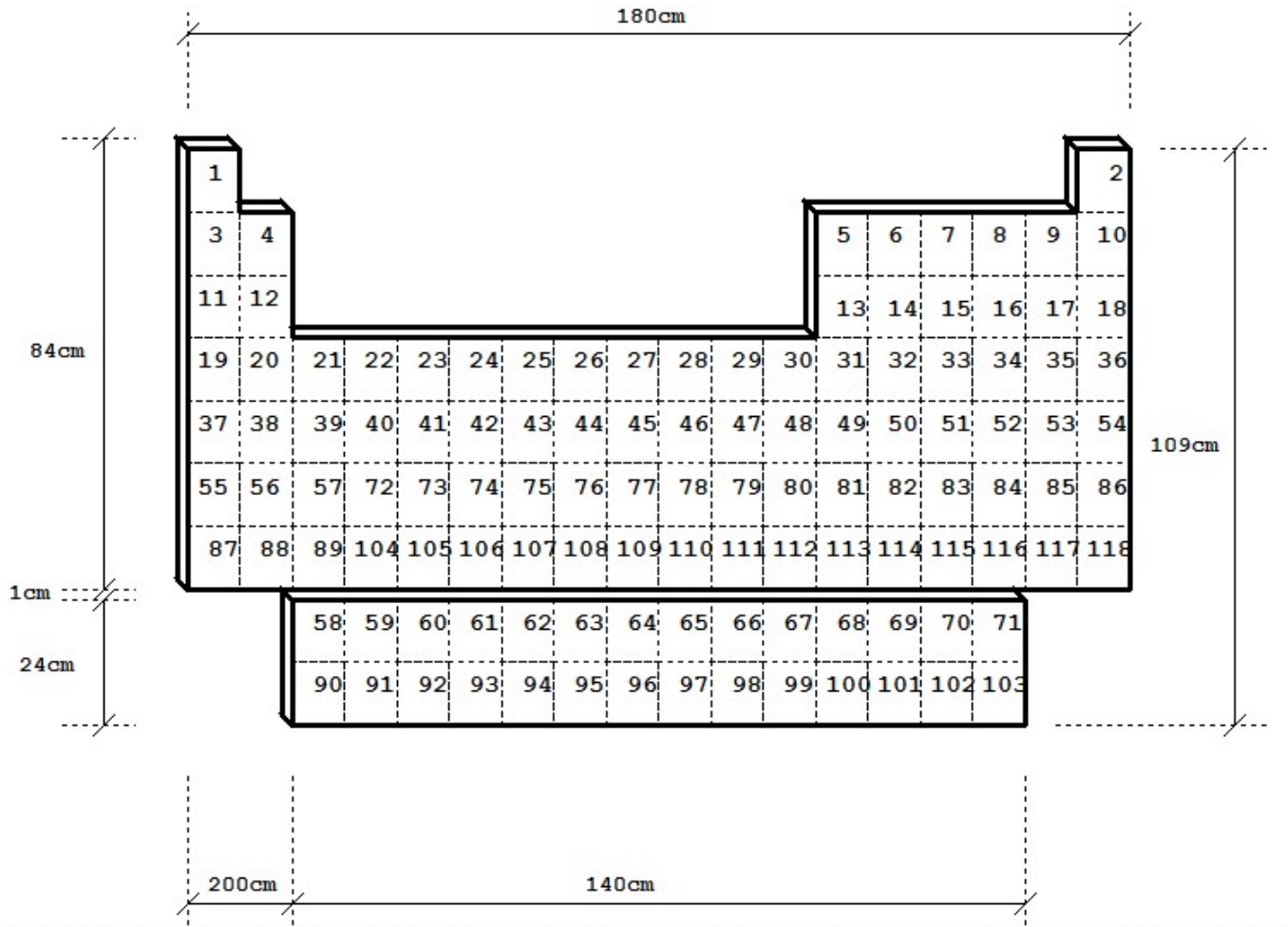


## Progetto DIM-BOT – parte 2

### SCELTA DELLA GEOMETRIA

Come detto nella prima parte, l'obiettivo è quello di realizzare un braccio robotico che possa disporre le caselle degli elementi su una tavola periodica.

