



UNIVERSITÀ DI BRESCIA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Laboratorio di Robotica Avanzata **Advanced Robotics Laboratory**

Corso di Robotica Mobile
(Prof. Riccardo Cassinis)

Sistema per il docking automatico di Speedy

Elaborato di esame di:

**Andrea Barbariga, Umberto
Bettoni, Alessio Cecchi Giovanni,
Maddalena Germinario, Andrea
Nicoli, Annamaria Percivalli**

Consegnato il:

23 Giugno 2010

Sommario

Il lavoro svolto consiste nella stesura di due programmi, il primo acquisisce dalla webcam informazioni sulla posizione del robot relativa alla stazione di ricarica, il secondo comanda e muove il robot, sulla base delle informazioni ottenute, verso il dock. Per individuare la posizione del dock è stato usato un marker attivo composto da due sorgenti luminose e da una striscia di led inclinata.

1. Introduzione

La problematica del docking di un robot mobile si può scomporre in due macro-attività fondamentali:

- Localizzare la propria posizione rispetto a quella della stazione di ricarica;
- Raggiungere la stazione di ricarica con la direzione adeguata e fermarsi nella posizione corretta.

Nel nostro caso l'obiettivo prefissato è la creazione di un software per il rientro automatico del robot Speedy tramite l'utilizzo di un marker attivo, rilevato attraverso la webcam posizionata sul robot stesso.

1.1. Il robot Speedy

Il robot "Speedy" appartiene alla famiglia dei Pioneer 1m, commercializzata da ActivMedia Robotics. Questo robot utilizza un sistema di movimento di tipo differential drive, con due ruote motrici fisse ed indipendenti ed una ruota folle e pivottante.

Dispone di sette sonar, posizionati sulla parte anteriore, che consentono di rilevare la presenza di ostacoli fino ad una distanza massima di circa 4 m, spaziando su un angolo di poco più di 180°.

Una webcam, disposta sulla parte frontale fornisce la possibilità di riconoscere e discriminare marker attivi.

La comunicazione con il robot avviene attraverso un calcolatore, collocato al di sopra dello stesso, e collegato tramite cavo seriale.



Fig. 1 - Il robot Speedy

1.2. Autolocalizzazione con marker attivo

Con il termine autolocalizzazione si intende il processo tramite il quale un robot stabilisce la propria posizione in un determinato ambiente. Esistono svariati metodi per effettuare questa operazione, fra cui l'utilizzo di "punti cospicui" o landmark, fissi rispetto al sistema di riferimento usato.

Le principali tipologie di landmark esistenti sono:

- Beacon attivi: dispositivi che emettono energia permettendo al robot di individuare la direzione da cui proviene l'energia stessa;
- Beacon passivi: dispositivi che riflettono l'energia emessa dal robot;
- Transponder: dispositivi che, stimolati da una forma d'energia, rispondono con un'altra forma d'energia.

Nel nostro caso ci si è serviti di un beacon attivo, che emette energia sotto forma di luce, prodotta da una serie di LED ed individuabile attraverso la webcam montata sul robot tramite opportune tarature anche in presenza di elevata luce ambientale.

2. Il problema affrontato

La problematica del docking del robot Speedy può essere suddivisa in due differenti sotto – problemi:

- l'acquisizione da webcam di una fotografia del marker, con successiva elaborazione dell'immagine per estrarre le informazioni necessarie;
- l'avvicinamento del robot alla stazione di ricarica, utilizzando i dati ricevuti dal processo di visione.

2.1. Acquisizione immagine da webcam e analisi di connettività

Il primo problema da affrontare, se si desidera acquisire un'immagine da webcam, è l'impostazione del guadagno e del tempo di integrazione della videocamera. Questi parametri cambiano a seconda di numerose variabili, fra cui il livello di luminosità dell'ambiente, di conseguenza non esistono valori ottimali universali, ma è necessario effettuare una serie di misure sperimentali fino ad arrivare alla configurazione desiderata. Nello specifico occorre trovare quei valori che mostrino all'interno della fotografia esclusivamente le sorgenti luminose del marker utilizzato per la localizzazione del robot.

Una volta effettuata l'acquisizione, l'immagine deve essere elaborata: in primo luogo viene effettuata un'operazione di binarizzazione, che produce come risultato un'immagine in cui lo sfondo è rappresentato da pixel neri e le luci del marker da pixel bianchi. A questo punto si può procedere ad un'analisi di connettività che prevede l'estrazione dei blob presenti nell'immagine permettendo in questo modo di distinguere i differenti LED riconosciuti dalla webcam.

