

## LURCH - *Let Unleashed Robot Crawl the House*



Illustrazione 1: La carrozzina Otto Bock "Rabbit"

LURCH è una carrozzina elettrica “smart” sviluppata presso l'AirLab del Politecnico di Milano. Le carrozzine smart sono state studiate e realizzate in ambito di ricerca per permettere ad un maggior numero di persone di accedere all'uso di ausili alla mobilità: è facile notare che coloro che non sono in grado di controllare correttamente il movimento degli arti superiori non sono in grado di comandare le normali carrozzine elettriche presenti in commercio. In particolare, nel caso di LURCH, si è scelto di estendere le funzionalità di una carrozzina elettrica in tre direzioni: aggiunta di nuovi dispositivi di comando, sviluppo di comportamenti semiautonomi, ovvero funzioni di assistenza alla guida come l'evitamento delle collisioni e degli ostacoli, e autonomi, ovvero l'esecuzione automatica di percorsi in ambienti noti.

LURCH è stato sviluppato sulla base della carrozzina commerciale Rabbit, prodotta dalla ditta tedesca Otto Bock ed i passi seguiti nello sviluppo sono i seguenti:

1. Interfacciamento della carrozzina ad un computer.
2. Scelta dei dispositivi e dei sensori con cui equipaggiare la carrozzina e studio del loro posizionamento.
3. Progetto e realizzazione di una struttura rigida atta ad ospitare i sensori e i dispositivi da montare sulla carrozzina.
4. Realizzazione del software di controllo che governa il moto della carrozzina e garantisce la realizzazione dei comportamenti di semiautonomia e autonomia.

### **Panoramica sui dispositivi e sui sensori utilizzati**

La carrozzina è stata equipaggiata innanzitutto con un circuito progettato “ad hoc” e realizzato presso l'AirLab che l'ha resa controllabile da un computer tramite la porta seriale RS-232. Grazie a questo circuito il computer è in grado di rilevare la posizione della leva del joystick ad una frequenza di 50Hz e di comandare allo stesso tempo il movimento della carrozzina. Il circuito è stato progettato in modo che possa funzionare in due modalità differenti:

- La prima (definita “manuale”) in cui il circuito risulta trasparente ai fini del moto della carrozzina, ovvero in cui la carrozzina risponde normalmente ai comandi dell'utente. In questa modalità, non essendo possibile controllare il moto della carrozzina dal computer, non è disponibile alcuna delle funzionalità avanzate.
- La seconda (definita “automatica”) in cui il circuito opera nel pieno delle funzionalità, ovvero permette al computer di comandare il moto della carrozzina e di conoscere la posizione della leva. Grazie alla presenza del computer come “intermediario”, è possibile in questa modalità di funzionamento rendere disponibili le funzionalità avanzate previste, che sono realizzate da un controllore software.



Illustrazione 2: Il joystick della carrozzina e il pulsante per il cambio della modalità di funzionamento del circuito con i due led di segnalazione

La necessità di sviluppare un controllore software ha reso indispensabile la presenza di un computer a bordo

della carrozzina stessa. Si è scelto di utilizzare un computer a basso consumo di corrente in modo da prelevare l'alimentazione dalla carrozzina elettrica stessa senza comprometterne l'autonomia. Il computer utilizzato è denominato PC-Brick ed è stato assemblato presso l'AILab e utilizzato anche in altri progetti. La scheda madre è una VIA mini-itx EN15000 dalle dimensioni molto contenute (17x17cm) alloggiata in un case autocostruito in profilati di alluminio e equipaggiata con un processore VIA C7 con frequenza di clock 1,5 GHz, 1GB di memoria RAM e un hard disk da 80GB a 7200rpm. Le interfacce disponibili sono numerose, tra cui uno slot PCI, 6 porte USB e una porta firewire, una seriale RS-232, due connettori PS/2, video VGA, RJ45 per Ethernet Gigabit e jack per le uscite audio 7.1 e ingresso microfono. Il PC-Brick è alimentato in corrente continua con tensioni comprese tra i 6V e 24V ed il consumo massimo di corrente a pieno carico è 25W.

Al PC-Brick si è collegato il monitor Xenarc 700TV, wide-screen touch-screen da 7", che si presta dunque a svolgere il ruolo contemporaneamente di periferica di input e di output. Anche questo dispositivo è alimentato dalle batterie della carrozzina.

Per permettere di collegare tutti i dispositivi che necessitano di alimentazione dalle batterie della carrozzina in modo semplice si è scelto di realizzare una derivazione delle alimentazioni che rendesse disponibili più punti di ingresso con tensioni differenti. In particolare sono stati resi disponibili 4 connettori per la tensione di 24V, prelevata direttamente dalle batterie della carrozzina e 6 per la tensione di 5V, convertita grazie ad un modulo DC/DC a partire dalla tensione delle batterie stesse.