Le dimensioni complessive della tavola periodica composta da due parti separate, sono le seguenti: larghezza 180cm ed altezza 109cm.



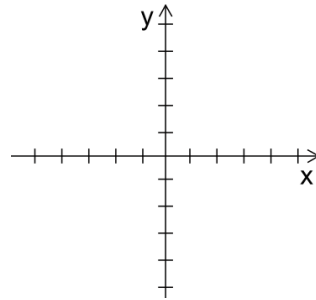
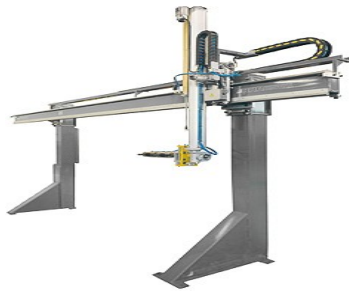
Con dimensioni non proprio piccole, bisogna fare molto attenzione alla scelta della geometria da realizzare, l'unica cosa certa, è che occorre una geometria planare in grado di muovere il dispositivo di presa delle caselle su un piano.

Quando parliamo di geometria di un robot, intendiamo la sua struttura cinematica e cioè la disposizione degli assi che eseguono il movimento, in genere tramite dei motori.

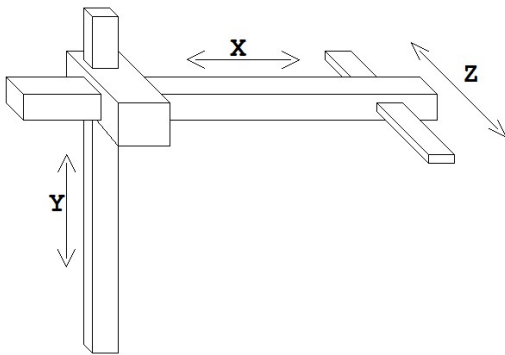
Per capirci meglio possiamo fare qualche esempio sulle geometrie più note.

## ROBOT CARTESIANO 2 ASSI

Una delle più classiche geometrie per robot, è quella cartesiana, che segue il sistema cartesiano composto dai 2 assi X e Y.



Uno dei classici esempi di geometria cartesiana è quella che utilizzavano i vecchi plotter molto utilizzati negli anni 90.



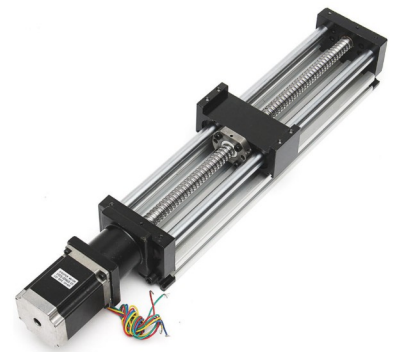
Analogamente aggiungendo il terzo asse nella direzione Z si avrebbe un robot cartesiano 3 assi, soluzione adatta per operare nello spazio e non solo in un piano.

Con questo tipo di robot, i due motori si occupano di far eseguire uno spostamento lineare nelle due direzioni ortogonali tra di loro X e Y per raggiungere ogni posizione nel piano (o nello spazio nel caso di robot a 3 assi). Questa è una delle geometrie più semplici da gestire, perché gli assi sono totalmente indipendenti tra di loro, ed i calcoli da fare per raggiungere il punto desiderato sono davvero elementari.

Inoltre un robot di questo tipo, sembra molto adatto per essere disposto sopra alla nostra tavola periodica che può essere vista come un piano cartesiano.

Un altro vantaggio è l'elevata precisione che potremmo ottenere con questo tipo di robot, in quanto per movimentare i due assi, si potrebbero utilizzare delle soluzioni con viti a ricircolo di sfere, con cui potremo ottenere una risoluzione elevatissima.

Ad ogni giro del motore, lo spostamento lineare che si otterrebbe dipende dal passo della vite. Con un buon rapporto di riduzione avremmo un'alta risoluzione ed un'alta coppia, potendo utilizzare così motori di piccole dimensioni.

