



UNIVERSITÀ DI BRESCIA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Dipartimento di Elettronica per l'Automazione

Laboratorio di Robotica Avanzata
Advanced Robotics Laboratory

Corso di Robotica
(Prof. Riccardo Cassinis)

**Programma di riconoscimento del
lancio di un dado attraverso il
sistema di visione e robot
Kawasaki**

Elaborato di esame di:

Simone Bonini, Andrea Piccinelli

Consegnato il:

5 luglio 2012

Sommario

Il progetto Robodado ha portato alla realizzazione di un sistema automatizzato basato sul robot Kawasaki per il lancio di un dado e il riconoscimento dello stesso, attraverso l'interfacciamento con il sistema di visione TS-Vision. Il dado viene lasciato cadere su una rampa, il sistema di visione riconosce la posizione e la faccia del dado; successivamente il robot afferra il dado tramite una ventosa e mostra all'utente la faccia da lui riconosciuta.

1. Introduzione

Il progetto nasce dall'idea di risolvere un problema innovativo nel campo della robotica industriale. Nei lavori precedenti, sviluppati dagli studenti degli anni passati, non era mai stato esplorato il campo dell'interazione tra il robot Kawasaki e il sistema di visione TS-Vision. Si è scelto quindi di rappresentare fisicamente questa interazione, mediante una dimostrazione che potesse essere facilmente apprezzabile e anche divertente.

Si è pensato di far riconoscere al sistema di visione la faccia risultante dal tiro di un dado. Il robot, dopo che il sistema ha riconosciuto il numero corrispondente alla faccia, sposta il dado nella posizione contrassegnata dallo stesso numero. Provvede poi ad effettuare un nuovo lancio, ripetendo l'operazione ciclicamente.

2. Il problema affrontato

2.1. Infrastrutture

Il progetto Robodado prevede il lancio di un dado in maniera pressoché casuale: questo implica la realizzazione di una rampa che permetta al dado di rotolare. Inoltre, per evitare che esso esca inavvertitamente dall'area di lavoro, la rampa deve terminare in un vassoio protetto ai lati da barriere contenitive, le quali non devono tuttavia interferire con il robot; in ultimo è necessario un dado che abbia dimensioni consone all'end-effector del robot.

2.2. Sistema di visione

2.2.1. Installazione

È necessario avere a disposizione una telecamera posta in modo tale da visualizzare l'intera area di lavoro del robot senza interferire con i suoi movimenti. Inoltre, poiché il collegamento tra la telecamera ed il sistema di elaborazione avviene attraverso un cavo USB, la distanza tra di essi non deve essere troppo elevata.

2.2.2. Calibrazione

Affinché il sistema di visione possa trasmettere al robot la posizione del dado, la telecamera deve essere calibrata e le coordinate acquisite nel proprio sistema di riferimento vanno trasformate in coordinate nel sistema di riferimento del robot.

2.2.3. Addestramento

Il sistema di visione deve essere in grado di individuare la posizione del dado, riconoscendo inoltre quale tra le sei facce è volta verso l'alto. I bordi del dado rappresentano una caratteristica molto rilevante dal punto di vista del riconoscimento. Di conseguenza, tutte e sei le facce del dado appaiono simili tra loro; ciò rappresenta un ostacolo. Inoltre anche la presenza delle ombre generate dal dado può creare qualche difficoltà.

2.3. Comunicazione tra sistema di visione e robot

La chiave di volta del progetto è il dialogo tra il sistema di visione e il robot, senza il quale non ci potrebbe essere interazione tra le due parti. È fondamentale perciò realizzare un sistema di comunicazione, sfruttando le caratteristiche intrinseche delle due componenti.

2.4. Programmazione del robot

Si deve realizzare un programma AS in grado di gestire l'intero processo di manipolazione:

- afferrare il dado;
- portarlo nella posizione predefinita corrispondente alla faccia riconosciuta;
- lanciare nuovamente il dado sulla rampa.

Per la fase di presa del dado, la pinza non si è rivelata uno strumento ideale: essa infatti richiede notevole precisione (dell'ordine del millimetro) sia nella posizione del punto di presa, sia nella rotazione del dado. Inoltre eventuali errori possono avere conseguenze catastrofiche sull'integrità del robot.

3. La soluzione adottata

3.1. Infrastrutture

È stato intagliato un dado a partire da un ceppo di legno. Esso ha lato di 4 cm; questa dimensione è ideale affinché possa essere afferrato dall'end-effector del robot. Gli spigoli del dado sono stati smussati con una lima per migliorare la fase di rotolamento, le facce sono state dipinte con vernice bianca mentre i pallini che identificano la faccia stessa sono stati disegnati con un pennarello nero: ciò migliora il contrasto tra sfondo e primo piano, necessario per il sistema di visione.

La rampa è stata realizzata in cartone e consiste in uno scivolo che termina in un vassoio di dimensioni adatte all'area di lavoro del robot. Le sponde di contenimento sono anch'esse in cartone; esse non sono perpendicolari al piano ma leggermente inclinate, per consentire al robot di afferrare il dado senza interferire con le barriere, anche nel caso in cui esso termini la propria corsa lungo i bordi del vassoio. Tuttavia l'inclinazione non deve essere eccessiva, altrimenti può accadere che il dado si fermi appoggiandosi sulla barriera, in una posizione non afferrabile dal robot.

Tutta questa struttura è collocata su una sottile base di compensato, per avere un piano uniforme. Per motivi di sicurezza, onde evitare che il robot subisca danni, tra il vassoio e la base di compensato è stato frapposto uno strato di gommapiuma alto 2 cm per rendere la struttura comprimibile verso il basso.

3.2. Sistema di visione

3.2.1. Installazione

È stata calcolata la distanza ideale a cui deve essere posizionata la telecamera rispetto al piano di lavoro. Per fare ciò, è stato elaborato un modello che associa l'area visibile alla distanza di un piano dalla telecamera. Questo modello è stato calcolato attraverso un processo di identificazione.

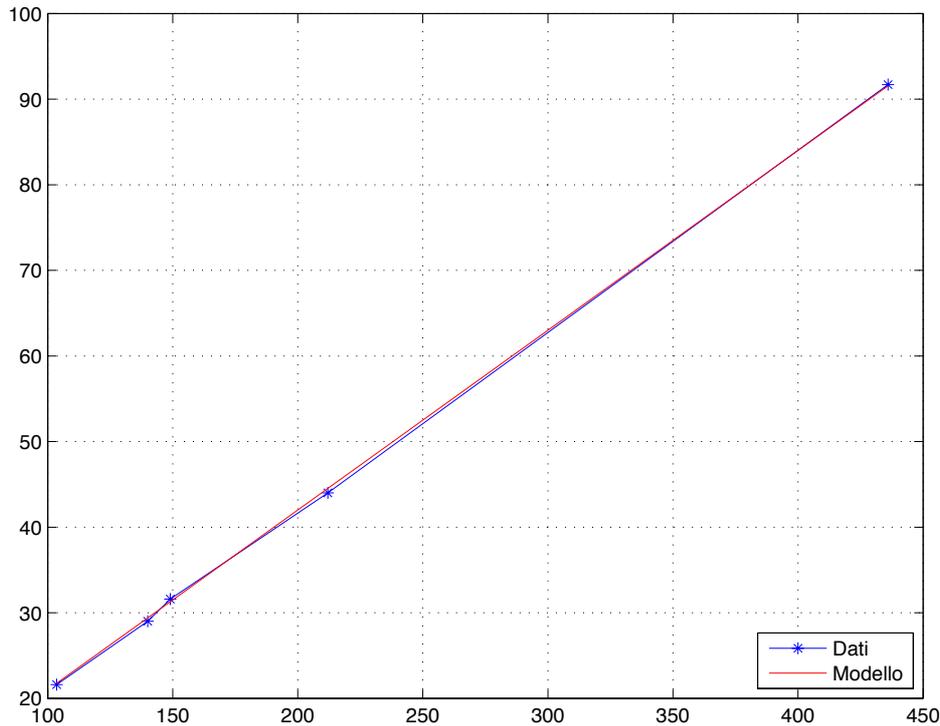


Fig. 1 Grafico di corrispondenza distanza/area visibile della telecamera

Il grafico mostrato in Fig. 1 riporta sull'asse delle ascisse la distanza in cm tra la base della telecamera e il piano visibile, mentre sulle ordinate la lunghezza della diagonale dell'area visibile, espressa in cm.

Il modello calcolato è il seguente:

$$d = 0.21 * l$$

dove d è la diagonale e l la distanza sopracitata.

La risoluzione della telecamera a disposizione è di 562 x 480 pixel, dalla quale è possibile ricavare la dimensione dell'area di lavoro a partire dalla diagonale.

Si è giunti perciò alla conclusione che la posizione ideale per la telecamera, affinché riesca a contenere tutta l'area del vassoio, è 2.5 m sopra il piano di lavoro.

La telecamera è stata fissata in tale posizione sfruttando una staffa di metallo ancorata al soffitto.