I dati ottenuti in seguito a questa operazione, ovvero area e baricentro dei blob, vengono memorizzati in apposite strutture dati, che verranno accedute dal software per il rientro nella stazione per regolare i movimenti del robot in termini di velocità e angolo di sterzata.

2.2. Docking del robot

Una volta completato il processo di analisi di connettività, il robot ha a disposizione i dati necessari per capire come dirigersi verso il landmark e, in base ad essi, deve decidere quali movimenti effettuare:

- se si accorge di essere troppo lontano dal landmark e di non essere in grado di misurare l'angolo di osservazione, deve avanzare in modo da ridurre la distanza e poter acquisire informazioni più dettagliate;
- se si accorge che l'angolo fra la sua telecamera e l'asse verticale del landmark non consente un corretto inserimento nella stazione di ricarica, deve effettuare una rotazione;
- se non riesce a visualizzare il landmark, deve muoversi in maniera casuale fino a farlo rientrare nel proprio campo visivo.

La combinazione di tali movimenti, che genera anche comportamenti complessi, permette al robot il corretto posizionamento al fine di raggiungere la stazione.

3. La soluzione adottata

In questo capitolo verranno descritte le soluzioni implementate per raggiungere l'obiettivo prefissato.

Il primo passo è consistito nell'adattamento del marker a disposizione affinché risultasse opportuno per l'autolocalizzazione del robot Speedy.

Il marker attivo utilizzato¹, a forma di parallelepipedo, è costituito da due led posti sulla superficie frontale e da una fascia di led posizionata all'interno, visibile dall'esterno attraverso una fessura verticale.

I due led esterni sono disposti sull'asse verticale ed equidistanti dagli spigoli del box; la fascia di led è inclinata rispetto all'asse verticale del box di un angolo pari a 20°.

Questa inclinazione è tale per cui il robot è in grado di rilevare la sorgente luminosa da un angolo di incidenza massimo di circa 25°.

3.1. Acquisizione immagine da webcam e analisi di connettività

La prima problematica affrontata nell'acquisizione dell'immagine dalla webcam è stata la regolazione dei valori di guadagno e tempo di integrazione al fine di discriminare unicamente le luci del marker.

I valori finali sono stati ottenuti dopo una serie di prove sperimentali, effettuate in differenti condizioni di luminosità e posizionando il robot in diversi punti di rilevamento per ottenere una panoramica il più ampia possibile, onde evitare di impostare valori ottimali solo per determinate configurazioni.

Le costanti impostate sono:

- guadagno: 30000
- tempo di integrazione: 38000

La corretta individuazione delle luci del marker dipende inoltre dal settaggio della soglia di binarizzazione, utilizzata per separare i blob generati dalle sorgenti luminose del landmark dallo sfondo dell'immagine. Il valore impostato per questo parametro è stato 128.

La bontà di questa scelta è stata confermata dall'esito del processo di binarizzazione: i blob individuati corrispondono alle luci del marker e sono chiaramente distinguibili dal resto dell'immagine.

L'analisi di connettività, successiva al processo di binarizzazione, è servita ad estrarre per ciascun blob i dati relativi a:

- coordinata x del baricentro;
- coordinata y del baricentro;
- area.

Queste informazioni vengono memorizzate in una struttura dati condivisa con il programma che porta il robot nella stazione di ricarica.

Nel caso venga rilevato più di un blob fra quelli appartenenti alla fascia interna del marker, si procede alla loro sostituzione con un unico blob, avente coordinate del baricentro pari alla media delle coordinate dei blob iniziali.

Al fine di eliminare eventuali blob derivanti da fonti luminose non appartenenti al landmark che possono disorientare il sistema di rientro del robot, vengono effettuati i seguenti controlli:

- I blob rilevati devono avere un'area maggiore di un valore minimo;
- Le zone dell'immagine aventi coordinata X minore di quella del blob più alto del marker e le zone aventi coordinata X maggiore di quella del blob più basso, vengono eliminate. I valori

¹ Per i dettagli sulla struttura del marker si rimanda all'Appendice A.

delle coordinate di riferimento sono stati rilevati una sola volta, con il robot all'interno della stazione di ricarica².