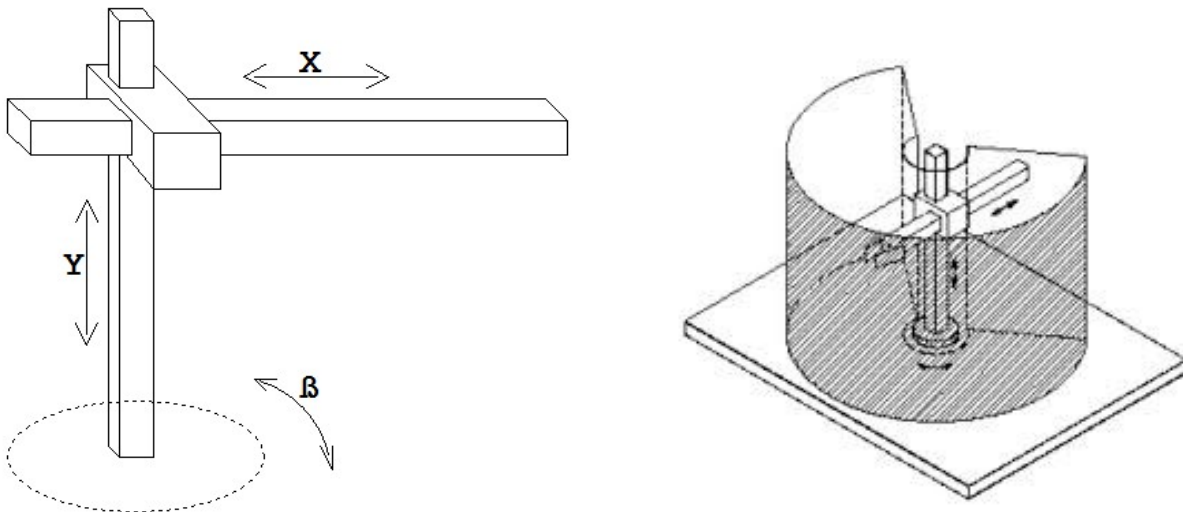


Di contro abbiamo però che la struttura sarebbe pesante ed ingombrante, e per muoversi da una parte all'altra della tavola potrebbe servire un'alta velocità del motore, problema questo facilmente risolvibile utilizzando motori brushless, adatti ad operare ad alti numeri di giri.

Benché fosse una delle soluzioni più adatte, il problema dell'ingombro (che si traduce anche in difficoltà di trasporto) sommato ad una geometria forse un po' troppo scontata, ci ha fatto scartare questa soluzione.

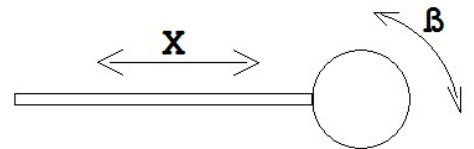
## ROBOT CILINDRICO

In questo caso due assi X e Y sono disposti in maniera cartesiana, il terzo asse non è lineare ma angolare. In questo caso si possono raggiungere tutti i punti in uno spazio cilindrico intorno al robot.

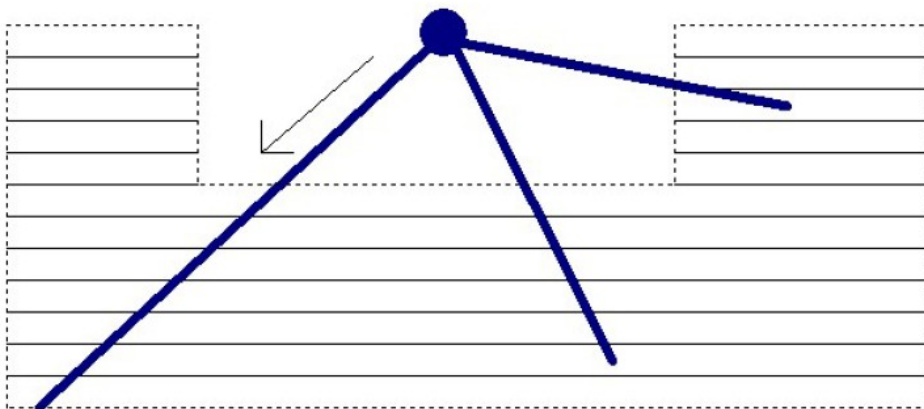


Questa cinematica non si presta per la nostra applicazione in quanto abbiamo la necessità di muoverci su un piano. Inoltre un simile robot occuperebbe molto spazio e risulterebbe difficilmente trasportabile.