Il cavo USB disponibile è sufficientemente lungo per raggiungere la telecamera dalla postazione di lavoro.

3.2.2. Calibrazione

La telecamera è stata calibrata tramite una scacchiera. Questo processo consente al software del sistema di visione, data in ingresso la dimensione di ogni cella, di compensare automaticamente eventuali deformazioni e rotazioni, nonché di calcolare la corretta distanza degli oggetti rispetto ad un'origine specificata manualmente.

Per agevolare il passaggio dal sistema di riferimento della telecamera a quello del robot, la scacchiera è stata posizionata con gli assi paralleli a quelli del sistema di riferimento del robot. In questo modo le rotazioni tra i due sistemi vengono azzerate e ciò riduce il passaggio tra i due sistemi ad una semplice traslazione dell'origine.

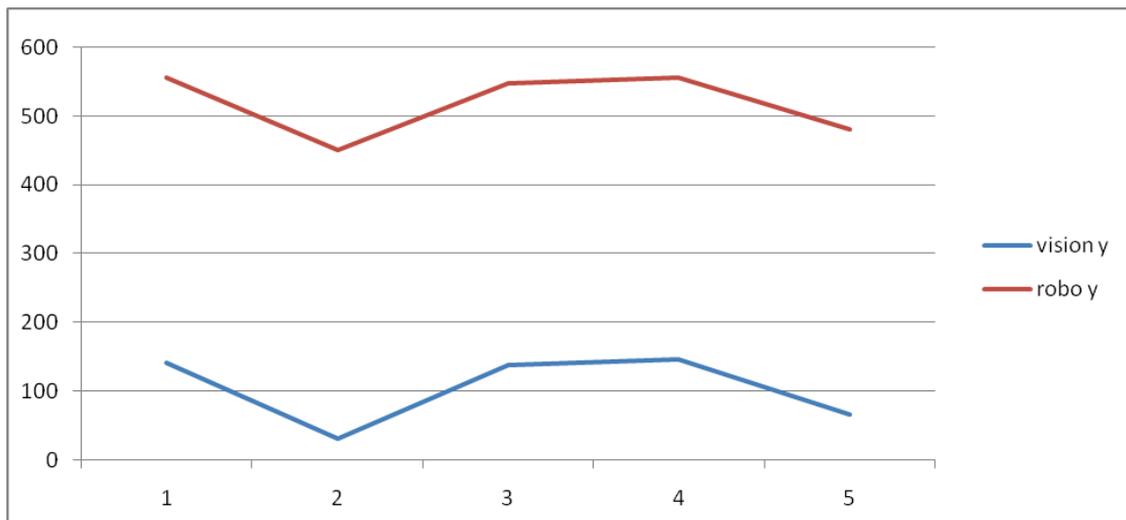


Fig. 2 – I valori della coordinata y di cinque punti per il sistema di visione e per il robot

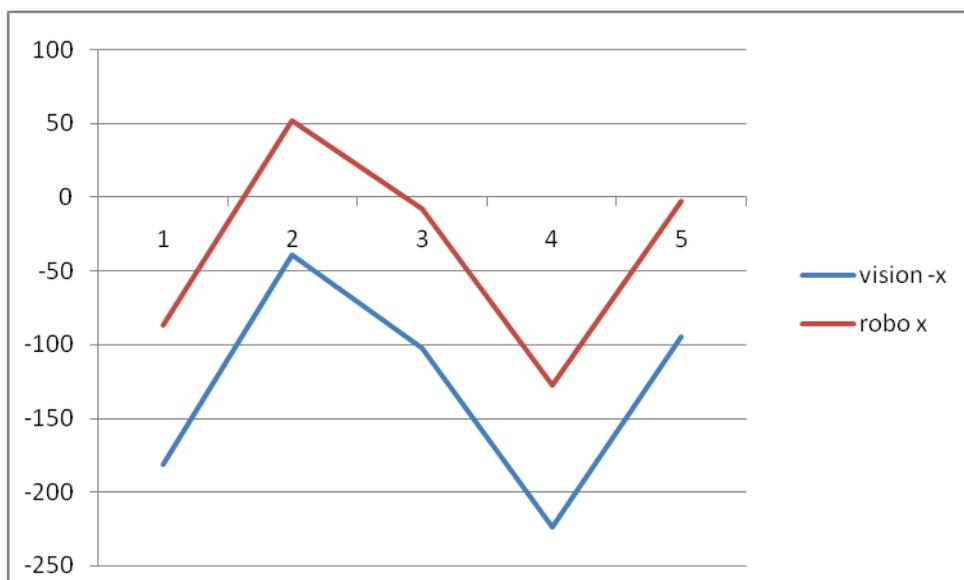


Fig. 3 – I valori della coordinata x di cinque punti per il sistema di visione e per il robot

Le traiettorie dei grafici sono parallele: ciò sta ad indicare che la calibrazione è stata effettuata correttamente, eliminando le distorsioni e correggendo la scalatura delle distanze; tuttavia le traiettorie non sono sovrapposte, perché le origini dei due sistemi di riferimento (robot e telecamera) non coincidono. La differenza tra le origini dei due sistemi di coordinate, che va perciò a costituire la trasformazione utilizzata, è calcolata empiricamente, grazie ai dati raccolti.

Per avere una profondità di campo soddisfacente, il diaframma è stato chiuso di due stop, con conseguente sottoesposizione dell'immagine. Ciò ha richiesto l'illuminazione artificiale della scena, come descritto in seguito.

3.2.3. Addestramento

Il sistema è stato addestrato per riconoscere sei modelli, uno per ogni faccia del dado. Per migliorare i risultati è stata ingrandita la dimensione dei pallini, in modo da rendere dominante tale caratteristica nei modelli.

Per identificare quale faccia è volta verso l'alto, si esegue un tentativo di riconoscimento per ogni modello e si sceglie il risultato con la più alta percentuale di corrispondenza. Tuttavia, essendo le facce del dado abbastanza simili tra loro, quasi tutti i 6 modelli combaciano parzialmente, ma solo quello corretto supera il 90%, mentre gli altri si aggirano attorno al 50-70%.

Per limitare l'effetto negativo delle ombre sul piano e per migliorare il contrasto tra il dado e lo sfondo, la rampa è stata ricoperta con un materiale plastico di colore nero. Sono stati installati due faretto alogeni in modo da aumentare l'esposizione della scena. Essi non sono stati orientati direttamente sul piano, sul quale avrebbero creato ombre dure, bensì rivolti verso il muro bianco, che agisce da diffusore della luce.



Fig. 4 - I faretto alogeni utilizzati per l'illuminazione

3.3. Comunicazione tra sistema di visione e robot

Il sistema di visione TS-Vision fornisce un'architettura di comunicazione di tipo client-server, in cui il robot agisce da client e TS-Vision da server.

Il server si mette in ascolto su una data porta ed accetta connessioni provenienti solo da un determinato indirizzo IP, attraverso il protocollo TCP o UDP.

È possibile simulare le richieste connettendosi tramite *telnet* al server; un esempio di comando è il seguente:

```
M1@<Ctrl+D>
```

La combinazione di tasti finale invia l'EOF al server, in modo da lanciare la richiesta. Per ulteriori informazioni sui comandi utilizzabili si rimanda alla documentazione di TS-Vision.

Per aprire una connessione dal robot sono state utilizzate le primitive AS disponibili, in particolare:

```
TCP_CONNECT socket_id, porta, ip
```

Una volta instaurata la connessione, i comandi vengono inviati attraverso la primitiva:

```
TCP_SEND sret, socket_id, $send_buffer, buf_n
```

e le risposte sono ricevute attraverso:

```
TCP_RECV rret, socket_id, $recv_buff[1], .num
```

La stringa di risposta deve essere elaborata per estrarre i dati necessari al programma.

Un esempio di risposta è il seguente:

```
<FOUND>, <C>, <X>, <Y>, <A>, <CONFIDENCE>, <NUM_PEZZI>@
```

I dati necessari per la localizzazione del dado e il riconoscimento della faccia sono X, Y, A (rotazione) e CONFIDENCE.

3.4. Programmazione robot

La pinza è stata valutata del tutto inadatta per afferrare il dado. Lo strumento ideale per compiere questa operazione è la ventosa. È sufficiente infatti una precisione dell'ordine del cm nella fase di riconoscimento per afferrare il dado con successo; inoltre si riducono drasticamente i rischi di urto tra end-effector e dado. La ventosa è stata installata sul braccio del robot afferrandola con la pinza, in questo modo pinza e ventosa sono facilmente intercambiabili (Fig. 5).

