

Introduco questo tema in quanto è opinione comune che vi siano pochi libri o testi dove trovare la "giusta" teoria, quella molto vicina ai problemi pratici della realizzazione. Realizzerò alcuni testi su vari argomenti che, spero, trovino l'interesse di altri; ovviamente il contributo di tutti, come sempre, è arricchimento per ognuno di noi.

### Paragrafo 1.

#### Studio del movimento a terra.

Lo studio del movimento in un robot è evidentemente una parte molto importante, iniziamo ragionando sulla parte motrice quella cioè che sposterà il robot da un punto all'altro del suolo. Per semplicità immaginiamo di avere una base con due ruote motrici indipendenti, gli assi delle due ruote giacciono sulla stessa retta o asse

(---) Ruota 1

|  
| asse  
|

(---) Ruota 2

Più o meno così, ora è facile immaginare che se le due ruote hanno la stessa velocità di rotazione e lo stesso verso, la base si muoverà in modo rettilineo, ma cosa succede se le ruote girano a velocità diverse? e se hanno verso diverso e velocità diverse?

Ovvio immaginare che serve un po' di matematica, esiste anche un metodo grafico però, vediamo:

Su un foglio millimetrato disegnatte una freccia (vettore) di lunghezza proporzionale al valore della velocità e con verso appropriato per la ruota 1, fate lo stesso per la ruota 2.

(---)-----> V1

|  
|  
|

(---)----> V2

ora se unite i due vertici delle frecce con una retta, prolungatela verso il basso fino ad intersecare il prolungamento dell'asse; bene il punto trovato è il centro di rotazione e la distanza dal punto al centro dell'asse è il raggio della curva. il centro di rotazione sarà esterno all'asse se le frecce hanno stesso verso e sono diverse da zero, coincide con una ruota se il valore di quella ruota è zero, sarà interno all'asse se le frecce hanno verso opposto, sarà il centro dell'asse se il verso è opposto e i valori uguali. Provatelo!

Ultimo, la lunghezza della freccia dal centro dell'asse alla retta di congiunzione dei due vettori dà il valore della velocità risultante.

Volete le formule?

ok,

Raggio = (asse/2)\*(V1+V2)/ABS(V1-V2)

V1 e V2 sono le velocità delle ruote, ABS significa valore assoluto (senza il segno)

Frequenza rotazione = (V1 - V2)/(6.28\*asse) ; se la frequenza è negativa la rotazione è antioraria

Ovviamente le unità di misura saranno coerenti: V in cm/sec, asse in cm, raggio cm, frequenza in giri al sec.

Abbiamo visto come gestire i calcoli sulle 2 ruote, ho tralasciato per non offendere nessuno il calcolo della velocità partendo dalla rotazione dei motori. Diverso e più interessante il caso in cui abbiamo degli encoder posizionali sui motori per controllare il moto.

Nel caso di un encoder (la classica ruota che alterna spazi vuoti e pieni che troviamo anche nel mouse) è necessario ai fini della programmazione del robot, sapere a che spazio percorso corrisponde ogni impulso dell'encoder.

Facciamo un esempio:

Ammettiamo di avere un encoder calettato sull'albero del motore che fornisce 8 impulsi/giro.

Ammettiamo di avere un rapporto di riduzione tra motore e ruota di 5:1

Ammettiamo che la ruota abbia un raggio di 5cm

Bene, avremo a questo punto:

$360/8 = 45^\circ$  Rotaz. motore tra 2 impulsi encoder

$45/5 = 9^\circ$  Rotazione ruota tra due impulsi encoder

$5 * 6,28 = 31,4$ cm Circonferenza ruota (anche spazio percorso ad ogni giro)

Ora facendo una proporzione:

$360:9 = 31,4\text{cm}:X\text{cm}$

da cui  $X = 0,785\text{cm}$

Quindi ad ogni impulso di encoder avremo percorso 0,785 centimetri, in questo caso questo valore è anche la precisione massima (teorica) che ci possiamo aspettare dal sistema in questione.

E' facile ora calcolarsi la velocità, se infatti registriamo 10 impulsi al secondo avremo:

$0,785 * 10 = 7,85$  cm/sec

O viceversa volendo dare al robot una velocità di 10 cm/sec dovremo pilotare il motore fino a registrare:

$10 / 0,785 = 12,74$  impulsi al secondo

Bene, ora sappiamo come pilotare un motore con cognizione, possiamo volendo impostare uno spostamento determinato ed una velocità determinata ma, sappiamo costruire un percorso? Teoricamente sì, gli elementi li abbiamo tutti.

Allora proviamo, immaginiamo di voler far percorrere al robot 100cm in modo rettilineo e poi fare una curva di 90° in senso orario e quindi altri 100cm rettilinei.

Vi sono almeno tre modi di rispondere alla necessità.

1) imposto la stessa velocità per le due ruote, conto un numero di impulsi encoder fino a 100cm, mi fermo, imposto la stessa velocità sulle due ruote ma con verso opposto e conto un numero di impulsi pari ad un quarto di giro  $[(asse \cdot 3,14)/4]$ , poi stessa velocità stesso verso e conto per altri 100cm. (notate che il raggio di curvatura è  $asse/2$ )

2) stessa velocità stesso verso per 100cm- $(asse/2)$ , una ruota ferma e l'altra continua per un quarto di giro che questa volta però è  $[(asse \cdot 6,28)/4]$ , poi stessa velocità e stesso verso per altri 100cm- $(asse/2)$ . (raggio di curvatura è uguale all'asse)

3) Caso con raggio di curvatura maggiore dell'asse, in questo caso le ruote hanno lo stesso verso di rotazione e velocità diversa da zero, se ricordate conoscendo le due velocità posso risalire al raggio e viceversa volendo un certo raggio posso determinare la differenza di velocità delle due ruote, percorrerei quindi in modo rettilineo un tratto pari a  $100cm - (raggio/2)$ , inizierei la curva per un tratto pari a  $[(raggio \cdot 6,28)/4]$  poi l'ultimo tratto rettilineo  $100cm - (raggio/2)$

La scelta può dipendere da molti fattori e non ultimo da una questione cinematica: a meno che non abbiamo un sistema in grado di gestire accelerazioni e decelerazioni controllate, ogni volta che comandiamo al robot uno start o uno stop, ciò avviene in modo molto brusco e il rischio è quello di perdere aderenza con il suolo, se ciò avviene tutti i conti che abbiamo fatto fino ad ora non servono più, immaginate che, come accade per le automobili, la frenata provochi lo slittamento delle gomme con una leggera sbandata, anche solo una rotazione di 5°, magari il punto dove il bot si è fermato è vicinissimo al punto giusto ma, la piccola rotazione farà sì che ad ogni successivo comando siate più lontani di dove credete. Ecco perché il sistema 3 è migliore (salvo altri impedimenti) anche se più complesso come calcoli (i calcoli li fa il PC) in quanto prevede un numero minore di STOP/START. Ovviamente ciò ha un senso se posso variare la velocità delle ruote senza passare per uno stop.

Ma come so dove sono?

Beh, qui c'è da fare i conti con la trigonometria ma non è difficile, ovviamente da qualche parte ci sarà una mappa, magari memorizzata nel PC, devo pensare di partire con il robot da un punto noto e con un orientamento noto (Est?).

L'origine della vostra mappa sarà l'origine di un ipotetico piano cartesiano orizzontale, se procedo diritto (sono orientato ad Est), l'angolo (alfa) è zero e avrò che

$X_{finale} = X_{iniziale} + spostamento \cdot \cos(\alpha)$ ; mentre

$Y_{finale} = Y_{iniziale} + spostamento \cdot \sin(\alpha)$ ; se sono ruotato di 45° (Nord-Est) evidentemente X e Y assumeranno altri valori.

Provate a determinare X e Y sapendo che parto dal punto 0,0 e sono orientato ad est per il percorso immaginato sopra e sapendo che scelgo la soluzione 1. Riprovate con le soluzioni 2 e 3 (scegliete voi un valore per asse e raggio)

## Paragrafo 2

### Stepper o CC?

Bella domanda, ognuno ha le proprie convinzioni e preferenze emotive, vediamo un po' di dati tecnici.

#### CC

Sono i classici motori che troviamo ovunque, poco costosi, leggeri, si possono comandare con estrema facilità, variandone la tensione di alimentazione si varia la velocità, possono raggiungere velocità di rotazione da paura, 10, 20 mila giri minuto; tra i difetti maggiori troviamo: la presenza di spazzole e collettore che oltre ad usurarsi generano disturbi e calore a go go, la precisione poi è un altro limite sia per il posizionamento sia per la velocità di rotazione, quest'ultima in particolare è legata a fattori variabili quali la temperatura, i SERVO così chiamati i motori CC pilotati in PWM hanno buona capacità sul posizionamento mentre sono sempre difficili da "indovinare" per la velocità, il PWM poi ha qualche effetto sulla coppia; per applicazioni di robotica questo tipo di motori è accettabile solo in abbinamento a encoder e PID, anche il semplice (e non troppo robotico) inseguitore di linea (o luce) è in pratica un PID ed è facile vedere come questi sistemi seguano il segnale "dondolando"

#### STEPPER

Sono costosi, serve un circuito digitale per pilotarli, è difficile dimensionarli, hanno una coppia bassa a parità di corrente, hanno velocità decisamente più basse 5-7 mila giri minuto; per contro sono molto affidabili, senza parti in usura e non generano disturbi, silenziosissimi, se ne trovano di dimensioni da non credere (avete mai aperto l'HD di un notebook?); alcune convinzioni errate su questi motori e soprattutto tanta ignoranza sul loro funzionamento fanno sì che a livello hobbistico non siano molto utilizzati, sono sempre usati in applicazioni con un minimo di professionalità vedi stampanti, scanner, plotter, HD oltre ovviamente alla robotica, pilotare due motori alla stessa velocità è in questo caso molto semplice, è altresì abbastanza semplice gestire accelerazioni o decelerazioni.

Il rischio di perdere i passi esiste solo se il dimensionamento è sbagliato o in caso di coppie resistenti impreviste, accoppiandolo ad un encoder si può avere visione dell'eventuale passo perso e correggerlo con maggior rapidità, il PID è più semplice da realizzare. Per entrambi un problema se parliamo di robotica è il mantenimento della posizione assunta, per entrambi significa dover continuare ad alimentarli, per lo stepper è una condizione prevista costruttivamente, per il motore CC è una condizione anomala e si rischia seriamente la cottura, comunque per un robot a batterie continuare ad alimentare i motori per tenere fermo un braccio è un'assurdità; per entrambi ci viene in aiuto la meccanica, l'accoppiamento vite-ingranaggio risolve il problema (considerate però che la forza peso si scarica sull'albero motore).

Sicuramente con queste righe non si chiude l'argomento e rimane indubbia la possibilità di ognuno in funzione delle proprie capacità di fare l'una o l'altra scelta, sarebbe meglio considerare l'uno o l'altro a seconda della funzione d'uso che si cerca.

### **Paragrafo 3**

#### **Ingranaggi & Co**

Visto che sono stati tirati in ballo gli ingranaggi, beh forse vale la pena parlarne un po'. Queste righe sono recuperate da un vecchio post di Paul sul NG di "fai da te" e gelosamente da me conservate.

Lezione N° 1.

(Ovvero come chiamare le cose con il nome giusto, ed imparare che anche le volpi conoscono la geometria piana).

Visualizzate mentalmente una ruota dentata, o meglio, mettetene una davanti a voi; (dove sono tutte quelle rotelle della vecchia sveglia che ogni buon fai da te ha cercato almeno una volta nella vita di rimontare senza successo?).

Iniziamo con la cosa più tediosa, e cioè la terminologia.

Così almeno sapremo parlare in argomento con proprietà di linguaggio.

Il primo termine è il "diametro esterno dell'ingranaggio", che si chiama anche "diametro del cerchio di troncatura esterno", e mi pare non ci sia granchè da dire in proposito.

Il secondo è il "diametro del cerchio di troncatura interno", che corrisponde al fondo del vano vuoto. Da non confondere con il "diametro di base", che corrisponde a quello determinato dal diametro esterno della ruota coniugata. (Difficile da capire senza un disegno, ma soprassediamo perchè non ha molta importanza).

Basti dire che la differenza tra il diametro di base e quello di troncatura interno determina il "gioco di fondo" tra il dente di una ruota ed il vano impegnato della ruota condotta dalla prima.

Questo gioco è importante per evitare che due ingranaggi si impuntino e quindi per determinare la distanza dei due assi di rotazione.

Insomma roba da specialisti, che a noi non importa granchè.

Ma c'è un altro diametro da conoscere, il più importante, perchè è quello di riferimento per tutti i calcoli.

E' quello che corrisponde al punto di contatto sul fianco dei denti tra due ruote che si impegnano, e che si trova circa a metà altezza del dente (torneremo sull'argomento più tardi).

Il suo nome è "diametro primitivo".

Beccatevi perciò questa :

"due ruote dentate sono assimilabili a due ruote di frizione che girano a contatto tra loro in corrispondenza del diametro primitivo".

Vediamo ora in dettaglio il singolo dente :

Visto di fianco, più o meno è triangolare (più meno che più, in verità), ed ora sapete che la sua base ha inizio dal cerchio di troncatura interno e finisce con un piccolo arco sulla circonferenza di troncatura esterna.