Una geometria semplificata adatta per la nostra applicazione la potremmo ottenere eliminando l'asse Y del robot cilindrico, ottenendo così un movimento lineare ed uno angolare.



Un simile robot potrebbe essere installato sulla tavola in questo modo:

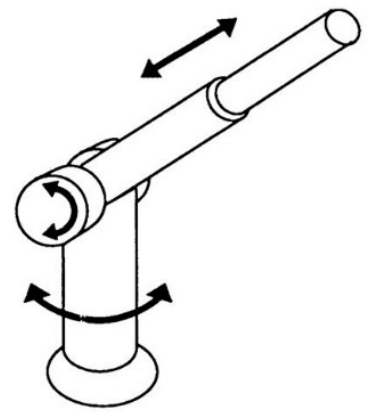


Lo spostamento lineare insieme alla rotazione consentirebbe di raggiungere ogni punto della tavola periodica. Il principale svantaggio è quello dell'asse lineare che dovrebbe essere realizzato in maniera telescopica, per consentire l'allungamento e l'accorciamento del braccio. Inoltre, come vedremo più avanti, un movimento angolare con un braccio molto lungo può dare luogo a basse risoluzioni.

## ROBOT POLARE

Una soluzione analoga non perseguibile per gli stessi motivi del robot cilindrico, è quella del robot polare o anche robot sferico, dove c'è un solo asse lineare e due angolari.

Anche in questo caso la soluzione è poco adatta per la nostra applicazione.



## ROBOT ANTROPOMORFO

Questa cinematica viene definita in questo modo, perché assomiglia al braccio umano, in quanto dotata di diversi gradi di libertà.

Con questa geometria si possono raggiungere tutti i punti dello spazio, ma per la nostra applicazione risulta poco adatta, in quanto ingombrante, costosa e molto complessa da gestire.



## ROBOT DELTA

Il robot delta è composto da 3 motori disposti a 120 gradi, che eseguono movimenti angolari.

Questo tipo di robot si presta per essere installato sopra a nastri trasportatori, per eseguire operazioni di "pick and place" in maniera molto veloce.

La velocità di questo robot deriva dal fatto che con piccoli movimenti dei motori, si possono ottenere spostamenti ampi del punto finale.



Anche in questo caso il robot non è adatto alla nostra applicazione, in quanto andrebbe disposto frontalmente alla tavola periodica oscurandola, ma soprattutto perché dovrebbe essere di dimensioni davvero elevate per poter raggiungere tutti i punti del piano della tavola.

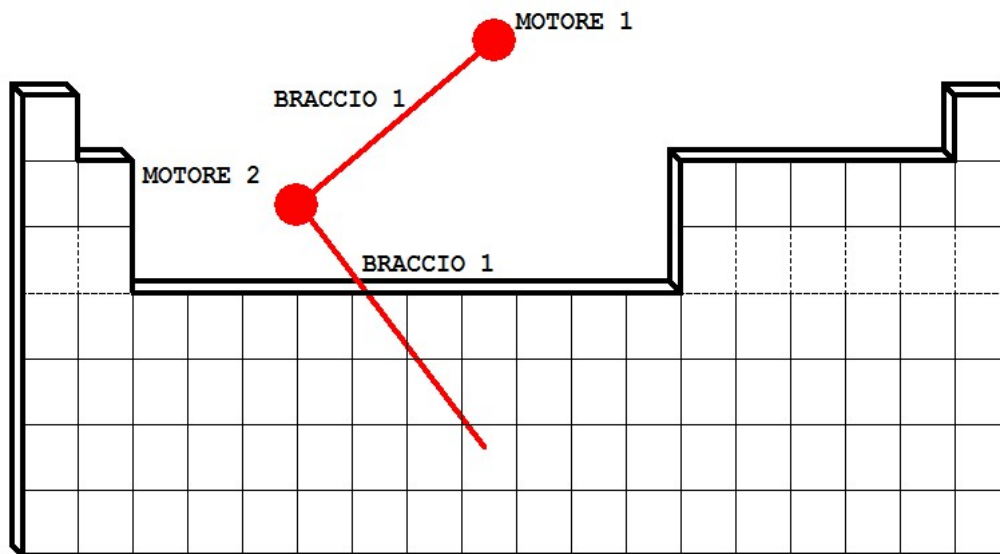
## ROBOT SCARA

Questo tipo di cinematica prevede almeno due motori che eseguono movimenti angolari, in modo da poterci muovere in un piano.

