



Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione
Consiglio Nazionale delle Ricerche



MM&A

Micro Manipulation and Assembly

D3.2



RELAZIONE TECNICA DI
REALIZZAZIONE E VALIDAZIONE
DELLA PIATTAFORMA DI
ORIENTAMENTO UNIVPM

Documento interno		MM&A-PRIN2009-0002	
Progetto	PRIN2009	Coordinatore scientifico	Prof. Giovanni Legnani
Data	10/01/2014	N° pagine	--

6			
5			
4			
3			
2			
1	Prima emissione	UNIVPM	10/01/14
Rev.	Descrizione	Autore	Data

Indice

1	Sintesi cinematica	3
2	Analisi dello spazio di lavoro	5
3	Progettazione meccanica e prototipazione.....	6

1 Sintesi cinematica

La piattaforma di orientamento è stata progettata in accordo con le seguenti specifiche:

- 2 gradi di libertà di pura rotazione;
- uno spazio di lavoro minimo di $\pm 45^\circ$ di rotazione attorno a qualunque asse giacente sul piano orizzontale;
- un carico supportato di 30 g in condizioni dinamiche (90° in 1s) e di 100 g in condizioni statiche;
- dimensioni globali contenute in un cubo di lato pari a 150 mm;
- piattaforma mobile circolare di diametro pari a 35 mm;
- una risoluzione dell'ordine di 10^{-2° .

Per garantire elevata accuratezza e rigidezza, la piattaforma è stata concepita come un manipolatore sferico a cinematica parallela (SPM). In tal modo è anche possibile collocare gli attuatori fissi a telaio riducendo le masse movimentate. A discapito, le architetture a cinematica parallela sono caratterizzate da spazi di lavoro limitati; per questo motivo è stato effettuato uno studio cinematico approfondito volto a sfruttare i vantaggi fin qui esposti garantendo comunque uno spazio di lavoro conforme alla specifiche di progetto.

Il punto di partenza della sintesi cinematica è un pentalatero sferico, la cui struttura cinematica è stata poi modificata per ottenere le desiderate performance; il risultato finale di tale operazione è mostrato in figura 1 dove viene rappresentato il modello CAD del manipolatore.

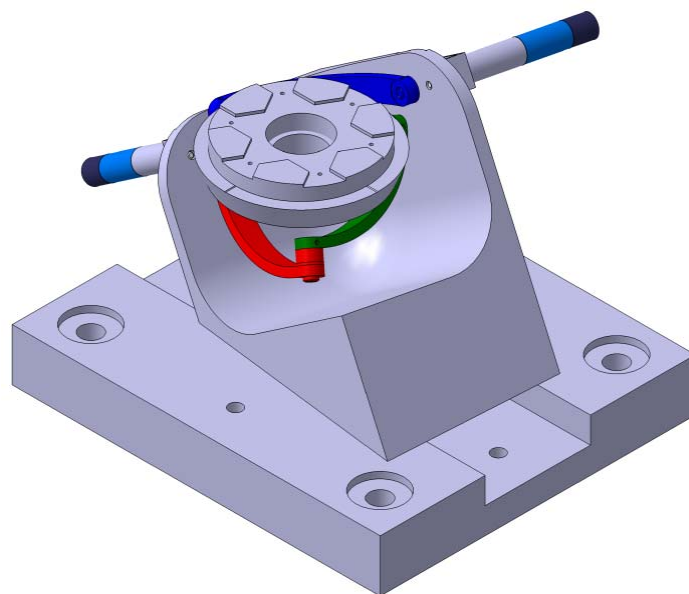


Figura 1 – Modello CAD della piattaforma di orientamento

In un polso realizzato secondo lo schema cinematico di un pentalatero sferico (figura II) la piattaforma mobile ruota con 2 gradi di libertà attorno ad un punto O definito dall'intersezione di tutti gli assi delle coppie rotoidali.

