente differente.

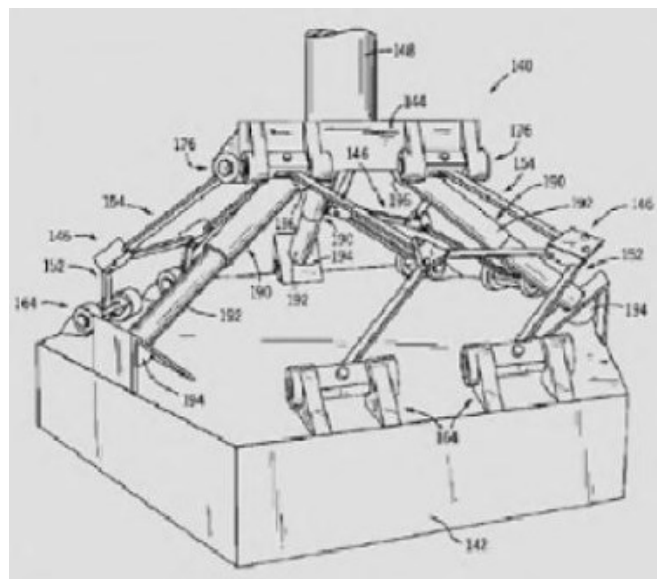


Figura 3-12 Triax by Paul Sheldon

Un modello da aggiungere al medesimo sottogruppo è l'Orthoglide dotato di gambe fisse composte da catene cinematiche identiche, del tipo PRPaR ovvero: partendo dal telaio fisso, giunto Prismatico, Rotoidale, a Parallelogramma ed uno Rotoidale.

L'Orthoglide, grazie alla sua particolare struttura priva di auto-intersezioni e di configurazioni singolari, viene utilizzato in varie macchine utensili; un'esemplare di questo tipo viene rappresentato in figura 3.13.

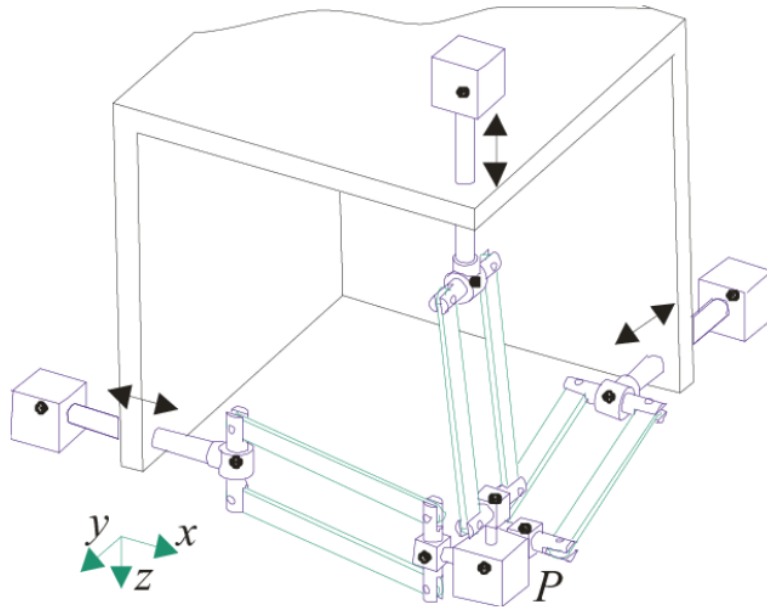


Figura 3-13 rappresentazione schematica di un Orhglide

Un'ulteriore tipologia di struttura per moti spaziali di pura traslazione è la 3-UPU diventata popolare grazie alle pubblicazioni di Tsai a fine anni 90, anche se era presente già nel '92 un brevetto depositato da Appleberry.

Il 3-UPU è un acronimo che sta ad indicare i 3 gradi di libertà della struttura e la disposizione dei giunti partendo dalla base.

Com'è possibile notare in figura 3.14 la struttura del 3UPU è composta da: una base fissa collegata alle tre gambe da un giunto universale (U); le quali possono variare la propria lunghezza grazie ad un accoppiamento prismatico (P) e che terminano in un giunto universale (U) che le collega alla piattaforma mobile.

Nel 3-UPU solamente i giunti prismatici sono attivi mentre i restanti giunti universali sono passivi e non fanno altro che assecondare i movimenti imposti dai giunti prismatici.

La particolare disposizione dei giunti universali fa sì che la piattaforma mobile mantenga un'orientazione fissa e possa solamente traslare nelle 3 direzioni.

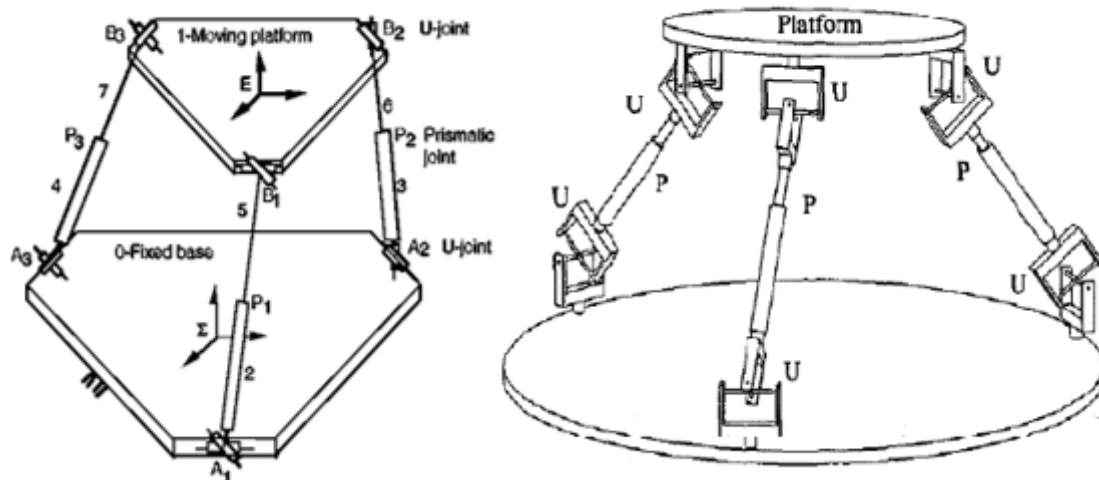


Figura 3-14 3UPU di Tsai

La disposizione che permette al 3-UPU di eseguire movimenti puramente traslazionali è quella con: l'asse di rotazione del giunto universale, alla base rigida, parallelo a quello della base mobile e gli assi intermedi dei giunti prismatici paralleli tra di loro; inoltre tipicamente vengono disposti i giunti all'estremità della struttura in modo tale che i loro tre assi di rotazioni si intersechino in 3 punti.

3.2.1.3 3 DOF manipolatori per moti spaziali di rotazione

In questa categoria si possono individuare due principali tipologie di manipolatori rotazionali: quelli che consentono la rotazione della piattaforma mobile rispetto ad un unico punto detto N rappresentato dall'intersezione dei tre assi di rotazioni dei tre giunti rotoidali posizionati sulla base mobile e quelli che attuano le 3 rotazioni nello spazio di lavoro della piattaforma mobile attorno ad un asse che contiene un punto prestabilito N.

Alla prima tipologia di manipolatori citata appartengono i meccanismi a catene sferiche; tipicamente costituiti da tre link azionati da attuatori rotoidali i cui centri di rotazione convergono in un unico punto N.

Il polso sferico menzionato da Gosselin e studiato da Alizade and Leguay and Reboulet viene rappresentato in figura 3.15.

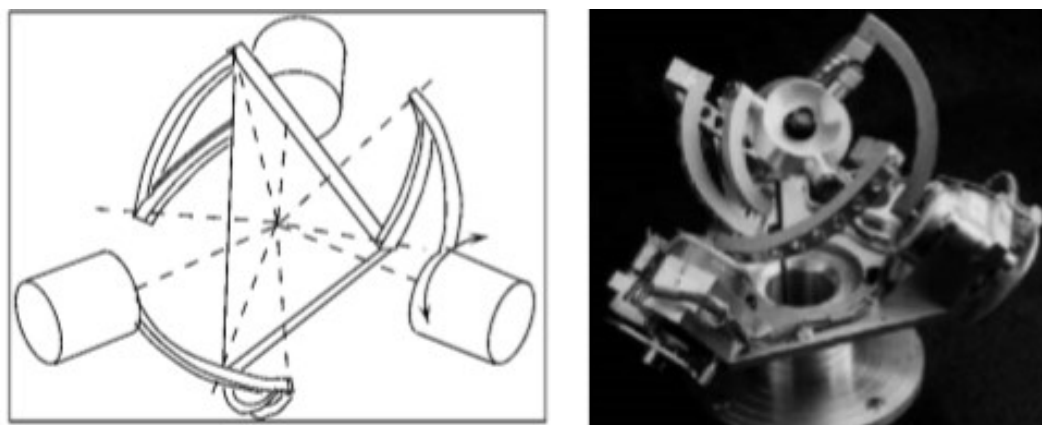


Figura 3-15 Agile Eye polso sferico di Gosselin

Altro componente della prima tipologia è il manipolatore 3UPU, descritto in precedenza, in una delle sue particolari configurazioni mostrata in figura 3.16; la configurazione che permette di comportarsi come un manipolatore di pura rotazione impone che : i tre assi di rotazione delle coppie rotoidali, fissate alla base mobile, convergano in un punto appartenente ad essa, in ogni catena gli assi di rotazione delle coppie intermedie siano paralleli tra loro e che il punto di intersezione degli assi di rotazione delle coppie rotoidali fissate alla piattaforma mobile coincida con quello d'intersezione dei giunti rotoidali situati sulla piattaforma fissa.

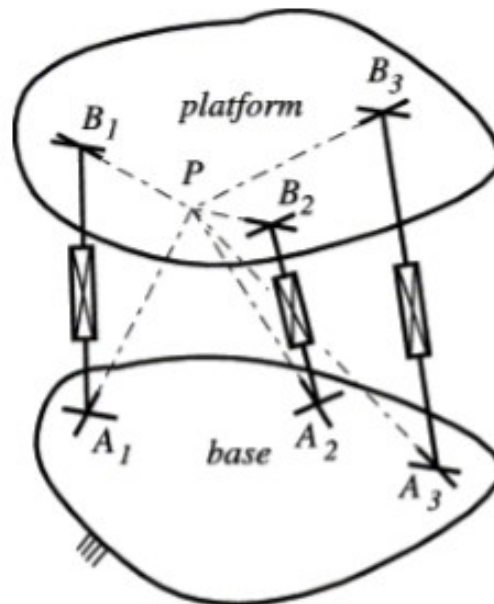


Figura 3-16 3-UPU di sola rotazione

Un ulteriore esemplare della prima categoria descritta è il Vertical Motion Simulator (VMS) utilizzato dalla NASA; il robot è composto da tre catene del tipo: RRPS ed un link aggiuntivo inestensibile collegato al centro della piattaforma tramite giunto sferico che funge da perno per la rotazione della struttura attorno ad un punto N.

In figura 3.17 viene riportato uno schema ed una foto di questa particolare piattaforma.

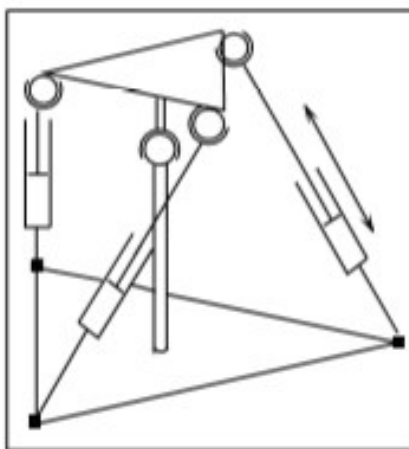


Figura 3-17 Vertical Motion simulator

3.2.2 Manipolatori paralleli a 6 gradi di libertà

Come accennato all'inizio del sotto capitolo 2.2 le strutture a 6 DOF vengono classificate in base al tipo di sequenza di giunti che compongono le gambe che collegano la base fissa a quella mobile; anche detta catena.

Le architetture attualmente presenti per i PKM a 6 gradi di libertà sono la UPS, PUS, PUS, RUS e quelle a catena mista; queste tipologie di catene sono sostanzialmente identiche dal punto di vista della mobilità della piastra, quindi un qualsiasi giunto P può essere sostituito da un R e viceversa, ma hanno caratteristiche differenti una dall'altra a livello di prestazioni.

Le catene descritte nei seguenti sotto capitoli e mostrate in figura 3-18 fanno tutte parte della classe delle piattaforme di Gough.

In ogni struttura, con stesse catene, è presente un solo giunto attivo mentre gli altri si comportano passivamente, inoltre in ogni catena c'è un solo attuatore e quindi in una struttura di questo genere il numero di attuatori totali sarà uguale a quelle delle catene che la compongono.

L'attuatore può essere in uno qualsiasi dei giunti della catena ma è conveniente posizionarli sui giunti in corrispondenza della base fissa in modo tale da non aumentare le inerzie della struttura, appesantendola e rendendola più lenta.

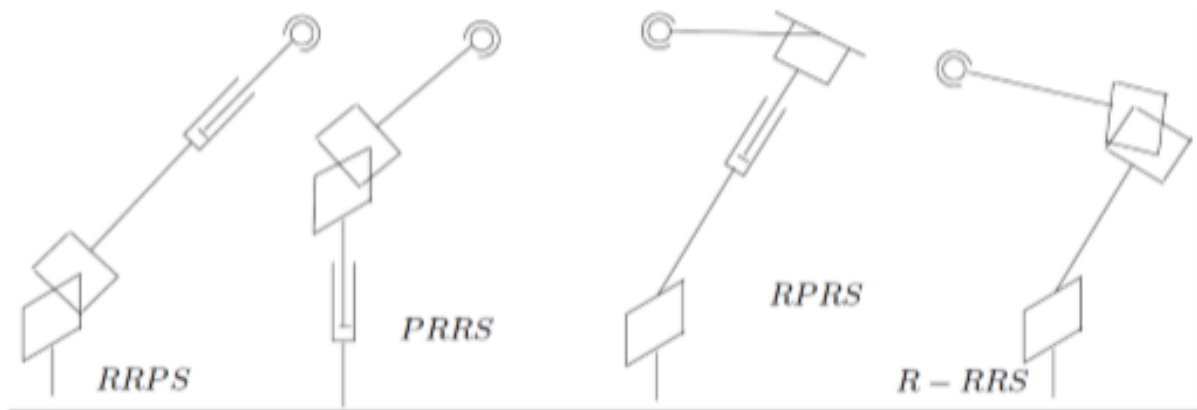


Figura 3-18 Differenti tipi di catene costituiti da giunti prismatici, universali e sferici

3.2.2.1 Manipolatori 6 UPU

Questo tipo di architettura è quella più frequentemente utilizzata, chiamata solitamente piattaforma di Gough, piattaforma di Stewart, 6-6 robot o 6-UPS robot.

Come si può notare in figura 3-19 riportata qui sotto la struttura è costituita da una piattaforma rigida connessa a quella mobile da 6 gambe.

Ogni gamba presenta la stessa struttura costituita da: un giunto universale che la connette alla piattaforma fissa, un giunto sferico che la connette dall'altro estremo alla piattaforma mobile ed un giunto prismatico che consente alla gamba di variare la sua lunghezza.

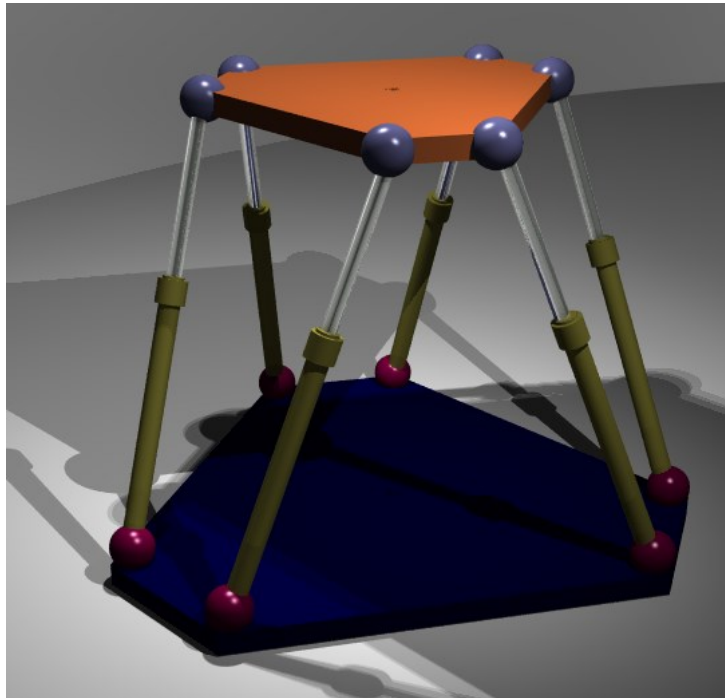


Figura 3-19 Rappresentazione semplificata della Piattaforma di Stewart

La sua particolare struttura a gambe estensibili gli permette di compensare eventuali errori durante il posizionamento e non di sommarli come avviene per le strutture a cinematica seriale; inoltre grazie ai suoi vantaggi, tipici delle strutture a cinematica parallela, viene utilizzata nei simulatori di volo e nelle lenti elettrostatiche.

In figura 3-20 viene mostrato un esemplare di simulatore di volo utilizzato da una compagnia aerea.



Figura 3-20 Piattaforma di Stewart utilizzata come simulatore di volo

3.2.2.2 Manipolatori 6 PUS

Il primo esemplare di quest'architettura è l'active wrist brevettato dall' INRIA, mostrato in figura 3-21, la differenza più significativa rispetto ai manipolatori 6UPU e 6PUS è la lunghezza fissa delle gambe e gli attuatori lineari che generano il movimento.

In questi esemplari la base fissa, movimentata da attuatori lineari, è connessa alle gambe tramite giunti universali che a loro volta sono collegati alla base mobile da dei giunti sferici.