L'altezza del dente medesimo è la differenza tra i raggi delle due circonferenze di troncatura.

A circa metà altezza del dente passa la circonferenza primitiva (ricordate ?).

Ora osserviamo i fianchi del dente, quelli curvi, che danno la caratteristica forma allo stesso.

In pratica tutti gli ingranaggi sono tagliati in maniera che i due fianchi del singolo dente corrispondano ad una curva matematica ben precisa, che si chiama evolvente di cerchio o più semplicemente "evolvente".

Cos'è una evolvente si potrebbe spiegare con una equazione, ma siccome io avevo 4 in matematica, lo spiego in un modo più semplice.

Chiedete a vostra moglie un rocchetto di filo da cucito.

Tenetelo in una mano, e, con l'altra svolgete il filo dal rocchetto, tenendolo ben teso tra due dita (intendo dire che svolgiate il filo descrivendo delle immaginarie rotazioni intorno al rocchetto, non che tiriate il filo secondo l'asse del rocchetto !).

La curva che descriverà il punto che corrisponde alle vostre due dita che tengono il filo è una evolvente.

Cioè una specie di spirale, ma con specifiche proprietà.

Divagazione N° 1.

Non solo i matematici ed i tecnici conoscono ed utilizzano le curve evolventi, ma anche le volpi! Incredibile a dirsi, ma se una volpe trova l'occasione di una ciotola piena lasciata per il pasto

di un cane legato ad una catena fissata ad un palo, è capace, tenendosi a debita distanza, di stuzzicare il cane in maniera che girando attorno al palo avvolga progressivamente la catena attorno al palo stesso, accorciandola quanto basta per papparsi il cibo nella ciotola.

Cioè fido girando descriverà un' evolvente di cerchio avvicinandosi sempre di più al centro di rotazione, e resterà senza pranzo !

Divagazione N°2.

Un' altra applicazione dell' evolvente è quella applicabile al taglio dell' erba nei pratini liberi da alberi e/o ostacoli.

Si pianta un palo nel bel mezzo del prato, e si fissa una cordicella al palo, legandola all' altro capo alla falciatrice.

Girando attorno al palo tenendo teso il filo, la falciatrice descriverà una spirale, o per meglio dire, un' evolvente, lasciando delle bellissime traccie di rasatura curve (se la larghezza di taglio della falciatrice è, ad esempio, di 40 cm, utilizzando un palo di circa 10 cm di diametro, corrispondenti a circa 30 cm di circonferenza, si otterranno delle traccie sul terreno di pari misura).

Provare per credere !

Se non avete pratini da tagliare, o preferite sugli stessi il taglio diritto và-e-vieni, amici come prima e torniamo agli ingranaggi.

Un altro termine da considerare è il "passo" della dentatura, che è la lunghezza della circonferenza primitiva divisa per il numero dei denti. Cioè :

$$P = \frac{\pi \cdot D}{Z}$$

dove

P = passo della dentatura

D = diametro primitivo

Z = numero dei denti

Come si intuisce dalla formula, il passo è un numero irrazionale a causa del fattore pi greco, che per l' appunto è irrazionale.

E' stato perciò aggirato l' ostacolo introducendo un numero, detto modulo (m), definito dalla relazione

$$P = m \cdot \pi$$

in tal modo la formula del passo diventa

$$P = m \cdot \pi = \frac{\pi \cdot D}{Z}$$

dalla quale si ricava

$$m = \frac{D}{Z}$$

che si può anche scrivere

$$D = m \cdot Z$$

che è la formula base degli ingranaggi.

Cioè, detto in chiaro :

"il diametro primitivo di un ingranaggio è uguale al modulo della dentatura moltiplicato per il numero dei denti".

Interessante, vero ?

Se lo sapessero le volpi.....

Ora fate un ultimo piccolo sforzo, che abbiamo quasi finito.

La distanza tra il cerchio di troncatura esterna ed il cerchio primitivo si chiama "addendum" (a) ed è pari al valore del modulo (m).

Invece la distanza tra il cerchio primitivo ed il cerchio di troncatura interno si chiama "dedendum" (b), e vale 7/6 (sette sedicesimi) del valore del modulo.

Quindi l' altezza del dente è pari alla somma dell' addendum più quella del dedendum ed è espressa chiaramente dalla formuletta

$$h = a + b = m + \frac{7}{6} \cdot m = \frac{13}{6} \cdot m$$

cioè l' altezza di un dente è pari a tredici sestimi del valore del modulo.

Il gioco di fondo invece vale 1/6 del modulo, ed ometto la formula per non farvi sbadigliare troppo.

Lo spessore del dente, misurato sul cerchio primitivo, è pari a metà del passo (e mi pare che in questo caso non siano necessarie spiegazioni).

Le relazioni di cui sopra permettono di esprimere i diametri di troncatura esterna ed interna in funzione del modulo :

$$D_e = m \cdot (Z + 2)$$

che si può anche scrivere

$$D_e$$

$$m = \frac{\quad}{Z + 2}$$

e per quanto riguarda il diametro di troncatura interna

$$D_i = m * \left( 2 - \frac{14}{16} \right)$$

Piccola pausa di riflessione :

se siete arrivati sin qui senza maledire Paul hass, avrete capito l' utilità di tutte queste formulette, e cioè le relazioni che legano i vari parametri geometrici delle ruote dentate, che permettono ai tecnici, fissato uno o più di questi parametri, di ricavare gli altri.

Ad esempio un progettista, assunto un certo rapporto di trasmissione, (argomento del quale tratteremo in un altro post), fisserà il diametro esterno delle due ruote dentate, sceglierà il modulo (e vedremo più avanti come), e così saprà quanti denti avranno le due ruote.

Oppure un tecnico d' officina che deve compilare il foglio di lavorazione per tornire le ruote da dentare successivamente, noto il modulo ed il numero di denti ricaverà il diametro esterno ed il diametro di troncatura interno della ruota, e lo riporterà sul foglio di lavoro per l' operatore del tornio od il programmatore CNC.

Esecizio per casa:

anche voi quindi potete divertirvi a misurare qualche ingranaggio, determinando i valori De, D, Di, m, Z, P.

E' sufficiente un calibro od un righello per le misurazioni ed una matita per i semplici calcoli.

Però per favore, a vostra moglie che vi guarderà allibita, non ditele che sono stato io a suggerirvi di perdere così stupidamente il tempo!

Per concludere questo messaggio confesserò che non ho avuto il coraggio di addentrarmi anche nella spiegazione dell' "angolo di pressione", "passo base", "retta di pressione", ecc.,che senza la possibilità di visualizzare immagini grafiche è alquanto arduo affrontare.

Peraltro questi concetti non sono strettamente indispensabili per chi, come noi, con gli ingranaggi ci gioca e non ci lavora.

Insomma facciamo finta che non esistano.

Non si può avere tutto dalla vita, come rispondeva mia madre quando le chiedevo i soldini per il cinema dopo quelli per il gelato.

LEZIONE n°2.

Nella prima lezione abbiamo visto le definizioni e le semplici relazioni che legano i vari termini delle dentature. Le misurazione dei valori vengono fatte ordinariamente con gli usuali strumenti (calibri a corsoio, micrometri, comparatori, ecc.) ma voglio fare un cenno ad uno strumento particolare che si utilizza per la misura dello spessore del dente in corrispondenza del diametro primitivo (cioè quello che conta). Ne parlo perchè è il sistema più semplice per ricavare la misura (metodo di Weber), e perchè tale strumento si trova facilmente sulle bancarelle dei cosiddetti "polacchi".

Credo peraltro sia l' attrezzo che loro vendono di meno !

Lo strumento è composto da due calibri a corsoio con nonio, uniti a 90 gradi tra loro.

La misura si fa così :

con il primo calibro si predispose una linguetta metallica (detta modulatore) ad una misura pari all' addendum del dente in misura.

Mettendo a contatto della sommità del dente la linguetta modulatrice del primo calibro, le punte del secondo si posizioneranno automaticamente sulla circonferenza primitiva della ruota, e quindi si potrà eseguire una misura di larghezza del dente con il secondo calibro.

Da notare che le punte del secondo calibro comunque non misurano un arco di cerchio, pari allo spessore circonferenziale del dente, ma la corda dell' arco stesso. La misura perciò dovrebbe essere corretta con opportune formule trigonometriche, ma usualmente la differenza è così piccola da risultare spesso inferiore agli errori di misura.

Ho citato questo metodo perchè è il più semplice possibile, l' unico alla nostra portata di dilettanti.

Ma parliamo ora del rapporto di riduzione.

Quando si osservano due ruote dentate che si impegnano l' un l' altra, la prima cosa che viene in mente è il rapporto di riduzione, che può essere definito come

$n_2$

$n_1$

dove  $n_1$  è il numero di giri della ruota conduttrice e  $n_2$  è il numero di giri della ruota condotta.

Il rapporto di riduzione è inversamente proporzionale al rapporto tra il numero di denti delle rispettive ruote.

Cioè la ruota con più denti girerà più piano.

Bella scoperta, dirà qualcuno ! In ogni caso io la formuletta ve la passo

$n_2 = \frac{Z_1}{Z_2}$

$n_1 = \frac{Z_2}{Z_1}$

Questo se le ruote sono due solamente.

In molte applicazioni meccaniche le riduzioni di velocità prevedono 4 ruote (o più), poste in una configurazione chiamata "quaterna":

ricordando che  $n$  è il numero di giri e  $Z$  il numero di denti, si può ricavare (credetemi sulla parola) la seguente formula

$$n_4 = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

$$\frac{n_1}{n_4} = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}$$

Se gli assi di rotazione di due ruote dentate sono distanti, o se è necessario invertire il senso di rotazione del moto, si inserisce tra le due ruote una terza, detta "ruota oziosa".

Quest'ultima può avere un numero di denti qualsiasi, perchè la sua grandezza non influisce sul rapporto di trasmissione.

Compito per casa :

Chi di voi saprebbe dimostrare perchè una ruota oziosa non influisce sul rapporto di trasmissione di un treno di ingranaggi ?

Dopotutto, potrebbe essere più divertente provarci che guardare uno di quei terribili spettacoli di quiz alla televisione !

Continuando il discorso sui rapporti di trasmissione, bisogna dire che la ruota più piccola di una serie non può avere un numero di denti inferiore ad un certo numero. E' intuitivo che i denti di una ruota non possono essere solamente 3 o 4, e comunque nemmeno 5 o 6, in quanto nel loro moto darebbero luogo ad una interferenza con i denti della ruota coniugata più grande.

In pratica, per avere un buon ingranamento delle due ruote, nelle quali i denti ingranino senza strisciare, e comunque ci siano almeno 2 denti in presa che è il minimo per avere un buon movimento, il minimo numero di denti possibile va da 12 a 17, a seconda del rapporto di trasmissione tra le due.

Cioè se le due ruote hanno lo stesso diametro (rapporto 1 :1), basta che abbiano entrambe 12 denti.

Per un rapporto di trasmissione di 1 : 8 e superiori, i denti della più piccola devono essere almeno 17.

Questo è valido nel caso di denti creati con evolvente avente "angolo di pressione" di 20°, cioè quelli normalizzati in Europa.

Nei paesi anglosassoni si usa l'evolvente con angolo di pressione di 14° e 30', per la qual ragione il numero minimo di denti aumenta (da 22 a 31 secondo il rapporto di trasmissione da 1:1 a 1:8).

Un artificio per far bene ingranare ruote con un numero di denti più basso del dovuto è quello di spostare i cerchi di troncatura caratteristici della ruota, nel senso che si aumentano i cerchi della ruota più piccola e si diminuiscono quelli della ruota più grande.

Le dentature così realizzate si dicono "corrette".

Ma avevo promesso di non parlare di dentature speciali, e mi fermo qui.

Andiamo avanti.

La ruota dentata con il minor numero possibile di denti facente parte di una serie di ruote di pari modulo si chiama "rocchetto", o con un brutto francesismo, "pignone".

Ed ora una bella domanda per i più attenti : la ruota più grande possibile, quanti denti potrà avere, e quindi di che diametro sarà?

Mi rispondo da solo:

chiaramente il diametro potrà essere grande, grandissimo, quasi infinito, anzi infinito ! Ed infatti, se il diametro è infinito, il cerchio di troncatura esterno della ruota assumerà la forma di una retta.

E la nostra ruota dentata l'avremo fatta diventare una "dentiera", cioè una riga dentata nella quale i denti, che saranno di numero infinito, avranno conservato il passo (e quindi il modulo) originario, e perciò potrà essere impegnata da qualsiasi ruota di pari modulo.

In tal modo, se ne abbiamo bisogno, potremo trasformare facilmente un moto rotatorio in un movimento rettilineo.

Le curve del profilo del singolo dente, che erano un'evolvente di cerchio, nella dentiera si saranno raddrizzate ed avranno assunto la forma di rette costituenti i fianchi inclinati di un trapezio.

Interessante, vero ?

Se non ci credete, andate a guardare la dentiera che avete sul portone scorrevole di casa con l'apertura motorizzata.

Lezione n°3.

(Ovvero, come anche i geometri sappiano calcolare gli ingranaggi).

Proseguendo in queste brevi note, parleremo della grandezza dei denti in relazione al diametro della ruota, cioè del modulo. Un modulo piccolo è sinonimo di denti piccoli e quindi piuttosto numerosi sulla ruota.

