

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA QUINQUENNALE



TESI DI LAUREA

**SISTEMA DI GUIDA E NAVIGAZIONE
COMBINATO OTTICO BCI DEL ROBOT
“OPTICHAIR II” IN AUSILIO AI PORTATORI DI
SLA AVANZATA.**

RELATORE: PROF. EMMANUELE MENEGATTI

LAUREANDO: MARCO GOTTARDO

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

Dedicata A:

**Mio padre Danilo, uomo di straordinaria forza di volonta' e solidissimi principi morali
Con il miglior augurio di buona salute e una meritata serena vecchiaia.**

In memoria di:

**Daniele Gonzo, allievo del cfp dei Salesiani di Schio Vicenza, mancato all'effetto dei suoi genitori,
insegnati e compagni di scuola. Un sentito ringraziamento per aver messo a disposizione la sua
carrozzina utilizzata per lo sviluppo del robot Optichair I.**

INDICE	3
INTRODUZIONE:	4
CAPITOLO 1 Patologia della SLA	6
• 1.1 il sistema nervoso umano ed il controllo del movimento	6
• 1.1 definizione e diagnosi	11
• 1.2 statistiche dell'incidenza della SLA	11
• 1.3 I primi sintomi	12
• 1.4 il decorso	13
• 1.5 lo stadio terminale	14
• 1.6 Stato attuale della curabilità	15
• 1.7 Ausili scientifici e tecnologici	17
• 1.8 future direzioni e sviluppo di soluzioni	17
CAPITOLO 2 La robotica applicata alla medicina	19
• 2.1 Cenni storici	19
• 2.2 robotica in ausilio alla disabilità	22
• 2.3 La movimentazione autonoma	22
• 2.4 Visione: algoritmi e hardware	23
CAPITOLO 3 Robot “Optichair I”	25
• 3.1 Caratteristiche generali	25
• 3.2 Ciclistica e sistemi di trasmissione	26
• 3.3 Motorizzazione	28
• 3.4 Computer di bordo di Optichair I	30
• 3.5 Sistema operativo e software	31
• 3.6 Modifiche strutturali	31
• 3.7 Cablaggi e assemblaggio del robot.	32
• 3.8 Sistemi di alimentazione di Optichair I	33
CAPITOLO 4 Robot “Optichair II”	40
• 4.1 Caratteristiche generali	40
• 4.2 Ciclistica e sistemi di trasmissione	40
• 4.3 motorizzazione di Optichair II	41
• 4.4 Sistema di guida manuale	43
• 4.5 Sistema di override	44
• 4.6 Sistemi di alimentazione di Optichair II	47
• 4.7 Cablaggi e assemblaggio del robot.	50
CAPITOLO 5 Computers di bordo	51
• 5.1 Computer di bordo principale: caratteristiche tecniche	51
• 5.2 Alimentazione del computer principale.	51
• 5.3 Sistema operativo e software installati	57
• 5.2 Computer di bordo ausiliario: progetto e caratteristiche tecniche	58
• 5.3 Ruolo e programmazione del computer secondario	75
• 5.4 Programma del computer secondario, gestione dei conflitti	88
• 5.5 Inserimento delle autoritenute dei comandi di marcia	89
• 5.6 linguaggio “LadderPic” specifico per il computer secondario	92
• 5.7 Interfacce di potenza	93

CAPITOLO 6 Sistemi sperimentali di guida “BCI”	94
• 6.1 Tecnica BCI	94
• 6.2 Segnali EEG.	94
• 6.3 Classificazione delle onde cerebrali	95
• 6.4 L’esperimento di Martindale	97
• 6.5 Le sonde BCI	97
• 6.6 Il classificatore BCI	97
• 6.7 Algoritmi BCI	97
• 6.8 Il “blinker” ovvero il sistema di rilevamento dei tempi P300	97
• 6.9 Affidabilità ‘attuale’ di un sistema BCI	99
• 6.10 Assegnazioni di ruoli marginali ai controlli BCI	104
CAPITOLO 7 Sistemi sperimentali di guida “Open CV”	105
• 7.1 Cosa sono le “Open CV”	105
• 7.2 Erosione dell’immagine	105
• 7.3 Definizione del “blob”	106
• 7.4 Calcolo del centroide	107
• 7.5 Generazione del segnale di comando	108
• 7.6 Algoritmi con Open CV	110
• 7.7 Affidabilità ‘attuale’ di un sistema “Open CV”	118
• 7.8 Assegnazioni di ruoli ai controlli Open CV	118
• 7.9 Costruzione dell’apparato ottico, l’occhiale optichair	119
CAPITOLO 8 Sistemi sperimentali di guida “IR - Reflex”	122
• 8.1 Cos’è un sistema IR-Reflex	122
• 8.2 La camera di visione e riflessione	126
• 8.3 I filtri IR	127
• 8.4 Gli specchi polarizzati	127
• 8.5 Gli emettitori e ricevitori infrarossi, schema elettrico	127
• 8.6 Dislocazione dei IR-TX e IR-RX	129
• 8.7 Test e collaudi del sistema IR-Reflex	131
• 8.8 Assegnazioni di ruoli ai controlli IR-Reflex	131
Capitolo 9 Apparati sensoriali e di comando	132
• 9.1 Apparati sensoriali	132
• 9.2 Servoinclinometro: principio di funzionamento	133
• 9.3 Installazione del servoinclinometro - misura dell’angolo	134
• 9.4 Allineamento del servoinclinometro - calibrazione - connessioni elettriche	134
Capitolo 10 Sistema telemetrico	136
• 10.1 Sistema telemetrico principale INFINEON	136
• 10.2 Tecniche di programmazione visuale D.A.V.E.	139
• 10.3 Realizzazione pratica del sistema telemetrico	147
• 10.4 Interfacciamento al computer ausiliario “PLC PIC”	164
• 10.5 sistema telemetrico secondario	165
• 10.6 sistema telemetrico di riserva	166

Capitolo 11 Sistema di posizionamento globale GPS	167
• 11.1 Descrizione del sistema GPS	167
• 11.2 Dispositivo di ricezione con porta seriale di comunicazione	170
• 11.3 interfacciamento del GPS con il sistema operativo	170
<i>Cosa offre il futuro nella cura o l'assistenza ai malati di SLA.</i>	172
Descrizione dei risultati ottenuti	172
Indice delle figure del capitolo 1	173
Indice delle immagini	174
Bibliografia	177

INTRODUZIONE:

Il lavoro svolto è sviluppato in undicicapitoli.

Il primo capitolo

Patologia della SLA. Questo capitolo, articolato in ben otto paragrafi espone l'ambito di applicazione del soggetto della tesi, ovvero l'ausilio robotico qui chiamato "Optichair II", esponendo del nozionismo di base sulla terribile malattia denominata SLA. Il contenuto esula fortemente dalla preparazione di base di tipo ingegneristico, quindi ci si limita ad esporre l'argomento in modo descrittivo. La fonte principale è internet con specifico riferimento all'enciclopedia online wikipedia. Il contenuto del capitolo è comunque di grande importanza perché chiarisce che la persona colpita dalla patologia mantiene, anche in forma grave, le facoltà di intelletto, è quindi in grado di pilotare gli ausili robotici. Al paragrafo 1.6 viene chiaramente spiegato come è possibile agganciare qualche residuo di mobilità per governare i sistemi di guida, e se ne evidenzia all'ultimo stadio, la capacità fino allo stadio terminale di controllare gli occhi. Il Robot viene concepito in grado di elaborare segnali minimi tramite algoritmi di "obstacle avoidance", letture telemetriche, telecontrollo, ecc. ecc.

Nota bene: le immagini del capitolo 1 sono elencate a parte a fine tesi, all'interno della bibliografia.

Il secondo capitolo

Robotica applica alla medicina. È un capitolo più che altro descrittivo dell'evoluzione della materia dagli albori negli anni settanta fino ai giorni d'oggi. È svolto in 4 paragrafi e non contiene nessuna elaborazione sulla ricerca argomento di questo tesi

Il terzo capitolo

Robot Optichair I. Il capitolo si articola in 8 paragrafi tutti contenenti specifiche tecniche di progetto e modalità operative. Qui si espone la funzionalità e le tappe costruttive del primo esemplare di carrozzella robotizzata destinata all'ausilio dei portatori di SLA.

Il quarto capitolo

Robot Optichair II. Questo capitolo espone l'evoluzione del robot Optichair a due anni di distanza dalla costruzione del primo prototipo. Il capitolo si articola in sette paragrafi e espone le fasi progettuali e costruttive della seconda versione del robot. Optichair II migliora praticamente sotto ogni aspetto, dalla meccanica, alla applicazione di motori elettrici DC più potenti e correttamente dimensionati. Alcune parti sensoriali quali la telemetria secondaria, le telecamere di visione frontale, posteriore, e laterale, il sistema GPS, rimangono invariate mentre compaiono i sistemi di misurazione di carica degli accumulatori, questi sono notevolmente potenziati. La comparsa di un nuovo inverter permette il controllo in PWM degli attrattori così che è possibile regolare la velocità di navigazione e il raggio di sterzo. Anche se al paziente affetto di SLA risulta inutile è stato installato un sistema di controllo manuale a due assi analogici Joystick che risulta molto utile agli addetti alla manutenzione.

Il quinto capitolo

Computers di bordo. Si articola, come il precedente in 7 paragrafi. Vengono espone le performance dei computer di bordo installati nei due esemplari Optichair I e Optichair II. È molto interessante notare come in soli due anni siano migliorate le performance di questi computer destinati all'uso industriale ma in grado di eseguire i più moderni sistemi operativi.

La scelta del S.O. continua a cadere in ambito opensource, quindi su Linux, nella distribuzione chiamata Ubuntu, che in data di presentazione della tesi è giunta alla versione 10.10.

Il nuovo processore C7 dimostra di avere grandi performance anche alla richiesta di gestione contemporanea di ben 5 telecamere, di cui 4 di visione e una "retinica" abbinata agli algoritmi open-cv, non sempre parchi nella richiesta di risorse.

Al computer principale è anche delegata la gestione del sintetizzatore di voce, del web server utile per il telecontrollo, della gestione del sistema di posizionamento globale GPS, ed altro.

Vi è un secondo computer di bordo, di progettazione sviluppata appositamente dal laureando per il robot Optichair II, delegato al controllo dei segnali di potenza, delle telemetrie primaria basata su tecnologia infineon, della telemetria terziaria per il rilevamento delle eventuali buche.

Le performance, gli schemi elettrici, e le modalità di interfacciamento del computer secondario autocostruito sono ampiamente esposti all'interno del capitolo.

Il sesto capitolo

Sistemi sperimentali di guida BCI. Questo è il capitolo più corposo dato che si svolge in ben 10 paragrafi. Qui si entra nel topic dell'elaborato, ovvero la comparazione di performance tra tre sistemi sperimentali di guida del robot. Con BCI si intende computer brain interface e come esposto su questo capitolo si basa sull'esistenza di un segnale celebrale noto come P300. Tale segnale, subordinatamente a un addestramento del soggetto, è generato volontariamente può essere utilizzato per la guida del robot Optichair II. Sperimentazioni sono state effettuate all'ospedale san Camillo di Venezia (Lido) ed i risultati statistici e di affidabilità sono riportati in questo capitolo. Il laureando ha partecipato concretamente a queste sperimentazioni progettando il sistema hardware di misurazione dei ritardi tra illancio dello stimolo visivo e la generazione del segnale P300. Schemi elettrici del sistema e modalità operativa sono riportati nel capitolo.

Il settimo capitolo

Sistemi sperimentali di guida OpenCV. Capitolo articolato in sette paragrafi. Le OpenCv sono una suite di algoritmi, sviluppati da intel e rilasciate su licenza pubblica in grado di operare in praticamente tutti gli ambiti in cui ci sia da gestire una immagine sia fissa che proveniente da uno stream video.

In un paragrafo viene sviluppato un sistema di eyes tracking, ovvero una modalità di rilevare la presenza degli occhi in una immagine in movimento e quindi, una volta focalizzata la parte in cui è contenuto l'occhio viene rilevata la sola pupilla. La posizione della pupilla rispetto al centro dell'immagine genera i quattro segnali di comando utili al robot Optichair II per eseguire la marcia avanti, la marcia indietro, la rotazione a destra e a sinistra.

L'ottavo capitolo

Sistemi sperimentali di guida IR-Reflex. Sono stati elaborati otto paragrafi con una spiegazione tecnica progettuale esauriente dato che questo sistema è risultato il più efficace, semplice da utilizzare e semplice da realizzare. Di certo la soluzione più economica ma anche la più affidabile. Sfrutta il principio della riflessione delle onde elettromagnetiche (luminose) sulle superfici lucide. Nel nostro caso si sfrutta la differenza di comportamento del raggio monocromatico infrarosso il quale è riflesso dalla sclera (parte bianca dell'occhio)

Il nono capitolo

Apparati sensoriali e di comando Nei quattro paragrafi componenti il capitolo si espone la funzionalità del servoclinometro installato nel robot, molto utile al computer di bordo secondario per il dosaggio della potenza da trasmettere alle ruote quando queste si trovino in condizione di elevata coppia resistente applica all'albero a causa di movimento in terreni non piani. Tale coppia potrà essere positiva o negativa a seconda dell'inclinazione in salita o discesa del terreno. I motori potranno quindi essere pilotati da freno e il computer di bordo potrà decidere l'intervento dei freni elettromeccanici.

Il decimo capitolo

Sistema telemetrico Il sistema telemetrico di bordo è triplo e molto efficace. La telemetria principale è stata sviluppata dal laureando basata su tecnologia infineon. Ovvero le nuove serie di microcontrollori sviluppati per automotive usati dalle maggiori case automobilistiche europee. Il progetto è completo di descrizione delle fasi operative di assemblaggio e taratura oltre che ovviamente delle basi teoriche. È quindi totalmente ricostruibile usando la presente tesi come manuale operativo. La telemetria secondari, usata come ridondanza, è utile solo come sicurezza aggiuntiva datao che comunicando con il computer di bordo secondario bypassa l'eventuale anomalia di funzionamento del computer di bordo principale. Il terzo livello di telemetria, auto costruita, serve a rilevare eventuali buche davanti alle ruote impendendo al robot di finirci dentro.

L'undicesimo capitolo

Sistema di posizionamento globale GPS Duarte il funzionamento outdoor è importante salvaguardare la salute del paziente che pilota il robot anche nelle eventuali situazioni più critiche, ad esempio un malfunzionamento del roto stesso o un malessere della persona. Un eventuale malessere della persona viene segnalato via web al posto di telecontrollo, il quale ha la possibilità di intervenire interagendo con i soccorritori in loco tramite il sintetizzatore di voce e gli apparati multimediali gestiti dal sistema operativo Ubuntu 10.10 (Linux). Inoltre, per le situazioni di reale emergenza, come nel caso che il paziente non sia più in grado di spostare la sedia da un luogo pericoloso, ad esempio al centro di una strada, il teleoperatore, accende le 4 webcam di visione frontale, posteriore e laterale, e tramite la consultazione del GPS collegato alle mappe di google, interviene con una navigazione manuale del robot portandolo in posizione di sicurezza.

CAPITOLO 1 Patologia della SLA

IL SISTEMA NERVOSO UMANO ED IL CONTROLLO DEL MOVIMENTO

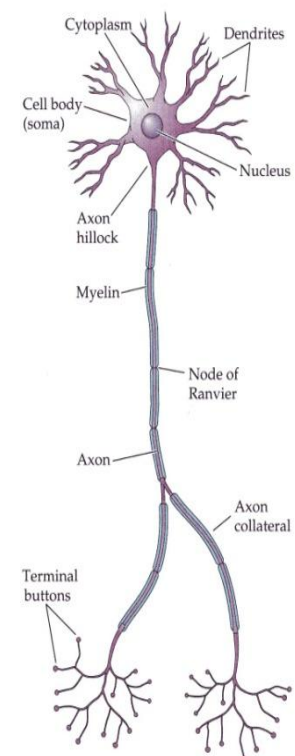
Le neuroscienze si occupano di rispondere ad alcune domande riguardanti il sistema nervoso nella sua costituzione, funzionamento e comportamento. Le competenze necessarie per uno studio approfondito comprendono la genetica, la biologia cellulare e molecolare, l'anatomia e la fisiologia, la biologia e la psicologia. La sfida più ardua nello studio delle neuroscienze consiste nell'ottenere una conoscenza organica e coerente da queste diverse discipline, in modo da comprendere quanto meglio possibile la struttura ed il funzionamento dell'apparato cerebrale. Gli argomenti principe vertono certamente attorno a come le cellule più importanti del sistema nervoso, i neuroni e le glia, eseguano le loro funzioni in ottica molecolare, elettrofisiologica ed anatomica. L'eterogenea varietà di neuroni e glia di supporto che sono state riconosciute e classificate attraverso anni di ricerca si trovano organizzate in assembramenti chiamati circuiti neurali, e questi circuiti sono il componente costitutivo essenziale del sistema nervoso, che processa specifici tipi di informazione utili al funzionamento corretto del corpo umano, e quindi alla sopravvivenza stessa. La presenza nel corpo umano di neuroni e di circuiti neurali è particolarmente evidente in determinate zone del corpo, ovvero nel cervello e nella colonna vertebrale, ed al loro interno si è constatato che esiste una certa organizzazione anatomica che suddivide i neuroni sulla base delle loro specifiche funzioni: il sistema sensoriale è responsabile per il corretto interfacciamento tra corpo ed ambiente esterno; il sistema motorio organizza e genera il movimento; infine le aree associative collegano il sistema motorio a quello sensoriale e forniscono una solida base per implementare l'esecuzione di funzioni di alto livello quali la percezione, l'attenzione, la cognizione, l'emozione, il pensiero razionale e molte altre funzioni cerebrali complesse che rappresentano il nucleo necessario per la comprensione dell'essere umano.

NEURONE

Il sistema nervoso si distingue in sistema nervoso periferico e sistema nervoso centrale; quest'ultimo supervisiona e controlla l'intero corpo tramite le sue strutture periferiche, che sono dislocate nei muscoli, negli organi e nei tessuti. Il sistema nervoso centrale è protetto da delle opportune membrane, e circondato dalle ossa del cranio e delle vertebre.

L'elemento focale del sistema nervoso è il neurone. Un neurone è solitamente composto da corpo, dendrite ed assone (Figura 1.1). Nel corpo del neurone risiedono diversi organelli, vitali per mantenere ottimali la struttura e le funzioni della cellula, ed è considerato il fulcro nevralgico dell'intero neurone. I dendriti si estendono dal corpo ed estendono la superficie recettiva della cellula neurale, tramite una diffusa arborizzazione; da questo i dendriti sono quindi i principali recettori della trasmissione sinaptica proveniente dalle cellule limitrofe. Gli assoni sono ricoperti da una membrana chiamata mielina che isola gli assoni dai fluidi del sistema nervoso centrale. Il luogo di contatto tra l'assone di un neurone trasmittente ed i dendriti del neurone ricevente è la sinapsi. L'evento elettrico che trasporta i segnali attraverso i neuroni è chiamato potenziale d'azione, che sostanzialmente risulta essere un'onda elettrica auto-rigenerativa che si propaga dalla sorgente nel corpo della cellula neurale verso l'assone di destinazione dove risiedono i contatti sinaptici. Il processo chimico-elettrico che permette la trasmissione del segnale è detta o a sua volta trasmissione sinaptica. Nel sistema nervoso centrale, i neuroni sono supportati dalle glia e dai vasi sanguigni; nel sistema nervoso periferico, essi sono supportati da opportune cellule satelliti, fibroblasti, cellule di Schwann e vasi sanguigni.

L'organizzazione spaziale dei neuroni nel corpo prende nome di circuiti neurali, che generano e trasmettono informazioni e determinano la percezione di sensazioni, percezioni e comportamento. Nonostante l'organizzazione delle cellule neurali sia estremamente eterogenea, e dipenda in gran parte dalla funzione che essa svolge all'interno del corpo, alcune caratteristiche sono comuni in tutti gli assembramenti. I neuroni sono divisibili in tre macro categorie: (1) neuroni afferenti, che trasmettono l'informazione verso il cervello e/o la colonna vertebrale; (2) neuroni efferenti, che trasmettono l'informazione dal cervello e/o la colonna vertebrale; (3) interneuroni, che costituiscono il maggior numero di neuroni presenti e che partecipano a trasmissioni a corto raggio volte a rafforzare e/o modulare il comportamento delle altre due classi di neuroni. Queste tre classi funzionali rappresentano i costituenti essenziali di tutti i circuiti neurali.



Le zone del sistema nervoso centrale che contengono il maggior numero di corpi delle cellule sono indicate con il termine di materia grigia, mentre le zone del sistema dove risiedono in maggior numero gli assoni sono indicate con il termine materia bianca. I neuroni sono organizzati in gangli, nuclei (o strati corticali) sulla base della loro locazione spaziale all'interno del corpo umano.

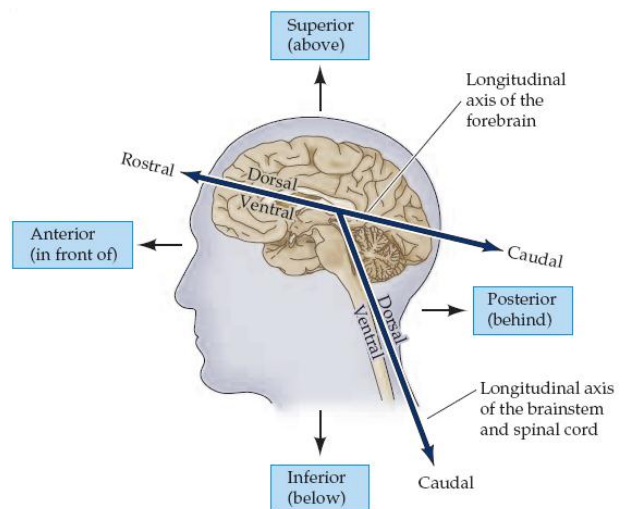
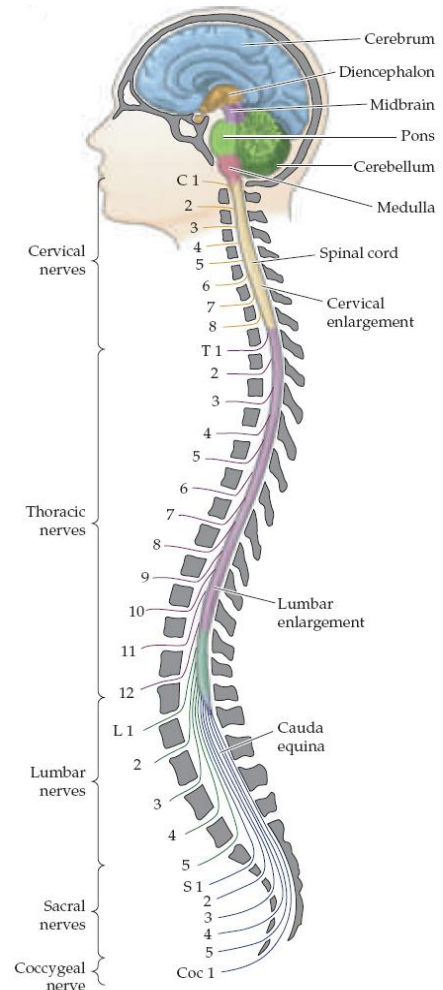
SISTEMA NERVOSO

E' pratica comune suddividere i circuiti neurali sulla base del loro scopo di trasmissione all'interno del corpo. In base a questo approccio, si distinguono il sistema sensoriale, che acquisisce e processa l'informazione ottenuta dall'ambiente circostante attraverso gli organi sensoriali, ed il sistema motorio, che reagisce all'informazione ottenuta generando il movimento di determinate parti del corpo. Oltre a questa distinzione funzionale, è pratica comune effettuare in parallelo una distinzione di tipo spaziale, che divide il sistema nervoso dei vertebrati in sistema nervoso centrale (CNS) e sistema nervoso periferico (PNS). Al contrario del CNS, il PNS non presenta una copertura ossea, ma è circondato e protetto da fasce muscolari, pelle ed organi. L'informazione dagli organi sensoriali accede alla veicolazione fornita dal sistema nervoso centrale attraverso i nervi afferenti periferici. I nervi periferici sono presenti in tutte le zone del corpo: pelle, muscoli, organi, tessuti e ghiandole, e si originano sia dal cervello che dalla colonna vertebrale.

Il sistema nervoso centrale (Figura 1.2) consiste in colonna vertebrale e cervello, suddiviso a sua volta in tronco encefalico, cervelletto, diencefalo e cervello; l'organizzazione della materia grigia varia in ciascuna di queste regioni. Connessi a ciascuno dei 32 segmenti che compongono la colonna vertebrale ed il tronco encefalico vi sono dei ganglia sensoriali (il cui funzionamento assomiglia a degli accumulatori), che costituiscono il primo livello di connessione del sistema sensoriale con il sistema nervoso centrale al quale portano l'informazione (essi sono quindi solitamente elementi del PNS). Gli assoni dei motoneuroni fuoriescono da ciascuno dei 32 segmenti della colonna vertebrale e dal tronco encefalico e connettono il sistema nervoso centrale al sistema muscolare, cardiaco ed a tutti gli organi del corpo. Nella colonna vertebrale, in gran parte del tronco encefalico, e nel diencefalo, i neuroni sono organizzati in nuclei, accumuli locali di neuroni che presentano forti similarità sia nella connessione che nella funzione svolta; nel collicolo superiore del tronco encefalico, nel cervelletto e nel cervello invece, i neuroni sono organizzati in cortecce (livelli orizzontali) ed in colonne (livelli verticali).

TASSONOMIA E TERMINOLOGIA NEUROANATOMICA

La descrizione dell'organizzazione di un sistema neurale richiede una conoscenza rudimentale della terminologia anatomica. I termini anteriore e posteriore indicano la fronte ed il retro dell'oggetto in considerazione (testa e coda); rostrale e caudale stanno per verso la testa e verso la coda; dorsale e ventrale sono sinonimi di superiore e inferiore (schiena e pancia); infine mediale e laterale corrispondono alla linea mediana o al lato (Figura 1.3). I piani standard per le sezioni istologiche e per la generazione di immagini utilizzate per studiare l'anatomia interna del cervello sono indicati dal riferimento degli assi anatomici. Le sezioni orizzontali (note anche come sezioni assiali o trasversali) sono tratti paralleli all'asse rostrale-caudale del cervello: così, in riferimento ad un individuo in posizione eretta, tali sezioni sono parallele al suolo. Sezioni formate a partire dal piano che divide i due emisferi cerebrali sono dette sagittali, e possono essere ulteriormente qualificate come mediosagittali e parasagittali, a seconda che la sezione sia vicina alla linea mediana (mediosagittale) o più laterale (parasagittale). Le sezioni nel piano del volto sono



chiamati coronale o frontale. Diversi termini sono usati per indicare le sezioni del midollo spinale. Il piano di sezione ortogonale all'asse longitudinale della colonna vertebrale si chiama trasversale, mentre le sezioni parallele all'asse longitudinale del midollo sono chiamate longitudinali. In una sezione trasversale del midollo spinale umano, i due assi dorsale e ventrale e la parte anteriore e posteriore indicano il medesimo verso.

SISTEMA NERVOSO CENTRALE

La convenzionale suddivisione del sistema nervoso centrale evidenzia sette parti fondamentali: il midollo spinale, il midollo, il ponte, il cervelletto, il mesencefalo, diencefalo, e gli emisferi cerebrali (Figura 1.4), più degli spazi pieni di fluido chiamati ventricoli lungo ciascuna di queste. Il midollo allungato, il ponte ed il mesencefalo sono soliti essere raggruppati con un nome unico, il tronco cerebrale, e circondano il 4° ventricolo (midollo allungato e ponte) e l'acquedotto cerebrale (mesencefalo). Il diencefalo e gli emisferi cerebrali sono chiamati collettivamente il prosencefalo, e racchiudono il 3° ventricolo ed il ventricolo laterale, rispettivamente.

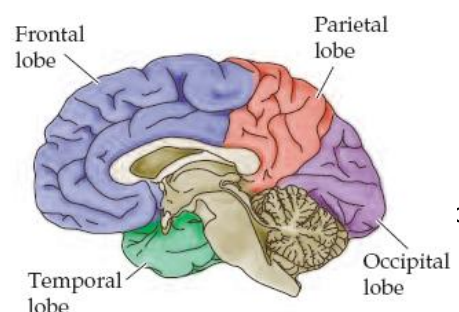
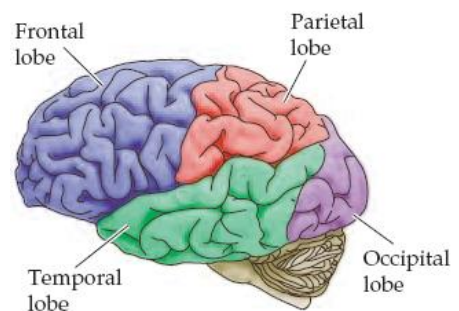
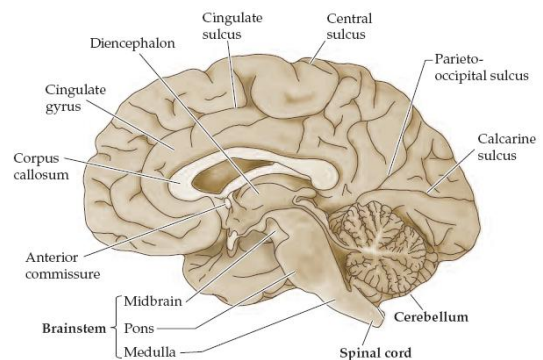
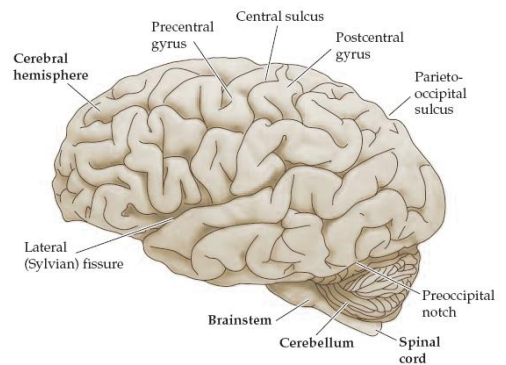
Il midollo spinale è la porzione del sistema nervoso centrale che si trova nel canale formato dalle ossa delle vertebre (tale canale, nell'individuo adulto, è presente in tutte le vertebre fino alla prima lombare incusca). Il midollo spinale ha 32 segmenti divisi in cinque regioni (cervicale, dorsale, lombare, sacrale e coccigeo) e da queste regioni si innervano le regioni del collo e degli arti superiori (segmenti cervicali), torace e addome (livelli toracici), cosce e gambe anteriori (segmenti lombari), e glutei, cosce e gambe posteriore (segmento coccigeo). L'esistenza di questo rapporto ordinato tra il midollo spinale e il corpo determina una organizzazione somatotopica lungo tutto il sistema nervoso centrale. Il midollo spinale è organizzata in colonne di materia grigia e bianca, con la materia grigia in posizione centrale e circondato da materia bianca. La sostanza bianca del midollo spinale è divisa in tre colonne: anteriore, posteriore e laterale. I percorsi di interconnessione tra il midollo spinale ed il cervello si trovano in queste colonne.

Il tronco encefalico è un condotto che trasmette informazioni sensoriali dal midollo spinale per il prosencefalo, e comandi motori dal prosencefalo per il midollo spinale. Il tronco cerebrale contiene numerosi nuclei aggiuntivi che sono coinvolti in importanti funzioni tra cui il controllo del ritmo cardiaco, la respirazione, la pressione sanguigna e il livello di coscienza. Il cervelletto è essenziale per il coordinamento e la pianificazione dei movimenti così come per l'apprendimento dei compiti motori e la memorizzazione di dati.

Il cerebro costituisce la massa del cervello e quindi del sistema nervoso centrale ed è diviso in emisfero destro e sinistro, contenente la materia grigia, la materia bianca e nuclei. In ogni emisfero, troviamo quattro lobi: il lobo frontale, in posizione rostrale, il lobo parietale medio, il lobo occipitale posteriore, ed il lobo temporale ventrale (Figura 1.5). La corteccia cerebrale è costituita da una superficie ondulata, la materia grigia corticale, che si presenta in stratificazioni (classificate convenzionalmente in sei livelli) e numerose circonvoluzioni, separate da scanalature dette solchi.

Sebbene i due emisferi cerebrali, in prima approssimazione, svolgano in parallelo le medesime funzioni, si riscontra che esiste un carattere di dominanza che fa prevalere le direttive di uno dei due emisferi sull'altro, a seconda della funzione che si trovano a svolgere. In oltre il 90% della popolazione umana l'emisfero cerebrale sinistro è dominante per funzioni come il linguaggio, l'avvio di movimento, le emozioni e le capacità artistiche. Si noti che ogni emisfero fornisce i controlli motori del lato opposto del corpo. Questo accade in virtù di un accavallamento dei percorsi neuronali che avviene in corrispondenza del punto di transizione tra colonna vertebrale e midollo.

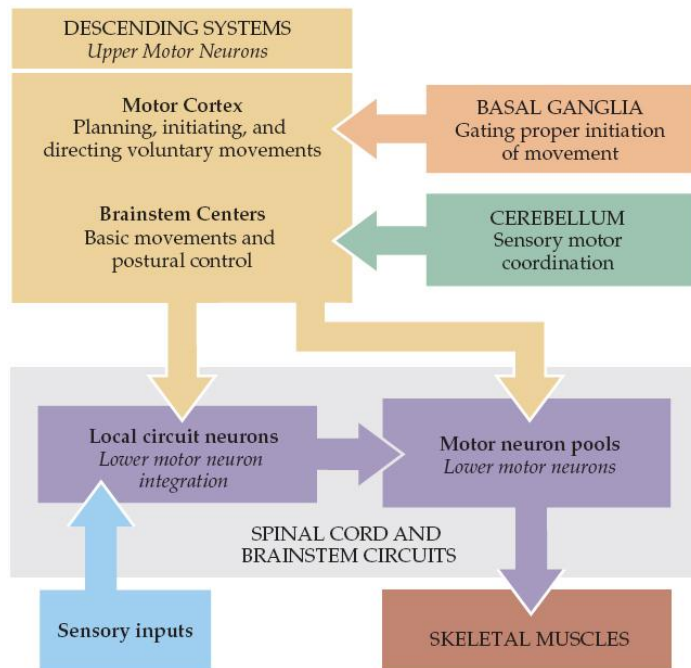
Gli assoni che entrano ed escono dagli emisferi cerebrali sono classificati in tre gruppi distinti di fibre: riconosciamo le fibre associative, commissurali e subcorticali. (1) Fibra associativa. Questo tipo di fibra fornisce i circuiti integrativi per il movimento, il linguaggio, la memoria e le emozioni. (2) Fibre commissurali: queste



fibre permettono di svolgere le funzioni di apprendimento e memoria. La maggior parte dei lobi frontale, parietale, occipitale e temporale, sono da queste fibre collegate con il corpo calloso. (3) fibre sottocorticali. In questa categoria di fibre rientrano quei fasci di fibre che raggiungono la corteccia dalle aree sottocorticali, nonché quegli assoni che partono dalla corteccia e collegano i nuclei sottocorticali.

MOVIMENTO VOLONTARIO

I movimenti, siano essi volontari o involontari, sono prodotti da contrazioni muscolari orchestrate dal cervello ed il midollo spinale. L'analisi di questi circuiti è fondamentale per la comprensione sia del comportamento normale che per l'eziologia di una varietà di disturbi neurologici. I circuiti neuronali del tronco encefalico e del midollo spinale rendono possibili i movimenti elementari e gli atti motori più complessi. Più in dettaglio, tutti i movimenti prodotti dalla muscolatura scheletrica sono generati da motoneuroni, detti inferiori, del midollo spinale e del tronco cerebrale che direttamente innervano i muscoli scheletrici. I neuroni motori inferiori sono controllati direttamente dai circuiti locali all'interno del midollo spinale e del tronco cerebrale (che coordinano singoli gruppi muscolari), ed indirettamente da motoneuroni superiori in centri di più alto livello che regolano il funzionamento di questi circuiti locali, consentendo in tal modo di coordinare



sequenze complesse di movimenti (Figura 1.6). Particolarmente importanti sono i circuiti nei gangli basali e nel cervelletto che regolano i neuroni motori superiori, assicurando che i movimenti vengano eseguiti con precisione spaziale e temporale. I disturbi al movimento spesso sono effetto di danni ad una particolare regione del cervello: a titolo di esempio esempio, clinicamente importanti sono quelle malattie neurodegenerative quali il morbo di Parkinson, la malattia di Huntington e la Sclerosi Laterale Amiotrofica, che sono il risultato di alterazioni patologiche in diverse parti del sistema motorio.

Inizializzazione del movimento - neuroni motori inferiori

La contrazione del muscolo scheletrico è avviata dai motoneuroni inferiori del midollo spinale e del tronco encefalico. I corpi cellulari dei neuroni inferiori si trovano nella materia grigia del midollo spinale e nei nuclei motori dei nervi cranici nel tronco encefalico. Questi neuroni (chiamati anche i motoneuroni α) estendono i propri assoni direttamente nei muscoli scheletrici attraverso le radici ventrali, i nervi spinali periferici, e i nervi craniali. I modelli spaziali e temporali di attivazione dei neuroni motori inferiori sono regolati principalmente da circuiti locali situati nel midollo spinale e nel tronco encefalico. I percorsi neuronali provenienti dai centri superiori sono invece costituiti da assoni dei motoneuroni superiori e modulano l'attività dei motoneuroni inferiori. I corpi cellulari dei neuroni motori superiori sono situati nella corteccia o nei centri presenti nel tronco cerebrale. Il contatto tra gli assoni dei motoneuroni superiori ed i neuroni dei circuiti locali avviene tipicamente nel midollo spinale e nel tronco encefalico. I neuroni dei circuiti locali possono ricevere un input diretto anche dai neuroni sensoriali, in modo da far eseguire alla muscolatura particolari riflessi motori sensoriali.

Quattro sottosistemi motori, distinti ma altamente interattivi (circuiti locali del midollo spinale e del tronco encefalico, vie discendenti dei motoneuroni superiori, gangli basali e cervelletto), contribuiscono al controllo motorio. I motoneuroni α stanziati nel midollo spinale e nei nuclei dei nervi cranici nel tronco encefalico collegano direttamente il sistema nervoso con quello muscolare (dove ogni neurone motore con le sue fibre muscolari associate costituisce ciascuna un'entità funzionale chiamata unità motoria). Le unità motorie si differenziano in dimensione, entità di tensione prodotta, velocità di contrazione e grado di affaticamento. L'aumento graduale della tensione muscolare è mediata sia dalla partecipazione regolare di diversi tipi di unità motorie, sia dall'aumento della frequenza di attivazione dei neuroni motori. Di particolare importanza nel controllo dell'attività muscolare di tipo riflessiva sono i circuiti locali che coinvolgono input sensoriali, neuroni dei circuiti locali, e neuroni motori di tipo α e γ . Il riflesso di stiramento è dovuto ad un circuito monosinaptico con connessioni tra le fibre sensoriali provenienti dai fusi muscolari ed i motoneuroni α che innervano i muscoli stessi. I motoneuroni γ regolano il guadagno del riflesso da stiramento controllando il livello di tensione delle fibre muscolari intrafusali. Altri circuiti di riflesso forniscono un controllo in retroazione

sulla tensione muscolare e mediano le funzioni improvvise, come il rapido ritiro delle arti a seguito di stimoli dolorosi.

Coordinamento dei muscoli - neuroni motori superiori

Gli assoni dei motoneuroni superiori organizzano i movimenti coordinando l'attività dei neuroni motori inferiori. Le sorgenti delle vie di trasmissione dei motoneuroni superiori comprendono i centri tronco encefalico ed un certo numero di aree corticali del lobo frontale. I centri di controllo motorio nel tronco encefalico sono particolarmente importanti nel controllo posturale; ciascuno di questi agisce in maniera indipendente sul condizionamento motorio. Due di questi centri, il complesso nucleare vestibolare e la formazione reticolare, hanno effetti sulla posizione del corpo. Un altro centro del tronco cerebrale, il nucleo rosso, controlla i movimenti delle braccia; nel tronco cerebrale, il collicolo superiore contiene dei neuroni motori superiori che determinano il movimento della testa e la sincronia degli occhi. Le aree del lobo frontale, invece, sono responsabili per la pianificazione e controllo di complesse sequenze di movimenti volontari. La maggior parte dei neuroni motori superiori, a prescindere dalla loro origine, influenzano la generazione di movimenti che interessano direttamente l'attività dei circuiti locali nel tronco encefalico e del midollo spinale. Due serie di percorsi dei motoneuroni superiori contribuiscono distintamente al controllo dei circuiti locali nel tronco encefalico e del midollo spinale. Una di queste ha origine da neuroni dei centri del tronco encefalico (formazione reticolare e nuclei vestibolari) ed è responsabile della regolazione posturale. La formazione reticolare è particolarmente importante in fase di pre-comando del movimento per la postura (ovvero per quei movimenti che si verificano in vista dei cambiamenti in termini di stabilità del corpo). Al contrario, i neuroni dei nuclei vestibolari che proiettano verso il midollo spinale sono particolarmente importanti nei meccanismi di feedback posturali (ad esempio, nella produzione di movimenti che si generano in risposta a segnali sensoriali che indicano un disturbo esistente posturale). L'altra serie di percorsi dei neuromotori superiore origina dal lobo frontale e comprende proiezioni dalla corteccia motoria primaria e le aree premotorie nelle vicinanze. La corteccia premotoria sono responsabili per la pianificazione e la selezione dei movimenti, mentre la corteccia motoria primaria è responsabile della loro esecuzione. La corteccia motoria influisce nei movimenti in maniera diretta tramite motoneuroni e neuroni dei circuiti locali nel midollo spinale e del tronco encefalico, e indirettamente inviando segnali ai neuroni che innervano nei centri del tronco cerebrale.

Modulazione del movimento - Ganglia e Cervelletto

A differenza delle componenti del sistema motorio che ospitano i neuroni motori superiori, i gangli basali ed il cervelletto regolano indirettamente l'attività dei neuroni motori superiori. Con il termine gangli basali si fa riferimento ad un insieme eterogeneo e funzionalmente diversificato di nuclei che si trovano in profondità negli emisferi cerebrali, che operano a formare un ciclo sottocorticale che collega la maggior parte delle aree della corteccia premotoria e del tronco cerebrale. Durante questo ciclo, i neuroni rispondono prima e durante il movimento effettivo, e dei loro effetti sui neuroni motori superiori sono necessari per il normale svolgimento di movimenti volontari. Quando una di queste componenti è compromessa, il paziente non è in grado di compiere adeguatamente azioni di comando che avviano un movimento o che terminano un movimento precedentemente avviato.

Le cellule efferenti del cervelletto influenzano il movimento modificando lo schema di attività dei neuroni motori superiori. Più precisamente, il cervelletto rileva l'errore tra un movimento atteso ed il movimento effettivo ed, attraverso le sue proiezioni sui neuroni motori superiori, riduce l'entità dell'errore. Tali correzioni possono essere effettuate sia durante lo svolgimento del movimento che come una forma di apprendimento motorio in cui la correzione effettuata viene memorizzata. Quando questo anello di retroazione risulta danneggiato, cosa che avviene in molte malattie del cervelletto, i soggetti afflitti effettuano degli errori nel compimento di specifici movimenti in maniera ripetitiva. Le specifiche del tipo di errore e del movimento per il quale sussiste l'errore dipendono ovviamente dalle zone danneggiate.

• 1.1 definizione e diagnosi

La **sclerosi laterale amiotrofica**, chiamata **SLA**, o anche morbo di **Lou Gehrig**, (dal nome del giocatore statunitense di baseball che fu la prima vittima accertata di questa patologia), malattia di Charcot o malattia dei motoneuroni, è una malattia degenerativa e progressiva del sistema nervoso che colpisce selettivamente i cosiddetti neuroni di moto (motoneuroni), sia centrali - 1° motoneurone a livello della corteccia cerebrale, sia periferici - 2° motoneurone, a livello del tronco encefalico e del midollo spinale. Fu descritta per la prima volta nel 1860 dal neurologo francese Jean-Martin Charcot, ed attualmente le sue cause sono ancora ignote.

Diagnosi: Nessun test può fornire una diagnosi definitiva di SLA, benché la presenza di segni di danno ai motoneuroni superiore ed inferiori in un singolo arto è fortemente indicativa. Invece, la diagnosi di SLA è basata principalmente sui sintomi e sui segni che il medico osserva nel paziente e da una serie di test che servono per escludere altre malattie. I medici esaminano la storia medica completa del paziente e di solito conducono esami neurologici a intervalli regolari per valutare se sintomi come la debolezza muscolare, l'atrofia di muscoli, la iperreflessia e la spasticità stiano diventando progressivamente peggiori.

• 1.2 statistiche dell'incidenza della SLA

La SLA è una patologia rara (incidenza: 1-3 casi ogni 100.000 individui all'anno), sporadica nella quasi totalità dei casi (le forme familiari sono circa il 5% del totale), a eziopatogenesi sconosciuta (cioè le cause sono del tutto ignote). Nel mondo del calcio, la SLA ha colpito 51 giocatori [2], portandone alla morte 39 su 30mila [3]. Verosimilmente si tratta di una malattia ad origine multifattoriale. Attualmente le ipotesi più accreditate per spiegare la degenerazione neuronale sono due: un danno di tipo eccitotossico, dovuto ad un eccesso di Glutammato, e un danno di tipo ossidativo, dovuto ad uno squilibrio tra sostanze ossidanti e sostanze riducenti nel microambiente che circonda i motoneuroni colpiti.

In Italia, come nel resto degli altri paesi industrializzati, l'incidenza di questa patologia risulta di 1,7 casi per 100.000 abitanti/anno: dunque 800 nuovi malati circa ogni anno nel nostro paese. Si prevede che essa aumenterà del 160% circa entro il 2040 nei paesi industrializzati. Esistono due zone particolarmente colpite dalla SLA nel mondo: l'isola di Guam, nel Pacifico, e la penisola di Kii, nel Giappone. Questa frequenza elevata sembra essere legata a dei fattori ambientali, nella fattispecie alimentari.



Fig. 1 Zona mondiale di maggiore incidenza, l'isola di Guam

La malattia pare colpire perlopiù gli **adulti**, con una maggiore incidenza nella fascia d'età compresa tra i 50 e i 70 anni, con leggera propensione per il sesso maschile; non sembra descritta nei piccoli pazienti, anche se vi sono giovani affetti da tale handicap.

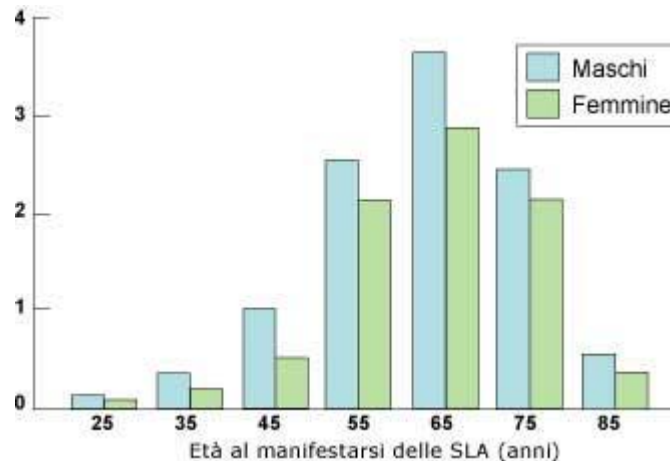


Fig. 2 incidenza media in base all'età della SLA (statistica su 100.000 individui)

Si è riscontrato inoltre che una percentuale oscillante dal 5 al 10% è di origine **ereditaria**. In questi casi la patologia si manifesta piuttosto presto (48 anni di media) e, generalmente, presenta un'evoluzione più rapida. In questo caso si parla di SLA familiare.

La **SLA familiare di tipo 1** si trasmette con modalità chiamata **autosomica dominante**. Questo significa che una persona affetta da SLA familiare ha il 50% di probabilità per ogni gravidanza di avere un figlio affetto, indipendentemente dal sesso. In questo caso non esistono portatori sani.

La **SLA familiare di tipo 2** si trasmette con modalità chiamata **autosomica recessiva**. In questo caso un individuo malato può nascere solo se riceve una copia difettosa del gene da ciascuno dei genitori, entrambi portatori sani dell'alterazione genetica.

La sclerosi laterale amiotrofica colpisce tutte le categorie socioprofessionali. Essa sembra, per ora, più frequente nei pazienti che conducono una vita particolarmente e costantemente attiva: ad esempio gli sportivi e i soggetti che esercitano un'attività fisica intensa durante il loro lavoro. Non si conoscono ancora le cause della malattia e comunque nella maggior parte dei casi non vi è familiarità.

Sono state fatte numerosi **ipotesi**: intossicazione da piombo, manganese, selenio, mercurio, infezioni da virus lenti... ma senza prove convincenti.

Più recentemente è stato avanzato il sospetto che nella SLA vi sia un disturbo del metabolismo del glutammato, un aminoacido eccitotossico, che inneschi il processo degenerativo. Altri autori sostengono che alla base della patologia vi sia un meccanismo autoimmune. A volte è stata osservata un'associazione con il cancro, specie il carcinoma bronchiale.

Nella storia clinica di alcuni pazienti sono stati segnalati traumi importanti, interventi chirurgici ed il logorio di un'attività agonistica sostenuta per anni.

• 1.3 I primi sintomi

L'inizio della SLA può essere così subdolo che i sintomi vengono spesso trascurati. I sintomi iniziali includono brevi contrazioni (mioclonie), crampi oppure una certa rigidità dei muscoli; debolezza dei muscoli che influisce sul funzionamento di un braccio o di una gamba; e/o voce indistinta o tono nasale. Questi disturbi generali si sviluppano in forme di debolezza più evidente o atrofia che possono portare il medico a sospettare una forma di SLA.

I primi segnali lanciati dalla malattia sono leggeri. Il paziente inciampa a causa dell'indebolimento dei muscoli delle gambe ed ha problemi nel reggere gli oggetti a causa della perdita di forza nei muscoli delle mani; inoltre farfuglia ed inghiotte con difficoltà per l'indebolimento dei muscoli della lingua e della gola.

Gli effetti della Sclerosi Laterale Amiotrofica variano enormemente con riferimento ai sintomi iniziali, al

decorso della malattia e ai tempi di sopravvivenza dopo la diagnosi. La Sclerosi Laterale Amiotrofica è una malattia invalidante che evolve, aggravandosi, nell'arco di 3-5 anni. Ad oggi, il 20% dei pazienti vive, in media, 5 anni e il 10% vive circa 10 anni. Esistono delle forme benigne della patologia che rimangono stabili per più di 30 anni. A priori, è impossibile predire l'evoluzione di questa malattia in un determinato paziente. In più dell'80% dei casi, la morte è dovuta a un disturbo respiratorio, aggravato da una superinfezione bronchiale. La SLA è una malattia particolarmente grave: può progressivamente bloccare tutti i distretti muscolari lasciando il paziente perfettamente cosciente, poiché le cellule nervose corticali che coordinano l'intelligenza, la memoria o l'emotività non vengono interessate dal processo degenerativo. Nella maggior parte dei casi, la Sclerosi Laterale Amiotrofica non incide sull'intelletto, sulla memoria, sulla vista, sull'udito, sull'odorato e sul gusto. Non incide inoltre sulle funzioni intestinali e vescicali, anche se la dieta alimentare e l'esercizio fisico devono essere controllati con la massima cura.

Debolezza agli arti, crampi

Le parti del corpo interessate dai sintomi iniziali della SLA dipendono da quali muscoli nel corpo vengono danneggiati per primi. Circa il 75% delle persone sperimenta la SLA con "esordio all'arto". In alcuni di questi casi, i sintomi inizialmente si risentono su una delle gambe ed i pazienti ne divengono consapevoli quando camminano o corrono, oppure perché notano che inciampano più spesso. Altri pazienti con l'esordio all'arto sperimentano gli effetti della malattia su una mano o su un braccio, dato che essi hanno difficoltà ad eseguire compiti semplici che richiedono destrezza manuale, come abbottonare una camicia, scrivere o girare una chiave in una serratura.

Esordio bulbare

Circa il 25% dei casi di SLA è ad "inizio bulbare". Questi pazienti all'inizio notano difficoltà nell' articolare la parola e le frasi (disartria), sino ad arrivare alla perdita della comunicazione verbale (anartria). Può anche essere presente un problema di motilità delle corde vocali che determina a volte disfonia. Può essere presente una crescente difficoltà a deglutire liquidi, solidi o entrambi (disfagia). La lingua può presentarsi atrofica, e con fascicolazioni in seguito all' interessamento del XII nervo cranico (nervo ipoglosso). Spesso è presente una facile stancabilità dei muscoli della masticazione (EUS), che insieme alla disfagia è spesso responsabile di dimagrimento e malnutrizione (si rende quindi necessaria un intervento per impianto PEG) Indipendentemente da quale sia la parte del corpo interessata per prima dalla malattia, la debolezza e l'atrofia muscolare si estendono ad altre parti del corpo, con il progredire della malattia. I pazienti hanno problemi crescenti per spostarsi, per deglutire (disfagia), e nel parlare o nel formare le parole (disartria). Segni del coinvolgimento del primo motoneurone includono il progressivo irrigidimento dei muscoli (spasticità) e la presenza di riflessi esagerati (iperreflessia) o di riflessi patologici (alluci muti, segno di Hoffmann, segno di Babinski). Segni di danno del secondo motoneurone sono la presenza di ipo-atrofia dei muscoli da questo innervati, fascicolazioni (guizzi muscolari percepibili sotto cute), crampi muscolari, riduzione del tono muscolare e dei riflessi osteotendinei.

Presenza del segno di Babinski

Un riflesso anomalo noto in medicina come segno di Babinski (che consiste nell'estensione in alto dell'alluce del piede, e lo "sventagliamento" all'infuori delle altre dita, quando la pianta del piede viene stimolata, ad esempio graffiandola con una matita) è un altro indicatore di danno al primo motoneurone. Sintomi della degenerazione del motoneurone inferiore includono debolezza ed atrofia muscolare, crampi muscolari e fugaci strattoni muscolari che si possono vedere sotto la pelle (fascicolazione). Circa il 15 – 45% dei pazienti sperimenta il cosiddetto "effetto pseudobulbare", conosciuta anche come "labilità emotiva", che consiste in attacchi di riso incontrollabile oppure pianto.

Per essere diagnosticati come affetti da SLA, i pazienti devono avere segni e sintomi di danno sia al motoneurone superiore che a quello inferiore, che non possa essere attribuito ad altre cause.

Anche se la sequenza di comparsa dei sintomi emergenti e la velocità di progressione della malattia variano da persona a persona, quasi sempre, alla fine i pazienti non saranno in grado di stare in piedi o di camminare, uscire o entrare dal letto da soli, utilizzare le loro mani e le loro braccia. Le difficoltà a inghiottire e masticare danneggiano la capacità del paziente a mangiare normalmente ed aumentano il rischio di soffocamento. Mantenere il proprio peso allora diventerà un problema. Questo perché di solito la malattia

può non interessare le capacità cognitive e i pazienti sono consapevoli della loro progressiva perdita di funzionalità e possono quindi divenire ansiosi e depressi.

Demenza fronto-temporale in una piccolissima percentuale di pazienti

Una piccola percentuale di pazienti va incontro allo sviluppo di demenza frontotemporale, caratterizzata da profondi cambi della personalità; questo è più comune tra quelli con una storia familiare di demenza. Una percentuale maggiore di pazienti sperimenta problemi con la generazione di parole, con l'attenzione o con i processi decisionali. La funzione cognitiva può essere interessata come parte del processo patologico oppure potrebbe essere collegata all'insufficienza della respirazione notturna (ipoventilazione notturna). I professionisti dell'assistenza sanitaria devono spiegare ai pazienti il corso della malattia e descrivere le opzioni di trattamento disponibili in modo che i pazienti possano prendere decisioni informate studiate in anticipo.

Sostegno con la ventilazione meccanica a pressione positiva "Bilevel"

Via via che il diaframma ed i muscoli intercostali si indeboliscono, la capacità vitale e la pressione inspiratoria forzata diminuiscono. Nell'inizio bulbare della SLA, questo può accadere prima che si verifichi la debolezza di un arto in modo significativo ed evidente. La ventilazione C-PAP oppure quella a pressione positiva Bilevel (a cui frequentemente ci si riferisce con l'acronimo B-PAP) è frequentemente utilizzata per sostenere la respirazione, inizialmente soltanto di notte, e con l'aggravarsi della malattia anche di giorno. E consigliabile che prima che la terapia con B-PAP diventi insufficiente, i pazienti (con l'eventuale aiuto della sua famiglia) decidano se farsi praticare una tracheotomia ed attraverso d'essa la ventilazione meccanica a lungo termine. Una parte dei pazienti non accetta questa pratica ed invece scelgono cure palliative in una unità per lungo degenti: la maggior parte delle persone con SLA muoiono in seguito ad insufficienza polmonare o all'insorgere di polmonite, e non direttamente per la malattia.

Nessun danno all'intelligenza e personalità del paziente (se non collaterale)

La SLA influisce in modo predominante sui neuroni motori e nella maggioranza dei casi la malattia non danneggia la mente, la personalità, l'intelligenza o la memoria del paziente. Né influisce sulla capacità di una persona di vedere, odorare, gustare, sentire o percepire sensazioni tattili. Il controllo dei muscoli oculari è la funzione più conservata, benché alcuni pazienti con una durata estremamente lunga di malattia (più di 20 anni) possono perdere anche il controllo degli occhi. A differenza della sclerosi multipla, nella SLA il controllo degli sfinteri urinari ed intestinali è di solito conservato, sebbene in seguito alla forzosa immobilità ed ai cambiamenti dietetici, i problemi intestinali come la stitichezza possono richiedere una intensa gestione medica.

• 1.4 il decorso

Come è chiaro dalla lettura dei paragrafi precedenti in decorso è in maniera irreversibile degenerativo quindi, almeno allo stato attuale il paziente è destinato a un peggioramento costante. Questo ausilio robotico potrà in certi casi risultare l'unico mezzo in grado di dare una minima autonomia al malato.

Ricordiamo che movimento è sinonimo di vita quindi dal punto di vista almeno psicologico il paziente potrà sentirsi sollevato dall'incombenza dell'infermità.

Nel terzo modello del robot Optichair, si intende installare un paio di articolazioni robotiche in grado di afferrare semplici oggetti basati sulla tesina "Robot's Hand V.2" svolta dal laureando per sostenere l'esame di sistemi informatici per la robotica.

Tale tesina si trova depositata presso il laboratorio iaslab della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova, attualmente supervisionato dal relatore della presente tesi prof. Emanuele Menegatti.

Nella tesina è stato costruito e collaudato un arto robotico antropomorfo, costituito dalla mano con dita e pollice opponibile, avambraccio e braccio, il tutto governato da ben 8 servomotori e da un microcontrollore della serie PIC 16F876A.

• 1.5 lo stadio terminale

Recente si è ampiamente discusso sulle questioni etiche legate al caso Welbi, ovvero un paziente affetto da malattia analogica che si è inevitabilmente conclusa con la morte del soggetto. La questione ancora aperta sta nella legalità o meno, e nella moralità o meno di assistere questi pazienti nella richiesta di concludere

artificialmente la loro vita. Si dovrebbe entrare in questioni morali che esulano dall'indirizzo tecnico ingegneristico della tesi, quindi il laureando preferisce non esporsi con considerazioni personali in merito.

Quello che si spera e che il lungo lavoro progettuale, e le notti insonni per lo sviluppo teorico pratico di questo ausilio robotico e delle versioni successive, possano essere di aiuto a queste persone per avere una vita il quanto piu' possibile accettabile ed autonoma.

Putroppo la ricerca non e' stata finanziata in nessun modo e i prototipi realizzati con mezzi di fortuna. Mi chiedo come possa essere possibile creare oggetti e soluzioni innovative usando pezzi letteralmente recuperati in discarica. Forse la sfida e' proprio questa.

Mi chiedo inoltre quanto di piu' si potrebbe ottenere usando lo potenza ingegneristica italiana da parte di aziende associazioni o fondazioni che mettano a disposizione ingenti fondi allo scopo benefico di creare ausili robotici che la sfortuna potrebbe rendere necessari ad ognuno di noi.

• 1.6 Stato attuale della curabilità

Finora non è stata scoperta alcuna cura definitiva per la SLA. Nonostante questo, la Food and Drug Administration (FDA) ha approvato il primo trattamento farmacologico per la malattia: il riluzolo (Rilutek). Si pensa che il Riluzolo possa ridurre il danno ai motoneuroni, perché riduce il rilascio di glutammato. Test clinici in pazienti con SLA hanno mostrato che il riluzolo prolunga la sopravvivenza fino a soli tre mesi, e può estendere il tempo di sopravvivenza soprattutto nei pazienti con SLA ad inizio bulbare. Il farmaco estende anche il tempo durante il quale il paziente può rimanere libero dal supporto ventilatorio. Il riluzolo non può invertire il danno subito dai motoneuroni, ed i pazienti che prendono il farmaco devono essere monitorizzati per il danno epatico ed altri possibili effetti collaterali. Comunque, questa prima terapia specifica per la malattia, offre la speranza che la progressione della SLA possa un giorno essere rallentata da nuovi farmaci o combinazioni di essi.

Altri trattamenti per la SLA sono mirati a rendere meno gravi i sintomi ed a migliorare la qualità della vita per i pazienti. Queste cure palliative vengono fornite al meglio da team multidisciplinari costituiti da professionisti dell'assistenza come medici, farmacisti, fisioterapisti, terapisti occupazionali, e logopedisti; nutrizionisti; assistenti sociali; ed infermieri specializzati nell'assistenza domiciliare e negli hospice per lungodegenti. Lavorando con i pazienti ed il personale sanitario, questi "teams di assistenza" possono pianificare un piano individualizzato di terapia medica e fisica e fornire apparecchiature speciali destinate a mantenere i pazienti nella migliore situazione di mobilità e comfort che si possa ragionevolmente raggiungere.

I medici possono prescrivere farmaci per contribuire a ridurre l'affaticamento, semplici spasmi muscolari, controllo della spasticità e riducono l'eccesso di saliva e catarro. Le droghe, inoltre, sono a disposizione per aiutare i pazienti con dolore, depressione, disturbi del sonno e stipsi. I farmacisti possono esprimere il loro parere sull'uso adeguato dei farmaci e controllare le prescrizioni del paziente per evitare i rischi d'interazioni con la droga.

Una terapia fisica e un'apparecchiatura speciale possono accrescere l'indipendenza e la sicurezza dei pazienti durante il decorso della SLA. Un delicato esercizio aerobico di basso consumo come camminare, nuotare e andare in bicicletta/cyclette può rinforzare i muscoli inalterati, migliorare la salute cardiovascolare ed aiutare i pazienti a combattere l'affaticamento e la depressione. Diversi tipi di movimento e gli esercizi d'allungamento possono contribuire ad impedire lo spasticismo doloroso e la riduzione (contrattura) dei muscoli. I fisioterapisti possono suggerire gli esercizi, che forniscano questi benefici senza che i muscoli si affatichino. I Terapisti occupazionali possono suggerire i dispositivi come rampe, busti ortopedici, stampelle e sedie a rotelle che aiutano i pazienti a conservare l'energia e rimanere mobili.

I pazienti affetti da SLA, che hanno difficoltà a parlare, possono trarre beneficio dall'intervento di un logoterapista. Questi professionisti del settore medico-sanitario possono insegnare ai pazienti le strategie adottabili, quali le tecniche per aiutarli a parlare più forte e più chiaro. Mentre la SLA progredisce, i logoterapisti possono suggerire l'uso di modi di comunicare adattabili o alternativi, quali gli amplificatori di voce, i dispositivi generatori di dialoghi (o propagatori di voce) e/o le tecniche base di comunicazione, quali tabelle alfabetiche o segnali di si/no. Questi metodi e dispositivi aiutano i pazienti a comunicare quando essi non possono più parlare o produrre suoni vocali. Con l'aiuto dei terapisti occupazionali, i comunicatori possono essere attivati mediante interruttori o tecniche d'emulazione del mouse, controllati da piccoli movimenti fisici, per esempio, della testa, della dita o degli occhi.

I pazienti e coloro che li assistono possono imparare dai logoterapisti e dai nutrizionisti come progettare e preparare numerosi piccoli pasti durante il giorno, che forniranno abbastanza calorie, fibra e liquidi e come

evitare gli alimenti difficili da eliminare. I pazienti possono cominciare per mezzo di dispositivi d'aspirazione a rimuovere i liquidi o la saliva in eccesso e per evitare il soffocamento. Quando i pazienti non sono più in grado di alimentarsi autonomamente, i medici possono raccomandare il posizionamento di una gastrostomia percutanea (PEG), la quale riduce il rischio di soffocamento e di polmonite, che può derivare dall'inalazione di liquidi nei polmoni. Questo dispositivo non è doloroso e non impedisce ai pazienti di assumere l'alimento oralmente se desiderano e sono in grado di deglutirlo.

Quando i muscoli respiratori si indeboliscono, l'uso di respiratori per l'assistenza ventilatoria notturna (ventilazione di pressione positiva intermittente (IPPV) o pressione positiva a due stadi della via aerea (BIPAP) può essere usato per aiutare la respirazione durante il sonno. Tali dispositivi insufflano artificialmente aria nei polmoni del paziente tramite varie interfacce esterne (maschere, ecc.), che sono applicate direttamente al viso. Quando i muscoli non riescono più a garantire l'ossigenazione e si riscontra un aumento dell'anidride carbonica nel sangue, questi dispositivi devono essere utilizzati a tempo pieno.

Nelle fasi più avanzate della malattia possono essere necessarie forme di ventilazione meccanica con supporto maggiore erogato per mezzo di un tubo inserito in trachea attraverso il naso o la bocca; per impiego di lunga durata, si effettua un intervento quale la tracheotomia, in cui il tubo necessario al supporto ventilatorio (cannula tracheostomica) viene inserito direttamente nella trachea del paziente attraverso un'apertura nel collo. I pazienti e le loro famiglie devono considerare parecchi fattori, quando decidono e se decidono una di queste opzioni. I dispositivi di ventilazione differiscono l'uno dall'altro a seconda del loro effetto sulla qualità di vita del paziente e del costo. Anche se il supporto ventilatorio può migliorare i problemi respiratori e prolungare la sopravvivenza, non incide sulla progressione della SLA. I pazienti devono pienamente essere informati circa queste considerazioni e gli effetti di lunga durata della loro vita priva di movimento, prima che prendano le decisioni circa il supporto di ventilazione. Alcuni pazienti ventilati con tracheotomia di lunga durata possono parlare se il palloncino che mantiene in sede la cannula viene sgonfiato o la stessa ne è sprovvista.

Gli operatori sociali, gli assistenti e gli infermieri d'ospizio aiutano i pazienti, le famiglie e coloro che li assistono nei problemi medici, emozionali e finanziari per fare fronte alla SLA, specialmente durante le fasi finali della malattia. I servizi sociali forniscono il supporto quale assistenza nell'ottenere il sussidio finanziario, l'eventuale assistenza legale, nella preparazione di un testamento biologico e nell'individuazione dei gruppi di sostegno per i pazienti e coloro che gli assistono. Le infermiere domiciliari sono a disposizione non solo per fornire le cure mediche, ma anche per istruire i familiari circa operazioni quali la manutenzione dei respiratori, la somministrazione degli alimenti, e la mobilitazione dei pazienti evitando dolorosi problemi cutanei e contratture. Le infermiere a domicilio lavorano in collegamento con i medici, per effettuare l'appropriata terapia, ridurre la sofferenza e le cure che influiscono sulla qualità della vita del paziente che desidera restare a casa.

Sia la ricerca animale che umana suggerisce che la limitazione di calorie (CR) può essere controindicata per i malati di SLA. Hamadeh MJ, Rodriguez MC, Kaczor JJ, Tarnopolsky dicono nel febbraio 2005 su Muscle Nerve: Restrizioni caloriche migliorano transitoriamente le performance motorie in topi mutanti carenti dell'enzima Cu/Zn superossido dismutasi. PMID 15625688. In questo studio, Hamadeh e altri, inoltre, notano due studi umani che indicano la riduzione dell'assunzione di calorie correlata con la morte dei pazienti affetti da SLA. [13] Tuttavia, nel primo studio, Slowie, Paige e Antel dichiarano: "La riduzione di assunzione di energia da parte di malati di SLA non è correlata con la morte, ma fu un aspetto importante della malattia. Concludiamo che i pazienti di SLA hanno una cronica carenza di energia ed è raccomandato un incremento dell'energia assunta.", (PMID 8604660)

Precedentemente, Pedersen e Mattson avevano trovato che nel modello del topo con SLA, il CR "accelera il decorso clinico, della malattia e non aveva dato benefici. Pedersen WA, Mattson MP dichiarano: Nessun beneficio dalla restrizione alimentare riguardo la progressione della Sclerosi Laterale Amiotrofica in topi mutanti dell'enzima Cu/Zn superossido dismutasi. Suggestendo che una dieta ipercalorica può ritardare la SLA e una dieta chetogenica nel modello del topo con SLA è indicata per ritardare il progresso della malattia, come scrivono Zhao Z, Lange DJ, Voustantiyouk A, e altri: Una dieta chetogenica è una potenziale novità nella terapia della Sclerosi Laterale Amiotrofica. BMC Neuroscience 2006, 7:29. (PMID 16584562). rapporto sullo studio di Zhao et al.

La nuova scoperta di RNAi da certe promesse nel trattamento della SLA. Negli studi recenti, RNAi è stato usato nei topi da laboratorio per inibire i geni specifici, che conducono alla SLA. Cytrx, la società che ha patrocinato la ricerca sulla SLA utilizzando il gene di RNAi ha messo a tacere la tecnologia mirata al gene

del mutante SOD1. Il gene del mutante SOD1 è responsabile della SLA in un sottoinsieme del 10% di tutti i pazienti di SLA che soffrono dalla forma familiare, o genetica, della malattia.

• 1.7 Ausili scientifici e tecnologici

FaceMOUSE è un innovativo ausilio informatico che permette di pilotare il cursore del mouse senza mani, semplicemente muovendosi davanti ad una piccola telecamera. Avere il controllo del cursore del mouse significa :

- usare tutti i software di windows: word, excel, disegno, calcolatrice, giochi... QUALUNQUE PROGRAMMA
- Accesso alla videoscrittura e alla sintesi vocale.
- sfruttare la Comunicazione Aumentativa Alternativa (CAA) tramite immagini, PCS, o Bliss
- navigare in internet ed inviare e-mail
- Telefonare e interagire con la casa automatizzata
- Utilizzare altri software a scansione senza ingombranti sensori

In altre parole si può dire che il FaceMouse è il computer per disabili, anche se tecnicamente è semplicemente un software che può essere installato su qualunque computer recente e che sfrutta una comune webcam. Nella sua semplicità sta la genialità e duttilità di FaceMOUSE: un efficiente ausilio informatico e per la comunicazione, più economico di molti altri, che funge allo stesso tempo sia da mouse per disabili, sia da comunicatore simbolico ed alfabetico, che da tastiera.

• 1.8 future direzioni e sviluppo i soluzioni

Purtroppo al momento non c'è una cura per la Sclerosi Laterale Amiotrofica, tuttavia si stanno svolgendo studi di ricerca in tutto il mondo ed i risultati sono molto incoraggianti. L'unico farmaco attualmente approvato e commercializzato per la SLA è il riluzolo.