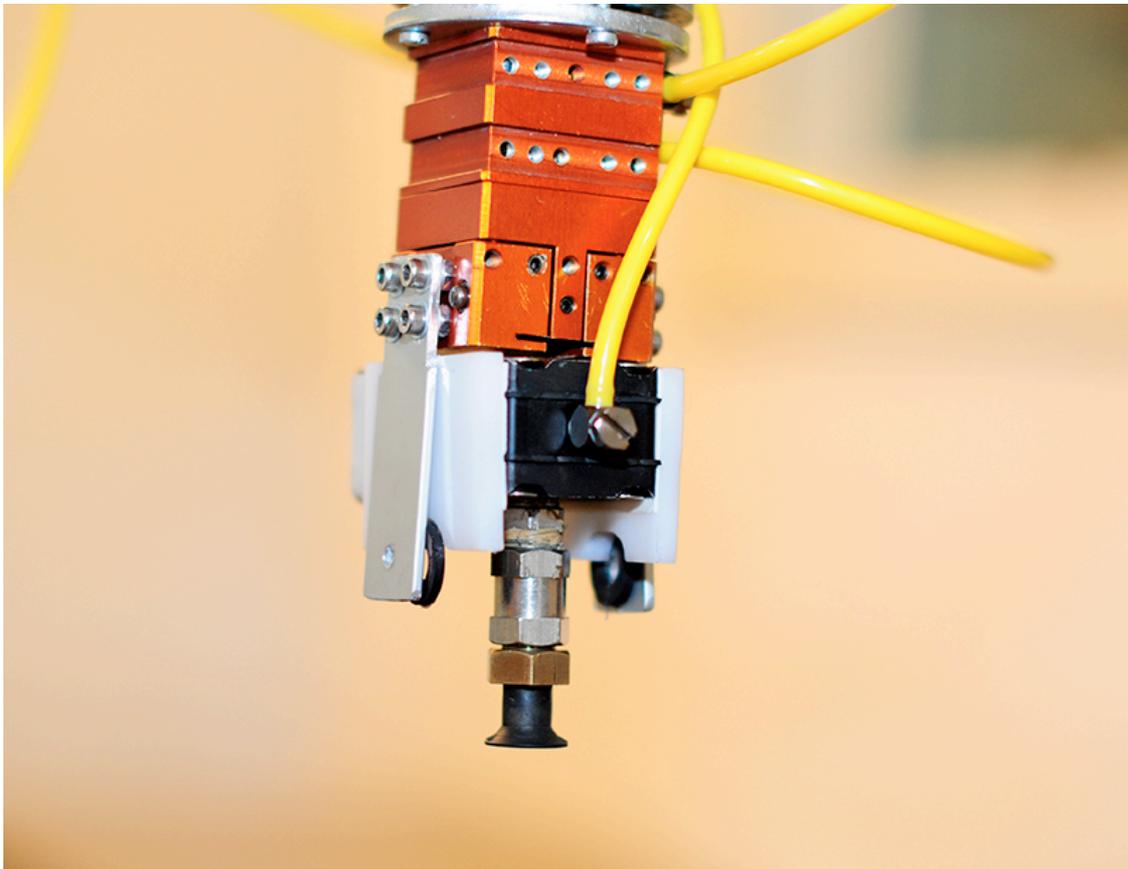


Fig. 5 – La ventosa montata sulla pinza

La ventosa è controllata da un'elettrovalvola (In Fig. 6 sono contrassegnate con le frecce le due elettrovalvole installate per l'occasione; per la ventosa è abilitata quella di destra, mentre quella sinistra è predisposta per utilizzi futuri) collegata al controller del robot al pin 4 del connettore CN2 (segnali input/output generici). Il comando AS per attivare questo segnale è:

```
SIGNAL 4
```

mentre per disattivarlo è:

SIGNAL -4

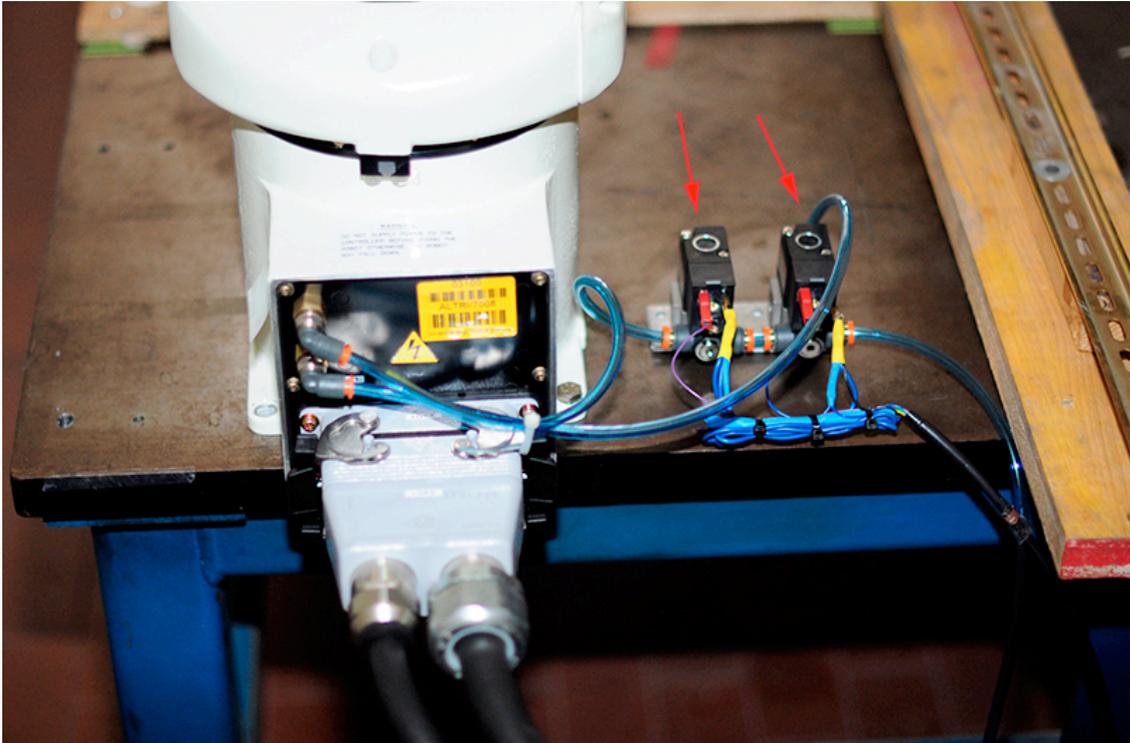


Fig. 6 – Le elettrovalvole per comandare la ventosa

È stato scritto il programma AS i cui passi principali sono i seguenti:

- Spostare il braccio in una posizione sicura (in alto sopra l'area di lavoro);
- Spostare il braccio fuori dall'area di lavoro;
- Attendere che il braccio abbia terminato il movimento;
- Riconoscere il dado;
- Spostare il braccio sul dado con la ventosa a 20 mm dalla faccia;
- Ridurre la velocità, attivare la ventosa e scendere fino ad afferrare il dado;
- Portare il dado nella posizione predeterminata associata alla faccia riconosciuta;
- Portare il dado nella posizione di lancio in cima alla rampa;
- Disattivare la ventosa.

Durante la fase di riconoscimento vengono cercati tutti i sei modelli associati alle relative facce del dado e vengono utilizzati solo i risultati del modello con più alto valore di confidenza (scelto con complessità computazionale lineare). Se nessun modello è riconosciuto, viene segnalato un errore. Il programma inizia portando il robot in una posizione sicura: in questo modo, qualunque sia la posizione iniziale da cui il programma inizia, non ci saranno rischi di urti accidentali.

4. Modalità operative

Per vedere all'opera il progetto Robodado, sono necessarie alcune operazioni che saranno ora descritte.

4.1. Componenti necessari

Prima di procedere è necessario verificare di avere tutto l'occorrente:

- La **rampa** realizzata in cartone: essa è stata progettata con le dimensioni adatte. Tuttavia se essa si dovesse rompere o danneggiare, non sarebbe molto difficile realizzarne un'altra, su misura di quella attuale. In tal caso è tuttavia importante non tralasciare lo strato di gommapiuma, contrassegnato dalla freccia in Fig. 7 e posto sotto il piano di caduta; inoltre sarà necessario controllare le coordinate dei punti fissi (le posizioni dei numeri, la posizione di rilascio del dado) raggiunti dal robot, modificandole nella funzione `dado_init_positions()` del file `robodado.as`.



Fig. 7 - La rampa di lancio del dado

- Il **dado**: è pronto per l'uso, ma analogamente alla rampa è possibile realizzarne un altro nel caso in cui vada perso o si deteriori. Si presti attenzione alle dimensioni (4 cm di lato), il colore deve essere bianco con i pallini neri, sufficientemente grandi (tra 0.5 e 0.8 cm di diametro), una superficie non troppo ruvida, non troppo pesante (la ventosa potrebbe avere difficoltà a reggerne il peso), con gli spigoli smussati, per migliorare la rotazione e non danneggiare il piano di caduta. In caso fosse sostituito, sarà necessario ripetere l'addestramento del sistema di visione.