All'inverso ad un modulo di valore maggiore corrisponde un minor numero di denti.

Notare che per quanto riguarda il rapporto di trasmissione, il valore del modulo non ha alcuna influenza. Cioè potranno esserci due ruote dentate di un certo diametro in rapporto di trasmissione 1:2 tra loro, sia che abbiano in un caso 10 e 20 denti rispettivamente (modulo grande), sia 50 e 100 denti (modulo piccolo).

Ma allora, con quale criterio si sceglie il modulo, e di conseguenza la grandezza dei denti ? E' intuitivo credere che se una ruota ha un alto numero di denti (cioè di piccola dimensione in rapporto al diametro), trasmetterà il moto ad una ruota coniugata in modo migliore, soprattutto più uniforme, rispetto ad un ingranaggio con pochi denti. Peraltro una ruota con molti piccoli denti sarà più costosa, a causa del maggior numero di denti da tagliare, ed è possibile che la forza applicata tangenzialmente al piccolo dente sia superiore alla resistenza meccanica dello stesso.

Cerchiamo quindi di vedere alla buona come si verifica a rottura un dente.

Immaginate di togliere tutti i denti ad un ingranaggio, meno uno.

Resterà in tal modo una sporgenza alla ruota, simile ad una mensola di quelle che sostengono i balconi nelle facciate dei palazzi.

Tecnicamente questa mensola si chiama "trave incastrata ad una estremità" ed è soggetta ad un carico di flessione dovuto alla forza concentrata applicata alla sua estremità libera.

Nel balcone questo carico potrebbe essere il peso di tante persone che si affacciano alla balaustra, e che tenderà a piegare verso il basso le mensole di sostegno del balcone stesso.

Nel dente è la forza tangenziale applicata al fianco del dente stesso, che tenderà a romperlo per flessione recidendolo alla base.

Le cose in verità sono un poco più complicate, ma anche raccontate così alla buona sono abbastanza corrette e veritiere.

Sapendo il modulo, e quindi le misure del dente che si vuole verificare, basterà sapere quanto vale la forza applicata per poter effettuare i calcoli di resistenza con le usuali formule della meccanica applicata.

Questa forza non è difficile a sapersi, se si pensa che generalmente è conosciuta la potenza da trasmettere agli ingranaggi, e quindi è facilmente ricavabile il momento torcente (cioè la coppia applicata), dividendo la potenza per il numero di giri.

Ma siccome noi sappiamo che il momento torcente è una forza applicata con un certo braccio di leva, che nel nostro caso è pari alla distanza tra il centro di rotazione della ruota e l'estremità del dente (cioè in soldoni il raggio della ruota), valore che ci è noto, con una semplice divisione si trova il valore della forza "F" che agisce a flessione sul dente, così come, nel caso di un balcone, sapremmo calcolare il peso delle persone che, affacciandosi alla ringhiera, tenderebbe a fletterlo verso il basso.

In possesso del valore della forza "F" e delle misure del dente (che conosciamo in base al modulo), si verifica la stabilità a flessione del dente secondo la formula

$M_f$

$$K = \frac{M_f}{W_f}$$

dove

K = carico di sicurezza del materiale

$M_f$  = momento flettente

$W_f$  = Modulo di resistenza a flessione del dente

che è universale e vale per tutti i carichi a flessione, balconi compresi.

Ecco perchè ho detto nel titolo che anche i geometri sanno calcolare gli ingranaggi.

La formula di cui sopra dice in soldoni :

- il carico di sicurezza "K" del materiale del dente deve essere uguale (o superiore) al rapporto tra il momento flettente " $M_f$ " applicato allo stesso ed il modulo di resistenza a flessione " $W_f$ " della sezione di base del singolo dente.

"K" dipende quindi solo dal materiale, e ad esempio se questo è ghisa vale 4, se acciaio al carbonio 10 -12, se acciaio legato al molibdeno circa 25, e così via.

Per  $M_f$  e  $W_f$  salto il metodo di calcolo, ma in caso di libidinose curiosità qualsiasi manuale di meccanica lo riporta.

Fare attenzione che nella formula del  $W_f$  entra in gioco anche una misura che non è stata ancora considerata, e cioè la "lunghezza di costa" del dente, che spessissimo, ma non sempre, è pari allo spessore della ruota dentata misurato tra le faccie piane ed opposte della ruota stessa.

Progettato l'ingranaggio (rapporto di riduzione, modulo, verifica alla rottura dei denti), resta da vedere come si costruisce lo stesso, sia industrialmente che con metodi fai da te.

Gli ingranaggi possono essere realizzati nei modi più disparati, a cominciare dalla fusione (ingranaggi in ghisa), tranciati da lamiera (piccoli ingranaggi per giocattoli), stampati per iniezione (ingranaggi in plastica), ricavati per sinterizzazione con la tecnologia delle polveri metalliche (ingranaggi per macchine da ufficio, ecc.).

Ma il metodo usuale e più conosciuto in meccanica è quello del taglio dei denti alle macchine utensili, dopo aver realizzato per tornitura la ruota.

#### **Paragrafo 4**

##### **Ragionamenti di "progetto"**

Abbiamo imparato a muovere il nostro robot, in pratica tutto quanto detto fino ad ora serve a ricavare 3 dati fondamentali.

La posizione X

La posizione Y

L'angolo di rotazione (alfa).

Questi dati sono riferiti al centro dell'asse delle ruote per X e Y mentre l'angolo sarà quello formato dal nostro piano cartesiano immaginario e la retta perpendicolare all'asse delle ruote (in pratica la direzione del moto); nel caso il centro del nostro robot non coincida con il centro dell'asse ruote dovremo misurarne una volta per tutte l'offset (la differenza) ma, importante, i calcoli sui percorsi devono sempre essere riferiti all'asse ruote, è quello infatti il riferimento del moto.

E' chiaro che la precisione di calcolo ma soprattutto di esecuzione da parte del bot sono essenziali se vogliamo "non perdere la bussola"; a questo proposito dobbiamo cominciare a fare delle scelte e quindi decidere che compromessi accettare, non esiste nemmeno alla NASA un Bot parimenti efficace per tutti gli ambienti.

Criteri di Scelta pratica.

A livello hobbistico ci possiamo permettere di partire al contrario: il nostro target non è esplorare Marte! e quindi chiederci a priori quanto vogliamo sia complesso il nostro Bot non è un'assurdità.

Controllare il movimento effettuato dal bot può variare in funzione di alcune considerazioni, facciamo qualche esempio:

1) uso degli stepper e ritengo che ogni comando di passo sia eseguito senza errori

Vantaggi: Facilissimo, non ho bisogno di alcuna retroazione, si rende di fatto superflua qualsiasi comunicazione dal Bot al centro di comando

Svantaggi: perdo il controllo nel caso che lo stepper perda il passo, le ruote slittano sul piano di appoggio, l'urto con un ostacolo non è gestibile.

Pratica: alcuni sistemi funzionano anche così (stampanti, scanner, plotter) il rischio di perdere il passo o slittare si riducono drasticamente quando le velocità sono basse e come per i sistemi citati il rischio di urti con ostacoli è zero, se volessimo un bot domestico (i pavimenti sono sufficientemente regolari) e non abbiamo gatti (e la moglie non è di quelle che spostano i mobili ogni giorno) potremmo ottenere buone soddisfazioni anche con questa soluzione.

2) uso stepper o motori cc con encoder sulla parte in movimento (a meno di non avere rischi sugli organi di trasferimento del moto tipo cinghie che slittano, albero motore o ruota non fa tanta differenza)

Vantaggi: mi accorgo anche di movimenti inerziali o indesiderati, il conteggio di semplici impulsi non è complesso

Svantaggi: Devo prevedere un sistema di comunicazione bidirezionale, il SW deve gestire errori e imprevisti e quindi prevedere comandi e gestione degli interrupt, se il sistema di controllo è un PC staccato dal Bot e la comunicazione è quindi via radio occorrerà tener conto dei tempi di trasmissione e quindi prevedere dei buffer che memorizzino l'istante dell'errore e i comandi non eseguiti; non vi è nessun controllo se le ruote slittano.

Pratica: normalmente se si usano encoder non si usano gli stepper, per comodità si lavora al contrario, si fa partire il motore e lo si ferma quando l'encoder ha contato i passi voluti, per le ruote la cosa è diversa, è infatti difficile azionare due motori cc alla stessa velocità senza circuiti di retroazione analogici veloci e complessi (non devono pendolare), ottenere un moto rettilineo (chiedete a chi fa il panettone della DeA) è importante: immaginate un bot che si muove descrivendo una specie di senoide, alla fine avremo raggiunto un punto come se fossimo andati diritto, gli encoder avranno contato 1000 passi ognuno ma in realtà il bot sarà distante dal punto iniziale non 1000 passi ma 990 o meno (dipende dall'ampiezza della senoide)

3) uso encoder sui motori e encoder d'ambiente

Vantaggi: ho un riferimento preciso, ho la possibilità di capire molte cose: encoder motore gira e encoder ambiente fermo= ruote slittano, se al contrario sto scivolando ecc.

Svantaggi: l'elettronica e il SW si complicano di un bel po', gli encoder d'ambiente? mica facile inventarne di appropriati, tutti gli svantaggi del punto 2.

Pratica: Qui siamo nel professionale ma l'ingegno a volte..., immaginate di porre sotto al vostro bot in prossimità di ciascuna ruota un mouse, sì proprio quello che avete ora sotto la mano destra! Quelli classici con la pallina che costano anche 4 euro, alimentati a 5V vi darebbero una lettura precisa di come si muove il vostro Bot, con un SW un po' curato riuscireste a tracciare il tragitto effettuato anche nel caso di sinusoidi come descritto sopra, immaginate ora un braccio meccanico, un encoder saldato allo snodo ma dal lato del contenitore, sul perno rotante un peso (tipo filo a piombo) avreste un inclinometro assoluto che tiene conto anche della eventuale pendenza del terreno (ci avevate pensato?)

## Paragrafo 5

### Dimensioniamo uno Stepper

Proviamo ad affrontare questo tremendo problema \_

Cominciamo con i dati del motore:

La COPPIA, questo valore espresso normalmente in Ncm (Newton per centimetro) è una delle caratteristiche essenziali per capire quanto è forte il nostro motore, cominciamo ad immaginare... il nostro motore ha una coppia di 1 Ncm, all'albero è applicata una puleggia di diametro 2cm. La coppia in meccanica è il prodotto della forza per il braccio, nel nostro caso il braccio è rappresentato dal RAGGIO della puleggia per cui la coppia (M) è uguale a Forza (F)

per il raggio (r) ( $M=F*r$ ) è facile ora risalire alla forza che il nostro stepper può sviluppare  $F=M/r$  e quindi  $F=1/1$  (il raggio è la metà del diametro) quindi 1 Newton, se poi vogliamo ragionare in kg allora basta dividere i N per 9,8 diciamo quindi circa 0,1 kg ok?

Cosa significa ciò? significa che se alla puleggia ho collegato un peso minore di 0,1 kg riuscirò a sollevarlo, diversamente no!

Attenzione, come per altri tipi di motori (anche quello a scoppio) la coppia è legata alla velocità di rotazione da una curva, ogni costruttore ha la sua ma diciamo che la coppia diminuisce all'aumentare della velocità di rotazione.

E' ovvio che un margine di sicurezza è da considerare.

Se cercate qualche stepper in rete vedrete che motori piccoli hanno coppie piccole ma non lasciatevi ingannare, la dimensione del motore che determina la coppia è principalmente il diametro, maggiore il diametro del motore maggiore la coppia, ovvio se pensate che la bobina esercita una forza su un braccio maggiore ( $M=F*r$ ).

Con una coppia piccola..... si può sollevare il mondo....

Quello che dobbiamo fare noi è alzare un braccio meccanico (ad esempio) che pesa 5kg come facciamo con una forza di 0.1kg?

Beh, attraverso i motoriduttori ossia combinazioni di ingranaggi le cui regole le abbiamo già viste qualche post indietro. Come si applica?

Immaginate un rapporto 10:1 costituito dall'ingranaggio sul nostro motore di raggio 1cm che ha 10 denti e un altro ingranaggio con 100 denti e quindi con raggio 10cm (provate a riguardare le formule sugli ingranaggi), ora il nostro motore abbiamo detto sviluppa 0,1kg sui denti del suo ingranaggio, questa forza è anche quella applicata al dente dell'ingranaggio grande che avendo però un raggio di 10cm darà luogo ad una coppia  $M=10cm*0,1kg = 1kgcm$  (se volete circa 10Ncm); ora se sullo stesso albero dell'ingranaggio da 10cm ho una puleggia da 1 cm di raggio, potrò sollevare pesi fino a  $F=M/r = 1kgcm/1cm = 1kg$ .

In pratica moltiplicate la coppia per il fattore di riduzione del motoriduttore e ricavate la forza dividendola per il raggio della ruota che esegue il lavoro!

Facile no?

Altro dato di targa è: L'angolo di passo.

Questo dato esprime qual è la rotazione che compie l'albero motore per ogni passo che comandiamo; esistono motori con passi da 15°, 7.5°, 3.6°, 1.8° per citare i più comuni.