Questi sono i maggiori filoni di ricerca:

Nel 1991 è stata identificata un'alterazione genetica responsabile di circa il 13-15 % dei casi di SLA familiare.

Il gene alterato serve a produrre un enzima chiamato superossido dismutasi 1 (SOD1). Sono in corso studi per cercare di comprendere il legame fra SOD1 e la comparsa della SLA.

Alcuni dati suggeriscono che la SLA possa essere dovuta all'accumulo, nel sistema nervoso, di glutammato - una molecola che funziona da "messaggero" fra le cellule nervose.

Il glutammato ha un effetto stimolante sui motoneuroni e il suo accumulo sembra essere tossico per queste cellule. Queste ricerche hanno portato alla messa a punto del riluzolo, che possiede un'attività antiglutammato.

Altri studi indicano che la SLA potrebbe essere causata da alterazioni nei neurofilamenti (microscopiche fibre presenti all'interno dei neuroni).

Questo perché topi con alterazioni dei neurofilamenti presentano una patologia molto simile alla SLA umana.

Alcuni potenziali farmaci sono nelle primissime fasi della sperimentazione.

Si tratta essenzialmente di sostanze neurotrofiche (cioè molecole che favoriscono la sopravvivenza dei neuroni).

Non è ancora noto se questi farmaci abbiano o no un effetto sulla progressione della SLA.

Sono inoltre presenti nel nostro paese e in tutto il mondo Associazioni riconosciute che si occupano di questa malattia in modo serio ed assiduo.



Fig. 3 simboli delle associazioni piu' attive nel supporto ai pazienti e nella ricerca

Cellule staminali.

Il trapianto di cellule staminali consiste nel trasferimento di cellule staminali, cioè cellule ancora in grado di differenziarsi in diversi tessuti. Queste cellule possono essere prelevate dal midollo osseo dello stesso soggetto o da embrioni o feti.

Molti studi si stanno conducendo anche sul sistema nervoso (midollo spinale e cervello) in animali da esperimento con buoni risultati sulla rigenerazione delle cellule nervose malate in differenti patologie del SNC sia di tipo focale sia degenerativo.

Nell' uomo risultati promettenti sono stati ottenuti nel morbo di Parkinson, nella Corea di Huntington, nelle lesioni ischemiche.

Questo tipo di sperimentazione quindi sembra aprire spiragli di cura anche per la SLA. Il trasferimento all'uomo di questo tipo di sperimentazione, tuttavia, solleva alcune perplessità riguardanti i possibili effetti collaterali non completamente prevedibili. Tra questi ultimi, la possibilità che le cellule staminali, molto mobili, migrino nei tessuti sbagliati o sviluppino tumori. Non si sa, inoltre, se queste cellule possano scatenare reazioni autoimmuni dei tessuti in cui sono state trapiantate determinando un'autoaggressione. Terapia genica. Consiste nell'inoculare dei vettori, generalmente virali (adenovirus o retrovirus), affinché infettando le cellule nervose, possano trasferire loro i geni di fattori trofici diventando esse stesse in grado di produrre queste molecole. Anche per la terapia genica il trasferimento all'uomo solleva molti quesiti etici e perplessità riguardanti i possibili effetti collaterali, non completamente prevedibili.

Sia la ricerca animale che umana suggerisce che la limitazione di calorie (CR) può essere controindicata per i malati di SLA. Hamadeh MJ, Rodriguez MC, Kaczor JJ, Tarnopolsky dicono nel febbraio 2005 su Muscle Nerve: Restrizioni caloriche migliorano transitoriamente le performance motorie in topi mutanti carenti dell'enzima Cu/Zn superossido dismutasi. PMID 15625688. In questo studio, Hamadeh e altri, inoltre, notano due studi umani che indicano la riduzione dell'assunzione di calorie correlata con la morte dei pazienti affetti da SLA. Tuttavia, nel primo studio, Slowie, Paige e Antel dichiarano: "La riduzione di assunzione di energia da parte di malati di SLA non è correlata con la morte, ma fu un aspetto importante della malattia. Concludiamo che i pazienti di SLA hanno una cronica carenza di energia ed è raccomandato un incremento dell'energia assunta.", (PMID 8604660)

Precedentemente, Pedersen e Mattson avevano trovato che nel modello del topo con SLA, il CR "accelera il decorso clinico, della malattia e non aveva dato benefici. Pedersen WA, Mattson MP dichiarano: Nessun beneficio dalla restrizione alimentare riguardo la progressione della Sclerosi Laterale Amiotrofica in topi mutanti dell'enzima Cu/Zn superossido dismutasi. Suggestendo che una dieta ipercalorica può ritardare la SLA e una dieta chetogenica nel modello del topo con SLA e indicata per ritardare il progresso della malattia, come scrivono Zhao Z, Lange DJ, Voustantiyouk A, e altri: Una dieta chetogenica e una potenziale novità nella terapia della Sclerosi Laterale Amiotrofica. BMC Neuroscience 2006, 7:29. (PMID 16584562). rapporto sullo studio di Zhao et al.

La nuova scoperta di RNAi dà certe promesse nel trattamento della SLA. Negli studi recenti, RNAi è stato usato nei topi da laboratorio per inibire i geni specifici, che conducono alla SLA. Cytrx, la società che ha patrocinato la ricerca sulla SLA utilizzando il gene di RNAi ha messo a tacere la tecnologia mirata al gene del mutante SOD1. Il gene del mutante SOD1 è responsabile della SLA in un sottoinsieme del 10% di tutti i pazienti di SLA che soffrono dalla forma familiare, o genetica, della malattia.

Nell'attesa che nel campo della medicina si presentino delle soluzioni concretamente efficaci si dovrà cercare di arginare il fenomeno affidandoci ai sempre più potenti e tecnologici ausili robotici tra i quali si propone anche il robot Optichair II, argomento di questa tesi.

CAPITOLO 2 La robotica applicata alla medicina

• 2.1 Cenni storici

Il robot oggi più evoluto al mondo è sicuramente ASIMO costruito dall'azienda giapponese (© *Honda*) le cui ricerche e sviluppo sono iniziate nel lontano 1986 ed hanno richiesto ingenti investimenti.

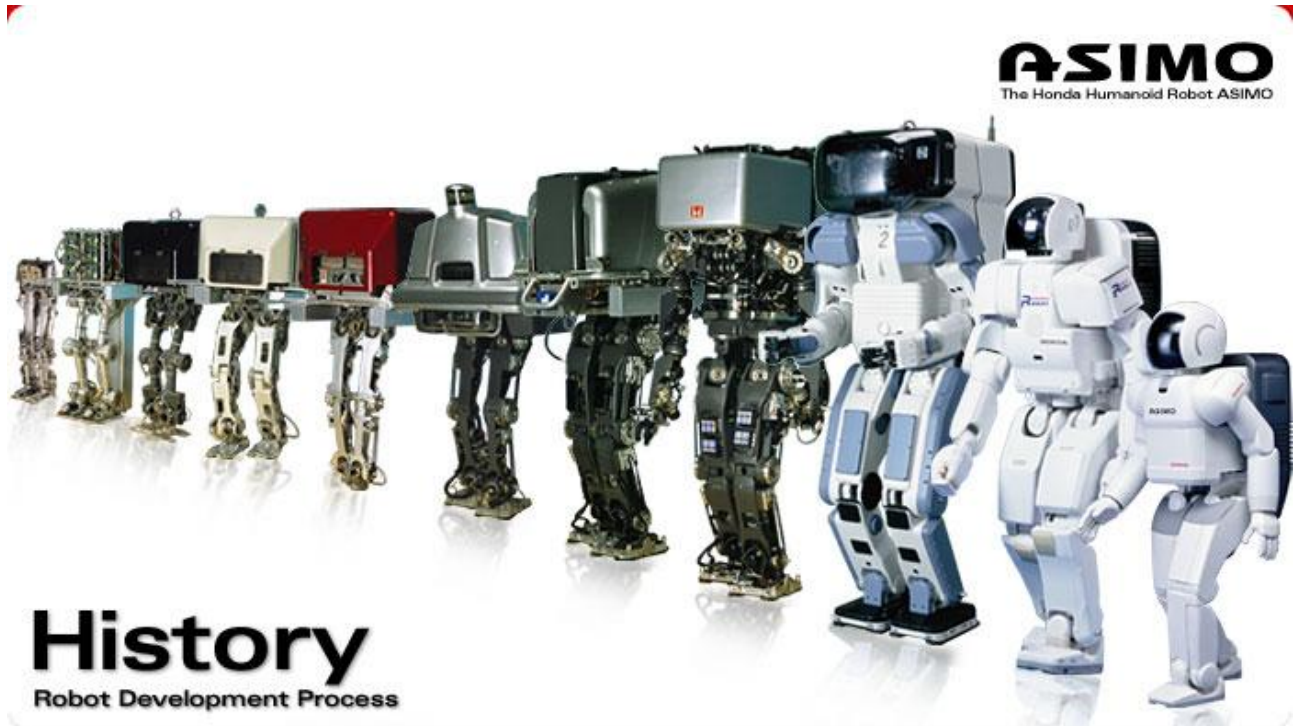


Fig 4 Evoluzione del robot Asimo (© *Honda*) 1986-2010 fonte internet.

La sfida evolutiva sta nella miglioria degli apparati sensoriali e di controllo ma non di meno nei sistemi di alimentazione che permettono la riduzione della massa complessiva dell'automa (lo zainetto di Asimo è il pacco batterie), difatti dal 1986 il peso del robot si è ridotto da oltre 200 kg (modello di mezza scala evolutiva quindi in grado di fornire una sufficiente gamma di performance robotiche), agli attuali circa 75 kg in fase di diminuzione. I problemi energetici sono sicuramente problemi di tipo elettrotecnico e non elettronico o informatico rendendo la robotica un ambito fortemente interdisciplinare.

Attualmente l'azienda giapponese usa quella tecnologia per fare camminare i disabili o gli anziani, ma il loro ramo di ricerca è diverso da quello che si è sviluppato per la seguente tesi. In effetti i loro tipo di ausili robotici non sarebbe adatto alla deambulazione di un malato di SLA dato che questi non ha quella tonicità muscolare residua richiesta.



Fig 5 servoassistenza motoria in collaudo presso l'impianto Honda di Sayama, in Giappone. (© Honda)

Un paziente colpito da SLA deve, per forza di cose, avere in aiuto un robot a forma di carrozzella e non ci si cura in questa sede di come esso possa essere trasportato dalla carrozzella ad altri ambiti quali ad esempio il suo letto.

Forse la cosa migliore e' che nelle prossime evoluzioni il robot Optichair sia in grado di trasformarsi in questi altri ambiti di vita fornendo al paziente il massimo del confort possibile.

Storicamente parlando, solo nell'ultimo decennio i computer e le loro potenzialita', sia di calcolo che di elaborazione grafica, sono divenuti sufficienti per elaborare soluzioni robotiche quali i sistemi di guida sviluppati e comparati in questa tesi, ovvero, il metodo BCI che necessita di un classificatore di segnali EEG e di potenti algoritmi software, il metodo open-cv che risulta essere molto funzionale ma che richiede potenzialita' avanzate sulla GPU (graphic processor unit) e sul processore centrale CPU per l'elaborazione di complessi algoritmi, e il metodo IR-Reflex, elaborato progettato e sviluppato in toto dal laureando, che alla fine dei conti si e' rivelato essere il metodo piu' semplice economico non che' funzionale ed efficace.

Per quanto concerne l'attuale diffusione di robot generici a livello mondiale, e quindi il sottoinsieme dei robot a uso e scopo medico sono state effettuate delle statistiche a partire dall'anno 2000.

Secondo il rapporto "World Robotics 2000" - un documento pubblicato dalla United Nations Economic Commission for Europe (UN/ECE) in cooperazione con la International Federation of Robotics (IFR) - entro il 2003 saranno circa 800.000 i robot general purpose in funzione in tutto il mondo. Il prezzo di un robot di prestazioni medie nel 1999 è circa il 40% inferiore rispetto al costo di un robot di prestazioni equivalenti venduto nel 1990. Il costo di un robot industriale può venire ammortizzato in due anni, mentre la vita media di un robot (con l'eccezione dei robot impiegati nelle linee di produzione delle automobili) si colloca tra i 12 e i 16 anni.

Negli USA, all'inizio degli anni Novanta si era verificata una contrazione delle vendite che si erano collocate sulle 5.000 unità vendute all'anno: il parco di robot industriali era nel 1997 di 70.000 unità. Poi nel 1998 sono stati venduti circa 11.000 robot, nel 1999 circa 12.000; nel 2000 il parco totale di robot negli USA ammontava a circa 100.000 unità (il 15% del parco mondiale dei robot installati, di cui il 50% giapponesi). Alcuni analisti ritengono che l'incremento delle vendite di robot industriali negli USA, alla fine degli anni Novanta, sia da ascrivere a varie cause. I prezzi dei robot sono diminuiti, mentre il costo del lavoro è aumentato costantemente (analogamente a quello che era successo negli anni Ottanta in Giappone, negli USA si è verificata una contrazione della forza lavoro disponibile); i sistemi di visione e i sensori di forza sono migliorati dal punto di vista tecnologico.

I "robot di servizio" (service robot) nel 1998 sono circa 5.000 (rispetto a circa 625.000 robot industriali). La cifra può apparire irrisoria, specie rispetto alle previsioni numeriche di Engelberger. Tuttavia il documento "World Robotics 2000", a dieci anni di distanza dalle intuizioni di Engelberger, ripropone lo stesso scenario per il futuro: "Tra 10-15 anni, rispetto a ora (anno 2000), i robot per servizi domestici si diffonderanno come è avvenuto per i personal computer, i telefoni cellulari e Internet. Nei prossimi anni quasi tutte le case europee saranno dotate di personal computer, di telefono cellulare e di connessione a Internet. La familiarità con le tecnologie digitali, specialmente tra i giovani e le fasce di età comprese tra i 35 e i 50 anni, renderanno particolarmente facile l'introduzione dei robot nelle case. Già oggi molti dispositivi ed elettrodomestici (sistemi di riscaldamento e condizionamento, forni, congelatori, frigoriferi e sistemi di allarme), utilizzati nelle abitazioni, incorporano microcomputer, sono in grado di comunicare tra loro e possono venire controllati a distanza usando i cellulari come terminali". Addirittura il rapporto delinea una possibile architettura di un robot domestico costituito da una piattaforma mobile sulla quale può venire installata tutta una serie di accessori (da manipolatori robotici a sistemi di visione, da aspiratori ad altri sistemi di pulizia) e in grado di eseguire i classici lavori domestici; inoltre un tale robot potrebbe aumentare la mobilità e la sicurezza di persone anziane e disabili. Più o meno quello che aveva previsto Engelberger per il 1990. Il classico incidente dei futurologi non professionisti: associare date precise a eventi che si ritiene che debbano inevitabilmente accadere, prima o poi.

E' indubbio che la diffusione dei robot sia fortemente condizionata dai tassi di sviluppo dell'economia nelle nazioni più industrializzate, dalla disponibilità di manodopera, dalle politiche di localizzazione e de-localizzazione industriale. Con le correnti migratorie in atto, forse un aiuto domestico proveniente da un paese in via di sviluppo è ancora più economico, flessibile, efficiente e portatore di valori culturali ed emotivi nettamente superiori a quelli di un sofisticatissimo robot.

Può essere interessante riportare in dettaglio l'evoluzione prevista dei "robot di servizio" citando il parco robot presenti alla fine del 1998 e le installazioni previste nel periodo 1999-2002, inoltre vedere quanti alla data odierna, dicembre 2010 sono operativi :

- robot per pulizie (non domestici), 300 (*stock al 1998*) e 500 (*previsti nel periodo 1999-2002*),
- robot in grado di arrampicarsi su pareti, 200 e 200,
- robot sottomarini, 400 e 200,
- robot domestici (aspirapolvere, tosaerba), 2.000 e 12.500,
- robot medicali, 800 e 7.000,
- robot per disabili, 200 e 200,
- robot per servizi postali, 100 e 200,
- piattaforme mobili robotizzate *general purpose*, 400 e 200,
- robot di sorveglianza e sicurezza, 50 e 300,
- robot guida per musei, 0 e 100,
- robot per domare incendi e scovare bombe, 150 e 400,
- robot per stazioni di servizio, 50 e 800,
- robot per pulire appartamenti, 350 e 1.000.

Non sono ritenute presenze significative i robot spaziali e quelli di intrattenimento.

Nella successiva immagine vediamo un grafico della statistica della popolazione mondiale nel triennio 2006-2008. Secondo alcuni dati raccolti dall'IFR (International Federation of Robotics), associazione attiva negli stati uniti d'america, i robot attualmente attivi all'interno del nostro pianeta sono ben 8,6 milioni. Raccoglio questi dati e li espongo come illustrato nel grafico qui sotto riportato.

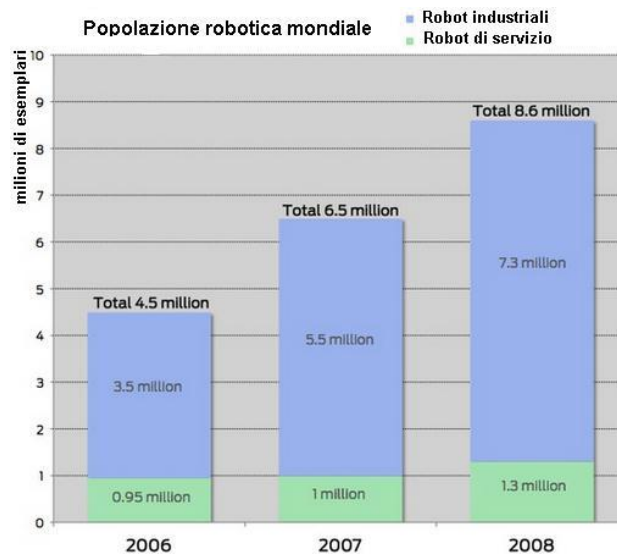


Fig 6 popolazione robotica mondiale del triennio 2006, 2007, 2008

La parte in verde del grafico rappresenta i robot utilizzati all'interno delle industrie, mentre la parte colorata di azzurro sono i robot utilizzati per servizi di vario tipo. Per il periodo 2011-2012 si prevede che la popolazione di robot raggiungerà i 13 milioni e che nei prossimi 20 anni la robotica sarà il settore in più forte crescita.

• 2.2 robotica in ausilio alla disabilità

Nell'era moderna sono stati sviluppati una moltitudine di dispositivi, protesi e esoscheletri progettati per aiutare l'umanità a risolvere le proprie disabilità motorie ma solo negli ultimi anni abbiamo raggiunto un livello tecnologico sufficiente per poter integrare la visione artificiale, la mecatronica, le tecnologie dell'informazione e benché sia ancora agli albori l'intelligenza artificiale sottoforma di simulazione algoritmica di reti neurali.

Esistono in commercio molti modelli di protesi che spesso usano singolarmente queste potenzialità, ad esempio protesi di gambe in fibra di carbonio meccanicamente così perfette da poter far competere il disabile in competizioni olimpiche con buone possibilità di vincere, come anche esistono protesi elettroniche così perfette da poter estendere l'udito anche oltre la normale banda acustica umana. Tuttavia non risultano ancora in produzione dispositivi altamente interdisciplinari da poter essere classificati come asservimenti robotici.

Il progetto optichair integra con grande ambizione tutte queste tecnologie. Benchè essa sia nata per degli specifici casi di SLA, trova applicazione in svariate tipologie di invalidità.

In Italia, come in altri paesi le disabilità sono catalogate e classificate.

In base alle leggi che disciplinano la materia, possiamo distinguere tre livelli di invalidità:

- **invalidità in senso stretto**, che individua una riduzione parziale della capacità lavorativa;
- **inabilità** che individua una riduzione totale e permanente della capacità lavorativa;

- **superinvalidità** che individua l'esistenza di oggettive e gravi difficoltà o l'impossibilità per un inabile a condurre una vita autonoma senza l'assistenza o l'aiuto costante di un altro soggetto.

Si definisce:

Infermità o minorazione la malattia o la lesione fisica o psichica, congenita o acquisita, che riguarda una o diverse funzioni ed organi;

Menomazione o deficienza la perdita o la compromissione delle funzioni, causata da infermità o minorazione, che ha effetti sull'abilità, sulla capacità lavorativa o sulla vita di relazione del soggetto;

Handicap la compromissione della capacità di compiere un'azione o un'attività nel modo o nelle forme ritenute normali; a prescindere dal grado di invalidità, è tale da provocare svantaggi nell'attività lavorativa, nella vita di relazione e nella promozione di se stessi.

• 2.3 La movimentazione autonoma

Un robot è definito autonomo quando è in grado di portare a termine un compito (task) in modo 'autonomo' senza alcuna necessità di intervento da parte dell'uomo. Se inoltre è in grado di svolgere movimenti di navigazione o deambulazione autonoma significa che si è svincolato dalle fonti di alimentazione esterne al suo corpo 'chassy' rendendo superfluo, nel limite dell'autonomia dichiarata, il collegamento cablato a queste fonti di energia. Il robot può sviluppare queste capacità attraverso dei procedimenti algoritmici fissi oppure, secondo gli studi svolti presso lo IASLAB della Facoltà di Ingegneria di Padova tramite algoritmi denominati 'genetici' che fanno convergere la scienza artificiale del robot verso una buona simulazione decisionale.

Risultati molto soddisfacenti si sono ottenuti nella tesi di sviluppo della deambulazione autonoma di un piccolo robot bipede, discussa nell'anno accademico 2008-2009 dall'ing. Alejandro Gatto, presso il già menzionato 'ias-lab', con la supervisione del medesimo relatore di questa Tesi, il Prof. Emanuele Menegatti.

Optichair II è un robot strutturalmente più semplice di un robot bipede ma algoritmicamente altrettanto complicato, esso infatti deve essere in grado di:

- Accettare in input comandi elementari, filtrarne quelli sbagliati e involontari, azionare gli attrattori.

- Leggere i suoi apparati sensoriali e decidere se questi si trovino in stato di conflitto con i comandi impartiti, memorizzati e in fase di esecuzione.
- Elaborare soluzioni allo scopo di eseguire il comando memorizzato cercando ad esempio di raggiungere una destinazione aggirando uno ostacolo o una buca nel terreno.
- Gestire in maniera ottimizzata l'energia, sempre scarsa, che può portare a bordo.

Le ottimizzazioni meccaniche sono assolutamente necessarie quando si abbia da ridurre le masse pur aumentando i DOF (degree of freedom) gradi di libertà utili ad un movimento più fluido che garantisce maggior confort al paziente utilizzatore del robot.

I sistemi sensoriali più utili al robot sono:

- Accelerometro, ancora in fase di studio e non installato nel robot Optichair II, sarà prevista l'installazione nel robot Optichair III, che si intende mettere in studio e costruzione a partire dall'anno 2012 subordinatamente alla messa a disposizione da parte di qualche istituto di ricerca o azienda interessata al progetto dei fondi necessari.
- Servonclinometro, che determina il tipo di coppia da inviare agli attuatori di potenza attualmente installati, ovvero due potenti motori D.C. della casa costruttrice Micro-motor alimentati con 24V D.C. all'indotto per una potenza a regime di 2x150W, corrispondenti a circa 6A per linea. Il servo inclinometro potrà definire su quale delle ruote inviare un segnale PWM con duty cycle aumentato o diminuito a seconda del diverso sforzo causato dalla non planarità del terreno. Questo è l'apparato sensoriale che costituisce l'input per una sorta di differenziale elettronico, gestito algebricamente, di cui è dotato il robot.
- Capsule ultrasoniche, per un totale di 7 unità, allo scopo di realizzare 3 livelli distinti di telemetria. Un principale sviluppata ad hoc dal laureando e basata su un microcontrollore di marca infineon, interfacciato via seriale al computer di bordo ausiliario, anche questo auto costruito dal laureando, tramite protocollo di comunicazione EIA RS232C. Un sistema telemetrico secondario di tipo commerciale e automobilistico, usato più che altro in ridondanza, a scopo di sicurezza in caso di fallimento della prima lettura tramite la telemetria auto costruita, e un terzo livello, sempre auto costruito, che opera in logica negata e punta al terreno circa 20 centimetri di fronte alle ruote anteriori rilevando le eventuali buche.

• 2.4 Visione: algoritmi e hardware

Negli ultimi anni la potenza di calcolo e quindi la possibilità di elaborare immagini è notevolmente migliorata dando la possibilità di ottenere applicazioni stabili e veloci di simulacri della vista umana.

Sono stati sviluppati e resi di pubblico dominio molti algoritmi che possono trovare applicazione anche nel settore della robotica oltre che nella videosorveglianza, controllo accessi e simili.

L'intervento basilare che ha permesso questa miglioria delle performance è l'introduzione dei coprocessori grafici operati su porte del bus da prima semplicemente dedicate come il canale AGP, e poi accelerato come nei moderni PCI express.

La prima versione dello slot AGP raddoppiava la frequenza di un normale slot PCI, raggiungendo quindi i 133 MHz. Successivamente le versioni 2.0 e 3.0 hanno raddoppiato ogni volta la frequenza, fino a raggiungere i 533 MHz dell'anno 2007 in cui lo standard tende ad essere abbandonato per fare spazio al più performante PCI express. Per prevenire problemi di compatibilità tra le differenti versioni, è previsto il funzionamento in modalità 1x, quindi a 66 MHz. Questa modalità viene attivata automaticamente dal BIOS in caso di problemi.

- Modalità di compatibilità: 66 x 1 = 66 MHz, trasferimento dati a 266 MB/s
- 1.0: 66 x 2 = 133 MHz, trasferimento dati a 533 MB/s
- 2.0: 66 x 4 = 266 MHz, trasferimento dati a 1066 MB/s
- 3.0: 66 x 8 = 533 MHz, trasferimento dati a 2133 MB/s

Specifiche di alimentazione

Esistono tre tipi di alimentazione previsti dallo standard:

- AGP 1,5 V (4x/8x)
- AGP 3,3 V (1x/2x)
- AGP Universal (compatibile con entrambi i precedenti)

La molteplicità delle possibili velocità di trasmissione dei dati e dei voltaggi ha portato a problemi di compatibilità, specialmente per quanto riguarda le vecchie schede madri. A partire da quei modelli che

supportano l'AGP 3.0, i produttori si sono sforzati per supportare tutte le possibili configurazioni. Gli ultimi modelli di schede grafiche, come ad esempio la serie 6800 ultra della Nvidia, richiedono troppa potenza perché lo slot AGP possa sopportare a questa richiesta.

Con lo standard PCIe si amplia ulteriormente il canale di trasmissione dei dati video dalla memoria alla GPU e ai dispositivi di uscita, ovvero i monitor.

Un test eseguito con un benchmark ha dato i seguenti risultati:

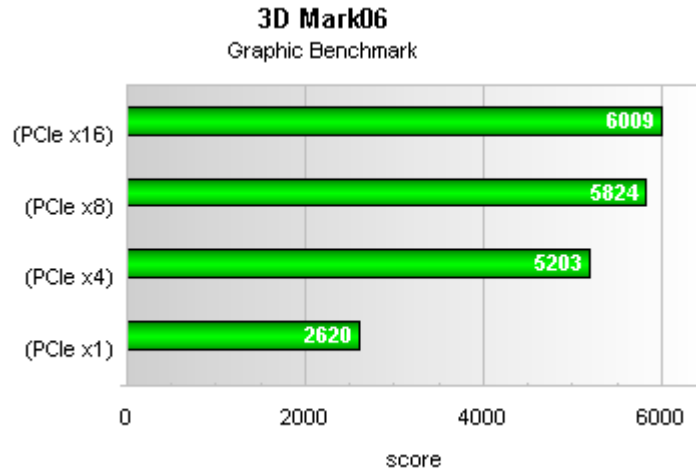


Fig 7 performache misurate di un bus grafico basato su PCI express

Il benchmark 3DMark06 di Futuremark pone sotto elevato carico la GPU, ma non richiede molta banda all'interfaccia. IL punteggio e' assegnato in comparazione a una scheda grafica con bus di tipo AGP 1x.

Un altro, interessante, intervento, questa volta di tipo algoritmico, per migliorare la visualizzazione di notevoli quantità di dati complessi è sicuramente l'impiego di quello che si definisce **FishEye View**; il sistema, teorizzato nel 1982 ma esplorato per la prima volta solo nei primi anni 90, **si basa sul concetto dell'attenzione [Focus] selettiva dell'utente**; l'importanza degli elementi visualizzati è legata, in maniera direttamente proporzionale, alla distanza degli stessi dal punto focale dell'attenzione dell'utente e alla loro dimensione. Questo concetto e' fortemente impiegato nello sviluppo software del progetto Optichair II nella sezione riguardante il metodo di guida open-cv, il quale dall'acquisizione tramite telecamera di una immagine contenete in qualsiasi posizione un viso umano, riconosce lo schema di base, distanza media occhi naso bocca e realizzando un focusa di dimesione opportuna 'stacca' l'area dell'immagine conteneterete il solo occhio, viene quindi eseguito un focus come sopra mensionato.

Da qui, con altri algoritmi di erosione, generazione di blob e calcolo del centroide, meglio spiegati al capitolo 7.2, 7.3 si determina la posizione della pupilla e si genera il segnale di comando di marcia del robot.

CAPITOLO 3 Robot "Optichair I"

• 3.1 Caratteristiche generali

Nell'era moderna sono stati sviluppati una moltitudine di dispositivi, protesi e esoscheletri progettati per aiutare l'umanità a risolvere le proprie disabilità motorie ma solo negli ultimi anni abbiamo raggiunto un livello tecnologico sufficiente per poter integrare la visione artificiale, la mecatronica, le tecnologie dell'informazione e benché sia ancora agli albori l'intelligenza artificiale sottoforma di simulazione algoritmica di reti neurali.

Esistono in commercio molti modelli di protesi che spesso usano singolarmente queste potenzialità, ad esempio protesi di gambe in fibra di carbonio meccanicamente così perfette da poter far competere il disabile in competizioni olimpiche con buone possibilità di vincere, come anche esistono protesi elettroniche così perfette da poter estendere l'udito anche oltre la normale banda acustica umana. Tuttavia non risultano ancora in produzione dispositivi altamente interdisciplinari da poter essere classificati come asservimenti robotici.

Il progetto optichair I integra con grande ambizione tutte queste tecnologie.



Fig. 8 Struttura meccanica di base

La struttura meccanica di base è una normale sedia a rotelle fortemente modificata nella ciclistica e ovviamente anche con l'aggiunta di tutti gli asservimenti elettronici e informatici necessari.

Un'ampia gamma di sensori permette alla sedia di mappare l'ambiente in cui si muove necessitando dall'operatore solo dei comandi veramente minimale che verranno gestiti e rielaborati da complessi algoritmi in esecuzione sul potente computer centrale.

I principali sensori installati sono:

- Proximiti
- Telecamere
- Sensori di pressione

Quando il controllo della sedia avviene via web per mezzo di un operatore è necessario avere un'idea precisa dell'ambiente circostante alla sedia. Questo problema è risolto dalla presenza di ben 4 telecamere di tipo USB webcam che mettono a disposizione la vista frontale, le due laterali e la posteriore. Le quattro

telecamere compaiono nella pagina accessibile dalla rete internet dopo aver risposto alla richiesta di identificarsi con login e password.

Dei sensori di prossimità del tipo automobilistico di parcheggio segnalano al sistema di controllo la presenza di eventuali ostacoli.

La batteria mostra al sistema di controllo lo stato della sua carica perché collegata ai pannelli solari tramite l'apposito circuito di controllo. I segnali vengono acquisiti dalla scheda a microprocessore e successivamente inviate tramite porta seriale al computer di bordo.

• 3.2 Ciclistica e sistemi di trasmissione

Le prime lavorazioni, per la trasformazione della normale sedia a rotelle in un robot autonomo avvengono in officina meccanica. Le sedie devono innanzitutto essere munite di un sistema di trazione elettrica dimensionata sul peso dell'oggetto stesso e del paziente che ne lo utilizzerà come ausilio. Alcune idee, concettualmente molto valide, risultano inattuabili a causa principalmente di mancanza di fondi e supporto alla ricerca, dato che il progetto Optichair I, nasce privatamente e senza un preciso scopo quale ad esempio elaborarci una tesi di laurea. Non è quindi sostenuto da alcun laboratorio di ricerca, o dipartimento universitario. Venne realizzato con "mezzi di fortuna". La mancanza di fondi è il principale motivo di ripiegio verso soluzioni meccaniche più posticce rispetto ai validi disegni dell'idea originale, nella quale si prevedeva una doppia trazione a pignone e corona di tipo ciclistico che avrebbe permesso sia la marcia avanti che la marcia indietro nonché una posizione di "folle". Questa avrebbe permesso il trascinarsi di Optichair I, come una normale sedia a rotelle quando i motori per qualsiasi ragione fossero spenti.

Si è ripiegato in questo parzialmente funzionale sistema a cinghie e pulegge visibile in foto.



Fig. 9 sistema di trazione a cinghia e puleggia.

La trasmissione funziona bene in marcia avanti e in marcia indietro ma pecca nella situazione di ruota libera, la così detta folle. Per trascinare o spingere la sedia è necessario sganciare manualmente la cinghia con una manovra non molto agevole dato che si trova in una posizione scomoda che di certo il paziente non è in grado di fare.



Fig. 10 particolare della cinghia e puleggia.

Dopo questa modifica il sistema di sgancio rapido delle ruote, normalmente impiegato in ogni sedia a rotelle, rimane operativo, infatti, premendo con il pollice al centro del pignone si sfilava tutta la ruota con l'effetto di fare anche uscire la cinghia dalla scanalatura della puleggia. Reinserendo quindi la ruota ci si trova nella posizione "folle" ovvero ruota libera per poter spingere la sedia.



Fig. 11 sgancio manuale cinghia per posizione folle.

• 3.3 Motorizzazione

Il robot Optichair I, è motorizzato tramite due attuatori D.C. per impiego auto motive, del tipo installato negli alzacristalli. Hanno un buon rapporto costo potenza anche se in certi casi, pur lavorando in tandem, risultano sottodimensionati.

Costruiti dalla fabbrica francese "Valeo", Normalmente questi motori sono montati nelle automobili di marca peugeot.

I dati di targa dell'attuatore, riportati come proposti dalla confezione, sono:

Moteur d'essuie-glace : 579151

Número(s) corto(s) : MT151

Referencia fabricante (Número OEM):

- **PEUGEOT** : 640589

Caratteristiche tecniche :

- N° di riferimento per l'ordine : MFD250
- Peso [kg] : 1,195
- Tensione ai morsetti [V] : 12
- Rotazione destra/sinistra: invertibile con ponte H o commutazione morsetto
- **Lato per il montaggio: Anteriore**
- Sensore di giro: installato per la rotazione destra (oraria)
- Sensore di giro : installato per la rotazione sinistra (antioraria)
- Flangiati per installazione destra e sinistra, specificare all'ordine.

In fase di avvio viene assorbito un picco di corrente di circa 2,5 ampere, mentre a regime con asse carico della massa della sola sedia sono necessari meno di 100 milli ampere. L'assorbimento effettivo dipenderà dalla massa caricata a bordo dell'optichair, quindi sarà proporzionale al peso del paziente.

Un altro parametro che influenza l'assorbimento è il tipo di terreno in cui la sedia dovrà muoversi. In salita la potenza richiesta sarà proporzionale alla pendenza.



Fig. 12 attrattori DC installati nella versione Optichair I

Nelle prove al banco questi motori assorbono, ad asse libero, 0,7 A con alimentazione all'indotto di 12 V, come indicato negli strumenti di misura visibili nella foto.



Fig. 13 Optichair I, assorbimento nella prova a vuoto.

L'asse del motoriduttore esegue una rotazione al secondo che viene trasmessa alla ruote tramite un sistema pignone-corona di derivazione ciclistica. Il moto è trasmesso il sistema a pulegge e cinghie esposto in precedenza, come ripiego al sistema pignone-corona di derivazione ciclistica perché di troppa difficoltosa realizzazione con mezzi di fortuna.



Fig. 14 Optichair I, flangiatura meccanica del motore di destra.

I due motori agiscono separatamente e la loro azione è controllata dalla scheda a microprocessore, che ne controlla la direzionalità.

• 3.4 Computer di bordo Optichair I

Il computer di bordo è stato assemblato per massimizzare le doti di stabilità e robustezza, difatti prodotti analoghi sono impiegati in ambiente industriale. Questo pc potrebbe essere installato all'interno di un quadro elettrico ed una volta acceso non dovrebbe richiedere mai riavvio o subire crash con necessità di manutenzione hardware. Il PC può essere riconfigurato in remoto eseguendo l'accesso da un qualsiasi terminale tramite il protocollo ssh. La teleassistenza può avvenire sfruttando tre punti principali di accesso, la rete locale L.A.N., la rete WiFi, il protocollo UMTS disponibile nella rete di telefonia mobile.

Le potenzialità sono:

- Scheda madre pico ATX intel con video integrato che condivide la memoria di sistema fino 128 Mbyte.
- Processore intel Celeron®, 1400MHz, FSB 300MHz.
- 6 porte USB 2, di cui 4 a pannello e 2 disponibili onboard.
- 4 porte seriali sul pannello frontale.
- 1 porta parallela.
- 2 porte ethernet con connettore RJ45.
- Porta WiFi per il collegamento senza fili.
- Scheda audio integrata.
- Porta PS2 per eventuale mouse e tastiera.
- Alimentatore 150W.
- Hard Disk da 80 GigaByte Maxtor IDE ATA133.



Fig. 15 Aspetto interno del computer di bordo.



Fig. 16 interface di I/O del computer di bordo

• 3.5 Sistema operativo e software

Il computer di bordo è gestito da un sistema operativo di tipo Linux versione Ubuntu con core 8.10. Questo sistema è di libera distribuzione il termine sudafricano “ubuntu” può essere tradotto in “per l’umanità”. Il logo è mostrato nell’immagine:



Fig. 17 Logo ufficiale del sistema operativo ubuntu.

Come ogni altra distribuzione di Linux, anche ubuntu gestisce la multiutenza e il multitasking rendendolo particolarmente adatto alla nostra applicazione che richiede la visualizzazione simultanea di ben 5 videocamere, la gestione dei servizi web abbinati al telecontrollo, l’interfacciamento con la scheda elettronica che ospita il microcontrollore PIC che gestisce gli apparati sensoriali, i motori e la relativa elettronica di potenza.

Il sistema è anche particolarmente stabile nella gestione di ben tre punti di accesso verso la rete L.A.N., due di tipo cablato e una di tipo wireless.

• 3.6 Modifiche strutturali

La struttura robotica è costituita dal telaio di una normale sedia a rotelle modifica in modo da poter essere mossa da motori DC, controllata da ben 2 computer di bordo di cui uno con sistema operativo Linux Ubuntu, giunto alla versione 10.10 e uno che si comporta invece da PLC per il controllo diretto delle periferiche di attuazione, ovvero i motori, più una parte di quelle sensoriali.

Lo chassy è stato modificato in molte parti per poter alloggiare tutti i sistemi elettrici, elettronici, meccanici e multimediali.



Fig. 18 installazione del computer principale di bordo e sistemi elettronici principali di alimentazione

• 3.7 Cablaggi e assemblaggio del robot

Assumendo come valida la regola empirica e semplificativa che il conduttore elettrico dedicato al collegamento della potenza del motore possa portare fino 4 ampere per milliro quadrato, ed assunto che in fase di spunto ogni motore richiede circa 5 A, che possono salire a 8 A in fasi di avvio particolarmente gravose, come si e' evidenziato dalla brova a rotore bloccato eseguita al banco, si dimensiona la piattina rosso/nera di collegamento tra il punto equipotenziale del ponte ad H e i morsetti dell'indotto di ogni singolo motore alla sezione di $2,5 \text{ mm}^2$

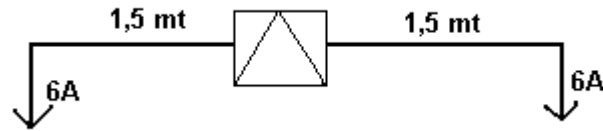


Fig 19 Impianto elettrico di potenza in Optichair I

L'impianto elettrico risulta essere configurato a doppio sbalzo con un momento elettrico pari a 9 amper metro in fase di avvio, per ogni ramo.

Ogni motore di Optichair I e' stato collegato tramite il ponte ad H di cui lo schema sottostante:

Inversione di marcia del motore D.C.:

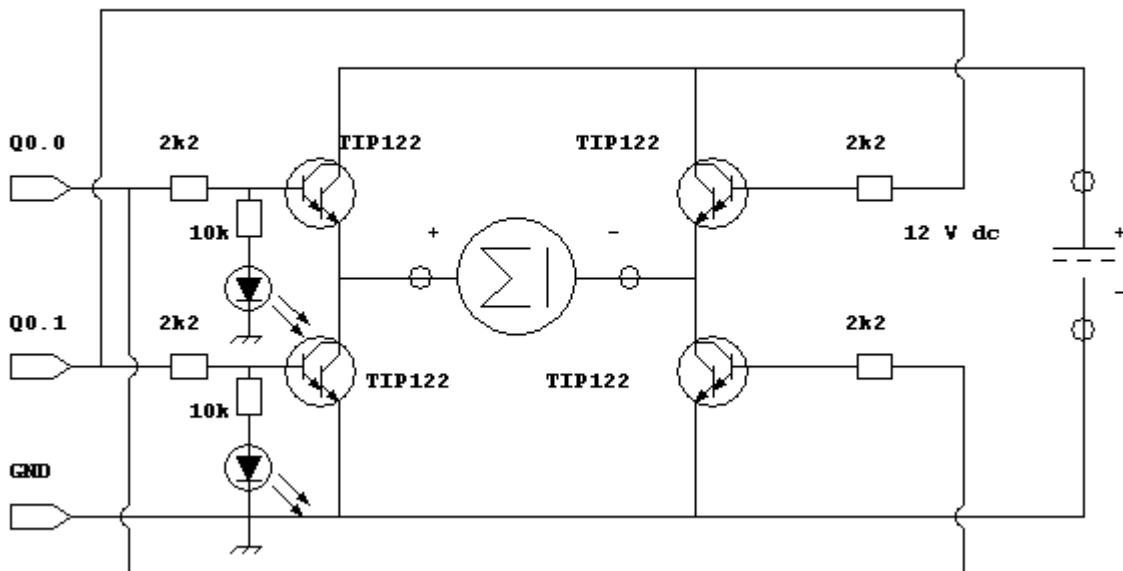


Fig 20 ponte ad H realizzato con darlighton TIP122 (max 8A)

IL PCB della realizzazione e' il sottostante, ed e' stato costruito sia in versione domestica con il procedimento di fotoincisione a raggi UV, usando una vecchia lampada per la cancellazione delle eerpom, che in maniera professionale delegando una fabbrica specializzata nella costruzione di PCB dopo avergli fornito i file costruttivi gerber ottenuti rielaborando lo schema con il CAD Eagle.

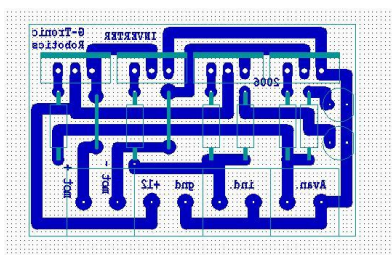


Fig 21 PCB ponte H

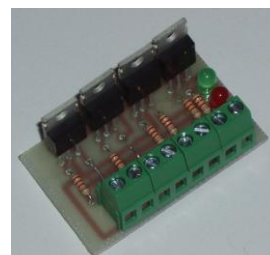


Fig 22 ponte H realizzato

Il test al banco del ponte ad H e' visibile nella foto sottostante, le misure elettriche evidenziano 0,8 ampere di assorbimento continuo ad asse libero, 3 ampere continui di assorbimento con robot scarico (senza paziente) per ogni asse, 6 ampere a assi bloccati (il robot viene trattenuto) i transistor risultano molto caldi ma non si distruggono.

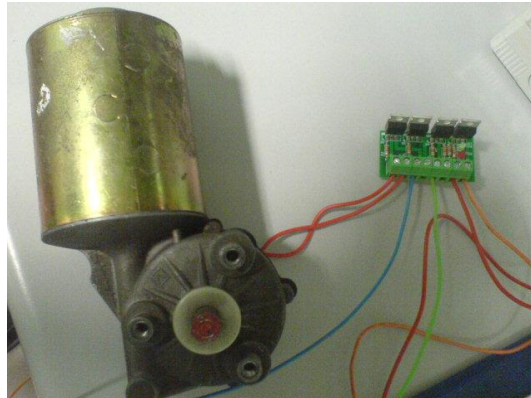


Fig 23 collaudo del ponte H di Optichair I

• 3.8 Sistemi di alimentazione di Optichair I

Il prototipo è energizzato da un accumulatore al piombo di derivazione motociclistica piombo-acido. Il migliore rapporto peso potenza è stato ottenuto con l'accumulatore modello SK12-18 a circuito sigillato prodotto dalla SKB.



Fig. 24 accumulatore al piombo SK12-18.

L'accumulatore è in grado di erogare in maniera continua 4,5 A con una autonomia di oltre 3 ore. Questa autonomia è intesa per una situazione in cui non siano presenti fonti di ricarica simultanee all'utilizzo e con i motori di trazione in marcia a pieno a carico. La casa costruttrice dichiara una potenza di 216 watt corrispondenti a una energia trasferibile di 777.600 Joule all'ora. (circa 800KJh).

La ricarica dell'accumulatore deve avvenire con questi parametri:

- Tensione raggiunta di ferma carica: 13,5 ~13,8V
- Tensione media di carica: 14,6 ~15,0V
- Corrente di carica iniziale: 4,5 A

Generazione della fonte di energia alternata.

La fonte di energia principale del robot è costituita da uno o più accumulatori al piombo di derivazione motociclistica o automobilistica, notoriamente in grado di fornire tensione, e quindi corrente di tipo continuo. La tensione ottimale di pieno carico supera di circa un volt e mezzo la nominale di 12 Volt. Dato che l'inversione di corrente per porre l'accumulatore in fase di carica avviene solo superando la barriera di potenziale che sovrasta di almeno 1,4 volt la tensione massima di fermo carica, i caricabatterie normalmente spingono nell'accumulatore, impiegato in questa fase con la convenzione degli utilizzatori, dai 14,5 ai 15 volt.

Un inverter è un circuito utilizzato per convertire la tensione o corrente continua in tensione o corrente alternata simmetrica e quanto più possibile simile ad una sinusoide simmetrica con le grandezze caratteristiche uguali a quelle della rete nazionale oppure da queste variabili in un campo (range) che rende possibile il controllo delle macchine elettriche.

Alcuni inverter, di fattibilità più economica, propongono al dispositivo da alimentare una forma d'onda in origine quadrata e simmetrica rispetto lo zero, che grazie a un successivo filtro passabasso di tipo a pi-greco induttivo e resistivo (filtro a K costante), o semplicemente sfruttando le analogie di questo circuito con lo schema semplificato di un trasformatore elevatore, smussa gli spigoli, eliminando le armoniche di ordine superiore che le generano. Si ottiene così una forma d'onda che non è né quadrata né sinusoidale che assume il nome di pseudo sinusoidale. Nella maggior parte dei casi questa forma d'onda è accettabile per l'alimentazione dei dispositivi elettronici.

Alcuni inverter sono circuitualmente semplici e di dimensioni ridotte quindi integrabile nelle schede elettroniche. Questi hanno scopi differenti dai precedenti, potrebbero ad esempio servire ad innalzare una tensione continua da usare come riferimento per una linea in cui, da diversa fonte, è disponibile una elevata corrente dando la possibilità di creare una sorgente di maggior potenza. Questo esempio si addice bene a per quegli inverter utilizzati in tutte quelle applicazioni in cui da una fonte DC di limitata tensione ma elevata potenza, ad esempio gli accumulatori al piombo delle automobili, si vuole ottenere una elevata potenza. Gli inverter inoltre sono utilizzati per convertire in corrente continua generata dai pannelli fotovoltaici, pile o batterie, ecc, in corrente alternata e quindi può essere immessa in rete o utilizzato in impianti elettrici semoventi.

Un'oscillazione ad onda quadra abbastanza stabile e con un ampissimo campo (range) di frequenze si può ottenere facilmente con un circuito a transistor chiamato multivibratore astabile. Il concetto di base è rappresentato nello schema a blocchi sottostante.

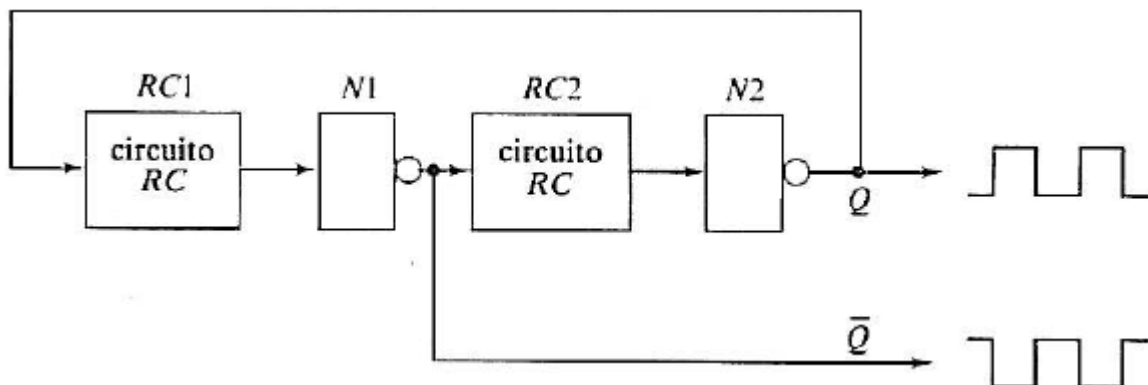


Fig. 25 schema di principio del convertitore statico (inverter)

La porta N1 è un invertitore (NOT logico) formato dal transistor BC337 del ramo di destra e dalla sua resistenza in collettore, si veda la figura successiva rappresentante lo schema elettrico, il cui valore è calcolato sia per non superare la massima corrente di collettore del BC337 che per far saturare correttamente il darlington TIP122 che richiede nella giunzione base emettitore una corrente di circa 10 mA. Si nota che nello schema esiste un gruppo formato da 1K per la corrente di collettore e (330Ohm+1K) per la base del TIP122, ma un'ottima alternativa, utilizzata nella progettazione della basetta, è l'impiego una sola resistenza del valore di 330 Ohm al posto di quella da 1K, e di collegare la base del TIP122 direttamente al collettore del BC337.

La porta N2 è un invertitore composto dal transistor del ramo di sinistra e dal suo gruppo resistivo di collettore il cui dimensionamento sarà, per simmetria, identico a quanto sopra indicato.

Le basi tempo sono formate dai circuiti connessi alle basi dei BC337, ovvero la serie del resistore fisso nello schema riportato a 12K e dal punto di regolazione a trimmer del valore di 2,2K, in serie alla capacità da 2,2uF elettrolitico. Nella realtà sarà preferibile allargare la finestra di regolazione aumentando il valore della resistenza variabile a 4K7 e riducendo di conseguenza quella fissa a 10K. Il valore della capacità è preferibile sia 4,7uF allo scopo di partire da un valore più prossimo a 50Hz prima di effettuare qualsiasi taratura per la quale è necessario un oscilloscopio.

I collegamenti tra le porte di inversione garantiscono che, quando il transistor TR1 di destra è saturo, il transistor TR2 di sinistra è interdetto, e viceversa.

Approssimativamente, il periodo temporale durante il quale TR1 è interdetto è fornito, in secondi, dalla relazione $T=0,7 \cdot R \cdot C$, e per simmetria lo stesso tempo è di interdizione per TR2.

In questi oscillatori astabili il periodo di oscillazione è dato da $T=1,4 \cdot R \cdot C$ dove R è il valore totale del trimmer con aggiunto il valore della resistenza fissa posti direttamente in serie alla capacità.

La frequenza di oscillazione è data ovviamente dall'inverso del valore ottenuto per il periodo $f= 1/T$.

Dalla teoria alla realizzazione si noteranno degli scostamenti tra il valore calcolato del periodo e quello visualizzato dall'oscilloscopio. Lo scostamento è dovuto alle tolleranze dei resistori e delle capacità, ma un'azione di taratura sui trimmer porterà la frequenza agli attesi 50Hz e il duty cycle al 50%.

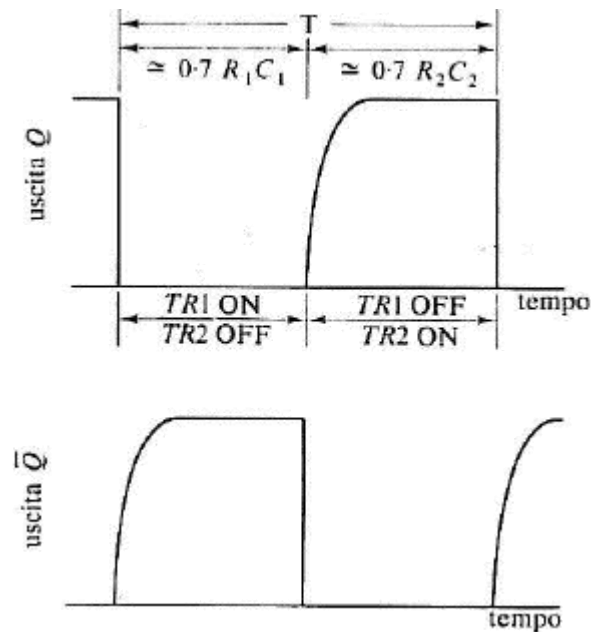


Fig. 26 forme d'onda complementari di controllo dello stadio di potenza dell'inverter.

L'oscilloscopio rivela che il fronte di salita della tensione di uscita è arrotondato, questo inconveniente può essere attenuato con modificazioni del circuito che restituiranno un'onda quadra perfetta, ad esempio con l'ausilio di diodi zener, o utilizzando un Flip-Flop o altro, queste modificazioni aumenteranno la stabilità della frequenza della tensione di uscita.

Anche se il circuito può essere soggetto a derivate termiche o a necessità di ritature il suo funzionamento è sicuro e la realizzazione molto semplice pertanto è usatissimo come generatore di onde quadre.

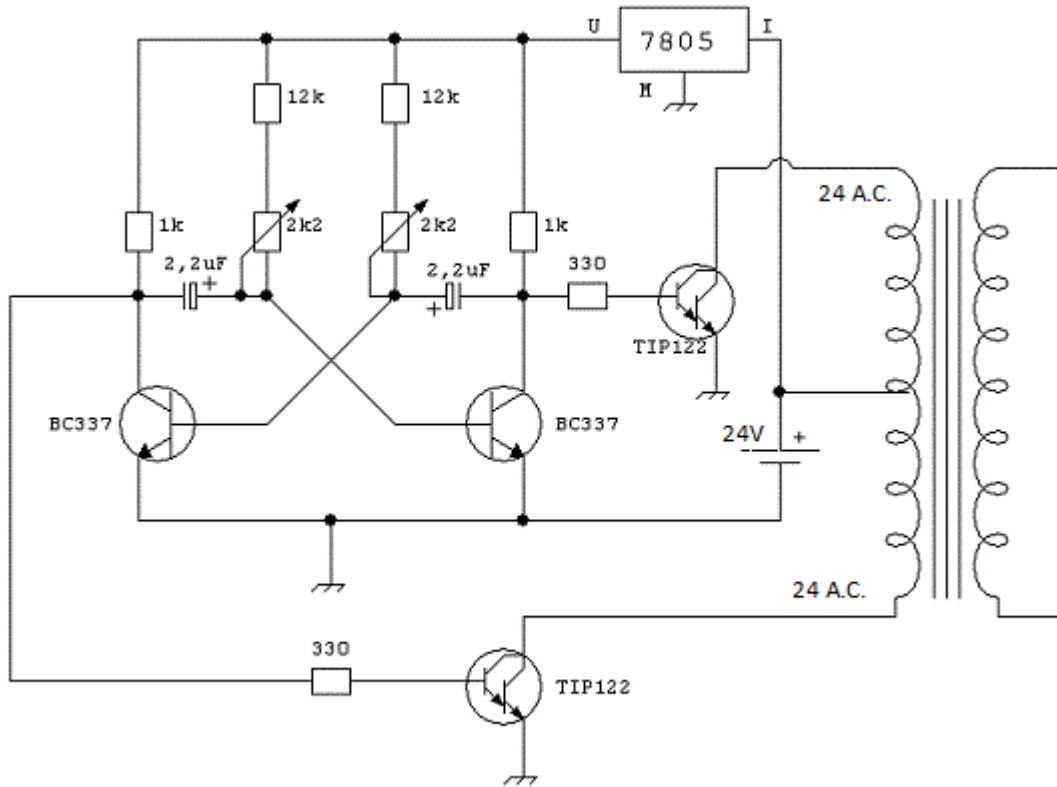


Fig. 27 schema elettrico dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I.

Nella prossima immagine è visibile la realizzazione pratica dell'inverter (utilizzato solo nel prototipo di Optichair) con il Cad elettronico di libera distribuzione FidoCad. Il file di setup è scaricabile da internet.

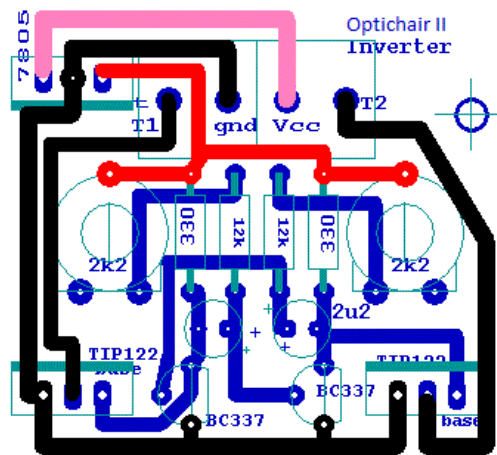


Fig. 28 Circuito stampato dell'inverter, lato rame.

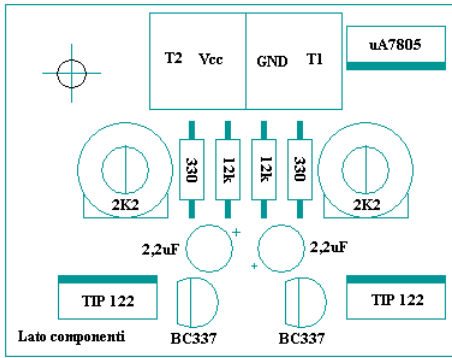


Fig. 29 Lato componenti.

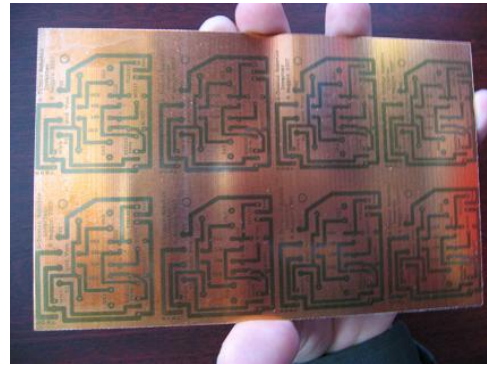


Fig. 30 inverter prototipo, fotoincisione.

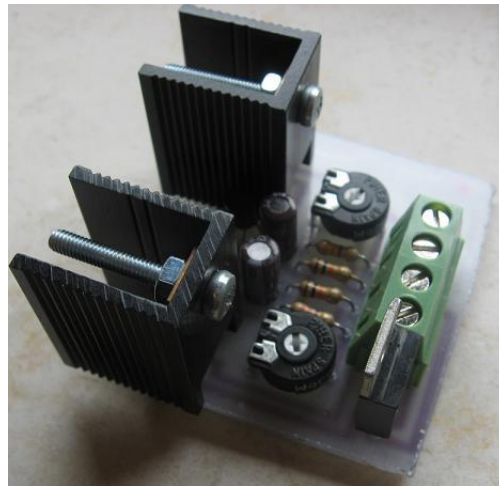


Fig. 31 Realizzazione dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I

La Basetta, una volta alloggiati i componenti, si presenta come nella figura sovrastante, i darlighton sono muniti di un piccolo dissipatore perché potrebbe essere necessario smaltire un po' di calore. La distribuzione dei componenti è ben congegnata quindi il progetto si presenta ordinato e funzionale. I trimmer per la taratura sono bene accessibili e come si nota nella figura, il regolatore di tensione non necessita di dissipatore dato che deve alimentare il solo multivibratore astabile e le basi dei darlighton.

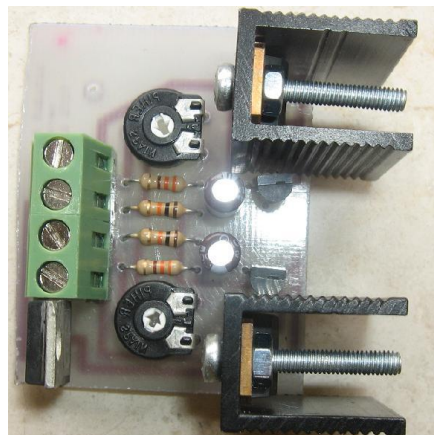


Fig. 32 vista in pianta dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I

In questa seconda foto, vista in pianta, possiamo vedere i due BJT di segnale di tipo BC337 e la corretta polarità dei condensatori elettrolitici. Si nota anche la posizione dei due trimmer che grossomodo dovrebbero rispecchiare il posizionamento di ogni esemplare dopo che si è eseguita la taratura fine con l'oscilloscopio in modo da assicurare i 50Hz. I valori delle resistenze sono quelli più congeniali per questo progetto ovvero 10K, e 330 Ohm. La basetta misura solo 50mm X 40mm. Benché questo progetto sia stato specificatamente sviluppato per il robot Optichair, potrà trovare applicazione anche in altri ambiti come ad esempio in piccoli sistemi didattici dimostrativi fotovoltaici in cui si vuole dimostrare che da un piccolo pannello solare, che fornisce una tensione continua di ad esempio 24V, possiamo ottenere facilmente una tensione alternata con i parametri standard della rete nazionale, ovvero 220V eff. E 50Hz di frequenza.

Punto debole di questo progetto è la potenza che può essere manipolata, che trova una limitazione nella massima corrente gestibile dai darlington, ovvero 8 A.

La potenza apparente di dimensionamento del trasformatore sarà: $V \cdot I = 24 \cdot 8 = 192$ [VA] appena sufficiente per alimentare il computer principale di bordo in caso che il DC/DC converter PICO Dragon, si veda paragrafo 5.2, non sia più operativo.

Per questioni di ulteriore sicurezza, anche se questo inverter è perfettamente funzionante, nel prototipo è stato sostituito con un prodotto commerciale notevolmente più potente.



Fig. 33 inverter a onda modificata Zodiac 600W.

L'inverter utilizzato è prodotto dalla Zodiac ed è in grado di trasferire al carico 600W. Produce una forma d'onda pseudo sinusoidale (sinusoide modificata). Contiene una protezione contro i corticircuiti e i sovraccarichi di corrente.



Fig. 34 entrata DC e ventola di raffreddamento

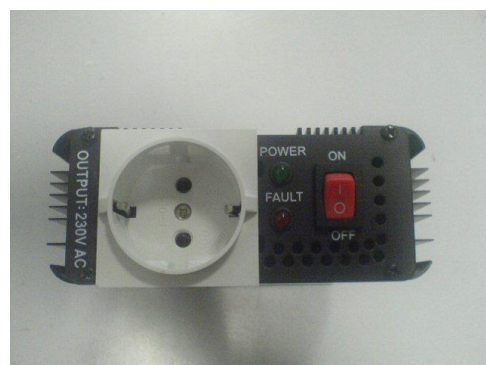


Fig. 35 uscita AC e interruttore

Nel secondo modello di sedia Ottica, notevolmente più evoluto in praticamente ogni ambito, sia hardware che software, a seguito di una riprogettazione dell'impianto elettrico, ogni parte a tensione 'pericolosa' è stata eliminata. Il principale compito affidato agli inverter, ovvero l'alimentazione dei computer di bordo è stato delegato al dispositivo di conversione DC/DC esposto al paragrafo 5.2.

In pratica l'inverte esposto in questo paragrafo è stato eliminato sia nella versione auto costruita che in quella commerciale.

La sedia ottica è in grado di autoricaricare l'accumulatore al piombo usando l'energia convertita dai pannelli solari montati lateralmente sotto i braccioli. La carica è comunque molto lenta data la scarsa energia che i dispositivi fotovoltaici, ottenuti con mezzi di fortuna, sono in grado di fornire.

Nel disegno originale di Optichair I, i due elementi fotovoltaici previsti sarebbero stati installati sotto ai due braccioli e l'apertura è pensata servoassistita da due mini motoriduttori DC, a seguito di un comando ottico o manuale o in posizione di parcheggio.

Nota: Nel prototipo del robot optichair i pannelli sono in realtà montati in posizione fissa sopra al computer principale di bordo.



Fig. 36 pannello solare montato posteriormente nel prototipo.

Il pannello solare installato misura 40cm x 25cm della potenza di circa 18 Watt. E' in grado di fornire fino a 24 volt con una corrente di circa 500 milli ampere, è in grado quindi di contribuire alla ricarica della batteria scelta per il progetto. Benchè data la limitata potenza disponibile dal pannello e l'ulteriore limitazione dovuta ai darlighton impiegati nell'inverter autocostruito, questi è stato collegato in fase di test a una lampadina a basso consumo di uso civile la quale si è accesa in maniera ottimale.



Fig. 37 Aspetto finale del robot Optichair I.

CAPITOLO 4 Robot "Optichair II"

• 4.1 Caratteristiche generali

Optichair II rappresenta la naturale evoluzione del precedente prototipo, nella quale si è cercato di eliminare, per quanto possibile con i mezzi artigianali a disposizione i difetti strutturali, funzionali e concettuali incontrati nella realizzazione del primo modello.

Lo scoglio principale riguardava la meccanica e la coppia motrice disponibile, per quanto invece riguardava i sistemi informatici di controllo e multimediali, nonché gli apparati sensoriali e di alimentazione i risultati erano più che sufficienti. Viene aggiunto nel modello Optichair II lo studio e la sperimentazione dei sistemi di guida BCI. Viene cambiato il computer di bordo, notevolmente potenziato verso il processore di nuova generazione C7.

Le misure esterne del robot sono aumentate ed immancabilmente anche la massa, Teniamo presente che la ciclística di base del primo modello derivava da una sedia per bambino, mentre il modello attuale è in grado di trasportare facilmente pazienti adulti anche di notevole peso corporeo.

Le misure del modello Optichair II sono indicate nell'immagine seguente:

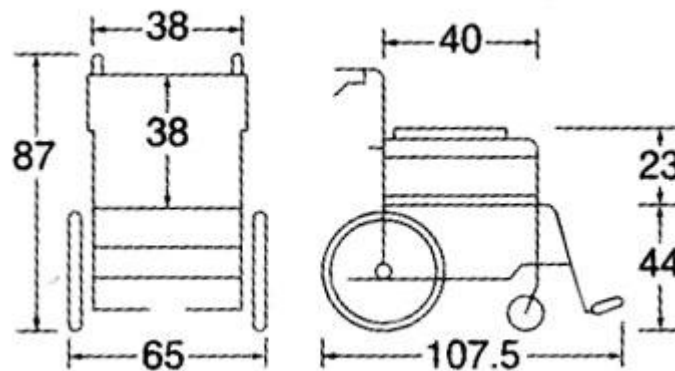


Fig. 38 ingombri di massima della ciclística di Optichair II

• 4.2 Ciclística e sistemi di trasmissione

Sia la ciclística che i sistemi di trasmissione e motorizzazione, nel modello Optichair II sono stati notevolmente migliorati. In primo luogo spariscono le trasmissioni a cinghia pulegge, vero punto critico del primo modello, che vengono sostituite con catene cinematiche di riduzione meccanica, ovvero ingranaggi metallici, autofrizionanti, quindi quando il robot è inerte, leggasi non alimentato, è possibile spingerlo come una normale sedia a rotelle, senza la necessità di effettuare qualunque manovra di preimpostazione, sganci, o similari.

Sia le ruote anteriori che posteriori risultano molto più robuste e adatte al caso rispetto al primo modello e benché il telaio risulti molto più robusto il peso complessivo del sistema non si discosta molto dal precedente. Svantaggiosa risulta essere complessivamente la massa del pacco batterie, notevolmente più pesante e ingombrante della singola impiegata nel primo modello.

L'autonomia risulta però molto più realistica come impiego in ambito outdoor.

Il robot è mosso da due motori D.C. del tipo spazzole e collettore ad eccitazione a magnete permanente.

L'indotto è dimensionato per essere alimentato a 24V D.C.

I dati di targa indicano una potenza di 130W, per un assorbimento in continuo alla coppia nominale di circa 5 ampere.

Il blocco motore e moto riduzione ha un aspetto molto più massiccio della versione precedente, e risulta flangiato in maniera molto robusta.

La meccanica e l'elettromeccanica è correttamente dimensionata per carichi a bordo attorno ai 100Kg.



Fig. 39 motorizzazione e trasmissione Optichair II

• 4.3 motorizzazione di optichair II

Il modello Optichair II è motorizzato in maniera molto più appropriata del primo prototipo. I due motori prodotti dalla "Valeo" sono stati sostituiti con due costruiti dalla "Micro-motor". Nella foto sottostante sono riportati i dati di targa. Si tratta di attuatori DC funzionanti con tensione di indotto di 24 V ottenuta dalla serie di due accumulatori al piombo di derivazione automobilistica.

Ogni motore dichiara una potenza di 150W.

La riduzione meccanica integrata nel blocco motore risulta essere frizionata elettromagneticamente così che quando non alimentati i motori si trovano automaticamente in una posizione di "folle", ovvero ruota libera che permette di spingere il robot come una normale sedia a rotelle quando questa si trovi in condizione di power fault o di batterie scariche.



Fig. 40 uno dei due motori di Optichair II

La sottostante tabella raccoglie le caratteristiche elettriche e meccaniche degli attuatori.

Tab. 1 dati di targa degli attuatori D.C. del modello Optichair II

Informazioni tecniche degli attuatori		
Voltaggio nominale	[VDC]	24
Potenza nominale	[W]	2 x 150
Velocità a vuoto (asse libero)	[min_1]	80
Coppia nominale	[Nm]	20
Coppia di avviamento	[Nm]	90
Corrente nominale (a 24 volt dc) Variabile in funzione del voltaggio, velocità e coppia resistente.	[A]	9
Diametro consigliato ruota	[inch]	22", 24"
Tipo di flangiatura		Adattata allo sgancio rapido compresi i freni elettromagnetici integrati
Peso (comprese le ruote)	[kg]	2 x 9

Si tratta di motori in continua ad alta efficienza, progettati per fornire ad un diametro standard di ruota pari a 22 pollici una velocità di 6 Km/h, che quando usati con il pacco batterie fornito in abbinamento dalla stessa casa costruttrice è in grado di garantire una percorrenza di 20 Km. La casa costruttrice ha ingegnerizzato un Kit di trasformazione compatto e leggero che integra due motori analoghi a quelli impiegati nel robot. La costruzione risulta leggera e compatta, e sembra essere in grado di interfacciarsi a qualsiasi meccanica di base delle sedie a rotelle in commercio, o almeno, a detto della casa costruttrice a quelle più diffuse. Il kit comprende anche una joystick a cui vengono abbinate le fondamentali operazioni manuali di movimento. IL kit prevede anche un sistema elettromagnetico di freni abbinato anche a un sistema manuale che risulterebbe comunque inutile al paziente con SLA a cui è destinato il progetto del robot, non sarebbe infatti in grado di azionarlo, ma potrebbe risultare utile all'operatore sanitario, quando presente.