Fig. 8 - Il dado utilizzato nel progetto

- Il **calcolatore per la visione**: è un notebook Fujitsu Lifebook A530, con sistema operativo Windows 7; la sua particolarità è quella di essere l'**unico** calcolatore sul quale è installato il programma TS-Vision, necessario per il riconoscimento. È pertanto richiesta una certa cura nell'uso dello stesso.
- La **chiave hardware**: il programma TS-Vision è protetto da copia anche grazie a una chiave hardware, che si presenta come una normale penna USB, ma contiene in realtà l'unico metodo per utilizzare il sistema. Anche in questo caso è fondamentale ricordarsi di riporre la chiave insieme al calcolatore, poiché è molto facile smarrirla a causa delle sue ridotte dimensioni.



Fig. 9 - La chiave hardware di TS-Vision

- La **telecamera**: quella presente nel laboratorio è perfetta per gli scopi del progetto; non è dato sapere se altre telecamere possano essere compatibili. TS-Vision, ad esempio, non mostra la webcam del calcolatore tra le telecamere utilizzabili per il riconoscimento.

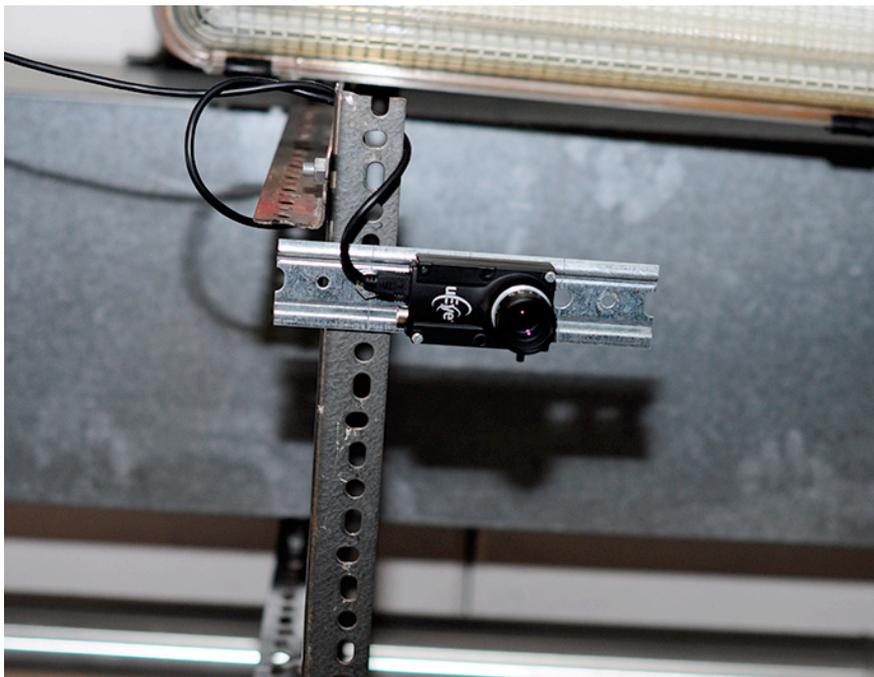


Fig. 10 - La telecamera in laboratorio montata al soffitto

- Il **cavo USB**: è un normale cavo con connettore USB maschio di tipo A da un lato, e connettore USB maschio di tipo mini-B dall'altro. È importante la lunghezza: almeno 3.5 metri per evitare tensioni su di esso.
- Il **foglio a scacchiera** necessario per la calibrazione. È un semplice foglio sul quale è stampata una griglia a scacchi, di 1 cm di lato ognuno.

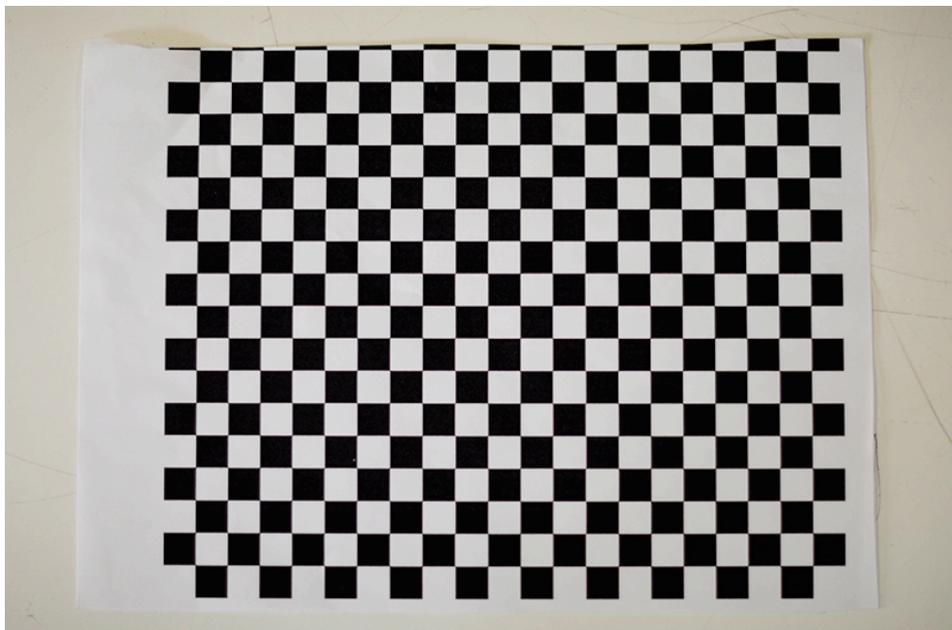


Fig. 11 - Il foglio a scacchiera per la calibrazione

4.2. Modalità di installazione

- Posizionare la rampa, allineando l'angolo in alto a destra della base in legno della rampa con la base fissa del piano di lavoro. Si vedano le aree cerchiare in Fig. 12, Fig. 13 e Fig. 14.

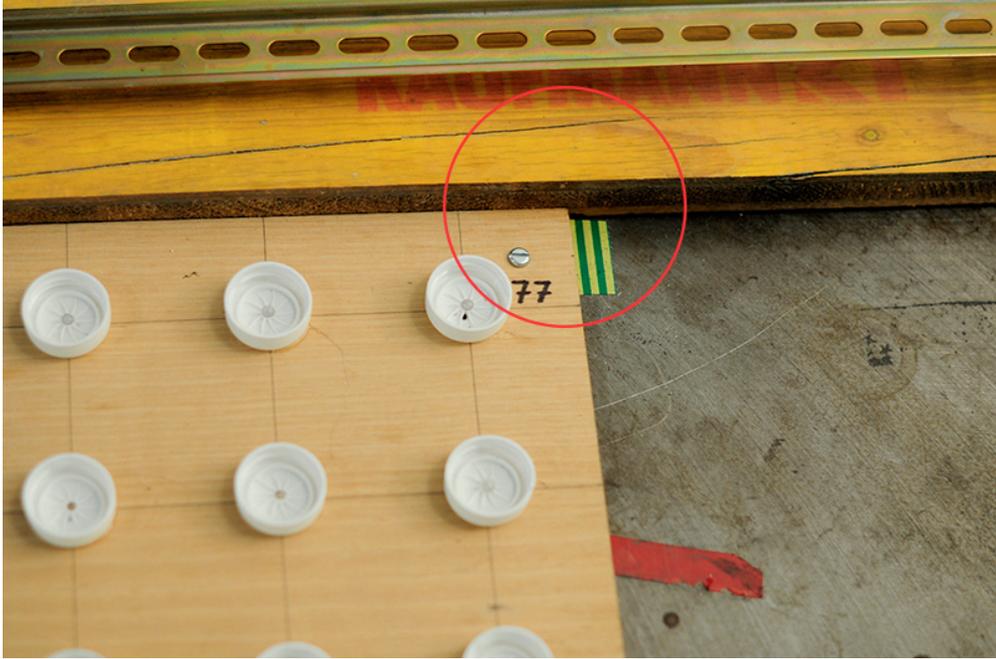


Fig. 12 – La base del piano di lavoro, su cui allineare la rampa



Fig. 13 - L'angolo da allineare, visto dal lato



Fig. 14 - L'angolo da allineare, visto dall'alto

- Assicurare la rampa alla base con del nastro adesivo.
- Abilitare l'alimentazione del circuito dei robot, ruotando l'interruttore del connettore rosso sul pannello a sinistra del robot SCARA IBM (Fig. 15): è necessaria una chiave in possesso degli addetti al laboratorio. Abilitare inoltre l'alimentazione ai PC, circuiti di sicurezza e lampade.



Fig. 15 - Il quadro di alimentazione

- Avviare il controller del robot Kawasaki: per fare ciò si deve sollevare l'interruttore rosso posto sul lato anteriore del controller.
- Collegare il calcolatore alla rete elettrica e a quella ethernet cablata.
- Inserire la chiave USB in una delle porte disponibili sul calcolatore.