Unica attenzione riguarda il fatto che ad esempio il 3.6° significa 3 gradi e 6 DECIMI di grado, sembra scontato ma se consideriamo che gli angoli sono normalmente espressi in:

Gradi.Primi.secondi e che la base non è decimale ma sessagesimale (60 primi fanno un grado), qualche dubbio potrebbe venir fuori.

Tutto questo ci porta a dire: Se vogliamo sapere quanti passi servono per compiere una rotazione completa è sufficiente scrivere  $360^\circ/\text{Angolo di passo}$ . Nel caso di un motore da 1.8° significa che occorrono  $360^\circ/1.8^\circ=200$  passi per compiere la rotazione completa.

E' ovvio che angoli di passo piccoli offrono una precisione maggiore, un po' meno ovvio ma comprensibile il moto di un motore con angoli piccoli offrirà un moto più "lineare" e meno a scatti di un motore con angoli grandi.

Dall'angolo di passo dipende anche un altro fenomeno importante, vediamo:

Quando comando un passo al motore esercito una forza sul rotore, il rotore ha una massa, la fisica ci dice che quando ad una massa applico una forza, questa massa inizia a muoversi di moto uniformemente accelerato; l'accelerazione crea un aumento della velocità che dipende dal tempo (più tempo più velocità, a parità degli altri parametri). Ora facendola breve, il problema è che, raggiunto il nuovo passo il rotore per inerzia tende ad andare oltre oscillando attorno al nuovo punto di equilibrio, questo fenomeno è maggiore per angoli di passo grandi, se sono stato chiaro sopra il perché è altrettanto chiaro.

In particolari condizioni questo fenomeno è tremendo, esistono infatti velocità di rotazione degli stepper che essendo in risonanza con l'oscillazione di cui sopra possono provocare perdite di passo, cadute del valore della coppia apparentemente inspiegabili, non c'è modo di conoscere a priori il valore di queste frequenze e comunque il fenomeno si manifesta con funzionamenti a vuoto o con coppie resistenti molto basse o addirittura negative, essendo poi frequenze di risonanza è difficile beccarle anche per sfortuna ;).

Comandare uno stepper è un altro argomento ma, visto che parliamo di angoli di passo, è giusto accennare al fatto che è relativamente semplice utilizzare l'HALFSTEP o mezzo passo, in pratica si alimentano 2 bobine anziché una, con la stessa tecnica si possono generare una serie infinita di passi generando un moto estremamente uniforme e privo dei problemi di cui sopra, il come fare è dettagliatamente spiegato nel link dato qualche post fa,

(<http://digilander.iol.it/VincenzoV/tutorial/passopasso/stepper.htm>) questo però non significa che il motore ha un numero di passi infinito! La posizione finale quando decideremo di fermare il motore sarà uno dei passi reali.

## Paragrafo 6

### Cominciamo a pensare come assiemare il tutto?

Coppia, angolo di passo... non hanno più segreti!

Andiamo ora un po' sul pratico!

Volendo realizzare un sistema "robotico" come potremmo procedere?

Un giusto compromesso tra semplicità, praticità e precisione potrebbe essere il seguente: Immaginiamo (come al solito) uno schema a blocchi costituito da un PIC, un circuito di pilotaggio dello stepper, lo stepper, un encoder, un circuito di conteggio impulsi.

Come li colleghiamo?

- Cominciamo con il PIC che riceverà (via radio, seriale ecc.) dal cervello vero e proprio del nostro robot il numero di passi da far compiere al motore, la direzione avanti o indietro, volendo anche la velocità; ricevuti questi dati più un comando di start, il PIC inizierà a mandare i segnali giusti al circuito di pilotaggio.

- Il circuito di pilotaggio o DRIVER è composto da poco più di un integrato dedicato tipo L297 o similari, questi IC hanno dei pin di ingresso che se portati alti o bassi determinano la direzione, il tipo di funzionamento (passo intero o mezzo passo), e un pin che accetta gli impulsi di comando, ad ogni impulso l'IC attiverà le sue uscite in modo da eccitare le bobine giuste dello stepper.

- L'encoder, beh è semplice, non c'è molto da dire se non che invierà una quantità di impulsi proporzionali al movimento.

- Circuito di conteggio impulsi, si occuperà di contare il numero di impulsi, e comunicarli al PIC su richiesta, potrebbe essere costituito da un altro PIC oppure qualsiasi altro circuito, l'importante è che possa far capire al PIC un numero.

La logica di funzionamento è semplice, il cervello del robot converte lo spostamento che desideriamo in numero di passi motore (vi ricordate? abbiamo visto come!); invia quel numero al PIC, il PIC comincia a inviare gli impulsi al DRIVER e ne invierà il numero giusto; il motore eseguirà e farà quindi muovere l'encoder che produrrà gli impulsi conteggiati dal circuito. Il PIC una volta terminato l'invio di impulsi attenderà diciamo mezzo secondo lo stabilizzarsi del sistema e leggerà il numero di impulsi conteggiati inviandoli al cervello, il cervello convertirà gli impulsi in spostamento (l'impulso encoder potrebbe essere diverso dal passo motore) e facendo la differenza avrà l'errore commesso nell'esecuzione del comando, potremo così ricalcolarci la nostra posizione vera.

La cosa simpatica di un sistema di questo tipo è che possiamo usarlo uguale per tutti i motori del robot, studiato un circuito e fatto un programmino per il PIC possiamo usarlo per tutti i motori, sarà il cervello ad attribuire variabili diverse al rapporto passo spostamento di ogni motore.

Come avrete notato il Loop di retroazione non è in tempo reale, inviamo un comando, aspettiamo, andiamo a vedere se e con che errore è stato eseguito; questa scelta è fatta per: non impegnare il PIC e rischiare di perdere informazioni, avere un SW semplicissimo. E' possibile però semplicemente cambiando programma al PIC avere un PID vero e proprio, magari usando altri microcip tipo motorola che viaggiano a diversi MHz riduciamo i tempi di esecuzione del programma e quindi impegnare il chip per andare a variare la velocità del motore in funzione delle letture dell'encoder ecc. ecc.

Dispensa n°2

### **Due ruote vaganti non sono un Robot!**

E' vero, dopo un po' di gioco, vedere due ruote che girano per casa magari senza sbattere o seguendo un percorso preciso, sì, è bello ma... manca qualcosa, un robot deve fare di più anzi, deve fare qualcosa, deve aiutare l'uomo e non essere un vagabondo!

Scherzi a parte abbiamo una base semovente, se siamo stati bravi, questa base si muoverà con "estrema" precisione lungo uno o più tragitti da noi impostati, se questa base ha un piano superiore ecco che potremo utilizzarlo come carrello portavivande o altro. Immaginate, voi stesi sul divano, premete un pulsante sul telecomando e il nostro carrellobot fila in cucina dove la nostra mogliettina ha preparato un whisky, lo posa sul bot che sentendo il peso torna da noi docile docile ....

Sarebbe bello ma cosa ne pensa la mogliettina? Meglio se il whisky lo prepara il robot!

Ora per fare ciò il Robot ha bisogno di un arto! Un braccio più una mano (con una mano non si svita il tappo della bottiglia? Beh, fatemi portare la bottiglia che la apro io!) (oggi ho una vena umoristica decisamente marcata).

Immaginiamo quindi di dare un arto al nostro bot (un arto, non una costola, non vi montate la testa ok?). Quello che vedete è una banale idea ma per i nostri ragionamenti è sufficiente, descriviamolo, dalla base, leggermente rialzato troviamo un primo snodo (rosso) che chiameremo spalla, un pezzo rettilineo (verde) che sarà il nostro braccio, poi un altro snodo (viola) che rappresenta il gomito, troviamo poi (azzurro) l'avambraccio e quindi la pinza o mano.

Adesso c'è qualcuno che mi spiega come calcolo la posizione della pinza? Ok, facciamolo insieme.

Bene, per definire un punto in uno spazio 3D abbiamo bisogno di 3 coordinate e precisamente quelle che normalmente si chiamano X, Y, e Z. Dobbiamo necessariamente darci delle regole, la prima è questa: X e Y sono le coordinate del piano orizzontale, il pavimento per intenderci, Z sarà l'altezza dal piano orizzontale (già, potevamo chiamarla H ma poi era troppo facile). La seconda: chiameremo posizione zero di un arto la posizione in cui è allineato con l'asse del pezzo prima del suo giunto, facciamo un esempio, quando l'asse del braccio (verde) è sulla stessa retta dell'asse del moncherino (giallo) avremo il braccio in posizione zero (nel caso del disegno dovrà essere verticale), avremo l'avambraccio (azzurro) in posizione zero quando il suo asse sarà sulla retta dell'asse del braccio (verde) (nel caso del disegno ruotato verso l'alto di circa 45°). Quando sia braccio che avambraccio sono in posizione zero l'intero arto sarà verticale verso l'alto! Ok? Ci siamo?

Partiamo proprio da braccio e avambraccio in posizione di zero che è più facile, in questo caso le nostre 3 coordinate saranno: X e Y come le abbiamo calcolate per sapere dove si trova la base (ipotizziamo che il centro dell'asse delle ruote motrici sia coincidente con l'asse del moncherino giallo), Z sarà data dalle lunghezze di tutti i pezzi base compresa (misuriamo con il metro che è facile). Se vi ricordate quando parlavamo della sola base avevamo già tre dati (X, Y, e Alfa) alfa era l'angolo formato dalla retta della direzione con l'asse delle X, non lo dimenticate perché ci tornerà utile \_.

Cominciamo a fare i calcoli:

Partiamo dalla coordinata Z, la quale sarà sempre (Zbase + qualcosa) intendendo con Zbase l'altezza da terra fino allo snodo rosso; il "qualcosa" che segue è il punto dolente, immaginiamo di ruotare la spalla di 20° rispetto alla posizione zero avremo:

$$Z = Z_{base} + (L_{braccio} + L_{avambraccio}) * \cos(20^\circ) \text{ (sembra facile no?)}$$

Adesso ruotiamo anche il gomito di 25°, credetemi la formula diventa:

$$Z = Z_{base} + (L_{braccio} * \cos(20^\circ)) + (L_{avambraccio} * \cos(20^\circ + 25^\circ))$$

Credo sia chiaro che con Lbraccio e Lavbraccio si intendono le lunghezze dei pezzi verde e azzurro, forse meno chiaro il (20°+25°), è facile se pensate che comandando il motore del gomito ad esempio, potremo stabilire una rotazione relativa al giunto braccio avambraccio e non assoluta, in pratica se il braccio è ruotato di 45° e l'avambraccio pure (provate a disegnarlo) avremo l'avambraccio orizzontale e quindi non contribuirà ad aumentare la Z ed infatti 45+45 da 90 e il Coseno di 90 è zero!

Bene abbiamo ora una formula generale che vale per qualsiasi arto composto anche da 7 o 8 segmenti (facciamolo di 3)

$$Z = H_{base} + (L_1 * \cos(\alpha_1)) + (L_2 * \cos(\alpha_1 + \alpha_2)) + (L_3 * \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3))$$

Ovviamente  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  sono gli angoli di rotazione dei singoli segmenti.

Eccoci qua, la Z è sistemata, fate alcune prove su carta, vedrete che sommando gli angoli con il loro segno tutto torna!

Proviamo con la X ora:

Partendo sempre dall'arto con tutti i segmenti in posizione zero e, questa volta, aggiungiamo con la base rivolta ad Est (Alfa uguale a zero!) abbiamo che essendo la pinza sulla verticale del centro dell'asse delle ruote motrici, X e Y della pinza coincidono con X e Y della base.

Ruotiamo ora la spalla dei soliti 20°, se lo immaginiamo capiamo ad occhio che è aumentata la X e quindi avremo che:

$$X_{pinza} = X_{base} + L_{tot} * \sin(20^\circ)$$

Con Ltot uguale alla lunghezza braccio+avambraccio

Già così è facile, ma con gli altri segmenti? Eccola:

$$X_{pinza} = X_{base} + (L_1 * \sin(\alpha_1)) + (L_2 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2)) + (L_3 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3))$$

Attenzione, questo vale se Alfa è zero! e se non lo è?

Facile \_:

$$X_{pinza} = X_{base} + ((L_1 * \sin(\alpha_1)) + (L_2 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2)) + (L_3 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3))) * \cos(\alpha)$$

Basta moltiplicare tutto per il Coseno di alfa.

Mamma mia quanto è bella la trigonometria!! \_

Ci facciamo anche la Y? Ma sì, tanto è uguale alla X se non per l'ultimo operatore che da Coseno diventa Seno:

$$Y_{pinza} = Y_{base} + ((L_1 * \sin(\alpha_1)) + (L_2 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2)) + (L_3 * \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3))) * \sin(\alpha)$$

Se mi avete seguito fino a qui siete dei santi! Santi che però ora potrebbero farsi portare da bere dal Robot \_ \_

Ma come si gestisce tutto questo caos?

Non è tanto difficile, ovviamente ci sarà un SW a fare tutto questo, basta impostare le variabili in modo intelligente con nomi comprensibili poi tutto va da sé.

Ovviamente potete (nel vostro vero Robot) aumentare il numero degli snodi (si

chiamano gradi di libertà) e quantomeno aggiungere un polso che ruota in modo da afferrare oggetti in verticale o orizzontale (la bottiglia va afferrata con presa verticale, la maniglia della porta con presa orizzontale).