I freni elettromagnetici di questo Kit quando alimentati a +24DC bloccano le ruote fino all'applicazione di una coppia esterna pari a 4Nm.

I kit vengono messi in commercio con certificazioni classificate:

- TÜV certified - Nr. B 09 09 57104 002
- „Hilfsmittelverzeichnis“ Nr. 18.99.05.1015

Questi kit di trasformazione delle normali sedie a rotelle possono essere impiegati per ottenere un'ottima base di partenza per la costruzione di esemplari del robot Optichair II in serie.

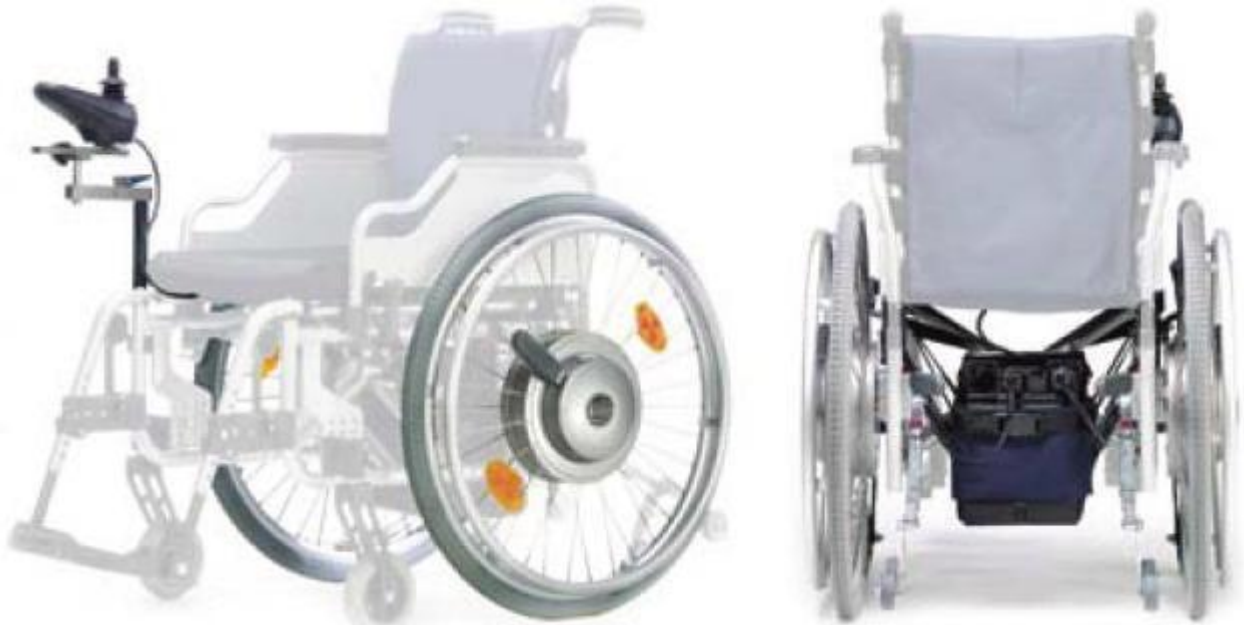


Fig. 41 Kit di trasformazione di normali sedie a rotelle in Optichair II

• 4.4 Sistema di guida manuale

Il Robot integra un sistema hardware di guida manuale, totalmente inutile al paziente dato il tipo di menomazione fisica causata dalla SLA in stadio avanzato, ma il sistema risulta di grande utilità per gli operatori assistenziali, in qualche caso assegnati ai pazienti, e ai meccanici/sistemisti che dovranno operare spostamenti di manutenzione e controllo di efficienza dei sistemi robotici. I contatti della leva di comando risultano essere anche il punto di più facile interfacciamento con il sistema automatico di controllo, infatti ad essi vengono parallelati i contatti puliti dei relè le cui bobine sono connesse direttamente al secondo computer di bordo, ovvero il PLC auto costruito basato sul microcontrollore prodotto dalla Microchip siglato 16F877A.



Fig. 42 comandi manuali

Il sistema di guida manuale e' in grado di generare tramite due potenziometri mossi dall'asse del joystick due segnali analogici che possono modulare i due segnali PWM da inviare alle ruote. I segnali vengono bufferizzati da degli inseguitori di tensione realizzati tramite i circuiti integrati amplificatori operazionali LM324, e inviati tramite all'inverter auto costruito, alloggiato sotto il bracciolo destro, ai ponti di inversione di potenza, e successivamente ai motori DC connessi alla ruote.



Fig 43 Particolare della centralina di controllo joystick (si notano i potenziometri X-Y)

• **4.5 Sistema override**

In fase di diagnostica della funzionalità dei motori il meccanico interviene interfacciandosi al computer di bordo tramite un dispositivo palmare contenente un display in risoluzione VGA e una emulazione di tastiera PS2 contenente solo i tasti freccia.

Nel display comparirà l'interfaccia di override avente l'aspetto rappresentato in figura.

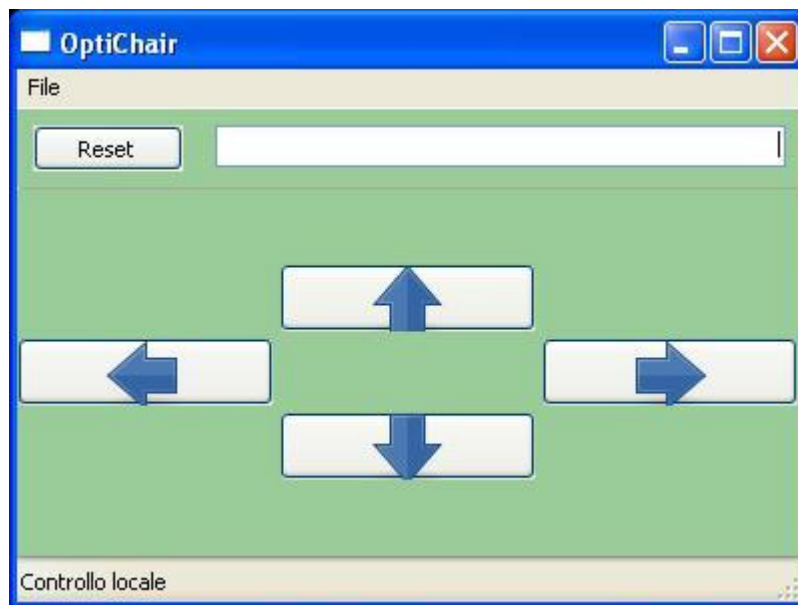


Fig 44 Intefaccia wx-python di override

Per lo sviluppo del software è stato utilizzato il linguaggio di programmazione Open Source Python.

Librerie:

- Interprete python versione 2.5.2
- Libreria per interfaccia grafica wxpython 2.6
- Modulo di gestione porta parallela pyparallel 0.2-6

Script:

- override.py
- lingua.py

Lo script principale override.py contiene le istruzioni per visualizzare una finestra che contiene i comandi mappati sui pulsanti e che inviano gli impulsi sulla porta parallela.

La mappa dei comandi eseguibili tramite i tasti freccia della tastiera oppure tramite il mouse è la seguente:

- avanti D0
- indietro D1
- destra D3
- sinistra D4

si nota che viene saltato il bit D2 perché viene gestito dal sistema operativo in fase di avvio del computer di bordo e potrebbe causare un comando di marcia inesistente. Il bit D2 è infatti normalmente usato per controllare se la stampante è in linea.

Lo script lingua.py permette la gestione delle etichette in lingua.

La porta parallela (LPT1) permette un collegamento immediato tra il PC e circuiti digitali esterni. I livelli sono in logica TTL (0..5V), possono essere utilizzati in modo immediato 8 bit in uscita e 5 in ingresso. I rimanenti 4 segnali sono normalmente delle uscite, ma possono anche essere letti (attenzione: in questo caso vanno pilotati con delle porte open collector).

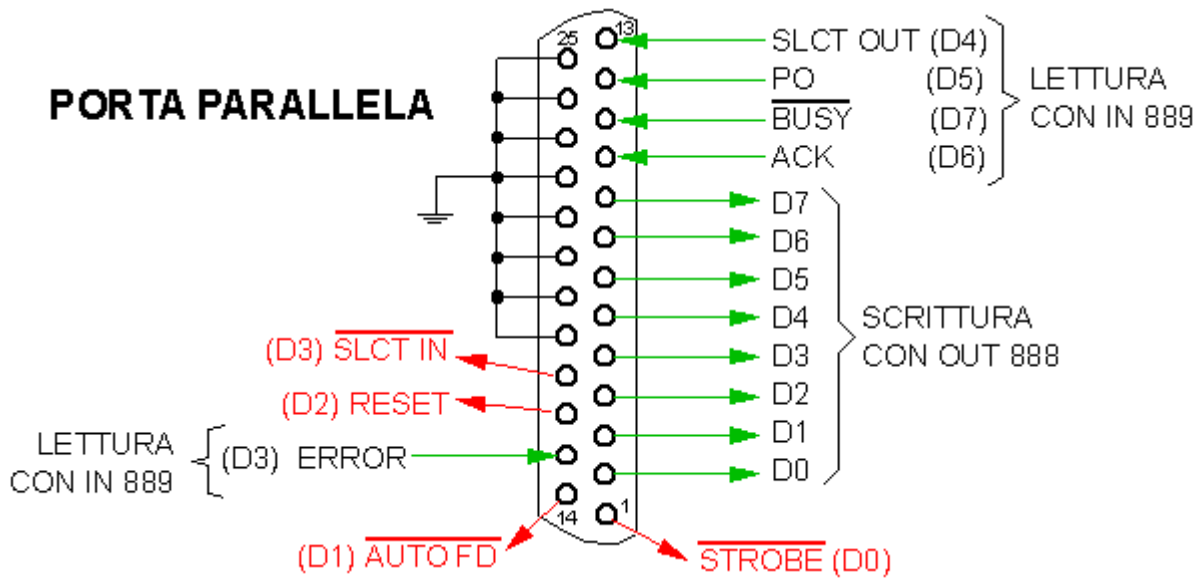
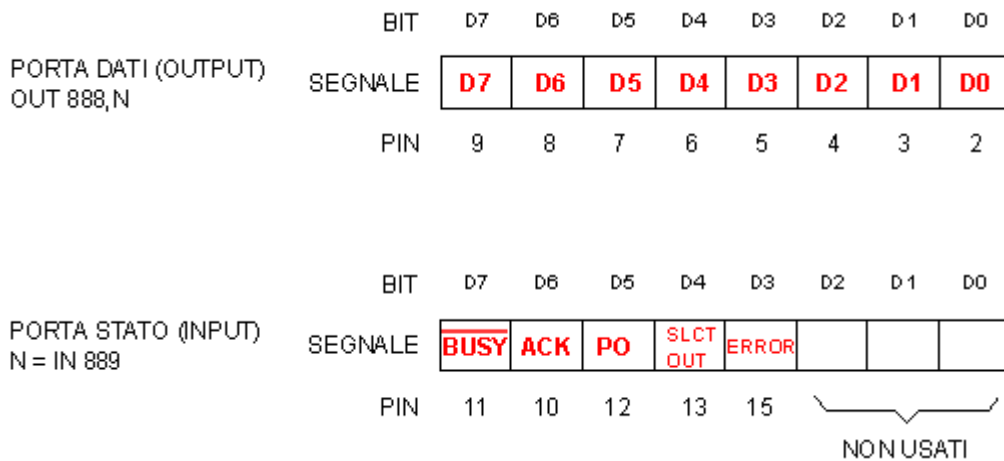
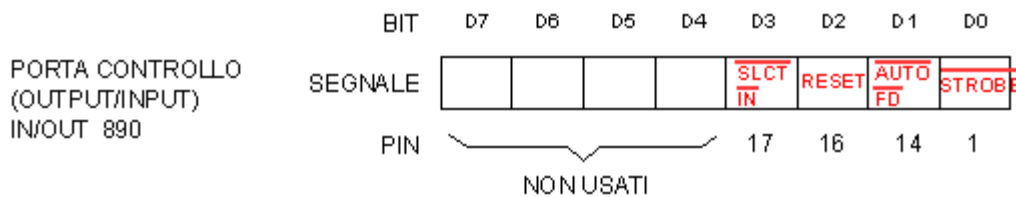


Fig. 45 Connessioni della porta parallela standard.

Per accedere ai pin della porta fisica si deve scrivere o leggere negli appositi registri di ingresso/uscita del PC. Per scrivere un dato sui fili D0..D7 si scrive all'indirizzo 888. Per leggere dai fili di stato (pin 10 11 12 13 15) si deve leggere dall'indirizzo 889 (i 3 bit meno significativi non sono usati e BUSY è negato).



Volendo usare anche la porta di controllo si deve ricordare di non alterare il valore del bit D4 (enable interrupt). Sul PC i valori dei bit letti dalla porta di controllo sono: 11001100.



Cavo parallelo per LapLink:

SEGNALE	PIN DB25	al	PIN DB25	SEGNALE
D0	2	----->	15	ERROR
D1	3	----->	13	SLCT OUT
D2	4	----->	12	PO
D3	5	----->	10	ACK
D4	6	----->	11	BUSY
ACK	10	<-----	5	D3
BUSY	11	<-----	6	D4
PO	12	<-----	4	D2
SLCT OUT	13	<-----	3	D1
ERROR	15	<-----	2	D0
GND	25	-----	25	GND

I segnali provenienti dal telecontrollo web si trovano nei primi 4 bit della porta parallela ai pin 2,3,5,6 codificati come le relative stringhe binarie per i numeri 1,2,8,16.

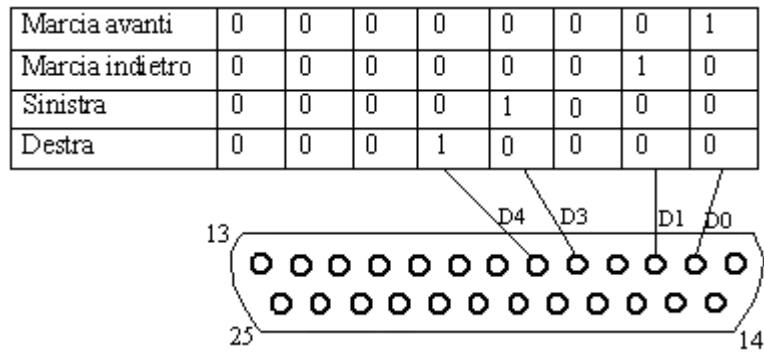


Fig. 46 comandi inviati alla porta parallela (LPT1).

• 4.6 Sistemi di alimentazione

La potenza necessaria, e quindi la coppia motrice, agli assi dei due motori, è fornita da due potenti accumulatori al piombo di derivazione automobilistica. I dati tecnici principali sono:

- Tensione ai morsetti 12V DC
- Potenza nominale dichiarata 80Ah
- Massa 18 kg
- Dimensioni 278X175X190 mm
- Collegamento serie, per una tensione complessiva pari a 24 V DC

Nella prossima immagine è riportato il collegamento degli accumulatori al piombo all'interno del pacco batterie costruito in vetroresina.

Esternamente fuoriescono 4 punti di connessione e un pulsante, quindi monostabile, da utilizzarsi nel caso in cui l'energia non sia più sufficiente per il movimento della massa del robot più quella del passeggero, ma che comunque debba garantire l'accensione dei sistemi di segnalazione del robot/veicolo fermo come previsto dal codice della strada.

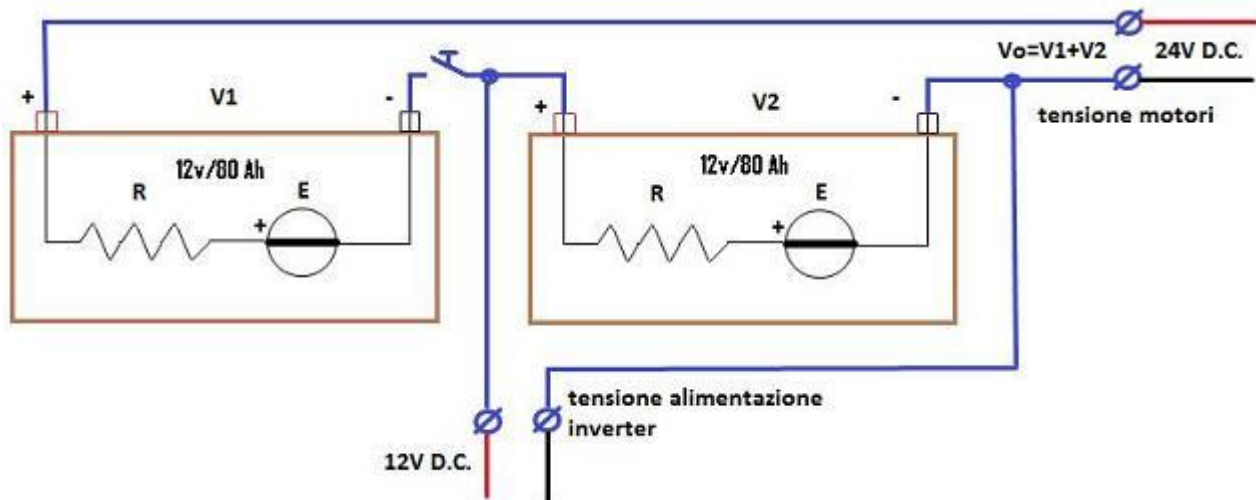


Fig. 47 Schema elettrico di collegamento degli accumulatori nel pacco batterie



Fig. 48 accumulatori al piombo in manutenzione. Pacco batterie

La carica degli accumulatori è monitorata da un semplice circuito a transistor BJT, realizzato con due comuni BC337 di tipo NPN. Il funzionamento è molto semplice ed intuitivo. Si tratta di due stadi di inversione logica in cui il collettore del transistor del secondo, permette il fluire della corrente I_c , limitata al valore imposto dalla equazione di maglia:

$$+ I_c R_6 + V_{led} + V_{ce(sat)} - V_{batt} = 0$$

In cui, tenuto conto che la tensione anodo-catodo del LED polarizzato direttamente è costante e vale 2 volt, che la tensione V_{ce} tra il collettore e l'emettitore del transistor posto in saturazione è una costante e vale 0,2 volt, ed infine che la resistenza R_6 è stata fissata al valore di 560 ohm, allora l'equazione restituisce un valore di corrente pari a 17,5 mA, sufficienti e al dir il vero quasi troppo alti per l'accensione di un diodo LED. Nel caso si volesse abbassare la luminosità della spia LED si potrà alzare il valore della R_6 fino a 2200 ohm.

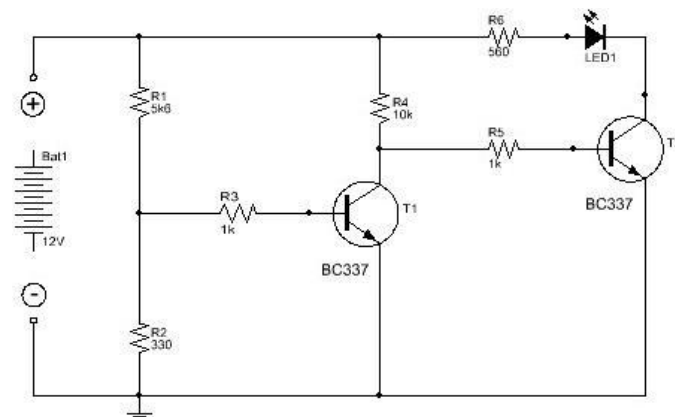


Fig. 49 Schema rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.

Il transistor T1 riceve un segnale fisso, assimilabile ad un uno logico, dal partitore R1,R2 che fissa la tensione al nodo centrale al valore dato dalla formula:

$$V = (V_{batt} * R2) / (R1 + R2)$$

Da cui si ricava $V = 0.67$ [v] ed essendo questo valore maggiore della tensione di innesco alla conduzione della giunzione base collettore ovvero 0,6 volt, il transistor entra in conduzione sia nella maglia di base che in quella di collettore secondo la formula approssimata:

$$I_c = h_{fe} * I_b$$

E' necessario accertarsi che la rete di polarizzazione di base sia correttamente dimensionata per portare il BJT in zona di saturazione simulando il comportamento di un interruttore, a questo scopo calcoliamo la corrente di base.

$$I_b * R3 + V_{be} - V = 0$$

Equazione di maglia, secondo Kirchhoff, da cui si ricava la corrente di base $I_b = 0,00007$ [A]. Rilevando un guadagno in corrente pari a 350, che è il parametro h_{fe} , allora in collettore si hanno:

$$I_c = 0,00007 * 350 = 0,0245$$
 [a]

In definitiva si ha la saturazione del BJT indicato con T1 e quindi sul suo collettore si avrà uno zero logico che interdice il transistor T2, di conseguenza il LED di segnalazione è spento. La situazione cambia quando il transistor T1 risulta interdetto a causa di un basso livello di tensione presente al partitore R1,R2 con la conseguenza che il punto intermedio di tensione V si trova a un valore inferiore del valore di innesco della giunzione base emettitore di T1, ovvero 0,6V. Se T1 è interdetto, il suo collettore si trova a livello logico 1, quindi quindi T2 si trova in saturazione e di conseguenza la spia LED segnala con la sua accensione lo stato di bassa carica degli accumulatori. Ciò avviene, a prescindere dalle tolleranze dei resistori impiegati, ad una tensione prossima a 11 V.

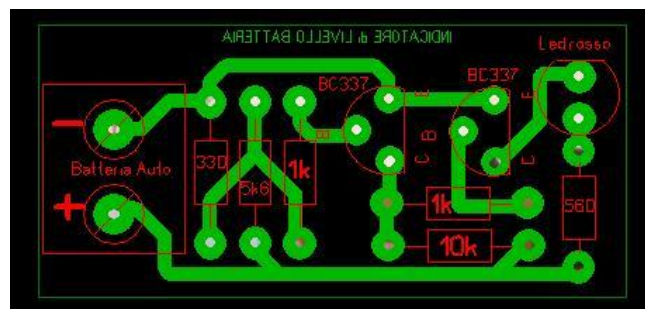


Fig. 50 Circuito stampato del rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.

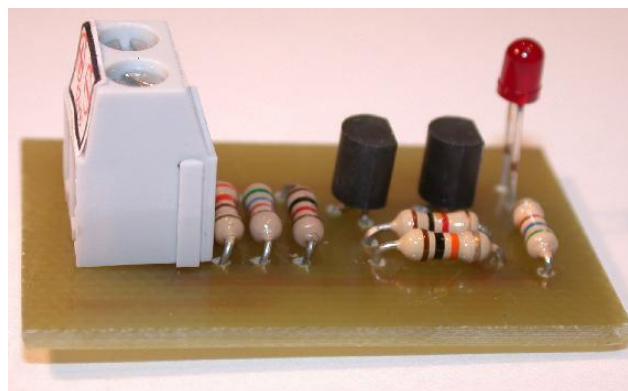


Fig. 51 realizzazione del rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.

I test di ricarica del pacco batterie sono stati effettuati al banco ed eseguiti con due distinti dispositivi di ricarica. Il primo è un prodotto commerciale di marca Alpine, mentre il secondo è stato appositamente costruito in abbinamento con il sistema Optichair. Nella foto vediamo una test di ricarica e i due dispositivi sopracitati.

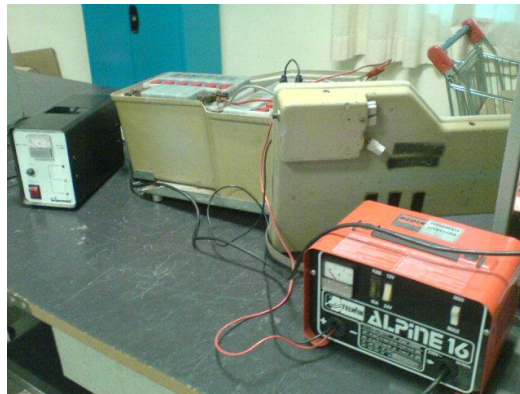


Fig. 52 sistema di ricarica degli accumulatori al piombo.

Durante la fase di carica, o comunque quando il cavo del caricabatterie è innestato, l'inverter interdice il controllo di potenze ai motori impedendo alla sedia di muoversi.

• 4.7 Cablaggi e assemblaggio del robot

L'assemblaggio del robot è distinto in due tipologie, la prima di tipo elettrotecnico di potenza, in cui si installano le linee di alimentazione dei vari apparati di controllo, come ad esempio l'inverter, e di attuazione, quindi i motori e le elettrofrazioni.

La seconda tipologia in cui si assemblano le schede elettroniche proprietarie del progetto, ovvero progettate e sviluppate ex novo per le specifiche esigenze del robot Optichair II, ad esempio il computer secondario di bordo, l'interfaccia di immissione e cattura degli infrarossi installata nell'asta di destra della montatura degli occhiali, la telemetria secondaria e terziaria rispettivamente basate su tecnologia infineon e su progetto dedicato. In questa seconda tipologia di cablaggio rientrano anche tutti i collegamenti eseguiti tra il computer principale e i vari apparati sensoriali commerciali, quindi i sistemi dedicati alla multimedialità e della telemetria primaria.

Lo schema a blocchi di cablaggio di potenza e della telemetria primaria è riportato nell'immagine successiva.

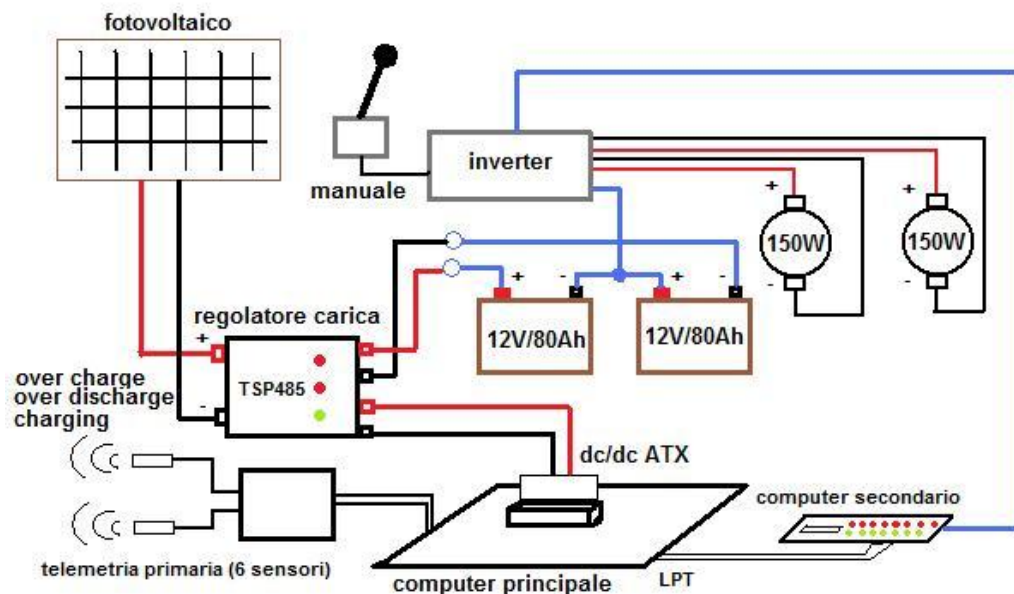


Fig. 53 Cablaggi della potenza e del sistema telemetrico primario Optichair II

CAPITOLO 5 **Computers di bordo**

• 5.1 Computer di bordo principale: caratteristiche tecniche

Il computer di bordo principale è realizzato tramite una scheda madre, tipicamente per uso industriale, progettata per il chipset VIA CN700 sviluppato per la nuova generazione di processori VIA C7™.

Benchè si tratti di tecnologia sviluppata per applicazioni industriali vi è implementato anche una potente sezione multimediale che soddisfa le esigenze dei più moderni multimedia, è quindi ottimale per la sintesi di voce del robot e delle opzioni di "conforto", come ad esempio ascolto di brani musicali o visione di DVD da parte del paziente.

Il bus V4 supporta le memorie DDR2 espandibili fino a 1.0GB. Per quanto riguarda la velocità del clock del front side bus, FSB, esso è settabile sia a 400Mhz che a 533Mhz che è l'effettiva velocità di trasferimento dei dati tra le parti interne della mainboard.

L'integrazione con il South Bridge di tipo VIA VT8237R Plus, permette l'interfacciamento con entrambi gli standard ATA133 e Serial ATA con la possibilità di connettere le memorie di massa in modalità RAID di tipo 0,1,JBOD allo scopo di incrementare notevolmente l'affidabilità dell'hardware del sistema minimizzando la probabilità di crash dei sistemi robotici a causa della perdita dell'hard disk. Il tutto con velocità di esecuzione tipiche di questi sistemi molto performanti anche quando usati come normali computer per uso ufficio o home automation.

L'integrazione del chip VIA VT6103L LAN PHY mette a disposizione una porta LAN di tipo RJ45 fast ethernet con una velocità di trasferimento dati tipica di 10/100 Mb/s.

Come già accennato il robot mette a disposizione dei servizi multimediali, ai quali ad esempio si appoggia la sintesi di voce, che vengono supportati dalla scheda compatibile Sound Blaster Pro® con codec firmware a 6 canali di tipo standard AC'97, facilmente riconoscibili sia dai sistemi windows che dai sistemi linux.

La scheda madre integra una periferica video VIA Graphics UniChrome™ con core grafico Pro IGP. Il firmware di contiene i codec MPEG-2 per la riproduzione dei filmati multimediali. È predisposta per il video streaming e la riproduzione di grafiche sia 2D che 3D. In definitiva la GPU (grafic processor unit) installata nella scheda madre garantisce che un gravoso carico di lavoro di riproduzione e decodifica di file audio video nei più disparati formati vengano eseguiti con un bassissimo carico del processore centrale e quindi con un basso livello di consumo energetico.

L'ottimizzazione delle performance video sono garantite dalle soluzioni hardware di adattamento alle periferiche hardware di tipo CRT oppure LCD. Sono presenti anche le connessioni hardware verso lo standard TV anche del tipo a alta definizione HDTV con una risoluzione oltre a 1080p.

Le porte USB sono gestite da un ottimo controller espandibile fino a 8 canali di tipo USB2.0 tutte in grado di eseguire trasferimenti fino a 480Mb/s con elevata connettività, ed ogni una di queste ha delle protezioni sia per l'hardware che per il software allo scopo di salvaguardare il PC..

• 5.2 Alimentazione del computer principale

Una delle principali evoluzioni che migliorano notevolmente il robot Optichair II rispetto alla versione 1 è insita nel sistema di alimentazione sia dei computer di bordo che dei sistemi di guida nonché degli attuatori di potenza. Sono infatti stati eliminate tutte le sezioni alimentate a tensione alternata con parametri, di frequenza 50Hz e tensione efficace 220V, permettendo quindi l'eliminazione dell'inverter installato dietro allo schienale di optichair 1.

Tutto il circuito è alimentato alla tensione di 24 V DC, che costituisce la tensione all'indotto dei motori, ottenuta dalla serie di due accumulatori al piombo di derivazione automobilistica, imprimenti 12V DC ciascuno e collegati in serie.

I 12 V DC necessari al convertitore DC/DC per la generazione dei vari livelli e correnti necessarie per alimentare la scheda madre del computer di bordo principale di tipo ATX (normale computer per uso domestico o ufficio) sono ottenuti prelevando il positivo dal punto centrale della serie e il punto di massa.



Fig. 54 M3-ATX Pico-Dragon DC/DC converter per alimentazione computer principale.

Il connettore sul lato sinistro della figura sovrastante costituisce l'ingresso di potenza dell'unità di alimentazione. In esso le singole connessioni hanno le seguenti funzioni:

Rosso Battery + (positivo, batteria diretta senza interruttore)

Nero Battery - (negativo)

Bianco controllo accensione (abilita la connessione al + della batteria). Nel default non viene usato

PSU mode (modo P0)

Il connettore nel lato destro costituisce l'uscita di potenza dell'alimentatore, e come nello standard ATX in uso nei personal computer figurano 3 colori di base, rosso, nero e giallo.

Tab. 2 colori abbinati alle tensioni nelle linee di uscita

Significato colori uscita di potenza	
rosso	+5V
nero	Gnd (0V)
giallo	+12V

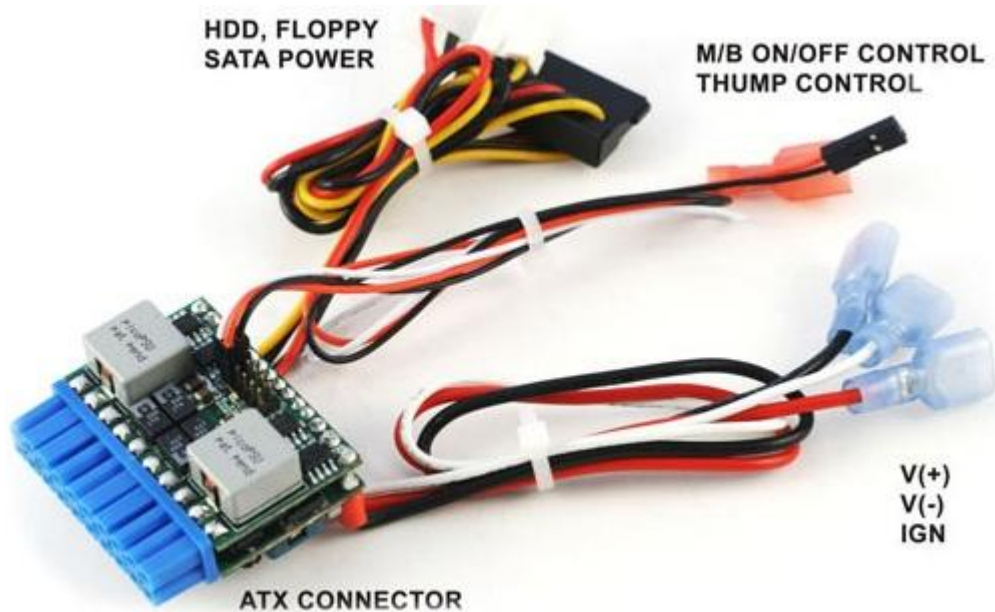


Fig. 55 cavi di interfacciamento del DC/DC converter con altri dispositivi.

Nella foto sovrastante l'unità di alimentazione è fotografata dal lato opposto rispetto alla foto precedente risultando di conseguenza invertiti il lato destro e il lato sinistro. Il primo cavo che si vede collegato in alto a sinistra è la connessione degli Hard drive (sono compatibili HDD tipo IDE oppure SATA-HDD, Floppy ove vi sia la necessità).

ON/OFF and THUMP wire harness (va collegato al connettore di accensione della M3-ATX)

ON/OFF wire harness (rosso/nero) per collegarsi ai pin della scheda madre per eseguire l'ON/OFF

THUMP (bianco) permette la connessione di un comando ON/OFF remoto.

Esiste anche una compatibilità con il protocollo seriale RS232 per il telecontrollo del dispositivo.

importante: Se il sistema viene montato in un PC che monta un sistema operativo basato su windows è bene usare sempre la modalità ibernazione al posto della modalità "Standby". In questo modo alcune sezioni della scheda madre non rimangono inutilmente alimentate attingendo energia dalle batterie anche se il robot è spento.

P Off-delay Hard-off

P0 Standard PSU mode

P1 5sec 1 min

P2 1 min 5 min

P3 30 min 2 hour

P4 l'utente può definire le opzioni liberamente

P0: in questa modalità l'unità M3-ATX si comporta come un normale alimentatore ATX.

P1: invia il segnale ON alla scheda madre quando l'avviamento è ON per più di 2 secondi, invia impulsi di spegnimento OFF alla scheda madre dopo **5 seconds** che l'avviamento dell'eventuale motore della vettura in cui si può installare è stato spento. Allo scopo di risparmiare energia della batteria attende un altro **1 minute** e poi spegne i 5VSB. In questa modalità, l'M3-ATX consuma meno di 0,5 mA. Questa è l'impostazione consigliata ed attivata per default nell'applicazione Optichair II.

P2: manda in impulso alla scheda madre quando l'accensione è ON per più di 2 secondi, invia impulsi OFF per scheda madre **60 seconds** dopo dello spegnimento. Verranno attesi altri 5 minuti e poi si spegne 5VSB per risparmiare batteria..

P3: manda in impulso alla scheda madre quando l'accensione è ON per più di 2 secondi, invia impulsi OFF alla scheda madre 30 minuti dopo l'avviamento è off. Attende altre 2 ore e poi si spegne 5VSB per risparmiare batteria.

P4: Può essere impostato a qualsiasi valore di impostazione può essere fatta tramite un cavo seriale opzionale..(Valori di default per i P4 sono Off-delay = 30 sec, Hard-off = 30 sec)

Tab 3 configurazione dei jumper per la modalità di alimentazione/spegnimento

P0		Modalità normale alimentatore ATX
P1		spegnimento soft 5sec/spegnimento hardware 1 min
P2		spegnimento soft 1min/spegnimento hardware 5min
P3		spegnimento soft 30min/spegnimento hardware 2 ore
P4		spegnimento software 2 ore/spegn. hardw progr.

NOTA: Per ripristinare le impostazioni di M3-ATX alle impostazioni di fabbrica (in caso di modifiche effettuate tramite l'uplink seriale), è sufficiente spegnere l'unità, collegare un ponticello come indicato nell'immaginee quindi viene abilitata la possibilità di eseguire il backup.



Fig. 56 Jumper di ripristino delle condizioni iniziali.

La luce LED inizierà a lampeggiare velocemente indicando che le impostazioni di fabbrica sono state caricate.

Alla fine delle impostazioni va rimosso il ponticello.

Gestione della potenza assorbita dal computer di bordo in veicolo generico: Uno dei compiti più ardui di funzionamento di una scheda madre a bordo di un veicolo è il consumo di energia quando il computer è spento. Essa a computer è spento, continua a consumare circa 100mA sulla linea a 5V. Quando il computer è posto in modalità di sospensione, il consumo aumenta ulteriormente, perché la RAM deve essere costantemente alimentata. Indipendentemente dal dimensionamento della batteria, si va in maniera inevitabile verso la scarica. Nel robot Optichair II, il problema viene risolto dal convertitore DC/DC M3-ATX che lo risolve tagliando la linea 5VSB dopo un predefinito intervallo di tempo (si veda tabella jumper, HARDOFF). Durante l' HARDOFF se il livello della batteria scende sotto 11.2V per più di un minuto, il DC/DC converter M3-ATX si spegne per ri-attivarsi solo quando la tensione di ingresso è > 12V.

Situazioni di sotto e sovratensioni. Un altro compito difficile è mantenere la potenza stabile al PC. Effettivamente le batterie per auto sono stimate come 12 V, in realtà, a causa degli spunti di potenza, sia questa richiesta dal carico che fornita dall'eventuale alternatore, quando il sistema sia installato in una automobile, potrà fornire tensioni comprese tra 7V e 11V. potrebbero anche verificarsi dei picchi molto alti, detti load dump di quasi 80 volt. Nel normale funzionamento la batteria si stabilizza a 13,5 (condizione di normale funzionamento di un alternatore per automobile).

Sono state previste delle protezioni interne al presentarsi di queste eventualità si di load dump (extra tensione) che di calo gravoso di tensione verso i 7 volt. M3-ATX in grado di operare al livello più basso da 6V e alto come 24V fornendo al contempo una rigorosa regolazione su tutte le linee mantenendo le protezioni contro le inversioni e i corto circuiti.

Salvaguardia dell'amplificatore della sezione multimediale. Il computer principale di bordo è collegato ad un amplificatore con l'intento di riprodurre su un sistema stereo di altoparlanti la sintesi di voce e l'eventuale multimedialità disponibile per il confort del paziente. I sistemi di conversione DC/DC connessi a dispositivi di amplificazione di bassa frequenza introducono nelle linee, solo in fase di avvio, un gradino che viene trasdotto in altoparlante con un forte "thump", non solo fastidioso ma anche dannoso per gli altoparlanti. L'M3-ATX possiede un sistema di controllo detto 'anti-thump' che manterrà l'amplificatore OFF, mentre la mainboard del computer di bordo viene avviata. L'azione si abilita collegando il filo bianco dal fascio di cavi di input del M3-ATX al pin di controllo amplificatore remoto. Questo pin è solitamente indicato con mute.

Modi operativi

- 1) accensione = OFF. Non succede nulla. M3-ATX è in attesa di segnali di accensione.
- 2) accensione = ON. M3-ATX attende per 2-3 secondi, poi commuta sulla linea 5Vsb. Dopo un altro secondo M3-ATX invia un segnale "ON" alla scheda madre tramite i 2 fili collegati ai pin ON/OFF. Il computer di bordo principale si accende e il robot Optichair II si avvia.
- 3) accensione = ON. Il computer rimane acceso.
- 4) accensione = OFF. M3-ATX aspetta "OFFDELAY" di alcuni secondi (come impostati nella tabella dei jumper). Viene inviato alla scheda madre il segnale di spegnimento analogo all'interruttore ON / OFF. Il computer avvia la normale procedura di spegnimento con lo smontaggio del sistema operativo il quale invia a tutti task il segnale di kill (procedura di spegnimento standard di ubuntu). Dopo l'arresto del sistema operativo avverrà lo spegnimento hardware sulle linee 5VSB, non prima che siano trascorsi ulteriormente alcuni secondi, questo tempo è detto di "HARDOFF". Nel caso in cui il processo di arresto è più lungo di "HARDOFF" (il sistema operativo viene congelato, ecc), e quindi avviene uno shutdown brutale dei sistemi hardware, quindi la disattivazione di tutte le linee di alimentazione. Durante la procedura di HARDOFF, il livello delle batterie viene costantemente monitorata per evitare situazioni di scarico profondo, che a volte risulta dannoso per gli accumulatori al piombo.
- 5) M3-ATX andrà al passo 1, sei settaggi di accensione sono impostati nella posizione "ON again".

NOTA. Quando tutti i ponticelli di configurazione vengono rimossi, il DC/DC converter M3-ATX agisce come un normale alimentatore, nessun temporizzazione di accensione, e non esegue HARDOFF. L'M3-ATX invierà un impulso "ON" automaticamente alla scheda madre quando è fornita potenza per la prima volta. Se non si desidera avviare automaticamente il computer di bordo quando è applicata tensione all'inverter non bisogna collegare l'interruttore on/off.

Risoluzione delle problematiche di alimentazione del computer di bordo primario

a) **La scheda madre non si accende (caso A):**Controllare il cavo di alimentazione. Assicurarsi che sia ben crimpato o saldato, comunque che sia in grado di garantire un'ottima conduzione elettrica. Misurare la tensione al pin indicato con "un-switched", ovvero quello rosso. Lo strumento deve indicare almeno 12V, ma sono ottimali e spesso presenti 13,4V, ovvero quelli che si vedrebbero se l'applicazione è di tipo automobilistico con il motore acceso, oppure 0V quando il motore è spento. NOTA: Nelle modalità P1, P2, P3 se la tensione di alimentazione V(In) è minore di 12V, il DC/DC converter M3-ATX non darà il consenso all'accensione.

b) **La scheda madre non si accende (caso B):**Assicurarsi che tutto il sistema non presenti un assorbimento di potenza che supera le possibilità indicate nelle caratteristiche tecniche del M3-ATX.

c) La scheda madre non si accende (caso C): Assicurarsi che il cavo ON/OFF connesso al DC/DC converter M3-ATX si trovi nella corretta posizione nella scheda madre. Ci si assicura di questo consultando il libretto delle caratteristiche tecniche fornite assieme alla scheda madre del computer di bordo primario. Possono cambiare da modello a modello ma normalmente sono anche riportate nella serigrafia.

Caratteristiche di base del DC/DC converter M3-ATX

Tab. 4 caratteristiche di base del DC/DC converter M3-ATX

Tensione minima di funzionamento	6V
Tensione massima di funzionamento	24V (stabilizzare in caso di sospetta superabilità)
Tensione di innesco spegnimento automatico	11.2V
Intervento del fusibile di protezione	15A
Potenza erogabile massima	125Watt (vedere la successiva tabella delle potenze)
Corrente assorbita minima di standby	<0,5 mA
Temperatura di funzionamento e interno scatola	-55 to +125 gradi Celsius (interno scatola), -40 – 65C
MTBF	150,000 ore a 50C, 96,000 ore a 65C
Tensione consigliata in ingresso (miglior rendimento)	Tra 9V e 16V ogni linea ha un rendimento del 94%
Connettori di ingresso	Terminali Faston 0.25"
Connettore di uscita	Standard ATX Power 20 pin (Molex P/N 39-01-2200)

Va notato che l'informazione riguardante il tempo medio tra due guasti (MTBF) va riferita alla temperatura di tabella, se questa dovesse salire ad un valore maggiore di 125 Celsius il sistema comincia a presentare fin da subito instabilità di funzionamento, mentre operando sopra agli 85C (corrispondenti a 185 Farenaid) si riducono drasticamente

Valori massimi per linea

Tab. 5 tabella dei valori massimi ottenibili per linea

tensione per linea	Corrente massima	Corrente di picco (<30 secondi)	regolazione
5V	6A	8A	1.5%
3.3V	6A	8A	1.5%
5VSB	1.5A	2A	1.5%
-12V	0.15A	0.2A	10%
12V	4-6A (vedi nota)	8A (vedi nota)	2%

Nota: Quando il sistema opera con tensioni fornite in input inferiori a otto volt, oppure maggiori di sedici volt, oppure in condizioni termiche di ambiente critiche allora e' necessaria una ventilazione forzata.

Corrente di uscita sulla linea a 12 volt (buck/boost converter)

Tab. 6 picchi di corrente disponibili nella linea a 12 volt

Ingresso [V]	Corrente di uscita linea 12V	Voltaggio in ingresso	Corrente di uscita linea 12V
6-8V	4A (6A picco)	11-16V	6A (8A picco)
8-11V	5A (7A picco)	16-24V	4A (7A picco)

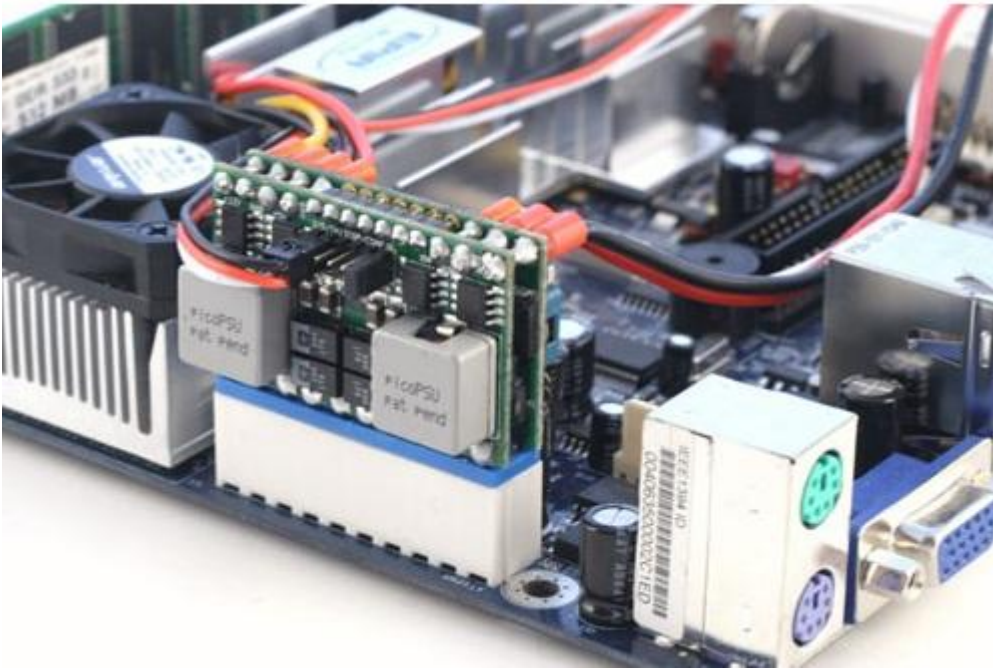


Fig. 57 installazione del DC/DC converter sulla scheda madre.

Per le prove di laboratorio e' possibile effettuare lo sgancio dal gruppo batterie e riferirci a un alimentatore di potenza connesso alla rete elettrica nazionale. Tale alimentatore, visibile nella foto fornisce 5A alla tensione di 12V. Era in origine progettato per una vecchia stampante.

• 5.3 Sistema operativo e software installati

Telecontrollo WEB.

Il sistema operativo del robot optichair II ospita i servizi web necessari per poter essere accessibile da un qualsiasi terminale esterno connesso alla rete globale.

Il telecontrollo sviluppato in linguaggio php, dopo essere stato correttamente puntato tramite un browser internet quale mozilla firefox o il classico iexplorer chiede all'utente di identificarsi con una login e password ad esso nota. Una volta effettuato l'accesso compare un'interfaccia semplice e intuitiva che produce dei comandi booleani sulla porta parallela LPT1.

I segnali digitali vengono inviati direttamente alla scheda logica contenente il microcontrollore che elabora ulteriormente i segnali prima di inviarli alle interfacce di potenza a cui sono collegati i motori.

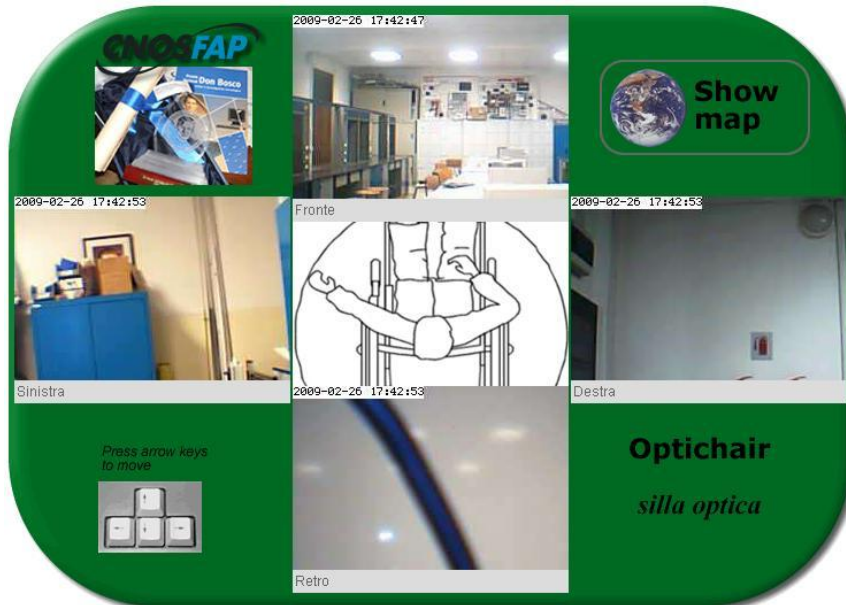


Fig. 58 interfaccia web che mostra punti di visione del robot.

Solo per il prototipo del robot optichair è stato possibile accedere all'interfaccia web mostrata in figura da un qualunque accesso internet puntando l'indirizzo <http://optichair.selfip.org:8080>

E' ovvio e intuitivo che i modelli diversi dal prototipo saranno customizzati dall'utente proprietario, avranno cioè un loro punto di accessibilità ovvero un indirizzo ip assegnato, sia esso fisso che rimappato tramite un servizio no-ip.

Dall'interfaccia è possibile accedere alle 4 telecamere di visione frontale, posteriore, destra e sinistra e ai servizi di posizione globale GPS con la relativa cartografia elettronica. I comandi di movimento vengono impartiti usando i quattro tasti freccia della tastiera.

Nella prossima versione sarà presente anche la rilevazione telemetrica utile per evitare gli ostacoli durante il telecontrollo manuale.

• 5.2 Computer di bordo ausiliario: progetto e caratteristiche tecniche

Con il termine P.L.C. si intende Programmable Logic controller, ovvero controllore a logica programmabile.

I microcontrollori si prestano bene per la costruzione di sistemi controllo assimilabili ai P.L.C. Il prodotto che viene presentato in questa tesi non potrà essere sostitutivo dei prodotti commerciali ma soddisferà certamente le esigenze del robot Optichair II.

La porta seriale on-board è anche utilizzabile per collegare una supervisione software sviluppata ad esempio in visual basic. Ovviamente va caricato sul pic lo specifico programma di controllo.

Sono stati sviluppati una gamma completa di controllori, in ordine di potenzialità e di difficoltà realizzativa, ognuno indicato con la sigla Micro-GT seguita da un numero che ne identifica il microcontrollore utilizzato e le potenzialità dell' I/O (leggasi input/output).

Il modello installato nel robot Optichair II, ha l'unità logica costituita dal microcontrollore 16F877A oppure uno dei compatibili pin to pin costruito dalla casa "Microchip".

Nell'immagine vediamo il pinout del dispositivo. Si tratta di un D.I.L. (dual in line) di 40 pin.

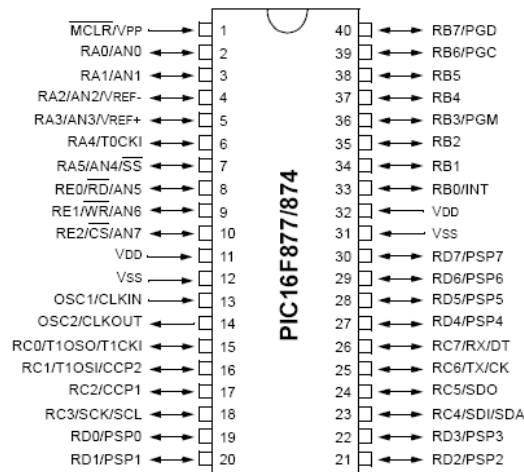


Fig. 59 housing DIL (dual in line 40pin) del microcontrollore impiegato

Per funzionare correttamente un microcontrollore di questo tipo ha bisogno di tre elementi minimi circuitali. Questi sono

1. Il circuito di alimentazione (nel nostro caso un regolatore di tensione LM7805 con uscita al pin 12 e massa al pin 13, con un minimo di accuratezza contro le autooscillazioni).
2. Un circuito di clock, solitamente costituito da un quarzo e dai due condensatori ceramici della misura tipica di 18pF per i 20Mhz e 22pF per i 4Mhz. In alcuni casi si può sfruttare l'oscillatore interno (per basse frequenze) e in altri casi il processore richiede un velocissimo risuonatore ceramico ad esempio a 80 Mhz come è tipico per la serie 32 dei PIC.
3. Il circuito di reset, a volte ridotto a un segnale bloccato alto tramite la resistenza di PULL_UP tipicamente da 10k, in altri casi dalla medesima resistenza e un pulsante N.A. che chiuderà verso massa (questo perchè il reset è un segnale attivo basso), in altri casi il circuito può essere un po più complesso per permettere l'autoreset del sistema durante il transitorio di accensione del circuito (gruppi RC configurati in diverse maniere).

L'insieme dei segnali che dal bordo macchina arrivano al microcontrollore e viceversa, vengono chiamati I/O (leggasi ai-o), mentre le porte di comunicazione e gli eventuali visualizzatori a display le chiameremo periferiche. Questo specifico controllore nasce con un numero fisso di periferiche e I/O ma non è difficile produrre un secondo PLC espandibile, ovvero in grado di pilotare e leggere molti più punti di collegamento con il bordo macchina.

(bordo macchina = l'insieme dei sensori "fine corsa, pulsanti, ecc" e degli attuatori, "teleruttori, elettrovalvole, motori ecc").

Il processore prescelto per questa realizzazione ha questa architettura interna (fonte Microchip).

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes

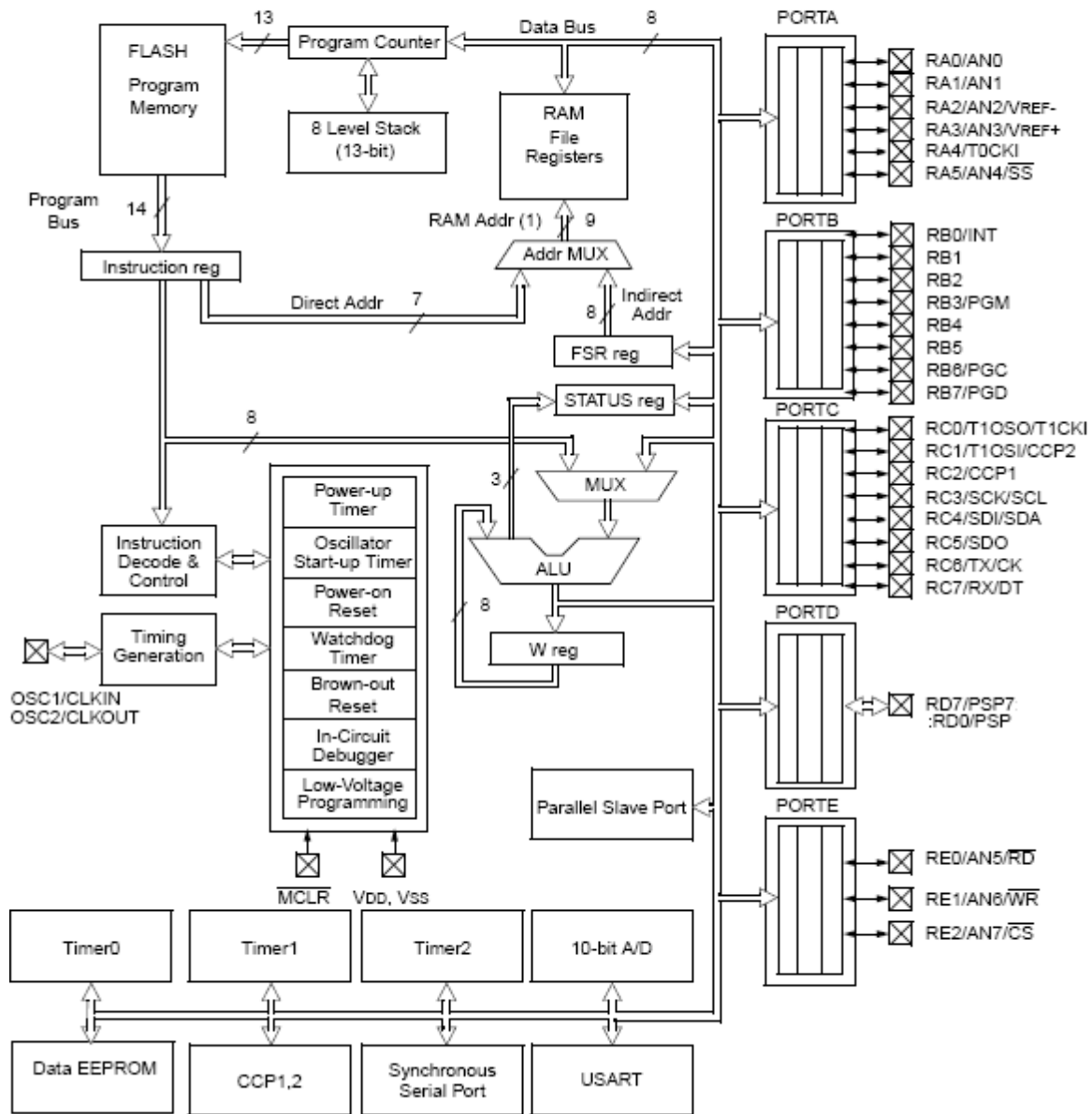


Fig. 60 architettura interna del microcontrollore 16F877A

Il diagramma a blocchi dell'architettura interna mette in evidenza il pinout, i registri interni e le periferiche integrate. Vediamo subito lo schema elettrico di questo dispositivo, che ricordo non può essere impiegato per lavorare nell'industria o macchine professionali in genere. Si tratta infatti di una "macchinetta didattica o hobbistica" che dovrà essere optoisolta nei suoi punti di input output per acquisire vendibilità'.

Tutti i segnali, sia in input che in output sono visualizzati tramite l'accensione di una spia LED. E' opportuno usare LED rossi da 3mm per le uscite e verdi per le entrate.

Risolviamo il problema di poter acquisire segnali a tensione di bordo macchina diversa della TTL con l'ausilio di diodi Zener e la loro relativa resistenza di limitazione.

Lo schema modificato è piuttosto ampio quindi è giustificata una realizzazione di tipo a sandwich ovvero su due piani. Non si tratta di una costruzione dual layer ma semplicemente di due PCB sovrapposti. Alcuni punti sono presi come riferimento ad esempio i fori di fissaggio attraverso i quali vengono fatte passare le viti che fungeranno oltre che da piedini anche da distanziatori. La stampa del PCB sul master dovrà avvenire escludendo i layer non interessati se si opta per la versione sovrapposta oppure nella maniera standard se si scarica la versione piana. Alcuni punti della piastra madre (la basetta bassa con il processore) saranno riportati alla piastra di espansione (quella alta) tramite i pin di uno strip lungo di cui la femmina sarà saldata sulla piastra madre e maschi sul lato rame della piastra di espansione.

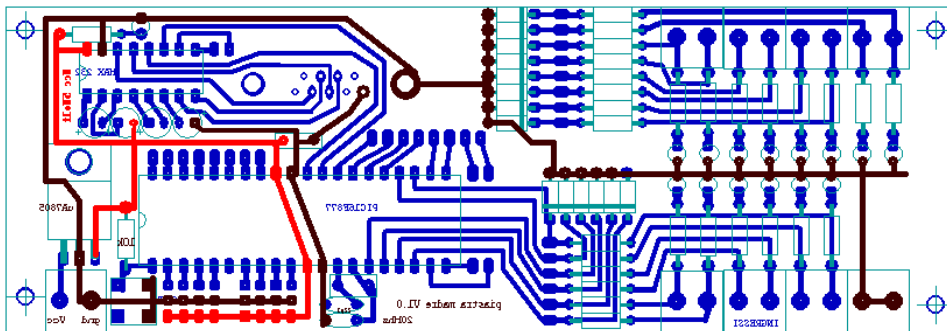


Fig. 62 Scheda madre del PLC autocostruito

Nell'immagine possiamo vedere la piastra madre del PLC modello Micro-GT P877, la piastra di espansione sarà sovrapposta ma garantirà l'accesso alle morsettiere tramite dei fori ad asola. Le connessioni tra la piastra madre e quella di espansione possono avvenire indifferentemente tramite cavo flat e strip maschio/femmina o direttamente con strip di tipo lungo. In questo secondo caso il risultato estetico è accattivante ma bisognerebbe schermare bene il circuito con un contenitore ben congeniato, la soluzione infatti equivale a mettere delle "antenne" in ogni pin di input che potrebbero iniettare nel microcontrollore qualsiasi interferenza dovuta alla presenza dei campi elettromagnetici.

Per lavorare correttamente sulla piastra di espansione sono stati impostati, nel Cad usato per lo sviluppo, FidoCad, liberamente scaricabile da internet, i layer come nell'immagine sottostante:

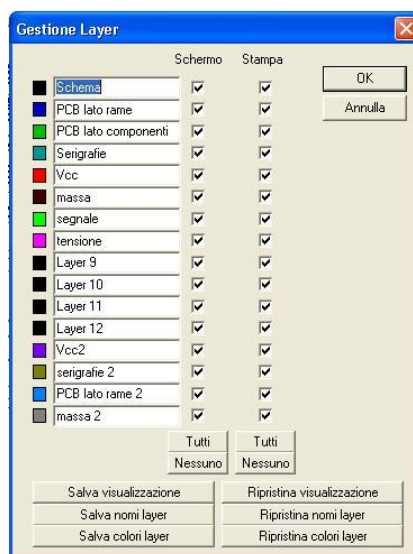


Fig. 63 disposizione dei piani di lavoro (layers) nel Cad impiegato nella realizzazione.

Nella successiva immagine possiamo vedere entrambe la piastra madre e la piastra di espansione in cui sono alloggiati i darlingtonton TIP122 per poter pilotare carichi DC fino a 8 ampere. La piastra di espansione viene montata al piano superiore i fori ad asola rendono accessibili i morsetti della piastra madre.

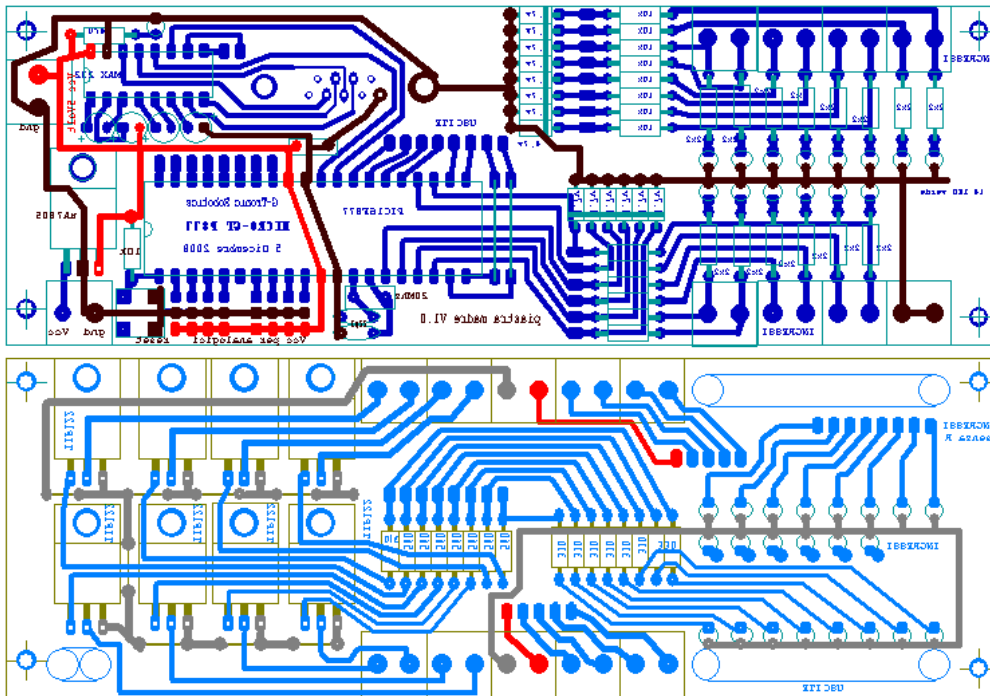


Fig. 64 abbinamento scheda madre alla scheda di potenza.

i layer delle serigrafie, delle piste comuni e delle masse sono stati volutamente impostati con colori diversi per rendere distinguibili i componenti se effettuiamo una sovrapposizione grafica.

Layout componenti del sandwich completo (due schede sovrapposte).

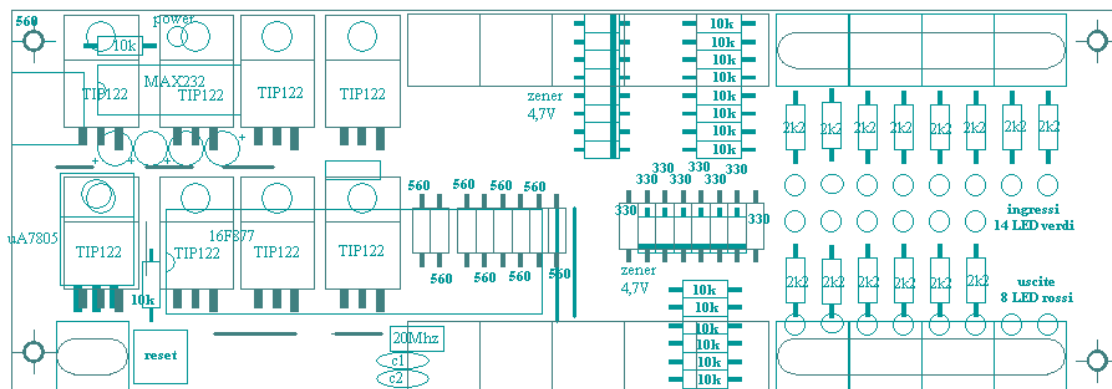


Fig. 65 serigrafie dei due circuiti sovrapposti.

Nella prossima immagine si vede l'operazione di assemblaggio dei componenti elettronici nel PCB ottenuto con un processo di fotoincisione casalinga, ovvero impredo su un supporto fotosensibile, ovvero un laminato di vetroresina abbinato a un foglio di rame incollato tramite pressatura a caldo verniciato con una sostanza chiamata fotoresist. L'esposizione U.V. indebolisce le molecole di questa vernice, mentre le parti ombreggiate dalla pista stampata su acetato trasparente mantiene le sue proprietà chimiche coprenti e protettive. Inserito quindi il supporto in una vaschetta contenete una soluzione diluita di idrossido di sodio (soda caustica) che ha forti poteri svernicianti.



Fig. 66 Una soluzione di 50 g/l in acqua a 20 °C ha pH circa 14.

Otterremo un processo analogo a quello di uno sviluppo fotografico, quindi vedremo comparire le piste sotto forma di vernice fotoresist che ha resistito all'attacco chimico.

Lavata in acqua e asciugata con il phon, allo scopo di fissare la vernice rimanente che identifica le piste, si procede all'immersione in una soluzione di ossido di ferro III (FeCl_3), più comunemente noto come cloruro ferrico, o percloruro ferrico. Questo è il sale che cloro3 forma con il ferro.

E' fortemente aggressivo per i metalli ma in modo particolare per il rame che entra rapidamente in soluzione, con una velocità proporzionale sia allo stato di diluizione del cloruro ferrico, che dalla temperatura della soluzione, oltre che dallo stato di saturazione (lavori precedentemente svolti hanno già rilasciato molecole di rame). Vengono così corrose le parti rimaste a nudo di rame nel processo precedente in soda caustica.



Fig. 67 cloruro ferrico allo stato solido (non diluito a temperatura ambiente)

Il passo successivo prevede la foratura del supporto in corrispondenza delle piazzole di saldatura dei reofori, operazione non difficile che va eseguita utilizzando un trapano a colonna con punta del diametro di 1mm per i fori standard, e da 1,5mm per i fori rinforzati quali ad esempio di morsetti a vite e il regolatore di tensione. Con la punta da 3mm si eseguono i fori di ancoraggio del PCB, quelli dei LED, e se ne esegue una fila allineata per poter creare successivamente con un cutter le asole di accesso ai morsetti a vite del layer sottostante. A questo punto si può procedere alla saldatura dei componenti.



Fig. 68 Il laureando Gottardo Marco salda i componenti del PLC auto costruito.

Il sistema completamente saldato ha l'aspetto visibile nella foto sottostante, è bene verificare a vista le saldature una a una e con attenzione perchè potrebbero essere fonte di malfunzionamento di tutto il dispositivo elettronico auto costruito. Possiamo considerare una saldatura come "valida" quando questa si presenta lucida e di forma conica.

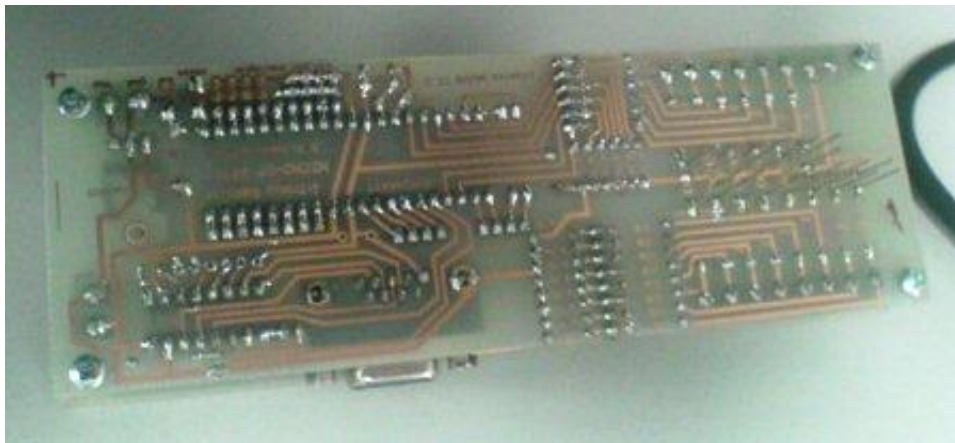


Fig. 69 computer di bordo secondario:Lato saldature

Dopo aver saldato tutti i componenti in entrambi i PCB, ovvero la piastra madre e quella di espansione I/O è necessario interconnettere i vari BUS con l'ausilio di cavi FLAT. Questo tipo di cavo si può ricavare tagliando un vecchio cavo del PC per il collegamento del lettore CD-ROM, oppure semplicemente comprando un metro di piattina a 40 conduttori in un qualsiasi negozio di elettronica. I cavi multipolari sono terminati con degli steeep femmina. La costruzione risulta piuttosto compatta. Nella foto sottostante non tutti i Flat sono stati montati me già possiamo avere un'idea della complessità delle connessioni.