- Collegare il cavo USB della telecamera al computer.
- Avviare il computer.
- Configurare l'indirizzo dell'interfaccia abilitando il DHCP (controllandolo in questo caso con il comando `ipconfig` in un terminale di Windows), oppure manualmente. In ogni caso si prenda nota di questo indirizzo, poiché sarà necessario per i passi successivi.
- Avviare il programma TS-Vision e caricare il progetto `robodado.prj`.
- Selezionare dal menu *Strumenti* la voce *Impostazioni*. Verrà richiesta una password per l'account Amministratore.
- Entrare nella scheda *Comunicazione Robot* (Fig. 16), abilitare la crocetta su uno dei 4 robot configurabili, scegliere il protocollo TCP, impostare come indirizzo IP quello del robot Kawasaki ed infine scegliere una porta alla quale il robot si collegherà. Questa porta può essere lasciata al valore predefinito, è tuttavia importante annotarsi tale numero, perché sarà necessario in seguito. Chiudere la finestra cliccando su *Conferma*. Questa operazione è necessaria poiché il sistema di visione svolge il ruolo di server e per motivi di sicurezza accetta connessioni solo alla porta selezionata e da client (robot) con l'indirizzo IP specificato.

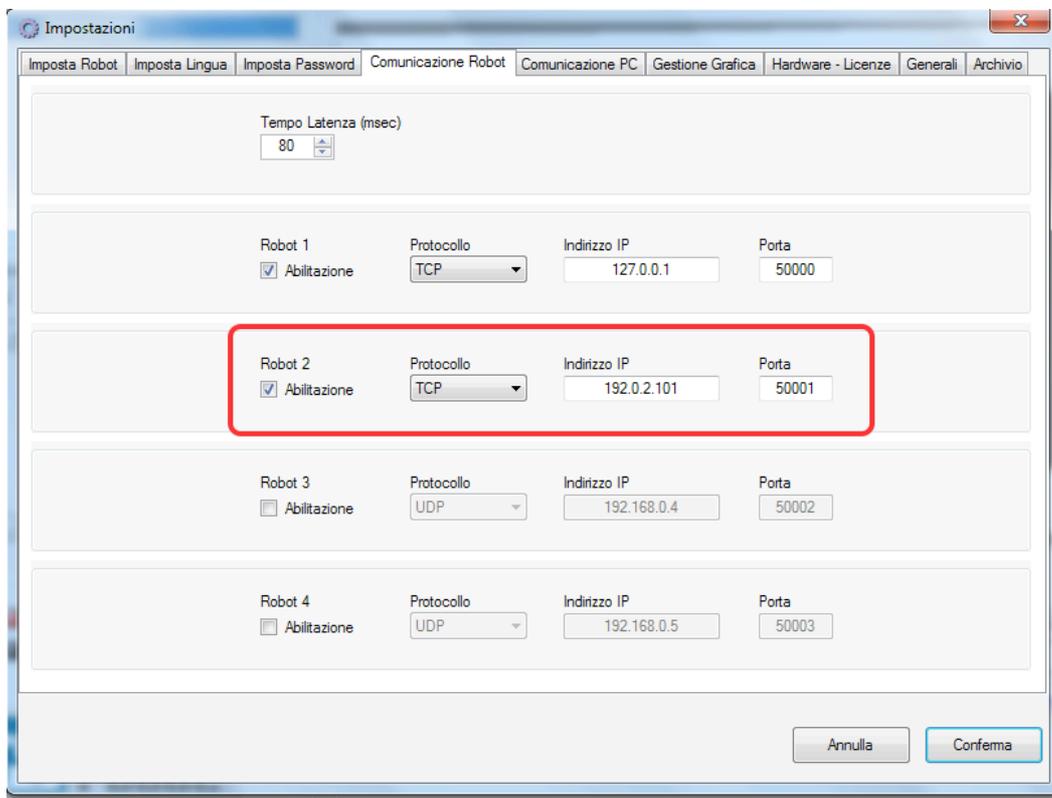


Fig. 16 – La configurazione della comunicazione con il robot in TS-Vision

- Avviare l'editor Notepad++, già installato sul computer, aprendo il file `robodado.as` allegato al progetto.
- Impostare nel codice sorgente all'interno della funzione `dado_connect()` l'indirizzo IP del computer del sistema di visione, precedentemente appuntato.

Ad esempio, se l'indirizzo IP è `192.0.2.20`, il codice relativo andrà modificato in:

```
ipcam[1] = 192
ipcam[2] = 0
```

```
ipcam[3] = 2
ipcam[4] = 20
```

- Sempre nel codice sorgente, in seguito al codice appena inserito, modificare la riga:

```
TCP_CONNECT socket_id,50001,ipcam[1]
```

sostituendo a 50001 il numero della porta scelto precedentemente tramite la configurazione di TS-Vision.

- Impostare la connessione al robot da Notepad++, controllando che il campo indirizzo nel pannello inferiore (che contiene la console di comunicazione con il robot, come visibile in Fig. 17) contenga una stringa come la seguente: TCP 192.0.2.101 23, modificata opportunamente in base all'indirizzo IP del robot. Si noti che 23 è il numero della porta di comunicazione verso il robot e non deve essere modificata. Connettersi al robot cliccando sul pulsante verde di fianco.

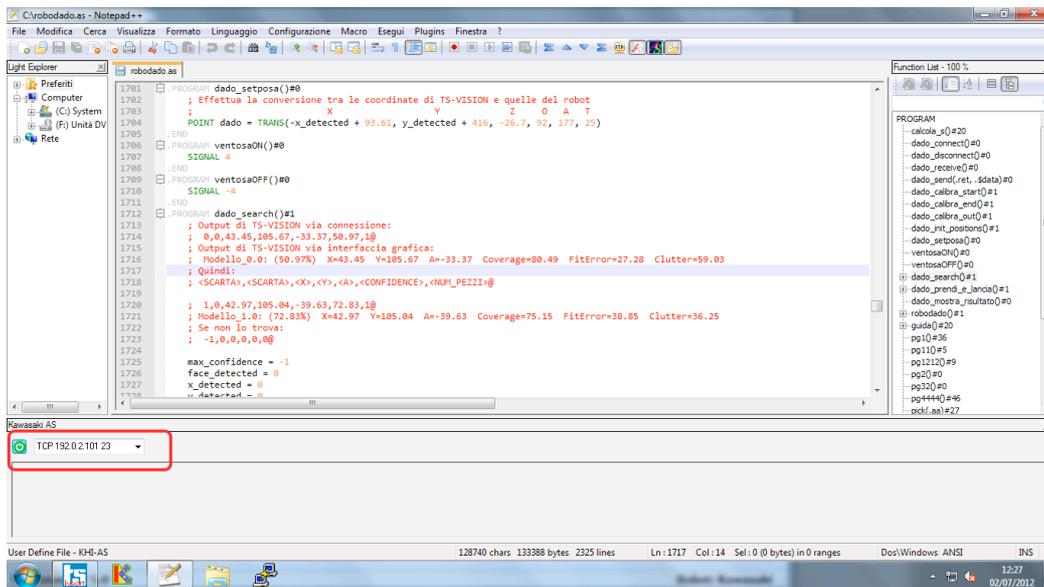


Fig. 17 – L’interfaccia di Notepad++: in evidenza la parte di connessione al robot

- Controllare che nessun programma sia in esecuzione sul robot: anche se un programma termina correttamente, esso rimane attivo. È possibile ovviare a questo problema digitando nella console:

```
kill
```

Confermare premendo 1.

- Controllare che i motori siano spenti (la scritta *MOTOR* visibile in Fig. 18 deve apparire grigia); in caso contrario è possibile disattivarli premendo i pulsanti *A* e *Jog/Motor On* sul teach pendant.

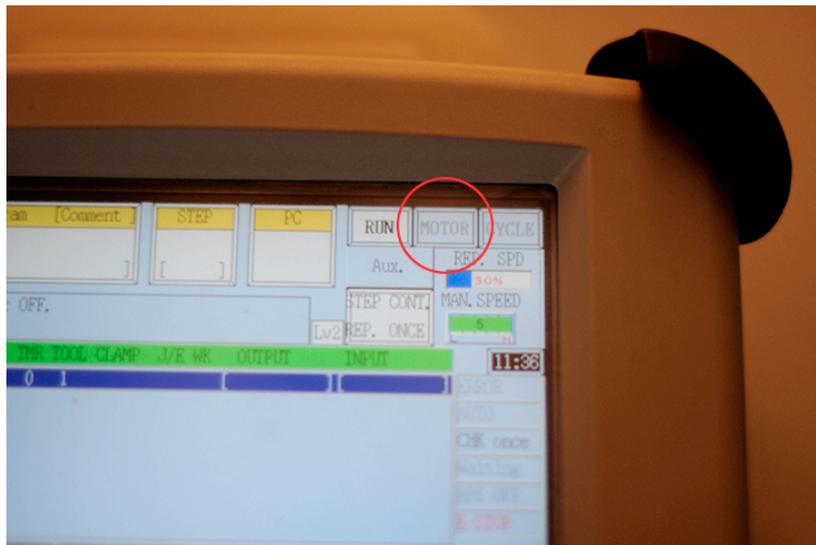


Fig. 18 – Lo stato dei motori visualizzato sul teach pendant

- Fare eventualmente un backup del contenuto attuale della memoria del robot, con il comando:

```
save c:\backup.as
```

dove il testo che segue `save` è il percorso del file su cui salvare i dati correnti.
- Caricare il programma Robodado con il comando:

```
load c:\robodado.as
```

dove il testo che segue `load` è il percorso del file AS allegato al progetto. Confermare premendo 1.