Un'idea per utilizzare tutto ciò potrebbe essere quella di avere un database di percorsi, oggetti ecc con coordinate, dimensioni (il Robot deve sapere quanto aprire e chiudere la pinza) in modo da poter prendere l'oggetto A posarlo sul tavolo B prendere l'oggetto F dal piano M e posarlo su C dove c'era A.

### **Percorsi o esplorazioni vaganti**

Dopo tutta questa teoria matematica concediamoci uno svolazzo mentale e filosofico.

Il dilemma è questo: Meglio dare al Robot dei percorsi prestabiliti o lasciare che trovi la strada da sé?

Voglio su questo argomento darvi solo degli spunti di riflessione:

Chi arriva alla meta? Questo è talmente filosofico che si possono fare paragoni anche con l'uomo, preferite che vi dicano che dovete recarvi a 36°15' Nord e 23°34' Est o che vi diano le indicazioni della strada da seguire?

Chi arriva prima alla meta?

Chi è più indipendente?

Che differenza nel lavoro di programmazione nei due casi?

Quale dei due funzionamenti è più "robotico"?

Beh, avete di che meditare e se avete seguito fino qui sarà uno svago piacevole, ipotizzare, teorizzare e immaginare come si potrebbe mettere in pratica vi darà sollievo (almeno spero).

Per conto mio, ma vorrei che seguiste la lettura solo dopo aver meditato un'oretta su quanto sopra, credo che la cosa migliore sia integrare i due sistemi (bella scoperta? Perché non lo avete detto voi?!).

Dare percorsi stabiliti ci permette di arrivare alla meta se non abbiamo ostacoli imprevisti ma ci impone di programmare ogni percorso e l'aggiunta di nuovi può voler dire rimettere mano al programma.

Lasciare che il Robot trovi il punto finale da solo è facile, solo potrebbe metterci anni ad arrivare se il programma non è più che ben fatto, certo è indubbia la maggior autonomia e a mio avviso la "roboticità"; integrare i due sistemi e quindi avere delle "autostrade" e se trovi un ostacolo provi a girarci attorno, dal casello in poi prova a raggiungere il centro da solo.

Certo non è facile ma nemmeno impossibile, come sempre siamo noi a dover fare delle scelte (per fortuna è ancora così), l'importante è cercare di lasciare degli spazi per integrare la propria creazione, ad esempio uno slot libero per poter infilare domani un sintetizzatore vocale..... perché no?

Dispensa n°3

### **Comunicare con il Robot (e non solo)**

Dovrebbe essere evidente che un Robot ha la necessità di comunicare, se non lo fa con l'uomo, lo farà con un PC o quantomeno con i suoi sensori, il microprocessore per prendere decisioni deve infatti interfacciarsi con il mondo esterno. Detto questo parliamo dei principi della comunicazione.

Quando due corrispondenti devo comunicare tra loro occorre che si intendano correttamente (scontato? .....se lo dite voi).

Perché si intendano occorre stabilire delle regole di comunicazione comuni: chiamiamo PROTOCOLLO di comunicazione l'insieme delle regole che appunto regolano lo scambio di informazioni tra i corrispondenti.

Tanto per fare un esempio, pensiamo ad una telefonata fra due persone; bisogna sapere il numero del corrispondente, ci sono delle regole per trovarlo consultando l'elenco telefonico.

Bisogna eseguire la chiamata telefonica: ci sono delle regole precise per effettuarla, (alzare la cornetta, attendere il segnale, comporre il numero, ...).

Una volta stabilita la connessione, occorre avere un linguaggio comune per intendersi, ad esempio l'italiano.

C'è una regola per rispondere: ...pronto chi parla? ... sono XXX... non ho capito, può ripetere? ... XXX ... ho capito, cosa desidera? Ecc. ecc.

C'è poi il contenuto della telefonata che, per essere inteso, ha di solito bisogno di seguire le regole del normale modo di pensare.

Insomma un sacco di convenzioni.

Osserviamo però che la comunicazione avviene per livelli: c'è il mezzo trasmissivo (cavo, radio,...), il tipo di segnali che si inviano attraverso il mezzo, il modo in cui si usano i segnali per formare un messaggio e il loro significato, il modo per assicurarsi che il messaggio sia arrivato al corrispondente e correttamente interpretato, in caso contrario ripeterlo.

E' convenzione allora dividere le regole, cioè il protocollo, in livelli che rispecchino i vari aspetti della comunicazione.

L'ISO ha introdotto sette livelli di "intesa" e relative "regole".

Non in tutti i sistemi sono necessari tutti e sette, noi affronteremo i 4 che normalmente sono i più usati.

1. Livello FISICO: comprende le specifiche fisiche della connessione: mezzi fisici, tipo dei segnali trasmessi. A questo livello si parla di segnali elettrici, cavi/fili di connessione, connettori, tipi di interfaccia, velocità di trasmissione,...

2. Livello LINEA: comprende le specifiche di come i segnali descritti al livello 1 sono organizzati in simboli, i simboli in messaggi e definisce le regole per ottenere un efficace scambio di messaggi fra i corrispondenti. A questo livello si parla di codici, caratteri di controllo, blocchi di dati, pacchetti,... Spesso è quel livello che si intende quando si parla semplicemente di protocollo.
3. Livello RETE: comprende le specifiche che regolano lo scambio di messaggi quando esiste più di un solo possibile corrispondente e questi sono collegati tra loro con una rete. A questo livello si parla di punto punto, multipunto, indirizzi,... Spesso i livelli 2 e 3 vengono trattati insieme.
4. Livello APPLICAZIONE: riguarda lo scambio dei messaggi fra i programmi che "girano" sulle macchine che stanno comunicando tra loro attraverso i livelli 1, 2 e 3. I tipi di messaggi e le regole sono strettamente connessi all'applicazione, per esempio nel caso di un Robot il programma sarà interessato a gestire il movimento e le regole saranno adeguate a questo.

Faremo un'analisi pratica di ogni livello (se vi siete stancati ditelo ☺)

Livello FISICO: Collegamento via cavo

E' possibile mettere in comunicazione due dispositivi attraverso una connessione elettrica ad esempio attraverso la classica RS232 (la seriale del PC).

La RS232 specifica i livelli elettrici dei segnali da usare, il tipo di connettore, una serie di fili per trasmettere e ricevere serialmente dei segnali digitali, e una serie di fili per controllare un MODEM; il modem altro non è se non un apparecchio in grado di trasformare questi segnali digitali in analogici e viceversa, questo al solo scopo di aumentare in modo indefinito la portata (distanza), nel caso si colleghino tra loro delle macchine con distanze inferiori ai 15m possiamo fare a meno del modem e in questo caso potremo fare uso di solo 3 fili (modo chiamato "senza handshake").

Di questi tre fili, due vengono usati per convogliare i segnali da e per l'interlocutore e uno serve come riferimento comune per i livelli dei segnali.

I tre fili sono chiamati TXD (trasmissione dati), RXD (ricezione dati) e GND (ground o massa); ora nel caso in cui si connettono due apparecchiature tipo PC, è Chiaro che il TXD di uno deve essere collegato al RXD dell'altro e viceversa mentre i due GND vanno collegati tra loro. Per quanto riguarda la RS232 vi invito a consultare anche la rete, ci sono tantissime informazioni a riguardo.

L'insieme dei tre fili costituisce il canale di comunicazione.

Siccome su un filo viaggiano i segnali in trasmissione e sull'altro quelli in ricezione, la comunicazione può avvenire contemporaneamente: questo tipo di collegamento viene di solito chiamato Full Duplex.

Questa è una caratteristica della linea, può essere però che a livelli successivi vi siano restrizioni diverse e quindi la comunicazione avvenga in modo Half Duplex (è anche il caso normale di una telefonata, uno parla e l'altro ascolta).

I dati vengono trasmessi serialmente cioè un bit dopo l'altro.

Visto che ogni bit può assumere solo due valori (0 e 1) si usano due livelli elettrici di tensione, un livello corrisponde a zero e l'altro a uno. Per l'interfaccia standard RS232 il livello 1 corrisponde a -12V e il livello 0 a +12V.

Nel nostro canale inviamo un bit alla volta, questi bit però normalmente vengono raggruppati in caratteri. Un carattere è un insieme di bit a cui è associato un preciso significato; ASCII è un tipo di regola che da un significato a gruppi di bit.

Significato del gruppo di bit a parte, deve esserci la possibilità di riconoscere un carattere dal successivo o dal precedente, un metodo usato è quello di marcare l'inizio e la fine di un carattere con uno START bit e uno STOP bit: questo permette di lasciar scorrere un tempo arbitrario tra due caratteri. Ad ogni carattere è possibile poi aggiungere altri bit di controllo ad esempio la "parità", questo tipo di controllo è un po' in disuso in quanto si preferisce fare un controllo a livello linea.

All'interno di un carattere devo poter riconoscere i singoli bit e per fare questo è sufficiente sapere quanto dura un bit, già e quanto dura un bit? Eccola qua la velocità di trasmissione, ogni volta che vi connettete alla rete, il vostro modem e quello del provider negoziano per un po' per mettersi d'accordo sulla velocità di trasmissione, ipotizziamo di avere 300bit al secondo (baud) un bit non potrà che durare 1/300 secondi, è quindi questo il modo in cui il sistema che riceve distingue un bit dall'altro.

Parlando di velocità è necessario sapere cosa e quanto posso trasmettere in un determinato tempo, sarebbe infatti stupido interrogare il Robot ogni millesimo di secondo se per farlo devo inviare comandi a 300baud. Se ipotizziamo di trasmettere 8 bit per carattere più 2 (Start e Stop) e il comando da inviare è lungo 10 caratteri (da 8+2bit cadauno) avremo che al massimo e solo teoricamente ci servirà un terzo di secondo per comunicare il comando, se a questo aggiungiamo che il Robot dovrà elaborare quanto ricevuto, confermare e quindi cominciare ad eseguire, avremo un'idea dei limiti che abbiamo (diversi ovviamente se trasmettiamo a 56kbaud); abbiamo detto anche teoricamente in quanto abbiamo ipotizzato che la trasmissione avvenga senza errori e quindi senza bisogno di ripetere e, non abbiamo detto che il tempo tra un carattere e il successivo è arbitrario e dipende dal sistema in trasmissione, ecco perché tra l'altro questo sistema viene detto asincrono.

Livello FISICO (2): Collegamento via Radio

Avere un Robot con un cordone ombelicale ne limita molto le possibilità, ecco che volendo il collegamento tra PC e Robot può essere fatto via etere, in rete vi sono alcuni prodotti già pronti, non sono altro che dei modem dotati di ricetrasmittente.

Per utilizzare dei modem e per farlo con velocità decenti è necessario prevedere di utilizzare quei collegamenti specifici che avevamo tralasciato prima, al di là delle caratteristiche di questi segnali (ampia la documentazione in rete) questi servono per dare tempo e modo al modem di fare la conversione.

In realtà nel caso di comunicazione radio esistono due interfacciamenti ma il canale in radio frequenza è normalmente trasparente all'utente e quindi non ne parliamo (felici è? ☺), diremo solo che a meno di utilizzare moduli complessi che

lavorano su frequenze distinte potremmo trovarci nella situazione che ricezione e trasmissione non sono possibili in contemporanea e quindi avremo un sistema Half Duplex.

Abbiamo detto che in caso di interfaccia RS232 Modem è doveroso utilizzare altri segnali, anche qui diremo poche cose, in particolare si deve sapere che il PC viene chiamato DTE e il modem DCE e che nei DCE i terminali TXD e RXD sono riferiti al DTE (in pratica il TXD del PC va collegato al TXD del modem e così anche per RXD).

Livello LINEA: Protocollo di linea

Il livello di linea o LOGICO è quello che si incarica di presiedere al buon invio di un pacchetto di dati, o messaggio fra i due corrispondenti.

Questo livello include le specifiche della forma in cui il nostro messaggio verrà inviato, normalmente chiamato pacchetto, le tecniche di rilevazione degli errori di ricezione e la loro correzione. E' importante sottolineare che a questo livello non importa il contenuto o il significato del messaggio ricevuto o trasmesso che invece riguarda il livello successivo (livello applicazione). Ci si preoccupa soltanto del corretto inoltro del messaggio.

A questo livello si deve dare una struttura al messaggio, ipotizziamo di avere anche una rete (ne parleremo tra un attimo), un'ipotetica struttura potrebbe essere la seguente:

Comunicazione PC"Robot

- Numero caratteri da trasmettere
- Identificativo Slave
- Messaggio
- Codice controllo errori

Comunicazione Robot"PC

- Identificativo Slave
- Messaggio
- Codice controllo errori

E' solo un'idea anche se valida, notate che nella comunicazione Robot"PC non è stato previsto il numero caratteri da trasmettere, non è un errore, semplicemente in una struttura Master/Slave di cui parleremo si può pensare che le risposte siano preordinate e quindi si sappia a priori in base alla domanda quanti siano i caratteri di risposta, in questo caso è inutile sprecare tempi e risorse HW e SW.

Livello RETE:

Anche semplicemente due PIC costituiscono una RETE e se invio il comando a quella sbagliata... ok è chiaro.

Il modo migliore e universalmente usato è quello di dare un indirizzo o identificativo che manco a dirlo è numerico tipo 01, 02, 03 ecc. inoltre si deve stabilire chi comanda.