Gli PUS hanno prestazioni eccellenti in termini di movimentazioni veloci e precisione rispetto alle strutture UPU, inoltre la probabilità di interferenza tra le gambe è molto più basse di quella degli esapodi grazie alla loro lunghezza costante delle gambe.

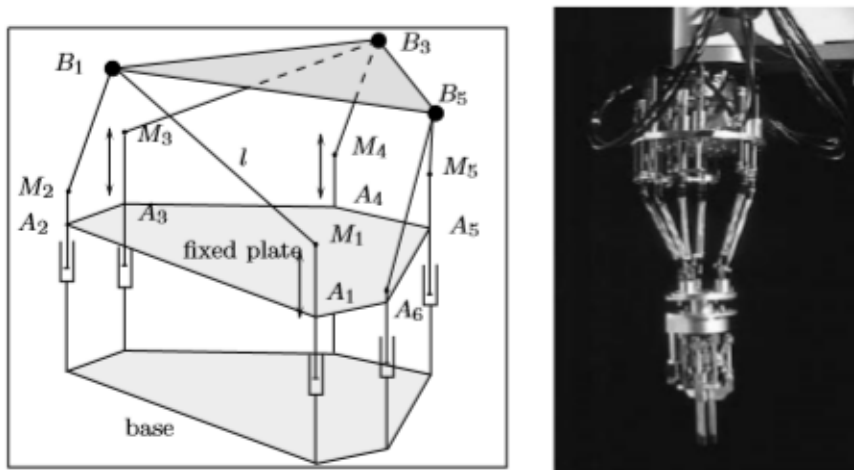


Figura 3-21 Active wrist

Gli UPS possono presentarsi in svariate configurazioni andando semplicemente a variare l'inclinazione della direzione di scorrimento degli attuatori lineari rispetto alla base fissa come mostrato in figura 3-22.

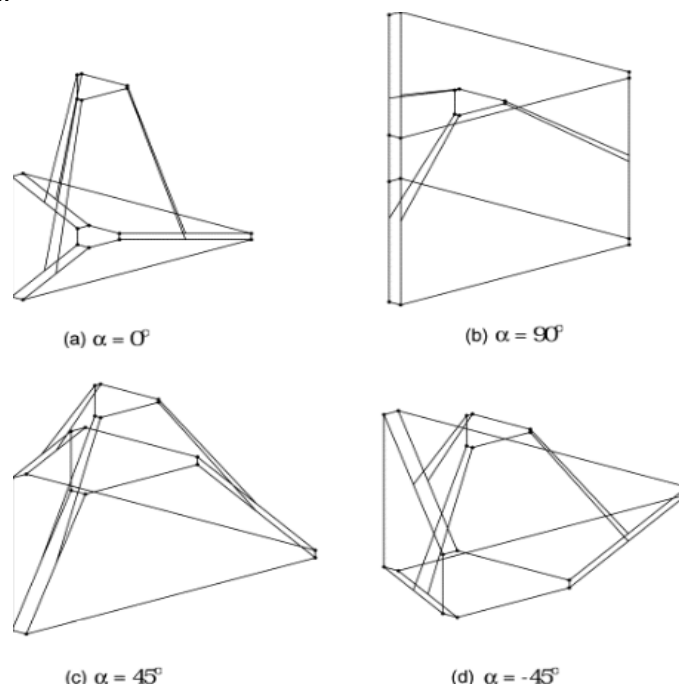


Figura 3-22 Architetture PUS in differenti configurazioni

Ad esempio la configurazione a) viene utilizzata nel robot denominato Hexasilde, la b) nel Lineapod e la c) nell' Hexapod e nell'HexaM.
Oltre a queste esiste un'altra tipologia di configurazione degna di nota: l'Hexaglide mostrato in figura 3-23.

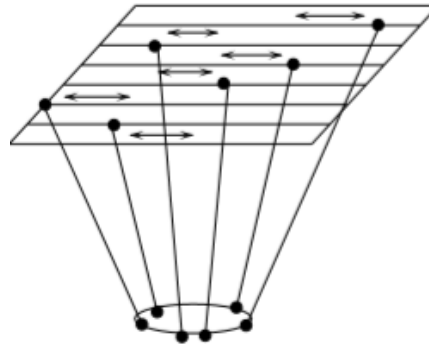


Figura 3-23 Struttura schematica del robot Hexaglide

3.2.2.3 Manipolatori 6 RUS

Un' ulteriore architettura a 6 gradi di libertà è la 6-RUS; il primo robot con questa configurazione fu proposto da Hunt con dei giunti rotoidale attivi, mostrato in figura 3-24 a); successivamente Pierrot e Uchiyama proposero l' Hexa robot mostrato in figura 3-24 b). Entrambi gli esemplari risultano degli ottimi robot per operazioni di pick and place, ma non per operazioni ad alti carichi essendo i giunti rotoidali posizionati ad angolo nel mezzo delle gambe soggetti ad alti momenti angolari.

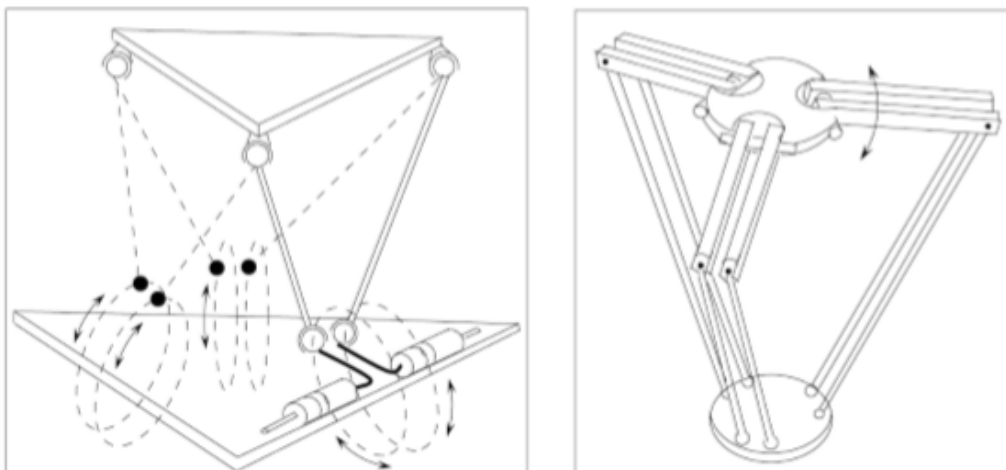


Figura 3-24 a) manipolatore 6-RUS di Hunt b) Hexa robot

4 Definizione dei parametri significativi per lo sviluppo progettuale

4.1 Sistema attualmente in uso

Come accennato nell'introduzione lo scopo della tesi è quello di trovare un sistema di regolazione, alternativo a quello attualmente in uso, di un organo di piegatura costituito da una serie di palette presente all'interno di una macchina sacchettatrice nella posizione evidenziata in giallo nella panoramica di macchina riportata in figura 4-1.

La macchina sacchettatrice del caso in esame è costituita da varie stazioni al suo interno; alimentata da lembi di carta svolti da una macchina posizionata sulla stessa linea; la prima operazione che svolge è quella di piegatura ed incollaggio in direzione longitudinale della carta a formare un tubolare, successivamente il tubolare viene fatto avanzare verso il gruppo di taglio in cui il lembo viene tagliato delle dimensioni finali del sacchetto.

Il tubolare viene trasportato poi alla stazione di apertura del fondo nella quale un sistema di rulli sui quali è posizionata una ventosa, apre il tubolare portando così uno de due lembi in una posizione sollevata; quest'ultimo va a collidere con la paletta centrale, dell'organo di piegatura, mentre i due lembi laterali del tubolare vengono premuti verso il basso dalle palette laterali dello stesso organo.

Il tubolare così formato segue la rotazione del cilindro per produzione fondo, controrotante rispetto ai rulli della stazione di apertura, per poi essere impregnato da colla per mezzo di un ulteriore rullo; Il fondo viene infine ripiegato su sé stesso e chiuso.

Il sacchetto così formato segue il movimento del cilindro di deposito che lo dispone in un'area di raccolta.

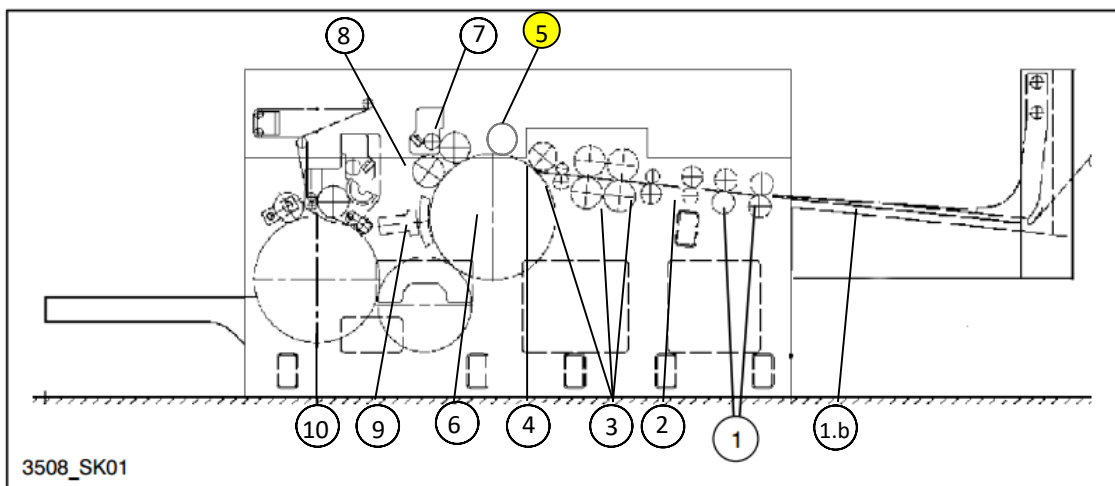


Figura 4-1 Panoramica di macchina

1.b	Formatura del tubolare	6	Cilindro per produzione fondo
1	Gruppo di avanzamento del tubolare	7	Servoincollaggio fondo
2	Gruppo di taglio del sacchetto	8	Dispositivo di piegatura fondo
3	Trasporto ausiliario	9	Servochiusura del fondo
4	Stazione di apertura del fondo	10	Cilindro di deposito
5	Organo di piegatura palettato		

L'organo di piegatura palettato in esame è raffigurati all'interno della macchina sacchettatrice nelle seguenti figure 4-2 e 4-3.

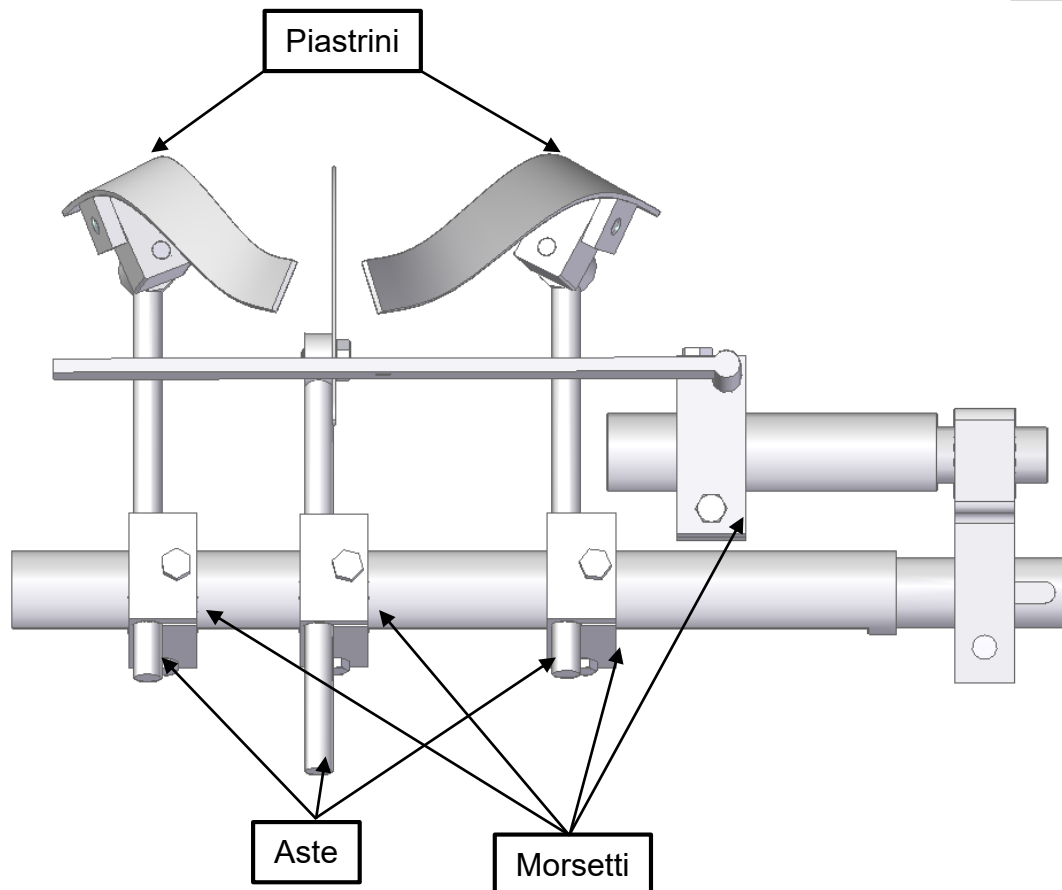
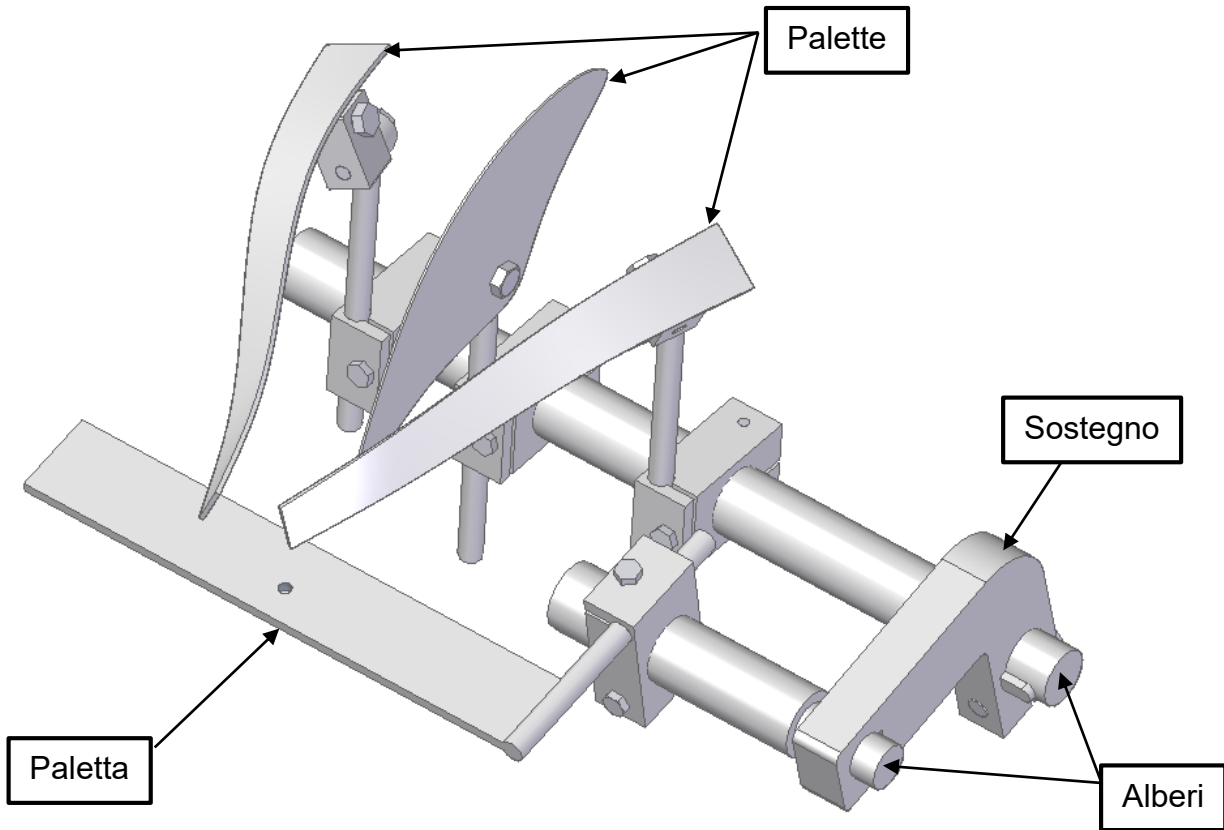


Figura 4-2 Palette all'interno della macchina



Figura 4-3 Palette all'interno della macchina

L'organo nel suo complesso è costituito da quattro palette alle sue estremità, una parte fissa a telaio composta da due alberi connessi da un sostegno comune, quattro morsetti, tre aste con terminale ad anello e due piastrini filettati in direzioni ortogonale una all'altra.



La paletta orizzontale costituisce una battuta alla carta precedentemente piegata dalle palette precedenti.

Ogni paletta viene regolata andando ad agire sulle viti che vanno a serrare i morsetti sulle aste o che bloccano la rotazione dei piastrini rispetto alle aste.

I morsetti collegati all'albero, non serrati, possono traslare e ruotare attorno all'asse dell'albero, inoltre permettono alle aste collegate ad esso di traslare in direzione ortogonale all'asse dell'albero e di ruotare attorno al proprio asse.

I piastrini collegati alle due aste e palette esterne se non serrati possono ruotare attorno all'asse dell'anello terminale delle aste e far ruotare la paletta attorno all'asse della vite che lo collega al piastrino.

Di seguito vengono elencati i possibili movimenti delle palette rispetto ai loro rispettivi sistemi di coordinate evidenziati nella seguente figura 4-4.