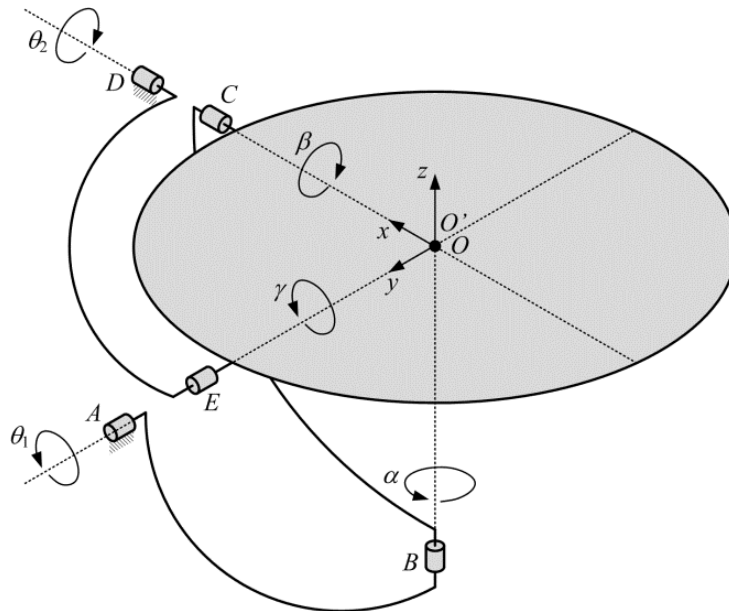


Figura 2 – Schema cinematico di un pentalatero sferico

A partire dallo schema base di figura 2 è stato effettuato uno studio cinematico volto al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- muovere verso l'alto rispetto al piano della piattaforma mobile il centro sferico O del meccanismo; infatti se il centro sferico giacesse sulla base di appoggio dell'oggetto movimentato una rotazione del polso introdurrebbe inevitabilmente anche una traslazione del centro della faccia dell'oggetto, incrementando quindi lo spazio di lavoro richiesto al manipolatore di traslazione che interagisce nella fase di assemblaggio;
- riuscire ad orientare normalmente alla direzione verticale le tre facce di una piramide montata sulla piattaforma mobile (la piramide è un tetraedro trirettangolo ottenibile dalla sezione di un cubo di lato 35 mm lungo un piano definito da tre vertici); per orientare ogni faccia della piramide, qualunque sia l'orientamento della base rispetto alla piattaforma mobile sulla quale è montata, è richiesta una rotazione della piattaforma di $\pm 54.7^\circ$ attorno a qualunque asse giacente sul piano orizzontale.

Tali obiettivi sono stati raggiunti modificando la geometria della piattaforma mobile (di forma tronco conica) ed effettuando una rotazione rigida del telaio del dispositivo, cosicché dallo schema base di figura 2 si è passati alla architettura cinematica finale rappresentata in figura 3.

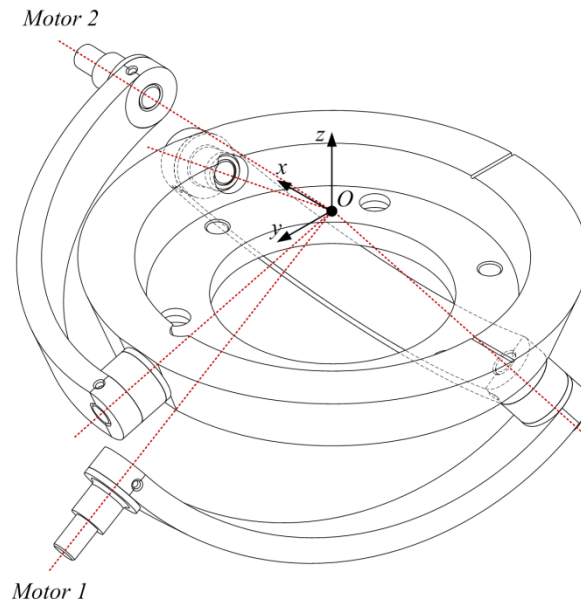


Figura 3 – Schema cinematico finale della piattaforma

2 Analisi dello spazio di lavoro

L'analisi dello spazio di lavoro è stata effettuata anche attraverso lo studio della cinematica differenziale con lo scopo di individuare le configurazioni singolari del meccanismo. Il plot del reciproco del condition number (ICN) del Jacobiano \mathbf{J} , definito come il rapporto tra il minimo e il massimo degli autovalori di \mathbf{J} , permette di individuare graficamente le zone di singolarità. Tale plot viene tracciato in figura 4 nello spazio giunti e in un dominio in cui gli angoli dei motori sono limitati tra -80° e 50° , che sono i valori estremi di rotazione concessi prima che si verifichino interferenze tra i membri delle gambe. Lo spazio di lavoro richiesto, delimitato in figura da una linea continua, è all'interno del dominio considerato e solo localmente (nella zona con $\theta_1 < -\pi/3$) è limitrofo ad una zona di singolarità; per il resto il valore di ICN è superiore ovunque a circa 0.3, indicando delle buone proprietà cineto-statiche globali.