Per conoscere l'entità del movimento della carrozzina è stato utilizzato il sensore inerziale e giroscopico XSens Mti, collegato al computer tramite la porta USB, che permette di rilevare le accelerazioni a cui è soggetto lungo tre assi e le velocità di rotazione intorno agli stessi assi.

Per realizzare la funzionalità di evitamento collisioni e ostacoli si sono utilizzati due scanner laser Hokuyo URG-04LX. Questi sensori permettono di rilevare le distanze dagli oggetti o dalle superfici che riflettono il loro fascio laser su un'area piana con un range angolare di 240°. Tali sensori sono collegati direttamente al computer tramite le porte USB.

Per sviluppare la funzionalità di guida autonoma è stato necessario realizzare un sistema di localizzazione in ambienti indoor e in particolare si è scelto di utilizzare un sistema basato su landmark artificiali posti sul soffitto e riconoscibili tramite l'uso di una telecamera e di tecniche di visione artificiale. La telecamera utilizzata è una Unibrain Fire-i400 a colori collegata al computer tramite la porta Firewire.

Per poter comandare la carrozzina anche senza la presenza dell'utente a bordo si è scelto di utilizzare un joystick senza fili (Logitech RumblePad2). La portata di questo dispositivo è superiore ai 10 metri e l'autonomia delle batterie (2 stilo AA) superiore alle 100h.

## **Aggiunta di nuovi dispositivi di comando**

Uno degli obiettivi del progetto LURCH è quello di rendere facilmente espandibile il numero di dispositivi di comando con cui è possibile guidare la carrozzina. Questo obiettivo è stato facilmente raggiunto con la realizzazione del circuito di interfaccia tra PC e carrozzina che lavora sulla porta seriale. La disponibilità di un PC a bordo della carrozzina permette di collegare qualsiasi dispositivo ad esso interfacciabile (tramite le porte USB, la game-port, le porte PS/2...) e l'uso di dispositivi diversi per il controllo della carrozzina richiede uno sforzo minimo di realizzazione di un modulo software di interfaccia. Il dispositivo con cui si è testata l'efficacia di questa soluzione è il joystick senza fili Logitech RumblePad2 e il software realizzato per il controllo della carrozzina, che sarà presentato meglio nel paragrafo successivo, gestisce automaticamente la presenza di due dispositivi di comando (il joystick di cui è dotata la carrozzina e il joystick senza fili)



*Illustrazione 3: La carrozzina Rabbit equipaggiata con tutti i dispositivi e sensori utilizzati*

garantendo che se il joystick è in posizione di riposo allora il joypad assume il controllo della carrozzina, altrimenti i comandi del joypad vengono ignorati e vengono seguiti quelli del joystick. La catena di priorità tra i dispositivi è flessibile e configurabile per permettere la facile estensione all'uso di un numero maggiore di dispositivi di comando.

## Funzionalità di semiautonomia

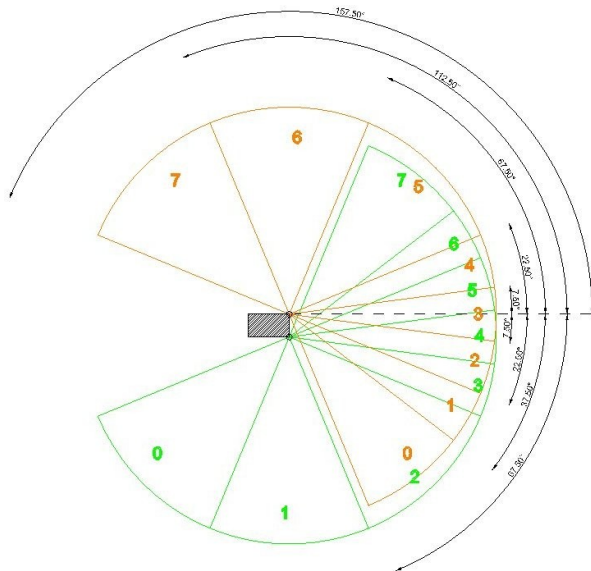


Illustrazione 4: La zona scandita dai due scanner laser divisa in 8 spicchi per ogni sensore permette di identificare in che direzione si trovano gli ostacoli.