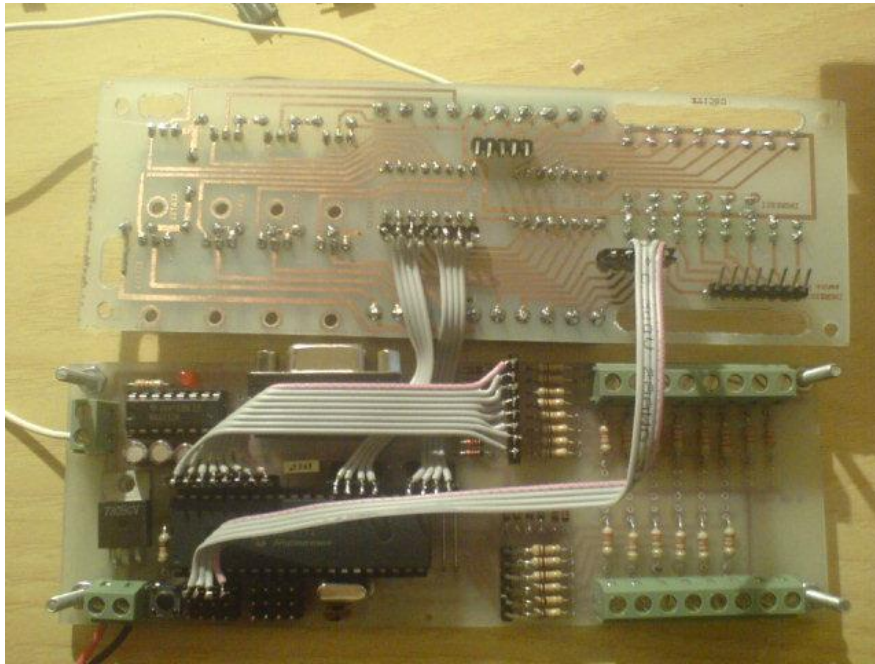


Fig. 70 realizzazione concreta del PLC auto costruito (vista aperto)

Nella foto successiva vediamo come i flat risultino sovrapposti al processore motivo che impone il collegamento tramite streep estraibili altrimenti non sarebbe più possibile rimuovere il processore dallo zoccolo. Nella versione smd questo problema è superato perchè il chip verrà programmato solo tramite ICSP o con l'ausilio del bootloader.

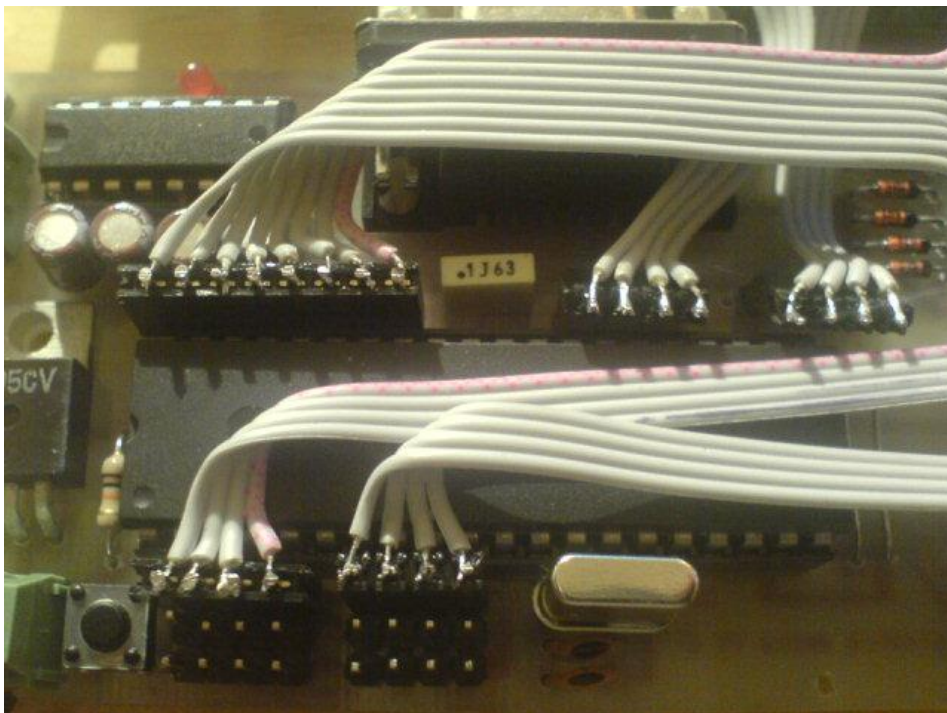


Fig. 71 particolare delle connessioni dei bus dati

particolare delle connessione dei segnali analogici e delle uscite digitali . il connettore a 8 conduttori (pin 33 fino 40) sono gli ingressi digitali.

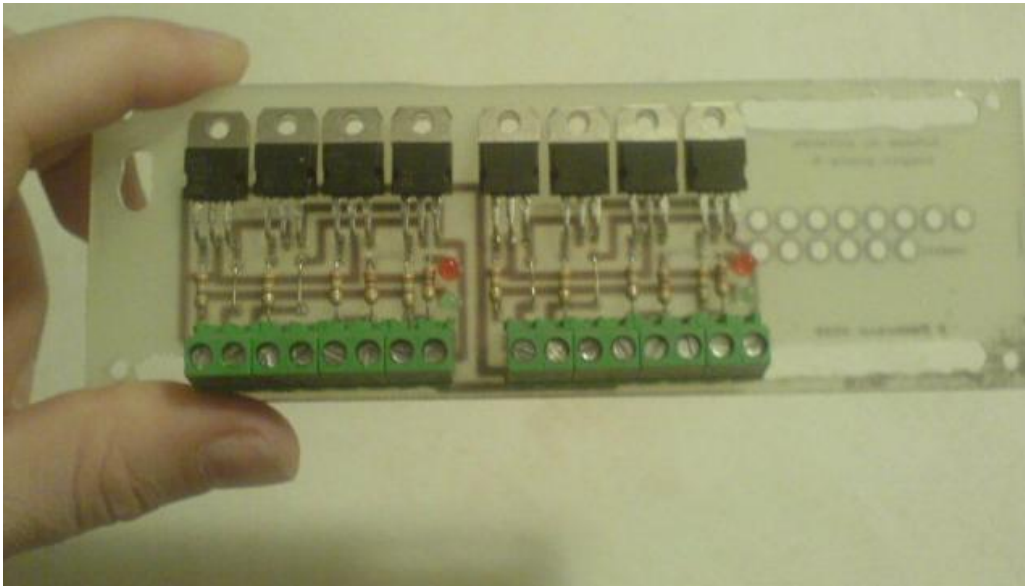


Fig. 72 scheda doppio ponte H da abbinare al PLC autocostruito

Un particolare della sezione di potenza opzionale sviluppata per controllare due motori DC di potenza (alzacristalli auto, oppure direttamente i motori a 24 DC del robot Optichair II). come si vede facilmente si tratta di due ponti H. Ogni uscita di questo PLC può pilotare ben 8 ampère, ma vi ricordo che questo dispositivo è poco più che un giocattolo, non è impiegabile per scopi aziendali perchè gli ingressi e le uscite non risultano optoisolate. Si potrebbe fare facilmente ma non so se ne valga la pena dato che non lo ho costruito per metterlo in commercio, del resto ci sono già tanti dispositivi disponibili da case ben più note e famose della G-Tronic Robotics, ovvero il mio piccolo marchio fondato nel 1995 con tipologia “ditta individuale”. Non disponendo di una fresa professionale le asole per rendere accessibili i morsetti della scheda madre sottostante non sono molto dritte, ma comunque accettabili. Dai fori visibili sulla parte destra emergono i LED di segnalazione dello stato ingresso/uscita montati sulla piastra madre.

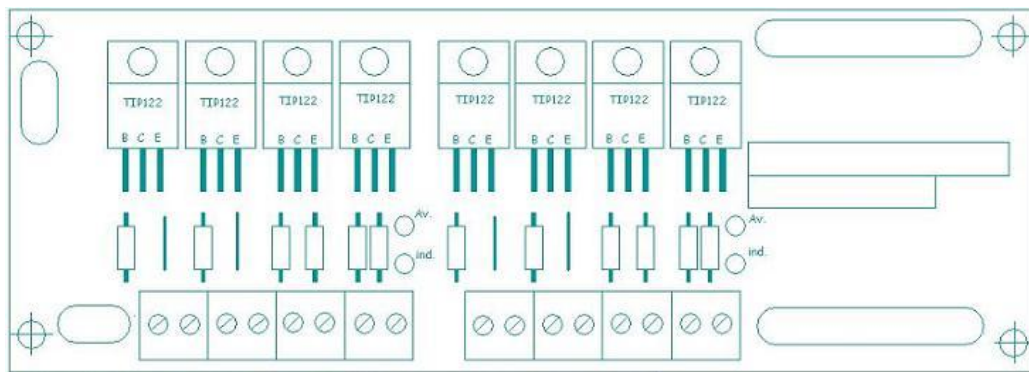


Fig. 73 serigrafie scheda di potenza del PLC autocostruito

Questa scheda opzionale di potenza viene usata per pilotare i motori connessi alle ruote della sedia a rotelle che in realtà è un robot autonomo in grado di assistere un paziente affetto da SLA.

Vediamo nella prossima foto l'insieme dei due PCB del sistema in cui si installa la parte di potenza a doppio ponte anzichè le otto uscite open collector.

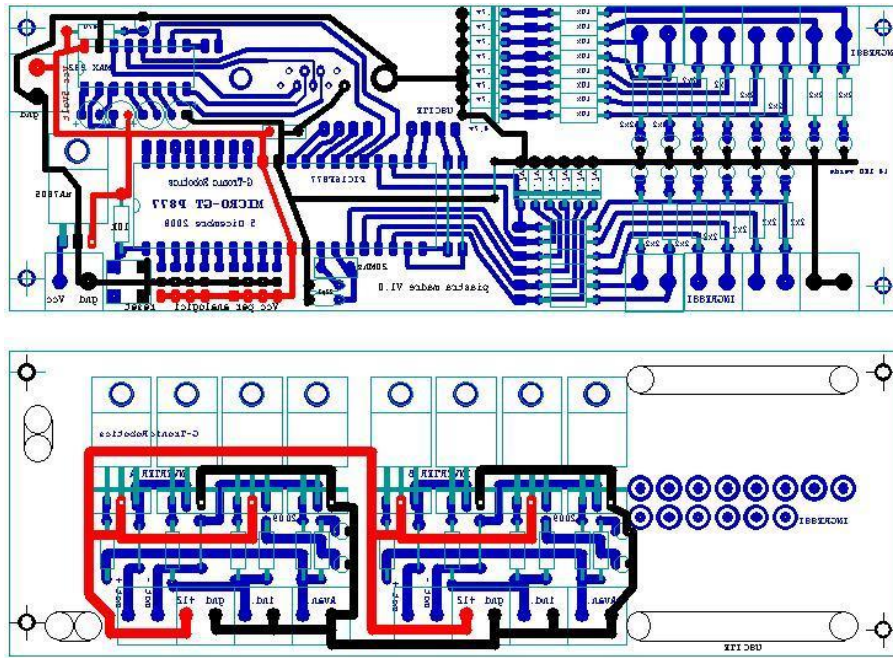


Fig. 74 complessivo dei p.c.b. (printed circuit board) del PLC auto costruito

questa immagine evidenzia l'allineamento sotto/sopra dei fori dei led e delle asole per i morsetti. Ovviamente ci sono anche i 4 fori per le viti che fungeranno da distanziatori e bloccaggi per i due PCB.

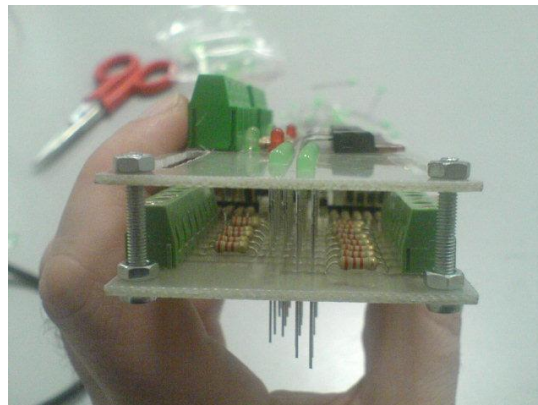


Fig. 75 Allineamento dei LED saldati nella scheda madre con mascherina nella scheda di potenza.

Lo schema elettrico della sezione di potenza a doppio ponte H è semplicemente il seguente:

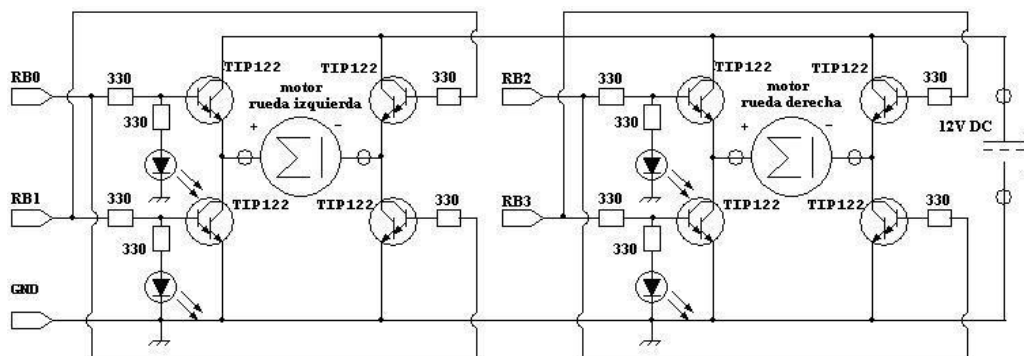


Fig. 76 schema elettrico del doppio ponte H, sezione di potenza del PLC

nota: Se dovesse presentarsi instabilità di funzionamento è necessario alzare il segnale di comando a 12V usando dei comparatori (ad esempio quelli inseriti in un LM324) e di conseguenza montare in base delle resistenza da 1200 ohm. Durante i test ha funzionato anche con le tensioni standard ma per sicurezza, è stata predisposta anche una piccola interfaccia nelle due versioni a relè da stampato o con gli A.O. cioè un LM324.

Seguono le foto del prototipo "Optichar" noto al pubblico spagnolo come "silla optica". Ricordo che non è una semplice sedia a rotelle ma un vero e proprio robot autonomo che solo in alcuni casi, e limitatamente ai comandi di base, concede l'override, ovvero il controllo al disabile fortemente incapacitato che la usa come ausilio.



Fig. 77 Vista posteriore del modello Optichair I, computer di bordo e sistemi di potenza.

Nota bene: Il trasformatore visibile nella foto, come anche il rotolo di filo rosso visibili nella foto non fanno parte dei circuiti. Sono stati impiegati solo come staffe di supporto al fine di tenere sollevate le ruote per effettuare le prove di comando al banco.

Il prototipo che si vede nella foto purtroppo non esiste più e le ricerche sono momentaneamente interrotte perchè mi hanno costretto a restituire la ciclistica. Tutta l'elettronica è comunque ancora operativa e magari un giorno si potrà procedere alla ricerca sulla "optichair 2". Non so se vale la pena dire di più su questo simpatico e utile robot. Magari solo un accenno al suo nome. Optichar, deriva in qualche modo da ottica o visione. Ho scelto questo nome perchè gli unici comandi che accettava il robot erano Avanti, indietro, destra, sinistra, stop, impartiti da una persona totalmente, e sottolineo totalmente incapacitata nei movimenti, in questa maniera:

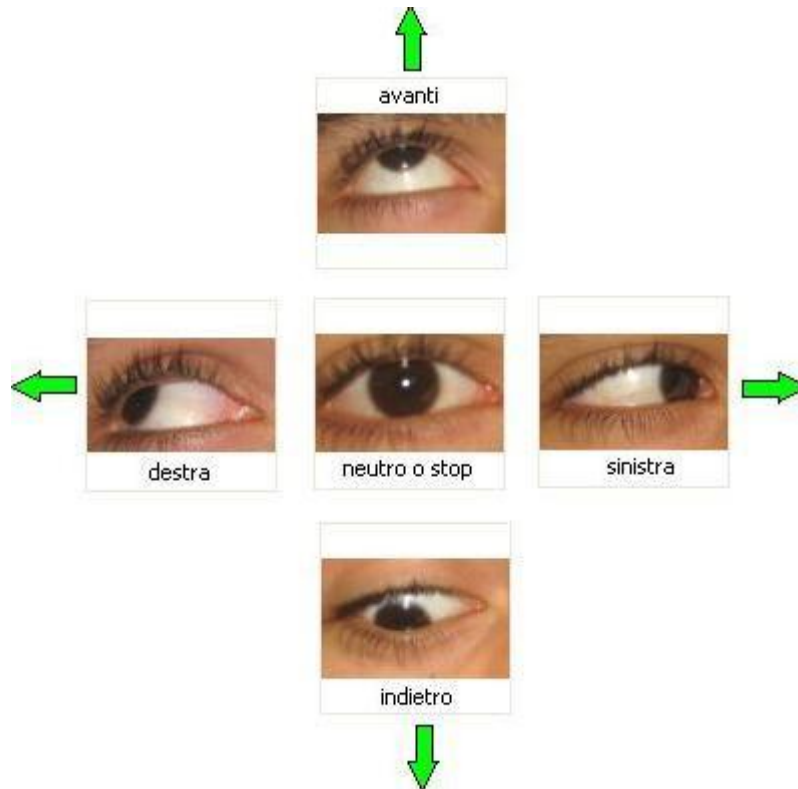


Fig. 78 Schema dei comandi ottici.

il tutto veniva decodificato con questo aggeggio che all'epoca della costruzione chiamai, più o meno a ragione, telecamera retinica.

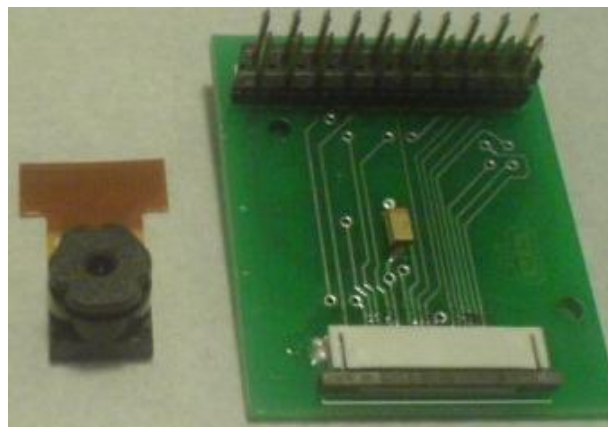


Fig. 79 Telecamera retinica e prima versione di interfaccia per "Open-CV".

Questo oggetto era montato all'interno di un normale occhiale da sole. Può sembrare strano ma pur avendolo immediatamente davanti all'occhio risultava quasi invisibile e per niente fastidioso. il cavo usb scorreva lungo la montatura dell'occhiale e andava a collegarsi al computer principale di bordo (nella foto nascosto sotto il pannello solare utile alla ricarica della batteria). Ovviamente un sistema così "complesso" non può essere controllato dal nostro piccolo PLC il quale costituiva il computer secondario delegato al controllo della motorizzazione e delle situazioni ciclistiche di emergenza.

Il sistema di movimento ruote è rindonato, giusto nel caso si bruciassero i darlington TIP122 del ponte il sistema passa, grazie alla presenza di alcuni algoritmi operativi sul computer principale, al controllo via LPT della scheda a relè visibile nella prossima foto.

Ecco il sistema di controllo ausiliario dei motori:



Fig. 80 interfaccia di potenza a relè

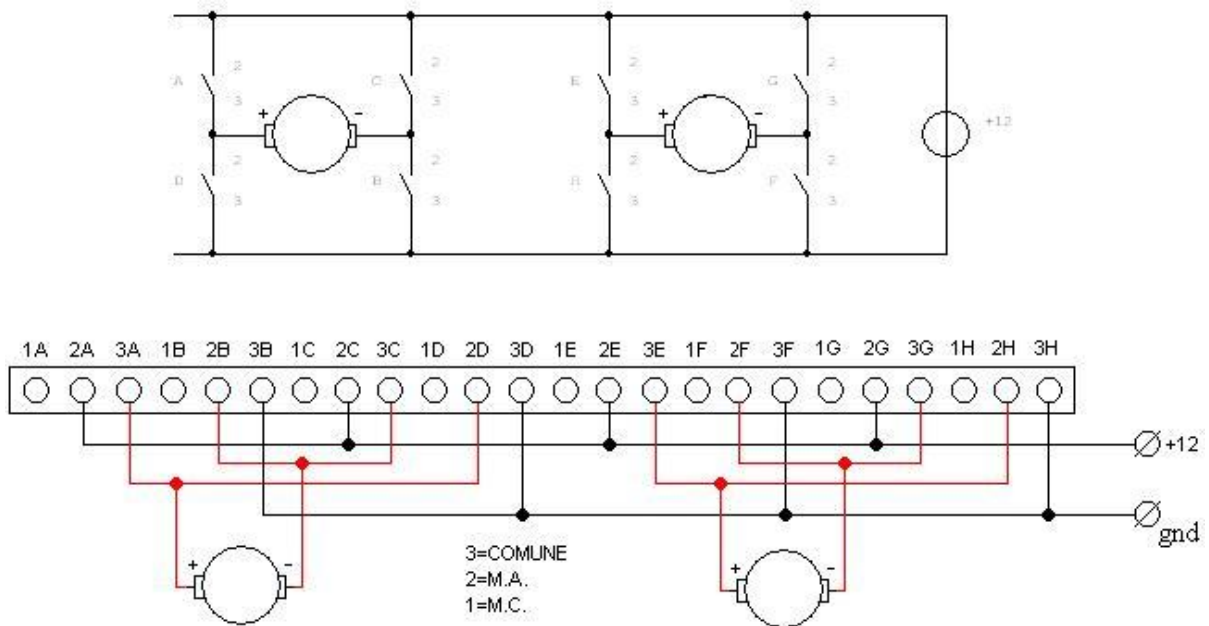


Fig. 81 schema elettrico di potenza a rele e morsettieria.

Come in ogni cablaggio di tipo elettrotecnico, comunemente noto negli ambienti di lavoro come “assemblaggio della quadristica” ogni morsetto è identificato da una lettera progressiva di morsettieria e da due numeri a cui devono corrispondere i cablaggi dei fili.

Benchè il tratto a destra del primo ponte sia soggetto al solo motore della ruota sinistra, ovvero 150Watt, non è conveniente cablare con due sezioni differenti questa ramo dell'impianto elettrico.

Ecco che seguendo questa tecnica siamo in grado rapidamente di capire lo schema sovrastante e di realizzarlo. Ad esempio, il primo contatto così detto "pulito" del relè in alto a sinistra, identificato con la lettera "A" è connesso tramite il filo "2" alla linea positiva di alimentazione, che dovrà essere in grado di trasportare la potenza di 300Watt sulla tensione continua di 24V

Nelle foto successive vediamo la fase di montaggio del PLC nella prossima foto:



Fig. 82 il PLC terminato e pronto all'uso

Il layout componenti si presenta compatto e ben distribuito. La cosa è abbastanza eccezionale dato che questa realizzazione è a singola faccia. Non è stato facile eseguire un PCB così compatto con FidoCad con l'obiettivo di minimizzare i ponti. Unica nota un po' dolente è l'elevata presenza di Bus che collegano la scheda madre (sotto) con la scheda di potenza (sopra). Come possiamo vedere dalla foto lo spessore di tutto il PLC è giusto quello della porta seriale, è quindi d'obbligo procurarsi dei morsetti a basso profilo altrimenti il sandwich non si chiuderà.

Ora non ci resta che installare il PLC sul Robot-sedia, quindi coinvolgo un paio di baldi giovani che accettano con orgoglio e entusiasmo l'incarico. (ovviamente non mi allontanano mai più di metro da loro e dal nascente robottino).



Fig. 83 assemblaggio del PLC a bordo di Optichair I

Hamed Mouram (marocco) e Barbieri Davide (italia-Vicenza), impegnati nell'istallazione del PLC sotto la sedia e sopra la batteria. Per l'installazione del PLC si è dovuto momentaneamente spostare il display dei sensori telemetrici (visibile sopra la sedia). Dopo avere posizionato il PLC riprende posizione anche il telemetrico nella sua bella posizione frontale ben visibile anche se tra le gambe del paziente.

Primi collaudi del PLC

Tramite MPLAB e il compilatore C16 integrato eseguiamo un piccolo programma da utilizzarsi come test in grado di attivare delle uscite. Ecco come appare il sistema di sviluppo.

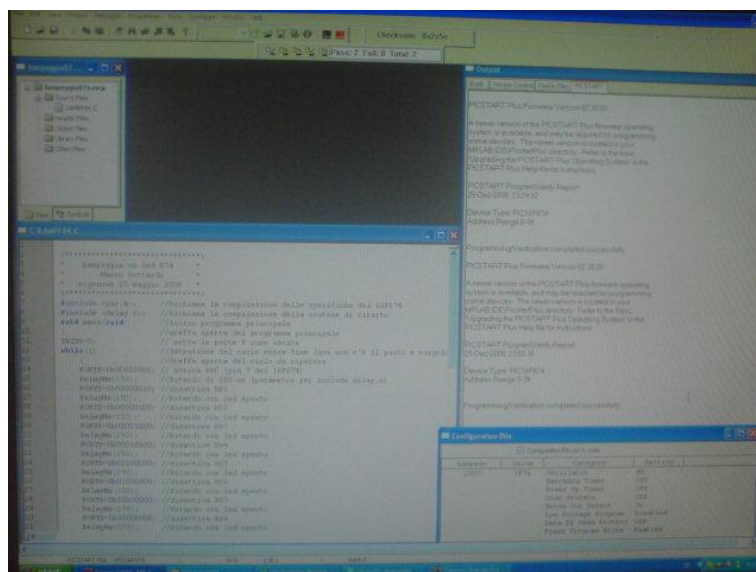


Fig. 84 sistema di sviluppo Mp-Lab di Microchip.

Molto brevemente descrivo la finestra, in alto a sinistra c'è il progetto creato tramite il wizard, ovvero l'assistente, esso mostra i files che fanno parte del progetto, in questo caso a parte la libreria delay.c e delay.h il solo file lampeggio.c. la finestra sottostante contiene il programma in C, a parte la sua intestazione e l'inclusione delle librerie esegue solo il settaggio del registro tramite il comando `TRISD=0`; e successivi richiami della funzione delay intervallata con i settaggi delle uscite tramite il comando `PORTD=0b00000001`; (spostare l'uno per accendere un diverso pin di uscita). La finestra in alto a destra mostra il collegamento con il sistema di programmazione (programmer) che in questo caso il PICSTART PLUS. in essa compare scritto se il trasferimento è andato o no a buon fine. Infine la finestra in basso a destra mostra i fuses. questo programmino di test esegue una scansione dei pin di uscita con un simpatico effetto "supercar".

Una volta chiuso il sandwich e caricato il programma di test si ottiene il risultato finale visibile nella foto successiva.

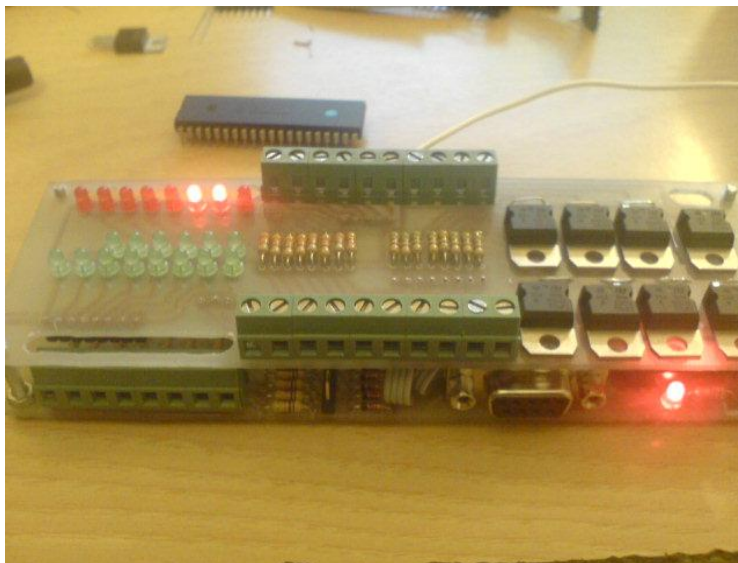


Fig. 85 test del computer di bordo secondario

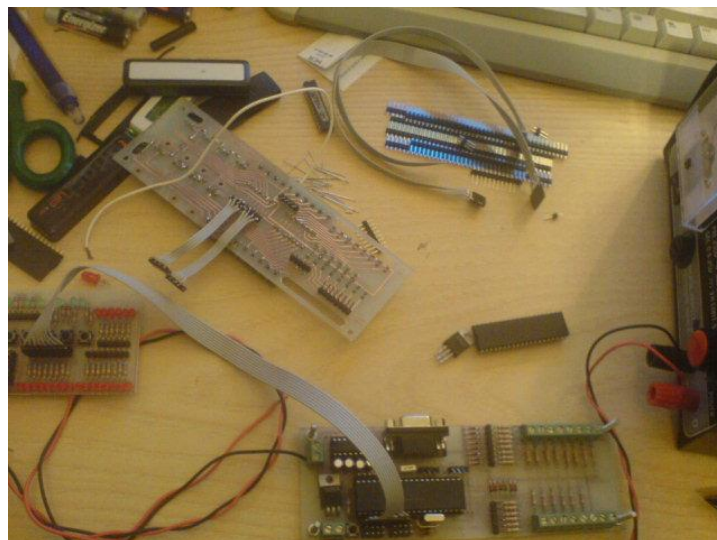


Fig. 86 interfacciamento al sistema di espansione I/O per test e collaudi

La piastra madre è connessa alla scheda di espansione di I/O progettata nel caso si rendessero necessari futuri ampliamenti dei punti di connessione tra gli apparati sensoriali e la logica decisionale.

Programmazione in circuit del PLC

Esiste una maniera comoda ed elegante di programmare il PIC senza doverlo rimuovere dal supporto. Questa tecnica è detta ICSP ed è ampiamente documentata sul mio sito. Normalmente esistono 5 pin di accesso che permettono di iniettare un segnale di richiesta di programmazione e di abilitazione alla scrittura dei dati nella memori dei PIC.

Esiste una maniera ancora più semplice ed elegante che prevede l'utilizzo di due software, uno di exe da eseguire sul sistema operativo del PC detto UPLOADER, e uno di tipo .hex da fleschare all'interno del PIC prima di piazzarlo sulla scheda target detto BOOTLOADER e che funge da sistema operativo per il PIC.

L'impostazione dei fuse deve avvenire all'interno del software (sorgente in C) prima di creare l'hex, per questo motivo sono disponibili molti sorgenti ottimizzati per le varie combinazioni.

Nel CD-Rom in allegato alla tesi sono stati inseriti i file zip contenenti i bootloader ottimizzati per 4Mhz. In essi tutti i fuse sono "disable" e in clock è impostato a 20Mhz. Queste preimpostazioni sono adatte sia al pic 16F876 che 16F877 sia con suffisso A che non A. I nomi dei files sono:

Bootloader per PIC16F876 clock a 20 Mhz

download bootloader per PIC16F876 a 4 Mhz e 9600bps

• 5.3 Ruolo e programmazione del computer secondario

Questo paragrafo della tesi espone come creare il programma in ANSI "C" per microcontrollori PIC, prodotti dall'azienda americana Microchip e simularne il funzionamento. Tutto quanto va al dilà di una esposizione di base viene qui omesso o spostato in appendice al fine di evitare approfondimenti che risulterebbero forvianti rispetto all'argomento della tesi.

Per quanto concerne il ruolo assegnato al computer secondario, questi si occuperà principalmente della gestione dei comandi generati dal computer principale, gestendone i conflitti e abbinandoli ad ulteriori apparati sensoriali di ridondanza, ad esempio il sistema telemetrico di riserva che bypassa il computer principale quando questo abbia per qualsiasi motivo perso le facoltà decisionali.

In sostanza il computer secondario di bordo ha ruolo di interfaccia trasparente fra il computer principale e i controlli di potenza in condizione normale e ottimale di funzionamento, prende invece il totale controllo, nel limite degli apparati sensoriali di bordo macchina rimasti in linea dopo la perdita del funzionamento del computer principale.

Benchè limitato in molti ambiti, quale ad esempio la connettività e la multimedialità, il robot Optichar II rimane operativo anche in totale malfunzionamento del computer principale.

Elenchiamo le funzionalità perse in caso di "computer principale fault":

- Localizzazione GPS
- Connettività web
- Sintesi di voce
- Multimedialità (per la riproduzione di musica e filmati per il confort del paziente)
- Telemetria principale
- Telemetria terziaria
- Guida con Open-CV

Elenchiamo le funzionalità che rimangono in linea anche in caso di rottura del computer principale di bordo:

- Guida a rifrazione IR.
- Telemetria secondaria (impedisce comunque di urtare almeno frontalmente gli ostacoli)

Impostazione del compilatore.

Innanzitutto è bene usare gli strumenti ufficiali "Microchip", ovvero della casa costruttrice del microcontrollore prescelto, quindi su: www.microchip.com e' possibile scaricare Mplab ide.

il link diretto è:

http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002

Risulta facilmente recuperabile da internet anche senza usare questo link, ma semplicemente digitando "MPLAB" su un motore di ricerca.

L'installazione è piuttosto semplice, basterà dire praticamente sempre "SI" ad ogni domanda. Poniamo comunque attenzione alla domanda relativa ad "aggiungere le variabile d'ambiente alla path" a questa è importante dire di "si" per non avere poi errori di compilazione.

Durante la fase di installazione viene integrato un prodotto di un'altra azienda come modulo esterno. Si tratta del compilatore C per PIC16 che sarà poi riconosciuto dall'ambiente come HITECH UNIVERSAL TOOL SUIT che abilita la compilazione per pic 10-12-16.

Attivazione secondo default

Facendo doppio click sull'icona di Mplab comparsa sul desktop si attiva l'ambiente di sviluppo. Per default è impostato su Mpasm che permette la compilazione di programmi scritti in assembly. Viene poi modificato questo default per attivare l'universal tool suite di hitech che è stato installato contestualmente a Mplab.

Inserimento delle librerie elementari

Presento un primo programma sarà banale ma fortemente mirato alla comprensione della corretta impostazione del compilatore e all'utilizzo dei comandi "C16" di base. Lo scopo di questo paragrafo non è imparare il "C" ma semplicemente di essere in grado di muoverci con agilità nell'ambiente integrato di sviluppo. E' necessario creare nella cartella documenti una cartella "pic_project" e copiamoci dentro dopo averli scompattati i tre file contenuti dentro al file zip "ciao_mondo.zip", disponibile nel cd-rom allegato alla tesi.

UserFiles/ad.noctis/File/ciao_mondo.zip

Dentro ci sono 4 files:

- scheletro.c
- delay.h
- delay.c
- ciao_mondo.mcp

Il primo, scheletro.c, è una bozza di programma funzionante contenente una funzione main che implementa un lampeggio di 1 Hertz su un pin del PIC.

Ogni nuovo programma potrà avere inizio usando questo scheletro, dato che con le opportune modifiche può diventare qualunque altra a prescindere dalla complessità. La folder pi-project dovrà contenere una cartella con il nome di ogni programma che verrà realizzato in futuro.

Concettualmente ogni progetto corrisponde a una cartella contenente i files generati dalla compilazione. Questi sono un numero piuttosto elevato e sono gestiti dal file .mcp (microchip project) che li fa coesistere come unica entità agli occhi dell'IDE (integrated developed enviroment).

Ribadendo che questa tesi non vuole trasformarsi in un corso di "C" accenno solo al fatto che nella medesima cartella vi sono due file che hanno il medesimo nome ma diversa estensione. Si tratta di due importanti librerie che per il momento è più importante sapere dove si trovano piuttosto che come usarle. Del resto già dal nome si intuisce che generano un ritardo. Queste sono:

- delay.h
- delay.c

Per i primi test possiamo lasciare le librerie nella cartella pic_project. In effetti sarà più conveniente likarle da una posizione più naturale che è la cartella "include" del compilatore, accessibile da:

```
c:/programmi/HI-TECH/Software/pic9.70/include
```

ma questo comporterà una piccola modifica della riga di comando di inclusione nel sorgente di scheletro.h

Il quarto file è il "progetto" che viene creato nella procedura automatica durante la fase di "project wizard" che verrà esposta tra qualche riga. Cliccando sopra al file .mcp si apre tutto in automatico.

Attivazione del project wizard

Clicchiamo su project->project_wizard

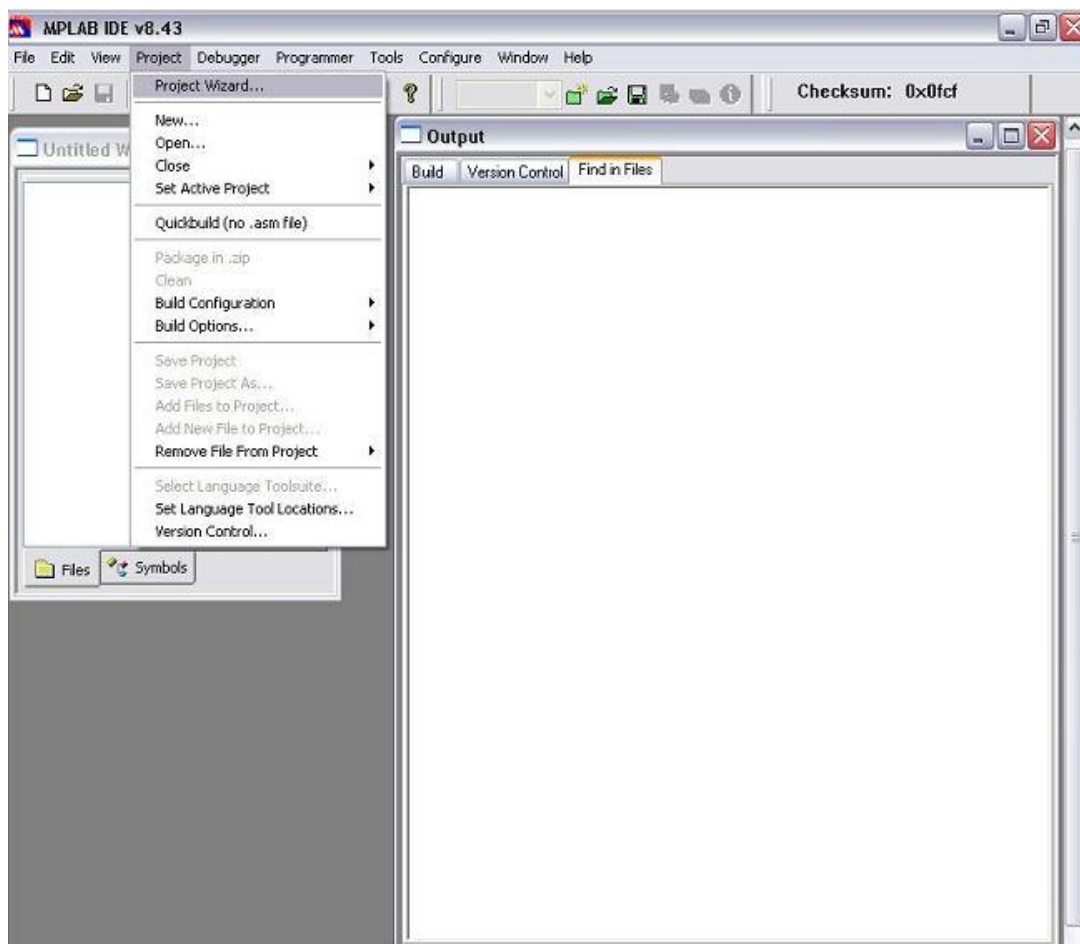


Fig. 87 Attivazione procedura guida di creazione del progetto MpLab

Comparirà una schermata di benvenuto che segnala l'attivazione della procedura automatica di creazione del progetto. Con il termine "progetto" si intende un contenitore per tutti i file di supporto che faranno parte di ciò che stiamo per creare. IL primo passo "dell'assistente nuovo progetto" ci chiede di selezionare il tipo di

PIC "device" che vogliamo utilizzare. Consiglio di utilizzare il 16F877A. Si tratta di un 40 pin dual in line, potente, completo e di facile utilizzo.



Fig. 88 Selezione del microcontrollore impiegato nel computer secondario di optichair

Il secondo passo consiste nella selezione del corretto compilatore. Se sbagliamo qui ci saranno comportamenti anomali nelle fasi successive con il conseguente non funzionamento. Assicuratevi di selezionare come in figura.

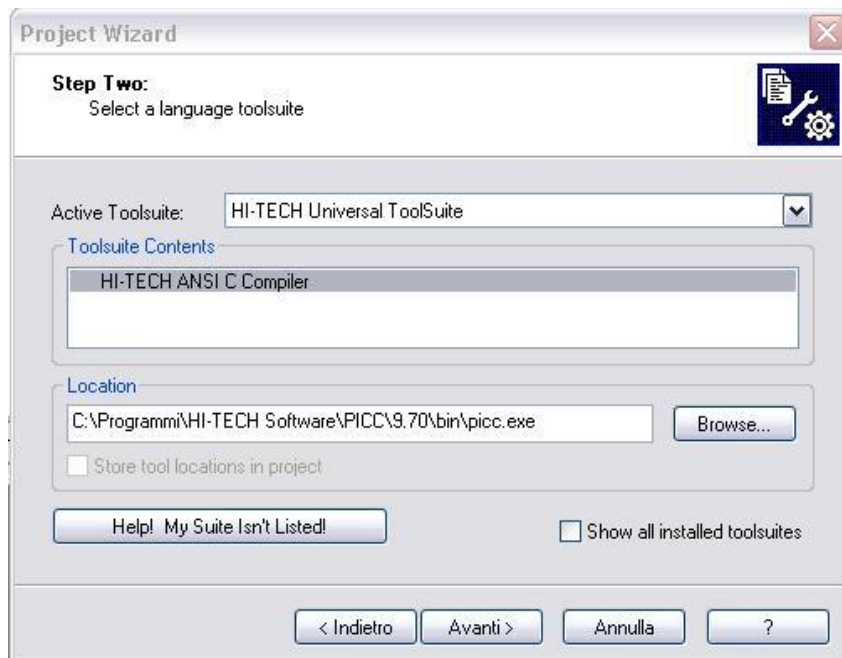


Fig. 89 Selezione del compilatore per il linguaggio prescelto per la programmazione del computer secondario del robot Optichair.

Il terzo passo chiede di dare un nome al progetto. Deve essere chiaro il concetto informatico di "progetto". Questo è più una "cartella" che un singolo file. In molti applicativi creare un progetto significa veder

comparire una vera e propria cartella e poi veder inserire in automatico dei file li dentro. Per Mplab il progetto è un file avente l'icona rossa di Mpalb e estensione mcp (microchip project). Questo file permette alla piattaforma Mplab di correlare tra loro i file in fase di linkaggio. Per questo motivo è opportuno che stiano tutti dentro ad una cartella. Se non la avete già creata (la pic_project) fatelo prima di proseguire.

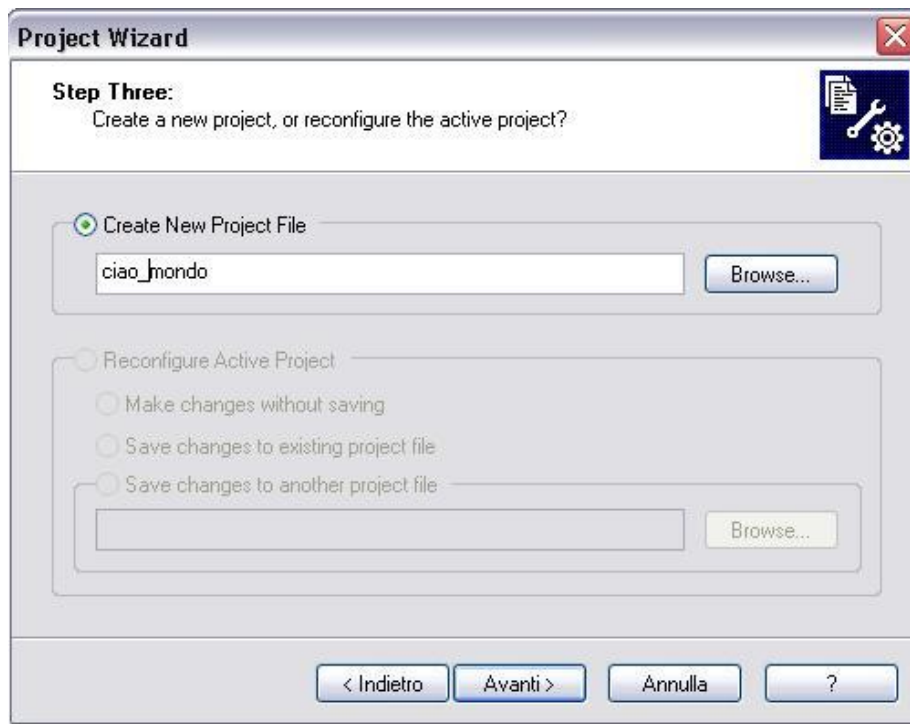


Fig. 90 selezione della cartella e creazione del file progetto

Dare il nome al progetto non è sufficiente. è indispensabile anche dire al browser (gestore delle cartelle del sistema operativo) dove posizionare i file creati e dove linkarli (collegarli tra loro) per creare il file esadecimale (il .hex) che è l'unico trasferibile nella memoria del PIC. (concetto analogo ad ogni altro microcontrollore).

Come vediamo nell'immagine andiamo a salvare il progetto che stiamo creando nella cartella pic_project che abbiamo predisposto sulla cartella documenti.

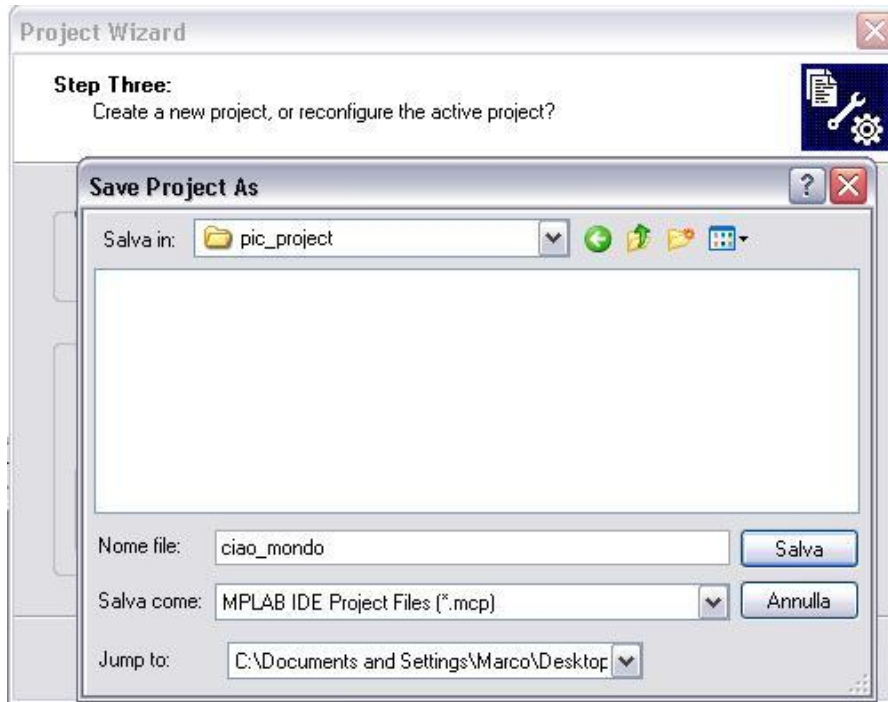


Fig. 91 salvataggio del progetto, assegnazione del nome definitivo

A questo punto ci viene mostrato il percorso in cui abbiamo deciso di salvare. Se coincide con le aspettative semplicemente confermiamo cliccando su avanti.

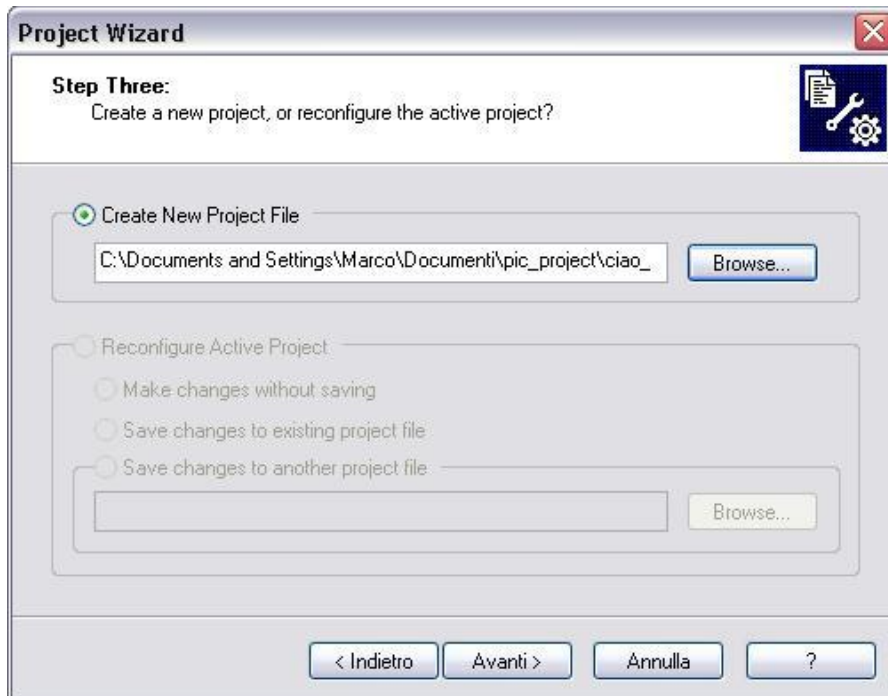


Fig. 92 Conferma dei nomi di cartelle e file ed eventuale creazione del file .mcp

Il quarto passo consiste nell'inserimento dei files all'interno del progetto. Quindi dovrete vedere quanto nella figura sotto. Appare questa situazione solo se avete seguito alla lettera le indicazioni precedenti.

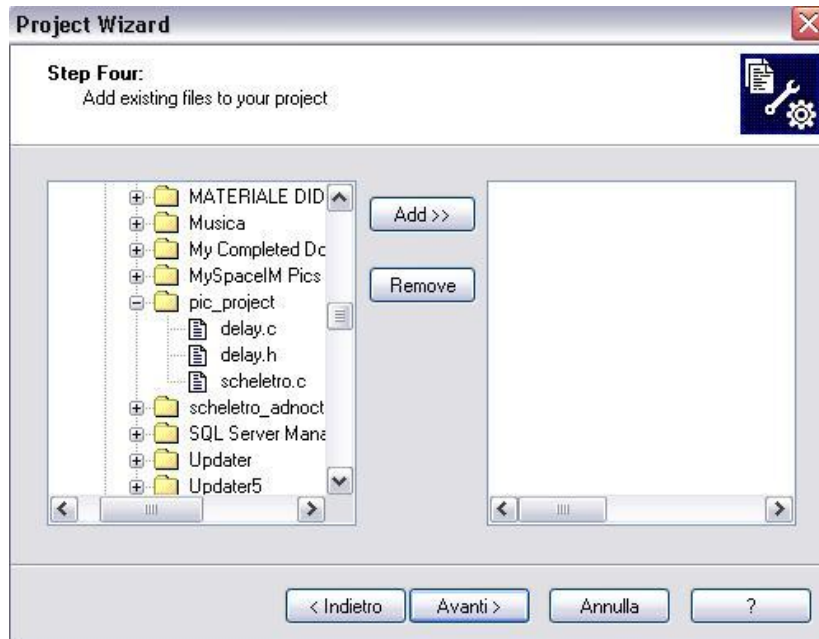


Fig. 93 Aggiunta dei file facenti parte del progetto

Come si nota facilmente sulla colonna di sinistra abbiamo il browser nel quale è contenuta la cartella pic_project e il suo contenuto. Si Dovranno quindi aggiungere i tre file cliccandoci sopra e agendo su "Add"

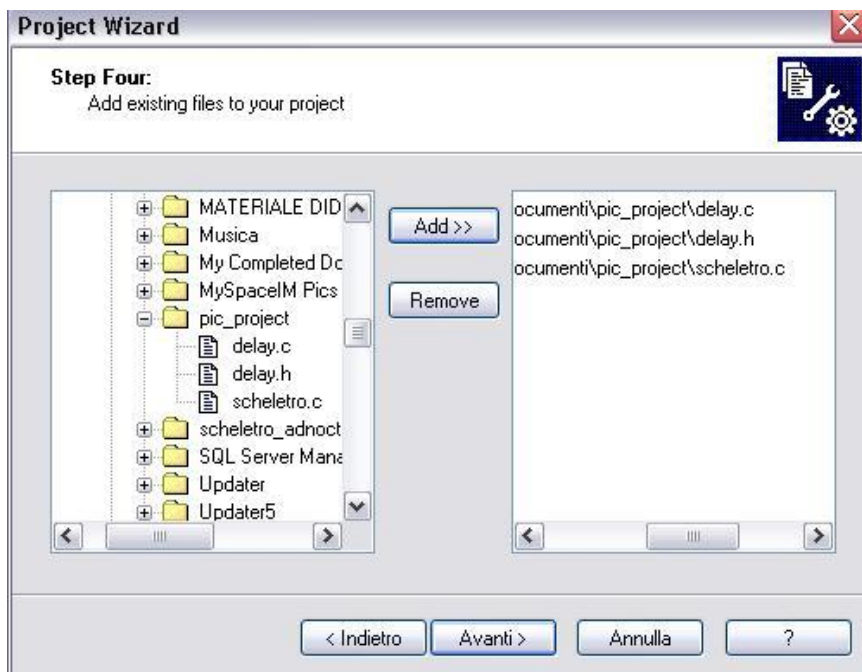


Fig. 94 situazione dopo l'inserimento dei files nel progetto

Viene proposta un'anteprima del progetto che stiamo andando a creare. Se tutto coincide con le aspettative confermiamo.

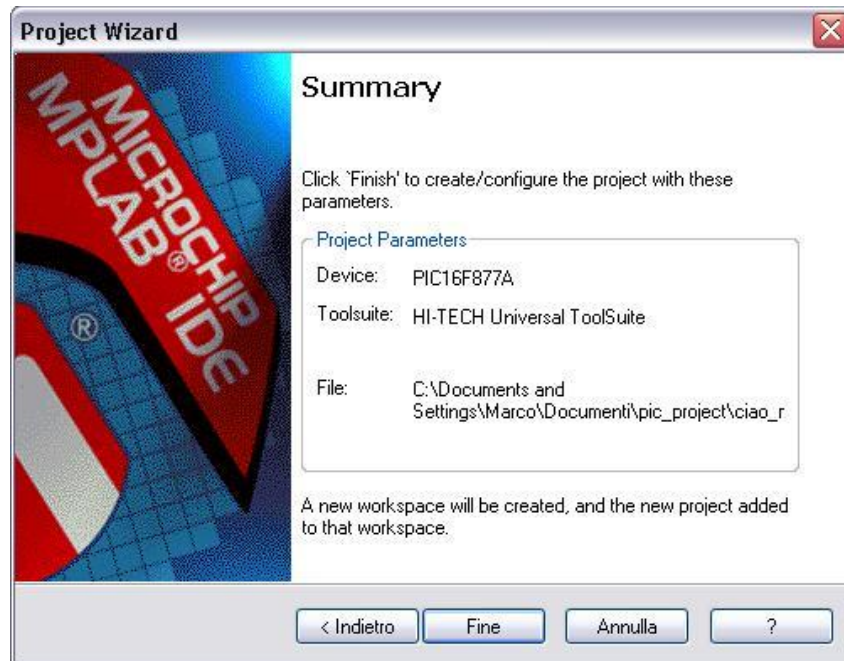


Fig. 95 riassunto della struttura progetto creata

Siamo vicini alla fine. una volta confermato verrà aperto in automatico solo l'albero del progetto, di solito a sinistra, ed ha l'aspetto di un insieme di cartelle aperte il cui significato e scopo verrà spiegato a suo tempo. Viene aperta anche una finestra di nome output, inizialmente vuota. In questa finestra comparirà l'output della compilazione, ovvero il resoconto del fatto che sia andato o meno a buon fine la costruzione del file .hex altre informazioni.

Facendo doppio click sul file scheletro.c si apre l'editor di programmazione. Ecco qui sotto il risultato.

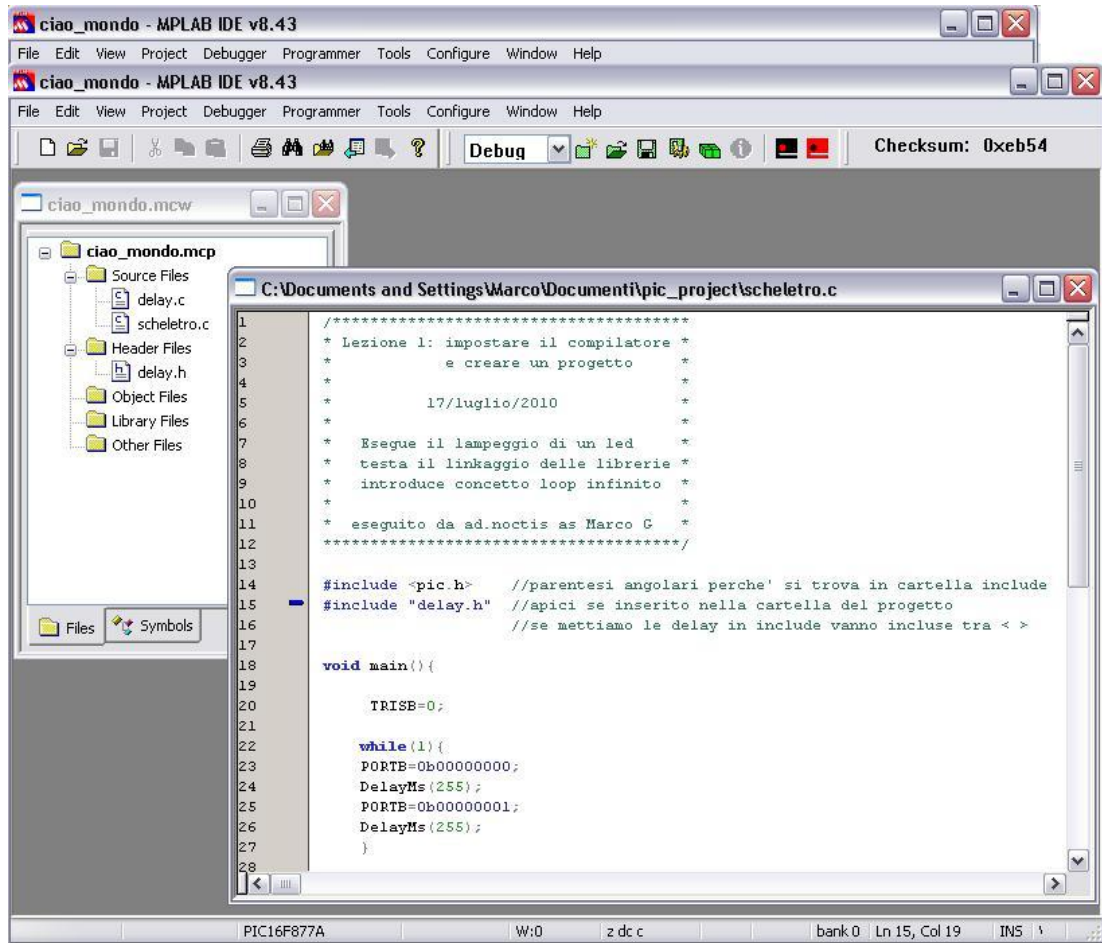


Fig. 96 ambiente di programmazione attiva

Come già detto, ora non è il momento di mettersi a commentare il codice. Dobbiamo imparare ad usare con scioltezza l'editor e in modo particolare il compilatore. Quindi compiliamo.

I comandi di compilazione sono quei due quadretti rosso e nero vicino alla scritta "checksum"

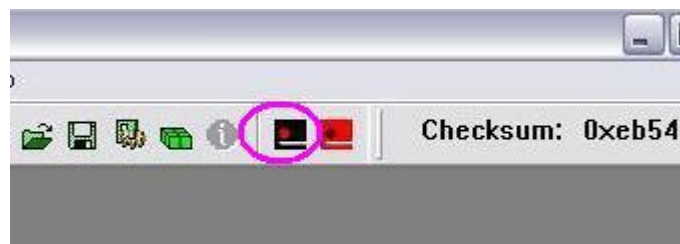


Fig. 97 comandi di compilazione

Se non siete usciti dal seminato cliccando su questo tasto dovrete vedere partire la compilazione con l'effetto visibile qui sotto.

```

ciao_mondo - MPLAB IDE v8.43
File Edit View Project Debugger Programmer Tools Configure Window Help
Output
Build Version Control Find in Files
Build C:\Documents and Settings\Marco\Documenti\pic_project\ciao_mondo for device 16F877A
Using driver C:\Programmi\HI-TECH Software\PICC\9.70\bin\picc.exe

Make: The target "C:\Documents and Settings\Marco\Documenti\pic_project\delay.p1" is up to date.
Make: The target "C:\Documents and Settings\Marco\Documenti\pic_project\scheletro.p1" is up to date.
Executing: "C:\Programmi\HI-TECH Software\PICC\9.70\bin\picc.exe" -ociao_mondo.cof-mciao_mondo.map -sun
(1273) Omniscient Code Generation not available in Lite mode (warning)
HI-TECH C Compiler for PIC10/12/16 MCUs (Lite Mode) V9.70
Copyright (C) 2009 Microchip Technology Inc.

Memory Summary:
Program space      used  41h (   65) of 2000h words (  0.8%)
Data space        used   3h (    3) of 170h bytes (  0.8%)
EEPROM space      used   0h (    0) of 100h bytes (  0.0%)
Configuration bits used   0h (    0) of   1h word  (  0.0%)
ID Location space used   0h (    0) of   4h bytes (  0.0%)

Running this compiler in PRO mode, with Omniscient Code Generation enabled,
produces code which is typically 40% smaller than in Lite mode.
See http://microchip.htsoft.com/portal/pic_pro for more information.

Loaded C:\Documents and Settings\Marco\Documenti\pic_project\ciao_mondo.cof.

***** Build successful! *****
    
```

Fig. 98 compilazione andata a buon fine.

La comparsa della scritta "Build successful!" indica che è stato creato il file .hex che avrà lo stesso nome del progetto e del file .c che contiene il main (inmancabile in ogni programma c).

Andiamo a verificare quale è stato l'effetto della compilazione guardando l'output nella cartella che contiene il progetto.

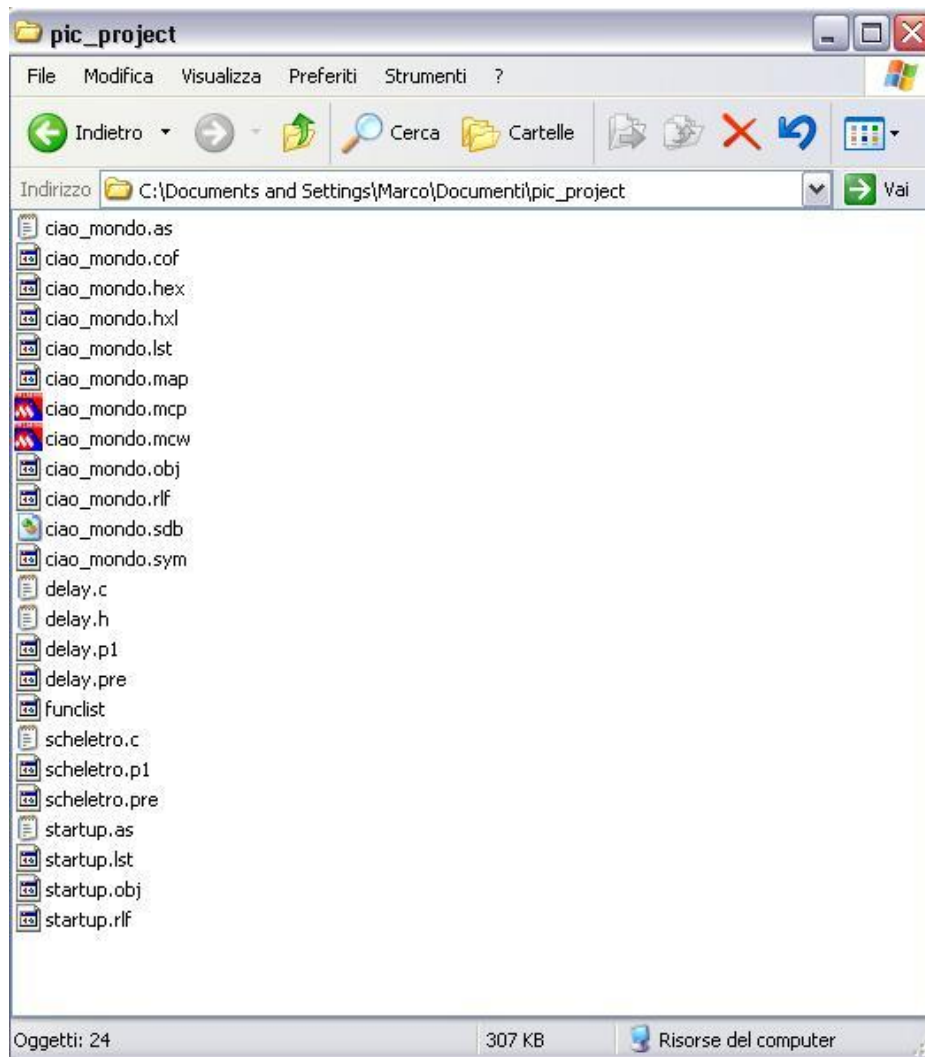


Fig. 99 contenuto della cartella progetto dopo la compilazione.

Sono stati creati davvero molti files. Tutti sono utili per la funzionalità del progetto, ma solo uno è quello trasferibile nella memoria del PIC. questo è "ciao_mondo.hex". per trasferire il file bisogna munirsi di un programmer.

Esiste anche la possibilità di lavorare sotto linux, chi si volesse cimentare scarici sdcc.

E' possibile testare il funzionamento del programma usando il programma Real PIC simulator.



Fig. 100 icona di lancio del simulatore di PIC

Cliccando su questa icona dovrebbe partire il simulatore. Il suo funzionamento è molto semplice.

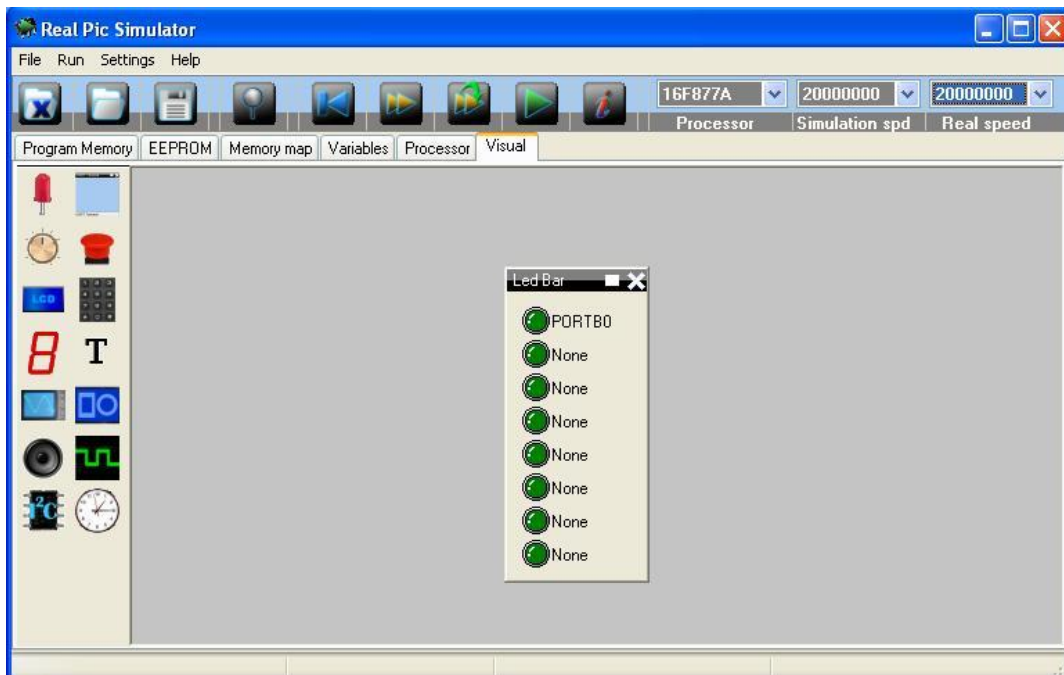


Fig. 101 ambiente “visual” di simulazione del PIC

1. carichiamo il file ciao_mondo.hex
2. clicchiamo e trasciniamo il led rosso verso il centro della pagina, compare la led bar
3. impostiamo la led bar cliccando sul primo lede assegnando PORTB 0
4. Cliccando sul triangolo verde viene eseguito il programma il led lampeggia

Sistema di sviluppo programmer/demoboard

Per programmare, o con un termine meno tecnico di quel che sembra, “Flaschare” la memoria del PIC è necessario munirsi di un sistema di sviluppo e di una demoboard in grado di soddisfare le esigenze almeno dei primi programmi didattici. A tal scopo il laureando ha sviluppato un programmer/demoboard con grandi potenzialità. Tale progetto, fortemente collegato allo sviluppo del robot “Optichair II” è stato chiamato “Micro-GT versatile I.D.E.” (integrated developed enviroment). IL suffisso “GT” è l’abbreviazione del mio cognome “Gottardo”.