A partire dalla matrice Jacobiana si determina anche l'indice di sensibilità angolare, che corrisponde al fattore di amplificazione che converte una rotazione dell'asse motore in una rotazione della piattaforma mobile. Il plot di figura 5 indica una sensibilità angolare approssimativamente inferiore a 4 in tutti i punti dello spazio di lavoro. Se si considera quindi una risoluzione dell'asse motore di circa $5 \cdot 10^{-3}^\circ$ (risultante dall'utilizzo di un encoder con 256 tacche di lettura e un riduttore con rapporto di trasmissione pari a 279), la risoluzione sulla piattaforma mobile è nel peggiore dei casi intorno a $2 \cdot 10^{-2}^\circ$.

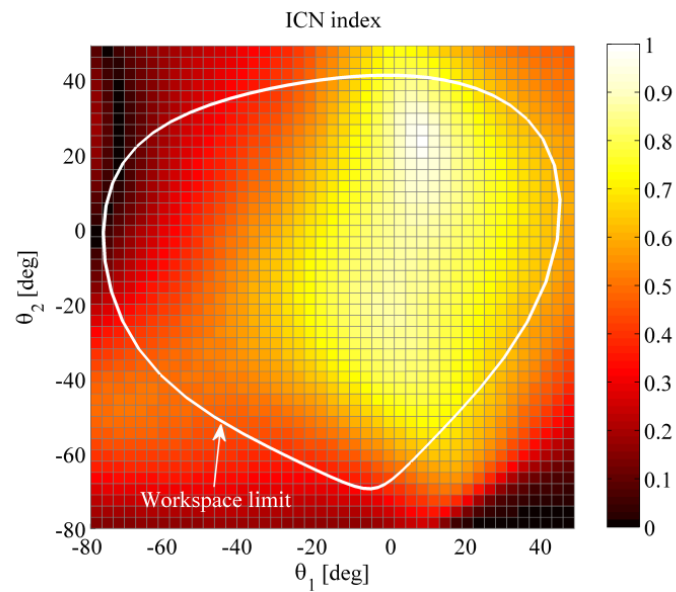


Figura 4 – Plot dell'indice ICN

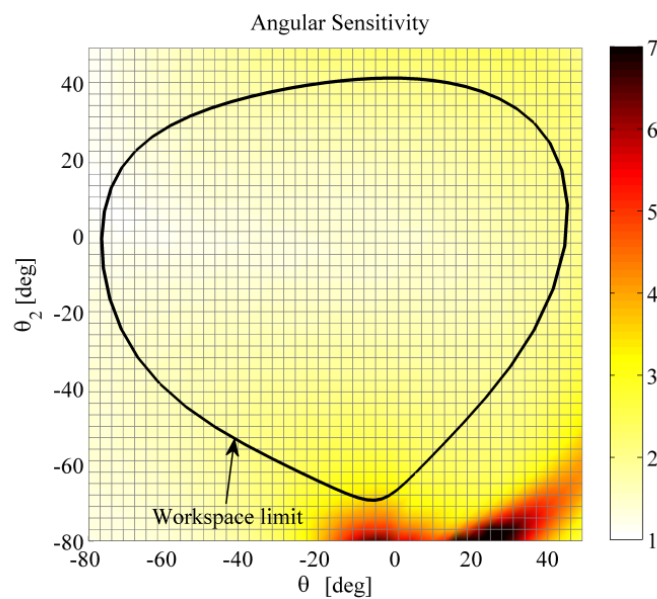


Figura 5 – Plot della sensibilità angolare

3 Progettazione meccanica e prototipazione

La progettazione meccanica della piattaforma è iniziata con la scelta del sistema di attuazione (figura 6). La necessità di avere giochi assenti o molto ridotti è stata soddisfatta con l'adozione di un mini sistema moto-riduttore-encoder dell'azienda Faulhaber in cui il riduttore è realizzato con

una cascata di ingranaggi precaricati privi di gioco, con rapporto di riduzione è pari a 279. Il riduttore è stato collegato ad un motore DC con velocità massima di 13000 rpm e coppia massima di $0.7 \cdot 10^{-3}$ Nm. Il motore è equipaggiato con un encoder magnetico a 3 canali e 256 tacche di lettura. Di conseguenza l'albero lento di uscita del sistema di attuazione è caratterizzato da una coppia massima di circa 0.2 Nm, una velocità massima di 47 rpm e una risoluzione di $5 \cdot 10^{-3} \circ$.