3.2. Docking del robot

Il programma per il docking del robot prevede due modalità di funzionamento dipendenti dai dati ricevuti dal processo di visione a cui corrispondono due diverse tipologie di movimento:

- Wander mode: è la modalità che viene attivata nel momento in cui si fa partire il programma per il rientro nella stazione di ricarica. Il robot si muove in maniera casuale fino a quando riesce a individuare i blob del marker. A questo punto il programma passa in Docking mode.
- Docking mode: è la modalità che consente al robot di avvicinarsi ed infine entrare nella stazione di ricarica, stimando la propria posizione in base alle coordinate dei blob individuati.

Una volta entrato in "Docking mode", il robot stima la propria distanza dalla stazione di ricarica misurando la differenza fra le coordinate X dei due blob estremi del marker: più è lontano dalla stazione, minore sarà questa differenza. In base al valore ottenuto, il robot sa di trovarsi in una delle 4 zone in cui è stato suddiviso lo spazio adiacente alla stazione di ricarica, mostrate in Figura 2.

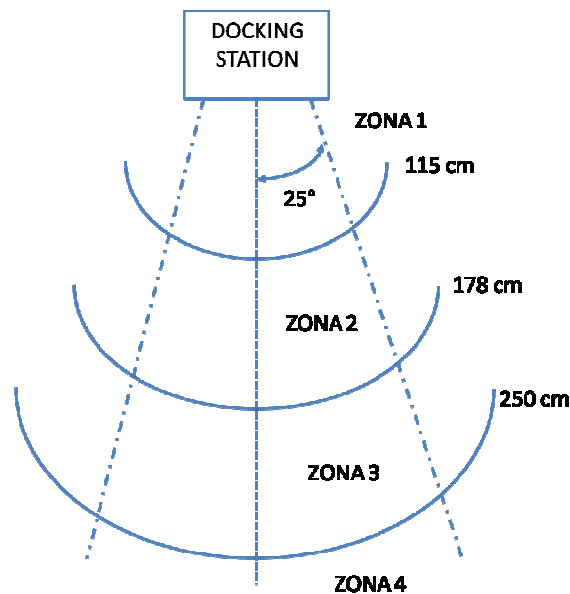


Fig. 2 - Zone di lavoro del robot

Una volta individuata la zona, il comportamento del robot si diversifica a seconda del fatto che sia visibile o meno il blob generato dai LED interni del marker.

² Per l'illustrazione del sistema di riferimento della telecamera si rimanda al paragrafo 6.1

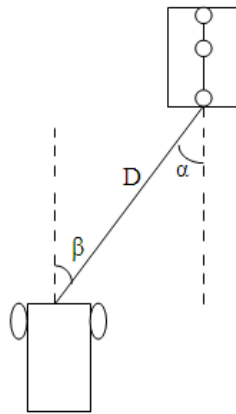


Fig. 3 - Angoli di osservazione del robot

Di seguito verranno specificate le due differenti casistiche, con riferimento alla Figura 3:

- Se il blob interno è visibile, il robot calcola la differenza fra la coordinata X del suddetto blob e un valore di riferimento OB_X , che rappresenta la coordinata X del blob interno misurata quando il robot è nella stazione di ricarica. Questa differenza fornisce un'indicazione sull'angolo α fra il robot e la stazione e viene utilizzata per impostare un corretto angolo di sterzata.

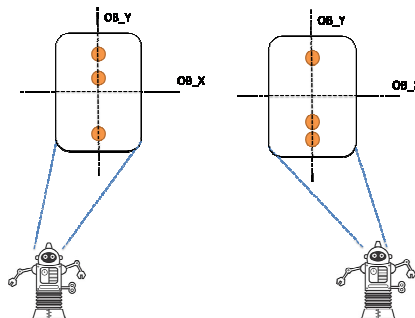


Fig. 4 - Visualizzazione dei blob con robot non allineato rispetto alla OB_X

- Se il blob interno non è visibile, il robot calcola la differenza fra la coordinata Y di uno dei blob estremi e un valore di riferimento OB_Y , che rappresenta la coordinata Y del medesimo blob quando il robot è nella stazione di ricarica. Questa differenza, unitamente alla distanza stimata D del robot dalla stazione, fornisce un'indicazione sul valore dell'angolo β .