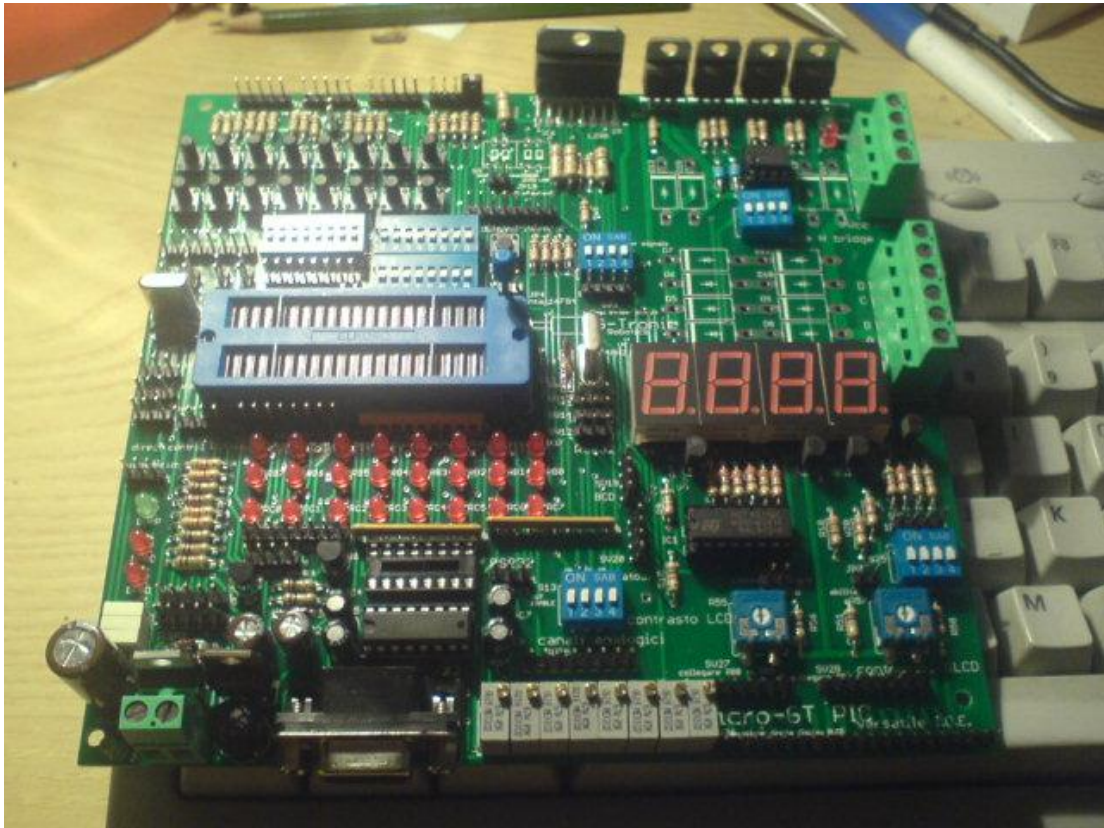


Fig. 102 Sistema di sviluppo Micro-GT Autocostruito per la programmazione del computer di bordo

Riassumo brevemente le caratteristiche tecniche di questo sistema di sviluppo.

- 1 ponte H fino a 8 ampere per pilotaggio motore DC di potenza.
- 1 L298 per il pilotaggio di un motore passo passo oppure di due motori D.C. fino a 2 ampere
- 4 Digit a sette segmenti pilotabili in BCD multiplexato per esercizi tipo contatori, orologi, termometri, ecc.
- 8 canali analogici (per i processori che li supportano) simulati con trimmer multigiro.
- predisposto per 1 display LCD 2 righe per 16 caratteri.
- predisposto per un display grafico 128 x 64 punti.
- 14 uscite digitali onboard (i led rossi) disponibili anche verso il bordo macchina
- 16 ingresso digitali commutabili a gruppi di 4 come NC o NA con pullup o pulldown.
- 1 porta RS232 a doppia funzione, programmazione o supervisione.
- Doppio quarzo a 20Mhz o 4Mhz per la massima compatibilità con i micro disponibili.
- tutti i punti di I/O sono accessibili in modalità free access (portabili in campo).
- doppio connettore ICSP (in circuit serial programming) permette di non rimuovere mai il chip.

Il sistema riconosce i seguenti PIC:

I seguenti controller sono stati testati e risultano pienamente supportati:

- PIC10F200
- PIC12C508A, PIC12CE518
- PIC12F629, PIC12F509, PIC12F675, PIC12F508
- PIC16F54, PIC16F57
- PIC16F84A
- PIC16F88
- PIC16F505, PIC16F627, PIC16F627A, PIC16F628, PIC16F628A, PIC16F630, PIC16F676, PIC16F690
- PIC16F870, PIC16F871, PIC16F872, PIC16F873, PIC16F874
- PIC16F785,

- PIC16F870, PIC16F871, PIC16F872, PIC16F873A, PIC16F876, PIC16F876A, PIC16F877 , PIC16F877A
- PIC16F883
- PIC16F627, PIC16F627A, PIC16F628, PIC16F628A
- PIC16F648A, PIC16F630, PIC16F676
- PIC18F1320, PIC18F2320, PIC18F2550, PIC18F4320, PIC18F2450. PIC18F2550
- Molti altri non provati ma compatibili con i precedenti, anche della serie 18.

• **5.4 Programma del computer secondario, gestione dei conflitti**

Durante la fase di bootstrap il computer principale esegue delle diagnostiche delle periferiche standard e delle periferiche di comunicazione tra cui anche la porta parallela LPT (line printer).

Sulla porta parallela sono generati, come esposto al paragrafo 4.5, i 4 bit di comando di marcia avanti, indietro, rotazione a destra e rotazione a sinistra.

La diagnostica prevede una fase di test delle linee seguite da una fase di interrogazione del campo per identificare se la stampante ivi connessa è in linea.

In mancanza, come nel caso dell'utilizzo per pilotare il robot, di una stampante connessa a questa porta, il bit D2 rimane costantemente alto, dato che non c'è negoziazione con la periferica. Viene pertanto deciso che il bit D2 non viene utilizzato come comando di marcia. Ne consegue che i bit rimasti validi sono D0,D1,D3,D4, che saranno cablati agli ingressi A0,A1,A2,A3 del PLC-PIC auto costruito. Sempre nella fase di avvio tutti bit vengono portati alti dal BIOS e vi rimangono fino alla presa del controllo da parte del sistema operativo che li abbasserà tutti tranne D2. Questi bit simultaneamente alti di comando di marcia avanti e marcia indietro, nonché di rotazione a destra e rotazione a sinistra sono conflittuanti e risultano essere distruttivi per il ponte "H" a cui sono collegati i motori. In effetti si realizza un corto circuito verso la massa. Nella memoria del PIC verrà implementato un programma che virtualizza la rete logica combinatoria di 4 ingressi e 4 uscite specifica nella sottostante tabella di verità:

Tab. 7 Tabella di verità di soluzione dei comandi in conflitto

D4	D3	D1	D0		Uscite PIC			
A3	A2	A1	A0		B3	B2	B1	B0
0	0	0	0		0	0	0	0
0	0	0	1		0	0	0	1
0	0	1	0		0	0	1	0
0	0	1	1		0	0	0	0
0	1	0	0		0	1	0	0
0	1	0	1		0	1	0	1
0	1	1	0		0	1	1	0
0	1	1	1		0	0	0	0
1	0	0	0		1	0	0	0
1	0	0	1		1	0	0	1
1	0	1	0		1	0	1	0
1	0	1	1		0	0	0	0
1	1	0	0		0	0	0	0
1	1	0	1		0	0	0	0
1	1	1	0		0	0	0	0
1	1	1	1		0	0	0	0

Il programma inserito nella memoria del PIC è il seguente:

```
#include <pic.h> //utilizzala libreria di Hitech compiler per riconoscere il PIC
#include "delay.h" //utilizza libreria dei ritardi

void main(){ //inizio del programma principale

    TRISB=0; //imposta il Byte del registro PORTB come uscita
    TRISA=0xFF; //imposta il Byte del registro PORTA come ingresso
```

```

while (1){ //inizia un loop infinito

    if (PORTA==0) { //inizia implementazione rete logica combinatoria
        PORTB=0b00000000;
    }

    if (PORTA==1) {
        PORTB=0b00000001;
    }
    if (PORTA==2) {
        PORTB=0b00000010;
    }

    if (PORTA==3) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==4) {
        PORTB=0b00000100;
    }
    if (PORTA==5) {
        PORTB=0b00000101;
    }
    if (PORTA==6) {
        PORTB=0b00000110;
    }
    if (PORTA==7) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==8) {
        PORTB=0b00001000;
    }
    if (PORTA==9) {
        PORTB=0b00001001;
    }
    if (PORTA==10) {
        PORTB=0b00001010;
    }
    if (PORTA==11) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==12) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==13) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==14) {
        PORTB=0b00000000;
    }
    if (PORTA==15) {
        PORTB=0b00000000;
    }
}
}

```

• 5.5 Inserimento delle autoritenute dei comandi di marcia

Durante il normale funzionamento il robot riceve dei comandi basilari dall'utente successivamente filtrati e rielaborati dai due computer di bordo. Il PLC PIC, costruito ad hoc, ovvero il computer secondario è quello effettivamente generante i segnali marcia, riveduti e corretti. Il programma in ANSI C del paragrafo precedente si prende carico di impedire ai segnali conflittuanti di distruggere lo stadio finale di potenza, che benché ridondato in triplice presenza ha sempre la struttura di un ponte ad H. Come già visto questo sarà costituito da:

- Quattro transistor darlington di potenza di tipo TIP122, configurati a ponte H, a bordo del PLC.
- Quattro relè, configurati con i contatti N.O. a ponte ad H, anche pilotabili direttamente dagli occhiali a riflessione IR, qualora i sistemi robotici venissero automaticamente bypassati a seguito di una anomalia di funzionamento segnalata dagli algoritmi diagnostici in funzione nel computer di bordo principale.

- Quattro mosfet di potenza, inserito nello stadio di uscita dell'inverter di potenza, configurati a ponte e pilotati in PWM allo scopo di poter modulare la velocità degli attrattori D.C. e quindi la velocità di spostamento della sedia, mantenendo costante la coppia fornita agli assi delle ruote.

Operativamente, l'utente Optichair II imprime un comando ottico, tramite gli occhiali a riflessione IR costituito da un singolo impulso ottenuto spostando la pupilla nella direzione in cui si intende generare il moto. Il programma precedentemente esposto, costringerebbe la persona a tenere gli occhi puntati nella direzione prescelta, quindi sarebbe praticamente inutilizzabile. Si corregge l'algoritmo di comando introducendo nella logica le seguenti correzioni che aggiungono le autoritenute. In questa maniera si libera lo sguardo dell'utente il quale delega il robot e i suoi apparati sensoriali alla navigazione in sicurezza. Il comando rimane attivo fino al momento in cui non viene impartito un nuovo ordine.

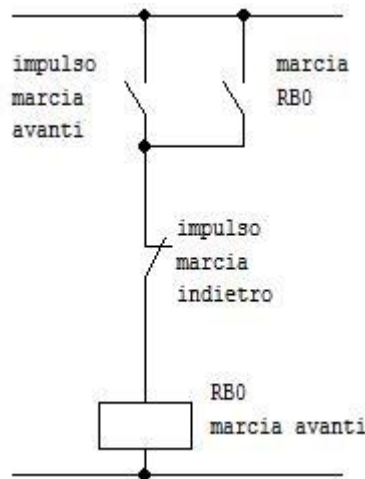


Fig. 103 schema funzionale del comando di marcia autoritenuto.

Uno schema funzionale è una rappresentazione elettromeccanica di un algoritmo che potrà essere successivamente implementato in un qualsiasi linguaggio ad alto livello. Le operazioni logiche combinatorie agenti sul singolo bit necessarie sono le seguenti:

Tab. 8 operatori logici combinatori booleani del C16

operazioni logiche combinatori ANSI C per PIC16	
	OR logico bit a bit
&&	AND logico bit a bit
!	negazione
=	Impostazione su risultato logico

Nel caso del robot Optichair II, i funzionali esposti sono stati sviluppati in ANSI C per PIC16. La sintassi corretta per la realizzazione del segmento (in alcuni linguaggi specifici dei PLC denominato rung), è la sottostante:

```
#include <pic.h> //libreria di Hitech compiler per riconoscere il PIC
#include "delay.h" //utilizza libreria dei ritardi

#define in1 RA0 //impulso marcia avanti
#define in2 RA1 //impulso marcia indietro
#define out1 RB0//comando marcia avanti

void main(){ //inizio del programma principale

    TRISB=0; //imposta il Byte del registro PORTB come uscita
    TRISA=0xFF; //imposta il Byte del registro PORTA come ingresso

    while (1){ //inizia un loop infinito
        if ((in1||out1)&& !(in2)) out1=1; //implementa comando logico di autoritenuta
```

}
}

L'esempio precedente è ripetuto per i quattro comandi principali, ovvero:

- Impulso marcia avanti
- Impulso marcia indietro
- Impulso gira destra
- Impulso gira sinistra

Questi comandi derivano dall'orientamento delle pupille come indicato nelle figure:

1. Fig. xxx comandi di marcia codificati nella posizione dell'occhio.
2. Fig. xxx Rilevamento comandi con algoritmi di visione.

Il funzionale completo è rappresentato nella successiva immagine. Ad ogni segmento corrisponde il controllo di un pin del PORTB del microcontrollore che piloterà il ponte H.

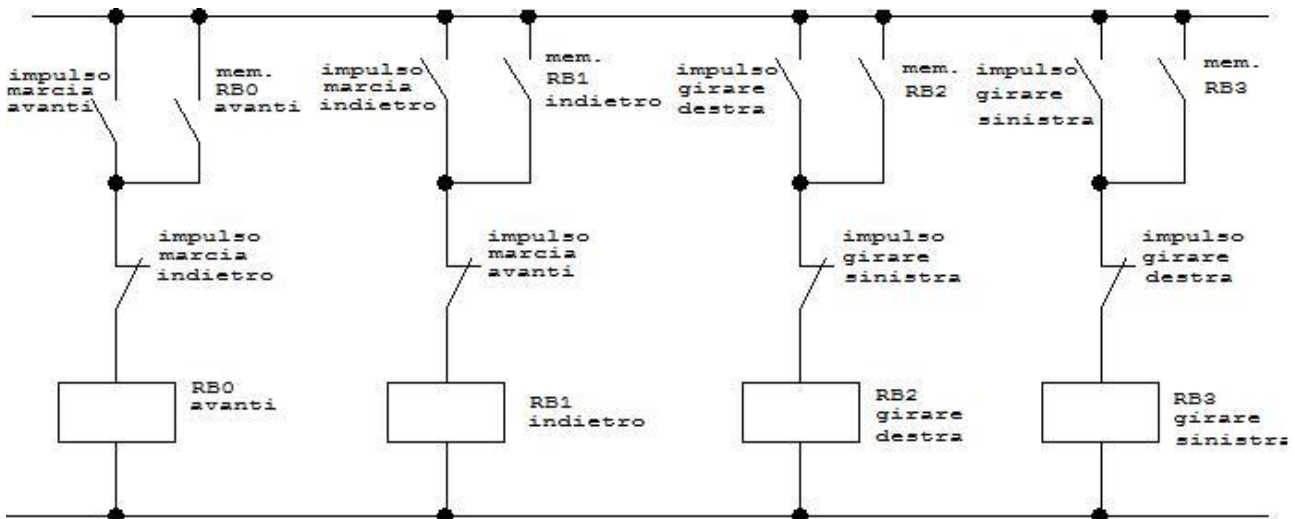


Fig. 104 schema funzionale del comando di marcia autoritenuto.

L'implementazione del programma in grado di gestire i quattro segnali di comando, il cui principio di base rappresentato nel funzionale sovrastante richiede la reimpostazione di una tabella delle attribuzioni che associa in maniera univoca e definitiva i bit di segnale di I/O ad una etichetta mnemonica e ai pin del PIC. La prossima tabella riporta questa associazione.

Tab. 9 lista delle attribuzioni delle etichette ai pin del microcontrollore

Etichetta	PIN	segnale
In1	RA0	Impulso marcia avanti
In2	RA1	Impulso marcia indietro
In3	RA2	Impulso girare a destra
In4	RA3	Impulso girare a sinistra
Out1	RB0	Avanti
Out2	RB1	Indietro
Out3	RB2	Girare a destra
Out4	RB3	Girare a sinistra

L'implementazione del programma esteso ai quattro segnali provenienti dai dispositivi di puntamento, ovvero gli occhiali sensoriali si di tipo open-CV che a rifrazione IR-Reflex, nonche' dalle eventuali sonde BCI se delegate al controllo dei motori, risulta essere una semplice estensione del precedentemente esposto.

```
#include "delay.h" //utilizza libreria dei ritardi

#define in1  RA0 //impulso marcia avanti
#define in2  RA1 //impulso marcia indietro
#define in3  RA2 //impulso girare a destra
#define in4  RA3 //impulso girare a sinistra
#define out1 RB0 //comando marcia avanti
#define out2 RB1 //comando marcia indietro
#define out3 RB2 //comando girare a destra
#define out4 RB3 //comando girare a sinistra

void main(){ //inizio del programma principale

    TRISB=0; //imposta il Byte del registro PORTB come uscita
    TRISA=0xFF; //imposta il Byte del registro PORTA come ingresso

    if (PORTA==0) { //inizializza il PORTB a zero
        PORTB=0b00000000; //ferma tutti i motori
    }

    while (1){ //inizia un loop infinito

        if (((in1|out1) && (!in2) && (!out2)){ //implementa comando logico di autoritenuta su avanti con interblocco
            out1=1;
        }
        else {
            out1=0;
        }

        if (((in2|out2) && (!in1) && (!out1)){ // implementa comando logico di autoritenuta su indietro con interblocco
            out2=1;
        }
        else {
            out2=0;
        }

        if (((in3|out3) && (!in4) && (!out4)){ //implementa comando logico di autoritenuta su gira a destra con interblocco
            out3=1;
        }
        else{
            out3=1;
        }

        if (((in4|out4)&& (!in3)&&(!out3)){ //implementa comando logico di autoritenuta su gira a sinistra con interblocco
            out4=1;
        }
        else{
            out4=0;
        }

    }

}
```

• 5.6 linguaggio “LadderPic” specifico per il computer secondario

Come tutti i PLC sarà possibile programmare il dispositivo con un linguaggio visuale e il suo editor, a contatti detto Ladder o per i tedeschi amanti siemens KOP.

Questo non è un lavoro mio, ho trovato i sorgenti in internet, e dopo avere contattato l'autore via mail, ho ottenuto il permesso per il suo utilizzo e la sua redistribuzione a patto che non metta le mani nei sorgenti.

Non ha senso reimpaginare tutto qui, quindi vi posto il link della pagina del mio sito da dove potrete scaricare sorgenti ed eseguibili.

http://www.gtronic.it/energiaingioco/it/scienza/PIC_LADDER.html

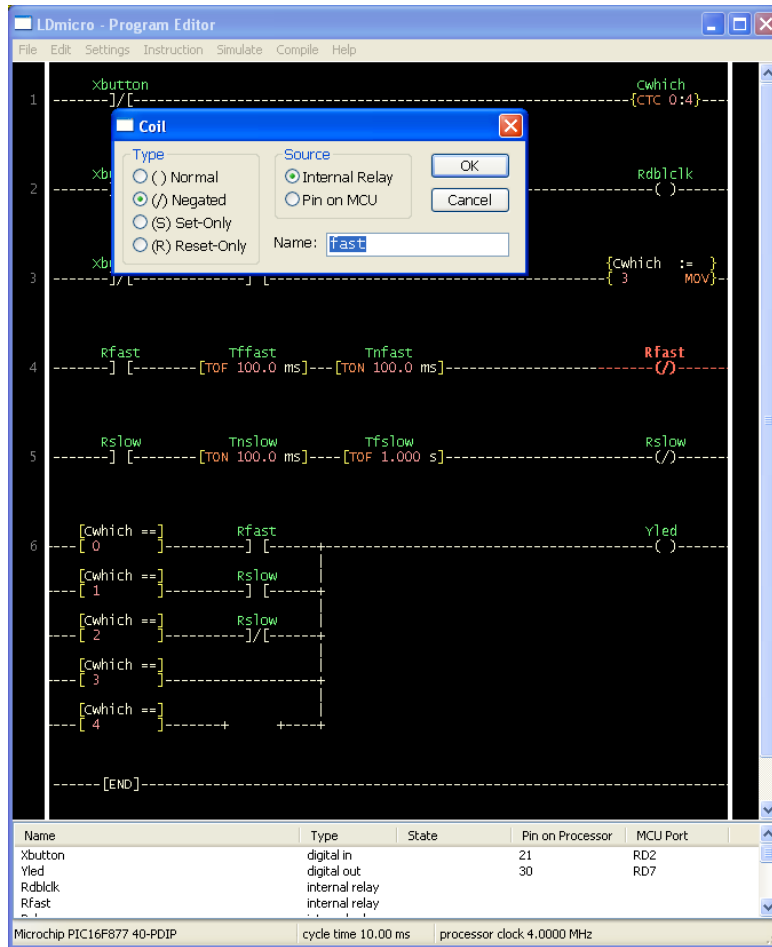


Fig. 105 aspetto dell'editor di programmazione a contatti (ladder o Kop) che produce il file .hex

• 5.7 Interfacce di potenza

Le interfacce di potenze rimangono medesime del precedente robot per cui non ci si prolunga oltre.

CAPITOLO 6 Sistemi sperimentali di guida "BCI"

• 6.1 Tecnica BCI

Cosa sono le onde cerebrali e come funzionano? Qui di seguito abbiamo riprodotto un grafico (elettroencefalogramma) tratto del EEG ovvero dalla macchina chiamata elettroencefalografo inventato attorno al 1920 dallo svizzero H. Berger che aiutò moltissimo nelle diagnosi dell'epilessia e delle lesioni cerebrali. segue poi uno schema delle varie onde cerebrali i cui nomi abbiamo scritto nei colori che corrispondono alle loro vibrazioni. E' da sottolineare soltanto che non tutti i testi scientifici sono in accordo sull'esatta frequenza delle onde cerebrali calcolate in "cicli al secondo" ovvero in Hertz (Hz). Noi abbiamo riportato una media accettata dalla maggioranza dei testi consultati.

Per gli appassionati di internet, fra i molti siti interessanti da segnalare a proposito citiamo:

http://www.intelligenzartificiale.com/onde_cerebrali.htm

<http://www.guruji.it/ondealfa.htm>

dove, in quest'ultimo, si possono ascoltare interessanti brani che portano il cervello in ALFA

• 6.2 Segnali EEG

Segnale elettro encefalografico di un soggetto adulto normodotato acquisito a livello del cuoio capelluto tramite sensori esteri. L'acquisizione è avvenuta a soggetto sveglio ad occhi aperti. Il segnale risulta omogeneo e ripetitivo con ampiezze dell'ordine di 50 micro Volt. All'altezza della seconda riga verticale rossa è presente un picco negativo corrispondente al battito delle ciglia. Tale picco negativo risulta presente ad ogni battito di ciglia volontario o involontario pertanto potrebbe essere sfruttato, con opportune elaborazioni e emissioni in sequenze volontarie, come segnale di pilotaggio del sistema di controllo dell'arto artificiale.

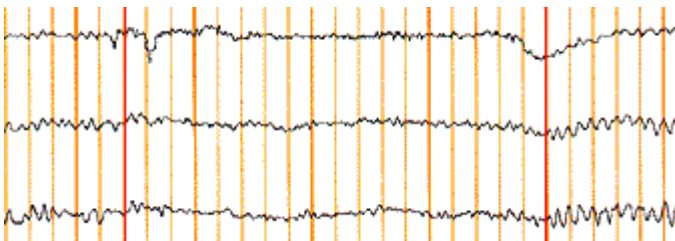


Fig. 106 Tracciato EEG su paziente normodotato in tranquillità emotiva

Il primo problema che incontriamo nell'applicazione del progetto è l'esistenza di tracciati EEG anomali sviluppati dai soggetti epilettici. Ne riportiamo un esempio nell'immagine sottostante.

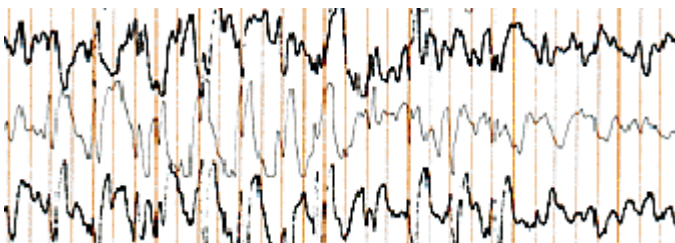


Fig. 107 Tracciato EEG su paziente epilettico

Il tracciato non presenta segnali filtrabili corrispondenti a azioni volontarie/involontarie come ad esempio il battito delle ciglia.

I sensori utilizzati dai normali strumenti elettromedicali per EEG hanno l'aspetto di piccole placche applicabili in maniera non invasiva in zone standard della calotta cranica. La mappatura encefalica dei segnali risulta poco diversa da soggetto a soggetto.

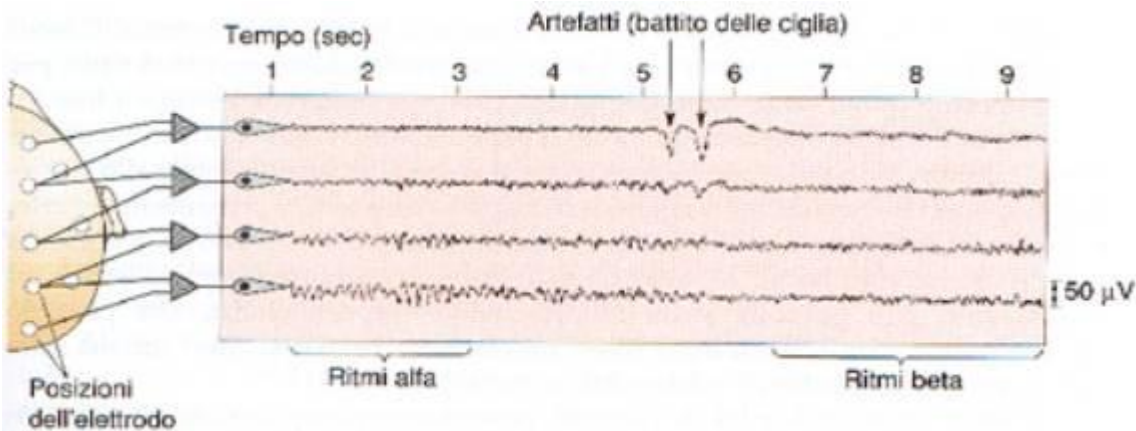


Fig. 108 segnale utilizzabile per comandare dispositivi, nello specifico il battito delle ciglia

Con la tecnica dell'averaging, che consiste nel sovrapporre porzioni di segnali allineandole rispetto ad un determinato evento temporale, è possibile ottenere dall'EEG i cosiddetti ERP, event related potentials.

Il potenziale evocato, ERP, consiste in una variazione specifica dell'EEG e della MEG conseguente ad una stimolazione di una via sensoriale o ad un evento motorio.

Esso è costituito da oscillazioni del potenziale elettrico o del flusso magnetico (secondo la tecnica sperimentale utilizzata) e da forme d'onda caratterizzate da una serie di deflessioni positive o negative. Queste deflessioni vengono normalmente definite componenti. La polarità delle componenti ERP dipende dalla posizione dell'elettrodo EEG o sensore MEG all'interno della distribuzione del campo elettrico e magnetico superficiale. A sua volta la distribuzione dei campi superficiali dipende dall'area corticale attivata e dal suo orientamento rispetto al cuoio capelluto.

• 6.3 Classificazione delle onde cerebrali

Le onde prodotte dal cervello sotto forma di emissione elettrica sono suddivise in 4 principali categorie, onde alfa, beta, delta, theta. Esse si distinguono per ampiezza, frequenza, e stato del paziente in esame. La prima distinzione riguarda la differenza di tracciato tra stato onirico e stato di veglia a sua volta suddiviso soggetto a occhi chiusi e soggetto ad occhi aperti.

I tracciati che seguono rappresentano le registrazioni oscillografiche alfa, beta, delta, theta di un paziente in stato di veglia ad occhi aperti.

onde ALFA (da 8 a 13 Hz -cicli al secondo) appaiono durante il riposo o la meditazione. Compaiono quasi sempre appena chiudiamo gli occhi. Indicano in genere una situazione di benessere psicofisico.

Con il rilassamento il ritmo della nostra attività cerebrale rallenta, le onde cerebrali diventano più distanti, ampie, lente e meglio formate. A questo livello la coscienza è vigile, ma l'attività fisica e la percezione degli stimoli esterni è ridotta al minimo, il corpo è rilassato. E' lo stato che proviamo nel dormiveglia e al risveglio, possono apparire delle immagini legate a situazioni precedenti o future. In queste situazioni ci capita di "fantasticare" ricevendo comunicazioni e intuizioni.

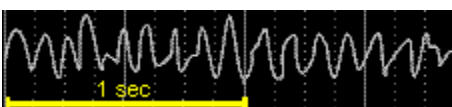


Fig. 109 Onde alfa.

onde BETA (da 14 a 35 Hz -cicli al secondo) stato di veglia sono presenti quando puntiamo l'attenzione o ci impegniamo nella soluzione di un problema.

A questo livello percepiamo attraverso i sensi fisici. Le onde cerebrali prevalenti sono piccole, brevi, ravvicinate, mal sincronizzate.

E' uno stato ricettivo alle stimolazioni provenienti dal mondo fisico, le seleziona, cataloga, elabora e applica. Leggendo queste righe il vostro cervello sta producendo onde beta

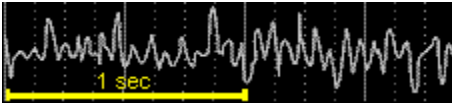


Fig. 110 Onde beta

onde DELTA (da 0,5 a 4 Hz -cicli al secondo) Inconscio Sono le onde più lente. Compaiono soprattutto durante lo stato di sonno non REM (senza sogni). Sono in correlazione con il nostro inconscio più antico e profondo. Sono collegate anche a stati di tensione muscolare. l'inconscio mantiene le attività vitali dell'organismo al minimo e il subconscio si è aperto totalmente. Questo stato di coscienza viene anche chiamato "estasi". Le onde delta possono essere raggiunte artificialmente con le droghe che però, poi, portano il cervello a perdere neuroni sino alla precoce ed irreversibile degenerazione totale. Mentre con le tecniche di meditazione si possono raggiungere, egualmente, questi livelli di "estasi" volontariamente e senza danni cerebrali.

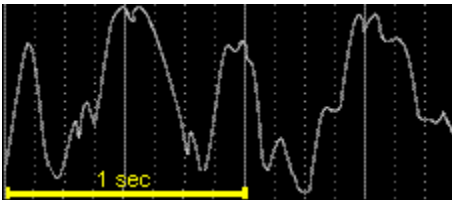


Fig. 111 onde delta

onde THETA (da 5 a 7 Hz -cicli al secondo) Si rilevano soprattutto durante lo stato di sonno REM (sogni). Sono in correlazione con i nostri cambiamenti di umore, con le emozioni e i sentimenti, con le nostre immagine profonde.

Le onde cerebrali sono più lente e ampie. domina i processi biologici, il subconscio sta aprendo la porta di comunicazione con il conscio. E' il livello del sonno profondo e del sogno. Siamo in un'altra dimensione, dove è attiva una coscienza diversa che usa organi di percezione diversi senza limiti spazio-temporali è lo stato dell' "ispirazione". e delle guarigioni cosiddette "miracolose" è usato in molte terapie di solistiche

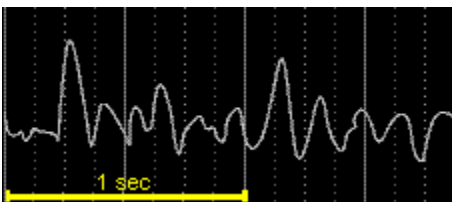


Fig. 112 onde theta

Un tracciato EEG completo delle armoniche alfa, beta , delta e theta ha quindi, in un soggetto normodotato e sveglio ad occhi aperti, l'aspetto riportato nella figura sottostante.

Nel tracciato non è evidenziato alcun movimento, spasmo involontario o segnale diverso dalle normali funzioni vitali nello stato di riposo.

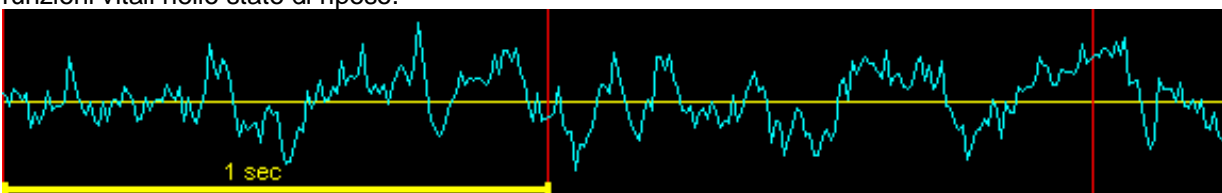


Fig. 113 tracciato EEG completo

• 6.4 L'esperienza di Martindale

Verso la fine degli anni '70 uno psicologo americano, dell'Università del Maine, di nome Martindale, usò l'elettroencefalogramma per testare le onde cerebrali di alcune persone che inventavano una storia. L'esperienza rivelò che la creatività ha due fasi, l'ispirazione e l'elaborazione. Durante l'ispirazione il cervello è molto tranquillo perché lavora in onde ALFA che caratterizzano le sedute di meditazione e di yoga. Questo spiega anche quello che accade a molte persone che pensano ad un problema prima di addormentarsi perché sanno che poi svegliandosi avranno la soluzione a portata di mano. Infatti, durante il sonno e il rilassamento le onde ALFA aiutano il cervello ad essere creativo e a trovare soluzioni impensabili in stato di veglia. Martindale osservò, però, che quando veniva chiesto di elaborare la storia, le onde passavano da ALFA a BETA e l'attività del cervello diventava più frenetica. Le persone che presentavano una maggior differenza di frequenza fra la fase creativa e la verbalizzazione della storia stessa producevano racconti più fantasiosi.

• 6.5 Le sonde BCI

Sono in commercio vari tipi di sonde per classificatori BCI ad uso non invasivo, diversificate per il tipo di materiale in cui sono costruite e per l'affidabilità con cui sono in grado di rilevare i deboli e rumorosi segnali EEG



Fig. 114 elettrodi, (sonde o sensori) di tipo commerciale.

• 6.6 Il classificatore BCI

L'amplificatore ad uso medico è un neuroscan sysamp. a 32 canali



Fig. 115 neuroscan sysamp. a 32 canali

• 6.7 Algoritmi BCI

Gli algoritmi utilizzati sono implementati nelle librerie standard di matlab quindi, escludendo dalla trattazione della tesi si preferisce non dilunarsi oltre.

• 6.8 Il "blinker" ovvero il sistema di rilevamento dei tempi P300

Il segnale denominato P300 si presenta agli elettrodi con un ritardo di 300ms rispetto allo stimolo che il soggetto riceve.

E' proprio tale segnale che viene impiegato per la generazione dei quattro bit necessari al comando del movimento del robot Optichair II.

Al fine di testarne la riproducibilita' volontaria, i tempi ritardo tra il lancio dello stimolo e la comparsa della P300, e quindi di definire un grado di affidabilita' quando usato con ruolo di comando del movimento del robot da parte del paziente, e' stato progettato dal laureando il circuito denominato "blinker" funzionante secondo queste specifiche operative:

- Un programma in C++ lancia a monitor uno stimolo visivo (quadrato luminoso bianco su sfondo nero)
- Un timer interno al programma si avvia all'istante del lancio dello stimolo visivo a monitor.
- Il paziente si concentra sullo stimolo e il suo cervello genera il segnale P300 acquisito da uno degli elettrodi (sonde BCI) dislocata secondo una precisa mappa encefalica.
- La comparsa della P300 invia un segnale all'amplificatore ad uso medico e un neuroscan sysamp. a 32 canali.
- Lo stesso neuroscan ha acquisito su un altro canale il segnale proveniente dal circuito "blinker" che sta simulando una sonda BCI, genera quindi gli stessi livelli di segnale neuronale.
- Vengono comparati i tempi di risposta dei due canali, ovvero la sonda applicata al paziente e la simulazione della sonda collegata al circuito blinker.

Lo schema elettrico del circuito blinker non e' molto complesso, si tratta in effetti di un comparatore che rileva lo stato di illuminata o non di una foto resistenza. L'uscita del primo stadio operazionale si fissa, quando allo stato alto e con batteria ben carica alla tensione di 9V meno le cadute interne ovvero 1,4V, quindi $V_{out}=7,6V$.

Il secondo stadio operazionale e' usato in maniera un po' anomala ma funzionale. Esso costituisce uno stadio invertente, quindi, a prescindere dal guadagno fissato dalla rete di retroazione, dovrebbe presentare in uscita un valore di tensione negativo. Ovviamente questo e' impossibile dato che la sorgente di alimentazione e' a singolo livello e non duale, si tratta infatti di una pila da 9V D.C.

In effetti l'operazionale e' usato come generatore di corrente costante forzata a circolare sulla resistenza da 4,7 ohm ai cui capi si preleva la tensione di 5mV simulante il segnale P300 acquisito da una sonda EEG.

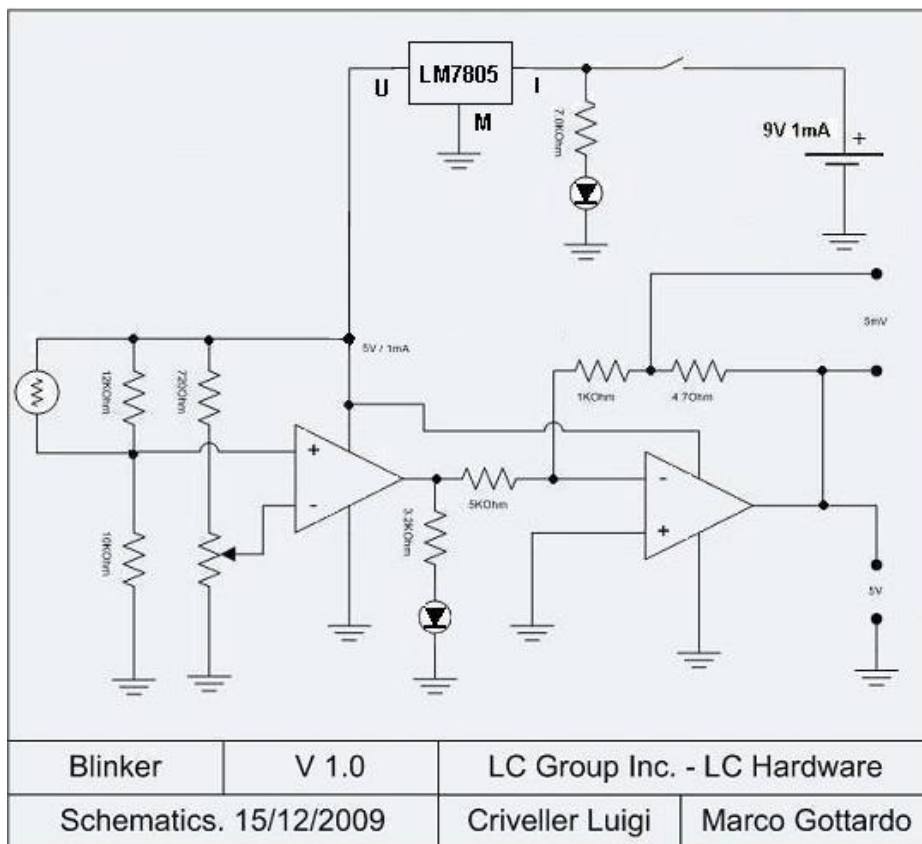


Fig. 116 schema elettrico del blinker (simula i segnali P300 in un canale del neuroscan).

Al fine di poter acquisire il segnale generato a video senza influenza da parte di segnali esterni la foto resistenza e' stata inserita all'interno di una ventosa da applicare al vetro del monitor nell'area dove il programma in C genera il quadrato luminoso di test.



Fig. 117 apparato sensoriale del dispositivo blinker, e' una foto resistenza inserita in una ventosa.

Il circuito, completo di vano batteria, e' stato alloggiato in un elegante contenitore di materiale plastico trasparente. Nel complesso il dispositivo si presenta come nella foto sottostante.

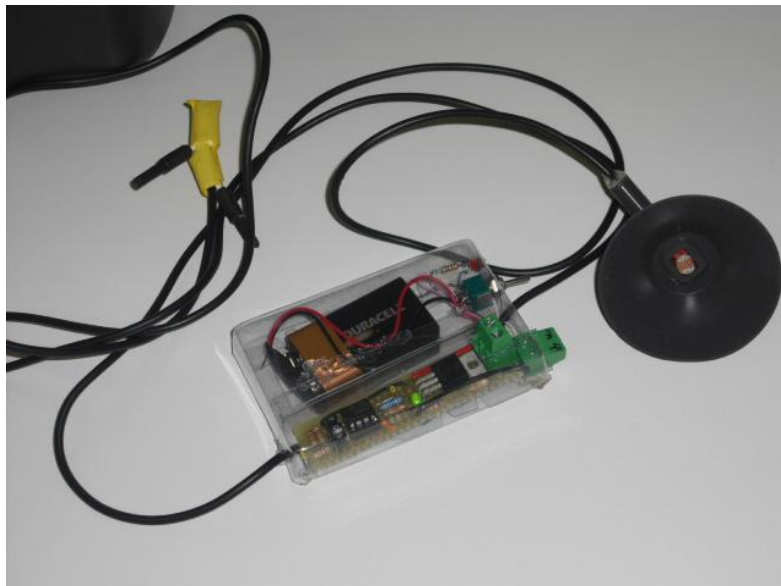


Fig. 118 dispositivo blinker,

• 6.9 Affidabilità 'attuale' di un sistema BCI

Le prove di funzionalità del framework BCI++ sono state effettuate con 2 PC collegati in rete locale tramite uno switch in modalità wired.

Nel primo PC (bci) sono stati lanciati i seguenti moduli:

- Scan 4.3 (per l'acquisizione dei dati EEG dalla testina dell'amplificatore SynAmps);
- AEnima 8.7 con il modulo "p300try3" (interfaccia grafica per l'esecuzione del paradigma, vedi figura sottostante).

Nel secondo PC (portatile) è stato lanciato il seguente modulo:

- HIM 7.0 con il modulo "cp300q1" (algoritmo di classificazione dei potenziali registrati tramite il protocollo "p300try3"); tale modulo utilizza l'applicazione Matlab per l'analisi delle singole epoche registrate.

Le prove sono state effettuate su 2 soggetti sani:

- Marianna;
- Stefano.

Soggetto n.1 (Marianna)

Learning: 6 sessioni
 Testing: 8 sessioni (le prime 4 con il classificatore n.2, le ultime 4 con il classificatore n.3)

Tab. 1: parametri BCI (8 sessioni di test)

BCI-skill	1 healthy subject (mean±std)
Classification accuracy (performance %)	74.3±9.5
Transfer bit rate (bit/min)	7.38±5.11
Percentage of sessions successfully completed (%)	75
Training Number of Stimuli (TNS)	175
Performance trend (%/session)	2.57
Weakness index (%)	0.0±0.0
Robustness index (%)	88.8±21.0

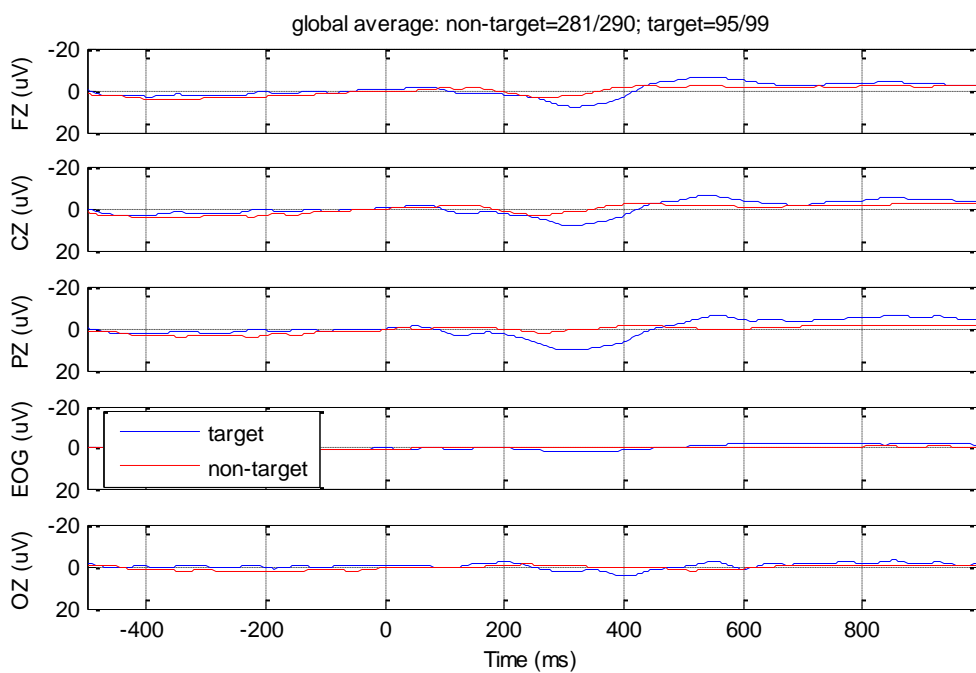


Fig.1: traces average (8 sessioni di test)

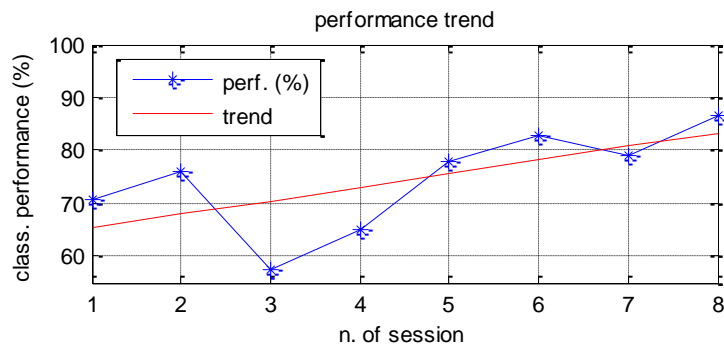


Fig.2: classification performance trend (8 sessioni di test)

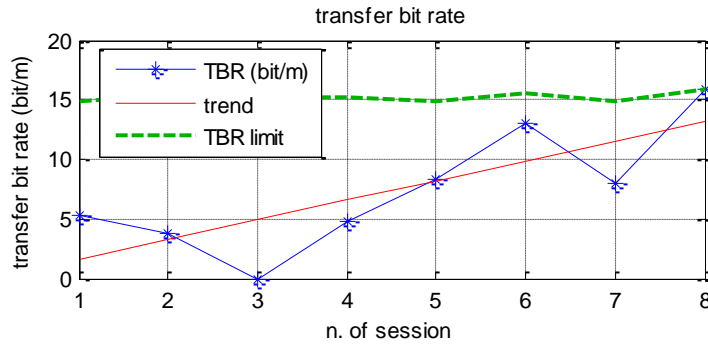


Fig.3: transfer bit rate trend (8 sessioni di test)

Tab. 2: parametri BCI (ultime 4 sessioni di test)

BCI-skill	1 healthy subject (mean±std)
Classification accuracy (performance %)	81.5±4.0
Transfer bit rate (bit/min)	11.28±3.81
Percentage of sessions successfully completed (%)	100
Performance trend (%/session)	2.29
Weakness index (%)	0.0±0.0
Robustness index (%)	100.0±0.0
Chance level probability	s=100% with p=0.0039

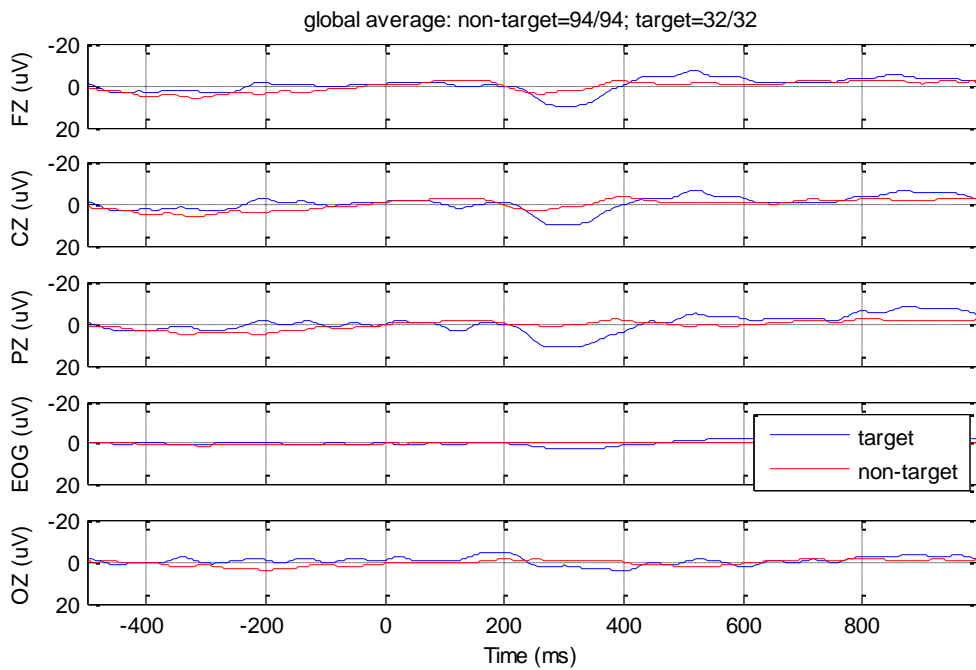


Fig.4: traces average (ultime 4 sessioni di test)

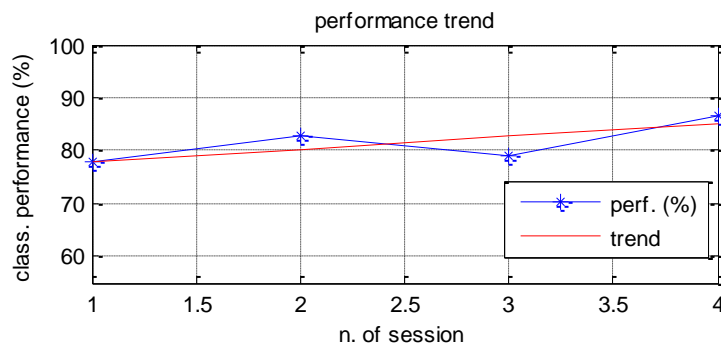


Fig.5: classification performance trend (ultime 4 sessioni di test)

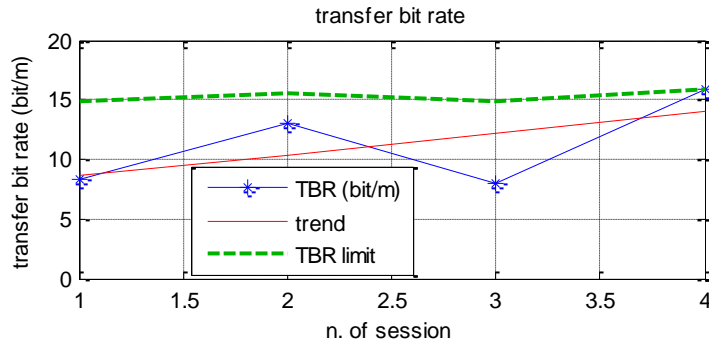


Fig.6: transfer bit rate trend (ultime 4 sessioni di test)

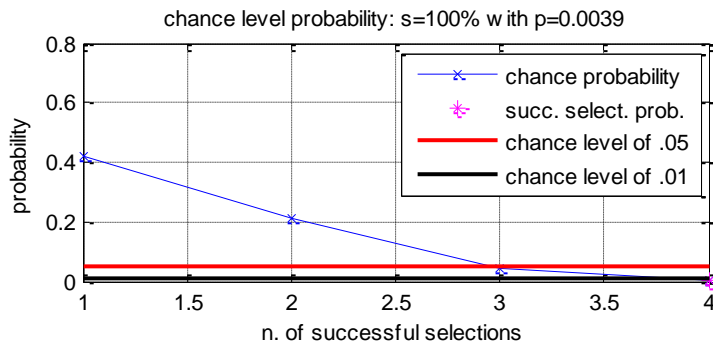


Fig.7: chance level probability (ultime 4 sessioni di test)

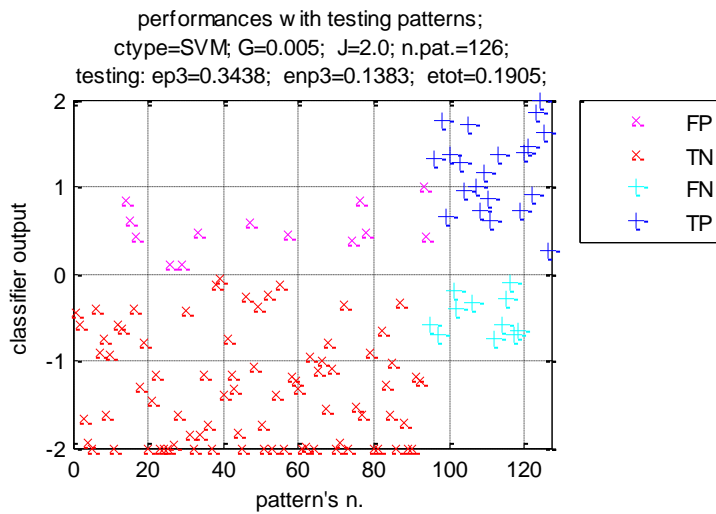


Fig.8: classification output (ultime 4 sessioni di test)

Soggetto n.2 (Stefano)

Learning: 5 sessioni
 Testing: 8 sessioni (tutte con il classificatore n.2)

Tab. 1: parametri BCI (8 sessioni di test)

BCI-skill	1 healthy subject (mean±std)
Classification accuracy (performance %)	78.5±6.6
Transfer bit rate (bit/min)	7.99±4.51
Percentage of sessions successfully completed (%)	87.5
Training Number of Stimuli (TNS)	231
Performance trend (%/session)	-1.58
Weakness index (%)	0.0±0.0
Robustness index (%)	85.0±35.1
Chance level probability	s=87.5% with p=0.0004

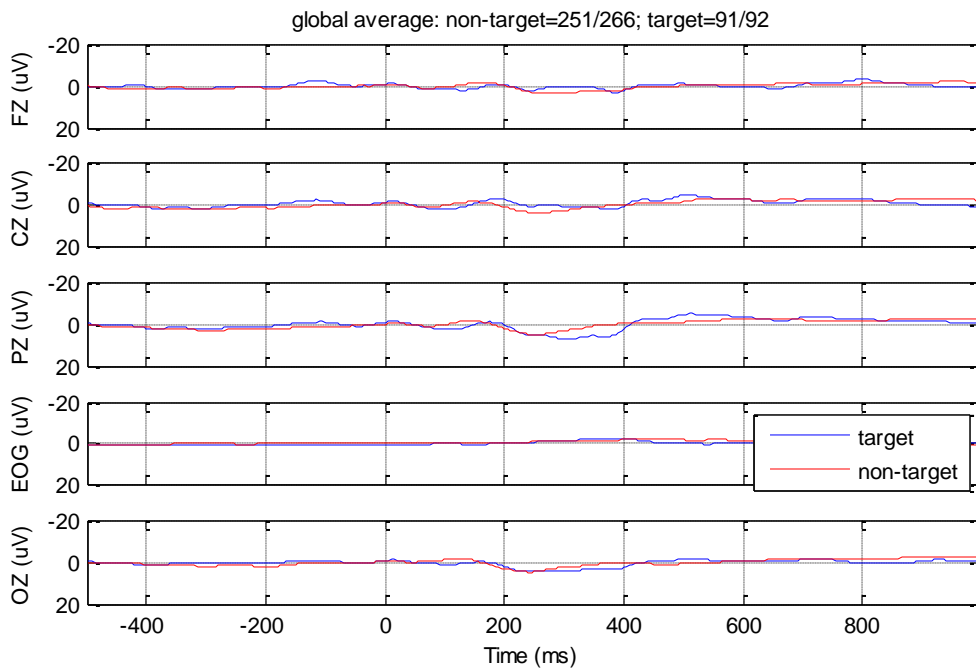


Fig.9: traces average (8 sessioni di test)

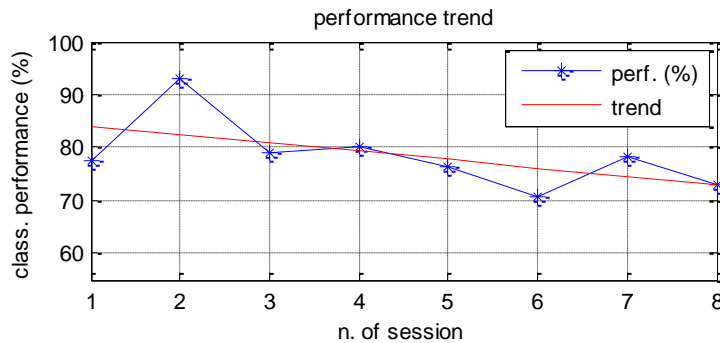


Fig.10: classification performance trend (8 sessioni di test)

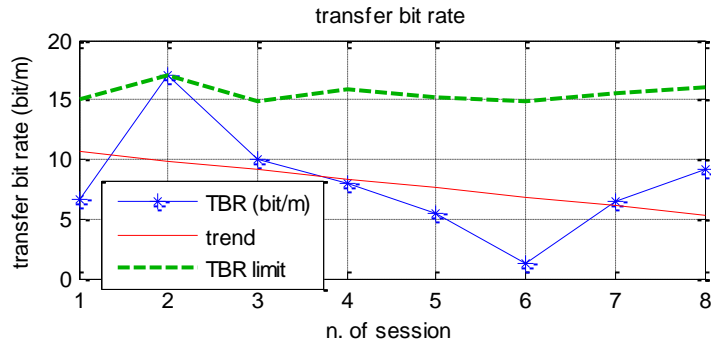


Fig.11: transfer bit rate trend (8 sessioni di test)

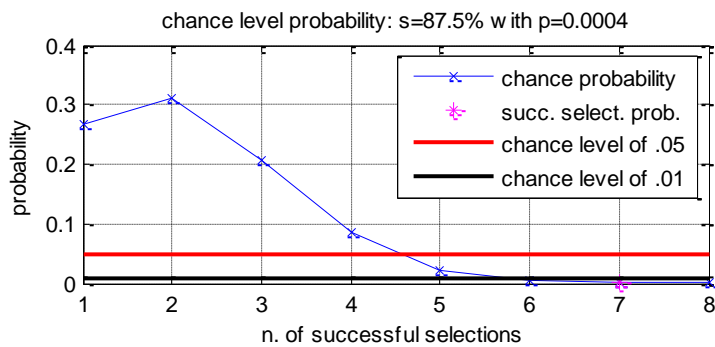


Fig.12: chance level probability (8 sessioni di test)

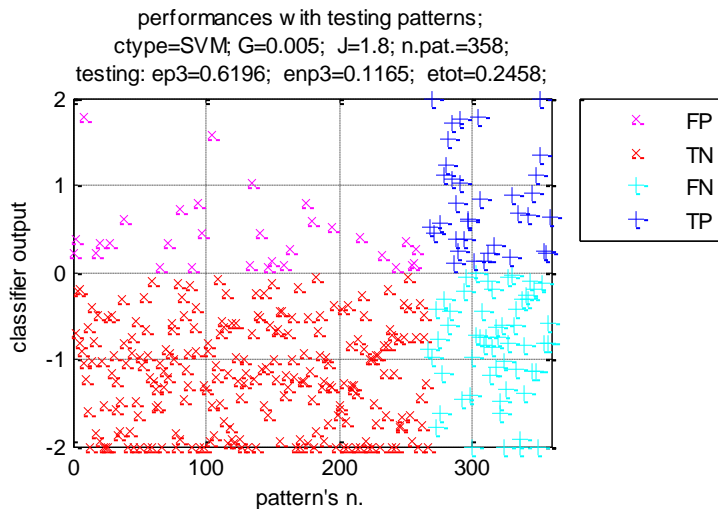


Fig.13: classification output (8 sessioni di test)

• **6.10 Assegnazioni di ruoli marginali ai controlli BCI**

I segnali EEG sono per loro natura deboli e fortemente disturbati pertanto si preferisce non affidargli ruoli primari nei comandi di marcia del robot. Essi verranno nella versione Optichair III, utilizzati solo per la gestione del confort del paziente ovvero l'utilizzo delle diagnostiche di bordo e delle funzionalita' multimediali del computer principali di bordo.

CAPITOLO 7 Sistemi sperimentali di guida "Open CV"

• 7.1 Cosa sono le "Open CV"

Da sempre uno dei campi più affascinanti della ricerca scientifica è volto alla riproduzione artificiale delle capacità umane. Tra queste capacità la visione, intesa come pura acquisizione di immagini, è attualmente considerabile un problema già risolto, o almeno un punto già segnato, visto che le capacità visive di sistemi ottici e relativi sensori hanno ampiamente superato le possibilità dell'occhio umano in quanto a sensibilità, velocità e risoluzione. Il passo successivo, cioè la capacità di interpretare ed utilizzare correttamente le informazioni acquisite, presenta invece ancora molti problemi insoluti. Convertire un'immagine in informazioni "oggettive" astraendone il contenuto dalla pura rappresentazione luminosa, sebbene sia un'operazione banale per un cervello umano adulto è tutt'oggi, un problema di elevata complessità per un sistema automatico. Oltretutto il campo di ricerca è evidentemente molto giovane, con meno di trent'anni di esperienza.

In quest'ottica si inserisce la necessità di una base comune di strumenti analitici, primo dei quali una libreria che raccolga le funzionalità degli algoritmi più utilizzati, oltre che una serie di formati di rappresentazione dei dati secondo standard aperti e condivisi. Le librerie OpenCV (Open Computer Vision) nascono appunto a questo scopo.

Lo sviluppo prende le mosse da un gruppo di ricerca sponsorizzato da Intel. E' infatti parzialmente basata sulla Intel Image Processing Library (IPL). Tale prodotto è oggi integrato nella libreria commerciale IIPP (Intel Integrated Performance Primitives), con cui conserva piena compatibilità, e che può eventualmente rendere disponibili un completo ventaglio di funzioni di trattamento segnali (audio, video, sintesi vocale, crittografia, ecc) oltre che una migliore ottimizzazione delle prestazioni. Si avvale inoltre di numerosi contributi dalle più svariate provenienze. A tal proposito l'elenco di credits citati dalla pagina ufficiale è quantomeno impressionante, si va da ricercatori del MIT, fino a docenti della Berkley University. Inutile sottolineare come questo offra già una certa garanzia relativamente alla buona qualità del codice e degli algoritmi applicati.

• 7.2 Erosione dell'immagine

L'erosione di una immagine binaria A `e definita formalmente in termini di traslazione dell'elemento strutturante B

$$A \ominus B = \{z \mid (Bz) \subseteq A\} \quad (7.1)$$

ossia, $A \ominus B$ è l'insieme dei punti z dell'immagine tale che B traslato in z sia contenuto interamente in A. L'effetto della trasformazione `e quello di contrarre le regioni corrispondenti agli oggetti. Ad esempio, questo tipo di operazione si può eseguire sulle immagini ottenute da una binarizzazione nel caso in cui oggetti che dovrebbero essere separati risultano erroneamente connessi. Mediante l'operazione di erosione si possono anche estrarre i contorni degli oggetti, erodendo inizialmente l'immagine con un opportuno SE per poi eseguire la sottrazione tra l'immagine originale e il risultato dell'erosione. In particolare, l'erosione di un'immagine binaria per un SE quadrato 3×3 consiste nel rimuovere dall'oggetto tutti i punti che hanno almeno un vicino, nel senso della 8-connettività, appartenente allo sfondo. In pratica, i contorni dell'oggetto vengono contratti di un pixel in tutte le direzioni. Per le immagini in scala di grigio l'elemento strutturante $b(s,t)$ ha la forma del suo profilo di intensità. L'operazione di erosione sulla $f(x, y)$ è eseguita in ogni punto (x,y) , in modo da ottenere il valore minimo nella regione coincidente con $b(s, t)$ quando l'origine è posta nel punto (x, y) .

$$[f \ominus b](x, y) = \min\{f(x + s, y + t)\} \text{ con } (s, t) \in b$$

L'effetto prodotto dall'erosione consiste nel rendere l'immagine globalmente più scura, attenuando i dettagli più chiari e aumentando le dimensioni di quelli più scuri. La libreria dispone di apposite funzioni che consentono di eseguire le operazioni morfologiche. In ogni caso consistono in operazioni di convoluzione tra l'immagine e un elemento strutturante. La seguente funzione consente di creare e allocare un SE mediante la struttura:

```
IplConKernel. cvCreateStructuringElementEx(int cols, int rows, int anchor x,int anchor y, int shape, int * values = NULL);
```

I parametri interi cols e rows sono rispettivamente il numero di colonne e righe da assegnare all'elemento strutturante, mentre anchor x e anchor y sono le coordinate orizzontali e verticali dell'origine. In particolare, per tali coordinate il punto in basso a destra di un SE è [cols-1, rows-1], così per una forma quadrata di ordine 3x3 le coordinate dell'origine coincidenti con il centro geometrico sono [1, 1]. Naturalmente le coordinate dell'origine si possono scegliere in modo da non coincidere con il centro geometrico. Mediante il parametro shape si definisce la forma geometrica dell'SE. Se al parametro si assegna il valore:

CV SHAPE RECT

l'elemento strutturante corrisponde ad una forma rettangolare, mentre con:

CV SHAPE CROSS

si ha un SE a forma di croce. Ad esempio, la costruzione dell'elemento di dimensione 45 x 45 e con origine [22, 22] nel centro di simmetria si ottiene ponendo:

```
IplConvKernel * element = cvCreateStructuringElementEx(45, 45, 22, 22, CV SHAPE CROSS, NULL);
```

Con

CV SHAPE ELLIPSE

si definisce la generica forma ellittica, mentre

CV SHAPE CUSTOM

è il valore che bisogna passare alla funzione quando si vuole definire un SE con forma diversa da quelle predefinite. In tal caso il parametro values contiene l'indirizzo di memoria di un'array di interi che definisce l'elemento strutturante. In definitiva un elemento strutturante si può costruire tramite un array di interi a[colsxrows], in cui gli elementi non nulli opportunamente disposti tra loro ne definiscono la forma. L'operazione di erosione morfologica viene eseguita dalla funzione

```
void cvErode(const CvArr * src, CvArr * dst, IplConvKernel * element = NULL, int iterations = 1);
```

Quando il parametro element è mantenuto al valore di default, la funzione applica l'elemento strutturante predefinito di forma quadrata e dimensione 3x3. Il parametro iterations specifica il numero di volte che l'operazione di erosione deve essere eseguita.

• 7.3 Definizione del “blob”

Un blob può essere definito come una insieme di pixel, connessi tra loro e dello stesso colore, i quali delineano una forma o regione nell'immagine. In questo contesto si parla di blob extraction e detection. Istanziamo la definizione generale nel caso specifico.

Questa tecnica permette d'isolare le regioni dell'immagine dove si trovano gli occhi e più concretamente le pupille. Per la creazione dei blob si usa la funzione della libreria openCV, il codice sottostante fornisce un esempio in C :

```
//trova tutti i blobs dell'immagine
```

```
Blob[] blobs = opencv.blobs( 10, width*height/2, 100, true,
OpenCV.MAX_VERTICES*4 );
```

• 7.4 Calcolo del centroide

Di fondamentale importanza, al fine di snellire i calcoli che il processore grafico GPU (graphic processor unit) si prende in carico, è la riduzione della dimensione dell'immagine ad una superficie sensata rispetto al lavoro da svolgere. Assume quindi significato, in una immagine proveniente da una telecamera, il ritaglio del particolare da catturare e rielaborare, nel caso del robot Optichair sono le pupille degli occhi.

Ha quindi senso ridurre l'immagine ad un'area poco più grande dell'occhio stesso. Definiremo questa regione ROI, acronimo di Region Of Interesting, (regione di interesse).

Le dimensioni della ROI possono essere variate manualmente o automaticamente attraverso il ritocco del valore della variabile denominata "**Width**" - dalla impostazione iniziale di 30 pixel quadri. Viene lasciata all'operatore la possibilità di optare per un tracking più **accurato** entro una ROI abbastanza piccola, oppure di un sistema meno accurato ma con **un'area di intervento più estesa**.

Soglia di intervento

Se le coordinate del centroide differiscono dalle coordinate x,y del centro precedentemente scelto, viene attivata la procedura di puntamento. Tale intervento avviene **solo** se la differenza tra i valori comparati supera una determinata **soglia**.

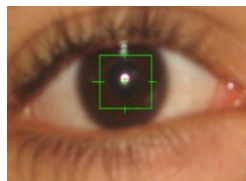


Fig 119 cattura del centroide

Il valore di default della soglia di intervento è di 1 pixel ma può essere variato in un range ristretto attraverso la variabile denominata "**Threshold**".

Anche qui viene lasciata all'operatore la possibilità di scegliere (in base alle condizioni empiriche) tra un intervento più accurato, ma che potrebbe diventare instabile e un intervento meno sensibile nel caso in cui le variazioni di forma della pupilla, benché piccole, sono specifiche da soggetto a soggetto ma si voglio comunque abbinare spesso il robot ad un paziente diverso.

Calcolo del centroide

Sull'oggetto visualizzato al centro della selezione precedentemente operata, dopo l'esecuzione dell'algoritmo opencv prescelto, vengono calcolate le coordinate x, y del centro della pupilla. Tale operazione - come già detto - è accurata in funzione di quanto può essere netta la differenza tra l'immagine della pupilla e lo sfondo costituito dalla tonalità chiara della sclera (parte bianca dell'occhio).

Operativamente si estrae il centroide di una immagine, presibilmente in bianco e nero o a numero ridotto di colori eseguendo la media aritmetica delle coordinate del blob maggiore, che a ragion di logica rappresenta la pupilla dell'immagine ristretta a ROI dell'occhio. Tale immagine subisce prima un processo di erosione tramite l'apposito algoritmo opencv, che ne limita i colori da oltre 16 milioni a una ridotta scala di tonalità di grigi. Successivamente si rilevano i blob intesi come isole di colore nero su quello che rimane uno sfondo bianco. Infine si determina se i blob sono connessi o non sono connessi, ovvero se hanno dei pixel in comune, eliminando dall'immagine residua quelli che sono troppo lontani dal blob maggiore mentre gli altri distanti al massimo un pixel si esegue la fusione ottenendo un blob che tende alla forma circolare di dimensioni maggiorate. Così facendo si è ottenuta l'immagine ben chiara e distinta della pupilla nera su sfondo bianco (estensione della sclera).

Viene ora calcolata la media aritmetica delle coordinate omologhe X e Y dei pixel del blob residuo, ottenendo così un unico pixel che rappresenta appunto il centroide.

La routine C che richiama le openCV che realizza quanto detto è la seguente:

```
cvDrawContours(contours, cont, CV_RGB(255,255,255), CV_RGB(0,0,0), 0 /* maxlevel */, CV_FILLED);
cvDilate( contours, contours, 0, 1 );
int acu = 1;
int acux = 0;
int acuy = 0;
for(int j=0; j<ny; j++){
    for(int i=0; i<nx; i++){
        uchar t = (uchar)
            (contours->imageData + contours->widthStep * j) [i] ;
        if(t > 30){
            acux = acux+i;
            acuy = acuy+j;
            acu++;
        }
    }
}
center.x = (int) ((float) acux/acu);
center.y = (int) ((float) acuy/acu);
if(center.x !=0 && center.y !=0){
    cvLine(contours,cvPoint(center.x-5,center.y-5),cvPoint(center.x+5,center.y+5),CV_RGB(128,128,128),1,8);
    cvLine(contours,cvPoint(center.x-5,center.y+5),cvPoint(center.x+5,center.y-5),CV_RGB(128,128,128),1,8);
}
}
```

Ora non ci resta che suddividere l'area della ROI in una griglia di 3x3 (righe, colonne). Un comparatore software identifica se le coordinate del centriode così calcolato sono esterne al rettangolo centrale, quindi generare i quattro bit della matrice dei comandi di marcia da inviare all'inverter per il controllo dei motori del robot Optichair II.

• 7.5 Generazione del segnale di comando

Il segnale di comando viene generato dal seguente codice usando una libreria JAVA scritta specialmente per questa tesi. L'elezione del linguaggio JAVA fornisce a questa parte una grande portabilità dato che girando nella Virtual Machine del linguaggio il programma riesce a girare nelle principali piattaforme quali Windows, Linux, MacOSX e Solaris.