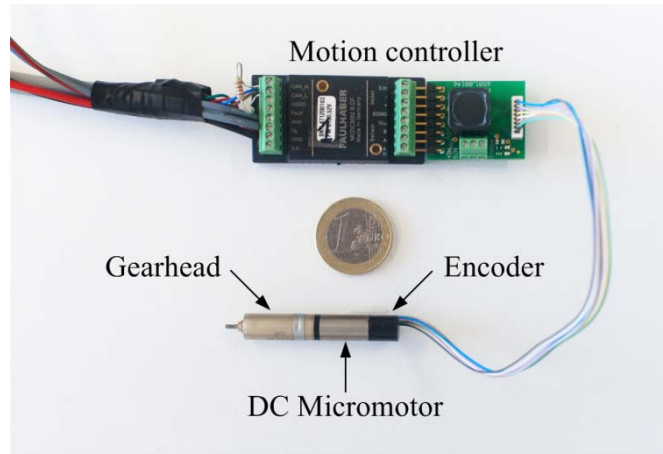


Figura 6 – Componenti del sistema di attuazione

L'hardware di controllo è costituito da due motion controller Faulhaber, uno per ogni motore, con comunicazione secondo lo standard CAN. Le due schede di controllo sono connesse ad un PC in un unico bus CAN. La comunicazione tra i dispositivi e l'invio delle istruzioni per il moto sono gestiti da un software realizzato in LabView ed eseguito sul PC (figura 7). Lo stesso software gestisce anche la comunicazione ethernet tra la piattaforma e il controllore centrale della cella.



Figura 7 – Software di controllo realizzato in LabView

La progettazione meccanica dei membri mobili, del telaio e dei giunti cinematici è stata guidata dalle tecnologie disponibili atte a realizzare componenti in miniatura e dalla disponibilità di mini componenti commerciali come cuscinetti, viti e grani.