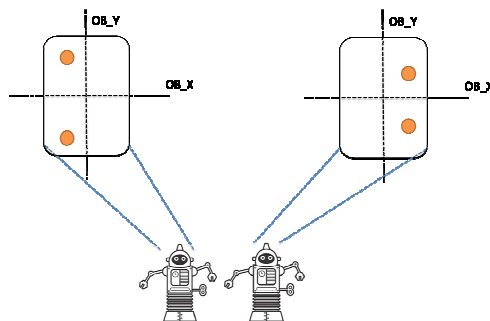


Fig. 5 - Visualizzazione dei blob con robot non allineato rispetto alla OB_Y

Contemporaneamente all'impostazione dell'angolo di sterzata attraverso i metodi sopraelencati, il robot avanza con una velocità dipendente dalla zona in cui si trova. Nello specifico, una volta raggiunta la "zona 1", si suppone che il robot abbia acquisito le informazioni necessarie per posizionarsi correttamente e di conseguenza lo si fa accelerare per vincere la resistenza delle guide disposte nella stazione di ricarica.

Nel caso in cui si perda di vista il marker durante il movimento, il robot comincia a ruotare su sé stesso fino a quando i blob non tornano visibili: a questo punto lo spostamento riprende in maniera normale.

Una volta completate le operazioni di movimento, è necessario controllare che il robot sia effettivamente giunto nella stazione di ricarica. Per farlo, devono essere contemporaneamente verificate le seguenti condizioni:

- Entrambe le ruote devono essere in stallo;
- Il marker deve essere spento;

3.3. Comunicazione inter-processo

I processi di visione e movimento del robot comunicano fra loro tramite un meccanismo di "shared memory" basato su semafori. Per i dettagli sull'implementazione di tale sistema si rimanda al riferimento bibliografico [1].

4. Modalità operative

4.1. Componenti necessari

Il software sviluppato utilizza le librerie Vislib per quanto riguarda la visione e le librerie Aria per ciò che concerne i movimenti del robot. In particolare per ottenere una compilazione corretta necessita di:

- Vislib 1.9.6
- Aria 2.7.2 o superiori
- Gcc

Per quanto riguarda l'hardware, si richiede che la webcam utilizzata sia del tipo V4L (Video for Linux) o V4L2.

4.2. Modalità di installazione

Per l'installazione delle librerie Aria e Vislib si rimanda ai rispettivi manuali; di seguito si considereranno installate e configurate nelle directory `/usr/local/Aria` e `/usr/local/vislib`.

Entrambi i programmi sono corredati dei rispettivi Makefile, per la loro compilazione è necessario recarsi nella corrispondente directory ed eseguire il comando `make`. Si otterranno i due eseguibili, il cui nome rispecchia quello del file sorgente.

Nel caso si voglia poter eseguire i programmi da qualsiasi directory, si utilizza il comando `make install`, che copia gli eseguibili nella directory `/usr/local/bin`.

4.3. Modalità di taratura

4.3.1. Taratura software speedydock

Prima di iniziare l'esecuzione del programma è importante effettuare l'allineamento della telecamera, ossia fare in modo che l'obiettivo si trovi alla stessa altezza del marker centrale. Il marker stesso deve essere posto in modo che i 3 led visibili risultino essere sulla stessa retta verticale.

All'interno del codice sorgente di speedydock (speedydock.c) è possibile tarare l'acquisizione dell'immagine attraverso alcuni parametri:

- **X_MIN**: valore minimo dell'ordinata che il baricentro di un blob può assumere. Il valore è stato stimato catturando un'immagine dalla docking station;
- **X_MAX**: valore massimo dell'ordinata che il baricentro di un blob può assumere. Il valore è stato stimato catturando un'immagine dalla docking station;
- **AREA_MIN**: minima area tale per cui un blob viene preso in considerazione durante il riconoscimento del marker;
- **BIN_TH**: soglia di binarizzazione; indica il valore di discriminazione tra blob e sfondo;
- **SET_SHUTTER**: valore di velocità dell'otturatore. Usato per variare il tempo di integrazione della webcam;
- **SET_GAIN**: guadagno della webcam.

4.3.2. Taratura software docking

Per quanto riguarda il software deputato al rientro di speedy è necessario effettuare le seguenti regolazioni:

- **OB_X**: coordinata x del blob interno quando il robot è nella stazione di ricarica;
- **OB_Y**: coordinate y di uno dei due blob estremi rilevati quando il robot è nella stazione di ricarica;

4.4. Avvertenze

Per consentire una gestione corretta dei semafori i due eseguibili devono essere lanciati dalla stessa directory. E' possibile usare il seguente comando:

- `./speedydock & ./docking -rp /dev/ttyUSB0`

4.5. Problemi noti e suggerimenti

Il programma è stato sviluppato per l'utilizzo in ambienti chiusi con una variazione di luminosità moderata. I parametri di binarizzazione sono molto sensibili alle variazioni di luce, che potrebbero portare anche al mancato riconoscimento del marker. Nel caso si decida di utilizzarlo in ambienti con condizioni molto diverse da quelle del laboratorio di robotica si consiglia di ritarare il sistema.