Per poter usare questa libreria abbiamo bisogno di queste cose :

- Ultima versione della Virtual Machine di JAVA
- La libreria Java Media Framework nella versione del sistema operativo corrispondente ed scaricabile da questo indirizzo <http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jmf/2.1.1/download.html>
- Una webcam compatibile con il sistema operativo corrispondente

La classe principale di questo programma usa le librerie per l'elaborazioni delle immagini analoghe a quelle della libreria openCV ma in JAVA (LEA - Lightweight Eyetracking Algorithm), oltre ad usare la libreria Java Comm per la comunicazione seriale/parallela con il computer di bordo della sedia. Il codice di questa classe principale è il seguente :

```
//CODICE OPTICHAIR – LEA

public class OptiChairMain {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        LEA lea = new LEA(new JMFCaptureDevice(), true);
        lea.addEyeMovementListener(new IEyeMovementListener() {

            ComunicaPortaParallela porta = new ComunicaPortaParallela();

            @Override
            public void onFaceLost() {
                System.out.println("soggetto perso!");
                porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                porta.WritePorta(porta.comandoNULLLO);
            }

            @Override
            public void onFaceDetected() {
                System.out.println("soggetto rilevato!");
                porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                porta.WritePorta(porta.comandoNULLLO);
            }

            @Override
            public void onEyeMoved(Deviation deviation) {
                System.out.println("La direzione della pupilla è " +
                deviation);

                //INVIA LE INFORMAZIONI ALLA PORTA
                if ("DOWN".equals(deviation.name())){
                    porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                    porta.WritePorta(porta.comandoGIU);
                }
                else if ("UP".equals(deviation.name())){
                    porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                    porta.WritePorta(porta.comandoSU);
                }
                else if ("LEFT".equals(deviation.name())){
                    porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                    porta.WritePorta(porta.comandoSINISTRA);
                }
                else if ("RIGHT".equals(deviation.name())){
                    porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                    porta.WritePorta(porta.comandoDESTRA);
                }
                else {
                    porta.apriPorta("OptiChair", 50);
                    porta.WritePorta(porta.comandoNULLLO);
                }
            }

        });
    }
}
```

Il metodo **onEyeMoved** comunica alla porta parallela la direzione attuale della pupilla che viene a sua volta filtrata come uno dei seguenti comandi : SU' ,GIU' ,DESTRA ,SINISTRA. Dalla parallela passano al computer di bordo secondario della sedia contiene un controllore PIC e che fornisce il controllo in tempo reale dei motori delle ruote.

Oltre a fare questo l'interfaccia per il controllo tramite gli occhi (eye tracking) la libreria optichair fornisce una finestra grafica dove vengono visualizzati sia la faccia dell'utente sia il suo occhio, e avvisa in caso di perdita del soggetto (questo ovviamente serve a scopo di fare i diversi test). Nelle immagini sottostanti viene riportata la schermata della piccola interfaccia grafica della libreria :

• 7.6 Algoritmi con Open CV

In questo paragrafo si presenta un sommario delle principali funzionalità offerte da OpenCV

- algoritmi di computer-vision e image-processing: edge, line, corner detection, ellipse fitting, image pyramids per effettuare multiscale processing, template matching, trasformate (Fourier), e molti altri
- moduli di computer-vision avanzati: face-detection, recognition, tracking, optical flow, camera calibration
- metodi di AI (intelligenza artificiale) e machine-learning
- image sampling e view transformations : interfacce per la gestione delle immagini (estrazioni di sottoregioni, random sampling, ridimensionamento, rotazione, effetti prospettici)
- metodi per la computazione 3Dfunzioni matematiche per image processing, computer vision, e image interpretation: i più comuni algoritmi dell'algebra lineare, statistica e geometria computazionale
- grafica data structures: interfacce per immagazzinare, ricercare, salvare e manipolare grandi strutture dati come liste, collezioni, grafi e alberi
- data persistence: interfacce per immagazzinare vari tipi di dati in attesa di un loro riuso

Il primo approccio di sviluppo del robot Optichair II è avvenuto tentando un riconoscimento dell'immagine dell'occhio e una rielaborazione secondo gli algoritmi opencv di intelligenza artificiale. Il progetto non è mai stato abbandonato ma si è rivelato troppo ambizioso per i tempi e mezzi disponibili per questa tesi. Presto si riprenderanno in forma primava le ricerche.

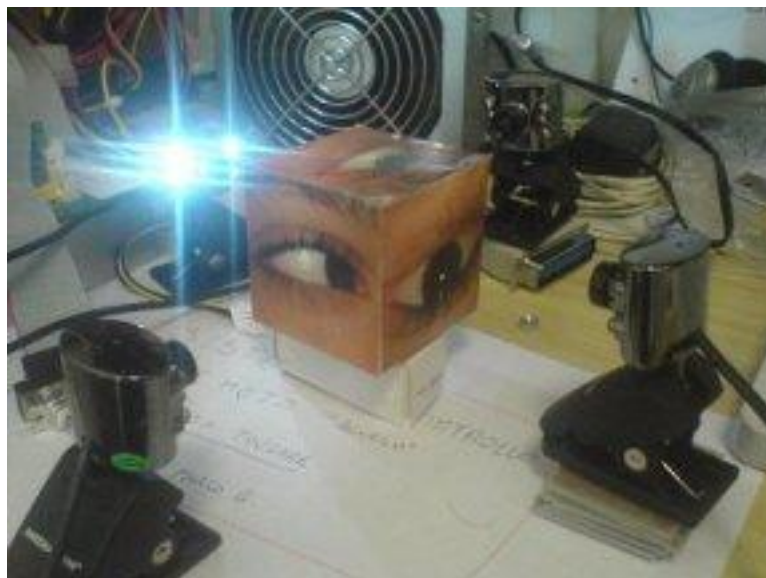


Fig 120 una fase di test e di studio preliminare delle opencv (addestramento A.I. di Optichair)

Segue la lista completa degli algoritmi open-cv in ordina alfabetico. Nella versione elettronica della tesi essi sono dei collegamenti ipertestuali cliccabili che permettono lo scaricamento gratuito dell'algoritmo. Nella versione cartacea sono ovviamente solo una lista a titolo informativo dell'esistenza. La colonna di sinistra indica il nome della classe (algoritmo) opencv, mentre la colonna di destra ne è una breve descrizione sulla funzionalità. I link sono validi alla data della discussione della tesi 10 dicembre 2010.

A

AbsDiff	AndS
AbsDiffS	ApproxChains
Acc	ApproxPoly
AdaptiveThreshold	ArcLength
Add	Avg
AddS	AvgSdv
AddWeighted	
And	

B

BoundingRect
BoxPoints

C

CalcBackProject	CvGraph
CalcBackProjectPatch	cvGraphAddEdge (C function)
CalcCovarMatrix	cvGraphAddEdgeByPtr (C function)
CalcEMD2	cvGraphAddVtx (C function)
CalcGlobalOrientation	cvGraphEdgeIdx (C function)
CalcHist	cvGraphRemoveEdge (C function)
CalcImageHomography	cvGraphRemoveEdgeByPtr (C function)
CalcMotionGradient	cvGraphRemoveVtx (C function)
CalcOpticalFlowBM	cvGraphRemoveVtxByPtr (C function)
CalcOpticalFlowHS	CvGraphScanner
CalcOpticalFlowLK	cvGraphVtxDegree (C function)
CalcOpticalFlowPyrLK	cvGraphVtxDegreeByPtr (C function)
CalcPGH	cvGraphVtxIdx (C function)
CalcProbDensity	CvHaarClassifier
CalcSubdivVoronoi2D	CvHaarClassifierCascade
CalibrateCamera2	cvHaarDetectObjects (C function)
CamShift	CvHaarFeature
Canny	CvHaarStageClassifier
CaptureFromCAM	CvHistogram
CaptureFromFile	cvHoughLines2 (C function)
CartToPolar	cvIncRefData (C function)
Cbrt	cvInitFont (C function)
CheckContourConvexity	cvInitImageHeader (C function)
Circle	cvInitIntrinsicParams2D (C function)
ClearGraph	cvInitLinIterator (C function)
ClearHist	cvInitMatHeader (C function)
ClearMemStorage	cvInitMatNDHeader (C function)
ClearND	cvInitSparseMatIterator (C function)
ClearSeq	cvInitSystem (C function)
ClearSet	cvInitTreeNodeIterator (C function)
ClearSubdivVoronoi2D	cvInitUndistortMap (C function)
ClipLine	cvInitUndistortRectifyMap (C function)
Clone	cvInpaint (C function)
CloneGraph	cvInRange (C function)
CloneImage	cvInRangeS (C function)
CloneMat	cvInsertNodeIntoTree (C function)
CloneMatND	cvIntegral (C function)
CloneSeq	cvInvert (C function)
Cmp	cvInvSqrt (C function)
CmpS	cvIsInf (C function)
CompareHist	cvIsNaN (C function)
ComputeCorrespondEpilines	CvKalman
ContourArea	cvKalmanCorrect (C function)
ContourFromContourTree	cvKalmanPredict (C function)
ConvertImage	cvKMeans2 (C function)
ConvertPointsHomogeneous	cvLaplace (C function)
ConvertScale	cvLine (C function)
ConvertScaleAbs	cvLoad (C function)
ConvexHull2	cvLoadHaarClassifierCascade (C function)
ConvexityDefects	cvLoadImage (C function)
Copy	cvLog (C function)
CopyHist	cvLogPolar (C function)
CornerEigenValsAndVecs	cvLUT (C function)

CornerHarris
 CornerMinEigenVal
 CountNonZero
 CreateChildMemStorage
 CreateContourTree
 CreateData
 CreateGraph
 CreateGraphScanner
 CreateHist
 CreateImage
 CreateImageHeader
 CreateKalman
 CreateMat
 CreateMatHeader
 CreateMatND
 CreateMatNDHeader
 CreateMemStorage
 CreatePOSITObject
 CreateSeq
 CreateSet
 CreateStereoBMState
 CreateStereoGCState
 CreateStructuringElementEx
 CreateSubdivDelaunay2D
 CreateTrackbar
 CreateVideoWriter
 CrossProduct
 cv2DRotationMatrix (C function)
 CV_RGB
 (C function)
 cvAbsDiff (C function)
 cvAbsDiffS (C function)
 cvAcc (C function)
 cvAdaptiveThreshold (C function)
 cvAdd (C function)
 cvAddS (C function)
 cvAddWeighted (C function)
 cvAnd (C function)
 cvAndS (C function)
 cvApproxChains (C function)
 cvApproxPoly (C function)
 cvArcLength (C function)
 CvArr
 CvAttrList
 cvAvg (C function)
 cvAvgSdv (C function)
 cvBoundingRect (C function)
 cvBoxPoints (C function)
 cvCalcBackProject (C function)
 cvCalcBackProjectPatch (C function)
 cvCalcCovarMatrix (C function)
 cvCalcEMD2 (C function)
 cvCalcGlobalOrientation (C function)
 cvCalcHist (C function)
 cvCalcImageHomography (C function)
 cvCalcMotionGradient (C function)
 cvCalcOpticalFlowBM (C function)
 cvCalcOpticalFlowHS (C function)
 cvCalcOpticalFlowLK (C function)
 cvCalcOpticalFlowPyrLK (C function)
 cvCalcPGH (C function)
 cvCalcProbDensity (C function)
 cvCalcSubdivVoronoi2D (C function)
 cvCalibrateCamera2 (C function)
 cvCamShift (C function)
 cvCanny (C function)
 CvCapture
 (C function)
 cvCaptureFromCAM (C function)
 cvCaptureFromFile (C function)
 cvCartToPolar (C function)
 cvCbrt (C function)
 cvCeil
 (C function)
 cvCheckContourConvexity (C function)
 cvCircle (C function)
 cvClearGraph (C function)
 cvClearHist (C function)
 cvClearMemStorage (C function)
 cvClearND (C function)
 cvClearSeq (C function)
 cvMahalanobis (C function)
 cvMakeSeqHeaderForArray (C function)
 cvMat (C function)
 cvMatchContourTrees (C function)
 cvMatchShapes (C function)
 cvMatchTemplate (C function)
 cvMatMulAdd (C function)
 CvMatND
 cvMax (C function)
 cvMaxS (C function)
 cvMeanShift (C function)
 CvMemBlock
 CvMemStorage
 cvMemStorageAlloc (C function)
 cvMemStorageAllocString (C function)
 CvMemStoragePos
 cvMerge (C function)
 cvmGet (C function)
 cvMin (C function)
 cvMinAreaRect2 (C function)
 cvMinEnclosingCircle (C function)
 cvMinMaxLoc (C function)
 cvMinS (C function)
 cvMixChannels (C function)
 cvMoments (C function)
 cvMorphologyEx (C function)
 cvMoveWindow (C function)
 cvmSet (C function)
 cvMul (C function)
 cvMulSpectrums (C function)
 cvMultiplyAcc (C function)
 cvMulTransposed (C function)
 cvNamedWindow (C function)
 cvNextGraphItem (C function)
 cvNextTreeNode (C function)
 cvNorm (C function)
 cvNormalizeHist (C function)
 cvNot (C function)
 cvOpenFileStorage (C function)
 cvOr (C function)
 cvOrS (C function)
 cvPerspectiveTransform (C function)
 CvPoint
 CvPoint2D32f
 CvPoint2D64f
 CvPoint3D32f
 CvPoint3D64f
 cvPointPolygonTest (C function)
 cvPointSeqFromMat (C function)
 cvPolarToCart (C function)
 cvPolyLine (C function)
 cvPOSIT (C function)
 cvPow (C function)
 cvPreCornerDetect (C function)
 cvPrevTreeNode (C function)
 cvProjectPoints2 (C function)
 cvPtr1D (C function)
 cvPtr2D (C function)
 cvPtr3D (C function)
 cvPtrND (C function)
 cvPutText (C function)
 cvPyrDown (C function)
 cvPyrMeanShiftFiltering (C function)
 cvPyrSegmentation (C function)
 CvQuadEdge2D
 cvQueryFrame (C function)
 cvRandArr (C function)
 cvRandInt (C function)
 cvRandReal (C function)
 cvRead (C function)
 cvReadByName (C function)
 cvReadChainPoint (C function)
 cvReadInt (C function)
 cvReadIntByName (C function)
 cvReadRawData (C function)
 cvReadRawDataSlice (C function)
 cvReadReal (C function)
 cvReadRealByName (C function)
 cvReadString (C function)
 cvReadStringByName (C function)
 cvRectangle (C function)
 cvReduce (C function)

cvClearSet (C function)
 cvClearSubdivVoronoi2D (C function)
 cvClipLine (C function)
 cvClone (C function)
 cvCloneGraph (C function)
 cvCloneImage (C function)
 cvCloneMat (C function)
 cvCloneMatND (C function)
 cvCloneSeq (C function)
 cvCmp (C function)
 cvCmpS (C function)
 cvCompareHist (C function)
 cvComputeCorrespondEpilines (C function)
 CvConnectedComp
 cvContourArea (C function)
 cvContourFromContourTree (C function)
 cvConvertImage (C function)
 cvConvertPointsHomogeneous (C function)
 cvConvertScale (C function)
 cvConvertScaleAbs (C function)
 cvConvexHull2 (C function)
 CvConvexityDefect
 cvConvexityDefects (C function)
 cvCopy (C function)
 cvCopyHist (C function)
 cvCopyMakeBorder (C function)
 cvCornerEigenValsAndVecs (C function)
 cvCornerHarris (C function)
 cvCornerMinEigenVal (C function)
 cvCountNonZero (C function)
 cvCreateChildMemStorage (C function)
 cvCreateContourTree (C function)
 cvCreateData (C function) (C function)
 cvCreateGraph (C function)
 cvCreateGraphScanner (C function)
 cvCreateHist (C function)
 cvCreateImage (C function)
 cvCreateImageHeader (C function)
 cvCreateKalman (C function)
 cvCreateMat (C function)
 cvCreateMatHeader (C function)
 cvCreateMatND (C function)
 cvCreateMatNDHeader (C function)
 cvCreateMemStorage (C function)
 cvCreatePOSITObject (C function)
 cvCreateSeq (C function)
 cvCreateSet (C function)
 cvCreateStereoBMState (C function)
 cvCreateStereoGCState (C function)
 cvCreateStructuringElementEx (C function)
 cvCreateSubdivDelaunay2D (C function)
 cvCreateTrackbar (C function)
 cvCreateVideoWriter (C function)
 cvCrossProduct (C function)
 cvCvtColor (C function)
 cvCvtSeqToArray (C function)
 cvDCT (C function)
 cvDecomposeProjectionMatrix (C function)
 cvDecRefData (C function)
 cvDestroyAllWindows (C function)
 cvDestroyWindow (C function)
 cvDet (C function)
 cvDFT (C function)
 cvDilate (C function)
 cvDistTransform (C function)
 cvDiv (C function)
 cvDotProduct (C function)
 cvDrawChessboardCorners (C function)
 cvDrawContours (C function)
 cvEigenVV (C function)
 cvEllipse (C function)
 cvEllipseBox (C function)
 cvEndWriteSeq (C function)
 cvEndWriteStruct (C function)
 cvErode (C function)
 cvExp (C function)
 cvExtractSURF (C function)
 cvFastArctan (C function)
 CvFileNode
 CvFileStorage
 cvFillConvexPoly (C function)
 cvFillPoly (C function)
 cvRegisterType (C function)
 cvRelease (C function)
 cvReleaseCapture (C function)
 cvReleaseData (C function)
 cvReleaseFileStorage (C function)
 cvReleaseGraphScanner (C function)
 cvReleaseHaarClassifierCascade (C function)
 cvReleaseHist (C function)
 cvReleaseImage (C function)
 cvReleaseImageHeader (C function)
 cvReleaseMat (C function)
 cvReleaseMatND (C function)
 cvReleaseMemStorage (C function)
 cvReleasePOSITObject (C function)
 cvReleaseSparseMat (C function)
 cvReleaseStereoBMState (C function)
 cvReleaseStereoGCState (C function)
 cvReleaseStructuringElement (C function)
 cvReleaseVideoWriter (C function)
 cvRemap (C function)
 cvRepeat (C function)
 cvReprojectImageTo3D (C function)
 cvResetImageROI (C function)
 cvReshape (C function)
 cvReshapeMatND (C function)
 cvResize (C function)
 cvResizeWindow (C function)
 cvRestoreMemStoragePos (C function)
 cvRetrieveFrame (C function)
 cvRNG (C function)
 cvRodrigues2 (C function)
 cvRound
 cvRQDecomp3x3 (C function)
 cvRunHaarClassifierCascade (C function)
 cvRunningAvg (C function)
 cvSampleLine (C function)
 cvSave (C function)
 cvSaveImage (C function)
 cvSaveMemStoragePos (C function)
 CvScalar
 cvScaleAdd (C function)
 cvSegmentMotion (C function)
 CvSeq
 CvSeqBlock
 cvSeqElemIdx (C function)
 cvSeqInsert (C function)
 cvSeqInsertSlice (C function)
 cvSeqInvert (C function)
 cvSeqPartition (C function)
 cvSeqPop (C function)
 cvSeqPopFront (C function)
 cvSeqPopMulti (C function)
 cvSeqPush (C function)
 cvSeqPushFront (C function)
 cvSeqPushMulti (C function)
 cvSeqRemove (C function)
 cvSeqRemoveSlice (C function)
 cvSeqSearch (C function)
 cvSeqSlice (C function)
 cvSeqSort (C function)
 CvSet
 cvSet (C function)
 cvSetAdd (C function)
 cvSetCaptureProperty (C function)
 cvSetData (C function)
 cvSetHistBinRanges (C function)
 cvSetIdentity (C function)
 cvSetImageCOI (C function)
 cvSetImageROI (C function)
 cvSetImagesForHaarClassifierCascade (C function)
 cvSetMouseCallback (C function)
 cvSetNew (C function)
 cvSetRemove (C function)
 cvSetRemoveByPtr (C function)
 cvSetSeqBlockSize (C function)
 cvSetSeqReaderPos (C function)
 cvSetTrackbarPos (C function)
 cvSetZero (C function)

cvFilter2D (C function)
 cvFindChessboardCorners (C function)
 cvFindContours (C function)
 cvFindCornerSubPix (C function)
 cvFindExtrinsicCameraParams2 (C function)
 cvFindFundamentalMat (C function)
 cvFindGraphEdge (C function)
 cvFindGraphEdgeByPtr (C function)
 cvFindHomography (C function)
 cvFindNearestPoint2D (C function)
 cvFindStereoCorrespondenceBM (C function)
 cvFindStereoCorrespondenceGC (C function)
 cvFindType (C function)
 cvFirstType (C function)
 cvFitEllipse2 (C function)
 cvFitLine (C function)
 cvFlip (C function)
 cvFloodFill (C function)
 cvFloor
 (C function)
 cvFlushSeqWriter (C function)
 cvGEMM (C function)
 cvGetAffineTransform (C function)
 cvGetCaptureProperty (C function)
 cvGetCentralMoment (C function)
 cvGetDiag (C function)
 cvGetDims (C function)
 cvGetDimSize (C function)
 cvGetElemType (C function)
 cvGetFileNode (C function)
 cvGetFileNodeByName (C function)
 cvGetFileNodeName (C function)
 cvGetGraphVtx (C function)
 cvGetHashedKey (C function)
 cvGetHuMoments (C function)
 cvGetImage (C function)
 cvGetImageCOI (C function)
 cvGetImageROI (C function)
 cvGetMat (C function)
 cvGetMinMaxHistValue (C function)
 cvGetNextSparseNode (C function)
 cvGetNormalizedCentralMoment (C function)
 cvGetOptimalDFTSize (C function)
 cvGetOptimalNewCameraMatrix (C function)
 cvGetPerspectiveTransform (C function)
 cvGetQuadrangleSubPix (C function)
 cvGetRawData (C function)
 cvGetReal1D (C function)
 cvGetReal2D (C function)
 cvGetReal3D (C function)
 cvGetRealND (C function)
 cvGetRectSubPix (C function)
 cvGetRootFileNode (C function)
 cvGetSeqElem (C function)
 cvGetSeqReaderPos (C function)
 cvGetSetElem (C function)
 cvGetSize (C function)
 cvGetSpatialMoment (C function)
 cvGetStarKeypoints (C function)
 cvGetSubRect (C function)
 cvGetTextSize (C function)
 cvGetTickCount (C function)
 cvGetTickFrequency (C function)
 cvGetTrackbarPos (C function)
 cvGetWindowHandle (C function)
 cvGetWindowName (C function)
 cvGoodFeaturesToTrack (C function)
 cvGrabFrame (C function)
 cvShowImage (C function)
 CvSize
 CvSlice
 cvSmooth (C function)
 cvSnakelImage (C function)
 cvSobel (C function)
 cvSolve (C function)
 cvSolveCubic (C function)
 CvSparseMat
 cvSplit (C function)
 cvSqrt (C function)
 cvSquareAcc (C function)
 cvStartAppendToSeq (C function)
 cvStartFindContours (C function)
 cvStartNextStream (C function)
 cvStartReadChainPoints (C function)
 cvStartReadRawData (C function)
 cvStartReadSeq (C function)
 cvStartWriteSeq (C function)
 cvStartWriteStruct (C function)
 CvStereoBMState
 cvStereoCalibrate (C function)
 CvStereoGCState
 cvStereoRectify (C function)
 cvStereoRectifyUncalibrated (C function)
 cvSub (C function)
 CvSubdiv2D
 cvSubdiv2DEdgeDst (C function)
 cvSubdiv2DGetEdge (C function)
 cvSubdiv2DLocate (C function)
 CvSubdiv2DPoint
 cvSubdiv2DRotateEdge (C function)
 cvSubdivDelaunay2DInsert (C function)
 cvSubRS (C function)
 cvSubS (C function)
 cvSubstituteContour (C function)
 cvSum (C function)
 cvSVBkSb (C function)
 cvSVD (C function)
 CvTColor
 CvTermCriteria
 cvThreshHist (C function)
 cvThreshold (C function)
 cvTrace (C function)
 cvTransform (C function)
 cvTranspose (C function)
 CvTreeNodeIterator
 cvTreeToNodeSeq (C function)
 CvTSeqToArray
 CvTypeInfo
 cvTypeOf (C function)
 cvUndistort2 (C function)
 cvUndistortPoints (C function)
 cvUnregisterType (C function)
 cvUpdateMotionHistory (C function)
 CvVideoWriter (C function)
 cvWaitKey (C function)
 cvWarpAffine (C function)
 cvWarpPerspective (C function)
 cvWrite (C function)
 cvWriteComment (C function)
 cvWriteFileNode (C function)
 cvWriteFrame (C function)
 cvWriteInt (C function)
 cvWriteRawData (C function)
 cvWriteReal (C function)
 cvWriteString (C function)
 cvXor (C function)
 cvXorS (C function)

D

DCT
 DecomposeProjectionMatrix
 DecRefData
 DestroyAllWindows
 DestroyWindow

Dilate
 DistTransform
 Div
 DotProduct
 DrawChessboardCorners

Det
DFT

DrawContours

E

EigenVV
Ellipse
EllipseBox
EndWriteSeq
EndWriteStruct

Erode
Exp
ExtractSURF

F

FastArctan
FillConvexPoly
FillPoly
Filter2D
FindChessboardCorners
FindContours
FindCornerSubPix
FindExtrinsicCameraParams2
FindFundamentalMat
FindGraphEdge
FindGraphEdgeByPtr
FindHomography

FindNearestPoint2D
FindStereoCorrespondenceBM
FindStereoCorrespondenceGC
FindType
FirstType
FitEllipse2
FitLine
Flip
FloodFill
FlushSeqWriter

G

GEMM
Get1D
GetAffineTransform
GetCaptureProperty
GetCentralMoment
GetElemType
GetFileNode
GetFileNodeByName
GetFileNodeName
GetGraphVtx
GetHashedKey
GetHuMoments
GetImage
GetImageCOI
GetImageROI
GetMat
GetMinMaxHistValue
GetNextSparseNode
GetNormalizedCentralMoment
GetOptimalDFTSize
GetOptimalNewCameraMatrix
GetPerspectiveTransform
GetQuadrangleSubPix
GetRawData
GetReal?D
GetRectSubPix
GetRootFileNode
GetRotationMatrix2D

GetRow
GetSeqElem
GetSeqReaderPos
GetSetElem
GetSpatialMoment
GetStarKeypoints
GetSubRect
GetTextSize
GetTickCount
GetTickFrequency
GetTrackbarPos
GetWindowHandle
GetWindowName
GoodFeaturesToTrack
GrabFrame
GraphAddEdge
GraphAddEdgeByPtr
GraphAddVtx
GraphEdgIdx
GraphRemoveEdge
GraphRemoveEdgeByPtr
GraphRemoveVtx
GraphRemoveVtxByPtr
GraphVtxDegree
GraphVtxDegreeByPtr
GraphVtxIdx

H

HaarDetectObjects
HoughLines2

I

IncRefData
InitFont
InitImageHeader

Inpaint
InRange
InRangeS

InitIntrinsicParams2D
 InitLineIterator
 InitMatHeader
 InitMatNDHeader
 InitSparseMatIterator
 InitSystem
 InitTreeNodeIterator
 InitUndistortMap
 InitUndistortRectifyMap

InsertNodeIntoTree
 Integral
 Invert
 InvSqrt
 IplConvKernel
 IplImage
 IsInf
 IsNaN

K

KalmanCorrect
 KalmanPredict

KMeans2

L

Laplace
 Line
 Load
 LoadHaarClassifierCascade
 LoadImage

Log
 LogPolar
 LUT

M

Mahalanobis
 MakeSeqHeaderForArray
 Mat
 MatchContourTrees
 MatchShapes
 MatchTemplate
 Max
 MaxS
 MeanShift
 MemStorageAlloc
 MemStorageAllocString
 Merge
 mGet
 Min

MinAreaRect2
 MinEnclosingCircle
 MinMaxLoc
 MinS
 MixChannels
 Moments
 MorphologyEx
 MoveWindow
 mSet
 Mul
 MulSpectrums
 MultiplyAcc
 MulTransposed

N

NamedWindow
 NextGraphItem
 NextTreeNode
 Norm

NormalizeHist
 Not

O

OpenFileStorage
 Or

OrS

P

PerspectiveTransform
 PointPolygonTest
 PointSeqFromMat
 PolarToCart
 PolyLine
 POSIT
 Pow
 PreCornerDetect

PrevTreeNode
 ProjectPoints2
 Ptr?D
 PutText
 PyrDown
 PyrMeanShiftFiltering
 PyrSegmentation

Q

QueryFrame
QueryHistValue*D

QueryHistValue_1D (C function)

R

RandArr
RandInt
RandReal
Read
ReadByName
ReadChainPoint
ReadInt
ReadIntByName
ReadRawData
ReadRawDataSlice
ReadReal
ReadRealByName
ReadString
ReadStringByName
Rectangle
Reduce
RegisterType
Release
ReleaseCapture
ReleaseData
ReleaseFileStorage
ReleaseGraphScanner
ReleaseHaarClassifierCascade
ReleaseHist
ReleaseImage
ReleaseImageHeader

ReleaseMat
ReleaseMatND
ReleaseMemStorage
ReleasePOSITObject
ReleaseSparseMat
ReleaseStereoBMState
ReleaseStereoGCState
ReleaseStructuringElement
ReleaseVideoWriter
Remap
Repeat
ReprojectImageTo3D
ResetImageROI
Reshape
ReshapeMatND
Resize
ResizeWindow
RestoreMemStoragePos
RetrieveFrame
RNG
Rodrigues2
RQDecomp3x3
RunHaarClassifierCascade
RunningAvg

S

SampleLine
Save
SaveImage
SaveMemStoragePos
ScaleAdd
SegmentMotion
SeqElemIdx
SeqInsert
SeqInsertSlice
SeqInvert
SeqPartition
SeqPop
SeqPopFront
SeqPopMulti
SeqPush
SeqPushFront
SeqPushMulti
SeqRemove
SeqRemoveSlice
SeqSearch
SeqSlice
SeqSort
Set
Set1D
SetAdd
SetCaptureProperty
SetHistBinRanges
SetIdentity
SetImageCOI
SetImageROI
SetImagesForHaarClassifierCascade
SetMouseCallback
SetNew
SetReal1D
SetRemove
SetRemoveByPtr

SetSeqBlockSize
SetSeqReaderPos
SetTrackbarPos
ShowImage
Smooth
SnakelImage
Sobel
Solve
SolveCubic
Split
Sqrt
SquareAcc
StartAppendToSeq
StartFindContours
StartNextStream
StartReadChainPoints
StartReadRawData
StartReadSeq
StartWriteSeq
StartWriteStruct
StereoCalibrate
StereoRectify
StereoRectifyUncalibrated
Sub
Subdiv2DEdgeDst
Subdiv2DGetEdge
Subdiv2DLocate
Subdiv2DRotateEdge
SubdivDelaunay2DInsert
SubRS
SubS
SubstituteContour
Sum
SVBkSb
SVD

T

ThreshHist
Threshold
Trace
Transform

Transpose
TreeToNodeSeq
TypeOf

U

Undistort2
UndistortPoints
UnregisterType

UpdateMotionHistory

W

WaitKey
WarpAffine
WarpPerspective
Write
WriteComment
WriteFileNode

WriteFrame
WriteInt
WriteRawData
WriteReal
WriteString

X

Xor
XorS

• 7.7 Affidabilità ‘attuale’ di un sistema “Open CV”

L'affidabilità dipende della precisione dell'algoritmo e quest'ultima dal numero di immagini campionate, il problema è che campionare molte immagini aumenta considerevolmente i requisiti di memoria dell'algoritmo, e quindi i tempi in un computer poco potente, per questo nella fase di test si sceglie di avere più memoria a disposizione, visto il sistema non andrà subito in produzione. Per tanto l'affidabilità del sistema è prossima al 60%.

• 7.8 Assegnazioni di ruoli ai controlli Open CV

Come precedentemente detto la persona a cui è destinata la sedia ottica è totalmente inerte quindi impossibilitata ad eseguire qualche movimento. Le funzionalità minime richieste sono chiarezza di intelletto e possibilità di orientare lo sguardo. La prima abilità è indispensabile dato che l'automa eseguirà i comandi impartiti dal cervello, quindi si deve essere in grado di intendere e di volere eseguire una certa traslazione spaziale. In caso contrario è meglio evitare di motorizzare il paziente al fine di evitare incidenti ed ulteriori danni personali. Il secondo requisito è indispensabile perché la capacità di orientare la vista costituisce l'effettiva interfaccia tra il sistema robotico e la persona che in questi sfortunati casi deve essere vista come un involucro inerte per un potente dispositivo di controllo che è il cervello. Consideriamo inizialmente i comandi di base impartiti dalla posizione della pupilla all'interno dell'occhio.

- Pupilla al centro (nessuna azione)
- Pupilla in alto (la sedia si sposta in avanti)
- Pupilla in basso (la sedia si sposta all'indietro)
- Pupilla a destra (la sedia gira verso destra)
- Pupilla a sinistra (la sedia gira verso sinistra)

Nell'immagine seguente vediamo la situazione dei comandi di base utile per un primo test al banco della sedia ottica. Una volta testata la risposta del sistema di controllo è obbligatorio codificare questi comandi per impedire azioni scomode o errate.

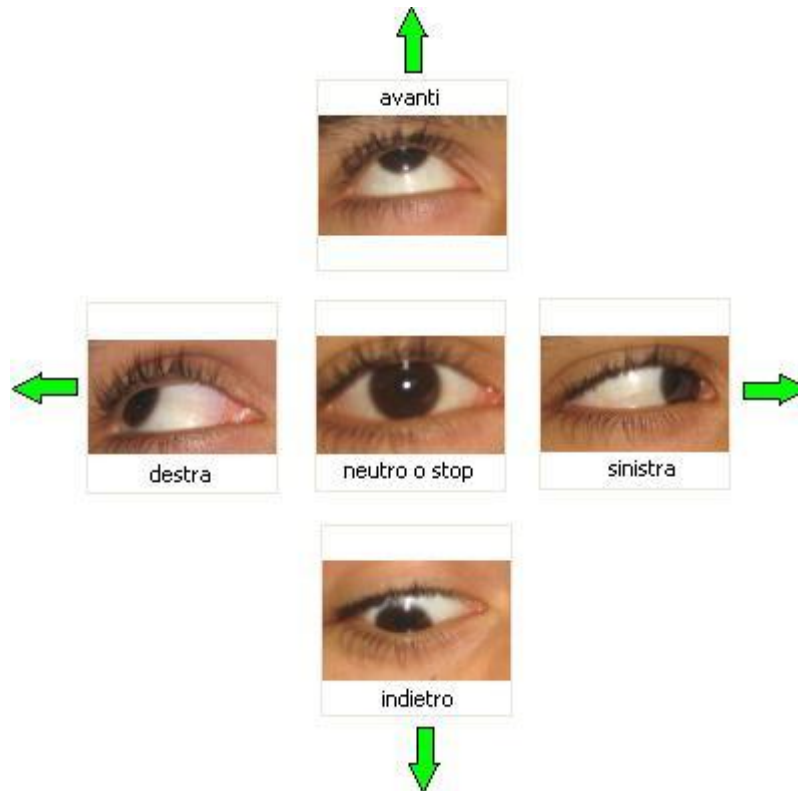


Fig. 121 comandi di marcia codificati nella posizione dell'occhio.

La necessità di codificare in maniera più raffinata i segnali di comando risulta essenziale subito dopo i primi test, si pensi ad esempio al fatto che il paziente non può tenere la pupilla puntata in alto per tutto il tempo che intende traslare la sedia in avanti.

La soluzione è piuttosto semplice e consiste nel considerare valido come comando di marcia un impulso rapido verso l'alto della pupilla e autoritenere tale comando fino al sopraggiungere del comando contrapposto, in questo caso un impulso di comando in marcia indietro (pupilla verso il basso).

In sostanza, una basilare codifica può essere costituita da: Memoria di un comando di marcia, segue libertà di movimento dello sguardo, reset del comando di marcia lanciando il comando opposto.

Il concetto è analogo per quanto riguarda i comandi di deviazione a destra e deviazione a sinistra del moto.

• 7.9 Costruzione dell'apparato ottico, l'occhiale optichair

I segnali di comando, come spiegato nel capitolo precedente, sono generati dall'utente tramite il movimento del bulbo oculare. La cattura dell'immagine e la successiva elaborazione avviene grazie ad una telecamera miniaturizzata genericamente impiegata nei normali telefonini cellulari. Visto il suo specifico impiego di rilevazione ottica verrà chiamata nel progetto "silla optica" (optichair).

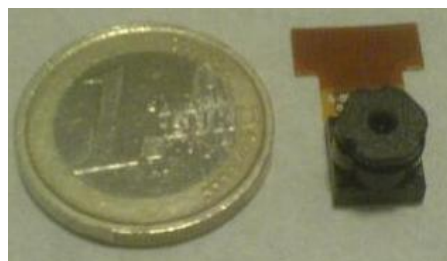


Fig. 122 telecamera retinica.

Una volta acquisita l'immagine retinica alcuni algoritmi sviluppati in C++ la elaborano allo scopo di generare i segnali di marcia dei motori.

L'interfacciamento della telecamera al sistema di acquisizione è agevolato dalla presenza di una piccola interfaccia che ne converte il minuscolo data bus in un più comodo conettore tipo streep.

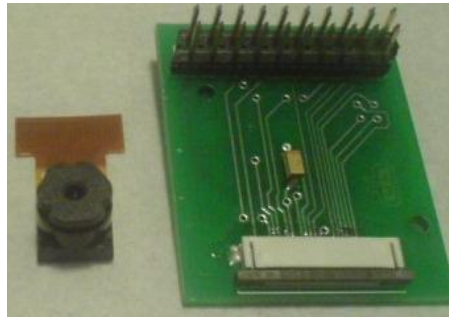


Fig. 123 interfaccia telecamera retinica.

L'elaborazione avviene sfruttando le proprietà di due operatori morfologici aventi la struttura di algoritmi o funzione parametrizzate in linguaggio C++.

Questi sono in sequenza, erosione e successivamente dilatazione, allo scopo di generare i così chiamati blob che per definizione sono degli isemi di pixel connessi tra loro.

Data una qualsiasi immagine acquisita dalla telecamera verrà prima sottoposta al processo di segmentazione che ne riduce drasticamente il numero dei colori, effetta di fatto una discretizzazione quale ad esempio bianco o nero inteso come area impegnata dalla pupilla e quella non coperta dall'iride. Un ulteriore processo estrae il centroide, concettualmente poco diverso da un baricentro che verrà segnalato sotto forma di piccolo pallino nell'area visiva.

A seconda di dove si troverà il centroide rispetto al centro dell'immagine verranno generati, con l'ausilio di comparatori software, gli effettivi bit di comando di marcia avanti, indietro, rotazione a destra e rotazione a sinistra.

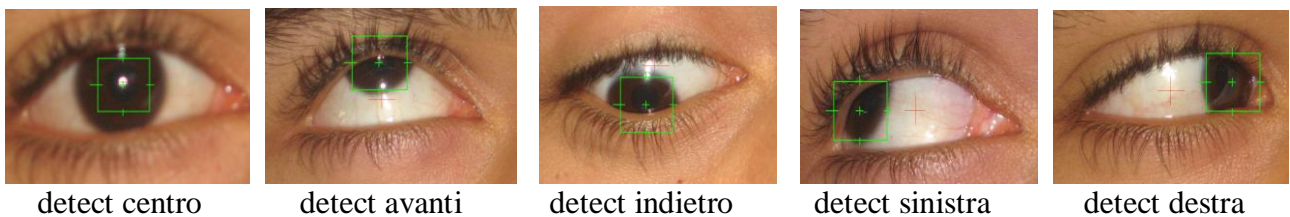


Fig. 124 Rilevamento comandi con algoritmi di visione.

La codifica dei segnali rilevati, successivamente rielaborati dagli algoritmi delle Open-CV operanti nel computer principale ed infine inviati al computer secondario vengono rielaborati secondo la rete logica combinatoria della tabella sottostante:

Tab. 10 Rilevamento comandi con algoritmi di visione

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0

La telecamera speciale viene installata nella montatura degli occhiali e munita di convertitore I2C USB in modo da poter essere acquisita direttamente dal computer con sistema operativo linux.

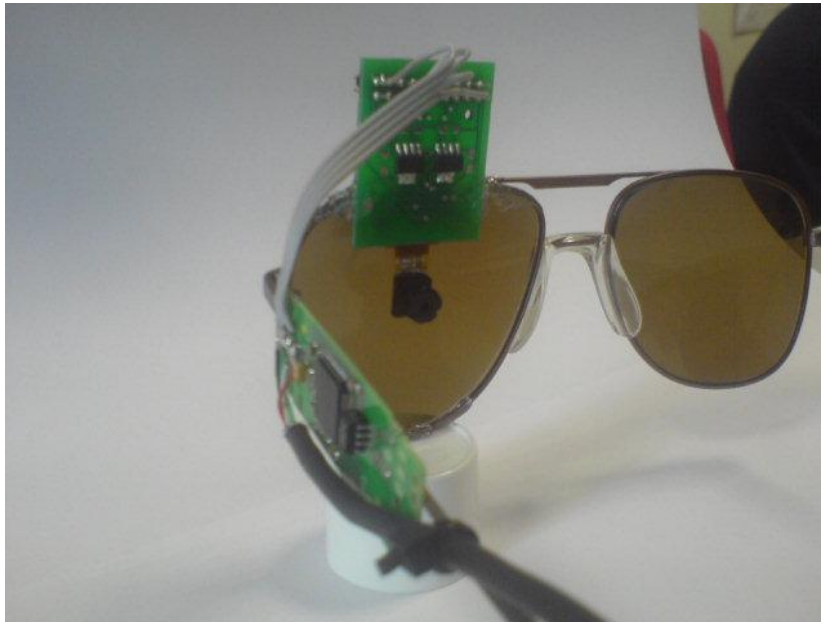


Fig. 125 occhiali modificati per la telecamera retinica.

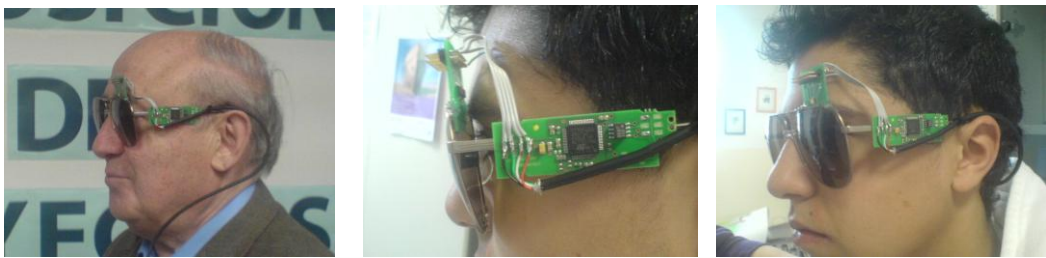


Fig. 126 occhiali modificati per la telecamera retinica e sistema in uso.

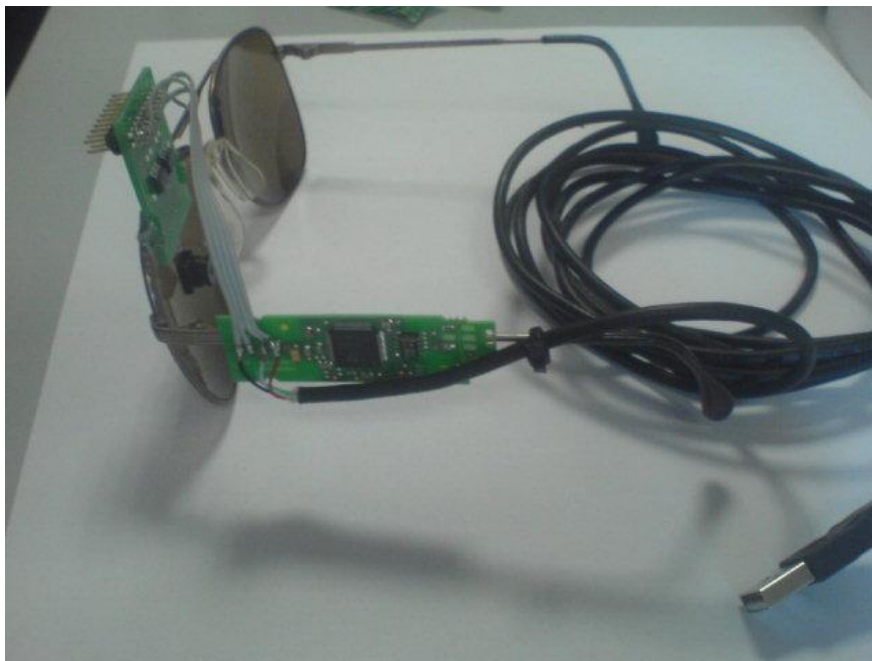


Fig. 127 sistema di acquisizione USB degli occhiali modificati per la telecamera retinica.

CAPITOLO 8 Sistemi sperimentali di guida "IR - Reflex"

• 8.1 Cos'è un sistema IR-Reflex

In questo capitolo viene sviluppato un sistema di rilevamento di una raggio infrarosso riflesso dalla retina o dalla pupilla in modo da poter rilevare in che direzione viene puntato lo sguardo. A tal modo ci si prefigge l'obbiettivo decodificare l'intenzione del paziente totalmente immobile di direzionare il robot in maniera conforme al suo volere e alle sue necessità. La tecnica sviluppata è semplice ed efficace, ed è ottenuta usando la combinazione di emettitore IR più fototransistor, d'ora in poi indicato come coppia emettitore-fototransistor.

Lo sviluppo teorico pratico di questa tecnica tocca molte discipline scientifiche tra cui l'ingegneria biomedica, l'elettrotecnica, l'elettronica, l'informatica e naturalmente la fisica.

IL prototipo degli occhiali che denominiamo "ir-reflex" potrebbero quindi essere classificati tra la biostrumentazione o strumentazione biomedica o apparato elettromedicale.

In soggetti sani può trovare applicazione in sistemi di puntamento in cui il soggetto abbia le mani impegnate in un lavoro o compito, e che in tale lavoro sia in collaborazione con automi, sistemi automatici o apparati di controllo. Ad esempio un pilota automobilistico potrebbe puntare le telecamere per le riprese televisive ove punta il suo sguardo senza per questo distogliere l'attenzione dalla guida.

I risultati attesi da questo progetto si basano sulle proprietà delle onde luminose. È noto che i raggi di luce che colpiscono un oggetto verranno suddivisi in riflessa, rifratta, assorbita. Il grado di riflessione e o assorbimento dipende dalle proprietà del materiale di cui si compone l'oggetto investito dal raggio luminoso. In questa particolare applicazione il materiale investito dal raggio luminoso è un tessuto molle, ovvero l'occhio.

Focalizziamoci quindi sulla struttura dell'occhio ed analizziamo come rispondono agli stimoli luminosi, in termini di riflessione, rifrazione ed assorbimento, le sue diverse parti.

Innanzitutto queste sono:

- 1) la sclera (la parte bianca dell'occhio)
- 2) il diaframma (coincidente con la regione colorata degli occhi)
- 3) la pupilla (il foro di entrata nero che funge da ricettacolo della luce).

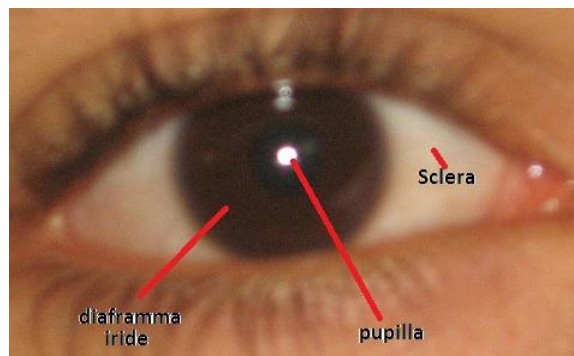


Fig 128 parti componenti dell'occhio umano interessate al progetto Optichair II

Il concetto di base è quello di fare rimbalzare il fascio di luce infrarossa sulla retina e farlo rimbalzare in direzione del fotorecettore dislocato in una opportuna posizione della montatura dell'occhiale. Un concetto analogo ma meno invasivo per il paziente può essere sviluppato tarando la coppia fotodiodo – fototransistor ricevitore in modo che questi siano in grado di rilevare una zona chiara rispetto ad una zona scura, come avviene nel passaggio tra sclera e iride o la stessa pupilla che risulta sempre sempre nera.

Entrambi i metodi sono stati testati e risultati validi. Benché un fascio continuo di luce infrarossa puntato verso la retina sia notoriamente innocuo, è preferibile non mettere a rischio la salute del paziente sviluppando un sistema basato sul secondo principio.

Non risultano infatti noti, ed esulano dagli obbiettivi di questa tesi, gli eventuali inconvenienti fisici derivati sul lungo periodo di esposizione permanente al raggio infrarosso sulla retina. L'analisi dei rischi andrebbe

valutata da medici oculisti. Agli ingegneri spetta il compito di fare un'analisi della funzionalità e di realizzare un prototipo da consegnare ai medici che ne valuteranno il grado di pericolosità in base alla loro specifica preparazione.

Compito dell'ingegnere è comunque quello di fornire dati elettrici e/o elettromagnetici raccolti in base a delle misurazioni eseguite sugli elementi usati sul dispositivo che si intende produrre in serie e non solo sul prototipo all'equipe medica che ne ha le competenze per valutarne la pericolosità.

I diodi trasmettitori usati nel prototipo Optichair II sono di tipo LTE-4208 che da specifica tecnica della casa costruttrice dichiarano una incidenza radiante di 1.68mW/cm².

I professori Freasier e Sliney hanno riconosciuto che 0.3mW/cm² è l'intensità dei raggi infrarossi massima ammissibile a cui la retina può essere senza danni. si deve quindi prestare attenzione alle esposizioni temporali prolungate.

Riporto per un breve estratto da:

International Lighting in Controlled Environments Workshop

T.W.Tibbitts (editor) 1994 NASA-CP-95-3309

OCULAR HAZARDS OF LIGHT

David H. Sliney, Ph.D.

Infrared Radiation Hazards to the Eye

Any calculation of potential retinal thermal hazards to the eye normally includes a consideration of the contributions of IR-A (700-1400 nm) and IR-B (1.4 μm -3.0 μm). In contrast to blue light, IR-A is very ineffective in producing retinal injuries (Ham, et al., 1982, 1976).^{1,3} The data which could be used as the basis of an exposure limit for chronic exposure of the anterior of the eye to infrared radiation are very limited. Sliney and Freasier (1973) stated that the average corneal exposure from infrared radiation in sunlight was of the order of 1 mW/cm². Glass and steel workers exposed to infrared irradiances of the order of 80-400 mW/cm² daily for 10-15 years have reportedly developed lenticular opacities.

The ACGIH guideline for IR-A exposure of the anterior of the eye is a time-weighted total irradiance of 10 mW/cm² for exposure durations exceeding 1,000 s (16.7 minutes). Pitts, et al. (1979) showed that the threshold radiant exposures to cause lenticular changes from IR-A were of the order of 5000 J/cm².⁷ Threshold damage irradiances were at least 4 W/cm². There is also a second ACGIH criteria to protect the retina against thermal injury from viewing specialized infrared illuminators which have visible light filtered out so that the aversion response stimulus is not present.

Nelle successive due immagini viene evidenziata la differenza della modalità operativa dei due metodi

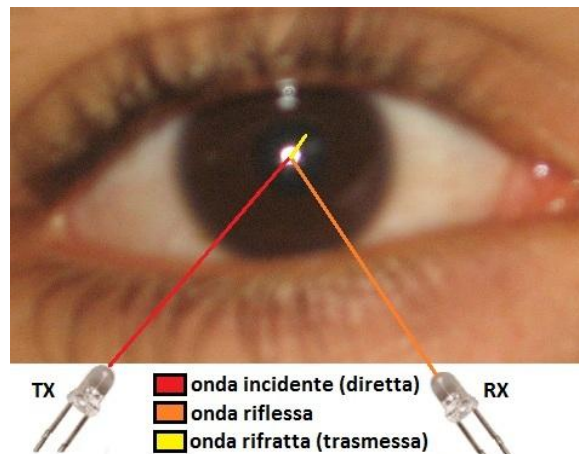


Fig 129 Metodo di rilevamento retinico, l'onda infrarossa rimbalza sulla retina attraverso la pupilla.

In questo caso il raggio riflesso (arancione) risulta più debole del medesimo quando il fascio rosso non è orientato direttamente verso la pupilla ma verso l'iride (parte colorata) o addirittura verso la sclera (parte bianca). È intuitivo capire che le persone con occhi chiari avranno la possibilità di riflettere più segnale infrarosso dal trasmettitore al ricevitore. Questa caratteristica risulta invertita rispetto alla funzionalità con open-cv.

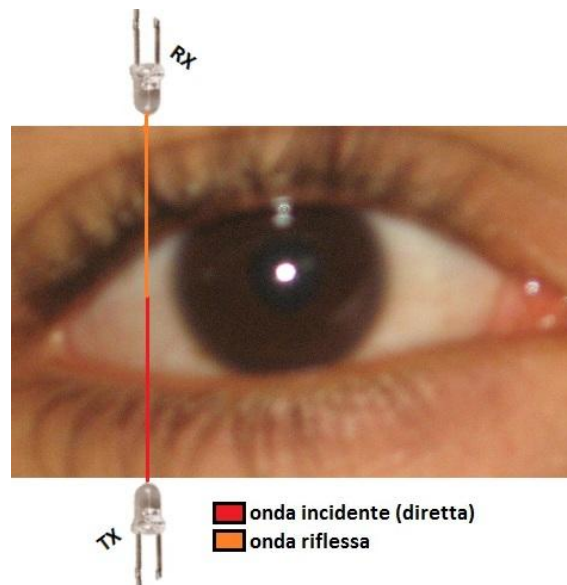


Fig 130 Metodo di rilevamento sclera-iride, l'onda infrarossa rimbalza sulla sclera ed è assorbita dall'iride.

Le basi di fisica necessarie alla comprensione sono riassunte brevemente in questo paragrafo. Come accennato in precedenza un'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio, a seguito dell'attraverso di una superficie di separazione tra due diversi mezzi da origine ad un'onda riflessa che si propaga genericamente all'indietro e quindi nello stesso mezzo da cui è pervenuta l'onda incidente e ad un'onda rifratta, detta anche trasmessa, che si propaga nel secondo mezzo.

Le relazioni che legano la direzione dell'onda riflessa e quella dell'onda trasmessa alla direzione dell'onda incidente risultano indipendenti dalla natura dell'onda quindi genericamente valide anche per un fascio monocromatico di tipo infrarosso quale è quello utilizzato nel sistema di guida ottica del robot Optichair II.

Risultano invece influenzate dalla natura dell'onda le ampiezze dell'onda incidente, riflessa, rifratta, come sono influenzate dalla natura dei mezzi di propagazione dando significato al concetto di filtro ottico. Tali filtri

saranno impiegati per ottimizzare l'efficienza degli occhiali di guida infrarossa che sono stati sviluppati per la guida del robot.

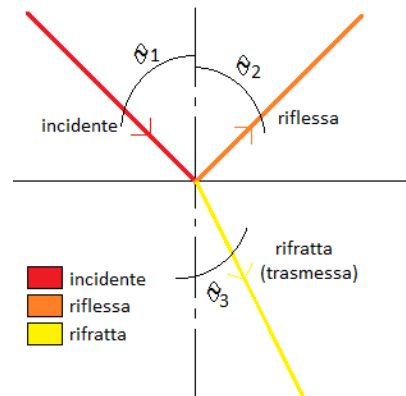


Fig 131 comportamento dell'onda elettromagnetica luminosa nel cambio di mezzo di trasmissione.

Tra le principali problematiche incontrate nella realizzazione degli occhiali per la guida a rifrazione IR del robot si ha l'attenuazione del segnale nel percorso, benché breve, tra onda incidente e riflessa nel metodo di rilevamento a riflessione sclera-iride, mentre si aggiunge un'ulteriore perdita energetica dovuta alla quantità assorbita dalla pupilla tramite l'onda rifratta (trasmessa) nel metodo a rilevamento retinico.

Di fondamentale importanza sono le leggi della riflessione e della rifrazione incontrate durante lo studio del corso di fisica generale 2, presso la Facoltà di ingegneria di Padova. Il corso è stato tenuto dal prof. Maurizio Moresco, docente titolare dei corsi serali per studenti lavoratori (A.L.S.I.) da me frequentati per tutto lo svolgersi del percorso universitario.

Le leggi di riflessione e rifrazione partono dal concetto di base che un'onda armonica, caratterizzata da una specifica frequenza ν , pulsazione ω , lunghezza d'onda λ e numero d'onde K , nell'attraversamento della superficie, ad esempio quella tra l'aria esterna e il cristallino, situato posteriormente al diaframma (pupilla), ed inoltre in un secondo cambio di mezzo che è l'ambiente liquido interno del bulbo oculare, la frequenza e la pulsazione angolare non variano, sono infatti imposte dalla fonte luminosa esterna (il fotodiode trasmettitore) quindi dovendo variare la velocità di propagazione è d'obbligo una variazione di lunghezza d'onda λ e di numero d'onda K .

Se cambia il parametro λ si va incontro a un problema banda passante rilevabile dal fotoricevitore, quindi in certi casi si possono verificare delle perdite di segnale. Ovviamente questa problematica si riscontra, come nel caso della costruzione del Robot Optichair II, quando si lavora con mezzi di fortuna, ovvero che optoelettronica non specifica, ed in certi casi addirittura recuperata smontando vecchi apparecchi elettronici dismessi. I risultati si sono comunque rilevati più che soddisfacenti. Ovviamente, per un progetto così complesso a cui fa affidata la sicurezza di una persona, già fortemente compromessa da una disabilità fisica, si dovrebbe commissionare alle aziende produttrici di optoelettronica delle coppie di trasmissione e ricezione infrarossa ad hoc, ovvero in grado di compensare in maniera hardware le perdite di cui sopra.

- La lunghezza d'onda in un mezzo è sempre minore della lunghezza d'onda nel vuoto, quindi l'onda per poter mantenere costante la frequenza deve necessariamente ridurre la sua velocità.
- Le tre onde, incidente, riflessa e trasmessa, giacciono sullo stesso piano detto piano di incidenza, quindi è possibile prevedere dove piazzare il sensore di ricezione.
- Gli angoli di incidenza, riflessione e rifrazione sono sempre minori di $\pi/2$
- L'angolo di incidenza è sempre uguale all'angolo di riflessione (legge di Cartesio)
- Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante ed è uguale al rapporto tra le velocità di propagazione.
- Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante e si chiama indice di rifrazione relativo tra i due mezzi (legge di Snell).
- In un fascio di luce non monocromatica, il fenomeno della trasmissione, ovvero l'analisi dello spettro visibile sull'onda trasmessa (si consideri il prisma di vetro), evidenzia che la frequenza del rosso, e di conseguenza gli infrarossi utilizzati per la costruzione degli occhiali per la guida di optichair

Il concetto che sta alla base dello sviluppo del sistema di guida IR-Reflex è il fatto che le tre zone dell'occhio sopraccitate, la sclera, la pupilla, e l'iride hanno tre diversi tipi di iterazione con la luce a causa del diverso indice di rifrazione n . Il segnale diretto alla pupilla viene assorbito mentre quello diretta alla sclera viene riflesso.

• 8.2 La camera di visione e riflessione

Nella prossima immagine, volutamente ripresa dalla lavagna in cui accennavo al relatore l'idea di base, si nota il principio di funzionamento di una camera di visione e riflessione ottimizzata. Questa si basa sul principio utilizzato nelle moderne macchine da ripresa.

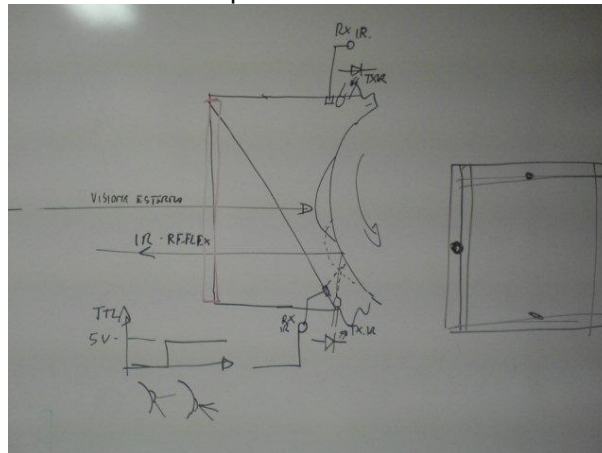


Fig 132 Principio di base del funzionamento

Nella versione finale, se mai dovesse essere commercializzata, l'ottica dell'occhiale segue la linea di principio esposta nel disegno manoscritto dell'immagine sovrastante. Il raggio luminoso contenete tutto lo spettro arriva al filtro. Tale filtro ha l'aspetto di un piccolo vetrino leggermente azzurato, ed ha lo scopo di impedire alle frequenze sia infrarosse che ultraviolette di andare a colpire l'ottica di una telecamera. L'ambiente interno alla camera di visione e' quindi privo di rumore, e di segnali estranei a quelli prodotti dei nostri trasmettitori IR che saranno rilevati senza ambiguita' dai fototransistiro. Il rimbalzo e' orientato dal movimento del bulbo oculare. In basso a sinistra vediamo l'andamento temporale del segnale rilevato in finzione della posizione del bulbo oculare. A destra dell'immagine vediamo la dislocazione dei sensori a quattro lati della camera di visione.

• 8.3 I filtri IR

I filtri IR hanno l'aspetto di piccoli vetrini che per la presentazione di questa tesi sono stati recuperati da vecchie telecamere CANNON rottamate. Togliendo questi filtri ed eseguendo una ripresa cinematografica il contorno degli oggetti assumono una scala di sfumature rosso arancio giallo, in funzione della temperatura dell'oggetto puntato.

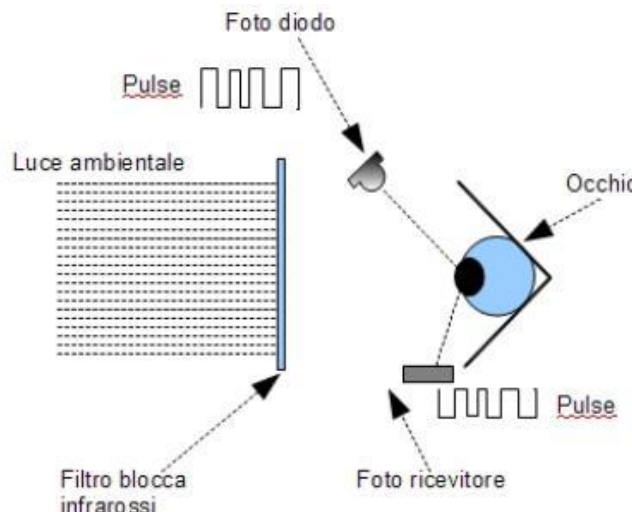


Fig 133 schema di principio dell'utilita' del filtro IR

Nella eventuale versione commerciale le lenti dell'occhiale dovranno essere costruite con questa tecnologia in modo da rendere più immune ai disturbi i segnali da rilevare.

• **8.4 Gli specchi polarizzati**

All'interno della camera di visione, nella versione che sarà finale si dovrà deviare i fasci IR in posizioni più sensate e comode che hai quattro punti cardinali della lente. Ad esempio posizionandoli tutti e quattro sul lato alto.

• **8.5 Gli emettitori e ricevitori infrarossi, schema elettrico**

In questo paragrafo si espone la soluzione hardware utilizzata nella realizzazione dell'interfaccia di acquisizione degli occhiali a guida IR-Reflex.

Il circuito è abbastanza semplice, si tratta infatti di 4 stadi identici ottenuti sfruttando la configurazione interna di un unico circuito integrato, il comunissimo LM324, contenete quattro amplificatori operazionali.

Ognuno dei quattro stadi lavorando in catena aperta rappresenta un comparatore in grado di decidere se la tensione al morsetto non invertente risulta maggiore di quella presente al morsetto invertente. In tal caso la tensione del morsetto di uscita si porta a livello alto rilevandolo stato dei segnali in gresso tramite l'accensione di un diodo LED ivi collegato.

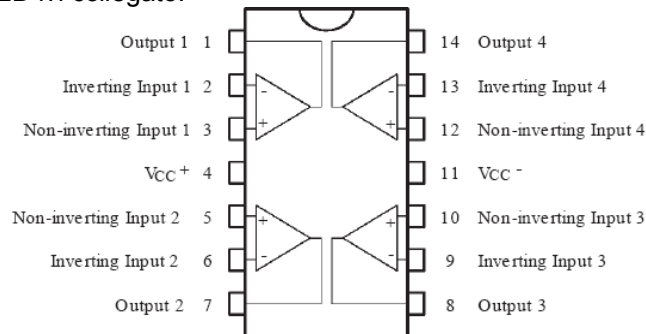


Fig 134 configurazione interna del circuito integrato LM324

Dall'analisi circuitale si vede che la tensione di soglia è fissata al valore di 1,2V, ottenuta tramite la polarizzazione diretta di due diodi veloci di tipo 1N4148, la cui corrente anodo-catodo è limitata dalla resistenza che nel primo dei quattro blocchi uguali, è identificata con R3.

Il diodo trasmettitore infrarosso è mantenuto in conduzione diretta e la sua corrente è limitata dalla presenza della R1. La resistenza R2 invece limita la corrente I_c del fototransistor quando questo si trovi in saturazione a causa del pervenuto segnale infrarosso eventualmente giunto alla base. R3, in caso di interdizione del fototransistor, si comporta da pullup fissando il valore della tensione al morsetto non invertente a +V_{cc} pari ai 5V provenienti dal cavo USB con cui gli occhiali sono connessi al PC.

Il sistema è quindi in grado di rilevare se il fascio IR rimbalza o no sulla superficie dell'occhio, quindi sta praticamente rilevando se la sclera (rimbalzo) o la pupilla (assorbimento) sono in allineamento con la coppia TX e RX ad infrarossi.

I quattro segnali corrispondenti alla posizione della pupilla ai punti cardinali, e alle posizioni trasverse, confluiscono assieme ai due fili di alimentazione su un connettore streepline maschio a 6 pin. Il connettore e il suo collegamento è chiaramente visibile sul lato destro dello schema.

Questa interfaccia è stata sviluppata usando il Cad elettronico Eagle versione 5.10, rilascita dalla software house CadSoft a ottobre 2010.

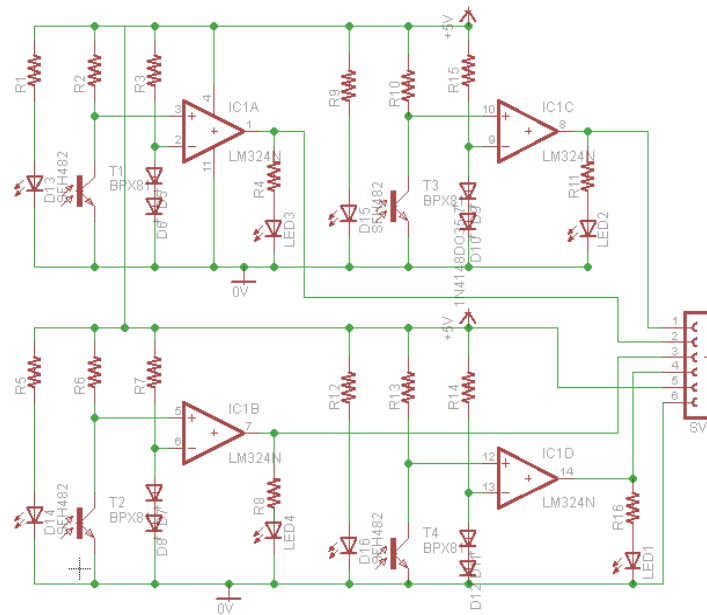


Fig 135 schema elettrico dell'interfaccia di acquisizione segnali infrarossi

Tab 11 lista dei componenti per realizzare l'interfaccia è la seguente:

Lista componenti interfaccia occhiali IR-Reflex	
IC1	LM324
R1,R5,R9,R12	100 Ohm
R2,R6,R9,R12	100 K Ohm
D5,D6,D7,D8,D9,D10,D11,D12	1N4007
LED1,2,3,4	Rosso piatto 5mm
T1,T2,T3,T4	BPX81
R4,R8,R11,R16	1K Ohm

Dopo avere eseguito lo schema elettrico con l'editor denominato "schematic" ed avere abilitato gli algoritmi di sbroglio automatico, si ottiene il PCB (circuito stampato) visibile nell'immagine successiva. Va chiarato che i percorsi delle piste sono gestiti in automatico dagli algoritmi di sbroglio, ma il layout, ovvero la disposizione dei componenti è a cura del progettista ed è il passaggio progettuale più impegnativo. Un cattivo Layout compromette tutta la funzionalità del circuito, specialmente quando la superficie è molto compatta come in questo caso. Le dimensioni ridotte sono imposte dal fatto che questo circuito va alloggiato sull'asta destra degli occhiali dedicati alla guida IR.

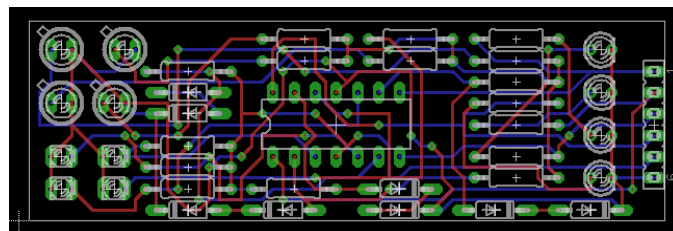


Fig 136 Circuito stampato dell'interfaccia di acquisizione segnali IR

Il prototipo dell'occhiale monta una scheda provvisoria, eseguita su bassetta millefori, sulla quale e' possibile eseguire tarature e configurazione 'last minute'

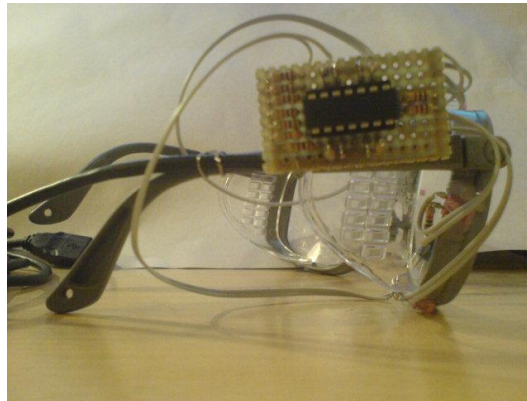


Fig 137 interfaccia di comparazione dei segnali IR installata sull'occhiale

• 8.6 Dislocazione dei IR-TX e IR-RX

La dislocazione degli opto elementi sulla montatura degli occhiali modificata dipende dallo studio anatomico del soggetto che li avrà in uso anche se è possibile avere una base comune di partenza per tutti i soggetti. Tale base è definita dalla struttura, dimensione e forma media dell'occhio umano.

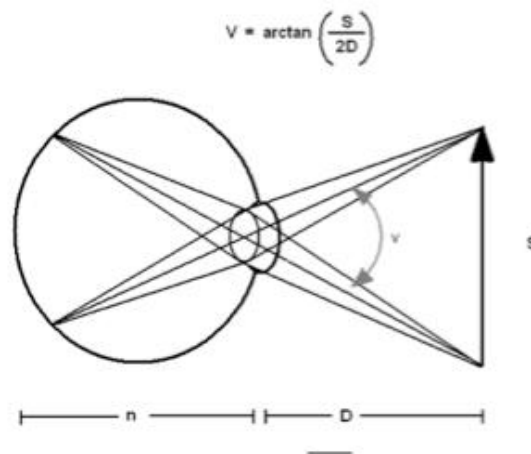


Fig 138 struttura anatomica media dell'occhio umano.