4.3. Modalità di taratura

- Ruotare la chiave sulla parte frontale del controller nella posizione *Repeat*; analogamente controllare che il selettore *T. Lock* sul teach pendant sia in posizione *OFF*.
- Controllare che i pulsanti di emergenza a fungo, di colore rosso, posti sul teach pendant, sul controller e sul pannello di comando sul muro a sinistra del controller, siano in posizione sbloccata (è possibile controllare ruotandoli leggermente, facendoli eventualmente scattare).
- Attivare il flusso di aria compressa aprendo i rubinetti relativi al robot Kawasaki, posti sul muro vicino al robot SCARA IBM (Fig. 19).

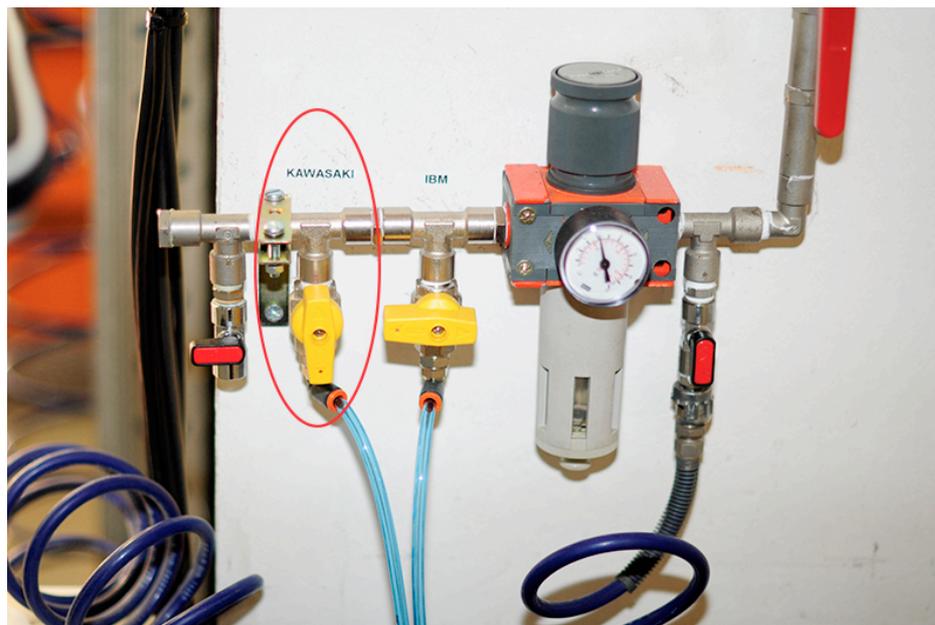


Fig. 19 – L'alimentazione dell'aria compressa del robot Kawasaki

- Premere il pulsante verde sul quadro di sicurezza a sinistra: dovrebbe accendersi la luce verde (Fig. 20).

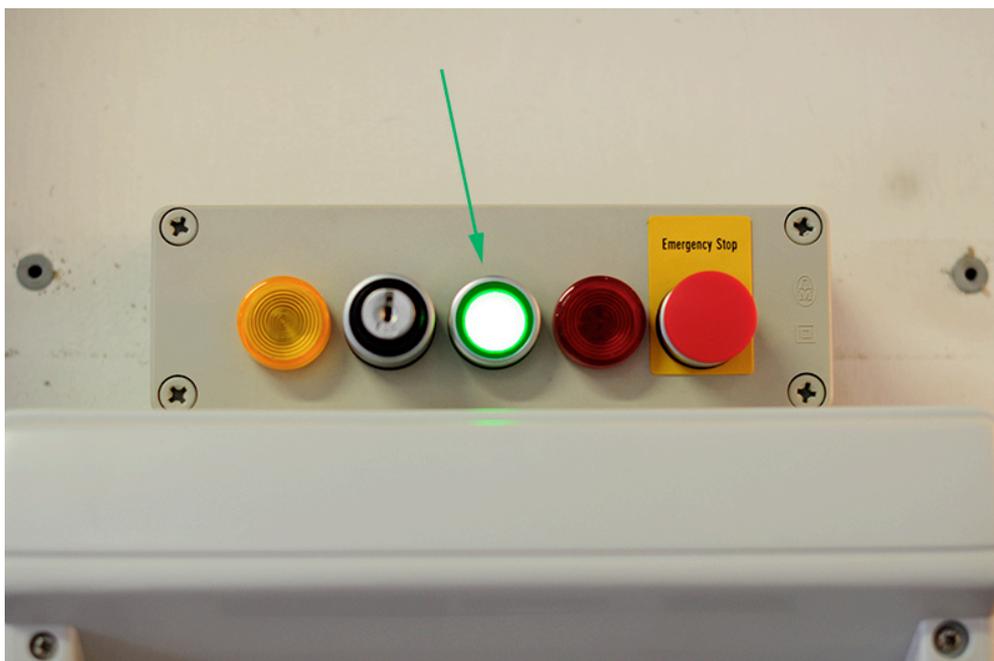


Fig. 20 – Il quadro di sicurezza

- Abilitare i motori tenendo premuto i pulsanti *A* e *Jog/Motor On* sul teach pendant.
- Nella console di Notepad++, inserire il comando:
`execute dado_calibra_start`

Il robot si sposterà in una posizione sopra il piano della rampa. Posizionare il foglio della scacchiera sotto la ventosa, allineandolo con il secondo quadrato nero, come mostrato in Fig. 21.

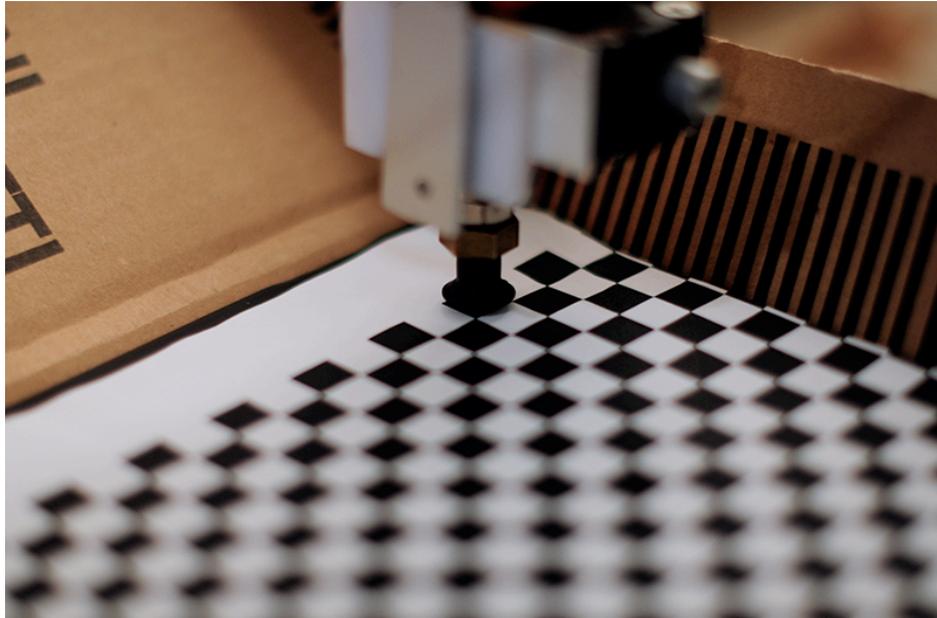


Fig. 21 – La parte iniziale della calibrazione

- Analogamente, eseguire il comando:
`execute dado_calibra_end`

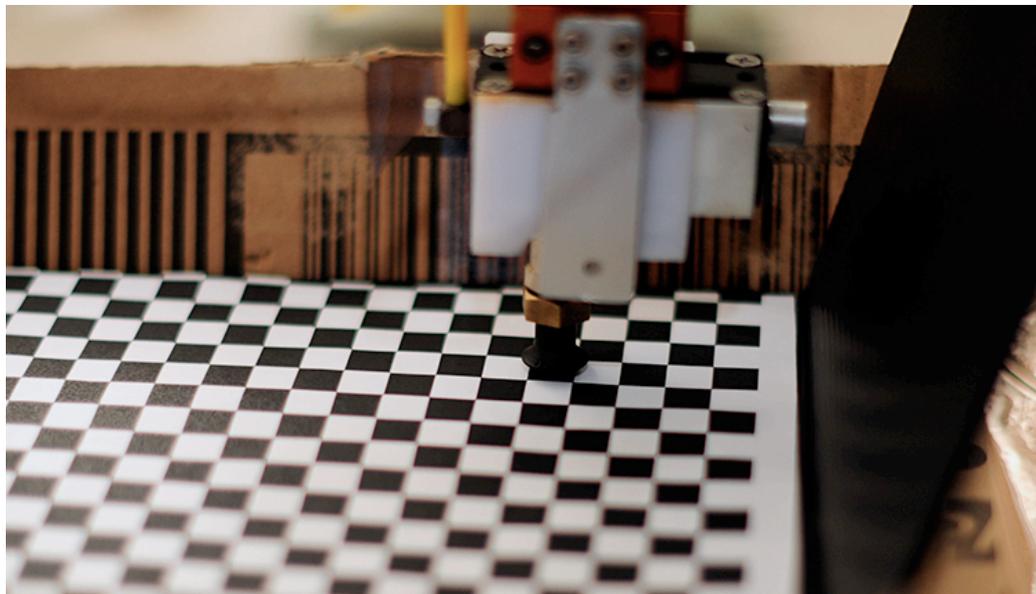


Fig. 22 – La seconda parte della calibrazione

Il robot si sposterà in un altro punto sulla base. In questo caso si deve ruotare la scacchiera in modo da allineare la ventosa con il terzo quadrato nero da destra, sulla stessa linea del quadrato al punto precedente. Si faccia riferimento alla Fig. 22 per l'operazione.