Nel caso di un PC che gestisce via rete un Robot potrebbe comandare proprio il PC (Master) e gli altri PIC essere quindi Slave; in un caso simile è sempre il Master ad interrogare e gli Slave possono solo rispondere, ecco perché sarebbe di fatto inutile l'invio del numero di caratteri da parte dello Slave (se chiedo allo Slave "dammi lo stato motore", lo Slave può solo rispondere "marcia" o "fermo" cosa che si tradurrà con un solo bit a 1 o 0.

Livello APPLICAZIONE

Qui dobbiamo decidere cosa dire, è chiaro che il contenuto del messaggio varia di volta in volta e la decisione è solo di chi fa il SW.

Dovendo gestire dei motori o sensori, il cosa dirci sarà riferito alle grandezze in gioco, in generale è chiaro che le informazioni di tipo digitale (on/off) potranno essere gestite in un solo bit e quindi visto che non possiamo trasmettere meno di un carattere per volta (normalmente 8 bit " 1Byte) possiamo pensare di raggruppare almeno 8 segnali digitali (che però dovranno far capo ad un unico Slave).

Facciamo un esempio: abbiamo un PIC che gestisce due motori i quali hanno ognuno due finecorsa (uno avanti e l'altro indietro), il Master potrebbe chiedere "dammi lo stato motori" e lo Slave rispondendo con un solo Byte tipo:

01000010 (bello, che significa?), leggiamolo in verticale

0 bit non usato

1 Motore A in marcia (sarebbe a zero se fermo)

0 Finecorsa Avanti motore A non raggiunto

0 Finecorsa Indietro motore A non raggiunto

0 bit non usato

0 Motore B fermo

1 Finecorsa Avanti motore B raggiunto

0 Fincorsa Indietro motore B non raggiunto

Ecco qua, in un solo Byte abbiamo un sacco di informazioni pronte ad essere lette dal nostro SW (anche questa è solo un ipotesi).

Diverso è il caso di grandezze analogiche o di contatori (encoder), in questo caso sarà necessario usare uno o più caratteri per avere la nostra risposta, il concetto comunque non cambia, a questo livello si devono organizzare i contenuti dei messaggi veri e propri, volendo gestire un motore, potrei pensare di inviare un comando del tipo:

PC->Robot: Accelerazione, velocità, spazio, verso

Robot->PC: Ricevuto

PC->Robot: Start

Qui il PC attende il tempo di esecuzione e quindi:

PC->Robot: Dammi stato motori

Robot->PC: un byte come sopra, Passi encoder

Qui il PIC risponde con un numero di passi encoder ma, potrebbe lui stesso fare il calcolo dell'errore eventualmente commesso rispetto allo spazio richiesto.

Abbiamo accennato al controllo errori indicando un codice di controllo a livello linea, questo può avvenire anche a livello SW infatti quel codice può essere ad esempio uno XOR dei caratteri da trasmettere, ricevuto il messaggio, si esegue uno XOR dei caratteri (meno l'ultimo) e lo si confronta con l'ultimo, se sono uguali si risponde "ricevuto" diversamente "Ripetere".

Detto questo è facile capire come sia difficile far comunicare due apparati.

Spesso non si tiene nella giusta considerazione ogni livello e quindi nascono delle incongruità che sballano il tutto. Procedendo per livelli e sistemandoli uno alla volta avrete risultati migliori! Sarà poi anche più facile nel caso di errori cercare di capire a che livello siano e quindi ad esempio verificare che la velocità di comunicazione sia impostata uguale per tutti gli interlocutori prima di perdersi nelle righe del programma alla ricerca di un improbabile errore.

TIPS:

Abbiamo detto che è facile estrarre informazioni dalla ricezione di:

01000010, ecco come si fa...

E' vero che riceviamo i bit ma poi a livello applicazione il tutto viene ricevuto come un carattere, così come sarà necessario specificare un carattere per trasmettere una determinata sequenza di bit.

Per ogni linguaggio di programmazione esistono specifici comandi per convertire un binario in carattere e viceversa quindi quando scriviamo 01000010 sappiate che esiste un solo carattere equivalente.

Bene ora passiamo all'estrazione del solo bit che ci interessa:

Ci interessa sapere se il motore B è in marcia o no.

Se facciamo fare al SW un operazione del tipo:

01000010 (dato ricevuto)

AND

00000100 (maschera motore B)

possiamo avere solo due risultati o 00000000 come in questo caso in cui il motore è fermo oppure 00000100 nel caso di motore in marcia, diventa facile costruire quindi una struttura del programma che dica: "se risultato=0 allora..." "se risultato=4 (0000100) allora..."

In pratica per ogni bit da estrarre dovremo avere la sua "maschera" che sarà composta da tutti zeri meno il bit interessato che sarà a 1.

## Dispensa n°4

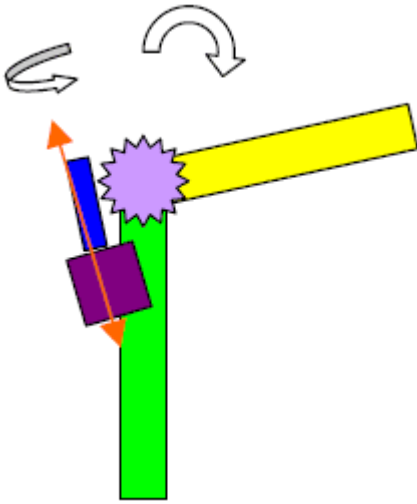
### Muovere un braccio... robotico

#### Come muovere un braccio e relativi calcoli

Abbiamo già visto in una precedente dispensa come è strutturato un braccio, spalla, gomito e polso sono le articolazioni, busto, braccio, avambraccio e mano sono le leve che si muovono.

Ora il nostro compito è quello di pensare a come realizzare un'articolazione e come fare in modo di dare "energia" e forza affinché si produca un movimento.

Quando abbiamo ragionato sulle ruote, non ci siamo preoccupati della fase in cui siamo fermi, ipotizzando infatti di essere su un piano orizzontale (Robot domestico), è sufficiente togliere energia ai motori e gli attriti in gioco producono una brusca (a volte troppo) frenata, di conseguenza rimanere fermi non produce nessun dispendio di forze; non è così se vogliamo tenere sollevato e fermo un braccio!



La forza peso sia del braccio sia dell'oggetto che abbiamo in mano devono essere bilanciate se vogliamo che il tutto rimanga fermo.

Le soluzioni possono essere diverse, i motori stepper possono poi essere usati tranquillamente come "freno" senza rischiare bruciature, anche i "servo" possono mantenere la posizione ma con molti più rischi di "cottura", in entrambi i casi si tratta di alimentare motori e spendere energia per non fare nulla.

La soluzione più indicata (a mio parere) è quella di utilizzare un accoppiamento che preveda sul motore una "vite senza fine" e, o una corona o un dado

Analizziamo i due casi:

Una vite senza fine con corona dentata è caratterizzata dal fatto di trasformare un moto rotatorio in un moto rotatorio ma con asse di rotazione ruotato di 90°, inoltre il trasferimento del moto avviene "strisciando" e quindi un attrito non trascurabile, se a questo aggiungiamo che il rapporto è: un giro completo della vite produce (1/numero denti corona) giri della corona stessa otteniamo che in pratica la corona non può far girare la vite

Bene, il disegno ha grossi limiti ma il concetto dovrebbe essere chiaro, in un caso come questo non sono difficili neanche i calcoli (si fa per dire). Ci proviamo?

Sono due i calcoli da fare, uno per il posizionamento e uno per il dimensionamento. Cominciamo con il posizionamento anche perché è molto semplice ogni giro del motore (viola) e quindi della vite (blu) produce una rotazione della corona di

**$360^\circ / \text{numero denti corona}$**

Il risultato che si ottiene è la rotazione in gradi del braccio (giallo) ottenendo quindi quell'angolo che sappiamo come usare dalle dispense precedenti.

Più complesso il discorso sul dimensionamento e la valutazione delle forze in gioco, intanto diciamo che faremo un'analisi solo della condizione peggiore che è evidentemente quella con la parte gialla a 90° rispetto alla verde, in questo caso la forza peso è tutta da vincere e non si scarica attraverso la struttura, ovviamente pensiamo di dover "sollevare" la parte gialla! \_

Per cominciare a dare i numeri \_ è necessario introdurre il "Pitch", che cavolo è?

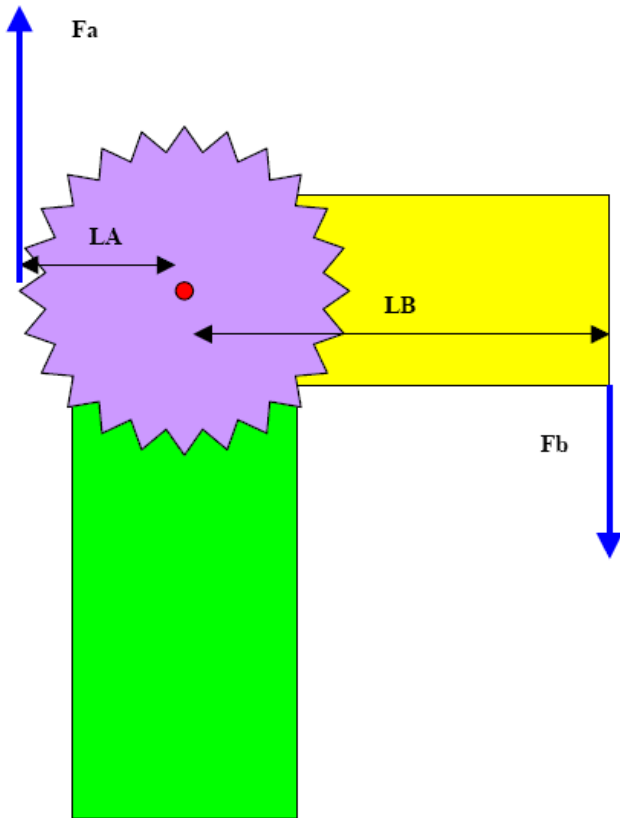
Facile si misura in cm/giro ed è riferito alla vite senza fine! Chiaro?

No? Beh, immaginate di avere vite e dado, ruotando la vite il dado si muove linearmente di un certo spazio (cm), come si misura il pitch? Non è difficile, se avete un calibro lo aprite di un centimetro, lo appoggiate alla vite e contate quante "spire" ci sono in questo spazio quindi fate uno diviso il numero di spire.

Bene ora facciamo uno schemino (nella pagina dopo) dove schematizzeremo le forze e le leve in gioco con l'obiettivo di sapere la forza che il dente della corona esercita sulla vite senza fine, girate pagina e guardate lo schema delle forze.

Come saprete, conoscendo LA, LB e Fb possiamo ricavare Fa che è ciò che ci interessa per il dimensionamento, avremo che  $Fa \cdot LA = Fb \cdot LB$  quindi

**$Fa = Fb \cdot LB / LA$**



La "Fa" sarà la forza che dovrà essere vinta dalla vite senza fine attraverso la coppia del motore, e qui abbiamo una formula che tiene conto anche di un parametro denominato "efficacia" ed è riferito al particolare accoppiamento che è gravato da notevoli attriti causa lo strisciare della vite sui denti della corona, ecco la formula:

$$M = (F \cdot p) / (\text{eff.} \cdot 2 \cdot \pi)$$

Dove:

M = Coppia

F = La nostra Fa

P = Pitch

eff. = efficacia (normalmente si utilizza uno 0,5 equivalente al 50%)

$\pi$  = P greco (3,14.....)

Il nostro motore deve quindi avere una coppia superiore al risultato della formula per poter muovere l'articolazione.

Questa soluzione meccanica non è male anche se trovare gli ingranaggi giusti potrebbe non essere semplice, inoltre nel disegno non si nota ma a meno di avere una corona enorme, il rapporto tra LA e LB è tale da rendere Fa molto maggiore di Fb con conseguenti limiti sulla realizzazione; se infatti pensiamo a questo sistema per l'articolazione della spalla, il solo peso del braccio, polso, mano e oggetto da sollevare potrebbe mettere in crisi la struttura.

Un vantaggio di questa soluzione meccanica è la possibilità di far ruotare la parte gialla di 300° abbondanti (un po' come avere un gomito slogato \_). Per quello che riguarda la struttura dovrebbe essere chiaro che la corona è saldamente solidale con la parte gialla e attraverso un perno (rosso) fissata alla parte verde, attraverso il perno è quindi libera di ruotare. Il motore viola con la vite blu sono invece fissati alla parte verde, le forze si scaricheranno lungo l'asse del motore come indicato dalla freccia arancione nel primo disegno, il fissaggio del motore sarà pertanto studiato per bilanciare le forze lungo tale direttrice.

Un altro sistema meccanico per azionare l'articolazione è il classico "pistone" identico per intenderci a quello delle pale meccaniche, in quel caso è idraulico ma si può ottenere la stessa cosa con una barra filettata e un dado.

Il sistema come più o meno rappresentato nel disegno deve prevedere una possibilità di rotazione dei vari organi nei perni indicati in rosso, questi punti rossi saranno poi di fondamentale importanza per i calcoli; il principio di funzionamento è semplice, il motore (viola) farà ruotare la barra filettata (blu) che avvitando o svitando il dado (tratteggiato), provocherà il movimento della parte gialla.

Volendo passare ai calcoli c'è da dire che non sono

semplicissimi ma come al solito, una volta impostati ci penserà il computer ad eseguirli.