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Il progetto sviluppato ha portato alla creazione di un meccanismo per il rientro automatico nella stazione di ricarica del robot Speedy. Il sistema acquisisce tramite webcam un'immagine di un marker attivo, la elabora per estrarre i blob e passa le informazioni al processo che si occupa di far muovere il robot.

Eventuali sviluppi futuri di questo lavoro possono consistere nel rilevamento automatico dei valori ottimali di guadagno e tempo di integrazione a seconda delle condizioni di illuminazione dell'ambiente e nel settaggio automatico dei parametri X_MIN, X_MAX, OB_X, OB_Y, calcolabili una volta che il robot è nella stazione di ricarica.

6. Appendice A

Il marker utilizzato per il sistema di rientro automatico del robot Speedy, del quale è riportata una fotografia in Figura 1, è composto da:

- un contenitore in plastica a forma di parallelepipedo;
- due sorgenti luminose (LED);
- una striscia di LED di lunghezza uguale al contenitore.

Sia la faccia rivolta verso la stazione di ricarica di Speedy, sia l'interno del contenitore sono rivestiti da cartoncino nero, ad eccezione di una sottile fenditura centrale dello spessore di 0,1 cm.

All'interno del contenitore, in corrispondenza della fenditura, è posizionata la striscia di LED inclinata di un angolo pari a circa 20° rispetto alla verticale. La disposizione della striscia è tale per cui, ponendosi in asse rispetto al marker, risulti visibile un solo LED in posizione centrale.

Esternamente, alle due estremità della fenditura, sono collocate le due sorgenti luminose, che consentono di individuare il marker anche a distanze notevoli.

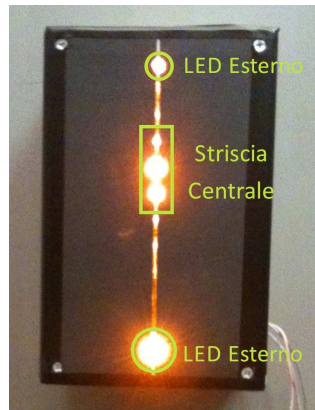


Fig. 6 - Il marker

La Figura 2 mostra i valori ottenuti dalle misurazioni effettuate. La distanza riportata per la sorgente luminosa centrale, si riferisce al caso di un osservatore in asse con il marker.