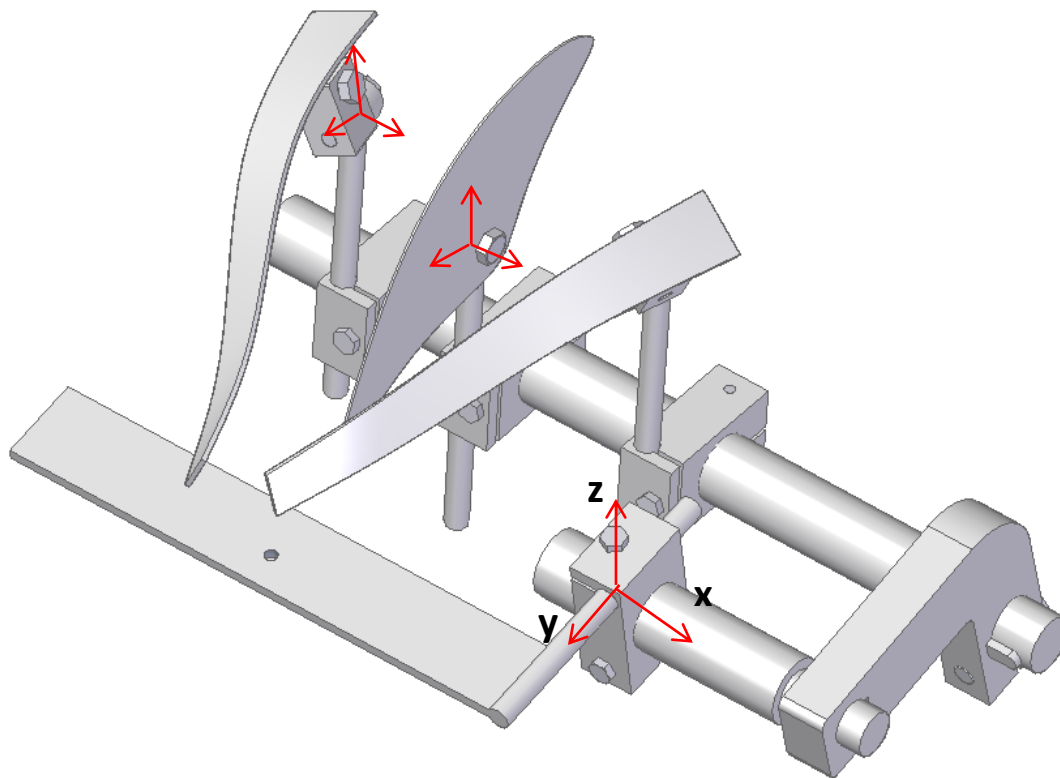


Figura 4-4 Modello 3D dell'organo palettato

La paletta posta in orizzontale può spostarsi lungo l'asse x, y e ruotare attorno a x e y, vantando così 4 gradi di libertà.

La paletta posta in posizione centrale può traslare lungo x, z e ruotare attorno agli assi x e z, vantando anch'essa 4 gradi di libertà.

Le palette poste agli estremi possono traslare lungo x, z e ruotare attorno a x, y e z; la traslazione lungo y è generata dal movimento combinato di traslazione z e la rotazione attorno all'asse x, i movimenti indipendenti sono 5 ma la mobilità della struttura si sviluppa nelle 6 direzioni dello spazio, che è quello che si vuol garantire; per cui i gradi di libertà da raggiungere per il nuovo sistema di regolazione sono 6.

La regolazione più complessa risulta essere quella delle palette laterali essendo quelle che vantano un maggior numero di gradi di libertà.

Il sistema così costituito presenta alcuni svantaggi:

- Eccesso di tempi morti legati al ciclo produttivo, in quanto il tempo speso per la regolazione, in condizioni di sicurezza, si traduce in una riduzione del periodo di funzionamento della macchina.
- Eccesso di tempi a valore non aggiunto legati al lavoro dell'operatore, in quanto la regolazione tramite serraggio di viti e spostamento di morsetti e aste, si traduce nell'impiego di un tempo eccessivo dell'operatore addetto.
- Manovra di regolazione in condizioni di non sicurezza, in quanto la regolazione avviene il più delle volte a macchina accesa, per cercare di contenere i tempi morti e per testare immediatamente la regolazione.
- L'utilizzo eccessivo di componentistica, in quanto a causa del complesso sistema di regolazioni vengono utilizzati più organi dello stesso genere e sostituiti volta per volta in base alla tipologia di sacchetto da realizzare.

4.2 Definizione delle specifiche

Per le precedenti motivazioni l'utilizzo di un sistema alternativo di regolazione è indispensabile ed in particolare lo è una struttura che permetta la regolazione delle palette laterali che vantano 6 gradi di libertà e che quindi sono le più complesse da regolare.

La struttura da ideare verrà collegata rigidamente al piastrino della paletta, cerchiato in figura e alla zona dell'albero rigido evidenziata in figura 4-5.

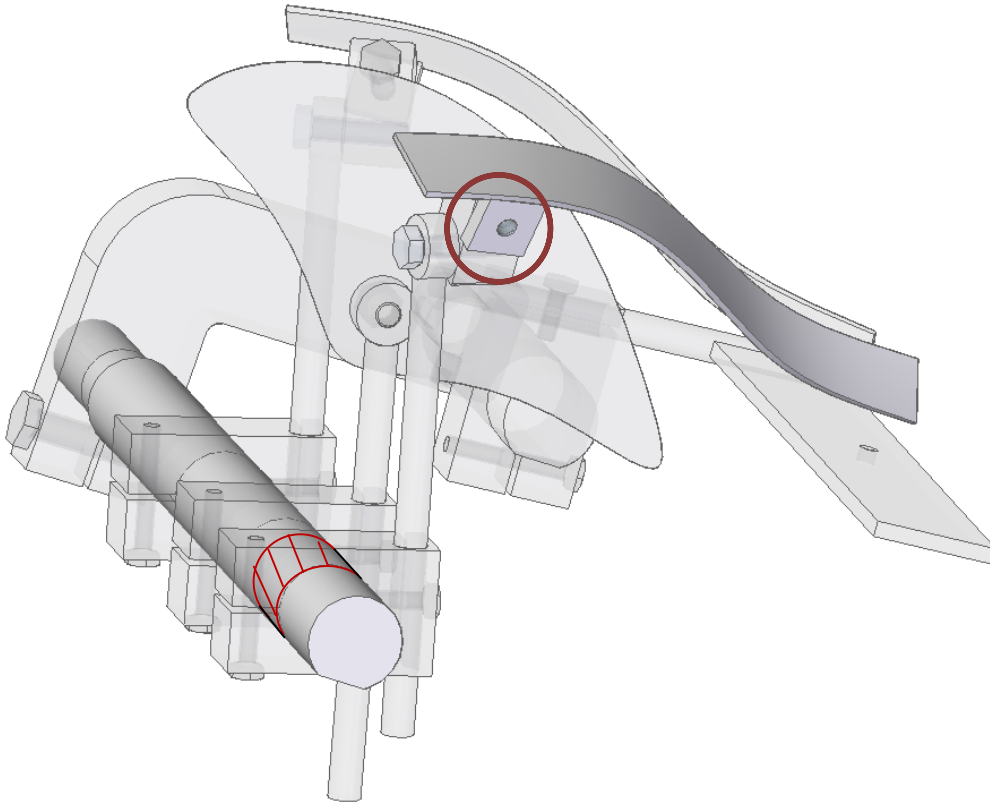


Figura 4-5

Il nuovo sistema di regolazione delle palette laterali deve:

- Mantenere i gradi di libertà che venivano precedentemente assicurati nel caso in esame 6.
- Costare poco ed avere dei bassi costi di mantenimento.
- Poter essere regolato manualmente senza l'ausilio di attuatori motorizzati.
- Poter essere usato in condizioni di sicurezza.
- Garantire un'area di lavoro che soddisfi le esigenze del committente.
- Permettere di ridurre i tempi morti in termini di tempistica di azionamento della struttura.
- Permettere di ridurre i tempi a valore non aggiunto, legati all'impiego dell'operatore addetto.
- Essere compatto per non andare ad intralciare o collidere con eventuali organi situati nelle immediate vicinanze.
- Consentire l'eliminazione dell'utilizzo di più organi dello stesso genere.

5 Analisi della struttura cinematica da utilizzare

5.1 Progetto concettuale

Nell'elenco di specifiche da rispettare del capitolo precedente ce ne sono alcune che rendono molto complessa la scelta di strutture adatte allo scopo in esame; in particolare: il mantenimento dei 6 gradi di libertà della struttura e l'assenza di attuatori motorizzati.

Il mantenimento dei 6 gradi di libertà della struttura indirizza però la scelta verso le strutture a cinematica parallela; è da queste quindi che si è partiti per poterne progettare un'adatta al caso in esame.

Le strutture a cinematica parallela, come già evidenziato nel primo capitolo vantano, rispetto a quella a cinematica seriale un maggior numero di vantaggi, ma quello che le caratterizza è la presenza di attuatori motorizzati.

Dover contenere i costi della struttura e renderla regolabile manualmente ci impedisce quindi d'installare una semplice piattaforma di Stewart miniaturizzata nella macchina.

Dover riadattare una struttura a cinematica parallela andando a modificare la sua catena e conformazione mantenendo i gradi di libertà che la caratterizza non è però possibile.

Nei sotto capitoli seguenti vengono analizzate alcune tipologie di strutture, con caratteristiche opportune al caso in esame, ispirate da alcune delle strutture a cinematica parallela già esistenti.

5.1.1 Riadattamento della Piattaforma di Stewart

Alcune specifiche di progetto ci guidano alla modifica della struttura della piattaforma di Stewart, rappresentata in modo schematico in figura 5-1.

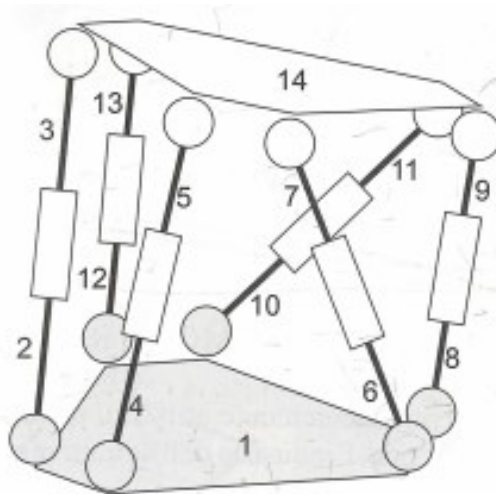


Figura 5-1 Piattaforma di Stewart schematizzata

Le modifiche attuate e le rispettive considerazioni riguardo le specifiche di progetto vengono elencate di seguito:

- **GAMBE FISSE:** Il precedente sistema che nelle piattaforme di Stewart permetteva alle gambe di modificare la propria lunghezza era essenzialmente costituito da pistoni idraulici collegati ad un unico attuatore come mostrato in figura 5-2.



Figura 5-2 Esempio di Piattaforma di Stewart

L'utilizzo di pistoni idraulici però fa innalzare il costo della struttura, non consente una regolazione manuale ed inoltre le guaine che collegano i cilindri all'attuatore potrebbero andare ad interferire o collidere con gli organi all'interno della macchina nelle immediate vicinanze; per tali motivi verranno utilizzate solamente gambe rigide che non potranno modificare la propria lunghezza.

- **INTRODUZIONE DI UNA PIASTRA CENTRALE FISSA E DI DUE PIASTRE MOBILI AGLI ESTREMI CONNESSE DA UNA CATENA CINEMATICA DEL TIPO SPSS;** questo tipo di struttura, mostrata in figura 5-3 e 5-4, è caratterizzata da una catena cinematica del tipo SPSS ovvero da una sequenza di coppie cinematiche che caratterizzano la struttura delle gambe del tipo: Sferico Prismatico Sferico e Sferico. Questa particolare configurazione permette all'operatore di regolare la paletta laterale in condizioni di sicurezza potendo manipolarla andando ad agire sulla piastra mobile situata all'estremo opposto. La struttura così proposta è da valutare nelle due configurazioni qui sotto riportate ovvero provvista di 4 o 3 gambe.

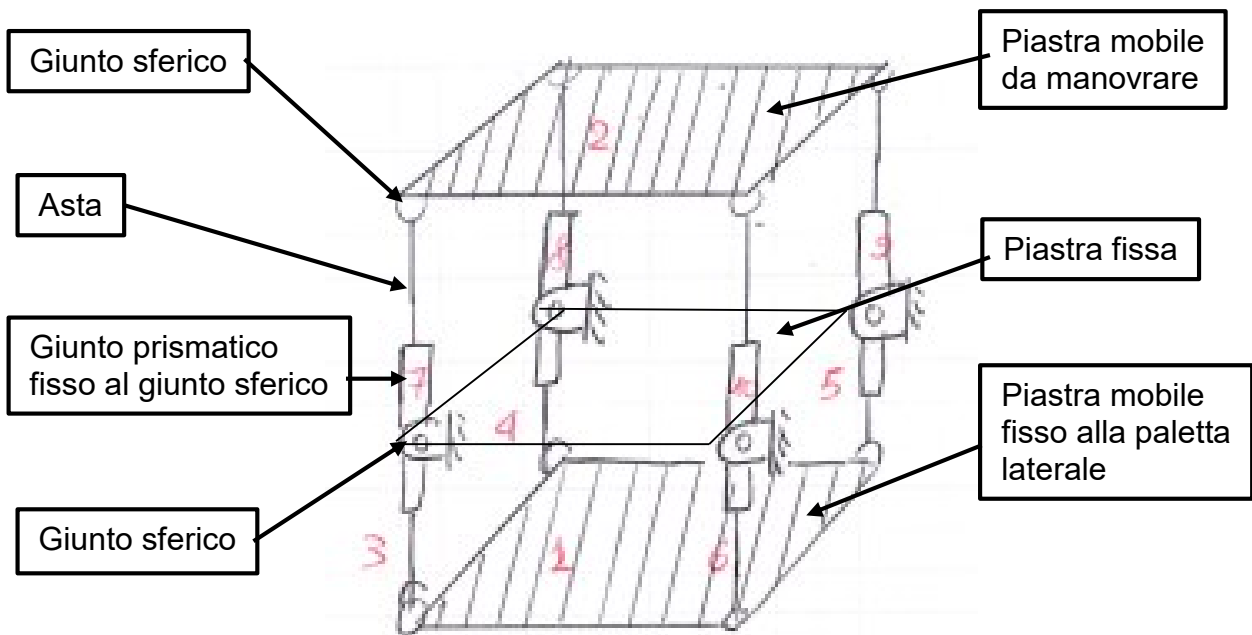


Figura 5-3 Schema della struttura alternativa alla Piattaforma di Stewart a 4 gambe

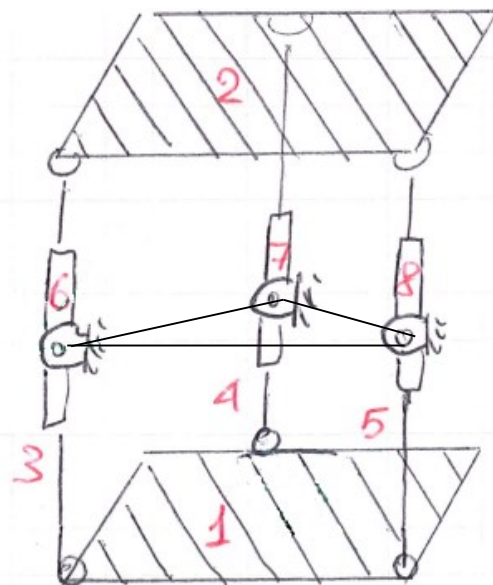


Figura 5-4 Schema della struttura alternativa alla Piattaforma di Stewart a 3 gambe

- **DISPOSIZIONE A GAMBE PARALLELE:** il tipo di vantaggio che assicura questa configurazione è riguardante i gradi di libertà del sistema in quanto permette alle gambe, che connettono le piastre mobili, di traslare lungo il loro asse ampliando i gradi di libertà della struttura.

La struttura nel suo complesso, rappresentata come modello 3D in figura 5-5 e 5-6 nelle rispettive configurazioni da 4 e 3 gambe, è quindi composta da: una piastra fissa a terra posizionata centralmente munita di 4/3 fori nei quali giacciono 4/3 sfere cave, attraversate dalle gambe della struttura, collegate a loro volta alle due piastre mobili, situate agli estremi, da giunti sferici. Il sistema in questione viene regolato andando a posizionare manualmente una delle due piattaforme agli estremi, che collegata all'altra, tramite gambe rigide, la fa muovere di conseguenza.