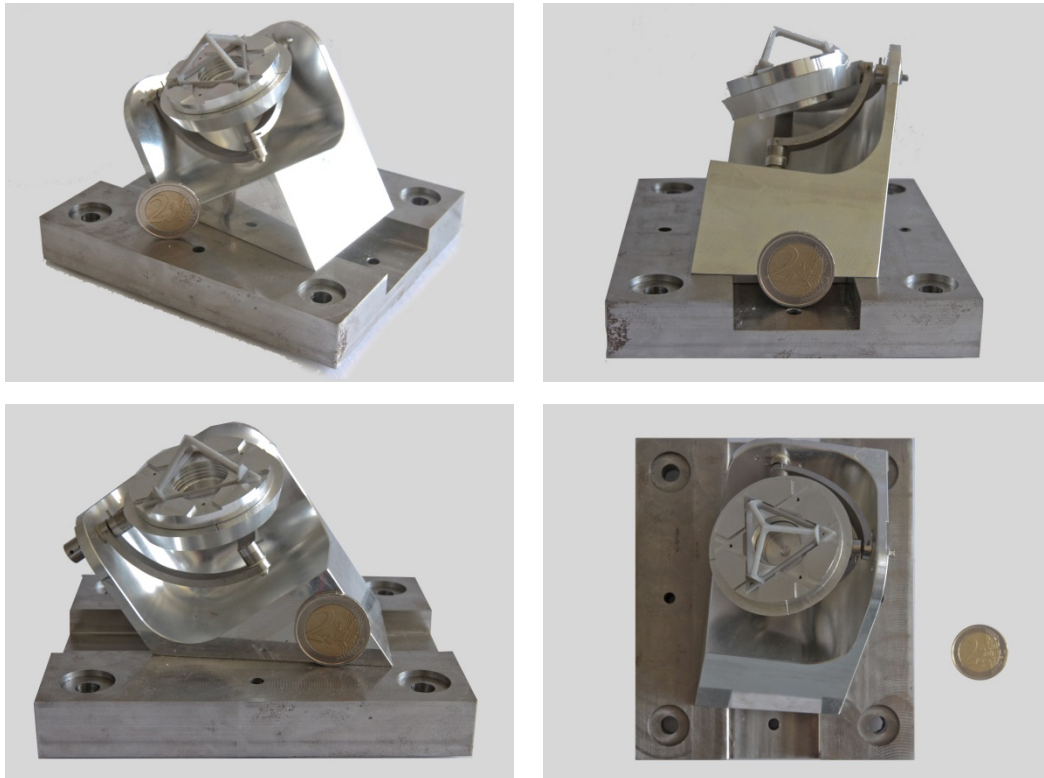


Figura 8 – Prototipo privo del sistema di attuazione

Il prototipo, ancora privo del sistema di attuazione, è mostrato in figura 8. I giunti, tutti di tipo rotoidale, sono stati realizzati con dei perni di acciaio $\varnothing 3$ mm inseriti su mozzi $\varnothing 4.5$ mm con l'interposizione di boccole in tecnopolimero Iglidur. I membri delle gambe hanno uno spessore di 3 mm e sono stati realizzati in acciaio tramite elettroerosione a filo (EDM). Le due parti che compongono la piattaforma mobile sono stati realizzati in alluminio 6061, così come la parte di telaio che alloggia il motore, mentre la piastra che funge da basamento è in acciaio. A scopo dimostrativo è stato realizzato tramite prototipazione rapida un telaio in plastica conforme alle specifiche di progetto. Sul telaio verranno montate delle placchette metalliche contenenti i fori su cui dovranno essere inseriti i perni di varia geometria durante le operazioni dimostrative di assemblaggio. Lo scopo della piattaforma sarà quindi quello di orientare successivamente le tre facce della piramide normalmente alla direzione verticale. Le configurazioni assunte dalla piattaforma in tali operazioni sono mostrate in figura 9, dove al prototipo meccanico sono stati aggiunti gli apparati di attuazione e di controllo.