I due movimenti non sono indipendenti, ma i calcoli da effettuare per determinare lo spostamento da eseguire per raggiungere una determinata coordinata, non sono complessi. Potrebbe perciò essere una soluzione adatta per la nostra applicazione.



Possiamo perciò immaginare una soluzione come quella di seguito indicata.



Questa soluzione è stata ampiamente valutata, in quanto non presentava particolari difficoltà costruttive, consentiva di raggiungere ogni punto della tavola dallo spostamento angolare dei due motori, e consentiva anche di raggiungere velocità elevate in quanto i motori non compiono mai spostamenti superiori ai 180 °.

Sono state pertanto studiate le formule relative alla cinematica dirette ed inverse, e cioè quelle che consentivano di determinare la coordinata cartesiana dagli angoli dei due motori (forward kinematics) e quelle che invece consentivano di determinare gli angoli dei due motori dalle coordinate cartesiane (reverse kinematics).

$$\text{coordinata } X = \text{braccio } 1 * \cos(\text{angolo } 1) + \text{braccio } 2 * \cos(\text{angolo } 1 + \text{angolo } 2)$$

$$\text{coordinata } Y = \text{braccio } 1 * \sin(\text{angolo } 1) + \text{braccio } 2 * \sin(\text{angolo } 1 + \text{angolo } 2)$$

Per raggiungere ogni punto della tavola occorrono dei bracci molto lunghi almeno 75cm, ciò significa che dobbiamo avere un'elevatissima risoluzione sullo spostamento angolare di ogni motore.

Facendo gli opportuni calcoli con le formule sopra riportate, con una risoluzione di 0,05° avremmo una risoluzione finale di circa 2mm.

Inoltre i due lunghi bracci disposti a sbalzo, potrebbero facilmente flettere ed il primo motore dovrebbe avere una buona coppia per movimentare il peso dei due bracci e del secondo motore.

Questa soluzione ci ha sinceramente inizialmente distratto, ma a ragion veduta ed a calcoli fatti, abbiamo deciso di non utilizzare questa cinematica.

Inizialmente pensavamo di utilizzare dei motori brushless, ma questi motori vengono utilizzati ad alti numeri di giri, in modo da essere montati su dei riduttori che consentono l'aumento della coppia finale.

Faccio un esempio, un motore brushless da 400Watt sviluppa una coppia sull'albero di circa 4N/m e può raggiungere velocità di 3000 RPM (giri al minuto).

Cioè significa che il suo utilizzo ottimale sarebbe quello accoppiato ad un riduttore 50:1 che porterebbe il motore a girare a 60 RPM (un giro al secondo per noi più che sufficiente) con una coppia 50 volte superiore.

Andrebbe bene anche una riduzione inferiore come ad esempio 30:1, ma riduttori più economici in commercio hanno i loro giochi e le loro tolleranze ed introducono un errore di gran lunga superiore alla risoluzione sopra indicata di  $0,05^\circ$ , a meno che non si ricorra a riduttori di precisione molto costosi, che comunque sia avrebbero un gioco non accettabile per la nostra applicazione.

Per questo motivo tutti gli scara robot hanno dimensioni molto ridotte, pertanto questa soluzione rappresenta per noi un grosso rischio in termini di coppia e di precisione.