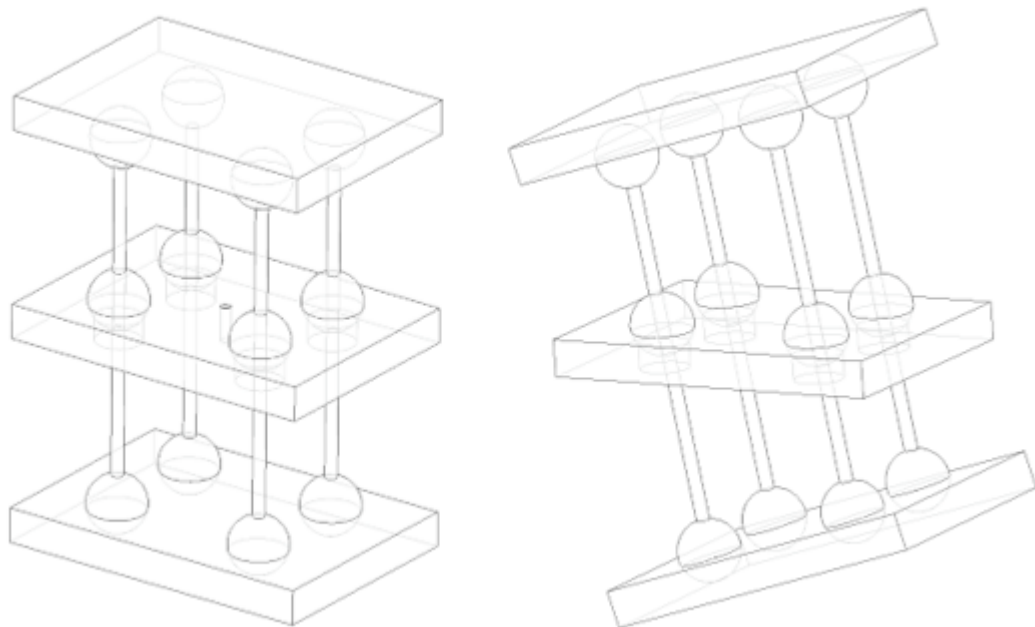


Figura 5-5 Adattamento della piattaforma di Stewart a 4 gambe

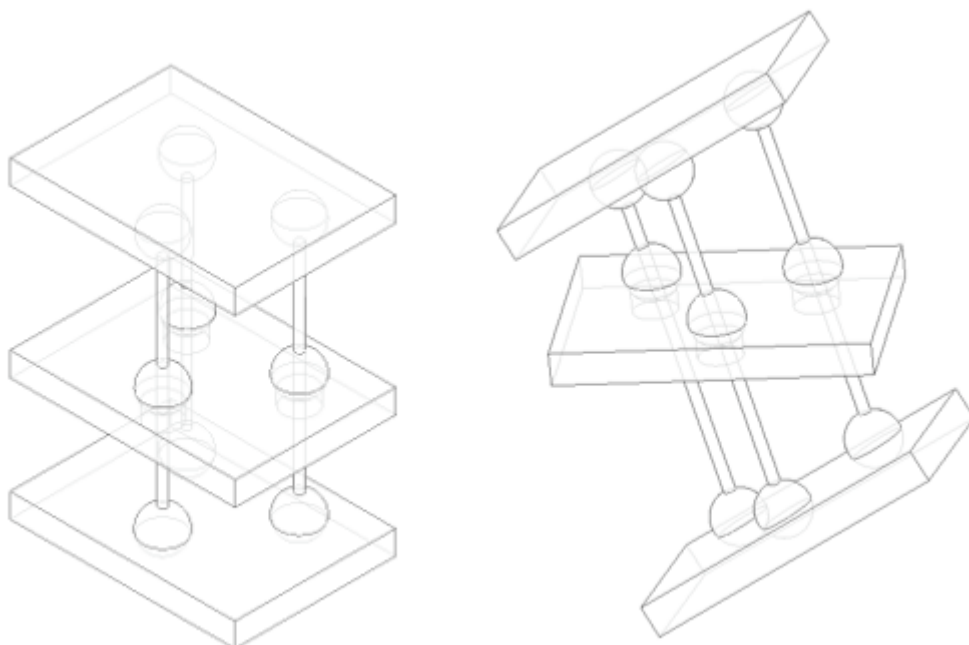


Figura 5-6 Adattamento della piattaforma di Stewart a 3 gambe

5.1.2 Ulteriore riadattamento della Piattaforma di Stewart

Un'ulteriore proposta nasce dalla necessità di andare ad ampliare la mobilità della struttura precedentemente proposta.

Nella nuova architettura, rappresentata come modello 3D in figura 5-7, le gambe continuano a rimanere rigide ma la piastra all'estremo superiore viene sostituita da due aste telescopiche i cui estremi sono collegati, tramite giunti sferici alle gambe posizionate diagonalmente nella struttura.

Le gambe di questa struttura hanno lunghezza uguali a coppie, infatti solo le aste posizionate diagonalmente hanno la stessa lunghezza; questo per far sì che le aste telescopiche non si intralcino ma stiano su due piani differenti, paralleli, leggermente distanti un dall'altro.

Le aste telescopiche sono inoltre collegate una all'altra da un giunto rotoidale con asse di rotazione perpendicolare ad entrambi i loro assi di scorrimento.

In questa configurazione le gambe della struttura perdono il vincolo di parallelismo tra loro ma non la possibilità di poter scorrere lungo il loro asse, accrescendo così la mobilità della struttura.

Le direzioni che verranno assunte dalle aste telescopiche saranno uguali a quelle delle diagonali della piastra mobile all'estremità opposta.

La regolazione della struttura avverrà tramite l'utilizzo di una maniglia situata all'incrocio delle due aste telescopiche, che però non limiterà i loro movimenti.

Una struttura così fatta comporterebbe però una regolazione difficoltosa ed inoltre la posizione delle aste e delle gambe potrebbe portare all'assunzione, da parte della struttura, di configurazioni singolari che potrebbero limitarne la mobilità.

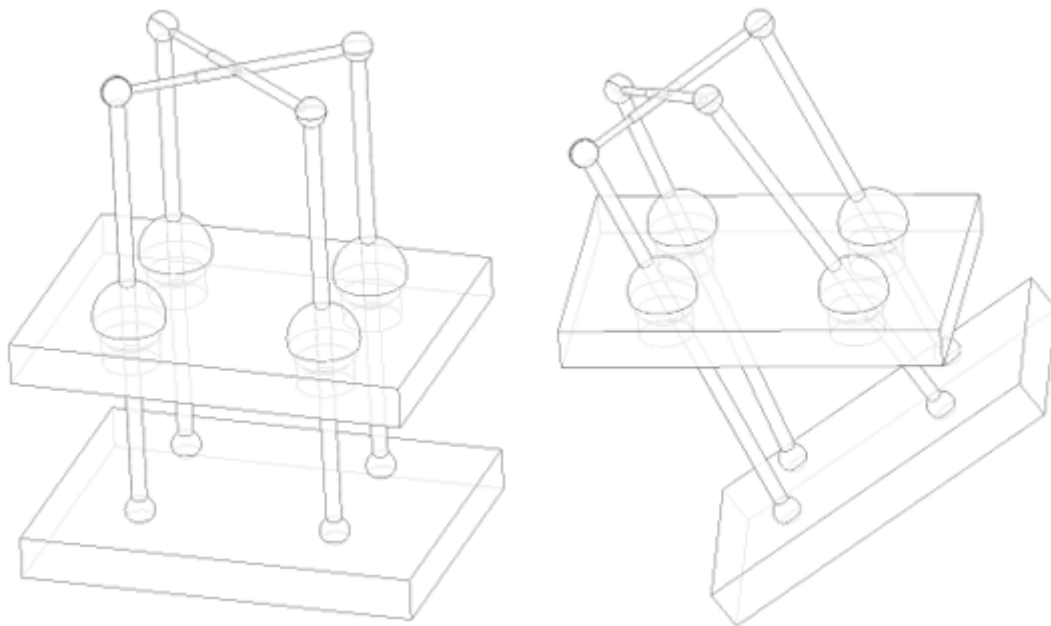


Figura 5-7 Architettura alternativa ad aste telescopiche

5.1.3 Utilizzo della struttura a cinematica parallela dei robot 6 PUS

I principali robot a catena cinematica PUS vengono introdotti nella sezione 3.2.2.2.

Quello che sembrerebbe renderli adatti al caso in esame, almeno per i robot mostrati in forma schematizzata in figura 3.22 e 3.23 e riportati in figura 5-8 in forma compatta qui sotto, è il loro utilizzo di gambe inestensibili che scorrono su guide lineari, che gli renderebbe idonei alle caratteristiche progettuali citate nel capitolo 5.1.1.

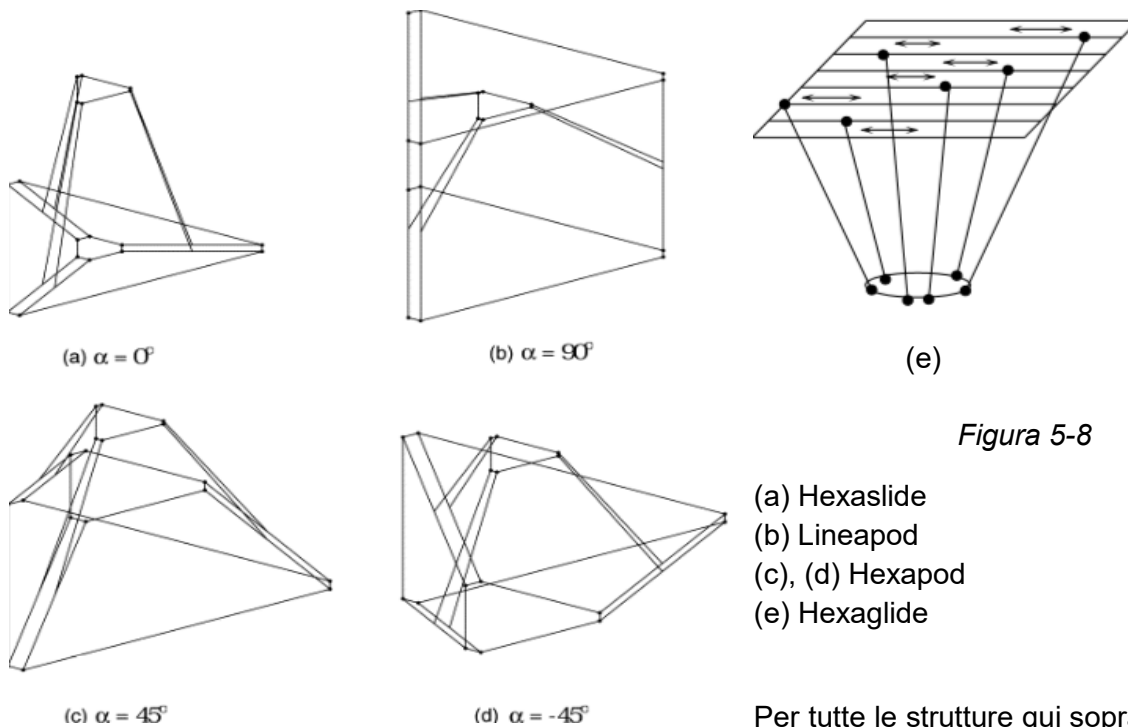


Figura 5-8

- (a) Hexaslide
- (b) Lineapod
- (c), (d) Hexapod
- (e) Hexaglide

Per tutte le strutture qui sopra, una faccia

della piattaforma mobile, rappresentata in forma triangolare, per quelle in figura 5-8 a sinistra, e di forma tonda per quella posizionata sulla destra, verrebbe collegata rigidamente al piastrino posizionato all'estremità della paletta laterale.

Un ulteriore prolungamento rigido verrebbe fissato alla faccia della piattaforma mobile opposta a quella collegata alla paletta.

La regolazione di questo tipo di struttura avverrebbe tramite la manipolazione del prolungamento fissato rigidamente alla piastra mobile e quindi alla paletta laterale.

Utilizzando le strutture del tipo PUS si andrebbero a garantire i 6 gradi di libertà richiesti ma verrebbe meno la compattezza del sistema.

5.2 Scelta del modello da sviluppare

Un'ulteriore caratteristica che indirizza la scelta su di uno dei modelli presentati nella sezione 5.1 è quella riguardante la riduzione dei tempi morti e dei tempi a valore non aggiunto; in quanto questa specifica di progetto non limita solamente la modalità di regolazione della struttura ma anche la tipologia di serraggio di quest'ultima.

Se anche la manipolazione della struttura fosse velocizzata tramite la movimentazione di un solo componente ma il serraggio generale del sistema fosse lento non si otterrebbe nessun tipo di vantaggio per cui la scelta definitiva della struttura da utilizzare verrà basata sulla modalità e velocità di serraggio di quest'ultima.

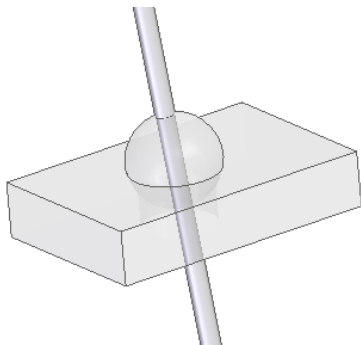
Per facilitare la trattazione le strutture proposte alla sezione 5.1 verranno definite rispettivamente: struttura *n.1 (struttura alternativa alla piattaforma di Stewart)* *n.2 (struttura ad aste telescopiche)* *n.3 (configurazioni 6 PUS)*.

5.2.1 Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 1

La struttura nata dal riadattamento della Piattaforma di Stewart al caso in esame così strutturata non dispone di un sistema di serraggio.

I movimenti della piastra mobile sono guidati da quelli delle gambe; quindi una volta bloccati tutti i movimenti delle gambe si rende la struttura statica.

Ogni asta della struttura, collegata ad entrambe le piastre mobili tramite giunti sferici e fatta passare all'interno della sfera cava situata sulla piastra rigida, può compiere 4 movimenti: traslare lungo il suo asse e ruotare attorno a x, y e z mostrati in figura qui sotto.



Gli assi di rotazione rispetto al quale si inclina sono quelli appartenenti alla sfera che asseconda i movimenti dell'asta.

La traslazione gli è invece consentita dal foro sulla sfera.

Essendo i movimenti dell'asta derivanti da quelli della sfera; bloccando la sfera si andrebbero ad ostacolare le tre rotazioni ed andando a premere la sfera all'asta riducendone il diametro del foro, se questa fosse munita di un taglio in direzione longitudinale, come quello di un morsetto, anche l'asta sarebbe bloccata.

Come sistema di serraggio che consente il bloccaggio contemporaneo delle sfere si è inizialmente pensato ad una piastra, simmetrica rispetto a quella centrale fissa a telaio, che quindi presenta le stesse sedi per le sfere e fori per far passare le aste, che una volta premuta verso la piastra fissa vada a bloccare le rotazioni delle sfere e che le faccia aderire alle aste impedendo la loro traslazione. Una vista sezionata del sistema di serraggio costituito dalle due piastre è riportata qui in figura 5-9.

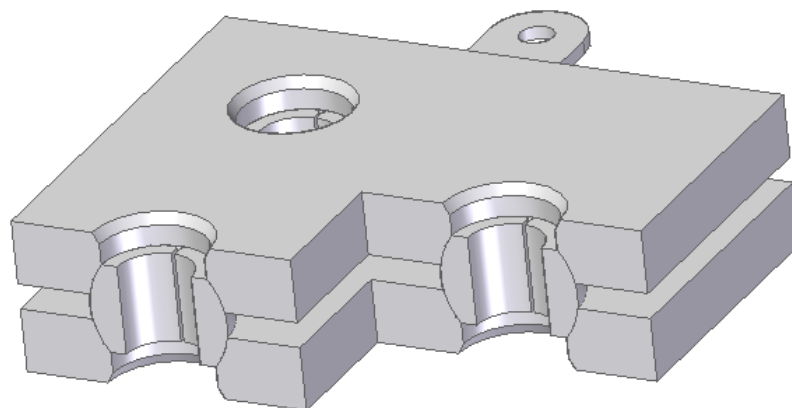


Figura 5-9 Vista sezionata delle piastre mediane e delle sfere

La struttura n.1 munita di sistema di serraggio viene riportata in figura 5-10.

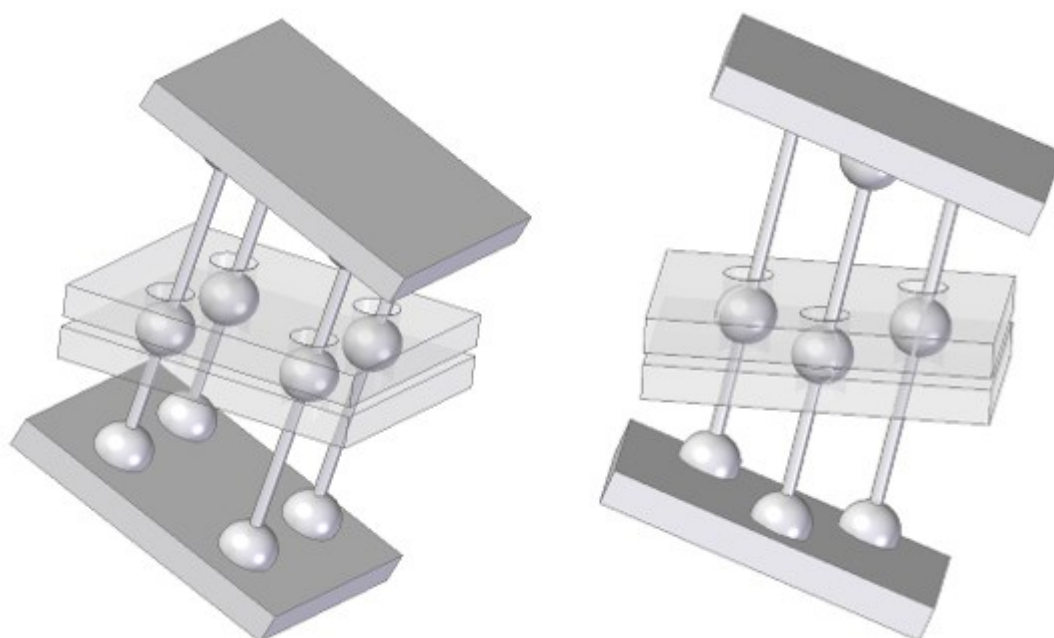


Figura 5-10 Struttura frutto del riadattamento della P.d.S. a 4 e 3 gambe munita di sistema di serraggio.

5.2.2 Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 2

La struttura n.2 differisce dalla n.1 per la presenza di aste telescopiche al posto della piastra mobile di regolazione.

La presenza delle aste telescopiche amplia i movimenti delle gambe rimuovendo il vincolo di parallelismo tra queste ma resta comunque il fatto che i movimenti della singola gamba sono quelli di rotazioni attorno agli assi solidali alla sfera e la traslazione lungo il proprio asse.

La struttura n.2 necessiterà quindi di un sistema di serraggio come quello della 1.

In figura 5-11 viene riportata la struttura munita del sistema di serraggio.