Va quindi trovata la dislocazione più efficace nella montatura degli occhiali per almeno 4 diodi trasmettitori IR e altrettanti sensori di ricezione IR. La stessa matrice di input comando che genera i segnali di marcia suggerisce la dislocazione di tali sensori.

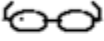
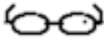


	←	→	↑	↓
 SINISTRA	1	0	0	0
 DESTRA	0	1	0	0
 AVANTI	0	0	1	0
 INDIETRO	0	0	0	1

Fig 139 matrice di comando generata dagli occhiali IR-Reflex

Dato che i sensori disponibili sono di tipo standard la loro dislocazione all'interno dell'occhiale è risultata un po' ardua, date le dimensioni e forme non customizzate dei diodi. I due comandi "sinistra" e "destra" sono stati rilevati con più facilità dei comandi "avanti" e "indietro", ma alla fine il problema si è risolto intervenendo sulla meccanica della montatura.

Secondo la matrice precedente il movimento avviene solo secondo le direzioni ortogonali, e risultano quindi poco compatibili con la meccanica del robot che si troverebbe a dover ruotare con un raggio di curvatura fisso e prossimo all'angolo retto dato che una ruota si trova non alimentata e quindi in trascinamento.

Questo comporta non solo una perdita di confort del paziente, ma anche una situazione di stress per la struttura del robot.

La matrice viene quindi rivista dislocando diversamente le coppie infrarosse TX e RX. Ottenendo quanto visibile nella successiva matrice.






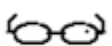
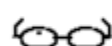

				
 SINISTRA	1	1	0	0
 DESTRA	0	0	1	1
 AVANTI	1	0	0	1
 INDIETRO	0	1	1	0

Fig 140 matrice di comando completa generata dagli occhiali IR-Reflex

Nella prossima immagine vediamo la dislocazione in fase di progetto dei sensori e ricevitori IR Tx (fotodiode) e RX (fototransistor)

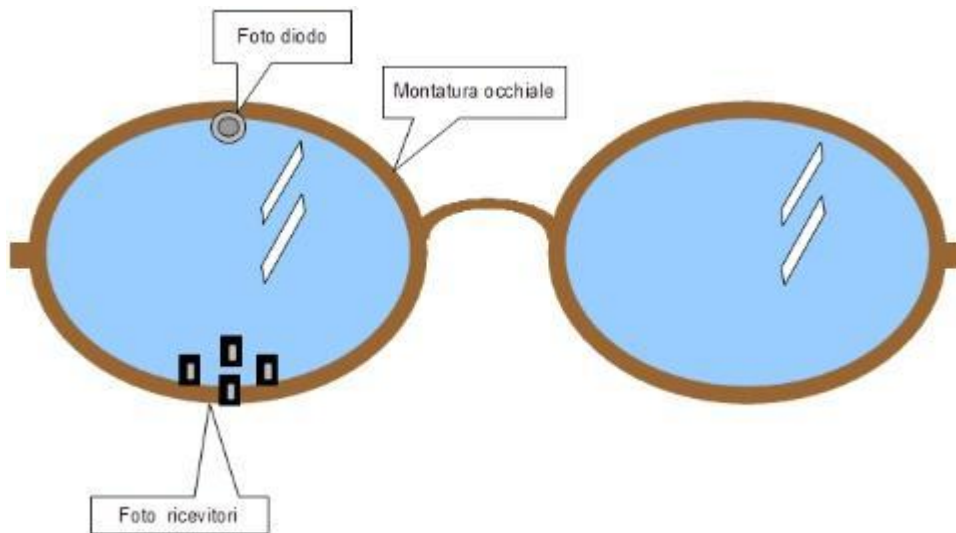


Fig 141 dislocazione teorica dei sensori infrarossi.

Ecco la dislocazione reale dei sensori riceventi e degli apparati trasmettenti infrarossi all'interno della montatura degli occhiali:



Fig 142 disposizione dei sensori e trasmettitori IR sull'occhiale

• 8.7 Test e collaudi del sistema IR-Reflex

Il sistema e' stato collaudato dallo stesso laureando e i risultati sono stati sorprendenti, gli occhiali IR infatti , dopo una accurata fase di dislocazione dei sensori e ricevitori infrarossi, che adrebbe eseguita in maniera differente per ogni persona, non sbagliano praticamente mai.

La percentuale di successo di comando e' quindi del 100%.

Non sono state testate le condizioni in cui luci fortemente siturbanti, quali ad esempio laser vengano volontariamente dirette verso i sensori accecando il sistema.

Un algoritmo software inserito nel firmware del computer di bordo secondario dovra' curarsi di risolvere questo baco, ma alla data di presentazione della tesi la questione non e' stata implementata.

• 8.8 Assegnazioni di ruoli ai controlli IR-Reflex

Dato che il sistema IR reflex e' risultato il piu' efficiente ed affidabile il controllo del moviemnto delle ruote viene assegnato ad esso.

Comparando i risultati si ha un 100% di successo in comando con il sistema IR-Reflex, un 75% di successo al sistema BCI al quale si assegna il ruolo di controllo secondario del confort del paziente , il quale ad esempio potra' utilizzare i servizi multimediali installati nel nel computer di bordo primario.

La metodologia Open-CV presenta anche essa una efficienza prossima al 100% di successi, ma non e' altrettanto affidabile il computer di bordo che deve gestire la telecamera retinica, quindi, almeno per il momento non si usa questo sistema per muovere le ruote del robot.

CAPITOLO 9 Apparati sensoriali e di comando

• 9.1 Apparati sensoriali

Gli apparati sensoriali sono descritti in dettaglio all'interno dei capitoli in cui si è sviluppata l'elettronica del controllo quindi si preferisce non dilungarsi ancora in spiegazioni tecniche. Elencandoli essi sono:

- Capsule ultrasoniche
- Servo inclinometri
- Misuratori di carica
- In futuro saranno installati, accelerometri, misuratori di coppia, pressostati

Il robot nella prossima versione sarà equipaggiato di sensori biomedici per la salute e la diagnostica del paziente. Sarà quindi attiva la richiesta automatica di telesoccorso via web.

• 9.2 Servoinclinometro: principio di funzionamento

L'angolo di zenit o tilt è trasdotto da un servoinclinometro (Figura 6.2.1) mod. ES261 con uscita analogica compatibile all'input del PLC. Il sensore è costruito e distribuito a Milano dall'azienda DSeurope. Il principio di funzionamento si basa su un pendolo, collegato ad un motore di torsione. Esso misura l'inclinazione (la forza di gravità) cercando di brandeggiare. Una barriera ottica misura i movimenti del pendolo: un segnale di controtorazione viene inviato al motore di torsione affinché il pendolo mantenga sempre la stessa posizione. La serie ES261 ha un'eccellente precisione e ripetibilità proprio grazie al fatto che l'unico errore introducibile nella misura è l'attrito associato al brandeggio del pendolo, questo viene fortemente limitato dato che il brandeggio stesso è insignificante. Un servoinclinometro è anche un servoaccelerometro dato che un angolo è anche un'accelerazione essendo $90^\circ = 1g$ (1 gravità) = $9,81 \text{ m/sec}^2$. Il segnale d'uscita è proporzionale al seno (od al coseno) dell'angolo misurato: la funzione sinusoidale è migliore e la si ottiene in base a come si fissa meccanicamente il sistema (con la base parallela al terreno). Il dispositivo è costruito con fattore di protezione ambientale IP65.



Figura 6.2.1 Servoinclinometro

Principio di funzionamento

Gli inclinometri Serie ES 261 contengono una massa sismica denominata target, la cui inclinazione rispetto alla linea d'orizzonte è monitorata da 2 sensori optoelettrici acquisiti da un circuito differenziale.

Un "motore di torsione" di controtorazione, collegato ai sensori a mezzo di un amplificatore, mantiene il target nella sua posizione di riposo. La corrente circolante nel "motore di torsione", convertita in tensione, viene filtrata ed amplificata ed è disponibile all'uscita.

Il segnale d'uscita è proporzionale al seno dell'angolo rispetto alla linea d'orizzonte o direttamente proporzionale all'accelerazione lineare.

Es.: Modello ES 261-90°; Al fondo scala = + 90° = + 5,002 V = + 1 g; metà segnale d'uscita sarà: + 5,002 x 0,5 = 2,501; ove + 0,5 = seno di 30 gradi = 0,5 g = 2,501 Volt d'uscita. L'inclinazione diretta in gradi viene inviata all'ingresso analogico del PLC e contemporaneamente visualizzata mediante indicatore a barra L.E.D. presente sul frontale della console di comando, ovvero sull'asse verticale della "croce" L.E.D.

Terminologia (principale)

Model: è indicato il Modello.

Axis: è indicato l'asse di sensibilità.

Range: campo di misura dell'inclinometro. Es.: $\pm 90^\circ = \pm 1$ g (accelerazione lineare).

Full range output: è il valore con polarità (\pm) del segnale d'uscita in Volt corrispondente al fondo scala (\pm) dell'inclinometro. Es.: +5.002 V = +45° ; -5,001 V = -45°

Zero offset: è il residuo di zero dovuto al disallineamento meccanico ed elettrico dell'asse dell'inclinometro rispetto alla linea d'orizzonte.

• 9.3 Installazione del servoinclinometro - misura dell'angolo

FISSAGGIO: l'inclinometro è stato disposto su una superficie lavorata e piana e fissato mediante 2 viti M3. sono state rispettate le importanti raccomandazioni della casa costruttrice di non esercitare pressioni meccaniche radiali od assiali sul contenitore esterno al fine di non causare il bloccaggio del brandeggio del pendolo interno.

ORIENTAMENTO DELL'INCLINOMETRO: Come forma, l'inclinometro è un parallelepipedo dotato di flange di fissaggio. Nella sua posizione di zero, l'asse verticale dell'inclinometro coincide con la gravità terrestre; la base superiore con targhetta verso il cielo, la base inferiore dotata di flange verso il centro della terra. In questa posizione è stato eseguito l'allineamento durante la costruzione.

ASSE DI MISURA: La direzione (asse) di misura è indicata con una freccia sulla targhetta. La direzione esatta di misura è la linea congiungente le due tacche eseguite a mano durante il collaudo sugli spessori delle flange della base inferiore vicino ai fori di fissaggio.

Misura dell'angolo:

La Fig. xxx illustra l'installazione corretta dell'inclinometro. In queste condizioni il segnale d'uscita è proporzionale al seno dell'angolo e vengono esaltate le differenze di misura di piccoli angoli:

Esempio N°1:

Seno di 0° = 0,00000	seno di 1° = 0,01745	differenza: 0,01745
Coseno di 0° = 1,00000	coseno di 1° = 0,99985	differenza: 0,00015

La Fig. xxx illustra un'installazione non corretta dell'inclinometro. In queste condizioni il segnale d'uscita è proporzionale al coseno dell'angolo e vengono esaltate le differenze di misura di angoli vicino ai 90°.

Esempio N°2:

Seno di 90° = 1,00000	seno di 89° = 0,99985	differenza: 0,00015
Coseno di 90° = 0,00000	coseno di 89° = 0,01745	differenza: 0,01745

Nota: come elencato in precedenza l'inclinometro è stato allineato secondo l'esempio N°1 (fig. 6.3.1).

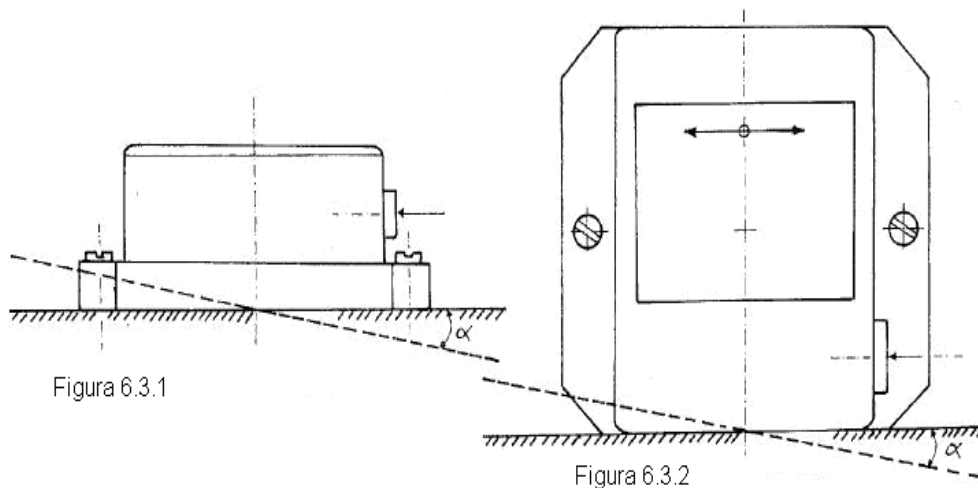


Figura 143 e figura 144 Rappresentano l'installazione corretta e non corretta dell'inclinometro

• 9.4 Allineamento del servoinclinometro - calibrazione - connessioni elettriche

E' stato necessario allineare sul piano orizzontale una scatola contenente l'inclinometro e la relativa elettronica. Allo scopo è stato necessario avere a disposizione un piano di allineamento orizzontale di riferimento. Questo piano è stato costruito molto rigido, finemente lavorato (rettificato) e dotato di piedini di regolazione. L'allineamento del piano è stato eseguito mediante le seguenti procedure:

Utilizzare la livella di precisione DS Europe Mod. ES 601. La livella ha una lunghezza di 300 mm ed una sensibilità di 0,02 mm/1000 mm per ogni divisione. Il piano è orizzontale quando disponendo la livella sul piano e ruotata intorno all'asse verticale del piano; la bolla è sempre nella sua posizione centrale di zero. Si è ottenuta questa condizione agendo nei piedini di regolazione.

Utilizzando lo stesso servoinclinometro e procedendo separatamente per l'asse X e poi per l'asse Y (a 90 gradi) orizzontali si è proceduto come segue: si è ruotata la direzione di sensibilità dell'inclinometro attorno al suo asse verticale (asse di gravità) dall'angolo zero a 180 gradi. Si è regolato l'inclinazione del piano fino a quando per entrambe le direzioni il segnale d'uscita è risultato uguale, di polarità invertita (\pm) ed il più vicino a zero. Successivamente si è proceduto per l'altro asse ,Y. Ottenuto il piano di riferimento orizzontale, è stata disposta la scatola del sistema contenente il servoinclinometro e proceduto al suo allineamento agendo meccanicamente con le correzioni meccaniche; alla fine è stato soppresso il residuo di zero con aggiustamenti software nell'acquisizione analogica nel PLC.

La calibrazione ha due funzioni distinte:

la simulazione elettrica di un'inclinazione geometrica del trasduttore e il controllo della catena di misura.

La seconda funzione è la più utilizzata ed è essenziale in applicazioni importanti.

La calibrazione agisce direttamente sul "motore di torsione" controllando la funzionalità di tutto l'inclinometro. Questa calibrazione simula elettricamente un'inclinazione meccanica il cui valore preciso è indicato sul certificato di collaudo fornito dalla casa costruttrice assieme alla manualistica.

Il valore di calibrazione è espresso in Volt e corrisponde proporzionalmente all'accelerazione lineare od al seno dell'angolo di inclinazione. Il valore dell'angolo verrà ricavato dalle tabelle dei seni o letto tramite acquisizione analogica da PLC come nel caso della nostra installazione.

La calibrazione impone che il servoinclinometro sia posto su un piano orizzontale e l'uscita di tutta la catena di misura sia riportata a zero volt.

E' stato collegato il conduttore giallo col verde (sul lato cavo); il contatto 3 col 6 (sul lato connettore).

Si è agito sulla regolazione del guadagno della catena di misura fino a quando il suo segnale d'uscita si è uguagliato a quello indicato sul "certificato di collaudo" fornito dalla casa costruttrice.

Mediante la tabella seni si ricaverà in fine il valore dell'angolo.

Es.: a $+90^\circ$ (fondo scala = FS); seno FS = 1; tensione di FS = $+VFS = +5,002$ V;

tensione di calibrazione (= calibration) = $V_{cal} = +2,501$ V

sen cal = $V_{cal} \times \text{sen FS}/VFS = + 0,5 = + 30^\circ$. Non si è applicata alcuna tensione alle connessioni di calibrazione perché valori superiori a 15 millivolt danneggiano il motore di torsione interno.

L'alimentazione è duale : ± 15 Volt ; ± 10 %.

E' consigliata un'alimentazione stabilizzata, con basso livello di rumore e con valori di tensione \pm uguali tra loro, quindi è stato realizzato un apposito alimentatore .

Nella fase di test si è constatato che valori diversi tra loro determinano variazioni dello zero elettrico del segnale d'uscita.

Valori diversi da ± 15 V determinano soltanto una maggiore (+) od una minore (-) efficacia della controeazione interna.

Tabella 12 Si riferisce ad interconnessioni mediante cavo (- OC) o mediante connettore (- OP)

DESCRIZIONE	COLORE CONDUTTORE	N° PIN CONNETTORE
Alimentazione : + 15V	Rosso	4
Alimentazione : - 15V	Nero	5
Comune : Alim / Segnale	Verde	6
Uscita segnale	Bianco	1
Calibrazione	Giallo	3
Terra	Base metallica dell'inclinometro	

CAPITOLO 10 Sistema telemetrico

• 10.1 Sistema telemetrico principale INFINEON

Il sistema telemetrico principale, basato su tecnologia Infineon serve al robot Optichair II per l'identificazione dei soli ostacoli frontali, e ne comunica la distanza al computer di bordo secondario tramite l'invio di una stringa nella porta seriale con protocollo EIA-RS232C, del formato:

@A123(invio)

Si tratta quindi di sei caratteri aventi i seguenti significati:

1. @ apertura della stringa
2. A selezione del canale (sono selezionabili fino a 255 canali)
3. 123 sono tre caratteri interpretabili come valore numerico abbinabile alla distanza
4. (invio) . corrisponde alla chiusura della stringa

Mentre l'apparato dal lato infineon si cura della generazione della stringa in funzione della distanza rilevata dalle capsule inserendo al posto dei tre caratteri '123' il valore convertibile in mm, il microcontrollore PIC16F877A installato sul PCB principale del computer secondario cattura la l'informazione telemetrica contenuta nella stringa e la converte in comando digitale tipicamente di interblocco dei comandi di marcia dei motori.



Fig. 145 Telemetria primaria sviluppato con microprocessore infineon.

Con le serie XE164, Infineon introduce due nuovi gruppi di microcontrollori basati sull'architettura C166. Tale architettura e' una soluzione ben nota e di provata efficacia. Grazie ad un core C166S V2 ottimizzato, superano decisamente le prestazioni dei microcontrollori standard a 16 bit. I XE164 si impongono quindi come nuova generazione del microcontroller CMOS Real Time Signal con architettura a 16 bit, per una performance equivalente a un 32 bit.

La potente unità CPU con 66 MIPS, combinata con funzioni I/O migliorate, una gestione flessibile di potenza e numerose periferiche sono le caratteristiche che rendono i XE164 la soluzione predestinata per numerosi sistemi industriali richiedenti grande performance ed affidabilità. Lo spettro di utilizzo varia dai controlli di motori fino ai prodotti per trasporto e comunicazione. Applicazioni tipiche che approfittano dei vantaggi offerti dai nuovi microcontrollori infineon sono servoazionamenti, motori per apparecchi, compressori e ventole della tecnologia di riscaldamento e di refrigerazione, motori passo-passo, pompe industriali, impianti di convogliamento e alimentazioni di corrente.

Questi processori dispongono di molte funzioni aggiuntive integrate come ad es. un regolatore di tensione, emulazione EEPROM con moduli flash accessori e diverse fonti di clock riducono in numero di componenti esterni e quindi i costi complessivi del sistema. XE164 fanno parte di una famiglia con quattro diversi housing PG-LQFP, che permettono una perfetta integrazione con i vari tipi di PCB (printed circuit board ovvero circuito stampato).

La serie XC164 offre fino a 11+5 canali - con rilevamento opzionale in continuo e tempo di conversione di meno di 1 μ s. Fino a 4 (XE164: 3) unità capture/compare (CC6) garantiscono una generazione flessibile dei segnali PWM per ogni tipo di centralina motore o inverter auto costruito per il controllo degli attuatori di potenza DC come quelli installati sul robot Optichair II.

Anche il modello più piccolo di questi microcontrollori mettono a disposizione fino a 75 linee di I/O, commutabili come avviene nei controllori PIC sia come input che come output. Un'interfaccia MultiCAN (Rev. 2.0B active) sul chip con 128 strighe messaggio, offre fino a 4 nodi CAN e funzionalità gateway. Garantisce quindi una ottima interfacciabilità con bus bipolare con eventuali apparati sensoriali intelligenti dislocati nei vari punti del Robot.

Il XE164 è disponibile con alloggiamento (housing) di tipo LQFP a 100 poli e senza piombo, entrambe con trama da 0,5. Entrambe gli elementi modulari operano con alimentazione a 3,3 V a 5 V e in un range di temperatura tra -40 e +85°C. I nuovi microcontrollori sono supportati da numerosi strumenti di sviluppo e permettono il debug su chip tramite interfaccia JTAG.

Caratteristiche comuni dei microcontrollori XE164 sono:

- Compatibilità con la famiglia C166
- Potente CPU a 16 bit (C166S V2) con linea a 5 livelli
- Esecuzione dei comandi in un solo ciclo di clock, tempo di esecuzione 15 ns
- Performance di picco 66 MIPS con clock CPU di 66 MHz
- Rapida moltiplicazione di 15 ns (16 x 16 bit), divisione in background (32/16bit) e comandi MAC
- Rapida commutazione contestuale con due ulteriori banchi di registri
- 16 Mbyte di spazio di memoria lineare di indirizzo da per codici e dati
- Sistema di interrupt con 16 livelli di priorità e 87 fonti
- Trasferimento dati a 8 canali (interrupt-driven) tramite PEC (Peripheral Event Controller)
- Generazione di clock da fonti interne ed esterne
- 1 Kbyte RAM stand-by
- 2 Kbyte RAM porta duale
- Fino a 16 Kbyte di RAM per dati
- Fino a 64 Kbyte di SRAM per programmi/dati
- Fino a 768 Kbyte di memoria di programma su tre banchi
- Emulazione EEPROM
- Unità a 16 canali capture/compare (CC2)
- Unità timer multifunzionale con 5 timer (16 bit)
- Fino a 6 canali seriali di interfaccia (utilizzati come interfaccia UART, LIN, SPI, I2C bus o I2S)
- Clock in tempo reale su chip
- Watchdog timer e watchdog oscillatore programmabili
- Regolatore integrato di tensione per alimentazione di corrente singola, compreso il rilevamento brown-out
- Alimentazione di corrente I/O configurabile per 3,3 V e/o 5V
- Bootstrap loader su chip
- Supporto grazie a numerosi strumenti di sviluppo
- Supporto debug tramite interfaccia JTAG.

Attualmente quasi tutti i produttori di elettronica per automobile o motocicletta usano questo microcontrollore o stanno per introdurlo nei loro prodotti, che normalmente sono: cruscotti, controllo motore (ECU), controllo stabilità (ABS), controllo di trazione (TC), e altro ancora.

Chiaramente la versione XE164 non è qualificata per il profilo Automotive (range di temperatura tra -40 e +125°C) ma, come già anticipato, solo per il profilo Industriale (range di temperatura tra -40 e +85°C), ma ha le stesse caratteristiche e capacità dei prodotti Automotive. Dato che l'applicazione sul robot Optichair II non è ancora classificata come una o l'altra, la possiamo disporre noi in posizione ibrida tra home e industrial application, ma non si tratta di certo di una auto motive come si potrebbe naturalmente pensare.

Riassumendo, il XE164 è un 16-bit dalla potenza di un 32-bit, senza però la necessità di addentrarsi nel difficile mondo dei 32-bit, senza la necessità di installare i difficilissimi compilatori a 32-bit e senza la necessità di riaddressamento del programmatore per poter utilizzare.

Tools di Sviluppo

Per iniziare bisogna scaricare il compilatore Tasking in prova gratuita per 1 anno dal sito

Infineon: www.infineon.com/XE164

È necessario compilare il modulo di richiesta alla Tasking, che è una specifica sezione del sito. Successivamente vanno installati alcuni tools molto molto importanti:

1. Memtool: è un programma gratuito fornito dalla Infineon per programmare la Flash interna del XE164, accetta tutti i formati compilati più comuni e li carica sulla flash interna. Può funzionare con il collegamento JTAG oppure con la RS232 (in quanto i XE164 possono fare il boot tramite la funzionalità nativa "boot strap loader" e caricare l'applicativo)
2. DAS: Device Access Server è un tool di connessione JTAG tra computer e XE164 (o ogni altro microcontrollore prodotto da Infineon)
3. DAvE: Digital Application Engineer è un software che permette di creare lo scheletro di base di un progetto e di configurare in maniera visuale il microcontrollore. È distribuito gratuitamente da Infineon e funziona su tutti i prodotti Infineon, basta installare i relativi DIP files (de.sitestat.com/infineon/infineon/s). È molto molto utile e intuitivo e consente anche di consultare la documentazione direttamente (visualizza la parte relativa alla funzionalità che si sta utilizzando). Inoltre se sviluppate per un micro, il vostro progetto può essere convertito in pochissimo tempo per un altro microcontrollore (io l'ho fatto portando un progetto iniziato su XC164 e portato poi su XE164); oppure in pochi clicks è semplicissimo cambiare tipo di compilatore.
4. MiniMon: è un tool che permette di connettersi al microcontrollore (via RS232) e di visualizzare i registri interni, le memorie, etc... Permette di leggere le memorie, di scriverle, di scaricare files e di creare scripts per i propri scopi
5. Data Sheet e manuale: de.sitestat.com/infineon/infineon/s

Per costruire il sistema telemetrico è necessario comprare un XE164. È conveniente acquistare uno Starter Kit direttamente da Hitex, contenete anche un esemplare del microcontrollore:

http://www.ehitex.de/p_info.php?products_id=323,

È suggeribile acquistarne una versione USB stick: molto piccola e potente, alla data dello sviluppo della presente tesi il costo è stato di soli 49€. Eseguendo l'acquisto si riceve una chiavetta USB con tutto il software necessario, compilatori e vari esempi. Inoltre la versione chiavetta ha anche il convertitore di livello elettrico per il protocollo CAN e tramite il connettore USB può anche comunicare via RS232 a un terminale (tipo Teraterm o altro), il tutto è stato ordinato tramite:

http://www.ehitex.de/p_info.php?xPD=113_117&products_id=347.

Per la costruzione del robot Optichair II il laboratorio è stato attrezzato con uno Starter Kit e alcune KeyChain: una versione del XE164 saldata su un piccolo circuito stampato i cui connettori sono in pitch 2.54mm sono molto più facili da usare e collegare dato che sono compatibili al passo degli streepline maschi a cui è applicabile un connettore su cavo piatto multipolare (del tipo usato nelle vecchie connessioni IDE degli harddisk):



Fig. 146 XE164 KeyChain lato inferiore

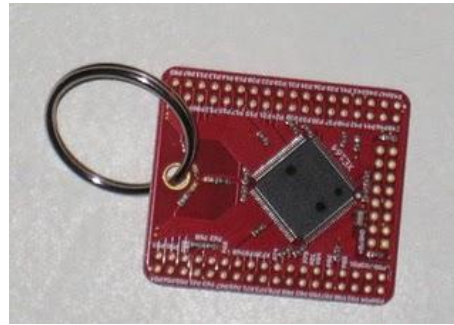


Fig. 147 XE164 KeyChain lato superiore

• 10.2 Tecniche di programmazione visuale D.A.V.E.

Digital Application Engineer (DAvE) è un software grafico per la generazione di codice per microcontrollori Infineon. Genera i files di configurazione del microcontrollore e tutti i files del progetto, incluso il MAKE file. Permette di configurare ogni periferica di sistema (timers, Watch-Dog, serial communication, CAN nodes, PWM, etc...), di configurare le porte (input, output) e la frequenza di sistema (con o senza uso del PLL). Inoltre DAvE genera codice C compatibile con i compilatori supportati (Keil, Tasking, ...) e i relativi file di progetto: per cui una volta generato il codice, basta aprire il progetto con il compilatore selezionato.

DAvE è gratuito e può essere scaricato dal sito Infineon:

<http://www.infineon.com/cms/en/product/channel.html?channel=db3a3043134dde6001134ee4d3b30265>

(mentre, come detto al paragrafo precedente, acquistando un Easy Kit o la chiavetta USB lo si trova nel CD allegato).

DAvE inoltre fornisce del materiale per imparare praticamente chiamato HOT (si scarica anch'esso dal sito Infineon).

Lo sviluppo con DAvE è veramente semplice dato che ci si trova in un ambiente totalmente visuale: E' solo necessario porsi un problema software da risolvere, cliccare le opzioni necessari ad implementare l'azione, eventualmente consultando la manualistica relativa all'operazione che si sta eseguendo.

DAvE mostra il registro CPU che si sta modificando evidenziando ogni qualvolta che si impone un comando quale e' il suo effetto in tempo reale.

Una funzionalità veramente utile è che una volta generato il codice C, si può sempre tornare in DAvE e modificare i settings o aggiungere funzionalità: il codice sorgente non verrà perso. Questo è quello che è stato fatto nello sviluppo della telemetria del robot Optichair II, si è iniziato senza CAN, ADC, e sono stati aggiunti in seguito. L'unica cosa da tenere a mente è di scrivere il codice proprietario solo entro i delimitatori:

```
// USER CODE BEGIN
...
// USER CODE END
```

E' possibile addirittura il cambio del compilatore "al volo", ovvero se iniziato lo sviluppo selezionando un compilatore si decide di cambiarlo in itinere, non si deve fare altro che riaprire DAvE e modificarlo (controllando però che tutti gli altri settaggi siano mantenuti).

Anche il compilatore Tasking è gratuito, e' opportuno scaricare e installare il compilatore gratuito prima di iniziare ogni lavoro di sviluppo software, (licenza gratuita per 1 anno). Il link da cui scaricare e' il seguente:
<http://forms.tasking.com/xe166.php>

Non essendo possibile riportare per esteso il codice sorgente del telemetrico per esporre la funzionalità del

Dave si espone in questo paragrafo solo la modalita' di "Configurazione RS232", ovvero come fare comunicare il sistema telemetrico con processore infineon con il computer di bordo secondari che monta il procesore PIC di MicroChip tramite le porte seriali che entrambi hanno disponibili.

Lo scopo di questo paragrafo è quello di esporre la modalita' di utilizzo di DAVe per configurare il XE164 e quindi di stabilire una connessione PC <-> XE164 (mediante emulazione RS232 da parte della USB). Sul fronte microcontrollore, si vuole selezionare il protocollo RS232 come 19200 Baud, 8 bit, Nessuna Parità, 1 bit di Stop e si vuole creare un loop-back con minimo disturbo per la CPU: andremo ad utilizzare l'interrupt in ricezione per rispedire ogni carattere ricevuto.

In un secondo esempio, viene posto lo stesso obbiettivo ma si intende risolvere senza usare la CPU quindi impegnando l'unità PEC (Peripheral Event Controller - PEC – ad otto canali di servizio in grado di spostare un singolo byte o una word tra due locazioni qualsiasi)

Si inizia lanciando DAVe cliccando sull'icona, e con la stessa tecnica esposta nel paragrafo 5.3 riguardante la programmazione del PIC, creando lo schema del progetto.



Fig. 148 Lancio del sistema di sviluppo DAVe.



Fig. 149 Pannello di controllo di DAVe.

Il primo passaggio consiste nella creazione di un progetto. Questo andrà preferibilmente allocato in una cartella in documenti. Il passaggio successivo seleziona il tipo di Microcontrollore da usare (in caso di errore si potrà cambiarlo in seguito). Selezionare XE164 (se non è nella lista significa che non sono installati i file DIP relativi oppure è stata effettuata la ricerca nel TAB sbagliato: il XE164 è un "16-Bit Microcontroller"):

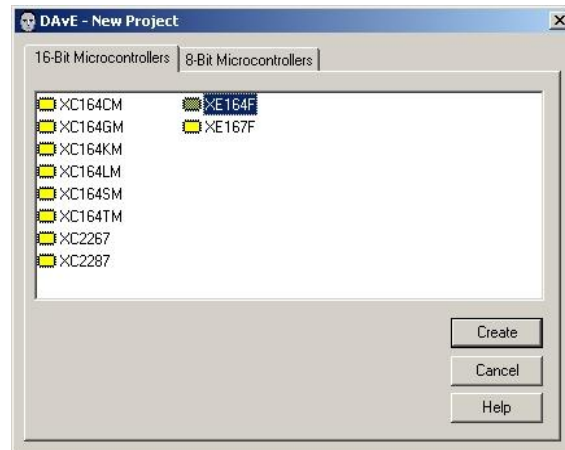


Fig. 150 selezione del corretto microcontrollore.

Selezionare ora il compilatore, per la telemetria del progetto Optichair II e' stato usato Keil, se usi la versione gratuita di Tasking, selezionare Tasking Classic.

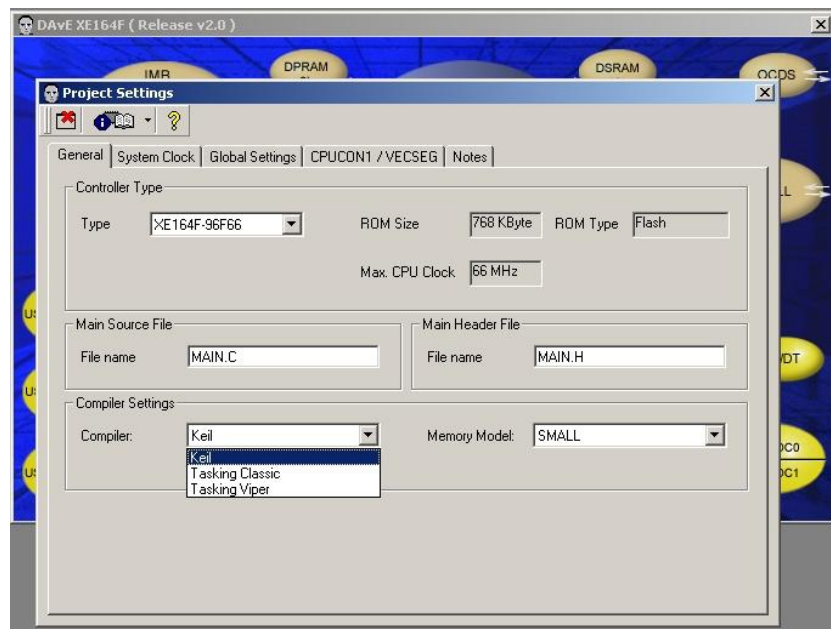


Fig. 151 selezione del corretto compilatore.

Chiudere la finestra cliccando in alto a sinistra, su simbolo con la finestrella e la croce rossa, le precedenti impostazioni rimangono memorizzate.



Fig. 152 conferma impostazioni compilatore e microcontrollore

Verra' mostrata la rappresentazione grafica interna del XE164, ogni bolla rappresenta un componente interno del microcontrollore. Alcune bolle non sono selezionabili perché non hanno proprietà modificabili o semplicemente la loro configurazione non è supportata dall'attuale versione di DAVe.

Quando il mouse passa sopra a un componente configurabile, esso si illumina.

Selezionando il modulo USIC0 (...The Universal Serial Interface Channel module – USIC – interfaccia flessibile di comunicazione che implementa diversi protocolli) si apre la finestra associata:

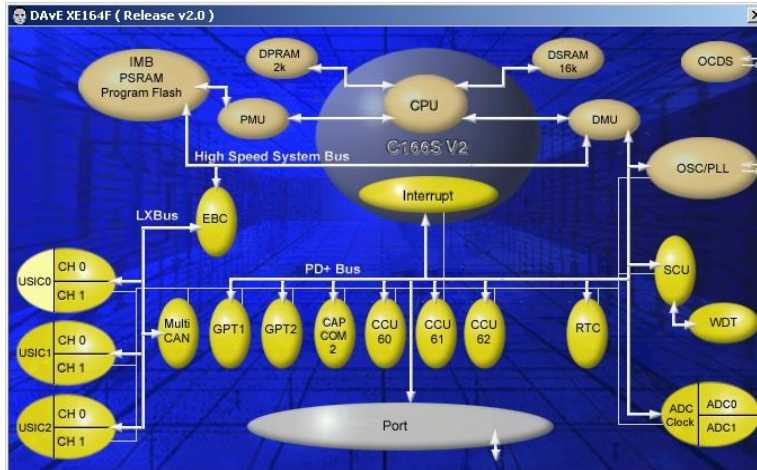


Fig. 153 architettura interna del microcontrollore selezionato

Il modulo USIC0 può gestire 2 canali seriali (ognuno con il proprio protocollo indipendentemente dall'altro), per usare un protocollo seriale RS232, dobbiamo scegliere il protocollo ASC (asynchronous serial channel), poi puoi chiudere la finestra sempre cliccando sull'apposito bottone:

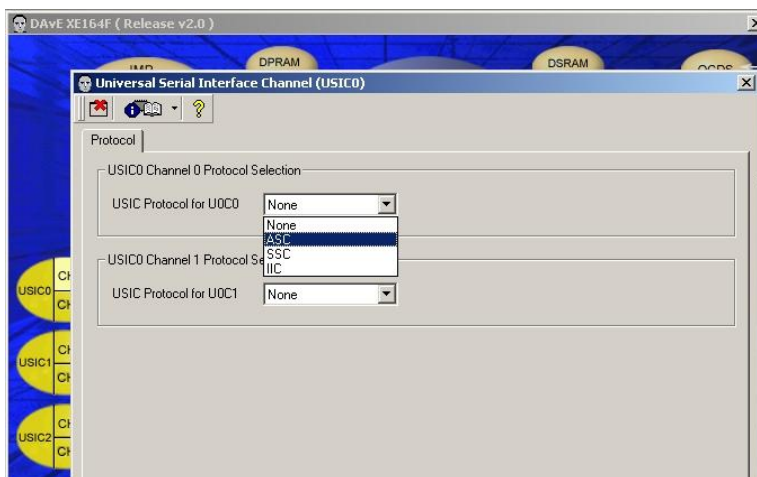


Fig. 154 configurazione dei canali di comunicazione

Ora dobbiamo configurare il canale 0 (U0C0 : USIC 0, Channel 0), selezioniamo CH 0:

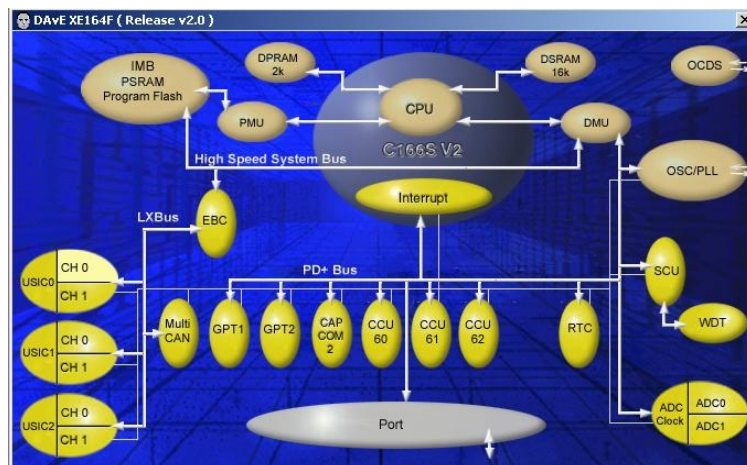


Fig. 155 configurazione di U0C0 eUSIC

la seguente finestra si apre (si noti quanti TAB ci sono in ogni finestra, ogni TAB è relativo a diverse proprietà):

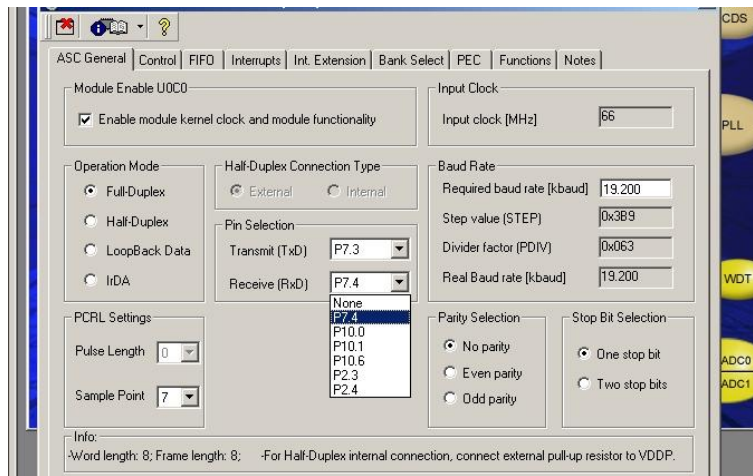


Fig. 156 configurazione parametri di U0C0 eUSIC

Innanzitutto, bisogna abilitare il canale selezionando lo spunto "Enable module..." come mostrato in figura. Poi vanno associati dei PIN al TX e al RX, nel nostro caso P7.3 e P7.4 (oppure altri pin a piacimento e a seconda dei collegamenti esterni). Tutto il resto è già selezionato correttamente (ma è possibile modificarlo a piacimento, basta poi configurare il terminale di conseguenza): 19.200 kBaud, No parity, One stop bit, Full-Duplex.

È da notare che in alto a destra il microcontrollore è settato di default per operare a 66MHz tramite uso del PLL (se si volesse modificare questo parametro si deve tornare alla finestra del Project Settings dal menù "Files").

Come anticipato, vogliamo usare l'interrupt di ricezione per rispedire il carattere ricevuto, andiamo perciò ad abilitarlo selezionando il TAB "Control" e abilitando lo spunto "Receive Interrupt".

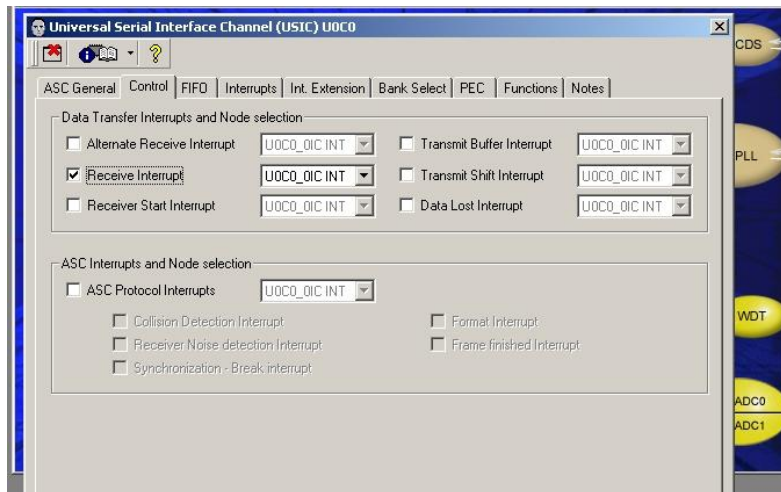


Fig. 157 abilitazione degli interrupt di U0C0 eUSIC

Ora si passa al TAB "Interrupts", che associa una priorità a tale interrupt di ricezione: i livelli bassi sono meno interrompibili di quelli alti, vista la semplicità del progetto, ne viene impostato uno a caso. Quando si selezionano i TAB, l'interrupt della seriale in ricezione si trovano sul lato destro:

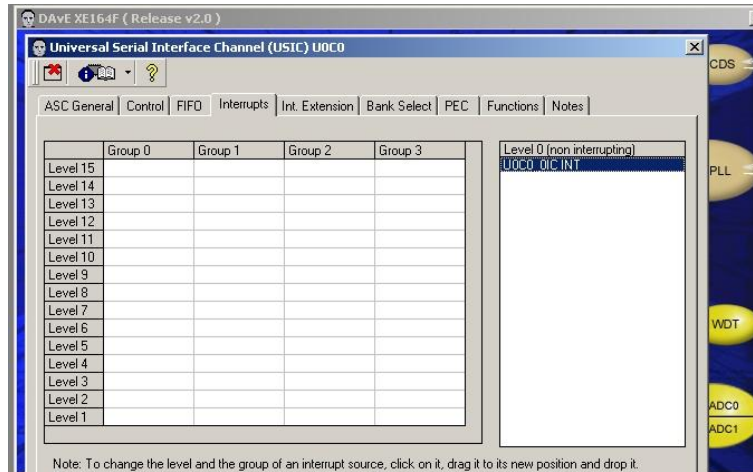


Fig. 158 assegnazione del livello di interrupt

Quando si e' deciso il livello di interrupt da assegnare ad un evento e' sufficiente prenderlo e portarlo ad un livello di interruzione desiderato tramite trascinamento.

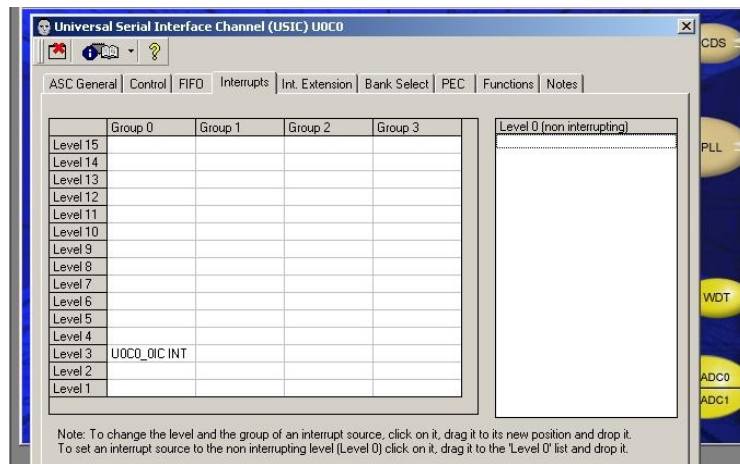


Fig. 159 configurazione di U0C0 eUSIC

Adesso manca solo di selezionare le funzioni che ci serviranno per scrivere la nostra applicazione: DAVe non inserisce tutte le funzioni per default, ma solo quelleneccessarie. In questo caso l'unica funzione veramente necessaria è la Interrupt Service Routine (ISR):

"U0C0_ASC_vi0IC"

E' preferibile sempre selezionare anche le funzioni di inizializzazione "U0C0_ASC_vInit", poi si dovranno selezionare le macro per la trasmissione "U0C0_ASC_vSendData" ed anche la "U0C0_ASC_ubTxDataReady" (costituisce un piccolo trucco per poter usare la printf in Keil):

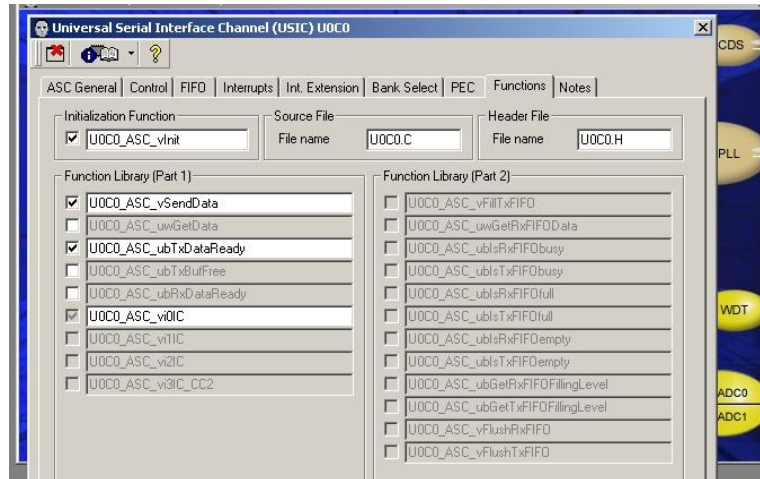


Fig. 160 funzioni e routine di servizio abbinate a U0C0 eUSIC

Chiudiamo ora la finestra "U0C0" e salviamo il progetto: Ora viene generato il codice sorgente tramite il tasto con il fulmine.



Fig. 161 generazione del codice sorgente in C

Durante il lavoro del calcolatore compare il nostro Ingegnere personale, DAVe che si fa carico della generazione del codice sorgente C che implementerà quanto richiesto con i passaggi precedenti.



Fig. 162 generatore di codice sorgente in C in esecuzione

al termine della generazione, un breve file di report compare e nel TAB "Code" si può consultare il codice generato.

Questo e' il risultato:

Generated Files:

- MAIN.H
- MAIN.C
- SCS.H
- SCS.C
- XE16XREGS.H
- U0C0.H
- U0C0.C
- USIC0.H
- USIC0.C
- ASC.ASM

Ora possiamo chiudere DAVe e controllare cosa ha generato, questo è quello che dovremmo trovare nel direttorio dove avevamo salvato il progetto "ASC.dav":

Nome	Dimensione	Tipo
ASC.asm	474 KB	File ASM
ASC.dav	438 KB	File DAV
ASC.dpt	379 KB	DAvE Project Data
ASC.rtf	17 KB	File RTF
MAIN.C	11 KB	File C
MAIN.H	4 KB	File H
SCS.C	37 KB	File C
SCS.H	13 KB	File H
U0C0.C	14 KB	File C
U0C0.H	3 KB	File H
USIC0.C	6 KB	File C
USIC0.H	3 KB	File H
XE16xREGS.H	468 KB	File H

Fig. 163 file componenti del sorgente in C autogenerato

Visto che avevamo configurato il progetto per essere compilato con Keil, possiamo aprire il progetto semplicemente cliccando sul file "ASC.dpt": questo file contiene tutto quanto necessario per delegare il compilatore a compilare correttamente. Una volta che Keil si è attivato, i files del progetto sono visibili nel TAB relativo:

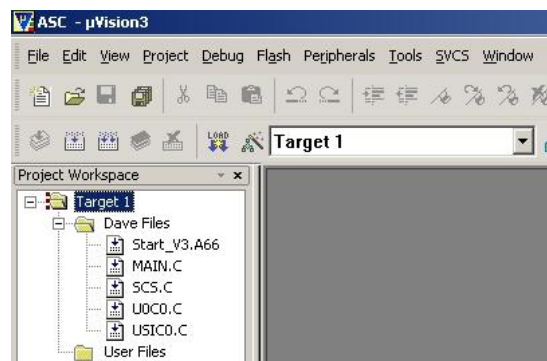


Fig. 164 struttura classica di un progetto

Con doppio click apriamo il file "U0C0.c" e cerchiamo la funzione di servizio all'interrupt in ricezione "void U0C0_ASC_vi0IC(void) interrupt U0C0_0INT", nel blocco delimitato da

```
// USER CODE BEGIN (ASC0IC,4)
// USER CODE END
```

aggiungiamo l'unica istruzione necessaria per rimandare il carattere ricevuto al mittente. Viene perciò scritta la riga che vediamo nell'immagine:

```
// USER CODE BEGIN (ASC0IC,4)
U0C0_ASC_vSendData (U0C0_RBUF);
// USER CODE END
```

Ora il programma per la comunicazione tra il sistema telemetrico infineon e il computer di bordo secondario realizzato con il PIC16F877A è pronto per essere compilato e provato.

Nota: la linea di codice aggiunta serve per rispedire al mittente il carattere ricevuto: ogni volta la RS232 riceve un carattere, l'Interrupt di ricezione scatta e, grazie a questa linea di codice, viene rimandato al mittente.

Questo è quello che dovremmo ottenere:

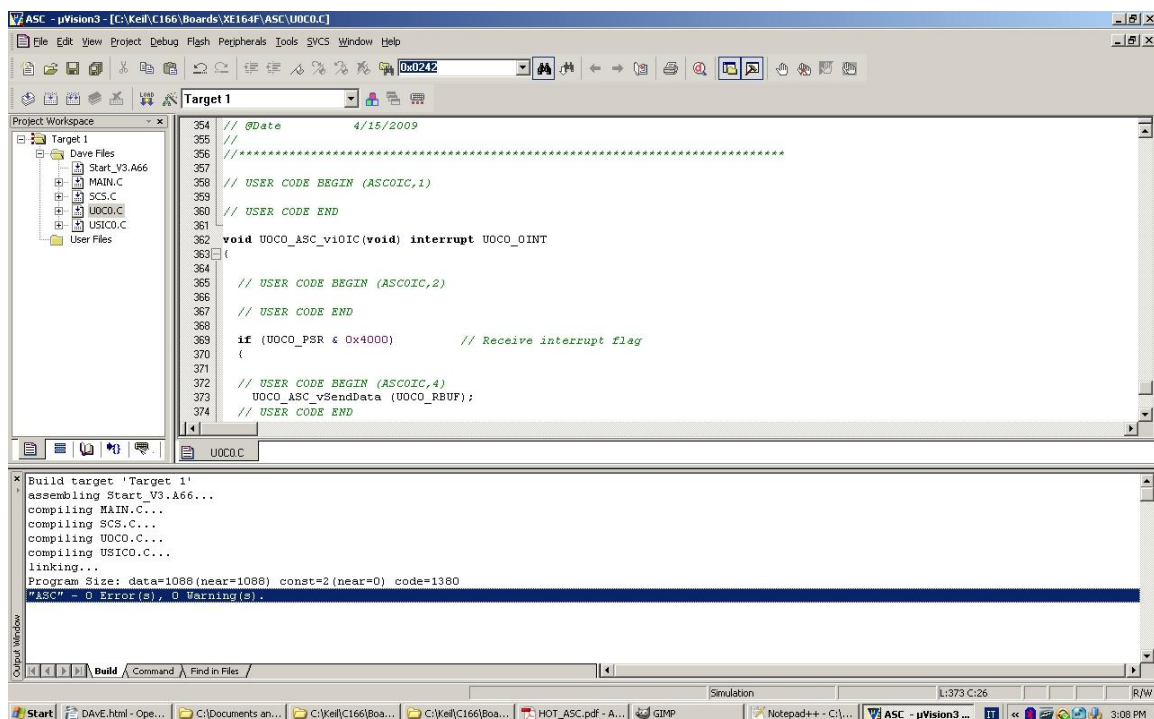


Fig. 165 Editor del compilatore in cui compare il sorgente C autogenerato

Tutto quanto esposto e' stato ottenuto scrivendo una sola riga di codice che e' stato compilato senza problemi.

• 10.3 Realizzazione pratica del sistema telemetrico

Per costruire questo misuratore di distanza ad ultrasuoni sono state impiegate un paio di capsule ad ultrasuoni di tipo automobilistico. Quelle impiegate nel sistema telemetrico del robot Optichair sono state trovate in un mercatino di elettronica per pochi euro:



Fig. 166 capsule ad ultrasuoni TX e RX

Ricordiamo alcune nozioni del corso di Fondamenti di fisica.

Per misurare una distanza utilizzando gli ultrasuoni bisogna misurare il tempo che l'onda sonora impiega a raggiungere l'ostacolo e a tornare al ricevitore. Per questo motivo abbiamo bisogno di 2 capsule: un trasmettitore (TX) e un ricevitore (RX). Sapendo che la velocità del suono in aria è di circa 330 m/s (metri al secondo), una volta che si è misurato il ritardo di trasmissione è possibile calcolare la distanza dall'ostacolo semplicemente applicando la seguente formula:

$$d = 330 \times T / 2$$

dove T indica il ritardo di trasmissione misurato in secondi. La distanza va divisa per 2 visto che a noi interessa la sola distanza all'ostacolo, cioè dobbiamo considerare solo il tempo dell'onda per tornare e non tutto il tempo che impiega l'onda sonora dal trasmettitore all'ostacolo e dall'ostacolo fino al ricevitore. Per questo motivo dobbiamo assicurarci che le due capsule sono situate alla medesima distanza dall'ostacolo (infatti conviene montarle parallele su un supporto di polistirolo compatto, come visibile nelle foto).

Primi esperimenti con le Capsule

Per iniziare, si può fare qualche semplice esperimento con le capsule ad ultrasuoni nel proprio laboratorio: basta connettere la capsula TX ad un generatore di segnale impostato per produrre una onda quadra di frequenza 40kHz di ampiezza pari a circa 15V, meglio generare un treno di impulsi (diciamo 10 o 15 impulsi) per non generare onde che potrebbero sovrapporsi al segnale ricevuto. La capsula RX non necessita di polarizzazione, per cui è sufficiente connetterla ad un oscilloscopio. Ponendo un ostacolo fisso (e riflettente, come ad esempio un libro) ad circa 10 cm e stato osservato quanto nell'immagine sottostante:

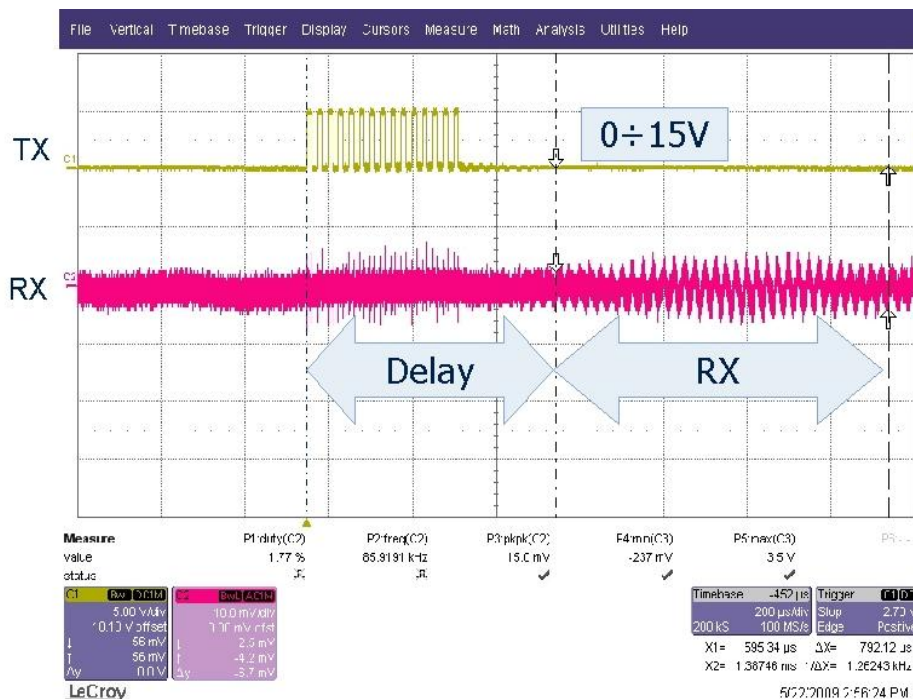


Fig. 167 misurazione oscilloscopiche tempi di ritardo capsule ad ultrasuoni TX e RX

Il segnale TX (traccia gialla) mostra il segnale a 15V inviato alla capsula TX (e generato da un generatore di funzioni), tale segnale è un treno di impulsi pari a 15 impulsi.

Il segnale RX (traccia viola) mostra il segnale ricevuto dalla capsula RX (senza amplificazione, nè polarizzazione), come si vede a causa del rumore e della minima ampiezza del segnale ricevuto (solo 10mVpp) non è facile capire determinare quando il segnale è veramente ricevuto (giocando con l'oscilloscopio si possono comunque ottenere immagini migliori di questa).

Dopo il tempo Delay (delimitato dai marcatori verticali dell'oscilloscopio) pari a 792.12usec, il primo impulso del pacchetto (il primo dei 15 impulsi mandati da TX) viene ricevuto da RX. Tale ritardo corrisponde a circa:

$$d = 330 \times T / 2 = 330 \times 792E-6 / 2 = 0.13m = 13 \text{ cm.}$$

per facilitare l'identificazione dell'onda ricevuta da RX, si può spostare in avanti e all'indietro l'ostacolo così da rendere visibile lo shift dell'onda in ricezione.

Analogamente molte altre misure sono state effettuate a titolo di verifica sperimentale della formula teorica posizionando l'ostacolo a distanze prestabilite (vedi colonna "dist reale [cm]"), calcolando poi la "distanza misurata" mediante l'applicazione della formula (vedi colonna "dist teo [cm]"):

Tab 13 tabella comparativa dei valori teorici e calcolati

delta t ms	dist teo [cm]	dist reale [cm]	velocità m/s	ERRORE [cm]
0.69329	11.43929	10	288.48	1.44
0.80487	13.28036	12	298.18	1.28
1.26520	20.87580	20	316.16	0.88
1.85090	30.53985	30	324.17	0.54
2.42848	40.06992	40	329.42	0.07
3.00780	49.62870	50	332.47	-0.37
3.59490	59.31585	59	328.24	0.32
4.23364	69.85506	70	330.68	-0.14

Le stesse misure sono poi state riportate nel grafico sottostante:

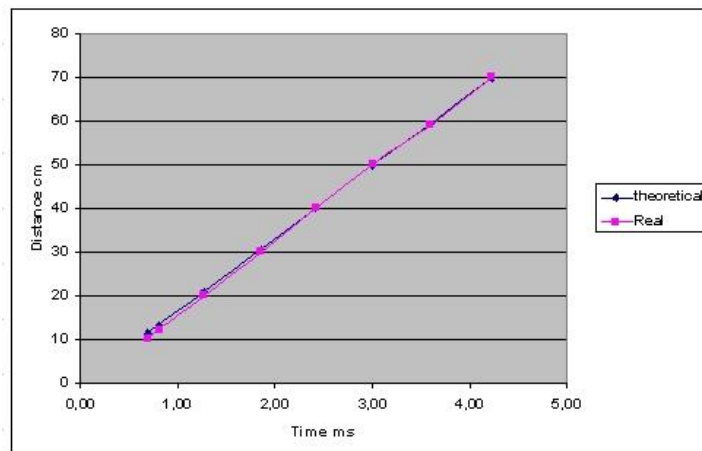


Fig. 168 grafico delle distanze rilevate dalle capsule ad ultrasuoni.

Come si vede, l'errore di misura si attesta anche al 14% per distanze molto piccole, mentre si attesta a < 0.5 % per distanze superiori ai 30 cm. Va notato che con tali capsule, la distanza massima misurabile è di circa 70 cm con capsula TX alimentata a 15V.

Architettura

La realizzazione del misuratore impone l'implementazione dei seguenti blocchi funzionali:

1. trasmettitore di pacchetti d'onda (TX)
2. ricevitore (RX)
3. misuratore di ritardo (MICROCONTROLLORE)
4. display per visualizzare la distanza misurata.

La cui funzionalità sono descritte nel seguente schema a blocchi:

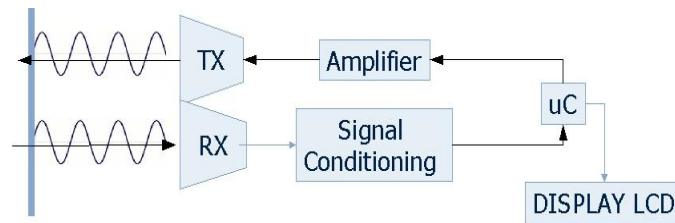


Fig. 169 schema a blocchi del sistema telemetrico primario a ultrasuoni

Il microcontrollore di tanto in tanto dovrà generare pacchetti di impulsi (10 o 15 impulsi) a 40KHz e mediante l'amplificatore (un semplice transistor) pilotare la capsula TX con impulsi di almeno 15V di ampiezza. Il segnale ad ultrasuoni verrà riflesso dall'ostacolo (indicato con la barretta verticale azzurra a sinistra) e rilevato dalla capsula RX, il circuito di ricezione (realizzato con amplificatori operazionali) serve a condizionare il segnale e a ripulirlo da eventuali rumori, nonché ad adattarlo di livello per il Microcontrollore (uC). Il uC misura il tempo impegnato dal segnale ultrasonico, calcola la distanza dell'ostacolo e la media prima di visualizzare tutte le informazioni su un display LCD a caratteri alfanumerici.

I seguenti componenti sono necessari alla realizzazione hardware:

- 1x Microcontroller (Infineon XE164, PIC o altro)
- 1x Display a caratteri (con HD44780 controller)
- 1x Regolatore di tensione tipo 7805
- 1x Transistor tipo BC547
- 2x Capsule a Ultrasuoni a 40kHz
- 3x Amplificatori Operazionali tipo TL082
- alcuni resistori e capacitori.

Segue lo schema elettrico del trasmettitore di Impulsi

Come già descritto, il circuito TX è un semplice circuito che permette al microcontrollore di pilotare la capsula TX a tensioni superiori alle tensioni operative tipiche del microcontrollore (+5V). Tale circuito, assieme al regolatore di tensione necessario alla funzionalità del Microcontrollore è nella prossima immagine:

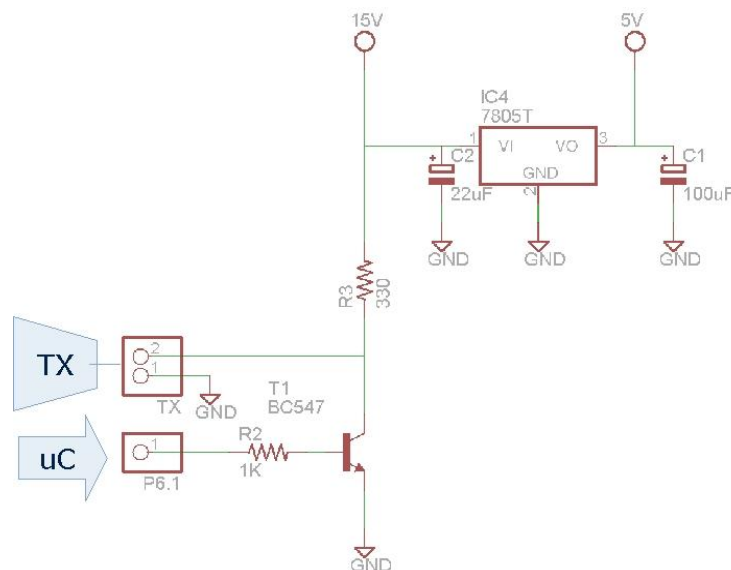


Fig. 170 schema elettrico alimentazione capsula ad ultrasuoni TX

Come si vede partendo da una tensione DC di ingresso pari a +15V si procede a ridurla a +5V mediante l'uso di un 7805 per alimentare il microcontrollore. Tale Microcontrollore andrà a pilotare la capsula TX mediante il transistor T1 (BC547) connesso in configurazione di emettitore comune (o emitter follower) capace di replicare gli impulsi presenti sul piedino P6.1. Il valore della resistenza R2 va calcolato con:

$$R2 = (VP6.1 - Vbe) / 4mA = (5 - 0.66) / 4E-3 = 1112 \text{ Ohm (scegliamo quindi 1kOhm)}.$$

Ovviamente tale configurazione di T1 è invertente (nel senso che quando il Microcontrollore pilota alto il pin P6.1 la capsula TX non trasmette, mentre quando il Microcontrollore pilota basso il pin P6.1 la capsula TX viene alimentata a 15V e quindi trasmette), come visibile dalle tracce ottenute con l'oscilloscopio:

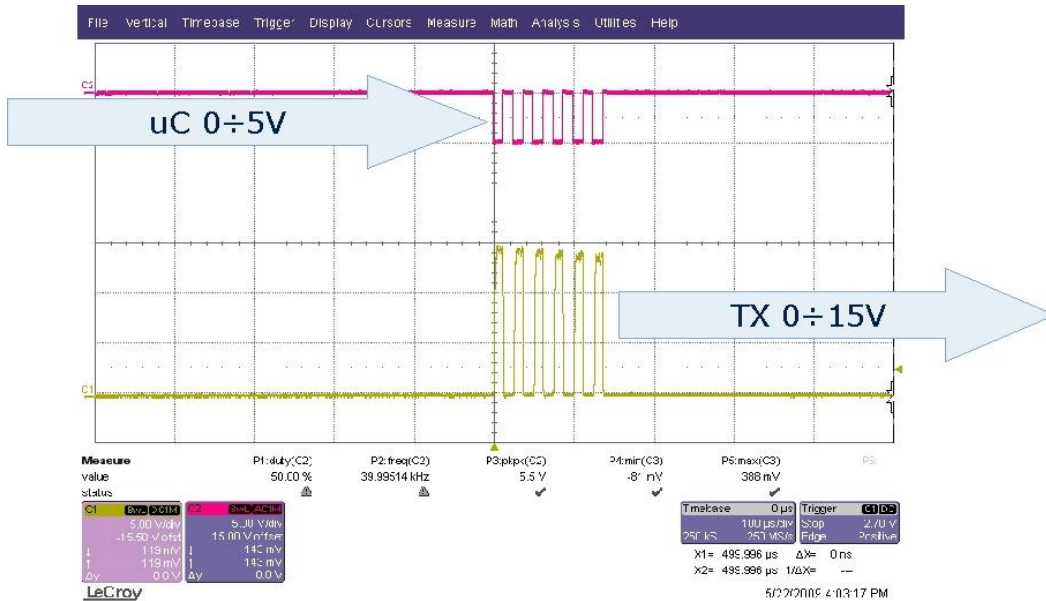


Fig. 171 comparazione oscilloscopia segnali al piedino del processore e al collettore del BJT

Come si vede il segnale presente sul pin P6.1 del microcontrollore (Microcontrollore, segnale a 5V, colore viola nell'oscillogramma) viene tenuto normalmente alto per mantenere spenta la capsula TX. Quando tale segnale viene portato basso, il segnale ai capi della capsula TX raggiunge i +15V. Si vede anche che a causa della resistenza R3 e delle capacità parassite della capsula stessa, la tensione di pilotaggio della capsula diminuisce via via ad ogni impulso: il valore di R3 è stato scelto sperimentalmente trovando il giusto compromesso tra potenza dissipata e fronti ripidi, 330 Ohm sono sufficienti.

Schema elettrico del ricevitore di Impulsi

Il circuito ricevente è alquanto complesso perché il segnale ricevuto è debole e sporcato da rumori elettrici. Il circuito è visibile nella foto:

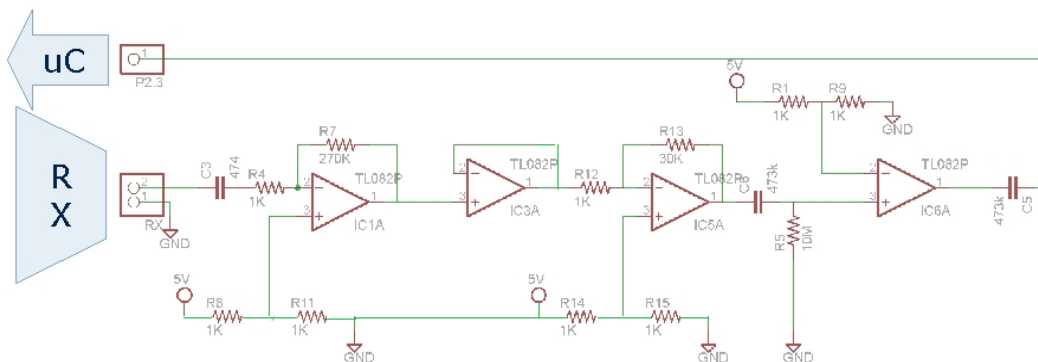


Fig. 172 schema elettrico del ricevitore a ultrasuoni

Durante la fase sperimentale Il valore di R7 è stato portato a 10k Ohm a partire dai 270 k Ohm mostrati nello schema elettrico.

Il circuito presenta 4 stadi: 2 di amplificazione, 1 inseguitore e 1 comparatore.

Lo stadio IC1A è un filtro passa alto (grazie all'azione di C3) ed un amplificatore con offset con guadagno pari a 10 (la figura riporta un valore errato di R7), infatti:

$$A_{IC1A} = R7 / R4 = 10k / 1k = 10$$

[Questo permette di amplificare il segnale RX da circa 10mVpp a 100mVpp].

Lo stadio IC3A è un semplice inseguitore, a guadagno unitario, che a parte l'uso del blocco buffer interno dell'amplificatore operazionale risulta trasparente ai segnali, serve infatti per isolare i vari stadi di amplificazione.