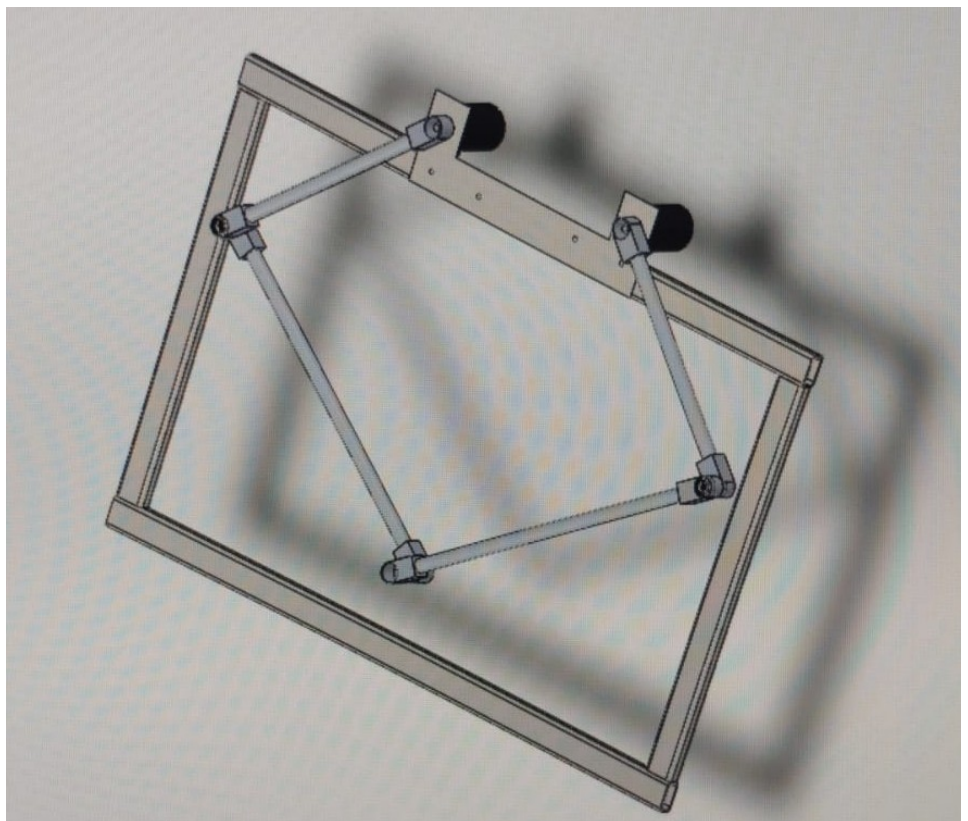
## SCARA PARALLELO

Rimanendo però sulla geometria di tipo SCARA, c'è una soluzione che potrebbe fare al caso nostro, ed è quella dello scara parallelo.

A questo link si può vedere un piccolo scara parallelo in funzione: [https://www.youtube.com/watch?v=R\\_AIzCTYBNs](https://www.youtube.com/watch?v=R_AIzCTYBNs)

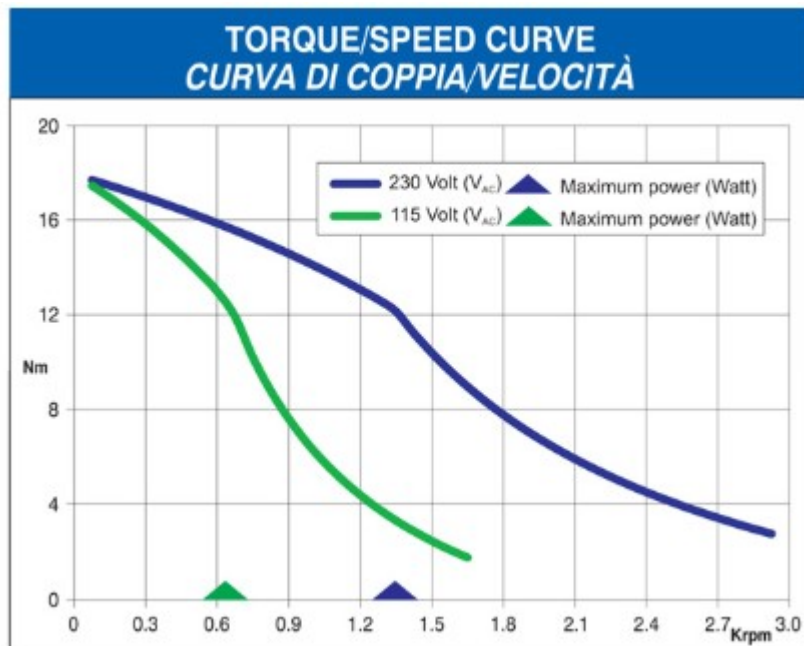
Questo tipo di geometria prevede due motori fermi ed indipendenti tra di loro, che eseguono due movimenti angolari. Anche in questo caso il calcolo delle formule dirette ed inverse non è molto complesso, ma anche in questo caso i bracci lunghi comportano un'elevata risoluzione sul punto finale.