fermarsi nelle situazioni critiche, ovvero dove il movimento sarebbe pericoloso, rallentare mano a mano che gli ostacoli diventano più vicini e aiutare l'utente nell'aggiramento degli ostacoli. Un comportamento interessante si verifica qualora la carrozzina si muove in direzione incidente, ma non perpendicolare, ad un muro. Il sistema di evitamento ostacoli permette di allineare automaticamente la traiettoria della carrozzina al muro stesso, semplificando dunque il compito dell'utente. Questa funzionalità potrebbe risultare molto utile: si pensi infatti ad un disabile che deve percorrere un corridoio molto lungo (e.g., nel luogo di lavoro, in ospedale, etc.) ma non ha un controllo degli

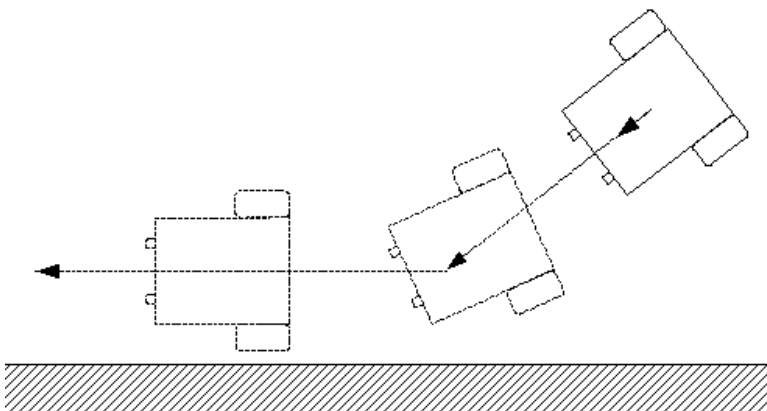


Illustrazione 6: Schematizzazione del comportamento del sistema di assistenza alla guida durante l'allineamento ad un muro quando la carrozzina si avvicina ad esso in direzione non perpendicolare.

La *semiautonomia* permette di assistere l'utente durante la guida della carrozzina. Le funzionalità offerte sono realizzate grazie alle rilevazioni degli scanner laser, che rilevano le distanze degli oggetti circostanti fino ad una profondità massima di 5 metri. La zona scandita dagli scanner laser è stata divisa in "spicchi" (come visibile in Figura 4) in modo da identificare dove è l'ostacolo più prossimo, quindi più pericoloso. Quando l'utente comanda il movimento della carrozzina, con uno dei dispositivi di comando disponibili, il computer riceve il comando desiderato e calcola, grazie alla presenza di un controllore fuzzy, qual è il miglior movimento da effettuare: ad esempio, se la direzione scelta dall'utente è "avanti" ma è presente un ostacolo in direzione frontale, tale comando sarà inibito; qualora l'ostacolo che si presenta è sufficientemente lontano il comando "avanti" viene corretto, se possibile, con una sterzata nella direzione meno ostruita per iniziare la manovra di aggiramento dell'ostacolo stesso.

I risultati sperimentali mostrano che la carrozzina è in grado di

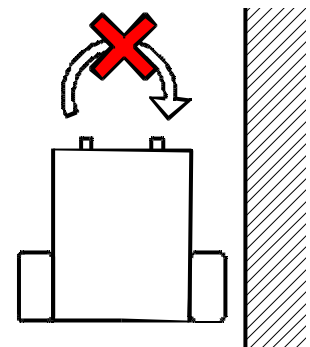


Illustrazione 5: Schema di una situazione tipica in cui il sistema di assistenza alla guida impedisce che la carrozzina possa ruotare al fine di evitare una collisione.

arti superiori molto preciso o che talvolta

effettua movimenti involontari (e.g.: tremori, spasmi, etc.). Grazie al comportamento di allineamento con i muri l'attraversamento del corridoio risulta semplificato, in quanto tutti i comandi che porterebbero ad impattare con il muro sono inibiti e allo stesso tempo la carrozzina mantiene una distanza minima dal muro procedendo parallelamente ad esso.

## Funzionalità di autonomia

La funzionalità di guida autonoma è disponibile solo in ambienti indoor opportunamente attrezzati. Per permettere alla carrozzina di muoversi autonomamente in un ambiente è necessario disporre delle seguenti condizioni:

- La carrozzina deve potersi localizzare, ovvero conoscere la sua posizione e il suo orientamento rispetto ad un sistema di riferimento assoluto.
- L'ambiente in cui la carrozzina si muove deve essere noto, ovvero la mappa metrica dell'ambiente deve essere specificata e riferita allo stesso sistema di riferimento utilizzato per la localizzazione. E' importante sottolineare che tale mappa deve comprendere i muri perimetrali e tutti gli oggetti statici dell'ambiente (e.g., mobili, scaffali, tavoli, etc.), mentre è inutile che contenga gli oggetti che potrebbero cambiare posizione (e.g., sedie, sgabelli, scatole, etc.).