Riepilogando, le posizioni in cui mettere la ventosa sono raffigurate in Fig. 23.

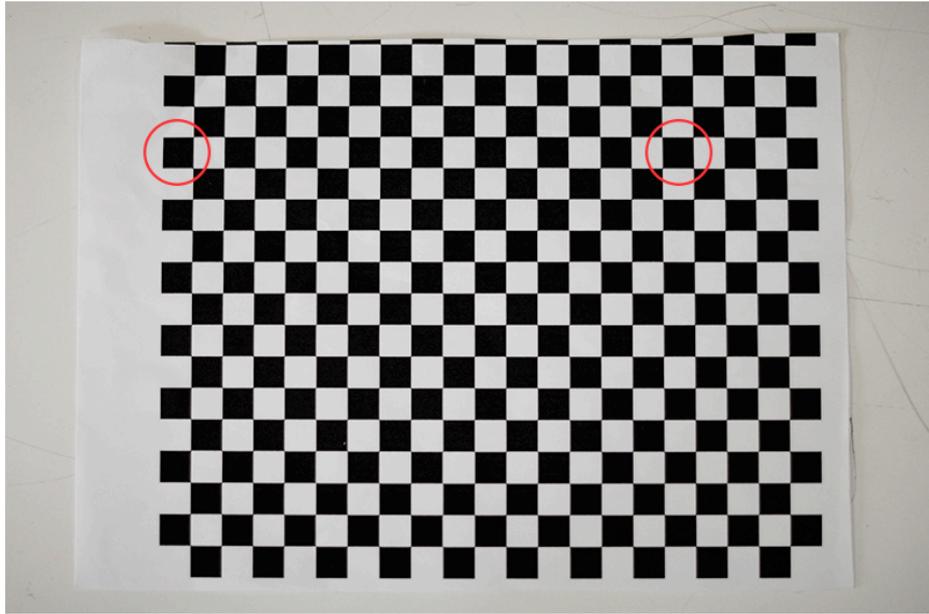


Fig. 23 – La scacchiera utilizzata per la calibrazione

- Ripetere alternativamente i due punti precedenti, finché non si avrà un allineamento preciso in entrambi i casi.
- Una volta raggiunto un allineamento soddisfacente, eseguire il comando:

```
execute dado_calibra_out
```

per spostare il braccio del robot fuori dal piano di lavoro.
- In TS-Vision, selezionare dal menu *Strumenti* la voce *Calibrazione, 2D Checker Board*.
- Nel menu a tendina che appare, selezionare la telecamera da utilizzare, in seguito cliccare sul pulsante in basso *Calibra telecamera*.
- Impostare la dimensione del quadrato, inserendo il valore 10 (misurato in mm) nella dimensione del quadrato, sia per *x* che per *y* (Fig. 24).

Tabella Calibrazione

Dimensione Quadrato

10.00 X 10.00 Y

Origine Calibrazione

0.00 X 0.00 Y

Archivio Calibrazione

Carica Da File Salva Su File

Visualizza Avanzate

Avanzate

Parametri Estesi

Fig. 24 – I parametri della scacchiera

- Cliccare sul pulsante in basso *Calcola Calibrazione*. Apparrà un *Errore Calibrazione*, da ignorare, in quanto non ci sono reali problemi.
- Cliccare sulla crocetta relativa a *Visualizza Avanzate* e successivamente sul pulsante *Parametri Estesi*.
- Nel menu a tendina in alto a destra selezionare *Current.CalibrationImage*. Apparrà l'immagine della scacchiera (Fig. 25).

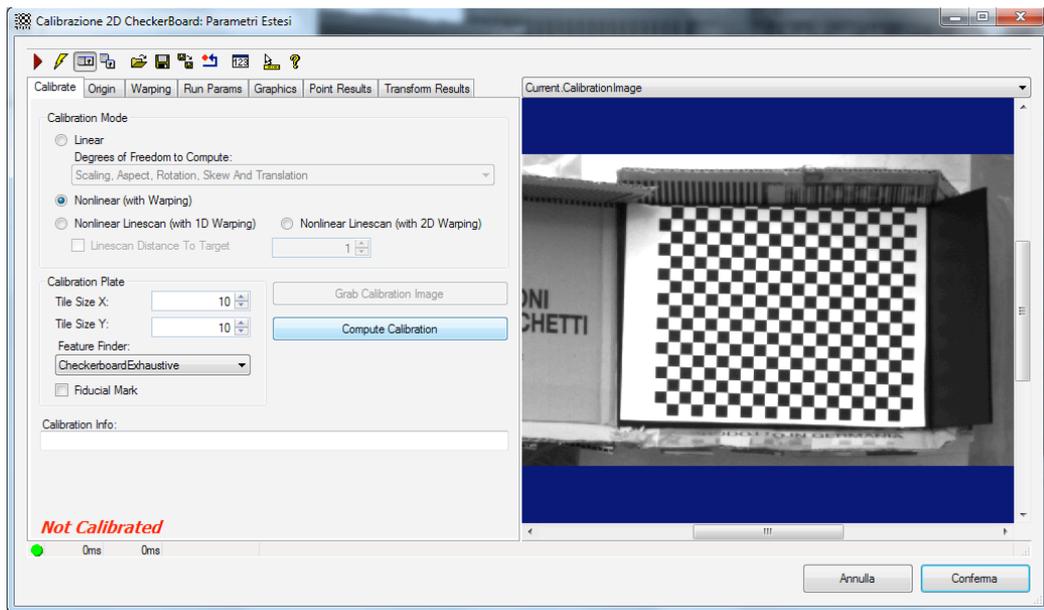


Fig. 25 – La schermata dei parametri estesi della calibrazione

- Togliere la crocetta da *Fiducial Mark* e cliccare su *Compute Calibration*. Apparirà una griglia di colore magenta.



Fig. 26 – La griglia riconosciuta da TS-Vision

- Trascinare l'origine degli assi (le frecce azzurre) pressappoco nella posizione del primo incrocio in alto a sinistra (Fig. 26). Cliccare con il tasto destro sull'immagine e selezionare *Zoom In*. Cliccare sull'immagine ripetutamente in modo da ingrandire l'immagine a piacere. Cliccare con il tasto destro e selezionare *Pointer*, dopodiché allineare con maggior precisione l'asse al primo incrocio delle coordinate (Fig. 27).

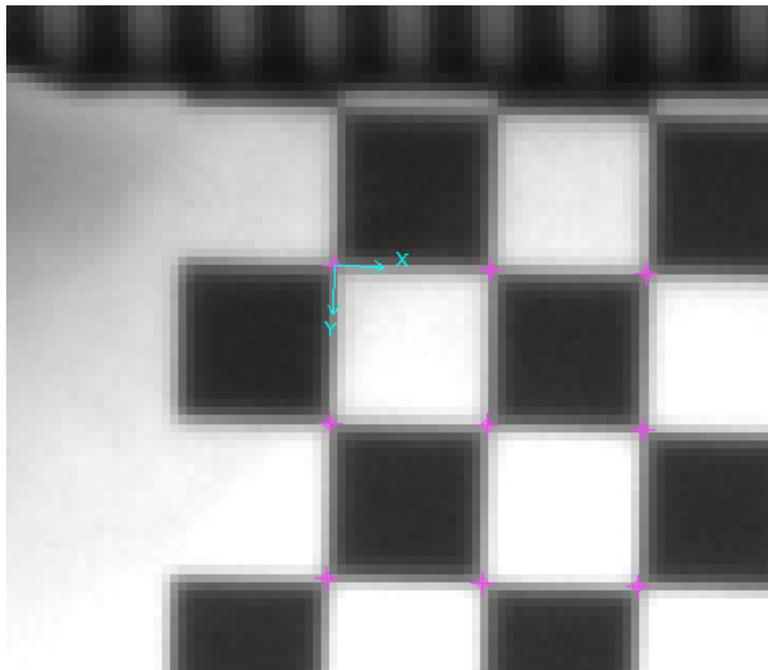


Fig. 27 – L'allineamento preciso delle coordinate con la scacchiera

- Premere su *Conferma* in basso e successivamente su *Calcola Calibrazione*. Premere su *Conferma* in basso a destra, e salvare su file.
- Cliccare sul pulsante *Modifica Programma*.
- Controllando che il *Modello_0* sia selezionato, cliccare su *Sorgente Immagine*.
- Nel menu a tendina *Calibrazione*, selezionare *Calibrazione 2D CheckerBoard*.
- Selezionare il file della calibrazione salvato in precedenza.
- Cliccare su *Conferma* in basso a destra.
- Selezionare il modello successivo (*Modello_1...*) e premere il pulsante *Copia*. Selezionare come sorgente il *Modello_0*.
- Ripetere il passo precedente per ogni modello.
- Confermare cliccando su *Conferma* in basso a destra, dopodiché salvare su file.