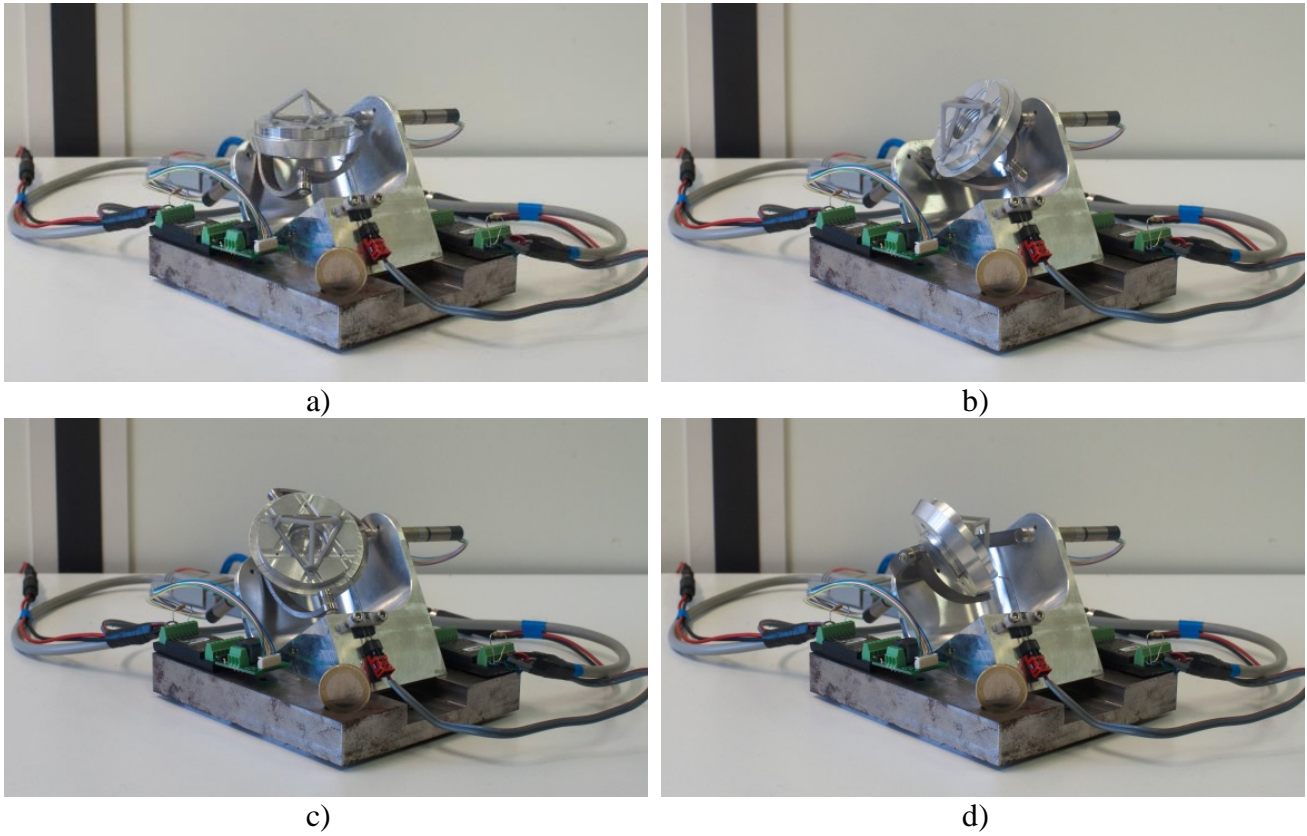
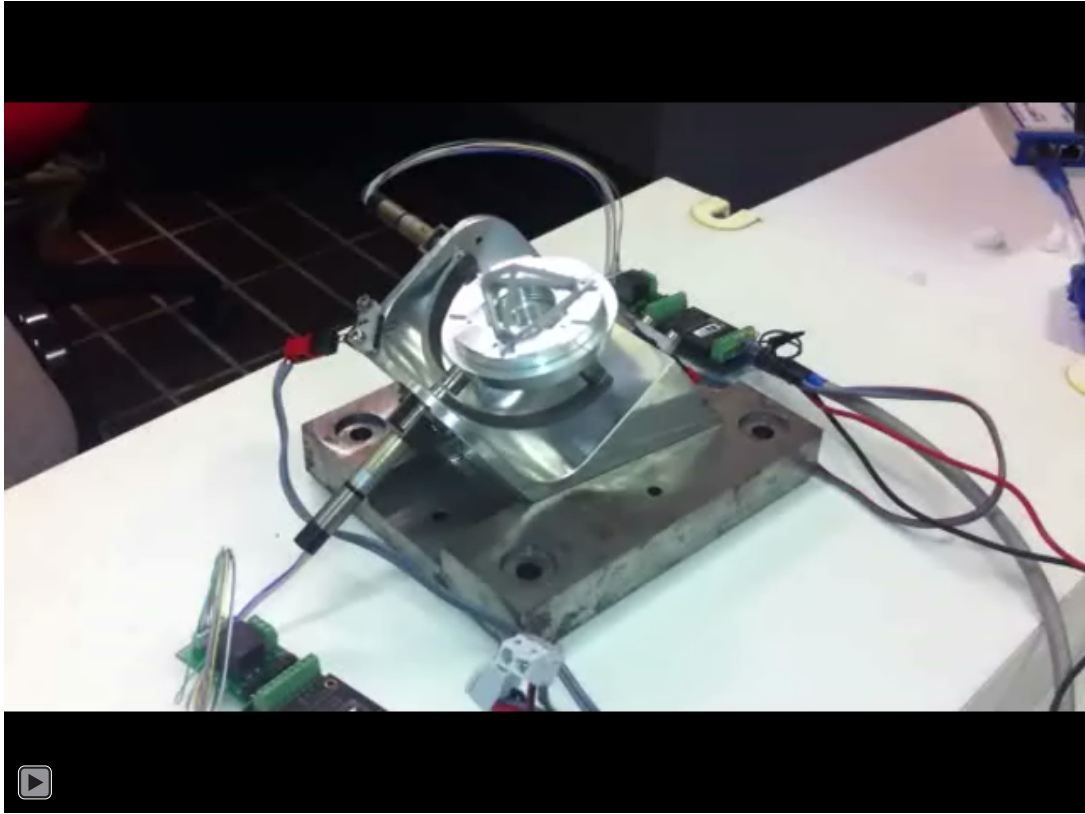


Figura 9 – Prototipo finale in posizione di homing (a) e nelle configurazioni di orientamento delle facce della piramide (b, c, d)



Video:

Sequenza di homing - orientamento delle facce della piramide - posizione di scarico