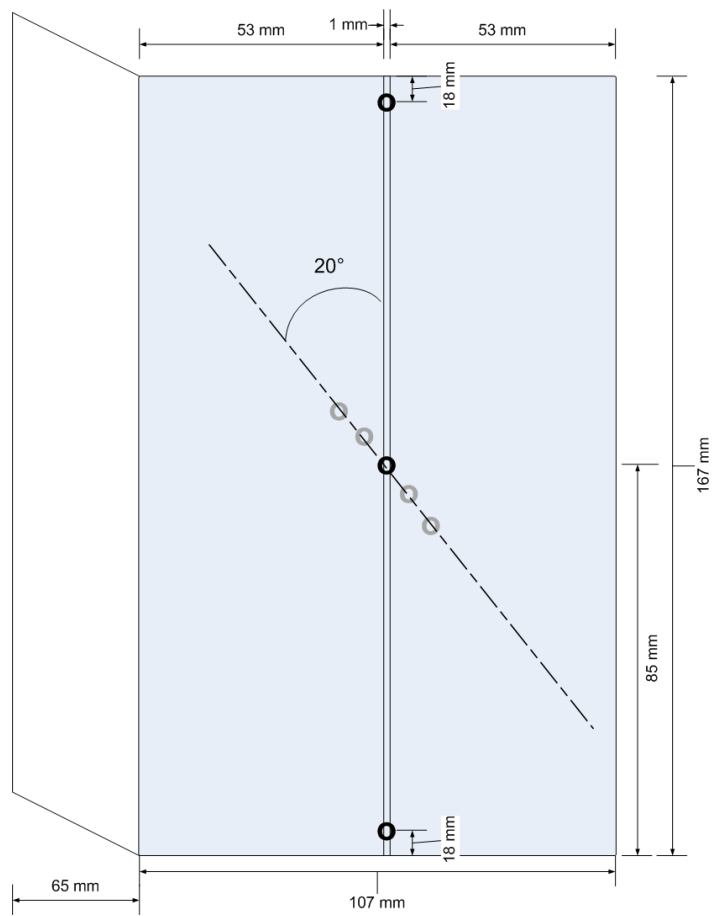


Fig. 7 - Dimensioni del marker

6.1. Sistema di riferimento della telecamera

Il sistema di coordinate utilizzato è orientato come mostrato nella figura seguente e originato nell'angolo superiore sinistro dell'immagine.



Fig. 8 - Sistema di riferimento della telecamera

6.2. Relazione geometrica fra posizione apparente del marker e disassamento della telecamera

L'inclinazione scelta della striscia di led interna al marker è pari a 20° , in quanto garantisce un disassamento massimo della telecamera di circa 25° . Non si è ritenuto necessario aumentare l'ampiezza dell'angolo a causa della geometria della stanza, data la presenza del muro a sinistra e della stazione di ricarica del robot Morgul a destra.

Questi valori sono stati ricavati come risultato di relazioni geometriche, basate sulle proprietà dei triangoli rettangoli.

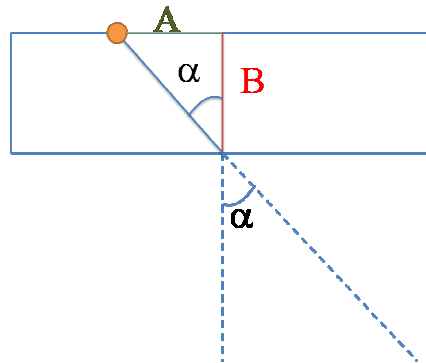


Fig. 9 - Visualizzazione del marker dall'alto

Conoscendo l'angolo α (angolo massimo di disassamento della telecamera, 25°) e la profondità del box del marker (lato B), è possibile ricavare la distanza dall'asse del marker di uno dei led estremi della striscia interna (lato A).

La formula applicata è:

$$A = B * \text{tg}(\alpha)$$

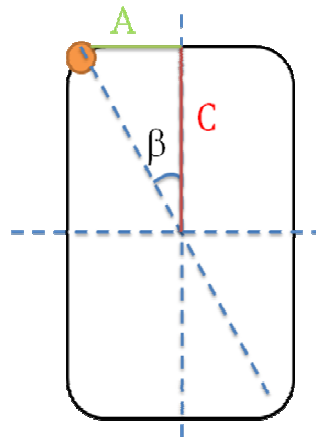


Fig. 10 - Visualizzazione frontale dell'interno del marker

Avendo ricavato il lato A, conoscendo l'altezza del box e di conseguenza la sua metà (lato C), è possibile ricavare l'angolo β di inclinazione della striscia di led interna, secondo la seguente formula:

$$\beta = \text{arctg}(A/C)$$

Bibliografia

- [1] Gandelli, C., Preosti, G., Turelli, G.: “Speedy Docking Marker Detection”, aprile 2009.
- [2] Berta, M., Milani, L.: “Docking di Speedy con marker attivo”, giugno 2009.

Indice

SOMMARIO	1
1. INTRODUZIONE	1
1.1. Il robot Speedy	1
1.2. Autolocalizzazione con marker attivo	1
2. IL PROBLEMA AFFRONTATO	2
2.1. Acquisizione immagine da webcam e analisi di connettività	2
2.2. Docking del robot	2
3. LA SOLUZIONE ADOTTATA	3
3.1. Acquisizione immagine da webcam e analisi di connettività	3
3.2. Docking del robot	4
3.3. Comunicazione inter-processo	6
4. MODALITÀ OPERATIVE	6
4.1. Componenti necessari	6
4.2. Modalità di installazione	6
4.3. Modalità di taratura	6
4.3.1. Taratura software speedydock.....	6
4.3.2. Taratura software docking.....	7
4.4. Avvertenze	7
4.5. Problemi noti e suggerimenti	7
5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	7
6. APPENDICE A	8
6.1. Sistema di riferimento della telecamera	9
6.2. Relazione geometrica fra posizione apparente del marker e disassamento della telecamera 10	
BIBLIOGRAFIA	11
INDICE	12