Bisogna però considerare che i due motori lavorando insieme, dovrebbero aver bisogno di una minore coppia, pertanto potremmo eliminare il gioco che prima avevamo con il riduttore, non montando alcun riduttore, ma utilizzando due motori passo-passo con una coppia molto elevata.



In pratica con questa soluzione molto azzardata e molto fuori dagli schemi, utilizziamo due motori passo-passo con una coppia di 18 N/m a basso numero di giri.

Per muoversi sulla tavola periodica il motore dovrebbe al massimo raggiungere una velocità di un giro al secondo, cioè 60 RPM, velocità in corrispondenza della quale avremmo la coppia di circa 18N/m. Lavorando insieme i due motori darebbero sul punto finale una coppia ancora maggiore.



Lavorando con dei motori passo- passo abbiamo però degli svantaggi.

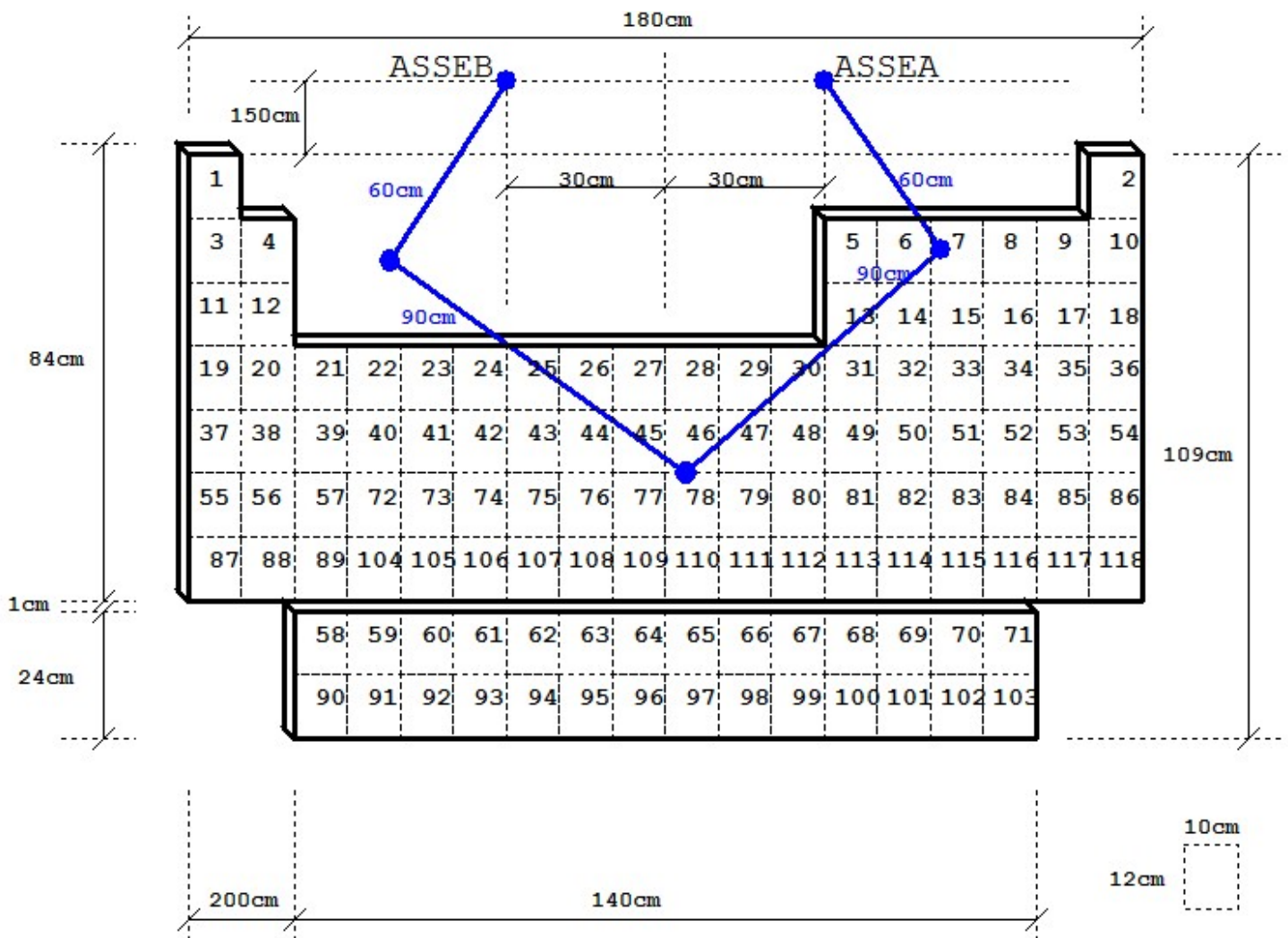
Il primo è relativo alla risoluzione massima che possiamo ottenere, con questo tipo di motore e con l'azionamento ad esso accoppiato avremmo una risoluzione di 0,09°, che però a conti fatti con le formule kinematics dirette, darebbero luogo ad una risoluzione finale al massimo di 2mm.