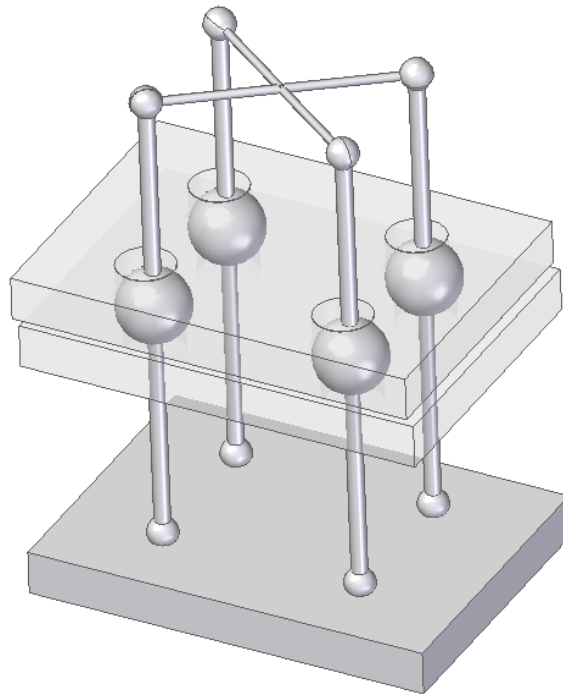


Figura 5-11 Modello 3D della struttura n. 2

5.2.3 Analisi del sistema di serraggio della struttura n. 3

Per poter serrare questo genere di architettura, che ha 6 gambe non esiste una tipologia di serraggio che le vada a bloccare tutte nello stesso momento.

Prendiamo in esame una in particolare delle architetture *6-PUS regolabile manualmente*, l'*Hexapod*, rappresentato come modello 3D in figura 5-12; la struttura in esame è composta da: una piastra mobile, due piastre rigide, 6 gambe mobili che, collegate alla piastra mobile da 6 giunti sferici, scorrono su altre 6 gambe rigide, che collegano le due piastre fisse, grazie a dei pattini collegate alle gambe mobili da giunti rotoidali.

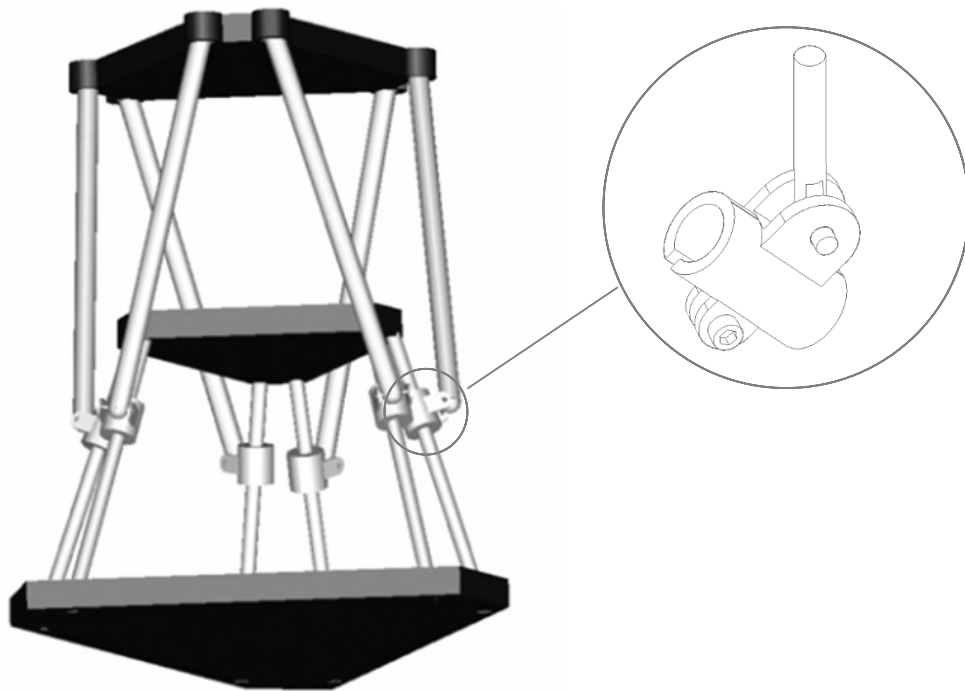


Figura 5-12 Modello 3D di Hexapod

Il pattino in questione è rappresentato nel particolare di figura 5-12; è in pratica un semplice cilindro cavo tagliato in direzione longitudinale munito di due coppie di alette forate: una permette l'accoppiamento rotoidale con la gamba mobile tramite un perno e l'altra in corrispondenza del taglio fa sì che una volta serrata la vite, che l'attraversa, lo scorrimento della gamba mobile lungo la gamba fissa sia bloccato.

Il sistema di serraggio è pertanto uguale a quello di un morsetto.

La struttura si bloccherà solamente quando tutti gli scorrimenti dei pattini lungo le gambe rigide saranno impediti.

Ogni gamba è caratterizzata dalla stessa catena cinematica e quindi per rendere statica la struttura si dovranno serrare tutti e 6 i pattini agendo su 6 viti.

Bloccare la struttura andando ad agire sulle 6 viti risulta essere una modalità di serraggio poco efficace ai nostri fini.

Tra le 3 strutture quelle che permettono un serraggio immediato sono la n. 1 e 2.

Tra le 2 strutture rimanenti si è scelto di procedere alla realizzazione del modellino della 1 in quanto per la 2 la manipolazione delle aste telescopiche non è semplice e intuitiva.

6 Prototipazione e studio della mobilità della struttura

6.1 Prototipazione

Il primo prototipo realizzato aveva il solo compito di testare la mobilità della struttura per cui non era dotato di sistema di serraggio.

I componenti utilizzati non sono stati dimensionati in funzione degli spazi disponibili in macchina, ma in modo tale da renderlo maneggevole e testare la sua mobilità con diverse architetture.

I giunti utilizzati non sono quelli utilizzati per la struttura finale sia per quanto riguarda il materiale di questi sia per la tipologia.

Il prototipo è stato realizzato sulla base del modello 3d riportato in figura 6-1.

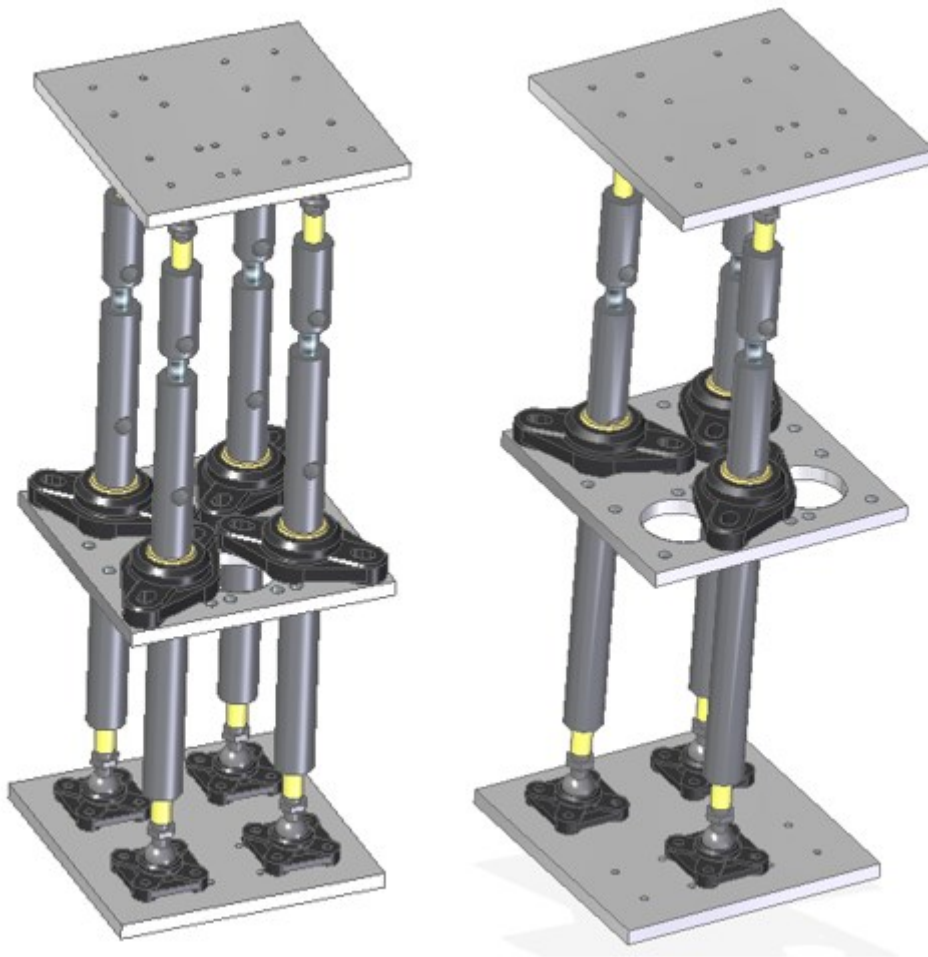


Figura 6-1 Modello 3D del prototipo

Per quanto riguarda i componenti: le 2 piastre agli estremi sono uguali e presentano una serie di fori filettati per poter posizionare gli snodi sferici, la piastra centrale presenta sia una serie di fori filettati per fissare gli snodi sferici ed altri di diametro maggiore per consentire il passaggio delle aste; tutte e 3 le piastre sono realizzate per testare le configurazioni a 3 e 4 gambe; le aste sono costituite da due parti, unite da un collegamento filettato, per poter testare la strutture con lunghezza delle aste differenti e presentano dei fori in entrambi le parti per facilitarne il montaggio.

In figura 6-2 sono riportate alcune foto del modellino realizzato.



Figura 6-2 Foto del modellino realizzato

6.2 Studio della mobilità della struttura

Inizialmente per determinare i gradi di libertà della struttura è stata applicata la forma semplificata dell'equazione di mobilità nello spazio:

$$Gdl = 6m - 5C_1 - 4C_2 - 3C_3 - 2C_4 - C_5$$

Nella quale:

m = corpi mobile nella struttura

C_1 = numero di coppie cinematiche che consentono 1 gdl

C_2 = numero di coppie cinematiche che consentono 2 gdl

C_3 = numero di coppie cinematiche che consentono 3 gdl

C_4 = numero di coppie cinematiche che consentono 4 gdl

C_5 = numero di coppie cinematiche che consentono 5 gdl

Analizziamo le strutture in esame schematizzata in figura 6-3. e 6-4:

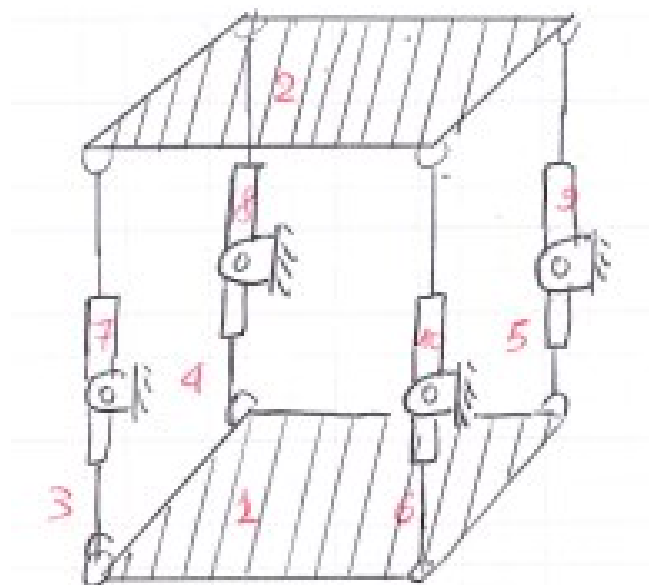


Figura 6-3 Struttura schematizzata della struttura n.2 a 4 gambe

Il conteggio del numero di corpi mobili risulta pari a 10; mentre le coppie cinematiche presenti sono di tipo sferico e prismatico nelle rispettive quantità di 12 e 4.

Le coppie cinematiche di tipo sferico sono appartenenti alla categoria C_3 mentre le prismatiche alla C_1 .

Ricapitolando:

$m = 10$

$C_1 = 4$

$C_2 = 12$

L'equazione di mobilità diventerà:

$$gdl = 6 \times 10 - 5 \times 4 - 3 \times 12 = 4$$

Per il caso a 3 gambe avremo invece:

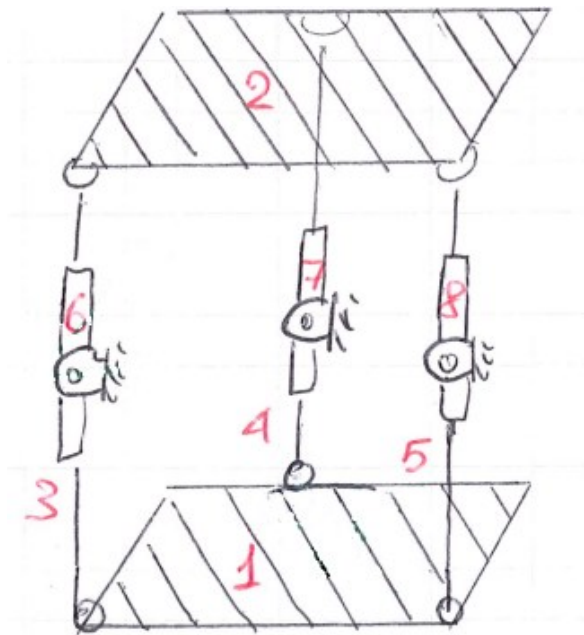


Figura 6-4 Struttura schematizzata della struttura n.2 a 3 gambe

$m = 8$
 $C_1 = 3$
 $C_2 = 9$

$$gdl = 6 \times 8 - 5 \times 3 - 3 \times 9 = 6$$

I gradi di libertà così calcolati, per la struttura in esame, comprendono però oltre ai possibili movimenti delle piastre mobili anche quelli delle singole gambe; infatti, queste, connesse alle piastre da giunti sferici ai propri estremi, possono ruotare attorno al proprio asse.

Per conoscere i gradi di libertà delle sole piastre bisogna quindi sottrarre, ai risultati ottenuti, n gradi di libertà, con n pari al numero di gambe della struttura che possono ruotare intorno al proprio asse.

Per la struttura a 4 gambe si ottiene quindi: $gdl = 4 - 4 = 0$

Per quella a 3 gambe: $gdl = 6 - 3 = 3$

Per la struttura a 4 gambe la mobilità risulterebbe nulla, mentre per quella a 3, i gradi di libertà sono 3, l'equazione utilizzata fornisce però un risultato erroneo se nella struttura in esame sono presenti dei vincoli dipendenti.

Il risultato ottenuto dalla struttura a 4 gambe è sostanzialmente indice di una sovrabbondanza di vincoli e non di una minor mobilità rispetto alla struttura a 3 gambe.

L'equazione di mobilità semplificata fornisce inoltre dei risultati erronei anche in caso di configurazioni singolari della struttura.

6.2.1 Singolarità

Il concetto di singolarità dal punto di vista fisico, è riferito alle configurazioni nelle quali il numero di gradi di libertà della struttura considerata cambia istantaneamente.

Da un punto di vista geometrico il manipolatore acquista o perde gradi di libertà.

Prendiamo in esame la struttura a 3 gambe, la cui architettura sembrerebbe non essere sovra vincolata.

Tralasciamo i gradi di libertà che permettono alle 3 gambe di ruotare attorno al proprio asse e consideriamo i 3 gradi di libertà rimanenti (6-3).

Ragioniamo su di un primo schizzo 2D della struttura, riportata in figura 6-5, le dimensioni ed i vincoli imposti sono: stessa lunghezza fissa delle aste, parallelismo tra loro, distanza fissa dei loro interasse, passaggio obbligato per il centro delle sfere sullo stesso piano rappresentate in schizzo collegate da due segmenti di stessa lunghezza anch'essi paralleli.

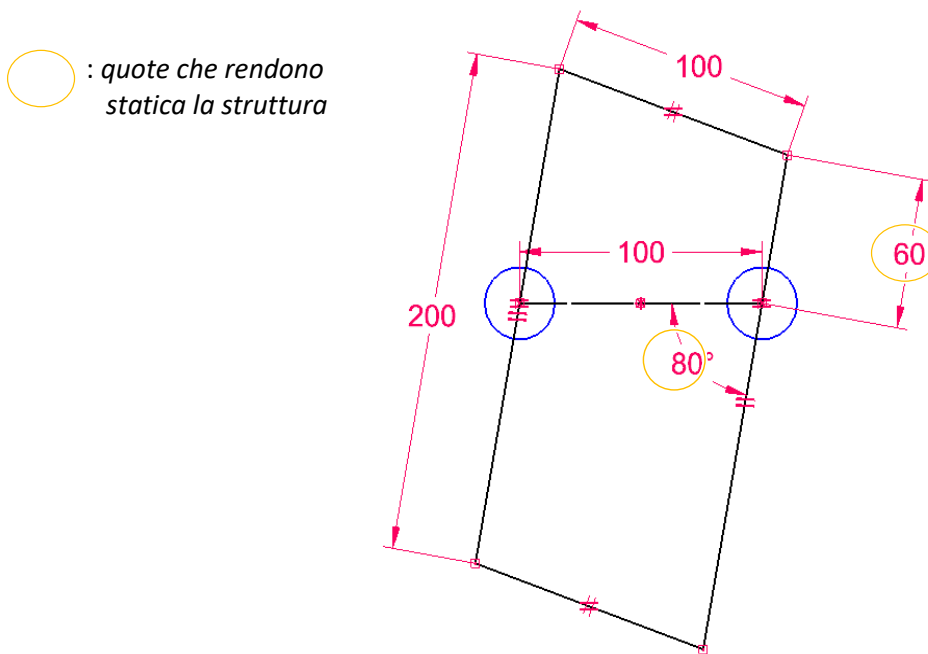


Figura 6-5 Schizzo 2D con vincoli che rendono statica la struttura

La struttura in 2D sembrerebbe necessitare di 2 vincoli imposti esternamente per risultare totalmente determinata, assegnati tramite due quote che impongono una determinata inclinazione ed una particolare estensione di una delle due gambe.

Espandendo il concetto alla struttura in 3D, ai 2 vincoli già imposti alla configurazione in 2D, basterà aggiungere un ulteriore vincolo che ne identifichi l'inclinazione rispetto al piano precedentemente considerato nella configurazione in 2D; così facendo i vincoli totali da imporre per identificare la struttura sono 3 che coincidono con i gradi di libertà precedentemente calcolati.