Anche qui abbiamo la necessità di due tipi di calcolo, per quanto riguarda la posizione, abbiamo sempre bisogno dell'angolo con vertice in A dal quale come sappiamo si può procedere.

Per trovare questo angolo facciamo riferimento al triangolo ABC formato dai tre perni. Di questo triangolo conosciamo i tre lati: i lati AB e AC sono fissi e li avremo misurati una volta per tutte, il lato BC è quello che varia in base ai comandi che diamo al nostro motore, anche qui è necessario conoscere il Pitch che come ricorderete si misura in cm/giri e che quindi moltiplicato per il numero di giri (o frazioni di esso) che abbiamo comandato al motore ci darà la variazione della lunghezza del lato rispetto alla posizione precedente, apriamo una parentesi, è chiaro che si dovrà partire da una posizione nota, nella quale conosceremo la lunghezza del nostro lato BC, questa posizione sarà quella di "finecorsa" da una parte o dall'altra, chiusa parentesi. Bene, conosciamo i tre lati, andiamo a riprendere un vecchio teorema, per la precisione quello di Carnot (spero si scriva così) il quale dice (e ve lo do già "rivoltato" per i nostri usi) che:

$$\cos a = (AC^2 + AB^2 - BC^2) / (2 * AC * AB)$$

L'angolo "a" di cui dalla formula ricaviamo il coseno è ovviamente l'angolo che ha vertice nel perno A e che è quello che ci interessa.

Nel nostro caso abbiamo poi che avendo 2 lati sempre costanti potremo utilizzare delle costanti ponendo:

$$AC^2 + AB^2 = K1$$

e

$$2 * AC * AB = K2$$

Avremo quindi la nostra formula che diventa:

$$\cos a = (K1 - BC^2) / K2$$

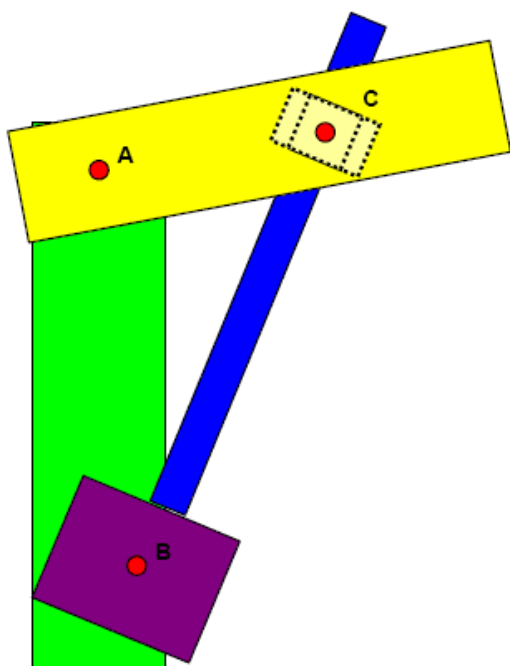
Visto che la trigonometria è una cosa importante per la robotica vi lancio due link

<http://utenti.lycos.it/cervelloni/index.html>

[www.scuolaelettrica.it/superiore/matematica](http://www.scuolaelettrica.it/superiore/matematica)

C'è anche un [www.math.it](http://www.math.it) che non è male anzi....

Risolto il problema della posizione non ci rimane che il dimensionamento e qui c'è da piangere!



Come ve la cavate con la scomposizione delle forze? Ne avrete bisogno! Schematizziamo la nostra struttura:

Cominciamo da questo pezzo di schema

Scomponiamo la forza F nelle due componenti, solo la F1 provoca la rotazione attorno al perno A, è questa quindi la forza da vincere per sollevare il braccio.

C'è da dire che essendo questa una leva, per vincere F1 agendo sul punto C abbiamo la solita storia e cioè:

$$F_1 \cdot LA = F_b \cdot LB$$

$$\text{Per cui: } F_b = F_1 \cdot LA / LB$$

Per come è fatto il disegno dovremo esercitare una forza opposta a  $F_b$  che vale circa il doppio di  $F_1$  ma non finisce qui, noi con il nostro motore esercitiamo una forza che ha come direzione la retta BC. Nella prossima pagina arriveremo a questa scomposizione, intanto ci serve sapere quanto vale  $F_1$  per trovare questo valore disponiamo già di tutto, per quella storia delle due rette parallele tagliate da una terza retta e che parlava di angoli alterni interni ecc. che non vi sto a ripetere, avremo che:

$$F_1 = F \cdot \sin(180-a)$$

Dove  $F$  è il peso del braccio e tutto il resto mentre "a" è l'angolo che abbiamo calcolato prima nel procedimento per la posizione aiutati da Carnot.

Abbiamo  $F_1$  e ci troviamo  $F_b$ , giriamo pagina per il nuovo schema e continuiamo!!

Lo schema della prossima pagina rappresenta la scomposizione di  $FM$  che è la forza che il nostro meccanismo deve generare.

Partendo da  $F_b$  è facile trovare  $-F_b$  (il valore è lo stesso) ora ci serve l'angolo formato dai lati AC e CB questo perché quell'angolo è uguale a quello formato da  $F_b$  e  $FM$  sempre con vertice in C. lo chiameremo angolo "c".

Utilizzando Carnot come prima avremo che:

$$\cos c = (AC^2 + BC^2 - AB^2) / (2 \cdot AC \cdot BC)$$

Attenzione, sembra uguale a prima ma non lo è \_ !!!!

Trovato l'angolo c non ci resta che fare:

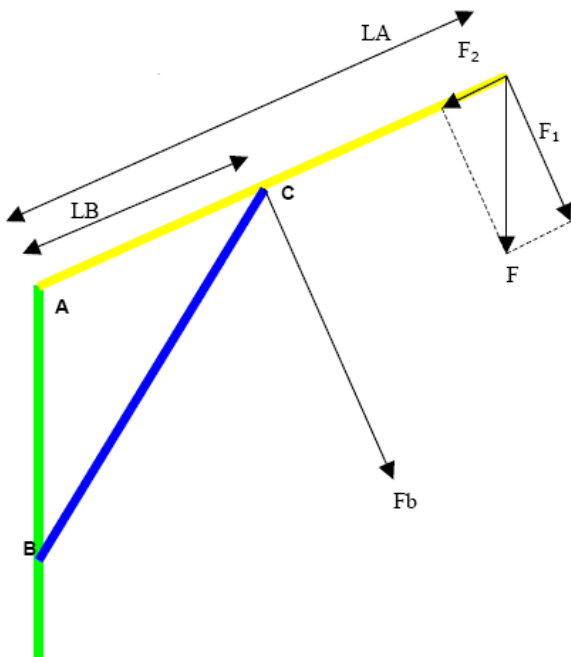
$90^\circ - c$  per trovare l'angolo formato da  $FM$  e  $-F_b$  (che chiameremo d) e quindi sapendo che:

$$F_b = FM \cdot \cos d \text{ abbiamo } FM = F_b / \cos d.$$

In realtà per la solita storia delle due rette.....

Sarà sufficiente:

$$FM = F_b / \sin c$$



Siamo quasi alla fine, ora conoscendo  $FM$  dobbiamo risalire alla coppia del motore ma qui niente di nuovo, la regola è uguale a quella vista per l'insieme vite corona

$$M = (F \cdot p) / (\text{eff.} \cdot 2 \cdot \text{PI})$$

Dove:

$M$  = Coppia

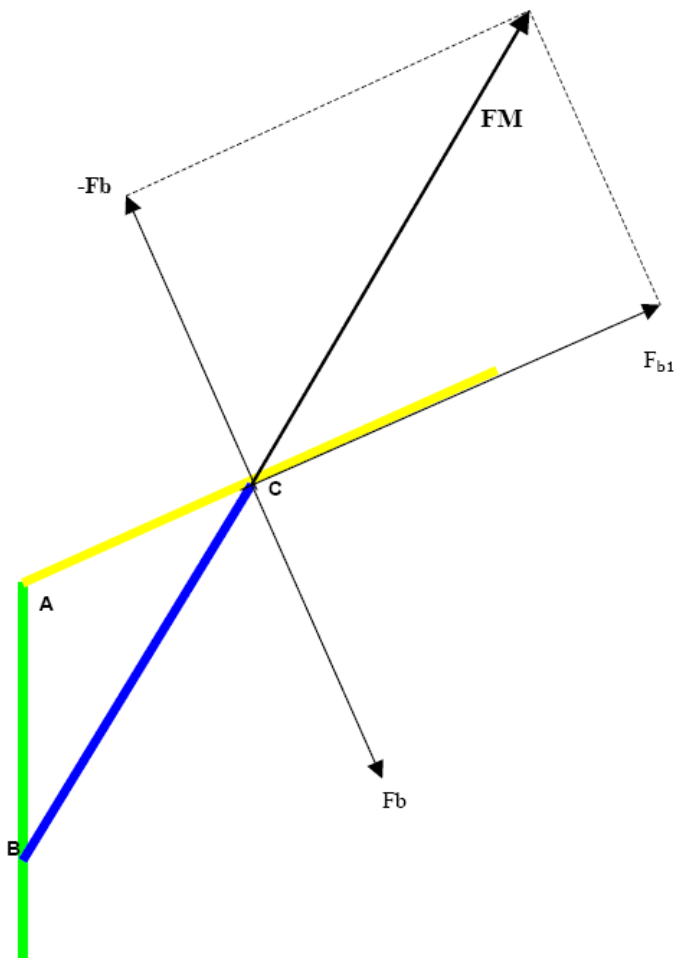
$F$  = La nostra  $FM$

$P$  = Pitch

eff. = efficacia (normalmente si utilizza uno 0,5 equivalente al 50%)

PI = P greco (3,14.....)

Questo sistema va studiato in funzione dei tre perni e per un particolare gioco degli angoli non è così immediato comprendere quali siano i punti migliori per i perni, infatti per la legge della leva sarebbe opportuno mettere il perno C più lontano possibile da A, così facendo avrò una  $F_b$  più piccola, nello stesso tempo però se allontano C da A riduco l'angolo c peggiorando le cose (provate per credere); buona cosa invece è tenere B il più lontano possibile da A o per dire meglio se il segmento BC è parallelo a BA avremo l'efficienza migliore in quanto la spinta sarebbe sempre perpendicolare al terreno (direttrice della forza peso da bilanciare)



Comunque se vi avventurate in due calcoli vedrete che le coppie motore necessarie sono inferiori a quelle con vite corona (salvo configurazioni cercate per dimostrare il contrario), punto dolente è invece lo scarso movimento permesso, non si arriva a  $180^\circ$  inoltre è indispensabile non trovarsi con la parte gialla e verde in linea (circa) in quanto questo è un punto morto del sistema (se ci pensate è come il sistema biella – pistone dei motori a scoppio).

Come sempre utilizzare insieme i due sistemi è meglio \_.

Mi spiego, se come nel disegno usiamo il pistone in questo modo, avremo buona efficienza sfruttando la possibilità di appoggiare il motore alla base ( quindi con spinta perpendicolare al terreno) per la parte che pesa di più, mentre la corona per la parte meno impegnativa.

Se lo fate così \_ \_ \_ cambiano i calcoli del dimensionamento del meccanismo Blu, il posizionamento rimane invariato salvo per la posizione del perno B

Ma dovrete riuscire a cavarci i piedi senza far fumare il cervello.

Muovere un braccio... robotico parte II°

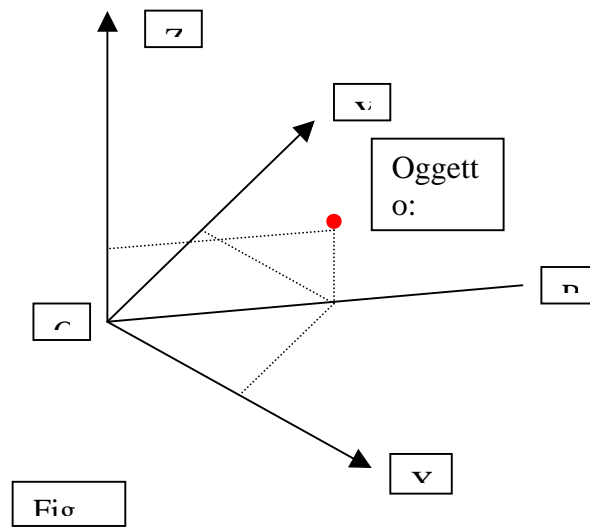
## Prendere un oggetto in un dato punto

Ci siamo impegnati nelle precedenti puntate nel dimensionamento e nelle tecniche per determinare il posizionamento, adesso proviamo a risolvere il problema pratico.

Obiettivo:

dato un oggetto in una data posizione dello spazio, calcolare il posizionamento del braccio e delle sue parti per afferrare l'oggetto.

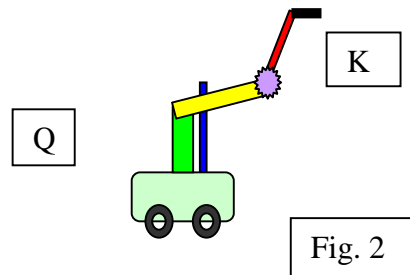
...sembra facile ☺



Nel disegno vediamo il nostro sistema 3D (con origine in O) e un oggetto in rosso che è il nostro target.