Il secondo problema è che mentre i motori brushless sono dotati di un encoder (perciò una retroazione per il controllo della posizione) i motori passo-passo genericamente non hanno un encoder montato a bordo, e comunque sia gli azionamenti (cioè le loro schede di pilotaggio di potenza) non sono provviste di un ingresso encoder e di un sistema per il controllo della posizione.

Ciò significa che lavoreremo ad anello aperto, e qualora fosse necessario, dovremo montare degli encoder sui motori, gestiti direttamente dalla nostra scheda di controllo.

Lavorare ad un ridotto numero di giri con i motori passo-passo è inoltre sconsigliato per problemi relativi alla risonanza meccanica, ma non avendo altre strade percorribili, ed essendo rimasti un po' affascinati da questa geometria abbiamo deciso di provarla, consapevoli di violare qualche principio basilare dell'automazione e della robotica.

Proseguendo su questa strada abbiamo immaginato la nostra tavola periodica con i due motori disposti nel seguente modo:



Il passo successivo è quello di realizzare un modello del sistema, al fine di valutare tutti i possibili problemi, e determinare le formule dirette ed inverse, forward kinematics e reverse kinematics.

Le cinematiche sopra descritte non sono le uniche possibili, ma sono quelle più conosciute, si potrebbe comunque pensare a soluzioni miste, ma nell'ottica di un basso costo del sistema e di una rapidità di sviluppo del prototipo, abbiamo preferito proseguire sulla strada dello scara parallelo.



## DISPOSITIVO DI PRESA

Nei robot sopra descritti non abbiamo mai menzionato il dispositivo di presa, ed un manipolatore senza dispositivo di presa serve a ben poco. Inoltre non abbiamo chiarito da dove venono prelevate le caselle da disporre sulla tavola periodica.

Inizialmente si pensava di dotare il robot di un caricatore contenente tutte le caselle. Visto il poco tempo e visto che il robot andrà inserito in uno spettacolo che coinvolge allievi e spettatori, si è preferito in questa prima fase non realizzare alcun caricatore, ma dare manualmente la casella da disporre sulla tavola periodica.

Per quanto riguarda il dispositivo di presa invece si è pensato di utilizzare un pistoncino elettrico che compie uno spostamento ortogonale al piano della tavola periodica.

La presa della casella può avvenire in maniera magnetica, o con un semplice foro su di essa.

Nel primo caso dovremo risolvere il problema dell'orientamento della casella, in quanto spostandosi essa non rimarrà sempre orientata verso il basso, nel secondo caso invece questo problema sarebbe risolto dalla forza di gravità.

L'idea è quella di prelevare le caselle dotandole di un foro, dove il movimento del pistone va ad inserire un perno di presa, depositandole poi sulla tavola periodica che dovrà essere dotata di una serie di nastri magnetici per la tenuta della casella metallica.

Ci sono altre soluzioni in fase di studio, ma non avendo ancora realizzato il robot, rinviemo la scelta del dispositivo di presa successivamente.