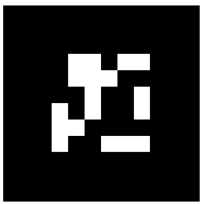


Illustrazione 7:  
Esempio di marker.

Per potersi localizzare in un ambiente la carrozzina ricorre all'uso di tecniche di visione per riconoscere dei landmark artificiali applicati sul soffitto. I landmark utilizzati sono dei "fiducial marker", ovvero marker di forma quadrata con bordo nero e contenuto informativo rappresentato da un codice a barre bidimensionale riconoscibile e identificabile univocamente con un codice. Quando la telecamera inquadra almeno uno di questi marker è possibile calcolare la posizione della carrozzina rispetto al marker stesso e conoscendo la posizione di ogni marker rispetto al sistema di

riferimento assoluto, si ricava la posizione della carrozzina stessa. I marker non devono essere posti in posizioni prefissate in quanto il sistema è in grado, grazie ad una fase preliminare di calibrazione, di calcolare autonomamente le posizioni relative tra i marker e di riferirli tutti ad un marker definito "di base", del quale è invece necessario conoscere la posizione relativa al sistema di riferimento assoluto scelto.

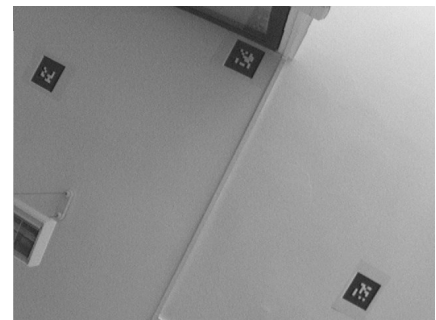


Illustrazione 8: Immagine inquadrata dalla telecamera della carrozzina in cui sono visibili 3 marker sul soffitto.

Grazie alla conoscenza della mappa dell'ambiente e alla possibilità di localizzarsi in essa, la carrozzina è in grado di eseguire in modo autonomo percorsi da un punto di partenza ad un punto di destinazione. In particolare la carrozzina permette all'utente di scegliere il punto di destinazione e calcola il percorso, se esiste, da seguire per raggiungere tale punto. Una volta calcolato il percorso la carrozzina si muove autonomamente, ovvero senza necessità di intervento da parte dell'utente verso la meta. Si noti che il sistema di assistenza alla guida rimane attivo anche durante l'esecuzione automatica di percorsi, quindi, qualora si presentino ostacoli imprevisti lungo il percorso calcolato, la carrozzina se possibile effettua manovre di aggiramento, altrimenti interrompe temporaneamente, ovvero fino a che l'ostacolo non viene rimosso, l'esecuzione del percorso.

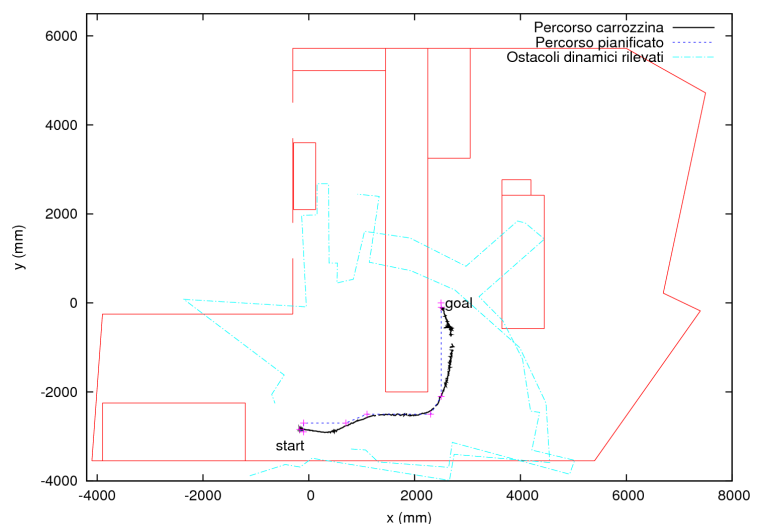


Illustrazione 9: Realizzazione di un percorso autonomo da parte della carrozzina.

Questa funzionalità può essere molto utile per evitare ad un disabile la fatica di guidare la carrozzina, in quanto, in ambienti noti e attrezzati (e.g., il domicilio, il luogo di lavoro, etc.), sarà possibile comandare la carrozzina impostando solo la destinazione desiderata e lasciando al software di controllo il compito di guidare verso la meta.