La configurazione del modello in questione presenta però delle singolarità che ne fanno cambiare i gradi di libertà; nel particolare:

- Le tre gambe disposte parallelamente consentono alle piattaforme mobile di compiere delle rotazioni, anche se limitate, attorno all'asse ortogonale alla piattaforma.

- Le piattaforme mobili disposte in orizzontale, come nello schizzo di figura 6-6, fanno anch'esse guadagnare un grado di libertà alla struttura, in quanto per rendere la struttura statica servirà un ulteriore vincolo.

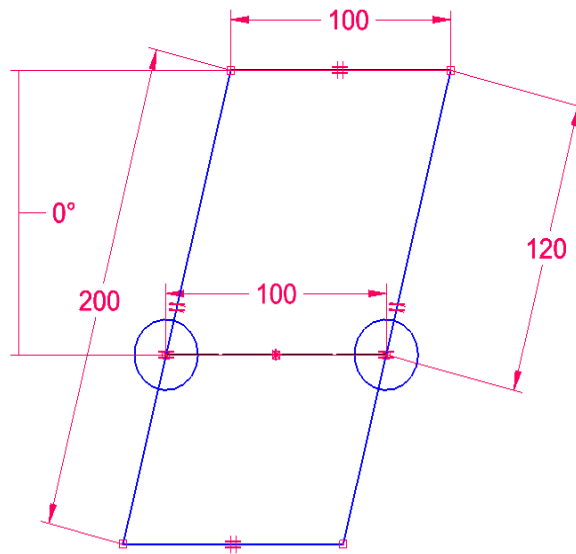


Figura 6-6 Schizzo 2D

6.2.2 Giochi dei giunti

Oltre ai gradi di libertà della struttura e a quelli aggiunti dalle configurazioni singolari la mobilità della struttura viene oltretutto alterata dai giochi dei giunti della struttura.

Una volta realizzato il modellino i giunti che hanno contribuito a rendere incerto il movimento della struttura sono stati quelli sferici prismatici, mostrati in figura 6-7.

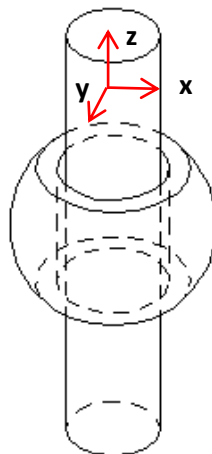


Figura 6-7 Accoppiamento prismatico sfera asta

Il gioco tra asta e sfera facilita lo scorrimento dell'asta ma allo stesso tempo ne permette anche la traslazione in direzione x e y.

La traslazione contemporanea delle tre aste nelle due direzioni non previste fa sì che le piastre compiano delle traiettorie inaspettate.

7 Studio del sistema di serraggio della struttura

7.1 Analisi delle sfere

Il primo sistema di serraggio della struttura proposto è quello costituito da 2 piastre centrali con scavi sferici, ospitanti i giunti, che una volta serrate una sull'altra bloccano le sfere rendendo la struttura rigida, come precedentemente esposto nel capitolo 5.2.1.

Le sfere per questo tipo di serraggio dovranno essere munite di uno o più tagli che gli permettano di aderire con più naturalezza all'asta senza innescare sforzi eccessivi.

In figura 7-1 viene riportato il modello 3D delle piastre e della sfera tagliata.

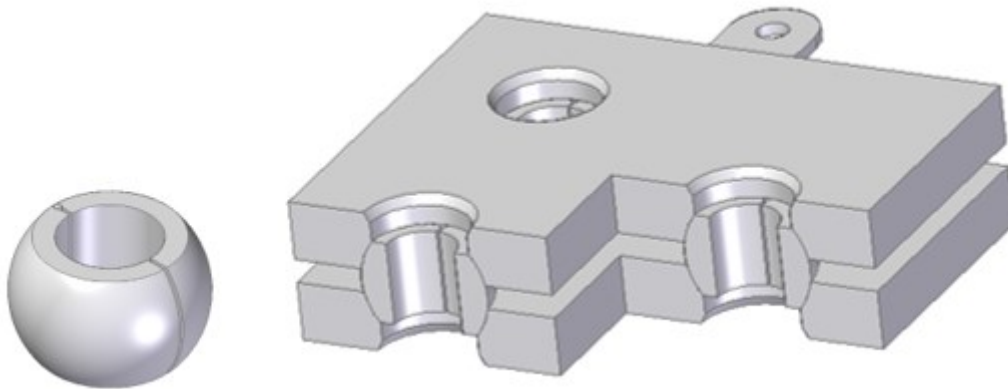


Figura 7-1 Modello 3D di sfera e piastre centrali

Per ottenere le sfere il processo meccanico da eseguire consiste nel tornire un blocco unico dandogli una forma sferica, forarlo internamente ed eseguire il taglio longitudinale con una lama.

Ottenere un taglio nella sfera di dimensioni così ridotte senza compromettere la rigidità della sfera e la fattibilità economica risulta pressoché impossibile.

Le alternative, alla configurazione della sfera tagliata, mantenendo l'azione di serraggio delle due piastre sulle sfere, sono le seguenti:

- Utilizzo di una sfera forata internamente composta da due metà unite trasversalmente e di un collect clamp, inserito dalla parte conica, nel foro di una delle due metà.

Il collect clamp, in figura 7-2, è una sorta di morsetto utilizzato solitamente per mantenere in posizione l'utensile di taglio delle macchine fresatrici.



Le due piastre serrate andranno a premere la struttura su sé stessa, facendo avvicinare le due metà che costringeranno il collect clamp all'interno del foro.

Il collect clamp, sotto l'azione delle due sfere, andrà ad aderire alla gamba passante per il suo foro, bloccando così la sua traslazione.

Figura 7-2 Collect Clamp

- Applicazione di supporti formati da calotte distinte e tenute unite da anello O-RING, come quelli in figura 7-3.



Figura 7-3

L'azione di serraggio delle piastre sui componenti produrrà lo stesso effetto di quello innescato sulle sfere tagliate.

- Impiego di sfere costituite da tre calotte tenute insieme da un anello O-RING, come quella in figura 7.4.

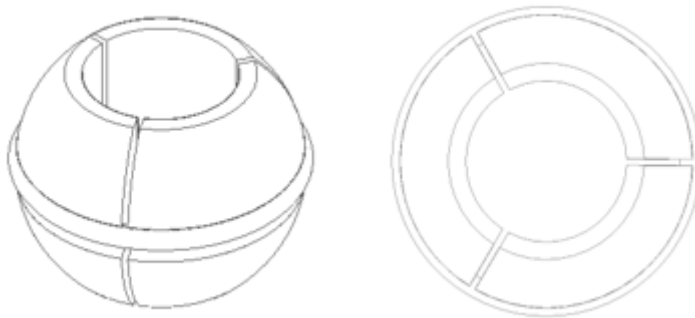


Figura 7-4 Sfera composta da 3 settori

Quest'ultima soluzione è quella utilizzata nel modello finale; il materiale pensato per questo tipo di applicazione è inizialmente il bronzo che, come dimostrato dalle bronzine, è utilizzato per componenti sottoposti a strisciamento.

Le tolleranze e rugosità inizialmente richieste per la sfera erano stringenti ed il materiale scelto di uso non comune; compromettevano la fattibilità economica di tutta la struttura.

Per poterle utilizzare nella struttura sono state realizzate in plastica rigida con produzione additiva utilizzando la stampante 3D.

7.2 Analisi degli scavi delle piattaforme

I 3 scavi delle piastre centrali sono stati inizialmente progettati per ricalcare la forma delle sfere che ospitano, fornendo una superficie completa di contatto sfere piastre, come mostrato in figura 7.5. Lo scavo di questa forma, come per le sfere, ostacolano la fattibilità economica della struttura, essendo di complessa realizzazione.

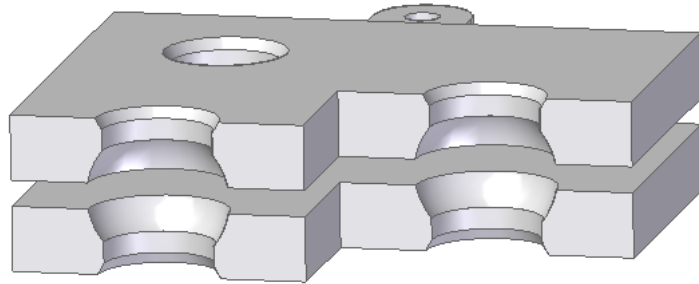


Figura 7-5 Sezione piastre mediane

Le alternative prese in considerazioni si ispirano al Maxwell clamp.

Il Maxwell clamp è un tipo di accoppiamento cinematico, utilizzato nei dispositivi progettati per vincolare la parte in questione, che garantisce precisione e posizionamenti certi.

Un esempio canonico di accoppiamento cinematico è costituito da 3 scanalature a "V" radiali su di una parte che interagiscono con 3 superfici sferiche, figura 7-6.

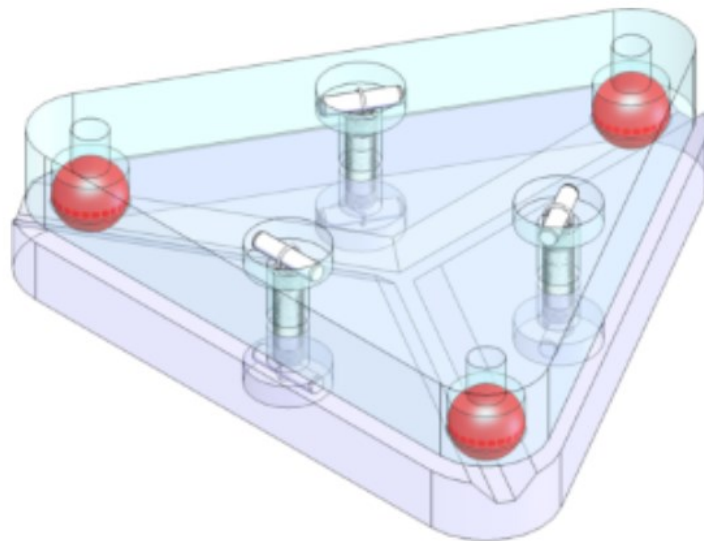


Figura 7-6 Esempio di Maxwell clamp

Ciascuna scanalatura, orientate verso il centro della piastra, fornisce 2 punti per un totale di sei punti di appoggio alle sfere della piastra superiore rendendola completamente posizionata e stabile anche termicamente in quanto le sfere possono espandersi e contrarsi nelle scanalature.

Nell'esemplare mostrato in figura 7-6 le sfere sono fisse alla piastra superiore ed appoggiate alle scanalature della piastra inferiore, come evidenziato nel particolare in figura 7-7.

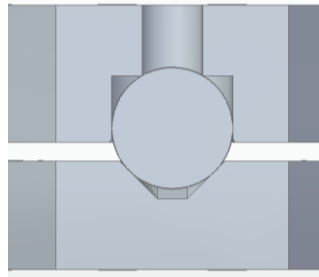


Figura 7-7 Particolare dell'accoppiamento tra piastre

Nella struttura in esame le sfere sono semplicemente appoggiate ad entrambe le piastre e non fissate ad una delle due.

Le tipologie di cavità utilizzabili sono svariate e quello che le accomuna è il numero minimo di punti di appoggio pari a 2.

Le tipologie di accoppiamenti tra sfera e piastre proposte sono elencate qui sotto:

- Accoppiamento cilindrico; il contatto delle sfere avviene su di una circonferenza, come mostrato in figura 7-8.

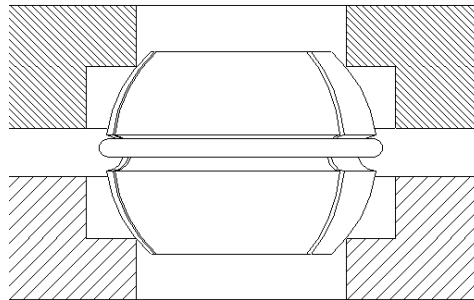


Figura 7-8 Cava piana

Il tipo di accoppiamento richiede un'elevata precisione sia per quanto riguarda le tolleranze dimensionali che per quelle geometriche, di planarità e parallelismo.

Per quanto riguarda il punto di contatto sfera piastre, più questo sarà in alto più efficace sarà l'azione di serraggio ma allo stesso tempo verrà compromessa la facilità di rilascio della sfera; l'angolo di inclusione della sfera tipicamente utilizzato è di 90°.

- Accoppiamento triedrico, utilizzando il sostegno riportato in figura 7-9, oppure realizzando uno scavo della stessa forma.

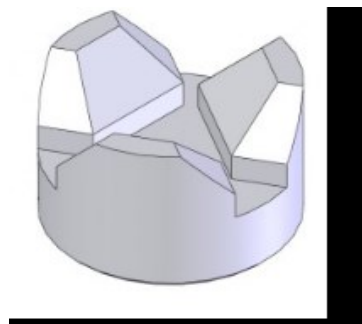


Figura 7-9 sostegno triedrico

- Posizionamento delle sfere su 3 scanalature indirizzate verso il centro presenti su entrambe le piastre, come mostrato in figura 7-10.

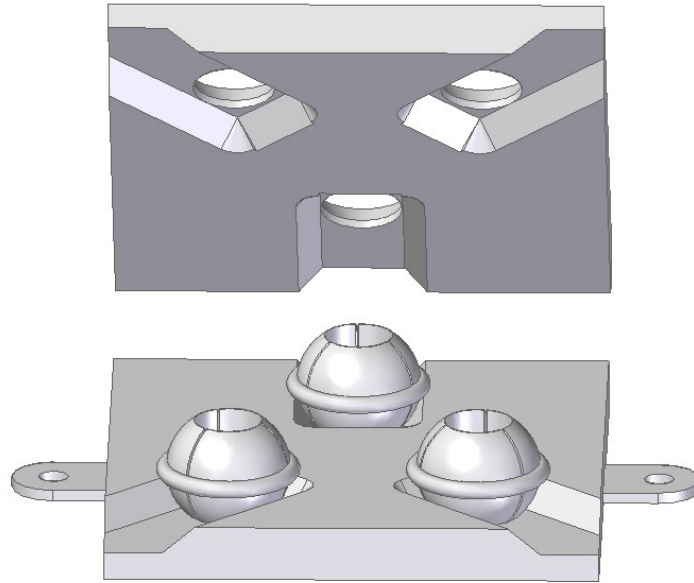


Figura 7-10 Piastre con scanalature a "V"

- Accoppiamento conico; il contatto delle sfere avviene su di una porzione di superficie inclinata, come mostrato in figura 7-11.

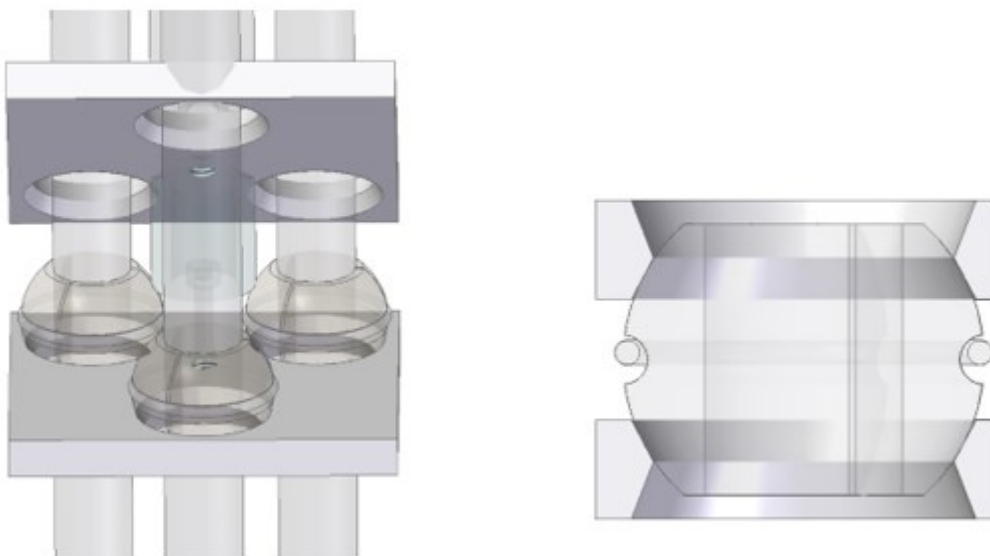


Figura 7-11 Piastre con scavi conici

Le sfere in questo accoppiamento mantengono la loro posizione centrata rispetto al foro passante, il processo meccanico è di semplice realizzazione e le tolleranze geometriche e dimensionali per questo tipo di scavo non sono stringenti.

Questa tipologia di accoppiamento è quella utilizzata nel modello finale.

L'angolo d' inclinazione dello scavo viene scelto in modo tale da far aderire la superficie sferica tangenzialmente, evitando problemi di rilascio della sfera e deformazioni permanenti.

7.3 Meccanismo di serraggio

Il sistema di serraggio inizialmente pensato è quello costituito da una serie di viti che, aggrappate alla piastra inferiore, durante il serraggio trascinano verso il basso la piastra superiore grazie all'azione della testa.

Per testare questo sistema è stato realizzato un prototipo, figura 7-13, sulla base del modello 3D riportato in figura 7-12.