4.4. Avvio del sistema

Supponendo di aver già effettuato l'installazione hardware, software e la calibrazione, è possibile seguire ogni volta la seguente procedura per avviare il sistema:

- Posizionare il dado in una posizione casuale sul vassoio.
- Abilitare l'alimentazione del circuito dei robot, ruotando l'interruttore del connettore rosso sul pannello a sinistra del robot SCARA IBM (Fig. 15): è necessaria una chiave in possesso degli addetti al laboratorio. Abilitare inoltre l'alimentazione ai PC, circuiti di sicurezza e lampade.
- Avviare il controller del robot Kawasaki: per fare ciò si deve sollevare l'interruttore rosso posto sul lato anteriore del controller.
- Ruotare la chiave sulla parte frontale del controller nella posizione *Repeat*; analogamente controllare che il selettore *T. Lock* sul teach pendant sia in posizione *OFF*.

- Controllare che i pulsanti di emergenza a fungo, di colore rosso, posti sul teach pendant, sul controller e sul pannello di comando sul muro a sinistra del controller, siano in posizione sbloccata (è possibile controllare ruotandoli leggermente, facendoli eventualmente scattare).
- Avviare il calcolatore del sistema di visione ed il programma TS-Vision.
- Attivare il flusso di aria compressa aprendo i rubinetti relativi al robot Kawasaki, posti sul muro vicino al robot SCARA IBM (Fig. 19).
- Premere il pulsante verde sul quadro di sicurezza a sinistra: dovrebbe accendersi la luce verde (Fig. 20).
- Abilitare i motori tenendo premuti i pulsanti *A* e *Jog/Motor On* sul teach pendant.
- Premere il pulsante *Program* sul teach pendant, toccare lo schermo due volte sulla voce *Directory*, cercare nella lista il programma *robodado*; è possibile sfogliare le pagine successive toccando il pulsante *Next page*. Una volta trovata la scritta *robodado*, premere due volte su di esso.
- Cliccare sul pulsante *Step/Rep* (Fig. 28) sullo schermo del teach pendant, e controllare che sia impostato su *STEP CONT.* e *REP. CONT.*

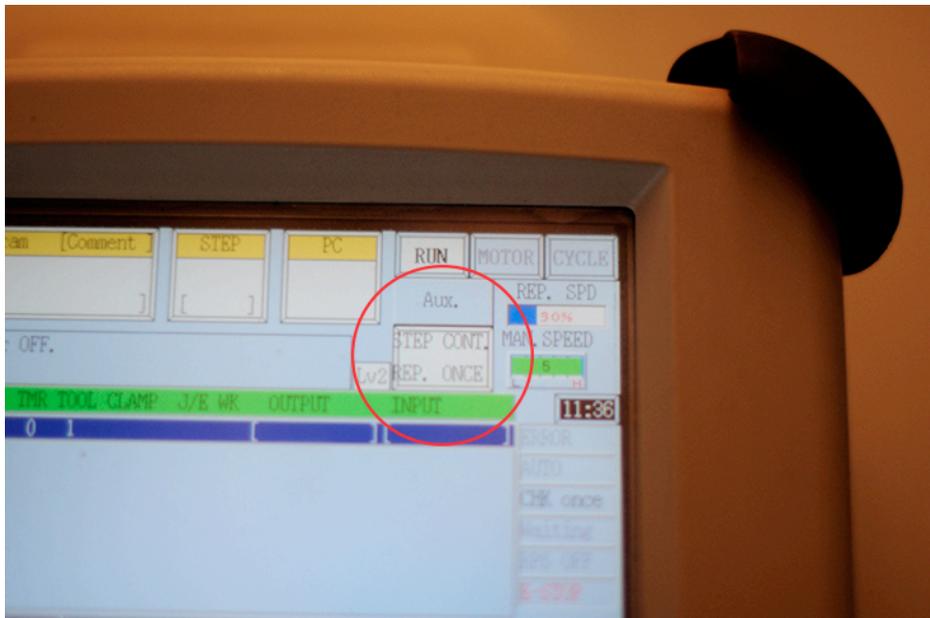


Fig. 28 – Il pulsante Step/Rep

- Impostare la velocità di ripetizione in base alle proprie esigenze: si consiglia la prima volta di utilizzare velocità del 10% e di tenersi pronti a premere uno dei pulsanti di emergenza in caso si notino movimenti che potrebbero danneggiare il robot o altre strutture poste nell'area di lavoro del robot.
- Premere i pulsanti *A* e *Cycle Start* sul teach pendant per avviare il programma in ciclo continuo.
- Per arrestare l'esecuzione premere HOLD sul teach pendant.

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Il progetto è stato interessante sotto diversi punti di vista. Sono stati affrontati diversi aspetti della robotica: dalla programmazione di un robot, all'installazione e configurazione di un sistema di visione, allo sviluppo di soluzioni efficaci. È stato stimolante occuparsi di diversi compiti, da quelli più

concettuali (come programmare un robot) a quelli più manuali e creativi (come fissare una telecamera al soffitto o costruire una rampa per il dado).

Robodado è formato da tre componenti fondamentali: il robot, la rampa e il sistema di visione. La chiave del successo è stata portare ognuna di queste tre parti a cooperare in armonia.

Sono stati costruiti una rampa e un dado che massimizzano il contrasto cromatico tra la base su cui poggia il dado e il dado stesso, per aiutare il sistema di visione nella rilevazione; la rampa e il vassoio sono stati realizzati con barriere tali da impedire che il dado rotoli oltre e si collochi in posizioni difficili da afferrare; infine, grazie all'utilizzo di una ventosa, anche un rilevamento impreciso del punto di presa consente di afferrare l'oggetto con successo.

Per questo progetto sono possibili diversi sviluppi futuri sul piano delle prestazioni: per quanto riguarda la comunicazione con il sistema di visione, viene utilizzata una connessione TCP, che potrebbe essere resa più efficiente sfruttando l'UDP, eliminando così l'overhead dovuto al three way handshake, che non è trascurabile perché il robot si connette al sistema di visione ad ogni lancio del dado; inoltre è ragionevole pensare che il tasso di perdita dei pacchetti sia molto basso, poiché la connessione avviene via cavo e all'interno della stessa rete locale. Per quanto riguarda il robot, esso potrebbe muoversi più rapidamente se si evitasse di passare per punti che sono stati prestabiliti ad hoc per evitare collisioni con ostacoli ed avere quindi maggior sicurezza; tuttavia la predisposizione di tali punti di passaggio obbligato compromette l'ottimalità del percorso seguito dal robot, aspetto che si rinvia ad eventuali sviluppi futuri.

Bibliografia

- [1] Kawasaki Heavy Industries: "External I/O Manual"
- [2] Kawasaki Heavy Industries: "TCP Communication Manual"
- [3] Kawasaki Heavy Industries: "Installation and Connection Manual"
- [4] Kawasaki Heavy Industries: "AS Language Manual"
- [5] Tiesse Robot: "TS-Vision"

Indice

SOMMARIO	1
1. INTRODUZIONE	1
2. IL PROBLEMA AFFRONTATO	1
2.1. Infrastrutture	1
2.2. Sistema di visione	1
2.2.1. Installazione.....	1
2.2.2. Calibrazione.....	1
2.2.3. Addestramento.....	2
2.3. Comunicazione tra sistema di visione e robot	2
2.4. Programmazione del robot	2
3. LA SOLUZIONE ADOTTATA	2
3.1. Infrastrutture	2
3.2. Sistema di visione	2
3.2.1. Installazione.....	2
3.2.2. Calibrazione.....	3
3.2.3. Addestramento.....	5
3.3. Comunicazione tra sistema di visione e robot	5
3.4. Programmazione robot	6
4. MODALITÀ OPERATIVE	8
4.1. Componenti necessari	8
4.2. Modalità di installazione	11
4.3. Modalità di taratura	15
4.4. Avvio del sistema	21
5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	22
BIBLIOGRAFIA	23
INDICE	24