Noi abbiamo già il nostro braccio montato su una base semovente

La parte nera è la pinza



Ora noi possiamo muovere la base ovviamente solo sul piano X-Y, in questo modo porteremo il punto Q in un punto di coordinate  $X_1, Y_1, Z_1$ ; questa posizione dovrà ovviamente essere tale da avere  $X_t, Y_t, Z_t$  entro il raggio d'azione del braccio (vedremo di approfondire come si calcola il raggio d'azione). Fatto questo è facile dire che se facciamo la differenza tra le coordinate con indice t e quelle con indice 1 otteniamo la distanza tra il punto Q di figura 2 e il punto rosso della figura 1, in pratica abbiamo riportato il sistema in modo che Q (fig. 2) sia coincidente con O (origine degli assi di fig.1).

Comincia la storia degli angoli ☹:

La nostra base arriverà nella posizione  $X_1, Y_1$  con un certo angolo rispetto all'asse X, rappresentiamolo visto dall'alto:

Se il nostro punto rosso che è ancora il nostro target ha un angolo  $\varphi$  rispetto l'asse X, è facile capire che dovremo ruotare il braccio della differenza dei due angoli, ma quanto vale  $\alpha$ ?

Intanto avremo:

$$X_r = X_t - X_1$$

$$Y_r = Y_t - Y_1$$

Calcoliamo anche la distanza tra il punto rosso e l'origine degli assi in quanto ci servirà:

$$D_{pr} = \sqrt{X_r^2 + Y_r^2} \text{ (teorema di Pitagora ☺) (Sqr= radice quadrata)}$$

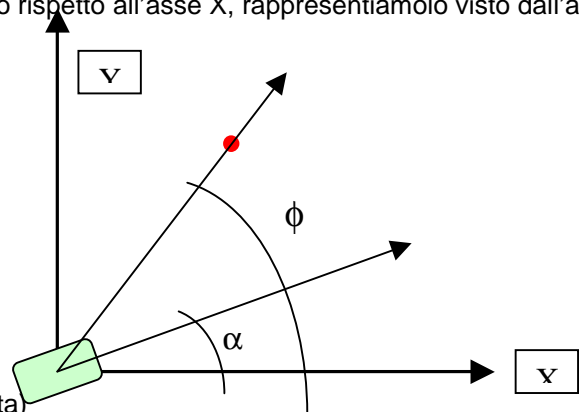
Ora possiamo dire:

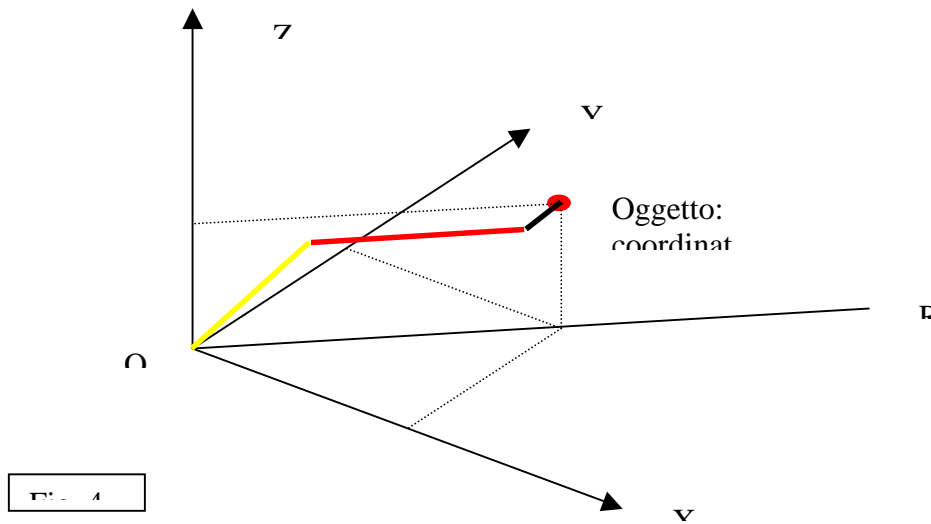
$$\alpha = \arccos(X_r / D_{pr})$$

Facendo ora la differenza degli angoli ( $\varphi - \alpha$ ) avremo di quanto ruotare il braccio per portarci nella giusta direzione e abbiamo sistemato il primo dei 4 motori.

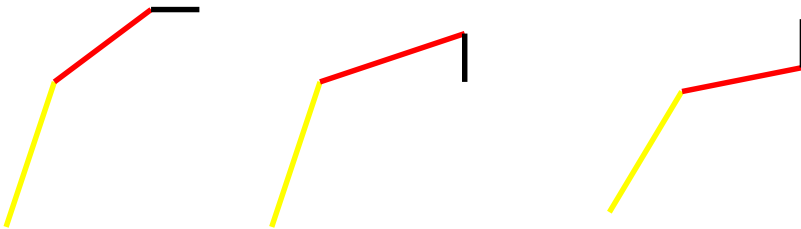
Bene, andiamo oltre.

Se tornate alla fig.1, noterete che una volta che ho il braccio nella direzione del mio target (punto rosso) quello che mi rimane da fare è piegare i vari componenti del braccio per raggiungere il punto rosso, in pratica devo lavorare su un semplice piano che è quello determinato dagli assi Z e R, facciamo un disegno? Ok!

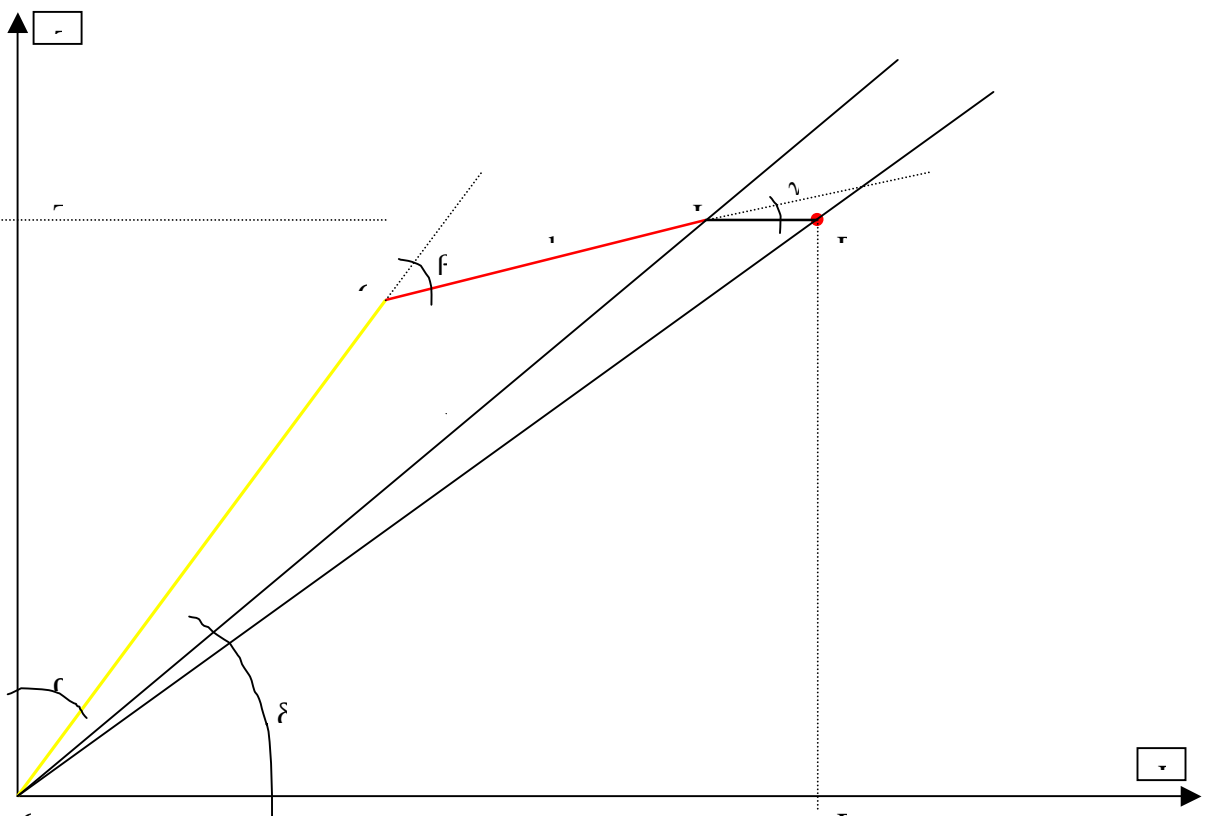




Le sezioni del braccio sono degli stessi colori del modellino di fig.2, se è chiaro che lavoro solo sul piano Z-R posso quantomeno semplificare il disegno e riportare tutti gli elementi necessari ai fini del calcolo, inoltre per semplificare la cosa ma anche per effettive questioni pratiche posso accettare che la pinza assuma nello spazio solo tre posizioni rispetto l'asse R e cioè:



Preso orizzontale (H), preso Verticale dall'alto (Va) e verticale dal basso (Vb), questo non sacrifica le prestazioni in modo eccessivo ma semplifica di molto i calcoli (almeno per me ☺)  
Facciamo ora un bel disegno da tenere sottomano.



Nello schema rappresentato possiamo fare alcune considerazioni:

Prima abbiamo calcolato Dpr come proiezione sul piano XY che adesso si chiama Rr;

Zr sarà semplicemente Zt-Z1

a, b, c sono i segmenti del nostro braccio e quindi dati noti

nello schema rappresentiamo la presa H e quindi il punto L avrà coordinate: Zl=Zr e Rl=Rr-c

Con riferimento alle puntate precedenti di questo manuale quello che ci serve sapere sono gli angoli alfa beta e gamma (□□□)

Cominciamo:

Per prima cosa mi calcolo d, conosco Zl e Rl per cui:

$$d = \text{SQR}(Zl^2 + Rl^2)$$

ora conosco d e mi calcolo l'angolo □ = arccos(Rl/d)

ora abbiamo tutto per calcolarci gli angoli che ci interessano e in particolare avremo che l'angolo QOL (vertice in O e lati OQ e OL) sarà dato da:

$$\arccos((a^2 + d^2 - c^2)/(2 * a * d))$$

Facile ora trovare □ dato da:

$$\square = 90 - (\square + QOL)$$

Identica storia per l'angolo OQL

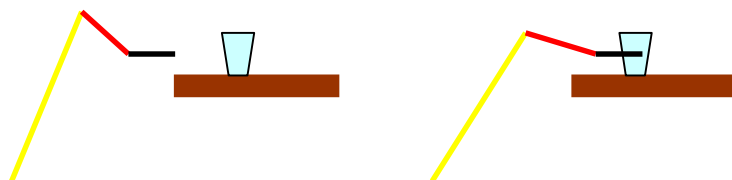
$$OQL = \arccos((a^2 + b^2 - d^2)/(2 * a * b))$$

Beta sarà: □ = 180 - OQL

Ancora più facile per l'angolo gamma, abbiamo infatti che □ + □ + □ = 90°

Da cui: □ = 90 - (□ + □)

C'è da fare un ragionamento su come si raggiunge la posizione, pensate ad un bicchiere sopra al tavolo, non potete certo arrivarci da sotto, inoltre volendo imitare il movimento umano, l'idea è quella di arrivarci "allungando il braccio" provo con un disegno



Per ottenere questo è sufficiente impostare un iniziale Rr più piccolo di quello calcolato, posizionare il braccio, ripetere la cosa incrementando Rr per passi successivi fino ad arrivare al valore vero.

Prese Verticali Va e Vb

Il concetto e la matematica non cambia se non per:

Va

$$\square + \square + \square = 180^\circ$$

$$Zl = Zr + c \text{ e } Rl = Rr$$

Vb

$$\square + \square + \square = 0^\circ$$

$$Zl = Zr - c \text{ e } Rl = Rr$$

Gli avvicinamenti saranno fatti seguendo il concetto di prima impostando per Va un valore iniziale maggiore di Zl e decrementandolo per passi successivi, il contrario per Vb

Il raggio di azione

Inizialmente abbiamo detto che la base si deve avvicinare al nostro Punto rosso in modo che il braccio riesca a raggiungerlo, aggiungerei in questa fase, raggiungerlo con un buon margine di manovra. Per fare questo servono ancora due calcoli:

considerando che il nostro punto rosso è ad una certa quota Z, la distanza maggiore che possiamo avere è quella data dal braccio tutto steso ed inclinato dell'angolo giusto per alzarsi (o abbassarsi) fino alla quota voluta.

Per tenerci un minimo margine non consideriamo la pinza (segmento c).

Ora abbiamo: Z1 che è una costante, Zt conosciuto

$$\text{avremo } Zr = Zt - Z1$$

$$\text{Opr} = a + b$$

$$Rr = \text{SQR}(\text{Opr}^2 - Zr^2)$$

Rr era anche prima la distanza della proiezione del Pr sul piano XY, ora questo numero è il raggio della circonferenza che delimita la distanza massima alla quale mi devo trovare,

empiricamente potrò stabilire quanto dentro la circonferenza è meglio essere per avere un buon margine di manovra, direi di ridurre Rr di un 30% e procedere per calcolare se sono o no all'interno della circonferenza o raggio d'azione... come si fa?

Data una circonferenza di raggio r con centro alle coordinate x,y, stabilire se un punto qualsiasi del piano Xa,Ya, è interno alla circonferenza.