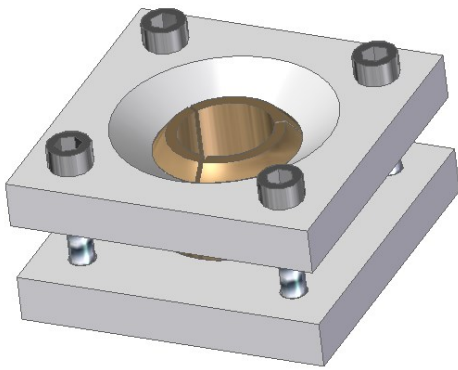


Figura 7-12 Modello 3D sfera più piastre

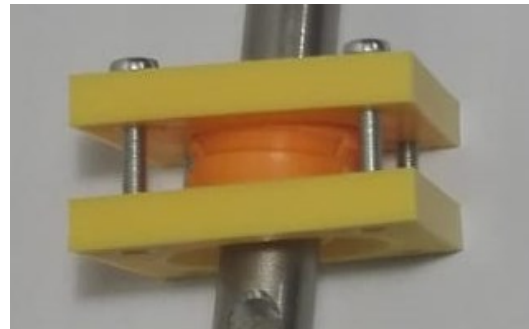


Figura 7-13 Modellino realizzato

Il sistema una volta serrato impedisce qualsiasi movimento della sfera, rendendo la struttura statica. Il serraggio delle quattro viti per una sola sfera imprime una forza eccessiva alle due piastre ed inoltre rallenta il bloccaggio della struttura.

L'utilizzo di una sola vite centrale, figura 7-14, consente il serraggio delle piastre ed il blocco contemporaneo e totale delle 3 sfere se si trovano alla stessa distanza dalla vite e se la piastra mantiene la sua rigidità.

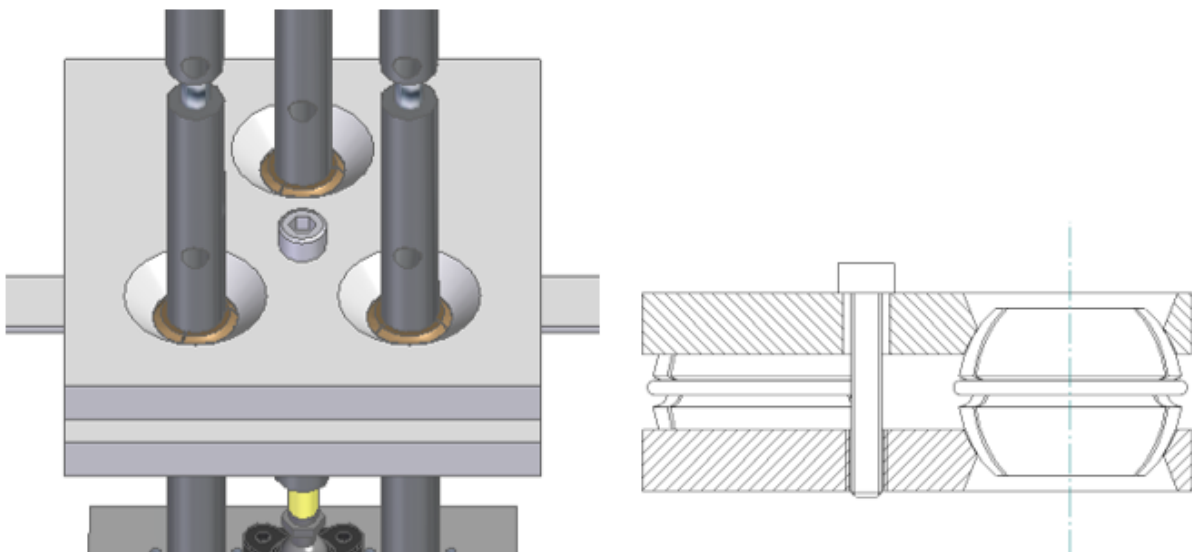
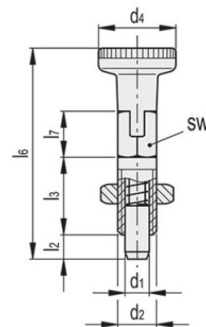


Figura 7-14 Modello 3D con sistema di serraggio ad 1 vite

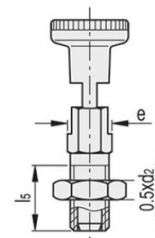
La vite nella posizione inizialmente pensata, non ne permette un comodo serraggio; per ovviare a questa problematica vengono proposti di seguito meccanismi alternativi di serraggio azionabili al di fuori dell'incrocio delle tre sfere:

- Utilizzo di Pistoncini a molla posizionati sulla piastra superiore, collegati ad un estremo di un cavo che a suo volta è collegato alla piastra mezzana inferiore, mentre quella mezzana superiore è fissa a terra.

Il pistoncino, mostrato in figura 7-15, quando si trova in posizione di spinta consente alle sfere di ruotare liberamente; una volta alzata e bloccata la manopolina in testa il pistone assume la posizione in tiro, trascinando con sé il cavo e di conseguenza la piastra mezzana inferiore, premendola contro quella superiore, bloccando così le sfere.



A) Pistone in spinta



B) posizione del pistone in tiro

Figura 7-15 Pistoncino a molla

La configurazione del pistoncino oltre a quella mostrata può anche avere un sistema di attuazione a leva, come mostrato in figura 7-16.

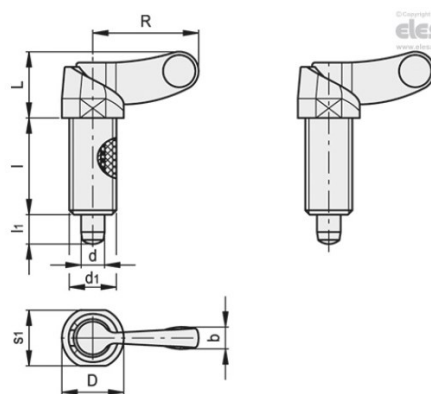


Figura 7-16 Pistoncino a molla con sistema di attuazione a leva

Il cavo, essendo flessibile non oppone resistenza ai movimenti di traslazione e rotazione della piastra mobile.

La forza di trazione imprimibile da questo tipo di componente è però limitata e difficile da imprimere.

- Utilizzo di un albero flessibile collegato ad una manopola posta sulla piastra mobile superiore e alla vite all'incrocio delle sfere sulle piastre mediane.
 Gli alberi flessibili, utilizzati per la trasmissione di movimenti rotativi, sono caratterizzati da grande flessibilità, che gli permette di collegare elementi non allineati, robustezza e durata. Per serrare le piastre si andrà ad agire sulla manopola che imprime una coppia torsionale all'albero flessibile che a sua volta la trasmette alla vite che serra le due piastre.
 L'albero flessibile da utilizzare per la struttura in esame deve trasmettere una coppia di serraggio tale da serrare una vite di piccole dimensioni ma deve comunque mantenere un diametro simile a quello delle gambe della struttura.
 Quest'ultima richiesta lo rende inutilizzabile nella struttura in esame.
- Utilizzo di un albero cardanico estraibile collegato anch'esso ad una manopola posta sulla piastra mobile e alla vite all'incrocio delle sfere sulle piastre mezzane.
 L'albero cardanico estraibile, mostrato in figura 7-17, è costituito da un corpo centrale telescopico e da due giunti cardanici, composti da due forcelle e una crociera, agli estremi che gli permettono di collegare componenti disallineati.

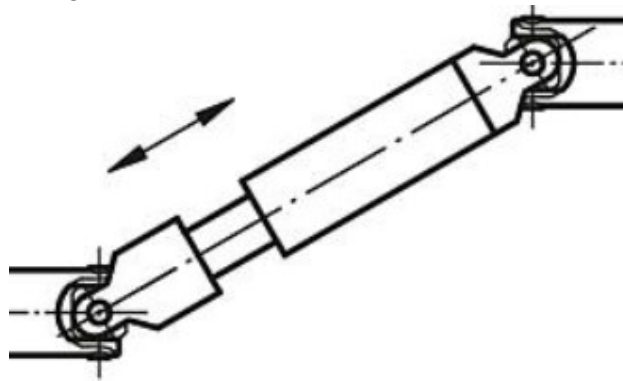


Figura 7-17 Albero cardanico estensibile

Grazie ai movimenti consentiti dai giunti cardani e alla possibilità di estensione dell'albero, può facilmente seguire i movimenti della piastra mobile.

Gli estremi dei giunti cardanici verranno rispettivamente collegati: alla vite situata al centro delle piastre fisse e ad una manopola situata al centro della piastra mobile manipolatrice.

Con l'utilizzo di questo accoppiamento il campo di lavoro della piattaforma diminuirà inevitabilmente, ed i movimenti impartiti tramite manipolazione della piastra superiore, saranno dei micromovimenti per regolare l'orientazione delle palette.

8 Struttura finale

8.1 Modello finale

La struttura finale sarà realizzata secondo il modello 3D riportato in figura 8-1; concludendo, la struttura sarà composta da componenti a disegno quali: 2 piastre mezzane con sedi per le sfere, 3 sfere composte da 3 settori, 3 aste rigide, 2 piastre, mentre i pezzi commerciali saranno: 3 anelli O-Ring, 6 giunti sferici assiali, 1 albero cardanico estraibile, 12 dadi accoppiabili con il filetto dei giunti e delle aste ed 1 manopola accoppiata ad un estremo dell'albero.

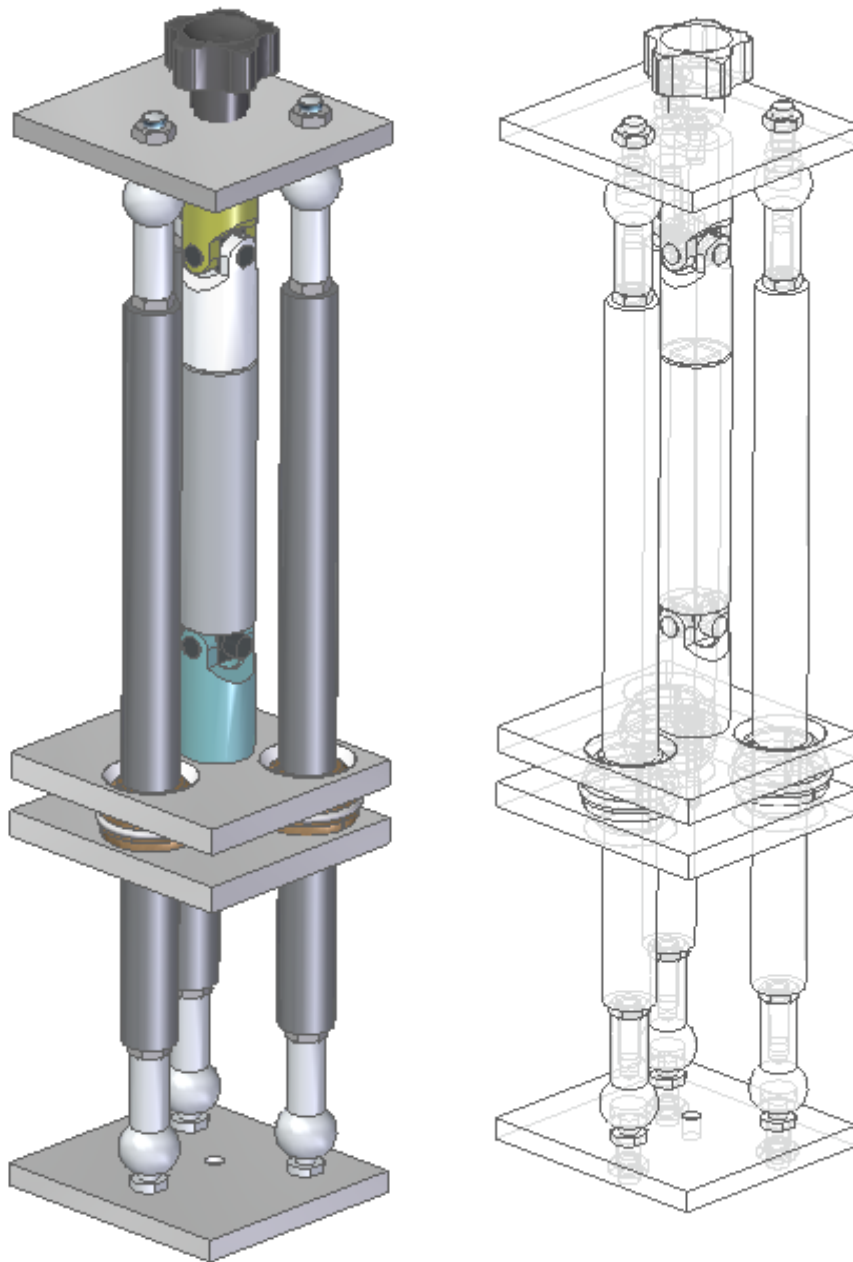


Figura 8-1 Modello 3D con albero cardanico estraibile

La struttura verrà fissata alle palette lateri come mostrato nei modelli 3D di figura 8-2; sarà utilizzato solamente per regolare i micromovimenti delle palette, per impartire determinate orientazioni. Per la regolazione dei macro movimenti dovrà essere ideato un opportuno attacco tra morsetto e piastre mezzane.

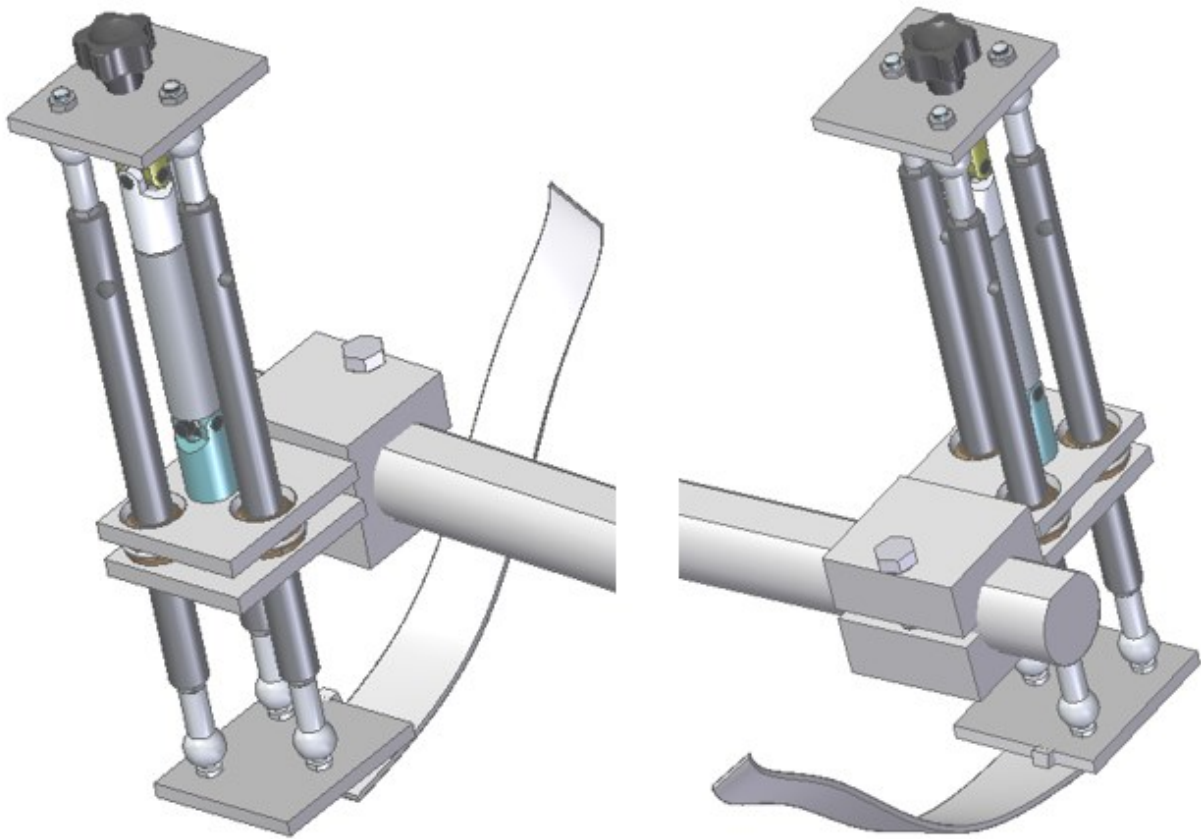


Figura 8-2 Applicazione della struttura alle palette

Riguardo il dimensionamento:

- Il diametro e la lunghezza delle gambe è lo stesso delle aste che precedentemente mantenevano le palette.
- I settori dai quali son formate le sfere, formano un diametro interno pari a quello delle aste che ospitano.
- Le 4 piastre hanno gli stessi ingombri, progettate in modo tale da contenere le 3 sfere ed il giunto cardanico centrale.
Le pareti degli scavi che ospitano le sfere entrano in contatto con queste in modo tangenziale.

8.2 Disegni

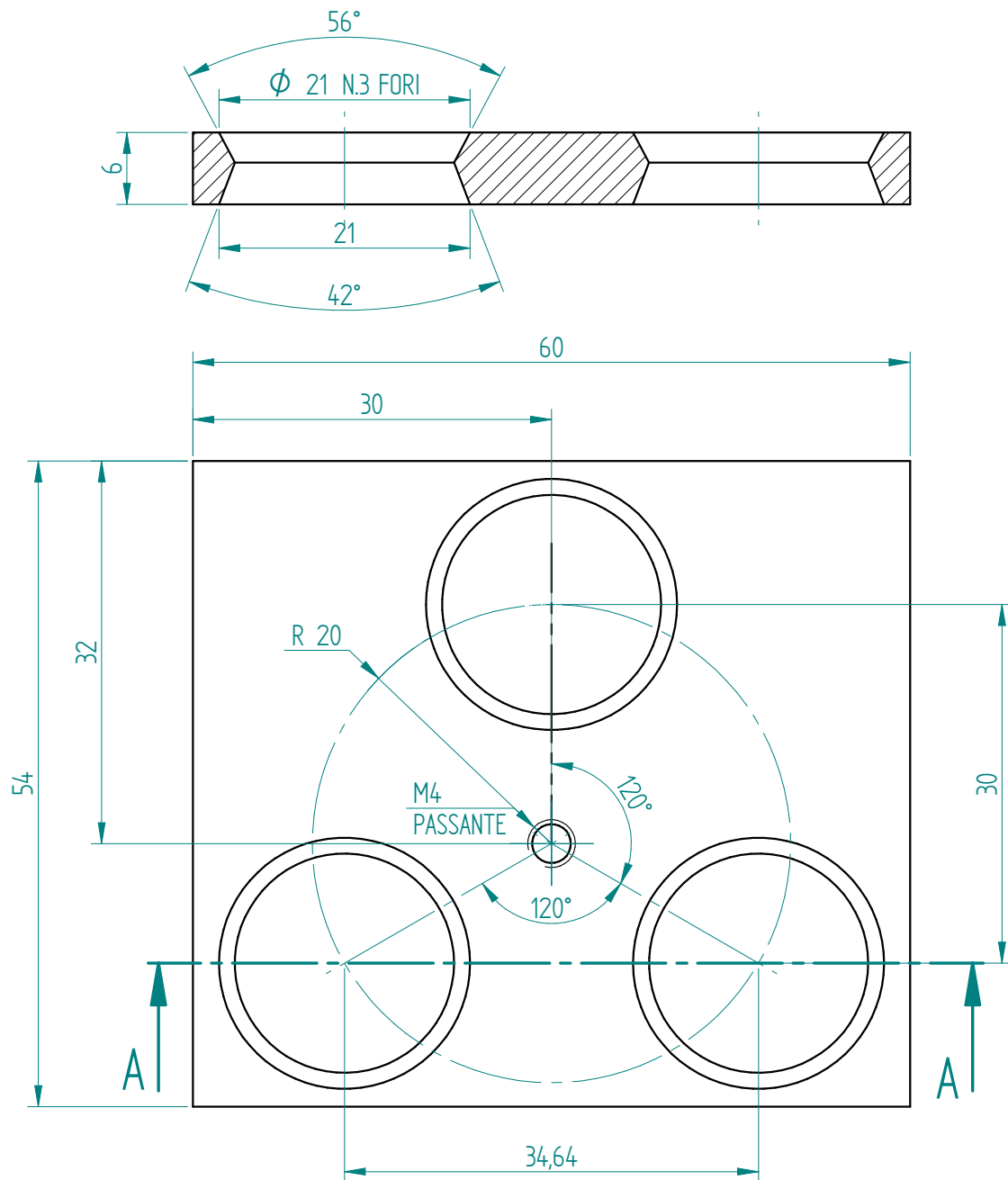
I disegni riportati in tale sezione sono quelli utilizzati per la realizzazione del modellino finale per testarne la validità.

Solamente in seguito verrà progettato il sistema di attacco tra le piastre mezzane ed il morsetto per consentire la regolazione dei macro movimenti.

Di seguito vengono riportate le tavole di:

- TAVOLA DI ASSIEME
- PIASTRA MEZZANA INFERIORE
- PIASTRA MEZZANA SUPERIORE
- PIASTRE AGLI ESTREMI
- SFERA COMPOSTA
- ASTA

SEZIONE A-A



TOLLERANZE GENERALI $\pm 0,05$

Il presente disegno è di proprietà di EUMECA S.r.l. - a termini di legge ogni diritto è riservato

tolleranze per lavorazioni alle macchine utensili

grado M secondo UNI-EN 22768-1	dimensione	fino a 3	3-6	6-30	30-120	120-400	400-1000	1000-2000	oltre 2000			
scostamento		$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$			
grado K secondo UNI-EN 22768-2	tol. di forma	dimens.	fino a 100	100-300	300-1000	1000-3000	diámetro albero	diámetro foro	snussi	localizzazione		
		scost.	0,2	0,4	0,6	0,8	h 11	H 13	0,5x45°	$\Phi \pm 0,4$	Data	Firma
Revisione	Scala	Quantità	Massa (kg)	Aspetto superficiale		Trattamento						
-	2:1	-	0,0 kg	-		-						
Firma	Data		Materiale		-							
Visto	Data		ALLUMINIO		-							

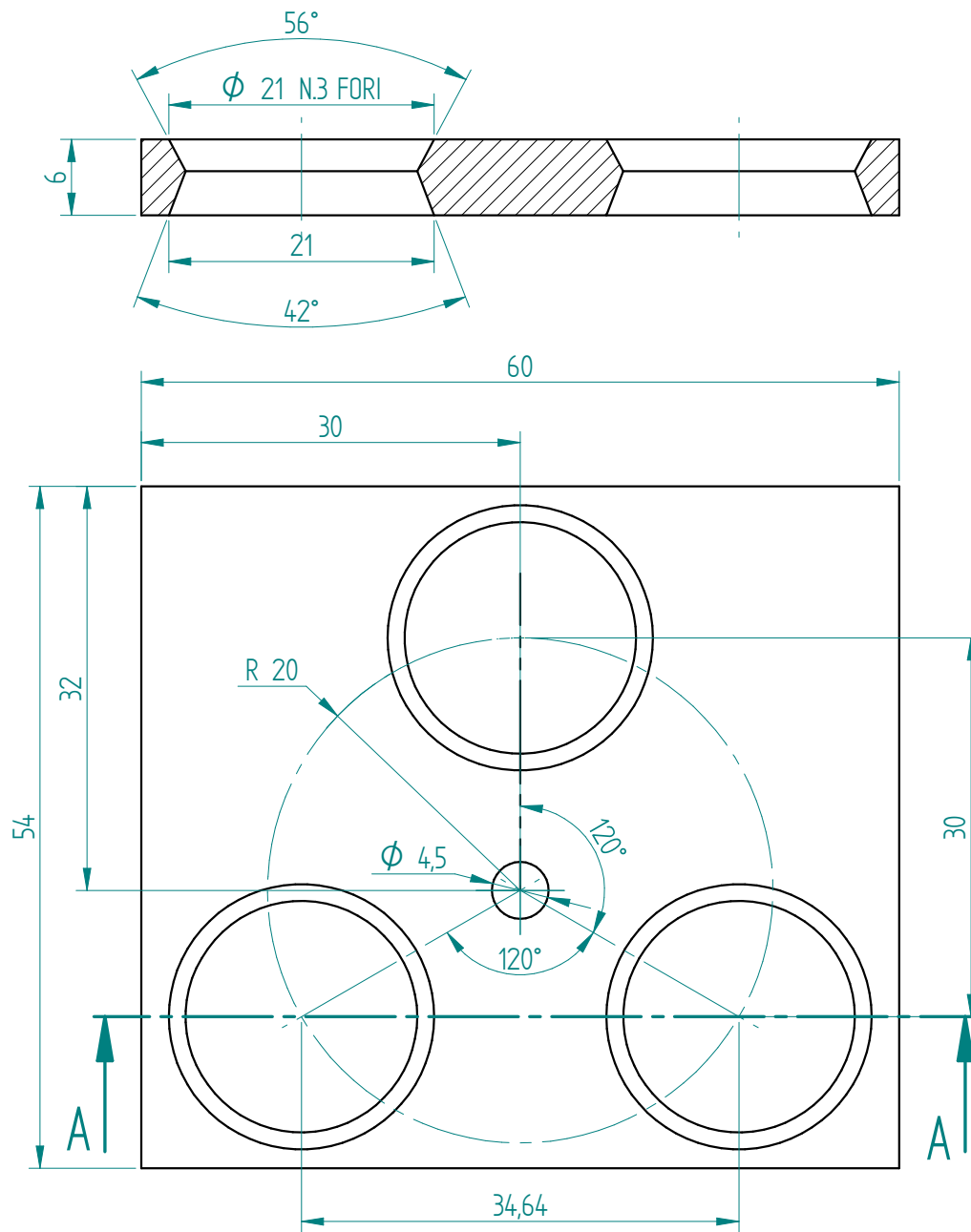
 **EUMECA**

Via A. Nini 8 - 61032 - Fano (PU) - www.eumeca.com

PIASTRA MEZZANA INFERIORE

A4

SEZIONE A-A

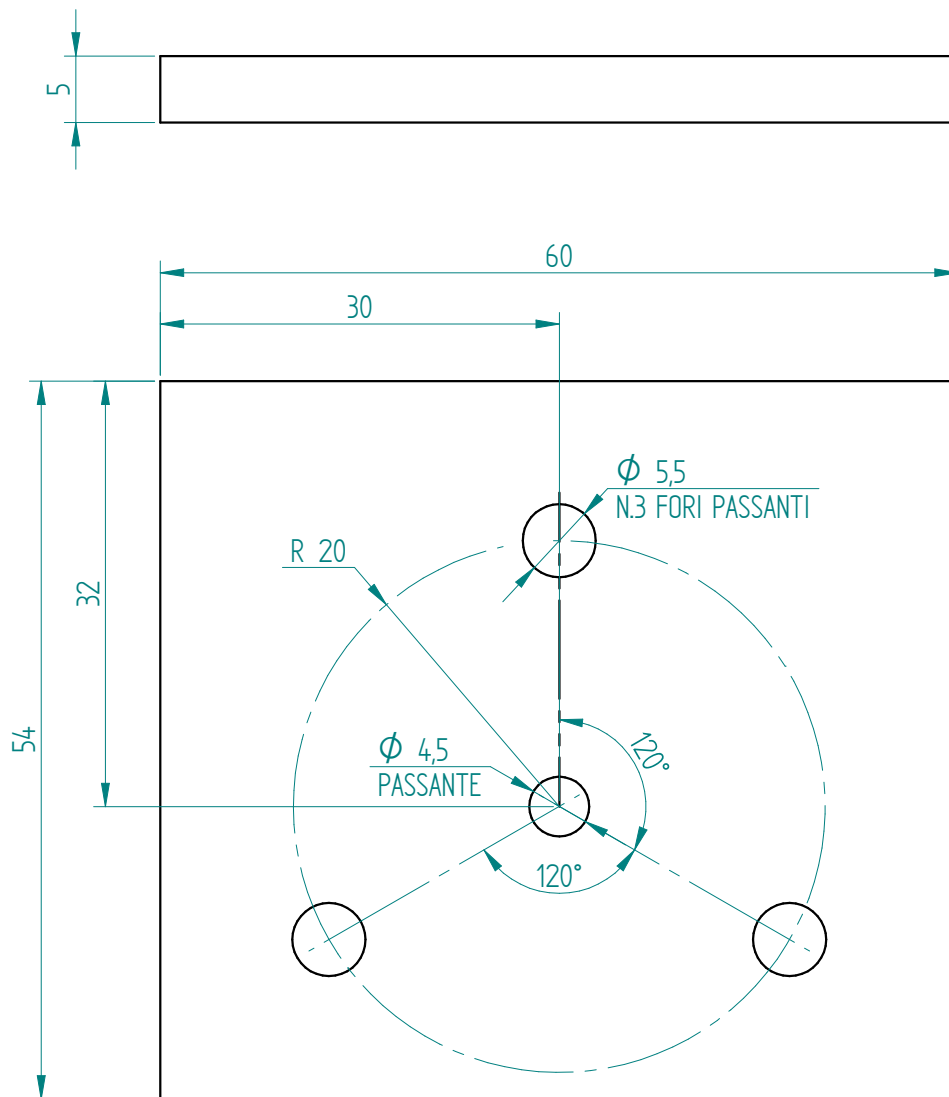


TOLLERANZE GENERALI $\pm 0,05$

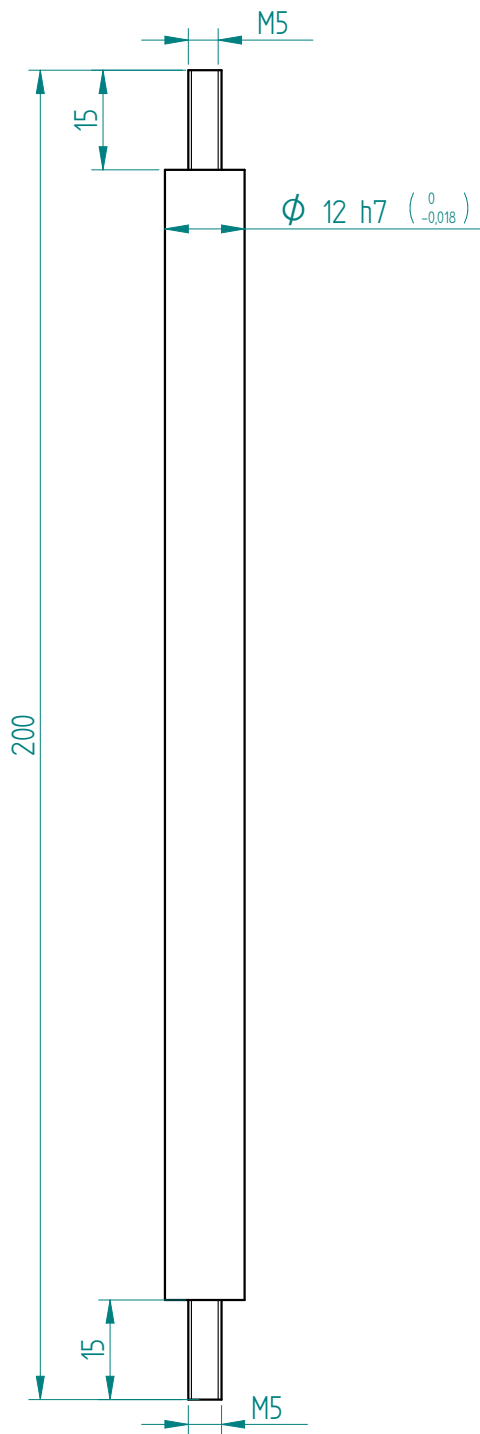
Il presente disegno è di proprietà di EUMECA S.r.l. - a termini di legge ogni diritto è riservato												2
Tolleranze per lavorazioni alle macchine utensili												
grado M	dimensione	fino a 3	3-6	6-30	30-120	120-400	400-1000	1000-2000	oltre 2000			
secondo UNI-EN 22768-1	scostamento	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$			1
grado K	scostamento	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0			N
secondo UNI-EN 22768-2	scostamento	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0			
Revisione	Scala	Quantità	Massa (kg)	Aspetto superficiale				Trattamento				
-	2:1	-	0,0 kg	-				-				
Firma	-	Data	-	Materiale				-				
Visto	-	Data	-	ALLUMINIO				-				
PIASTRA MEZZANA SUPERIORE										-		A4

 **EUMECA**


Via A. Nini 8 - 61032 - Fano (PU) - www.eumeca.com



Il presente disegno è di proprietà di EUMECA S.r.l. - a termini di legge ogni diritto è riservato												2	
toleranze per lavorazioni alle macchine utensili													
grado M secondo UNI-EN 22768-1	dimensione	Fino a 3	3-6	6-30	30-120	120-400	400-1000	1000-2000	oltre 2000			1	
	scostamento	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0				
grado K secondo UNI-EN 22768-2	tol. di forma	dimens.	fino a 100	100-300	300-1000	1000-3000	diametro albero	diametro foro	smussi	localizzazione	Modifica		N
	scost.	scost.	0,2	0,4	0,6	0,8	h 11	H 13	0,5x45°	± Ø 0,4	Data	Firma	
Revisione	Scala	Quantità	Massa (kg)	Aspetto superficiale				Trattamento					
-	2:1	-	0,0 kg	-				-					
Firma	-	Data	-	Materiale				 Via A. Nini 8 - 61032 - Fano (PU) - www.eumeca.com					
Visto	-	Data	-	ALLUMINIO									
PIASTRA AGLI ESTREMI										-		A4	



Il presente disegno è di proprietà di EUMECA S.r.l. - a termini di legge ogni diritto è riservato

toleranze per lavorazioni alle macchine utensili												2
grado M secondo UNI-EN 22768-1	dimensione	Fino a 3	3-6	6-30	30-120	120-400	400-1000	1000-2000	oltre 2000			1
	scostamento	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0			
grado K secondo UNI-EN 22768-2	tol. di forma	almsi	fino a 100	100-300	300-1000	1000-3000	diametro albero	diametro foro	smussi	localizzazione	Modifica	
	scost.	scost.	0,2	0,4	0,6	0,8	h 11	H 13	0,5x45°	± Ø 0,4	Data	Firma
Revisione	Scala	Quantità	Massa (kg)	Aspetto superficiale				Trattamento				
0	1:1	-	0,2 kg	-				-				
Firma	-	Data	-	Materiale				 Via A. Nini 8 - 61032 - Fano (PU) - www.eumeca.com				
Visto	-	Data	-	INOX 316								
ASTA										-		A4

Bibliografia

NEW XY-THETA POSITIONING TABLE WITH PARTIALLY DECOUPLED PARALLEL KINEMATICS: <http://www.etsmtl.ca/>

Harvard's milliDelta Robot Is Tiny and Scary Fast: <https://spectrum.ieee.org/>

Dynamics of Hexapods with Fixed-Length Legs: <https://www.intechopen.com/>

Kinematic Mount Design Course and CAD Models: <https://practicalprecision.com/>

Parallel Robots – J.P. Merler

Parallel Robots – Second edition

Christopher Niccolò Adami: Analisi cinematica e dinamica di un manipolatore parallelo 3-UPU

Erika Ottaviano – Progettazione ottimizzata di Manipolatori Paralleli

Massimo Callegari: Inizia l'era degli esapodi? -Rivista di meccanica oggi (Jackson - VNU), anno LII, n° 40, febbraio 2001

Massimo Callegari: Architetture robotiche innovati -Corso introduttivo all'automazione industriale e robotica (SIRI – Univ. Brescia)

Meccanica applicata alle macchine – Massimo Callegari, Pietro Fanghella, Francesco Pellicano

Ringraziamenti

Rivolgo i miei primi ringraziamenti al professor Michele Germani che si è prestato a farmi da relatore e ha reso possibile il tirocinio ed il progetto tesi presso Eumeca.

I miei più sinceri ringraziamenti vanno a tutti i dipendenti e tirocinanti dello studio Eumeca ed in particolare a Massimiliano Piccioli che mi ha formato e guidato nella realizzazione del progetto.

Ringrazio tutti i miei familiari che mi hanno supportato ed aiutato durante il percorso di studi.

Ringrazio Marco che mi ha accompagnato in questi 3 anni e che mi ha sempre dato un prezioso aiuto nei momenti più difficili.

Ringrazio infine i miei compagni di corso, in particolare quelli del mio gruppo di studio, sui quali ho sempre potuto contare e che mi hanno sopportato fino ad oggi.