Lo stadio IC5A è un ulteriore stadio amplificante con offset (l'offset è necessario visto che gli amplificatori operazionali sono alimentati tra +5V e massa), il guadagno è stato stabilito per via sperimentale e vale:

$$A_{IC5A} = R13 / R12 = 30k / 1k = 30.$$

In uscita a tale amplificatore si è poi inserito un filtro passivo passa-alto (tipo R-C) con frequenza di taglio pari a:

$$f_{RC} = 1 / 2 \pi R5 C6 = 330 \text{ Hz.}$$

L'ultimo stadio (IC6A) è un comparatore inserito per avere in uscita un segnale compatibile con l'ingresso del microcontrollore (0 .. +5V).

Il condensatore C5 riporta il segnale a valor medio nullo.

Il segnale RX é elaborato dai vari stadi nel seguente modo (ottenuto con R7 = 10kOhm):

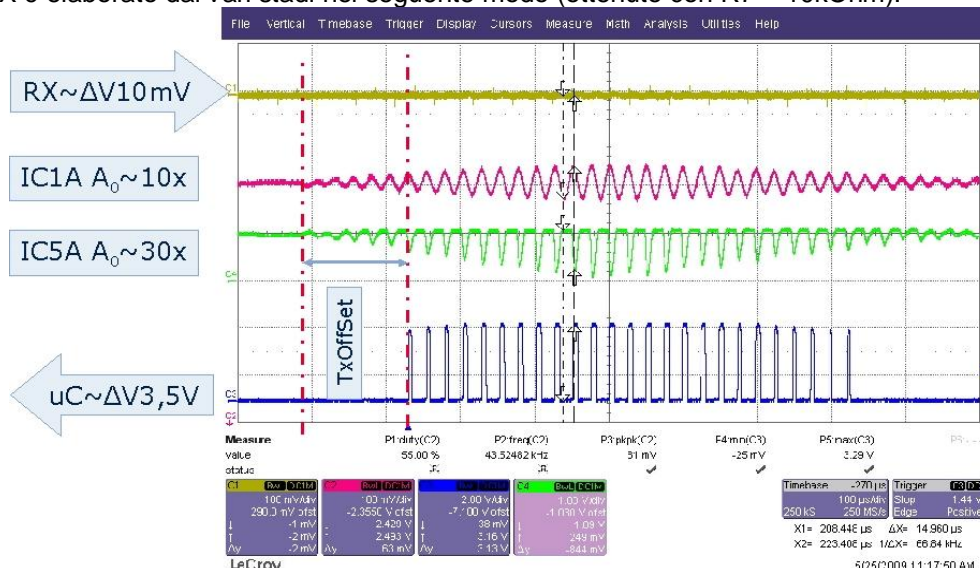


Fig. 173 elaborazione del segnale ultrasonico di rimbalzo

L'azione combinata dei vari stadi di amplificazione porta il segnale di ingresso (circa 10 mVpp) a circa 3 Vpp mediante un fattore amplificante pari a $10 \times 30 = 300$.

Come si vede l'inserimento degli stadi filtranti hanno introdotto un ritardo sulla propagazione del segnale

pari a circa 150usec (TxOffset), tale ritardo dovrà essere compensato nel calcolo della distanza effettuato dal microcontrollore.

Aspetto del prototipo, hardware finale del sistema telemetrico infineon:

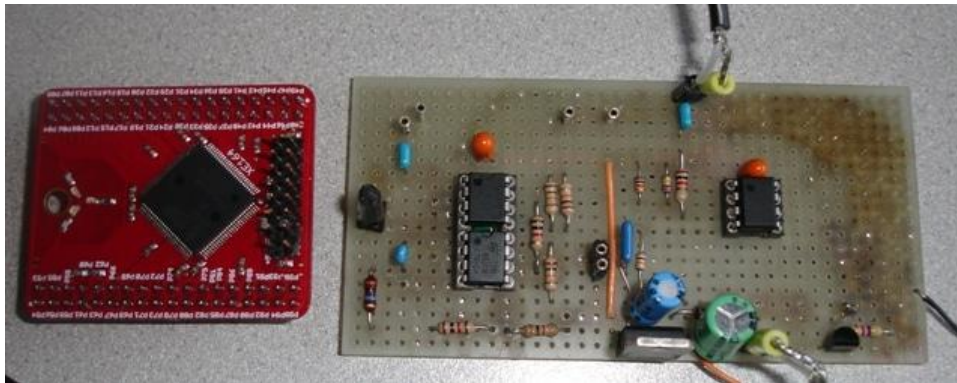


Fig 174 A sinistra il XE164 e a destra il circuito di interfaccia alle capsule ad ultrasuoni

Software

una volta realizzato l'hardware è possibile procedere alla scrittura del software. Prima di tutto bisogna predisporre un generatore di impulsi a 40KHz per la ca.

Generatore di treno impulsi a 40kHz:

Tale generatore è facilmente realizzabile mediante l'utilizzo di uno dei tanti timer disponibili. Utilizziamo T3 in countdown con precarica fornito dal timer T2:

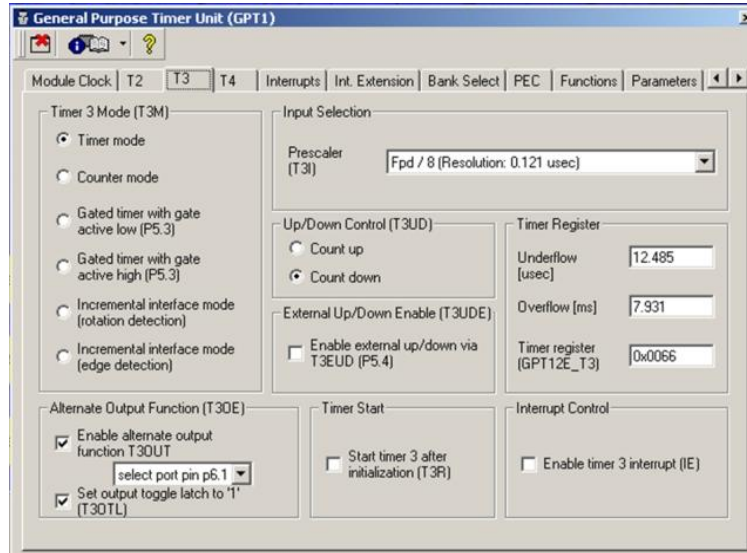


Fig 175 programmazione visuale del generatore di impulsi (latch alto o duty cycle)

come si vede il timer T2 genererà le tempistiche di un semiperiodo pari a 12.5uSec (40kHz = 25uSec). Ad ogni raggiungimento della condizione di underflow (T3OE) il pin P6.1 verrà commutato per cui il segnale verrà generato senza la necessità di spendere alcuna istruzione della CPU.

Analogamente ad ogni underflow, la base di conteggio del timer T3 dovrà essere ricaricata: questo può essere eseguito in maniera automatica dal timer T2:

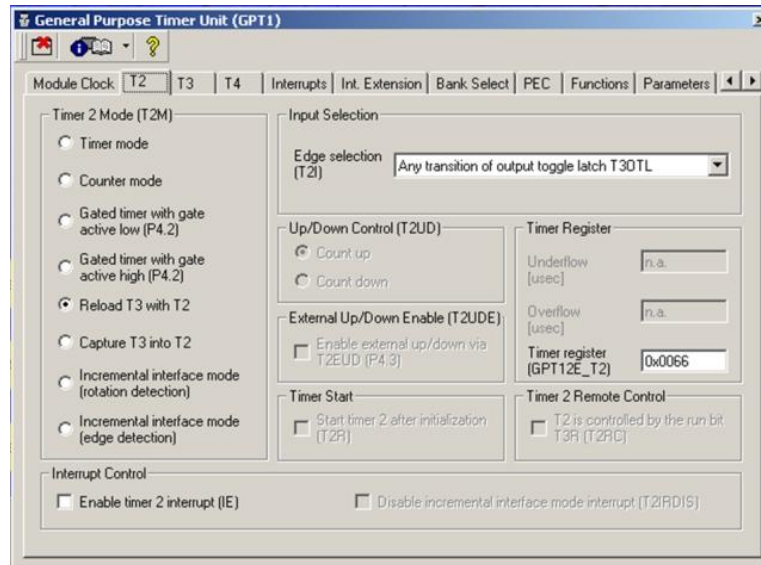


Fig 176 A generatore di impulsi (latch basso)

Il valore 0x66 memorizzato in GPT12E_T2 è il valore usato per il reload del timer T3 e corrisponde a 12.5uSec, infatti $0x66 * 121.212ns = 12.5 \text{ us}$

Le porte del microcontrollore utilizzate per i vari scopi sono:

P0.0 ÷ P0.7	Display data ports
P1.4, P1.5, P1.7	Display control ports
P7.2	Monitor signal (usato per debug)
P2.1	Monitor signal (usato per debug)
P2.3	RX input
P6.1	40KHz output

Il sistema visualizza le misurazione telemetriche su un display LCD basato sullo standard imposto dal noto controllore HD44780. Si tratta di una visualizzazione su due righe e 16 caratteri. Il sistema si interfaccia al microcontrollore tramite un bus dati a 8 bit, ovvero i pin connessi al data port da P0.0 a P0.7, e su tre linee di controllo, request to send (RS), lettura e scrittura R/W, e abilitazione E (enable) collegate al port successivo, ovvero ai pin P1.4, P1.5, P1.6, come si vede facilmente nello schema elettrico successivo

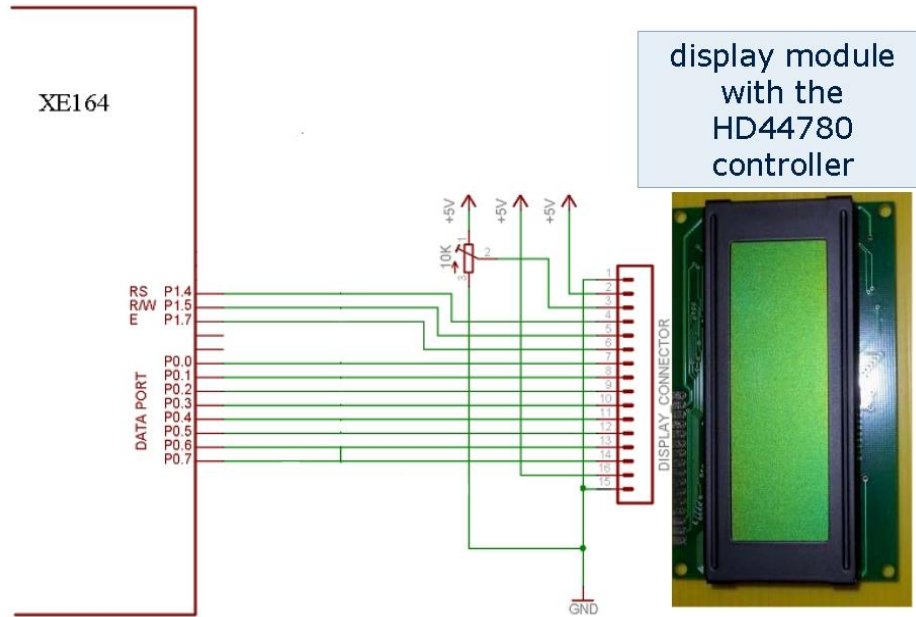


Fig 177 interfacciamento del sistema telemetrico al display LCD

Misurare il ritardo Tx -> Rx

La parte più complessa dello sviluppo del sistema telemetrico consiste nel realizzare un misuratore preciso del tempo di volo dell'eco, ovvero il tempo impiegato dal segnale generato dalla capsula ultrasonica TX a ritornare dopo aver rimbalzato su un ostacolo capsula RX.

Inizialmente si era pensato di usare un normale interrupt, ma questo non può garantire la necessaria precisione. A tale scopo si è perciò utilizzato il modulo CAPCOM2 (CC2).

Il modulo CAPCOM (Capture and Compare) è un modulo molto molto potente ed utilizzabile per misurare impulsi, ritardi oppure generare segnali PWM, segnali 3-fase per controllo motori BrushLess o altro. Va ricordato che mediante l'uso della sola unità CAPCOM2 è possibile pilotare fino a 16 Servomotori analogici senza sovraccaricare la CPU.

Il manuale del XE164 presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

- The Capture/compare (CAPCOM) unit is made up of a Timer with capture/compare channels
- A CAPCOM unit is typically used to handle high speed IO tasks such as pulse and waveform generation, pulse width modulation, or recording of the time when a specific event occurs.
- Timer is used to measure the delay
- When the trigger signal arrive at capture channel timer is stopped then capture value can be read
- If nothing signal arrive before the timer contains the value FFFFH at the time a new count trigger occurs, a timer interrupt request is generated, and the timer is reload.
- The timer resumes incrementing with the next count trigger starting from the reloaded value.

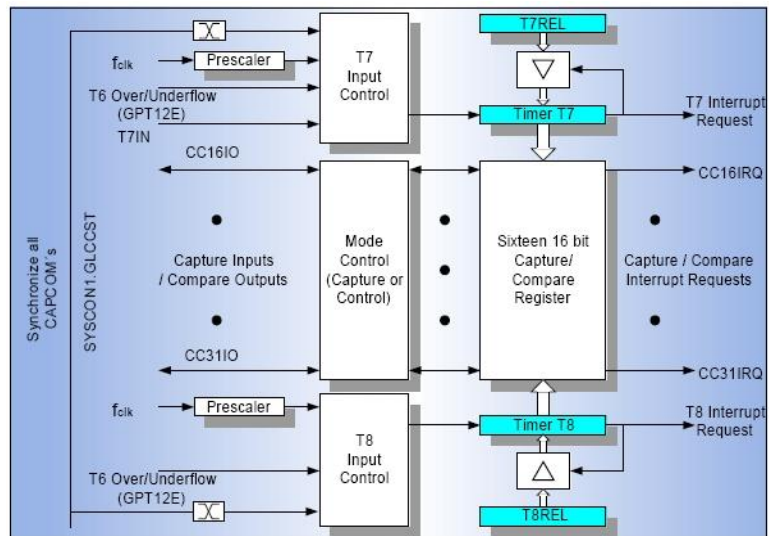


Fig 178 diagramma a blocchi del CAPCOM2

Il sistema telemetrico è progettato per usare la modalità CAPTURE: cioè l'impulso presente su un piedino esterno verrà usato dal trigger per il campionamento del contatore associato (T7 o T8) come visibile dallo schema dettagliato:

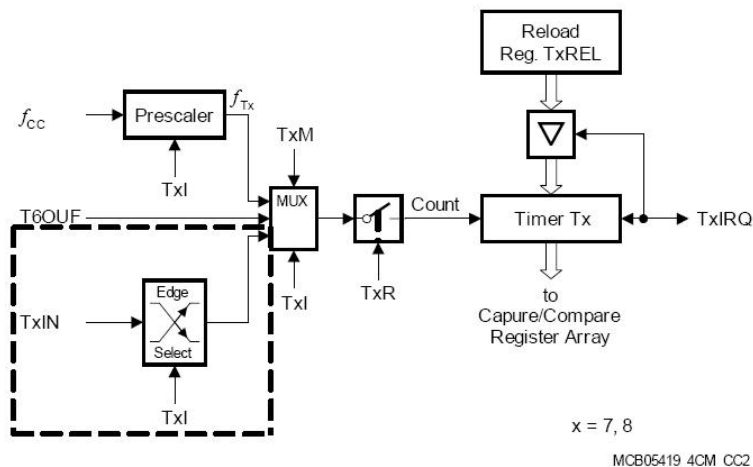


Fig 179 diagramma a blocchi del trigger usato per il CAPCOM2 associato ai timer T7 e T8

Il circuito equivalente va letto nel seguente modo:

- il segnale TxIN è l'ingresso (porta P2.3 connessa all'amplificatore in serie alla capsula RX)
- mediante il segnale TxI si seleziona se il segnale di ingresso dovrà agire sul fronte di salita o di discesa (nel telemetrico di optichair II è stato utilizzato nel fronte sul fronte di salita)
- in segnale TxIN agirà da CAPTURE del timer T7 o T8 (noi utilizzeremo T7) solo se TxR (RUN bit) è abilitato
- a seguito dell'operazione CAPTURE l'interrupt associato TxIRQ verrà generato

Viene configurato il CAPCOM2 tramite DAVE in modo da poter misurare con precisione il ritardo tra il momento in cui è inviato il treno di impulsi su TX a quando vengono ricevuti e amplificati appropriatamente da Rx.

Gli step per configurare correttamente CC2 sono:

1. Abilitare il modulo CC2
2. Disabilitare la modalità Stagged (risoluzione 1 tempo di clock: 1/66MHz)
3. T7 timer mode
4. Abilitare l'interrupt T7 IRQ usato come watch-dog quando l'impulso RX non viene rilevato entro il tempo massimo (circa 7.94msec)
5. Configurare il canale 16 (CC16) per poter lavorare con il pin P2.3 sulla transizione positiva
6. connettere CC16 al timer T7
7. Abilitare capture
8. Allocare la priorità degli interrupts

Vediamoli uno per uno mediante le schermate catturate durante la programmazione con DAVE:

1. Abilitare il modulo

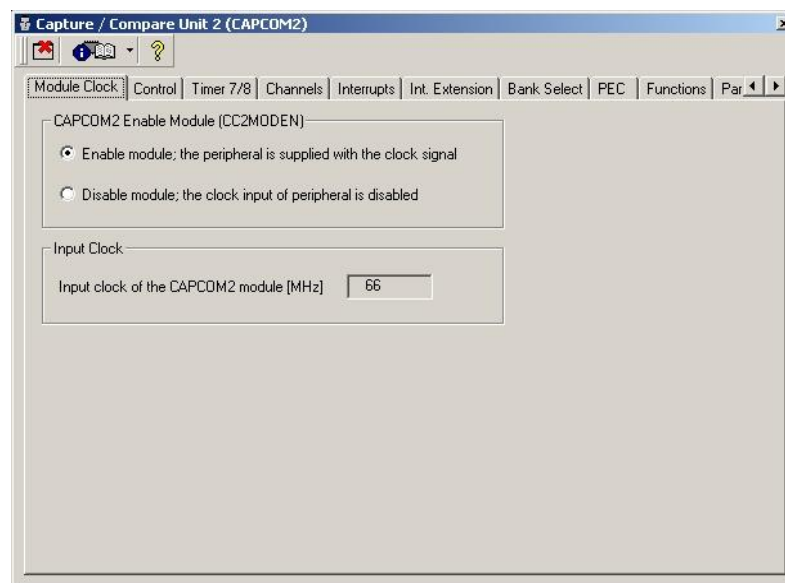


Fig 180 abilitazione del modulo capture e compare (telemetria primaria)

2. Disabilitare la modalità Stagged (risoluzione 1 tempo di clock: 1/66MHz)

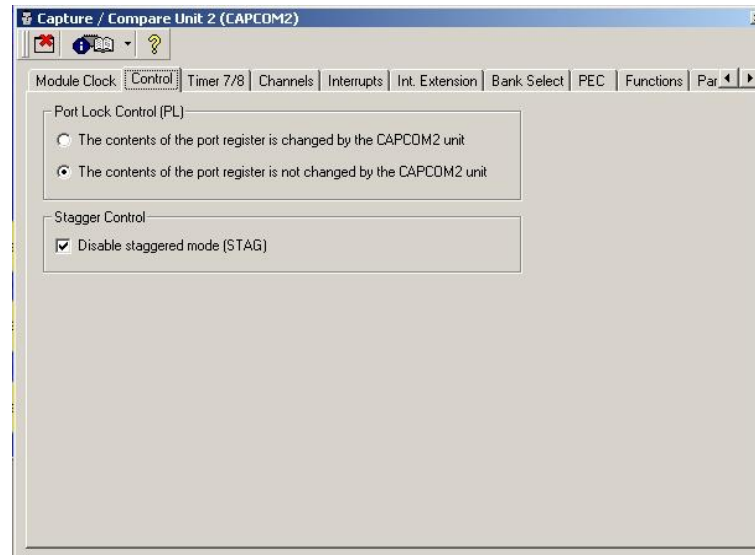


Fig 181 impostazione della risoluzione del tempo di cattura e comparazione telemetria primaria

3. T7 timer mode
4. Abilitare l'interrupt T7 IRQ usato come watch-dog quando l'impulso RX non viene rilevato entro il tempo massimo (circa 7.94msec)

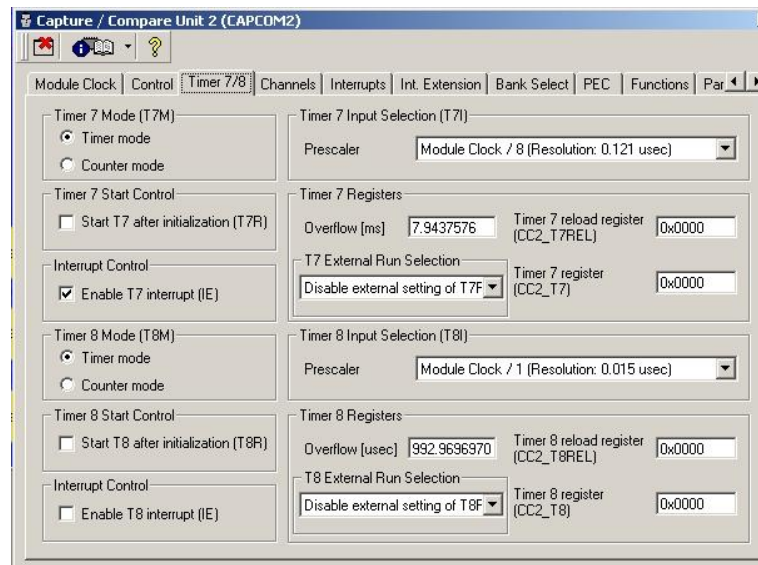


Fig 182 impostazione dei timer hardware dei moduli capture e compare telemetria primaria

==> risoluzione: 121nsec !!!

==> overflow: 7.84msec (quando accade viene generato l'interrupt usato come watch-dog per identificare quando l'eco non viene ricevuto).

5. Configurare il canale 16 (CC16) per poter lavorare con il pin P2.3 sulla transizione positiva

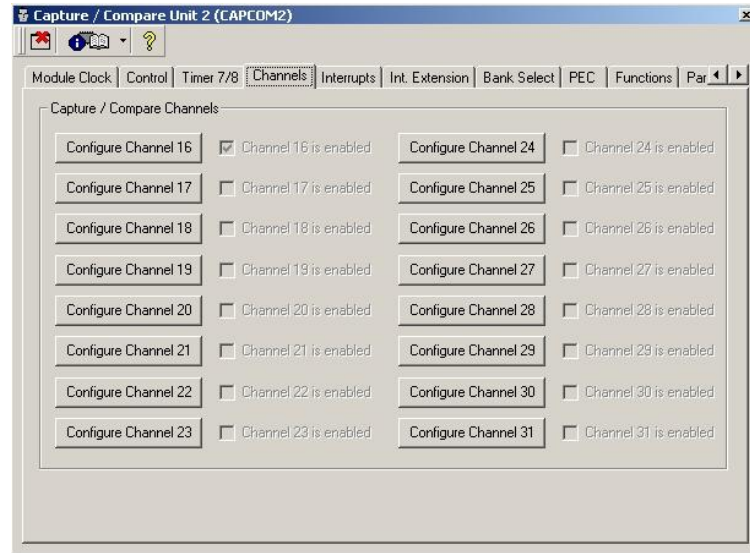


Fig 183 impostazione dei moduli capture e compare su fronte positivo

6. connettere CC16 al timer T7

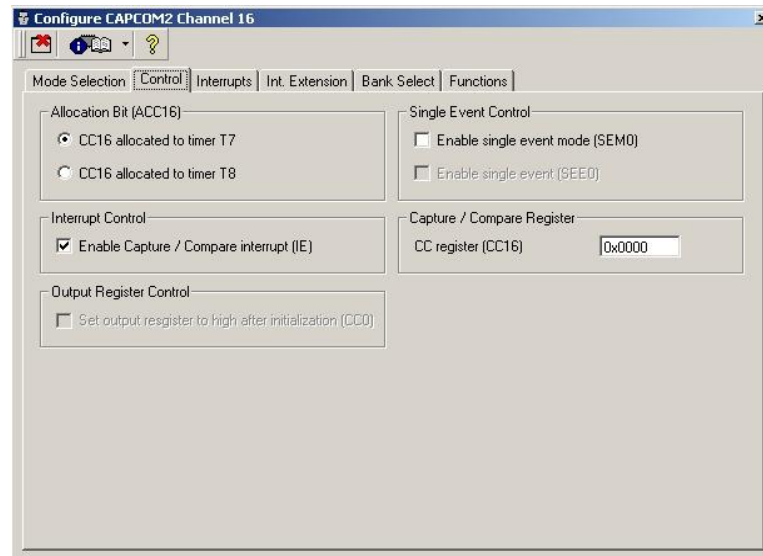


Fig 184 associazione del capture e compare 16 con il timer T7 telemetria principale

7. Abilitare capture

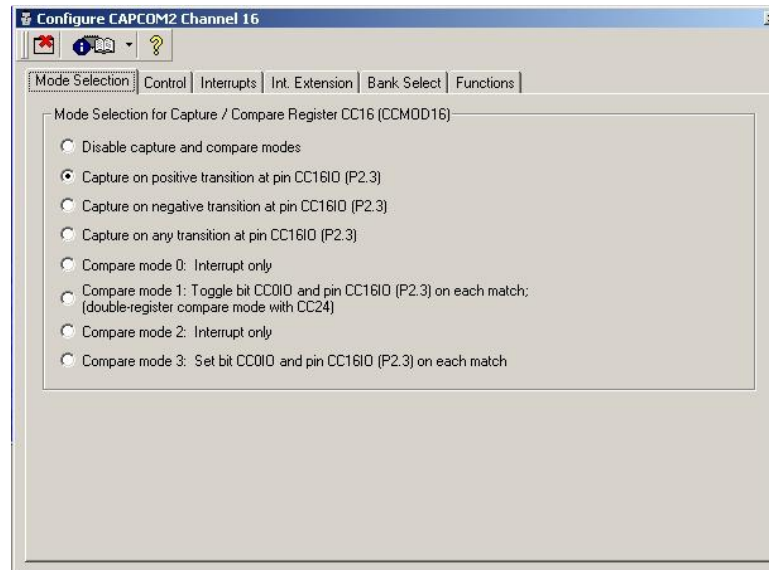


Fig 185 abilitazione su fronte positivo al pin P2.3

8. Allocare la priorità degli interrupts

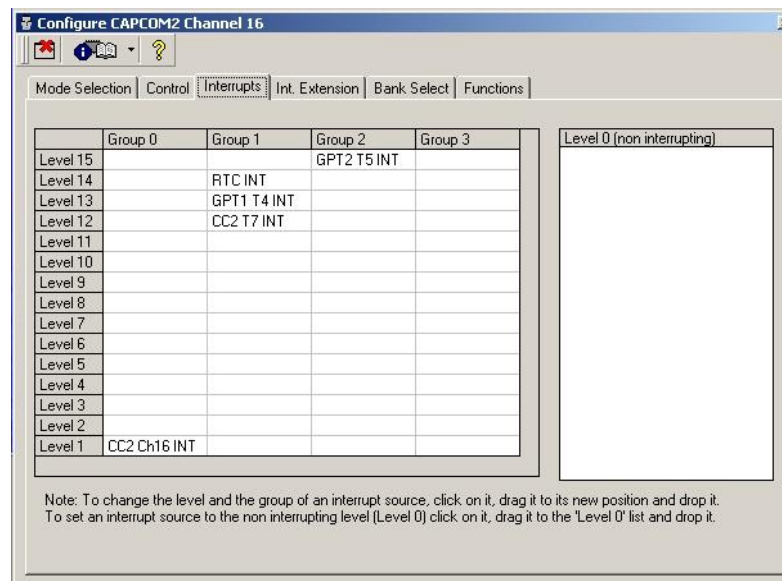


Fig 186 vettorizzazione dell'interrupt a livello 12 per il capture e compare

Grazie all'elevata precisione dell'unità CAPCOM, la precisione massima misurabile è:

$$\text{Errore min} = 121.212^{\circ}\text{ns} * 330\text{m/s} = 36 \text{ um} = 0.036\text{mm}$$

vengono ora analizzati alcuni dettagli del SoftWare che è organizzato mediante i seguenti moduli:

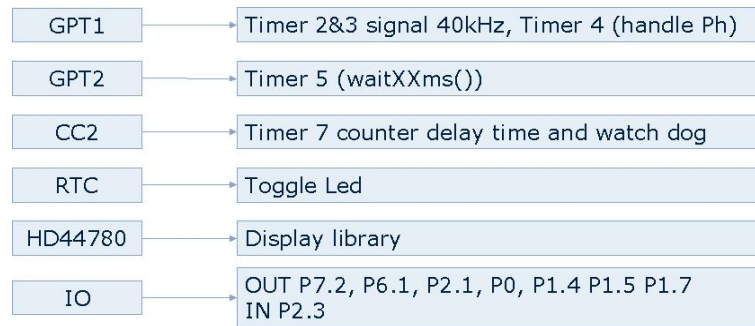


Fig 187 Associazione logica delle funzioni alle funzionalità, telemetria primaria

Il software è organizzato per eseguire un ben determinato ordine di operazioni e poter eseguire con precisione la misure di distanza, tale sequenza è:

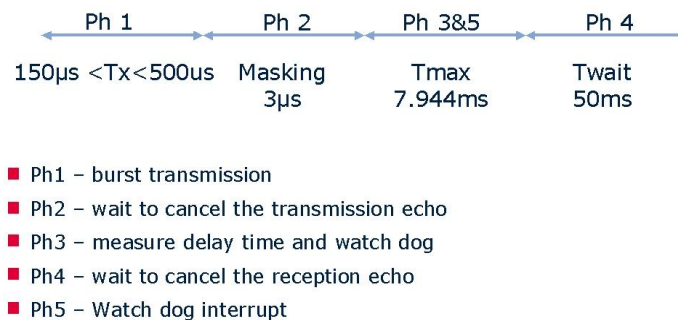


Fig 188 fasi logiche di funzionamento della telemetria primari, flusso del programma

In dettaglio:

- La fase 1 (Ph1) è usata per mandare il treno di impulsi da TX
- La fase 2 (Ph2) è un ritardo per eliminare l'echo di trasmissione (infatti la capsula RX riceve istantaneamente dei disturbi da TX a causa della disposizione fisica delle due capsule affiancate)
- La fase 3 (Ph3) è la fase in cui il CAPCOM2 (CC2) è usato per misurare il ritardo dell'echo
- La fase 4 (Ph4) è un ritardo per eliminare i lobi di ricezione (come si vede dalle misure effettuate con l'oscilloscopio, il segnale RX viene disturbato)
- La fase 6 (Ph5) è la fase che si verifica solo quando l'echo non viene ricevuto (ostacolo troppo lontano o non riflettente) entro 7.84msec (questo è il tempo che impiega il timet T7 per raggiungere l'overflow, raggiunto il quale il modulo genererà un interrupt: l'interrupt di watch-dog appunto) .

Nelle prossime immagini vengono riportate le misure oscilloscopiche delle forme d'onda così come generate e ricevute alle porte del microcontrollore quando l'echo viene ricevuto entro il tempo massimo:

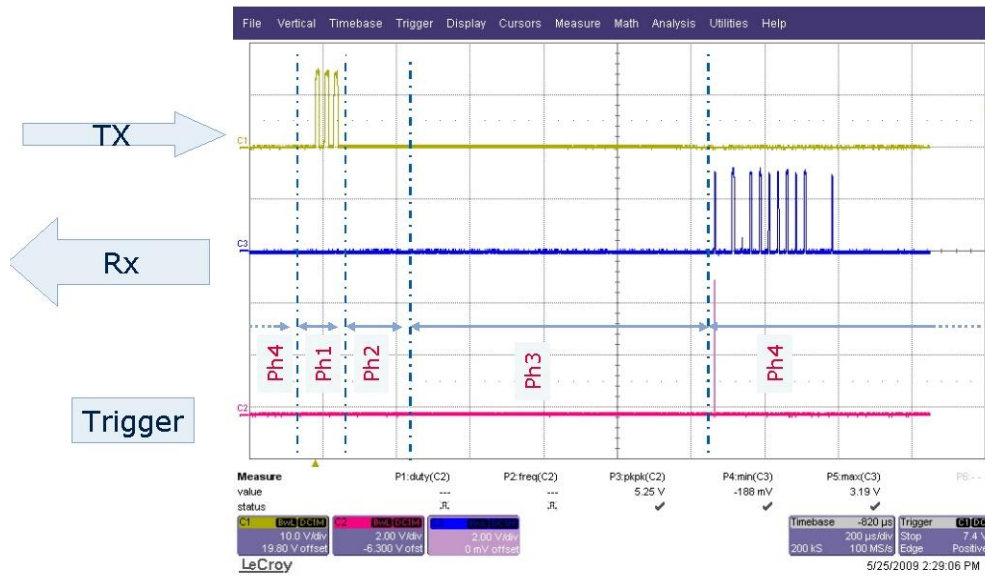


Fig 189 visualizzazione dei tempi di echo del segnale telemetrico

Ecco le forme d'onda così come generate e ricevute alle porte del microcontrollore quando l'echo NON viene ricevuto entro il tempo massimo:

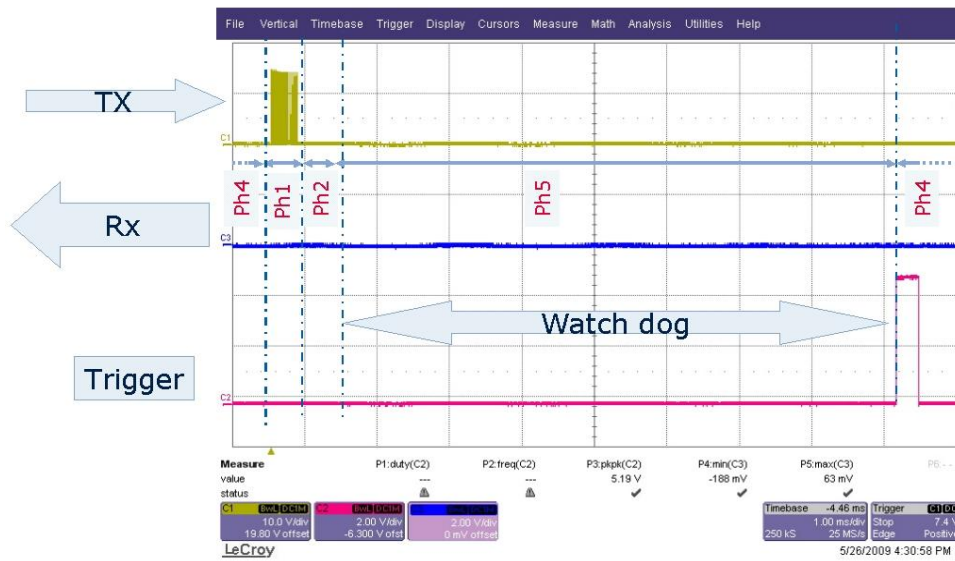


Fig 190 reazione del sistema quando l'echo non arriva entro il tempo massimo

==> come si vede non vi è alcun segnale ricevuto in RX

In maniera schematica ecco come si comporta il software:

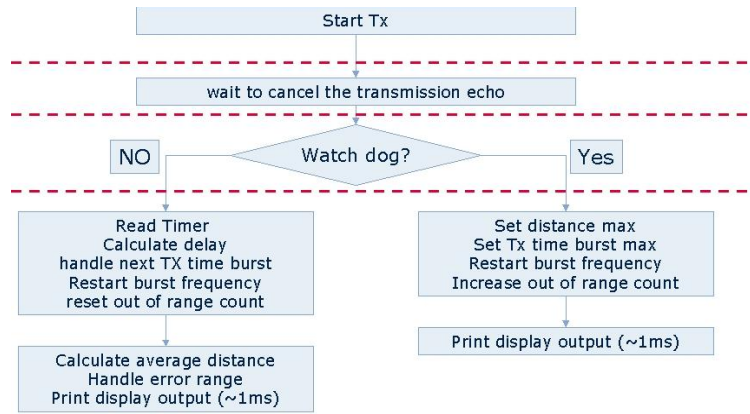


Fig xxx reazione del sistema ad un timeout di echo non ricevuto in tempo utile

seguono delle utili ottimizzazioni nel Software implementate per migliorare la qualità delle misure effettuate, esse sono:

- To minimize the echo disturb and to save energy the TX time burst is adaptive, the TX length change by the distance measure
- $TxTime = \#pulse * 25us$
- TxOffset delay response time of RX capsule
- $Distance = ((tPh2 + TxTime - TxOffset) + (tPh3/2)) * Vsound$

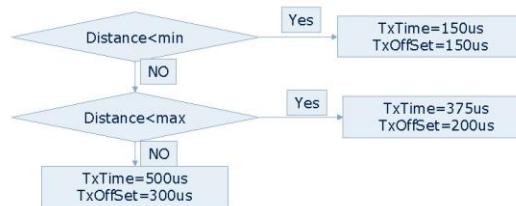


Fig 191 ottimizzazione software per una maggiore accuratezza della misura della distanza

Per non rendere instabile la visualizzazione delle misure i messaggi sul display sono visualizzati solo quando la distanza misurata differisce dalla media delle precedenti:



- String refresh only if actual state is different then previous state
- Value refresh only if actual value is more different of value range

Fig 192 visualizzazione stringa e distanza dall'ostacolo

• 10.4 Interfacciamento al computer ausiliario “PLC PIC”

Il firmware inserito dal lato PC secondario è sviluppato in ANSI C per Pic 16, con un compilatore Hittech 9.70 PL3 che si trova integrato nell’ambiente MpLab, quest’ultimo è l’ambiente originario della casa costruttrice MicroChip. Per quanto riguarda l’impostazione dell’ambiente di sviluppo e programmazione MpLab di casa Microchip si rimanda al paragrafo 5.3 della tesi

```

/*****
*      Tesi di Laurea quinquennale      *
*      10 dicembre 2010                 *
*      Optichair II                     *
*      RS232 Acquisizione seriale sensori *
*      telemetria principale            *
*      @P123 ret  spegne LED di test    *
*      @Q123 ret  riaccende LED di test *
*      attenzione:P e Q maiscoli        *
*****/

#include "pic.h"
#include "delay.h"
unsigned char C1,C2,C3,C4,RxPos,Flags;

main(void){
    TRISA = 0x00;      // tutte uscite per evitare interferenze
    TRISB = 0x00;      // tutte uscite
    TRISC = 0xf8;      // bit 6-7 Seriale
    TRISD = 0x00       // tutte uscite
    PORTA = 0x00;      // azzera le porte, ma accende il primo LED port A
    PORTB = 0x00;
    PORTC = 0x00;
    PORTD = 0x01;      // D0 si attiva alla prima scansione
    ADCON1= 0x87;      // PORTA all digital mode

    //Inizializzazione uart
    TXSTA= 0x20;       // TX abilitato
    RCSTA= 0x90;       // Registro RX USART
    BRGH = 1;          // USART High velocity
    SPBRG= 25;         // Baud Rate Generator (25=9600 baud)

    //Inizializzazione TIMER1
    T1CON = 0;         // TIMER 1 resettato
    T1CKPS1 = 0,T1CKPS0=0; // TIMER 1 prescaler = 1
    T1OSCEN = 0;       // TIMER1 external oscillator disable
    TMR1CS = 0;        // TIMER1 internal clock (fosc/4)
    TMR1ON = 0;        // TIMER1 in STOP

    //Inizializzazione interrupt
    INTCON = 0;        // Interrupt disabilitato
    PIE1 = 0;          // Interrupt di periferica disabilitati
    GIE = 1;           // Global Interrupt Enable
    PEIE = 1;          // Periferical Interrupt Enable
    RCIE = 1;          // USART Receive Interrupt Enable

void interrupt SerChar(void) //prototipo ricezione
{
    if (RCREG==0x40 | RxPos > 6) //se arriva la chiocciola dimensiona la stringa
    {
        C1=0,C2=0,C3=0,C4=0;      //azzero la stringa
        RxPos=0,Flags=0;
    }
    if (RxPos==1) C1=RCREG; //ricezione della stringa comandi
    if (RxPos==2) C2=RCREG;
    if (RxPos==3) C3=RCREG;
    if (RxPos==4) C4=RCREG;
    if ((RxPos==5)&& (RCREG==0x0d)) Flags=1; // <CR> terminatore di stringa
    RxPos++;
}

void
Par_ser(void)          // Analisi comandi
{

```

```

Flags=0;
switch (C1)
{
case 0x41: //carattere A
PORTD = 0x2; //carattere A attiva D1
break;
case 0x51: //carattere Q maiuscolo accende LED test seriale
PORTD = 0x01;
break;
case 0x50: //carattere P maiuscolo spegne LED test seriale
PORTD = 0x00;
break;
}
}

```

• 10.5 sistema telemetrico secondario

Il sistema telemetrico secondario, di derivazione automobilistica, è in realtà un prodotto commerciale riadattato alle specifiche esigenze del robot Optichair II. Si tratta di una centralina in grado di gestire 4 sensori di parcheggio, un display grafico LCD, e un buzzer per le segnalazioni acustiche. Da una analisi circuitale si nota che si può facilmente intervenire per ottenere interfacciamenti anche diversi da quelli previsti dalla manualistica associata al prodotto all'atto della vendita. Normalmente il sistema funziona solo come segnalatore acustico, quindi prevede che il paziente stia pilotando manualmente la sedia a rotelle, dato che questo non è possibile a causa della patologia dell'utente tipico di Optichair, si sfrutterà la sua predisposizione alla comunicazione EIA-RS232C per comunicare con il computer centrale nel quale un programma appositamente sviluppato interpreta la stringa proveniente dalla centralina a sua volta rilevata dai 4 sensori di parcheggio. Commercialmente il prodotto è denominato PSS1, sigla con la quale si distingue anche il modello intermedio a 4 sensori di prossimità e un display LCD da cui prende il nome. In definitiva, sul robot Optichair II, relativamente alla telemetria secondaria, sono installati:

1. 1 schermo lcd con buzzer integrato
2. 1 centralina
3. 4 sensori a ultrasuoni

Le caratteristiche elettriche di base sono le seguenti:

- Alimentazione 10 ÷ 16 V DC, quindi va collegato alla prima batteria del pacco, oppure in derivazione tra le linee gialla e nera del DC/DC converter ATX-pico dragon che alimenta la scheda madre del computer di bordo principale. Questa è una fonte di alimentazione robusta a 12Volt.
- Distanza di rilevamento & no a 2,5 m.
- Indicazione mediante buzzer incluso nella centralina e visore LCD.
- Sensori precablati con 2,5 m di cavo e completamente waterproof.
- Pressione acustica dell'allarme 70 ÷ 90 dB.

Il sensore di parcheggio MCS è composto da una centralina di gestione e da quattro sensori ad ultrasuoni accompagnati da un visore LCD per una verifica visiva della distanza dall'ostacolo.

L'installazione è semplificata data da una guida chiara e comprensibile.

Comprende unità di controllo, visore LCD con buzzer incluso, quattro sensori con relativi cablaggi e fresa per forare il paraurti.



Fig. 193 sensori piezoelettrici della telemetria secondaria (sensibili fino a 2,5metri).



Fig. 194 centralina del sistema di telemetria secondaria.

lo schermo lcd mostra la distanza dell'ostacolo e integrato ha un buzzer per avvertire con un segnale acustico. La lettura telemetrica e' disponibile all'UART interno e inviabile sia al computer principale che al computer secondario tramite la porta RS232.



Fig. 195 telemetria pss-1 con un LCD, 4 sensori e 1 unita' di controllo

PSS2 - Sensore di parcheggio con buzzer

Questi sensori hanno solo una centralina e 4 sensori con un buzzer senza schermo.

Il sensore di parcheggio MCS è composto da una centralina di gestione e quattro sensori ad ultrasuoni.

L'installazione è semplice data da una guida chiara e comprensibile.

Comprende unità di controllo, buzzer precablato, quattro sensori con relativi cablaggi e fresa per forare il paraurti.

- Alimentazione 10 ÷ 16 V DC.
- Distanza di rilevamento & no a 2,5 m.
- Indicazione mediante buzzer.
- Sensori precablati con 2,5 m di cavo e completamente waterproof.
- Pressione acustica dell'allarme settanta ÷ 90 dB.

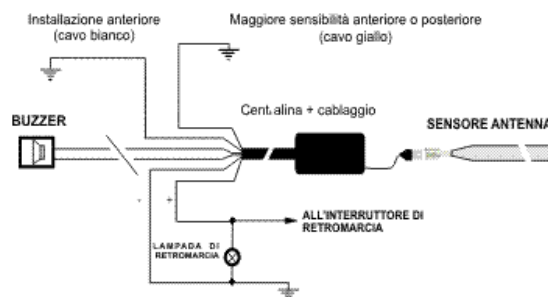


Fig. 196 schema di cablaggio e funzionalita' dei sensori telemetrici secondari

• 10.6 sistema telemetrico di riserva.

Questo sistema e' installato con raggio d'azione nei prossimi 20 centimetri rispetto alla posizione delle ruote anteriori ed ha lo scopo di rilevare eventuali buche essendo puntato verso il terreno. La funzionalita' e la fattezza e' identica alla telemetria primaria quindi non ci si dilunga oltre e si rimanda alla lettura dei paragrafi precedenti.

CAPITOLO 11 Sistema di posizionamento globale GPS

• 11.1 Descrizione del sistema GPS

Il più famoso sistema di posizionamento satellitare è il NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Time And Ranging - Global Positioning System), chiamato - per brevità - GPS.

Il sistema GPS è oggi in gran parte di utilizzo civile ritrovando così lo scopo originario della scienza che è quello di servire l'umanità e non a scopo militare. Esso è composto da tre segmenti (i documenti tecnici li chiamano così):

- I satelliti
- Il sistema di controllo a terra
- Gli utenti

Il sistema GPS è stato concepito essenzialmente per il posizionamento di veicoli e persone per scopi militari tattici.

E' naturale che questa funzione possa essere trasportata nell'uso civile, dal momento che l'uso del sistema è stato reso più agevole abolendo, dal 2 Maggio 2000, il disturbo (S.A. o Selective Availability = Disponibilità Selettiva) che rendeva volutamente inaccurato il segnale di posizionamento trasmesso in chiaro.

Il risultato è stato il proliferare di sistemi di guida veicolare automobilistica

Il GPS può anche essere utilizzato per il posizionamento e la guida di aeroplani e di barche o navi, come pure per la guida di persone in terreni sconosciuti (senza trascurare moto, biciclette, gommoni, aerei ultraleggeri ed ogni mezzo di trasporto).

Una applicazione che sta prendendo sempre più piede è quella del tracciamento di veicoli o persone tramite GPS a scopo di soccorso, di antifurto o antirapina o a scopi di controllo a distanza di flotte di veicoli o di convogli ferroviari.

Questa tecnica implica l'utilizzo del GPS insieme ad un sistema di trasmissione (radio o telefono cellulare). Il segnale di posizionamento GPS, ricevuto dal mezzo mobile, viene trasmesso (tramite GSM, ad es.) ad una centrale operativa che visualizza la posizione del mezzo su un PC dotato di cartografia elettronica. Tipico esempio di questa tecnologia è il sistema VIASAT.

Applicazioni del sistema di tracciamento GPS si trovano anche nelle flotte di mezzi pubblici (autobus, ad es.).

Vediamo una breve descrizione dei componenti del sistema GPS.

I satelliti

La costellazione di satelliti GPS è composta da 24 satelliti , 18 operativi e 6 di riserva (in realtà i satelliti operativi in orbita possono essere fino a 32).

Il numero massimo di 32 satelliti è legato alla posizione dei satelliti nelle orbite e al tipo di codifica di trasmissione dei dati.

I satelliti sono disposti su sei orbite, inclinate di 55° rispetto all'equatore. Su ogni orbita sono quindi disposti 3 satelliti operativi e un satellite di riserva (4 satelliti x 6 orbite=24 satelliti) I satelliti orbitano ad un'altezza operativa di 20183 Km da terra (in realtà l'altezza varia da 18000 a 22000 Km) e il loro periodo di rotazione è pari esattamente alla metà del giorno siderale (12 ore). In realtà la durata del giorno siderale non corrisponde esattamente alla durata del giorno misurato secondo il Tempo Internazionale Coordinato (UTC) e quindi, nell'arco delle 24 ore (misurate dai nostri orologi) i satelliti compiono due orbite non completamente intere.

Ciò significa che, ogni giorno, ad una determinata ora, in un determinato punto della Terra, non saranno visibili sempre gli stessi satelliti, con la stessa disposizione nello spazio.

I satelliti sono stati concepiti per avere una vita operativa di 7 anni; a 20 anni circa dai primi lanci sono ancora operativi alcuni vecchi satelliti, ecco perché i satelliti utilizzabili possono essere più di 24. Il sistema GPS è diventato completamente operativo nel 1994, quando sono diventati funzionanti i 24 satelliti previsti dalle specifiche di sistema; esso viene mantenuto in ordine con il lancio di nuovi satelliti che sostituiscono i vecchi, guasti od obsoleti. Attualmente siamo arrivati alla terza generazione (Block III) satellitare.

Ogni satellite porta a bordo:

- Un orologio atomico di estrema precisione (che è alla base del sistema, come vedremo).
- Un computer di controllo.
- Un sistema di trasmissione radio ad onde ultracorte.
- Un sistema di controllo di assetto.

Il sistema di controllo a terra

Il sistema GPS richiede l'esistenza di una serie di centrali di controllo a terra. La master station si trova nel Colorado (USA); le altre stazioni si trovano sparse lungo l'equatore, in modo da potersi collegare con tutti i satelliti in orbita. Tutte le stazioni di controllo sono collegate tra loro via radio. I compiti delle stazioni di controllo sono:

- Tenere sincronizzati tra loro gli orologi atomici dei satelliti.
- Tenere sotto controllo le orbite dei satelliti.
- Controllare lo "stato di salute" (guasti, malfunzionamenti) dei satelliti.

La sincronizzazione degli orologi atomici dei satelliti consiste esclusivamente nel controllare quali sono le differenze temporali tra gli orologi dei vari satelliti (ad es: annotare che l'orologio del satellite 1 ha un ritardo di 2,1 miliardesimi di secondo rispetto a quello del satellite 3 etc.). Le orbite dei satelliti sono periodicamente controllate, in quanto è fondamentale per il funzionamento del sistema che le orbite siano esattamente conosciute e trasmesse all'utente a terra. Se l'orbita di progetto del satellite varia (a causa delle attrazioni della luna, a causa del vento solare o per altri motivi..), la stazione di controllo invia un segnale di correzione al satellite, che mette in moto i suoi motori di assetto e si riporta nell'orbita giusta. I satelliti possono guastarsi o avere malfunzionamenti; per assicurare un funzionamento "certo" del sistema, le stazioni di controllo monitorano lo "stato di salute" dei satelliti ed escludono dal sistema (temporaneamente o per sempre) i satelliti che mostrano malfunzionamenti.

Il segmento utente

Il terzo segmento del sistema è il segmento utente, che è rappresentato dal ricevitore di posizione dell'utilizzatore (= apparecchio GPS portatile o fisso), completo di antenna. Essendo il GPS un sistema che basa il suo funzionamento sulla misura del tempo, il ricevitore dell'Utente sarà collegato ad un'antenna (di piccole dimensioni) e avrà al suo interno un orologio preciso (ovviamente) , un computer di elaborazione (il segnale radio ha bisogno di una decodifica particolare per essere utilizzato) e un semplice ricevitore radio per il segnale trasmesso dai satelliti. Il sistema di trasmissione radio dei satelliti GPS è un sistema militare e quindi il tipo di modulazione del segnale è una modulazione a spettro diffuso (Spread Spectrum Modulation). Questo tipo di modulazione fa sì che il segnale trasmesso si confonda con il rumore di fondo elettromagnetico e quindi sia difficilmente captabile da chi non possieda gli apparati appositi e sia difficilmente disturbabile.

Il funzionamento del GPS

Il funzionamento del sistema GPS è (relativamente) semplice e si basa sulla misura del tempo di percorrenza del segnale trasmesso dall'antenna del satellite fino all'antenna del ricevitore Utente a terra. Innanzitutto ogni satellite ha un proprio nome (chiamato: PRN). Il "nome" (= la sequenza in codice che caratterizza ogni satellite) è unico ed inconfondibile e ogni satellite può portare uno solo dei 32 "nomi" consentiti dal sistema. I "nomi" (codici di identificazione) sono sempre gli stessi per i satelliti in orbita e

ogniqualevolta un satellite esce definitivamente dalla costellazione al termine della sua vita utile, il satellite che viene messo in orbita in sostituzione "eredita" il suo nome.

Ogni satellite trasmette a terra un messaggio, codificato tramite il suo "nome" ; questo messaggio, chiamato almanacco contiene i dati relativi alle orbite dei satelliti (effemeridi) ed altri dati caratterizzanti il satellite (tempo della settimana GPS, stato del satellite ecc.).

Ricordiamo qui che ogni satellite ha, a bordo, un accuratissimo orologio atomico, sincronizzato agli orologi di tutti gli altri satelliti tramite i segnali elaborati dai centri di controllo a terra.

Il ricevitore GPS (qualsiasi ricevitore GPS) ha - al suo interno - un orologio preciso (non così preciso come un orologio atomico, in quanto è un comune orologio elettronico al quarzo).

Riuscendo a sincronizzare l'orologio atomico di un satellite con l'orologio contenuto all'interno del ricevitore GPS ottengo che:

- Il ritardo di sincronizzazione tra l'orologio del satellite e l'orologio del ricevitore GPS mi dà il tempo di percorrenza del segnale dall'antenna del satellite all'antenna del ricevitore GPS a terra. Moltiplicando questo tempo per la velocità delle onde elettromagnetiche e della luce nel vuoto (la costante c della famosa equazione di Einstein : $E=mc^2$) che all'incirca è uguale a 300000 Km/sec, ottengo la distanza del satellite dal ricevitore a terra.

Non tutto il percorso delle onde radio si compie nel vuoto; gli ultimi chilometri si compiono nella ionosfera e nella troposfera. Ciò è causa di un errore, che comunque è prevedibile e modellizzabile.

Se io conosco anche i dati dell'orbita del satellite (e cioè conosco in maniera approssimata in quale punto dello spazio si trova il satellite), io posso ricavare la posizione esatta dell'antenna del mio ricevitore GPS rispetto al centro di massa della Terra (tutti i satelliti orbitano intorno al centro di massa della Terra). Con una semplice operazione trigonometrica (compiuta dal computer interno ad ogni ricevitore GPS) è possibile spostare il posizionamento dal centro alla superficie della Terra.

Questa misura, riferita ad un solo satellite, mi darebbe un errore di posizionamento grossolano, pari a qualche centinaio di chilometri; se però io ripeto la misura su più satelliti (almeno tre per un posizionamento su latitudine e longitudine, almeno quattro se voglio conoscere anche la quota del punto in cui mi trovo) ottengo la mia posizione con un errore di circa una decina di metri.

Come avviene la sincronizzare gli orologi dei satelliti con l'orologio del ricevitore GPS ?

L'operazione viene compiuta con i seguenti passi:

- Il computer interno al ricevitore GPS genera di continuo delle copie dei "nomi" dei satelliti.
- Il segnale ricevuto dallo spazio viene captato dall'antenna del ricevitore GPS, "ripulito" e fatto passare in un blocco funzionale (interno al ricevitore GPS), chiamato autocorrelatore.
 - L'autocorrelatore confronta i "nomi" dei satelliti generati dal computer interno del ricevitore GPS con i "nomi" dei satelliti captati dall'antenna del ricevitore stesso. Quando due dei nomi coincidono (sono costituiti dallo stesso blocco di codice) il computer del ricevitore GPS dice all'orologio interno di marcare il tempo.
- Il tempo marcato dall'orologio del ricevitore (ovvero il tempo impiegato dall'autocorrelatore per riconoscere che i due codici, quello satellitare e quello generato dal ricevitore, sono uguali) indica che è stata effettuata una sincronizzazione tra l'orologio del satellite e l'orologio del ricevitore ed equivale al tempo di percorrenza del segnale dall'antenna del satellite all'antenna del ricevitore a terra.

Il robot OptiChair è fortemente correlato all'esistenza della costellazione satellitare perché il sistema di telesoccorso necessita in prima istanza dell'identificazione della posizione geografica.

La direttiva due in caso di emergenza clinica di varia natura che si possa riassumere in "emergenza di tipo uomo non presente" lancia in maniera automatica una richiesta di telesoccorso satellitare. Via GPS viene rilevata la posizione attuale del robot OptiChair II con una precisione dell'ordine del metro a livello globale. La routine di servizio lanciata dalla direttiva uno accende il sistema di telecontrollo web contestualmente alle telecamere di visione ambientale. Un operatore autorizzato prenderà il controllo del robot OptiChair II teleguidandolo in posizione sicura. Contestualmente il sistema lancia una richiesta di soccorso locale al più vicino posto di pronto soccorso che celermente invierà una ambulanza. Nell'attesa del soccorso locale ci si potrà avvalere del sintetizzatore vocale allo scopo di lanciare delle informazioni audio sullo stato del paziente che potranno essere raccolte dai passanti. Se ad esempio il paziente necessita urgentemente di una iniezione di insulina un messaggio audio fornito al pubblico generico segnala la posizione della capsula nella seda e la necessità di effettuare l'iniezione nell'immediatezza. Altre informazioni utili che possono essere lanciate con il sintetizzatore vocale sono il gruppo sanguigno o la patologia sofferta dall'utente del robot OptiChair II.

• **11.2 Dispositivo di ricezione con porta seriale di comunicazione**

Nel prototipo è stato montato un ricevitore GPS di tipo GARMIN GPS18 di uso nautico con uscita seriale ed acquisito nella porta COM1 del computer di bordo del robot. L'alimentazione elettrica è a 12 volt, è resistente all'acqua come previsto dalle tecniche costruttive navali secondo la direttiva IEC60529 IPX7, quindi può resistere all'immersione in acqua fino a un metro di profondità per almeno 30 minuti. Benché il funzionamento ottimale avviene in maniera "a satellite visibile" garantisce ottime performance anche in ambienti chiusi come all'interno degli edifici. La precisione dell'ordine del metro è garantita dal sistema differenziale DGPS che usa il sistema di correzione in tempo reale chiamato WAAS. In caso di prolungata non alimentazione il sistema mantiene l'informazione grazie alla batteria interna per almeno tre settimane.

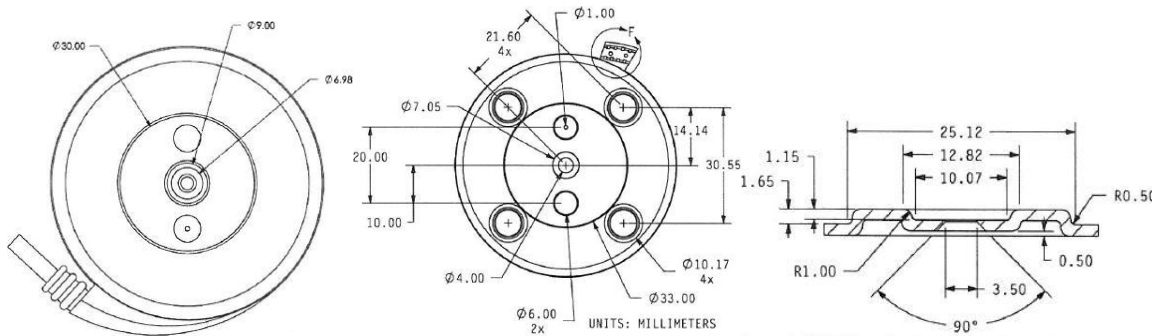


Fig. 197 meccanica del ricevitore GPS.

• **11.3 interfacciamento del GPS con il sistema operativo**

Per i primi collaudi del prototipo del robot OptiChair II è possibile interrogare il collegamento satellitare puntando con un browser internet all'indirizzo <http://salesianischio.it:8080/gpsd.php> Viene richiesta l'identificazione tramite login e password come nell'immagine seguente



Fig. 198 Richiesta identificazione in internet per controllo GPS.

Una volta avvenuta l'identificazione si interroga il ricevitore GPS che ci mostra la posizione terrestre con altre utili informazioni come ad esempio l'altezza rispetto il livello del mare e la parte costellazione dei satelliti visibili in quel momento. Un'informazione molto importante è il numero dei satelliti e la potenza del segnale ricevuto. Questo modello riceve impulsi con una frequenza di 5Hz. Segue l'immagine della schermata web di interrogazione del GPS.

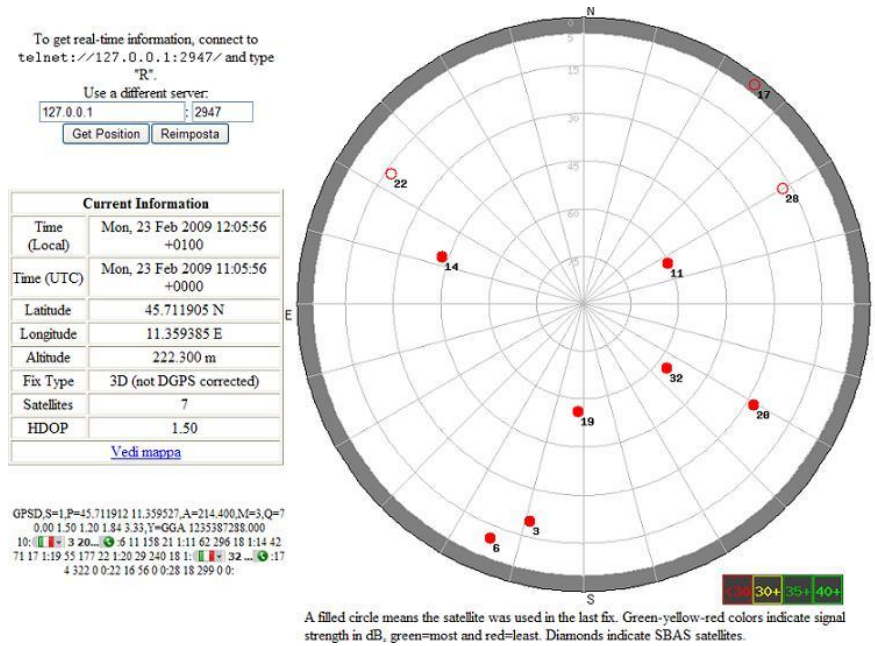


Fig. 199 informazioni GPS, costellazione e posizione terrestre.

IL famoso motore di ricerca google fornisce gratuitamente un sistema di cartografia digitale globale già predisposta per l'interfacciamento con sistemi di localizzazione simili a quello a bordo del robot OptiChair. Visualizzando la mappa appare la posizione attuale sulla cartina indicata con la freccia rossa. La precisione è del metro su scala mondiale. zoommando ulteriormente potremmo individuare i nomi di tutte le strade circostanti, anche quelle apparentemente più insignificanti.

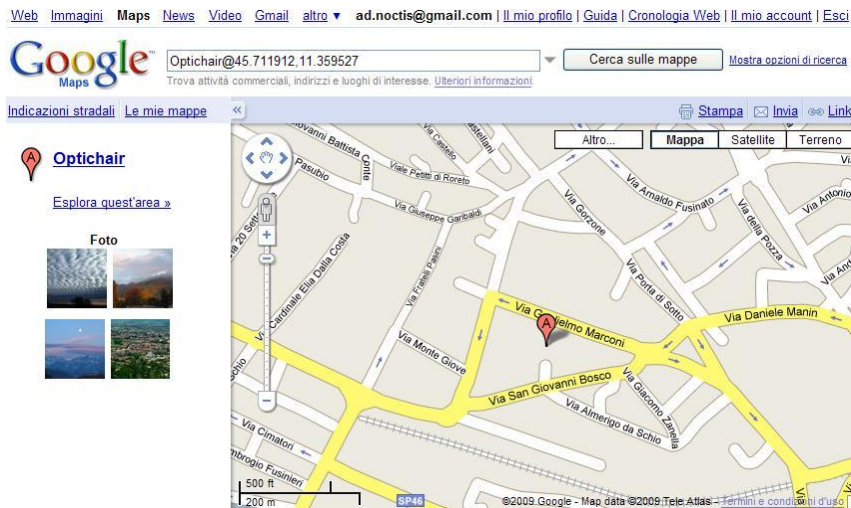


Fig. 200 collegamento GPS alla cartografia elettronica di google.

Se si rinuncia alla estrema vicinanza con il target, ovvero si zoomma un pò più in alto, è possibile richiedere la visualizzazione della mappa realistica dal satellite vedendo addirittura le persone e le auto parcheggiate. (attualmente sono immagini di repertorio e non stream video).

INDICE DELLE FIGURE DEL CAPITOLO 1

FIGURE 1.1. Diagram of a nerve cell. From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004.

FIGURE 1.2. The subdivisions and components of the central nervous system. (Note that the position of the brackets on the left side of the figure refers to the vertebrae, not the spinal segments.). From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004.

FIGURE 1.3. A flexure in the long axis of the nervous system arose as humans evolved upright posture, leading to an approximately 120° angle between the long axis of the brainstem and that of the forebrain. The terms anterior, posterior, superior, and inferior refer to the long axis of the body, which is straight. Therefore, these terms indicate the same direction for both the forebrain and the brainstem. In contrast, the terms dorsal, ventral, rostral, and caudal refer to the long axis of the central nervous system. The dorsal direction is toward the back for the brainstem and spinal cord, but toward the top of the head for the forebrain. The opposite direction is ventral. The rostral direction is toward the top of the head for the brainstem and spinal cord, but toward the face for the forebrain. The opposite direction is caudal. From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004 ..

FIGURE 1.4. Gross anatomy of the nervous central system. From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004.

FIGURE 1.5. Lobes division of forebrain. From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004.

FIGURE 1.6. Overall organization of neural structures involved in the control of movement. Four systems—local spinal cord and brainstem circuits, descending modulatory pathways, the cerebellum, and the basal ganglia—make essential and distinct contributions to motor control. From D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004

REFERENCES

Duane E. Haines. Neuroanatomy, atlas of structures sections systems, 6th edition. The Point Lippincott Williams & Wilkins. 2004.

M. Mumenthaler, H. Mattle. Neurology, 4th edition. Georg Thieme Verlag Stuttgart. New York. 2004.

D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. Lamantia, J. O. Mcnamara, M. Williams. Neuroscience, 3th edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. S.A. 2004.

S. Jacobson, E. M. Marcus. Neuroanatomy for the Neuroscientist. Springer. 2008.

Indice delle immagini

- Fig. 1 Zona mondiale di maggiore incidenza, l'isola di Guam
- Fig. 2 incidenza media in base all'età della SLA (statistica su 100.000 individui)
- Fig. 3 simboli delle associazioni più attive nel supporto ai pazienti e nella ricerca
- Fig. 4 Evoluzione del robot Asimo (© *Honda*) 1986-2010 fonte internet.
- Fig. 5 servoassistenza motoria in collaudo presso l'impianto Honda di Sayama, in Giappone. (© Honda)
- Fig. 6 popolazione robotica mondiale del triennio 2006, 2007, 2008
- Fig. 7 performache misurate di un bus grafico basato su PCI express
- Fig. 8 Struttura meccanica di base
- Fig. 9 sistema di trazione a cinghia e puleggia.
- Fig. 10 particolare della cinghia e puleggia.
- Fig. 11 sgancio manuale cinghia per posizione folle.
- Fig. 12 attrattori DC installati nella versione Optichair I
- Fig. 13 Optichair I, assorbimento nella prova a vuoto.
- Fig. 14 Optichair I, flangiatura meccanica del motore di destra.
- Fig. 15 Aspetto interno del computer di bordo.
- Fig. 16 interface di I/O del computer di bordo
- Fig. 17 Logo ufficiale del sistema operativo ubuntu.
- Fig. 18 installazione del computer principale di bordo e sistemi elettronici principali di alimentazione
- Fig. 19 Impianto elettrico di potenza in Optichair I
- Fig. 20 ponte ad H realizzato con darlington TIP122 (max 8A)
- Fig. 21 PCB ponte H
- Fig. 22 ponte H realizzato
- Fig. 23 collaudo del ponte H di Optichair I
- Fig. 24 accumulatore al piombo SK12-18.
- Fig. 25 schema di principio del convertitore statico (inverter)
- Fig. 26 forme d'onda complementari di controllo dello stadio di potenza dell'inverter.
- Fig. 27 schema elettrico dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I.
- Fig. 28 Circuito stampato dell'inverter, lato rame.
- Fig. 29 Lato componenti.
- Fig. 30 inverter prototipo, fotoincisione.
- Fig. 31 Realizzazione dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I
- Fig. 32 vista in pianta dell'inverter usato nel solo prototipo Optichair I
- Fig. 33 inverter a onda modificata Zodiac 600W.
- Fig. 34 entrata DC e ventola di raffreddamento
- Fig. 35 uscita AC e interruttore
- Fig. 36 pannello solare montato posteriormente nel prototipo.
- Fig. 37 Aspetto finale del robot Optichair I.
- Fig. 38 ingombri di massima della ciclistica di Optichair II
- Fig. 39 motorizzazione e trasmissione Optichair II
- Fig. 40 uno dei due motori di Optichair II
- Fig. 41 Kit di trasformazione di normali sedie a rotelle in Optichair II
- Fig. 42 comandi manuali
- Fig. 43 Particolare della centralina di controllo joystick (si notano i potenziometri X-Y)
- Fig. 44 Intefaccia wx-python di override
- Fig. 45 Connessioni della porta parallela standard.
- Fig. 46 comandi inviati alla porta parallela (LPT1).
- Fig. 47 Schema elettrico di collegamento degli accumulatori nel pacco batterie
- Fig. 48 accumulatori al piombo in manutenzione. Pacco batterie
- Fig. 49 Schema rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.
- Fig. 50 Circuito stampato del rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.
- Fig. 51 realizzazione del rilevatore bassa carica degli accumulatori al piombo.
- Fig. 52 sistema di ricarica degli accumulatori al piombo.
- Fig. 53 Cablaggi della potenza e del sistema telemetrico primario Optichair II
- Fig. 54 M3-ATX Pico-Dragon DC/DC converter per alimentazione computer principale.
- Fig. 55 cavi di interfacciamento del DC/DC converter con altri dispositivi.
- Fig. 56 Jumper di ripristino delle condizioni iniziali.
- Fig. 57 installazione del DC/DC converter sulla scheda madre.
- Fig. 58 interfaccia web che mostra punti di visione del robot.

- Fig. 59 housing DIL (dual in line 40pin) del microcontrollore impiegato
- Fig. 60 architettura interna del microcontrollore 16F877A
- Fig. 61 Schema elettrico del PLC-PIC Micro-GT P877 (auto costruito per Optichair II)
- Fig. 62 Scheda madre del PLC autocostruito
- Fig. 63 disposizione dei piani di lavoro (layers) nel Cad impiegato nella realizzazione.
- Fig. 64 abbinamento scheda madre alla scheda di potenza.
- Fig. 65 serigrafie dei due circuiti sovrapposti.
- Fig. 66 Una soluzione di 50 g/l in acqua a 20 °C ha pH circa 14.
- Fig. 67 cloruro ferrico allo stato solido (non diluito a temperatura ambiente)
- Fig. 68 Il laureando Gottardo Marco salda i componenti del PLC auto costruito.
- Fig. 69 computer di bordo secondario:Lato saldature
- Fig. 70 realizzazione concreta del PLC auto costruito (vista aperto)
- Fig. 71 particolare delle connessioni dei bus dati
- Fig. 72 scheda doppio ponte H da abbinare al PLC autocostruito
- Fig. 73 serigrafie scheda di potenza del PLC autocostruito
- Fig. 74 complessivo dei p.c.b. (printed circuit board) del PLC auto costruito
- Fig. 75 Allineamento dei LED saldati nella scheda madre con mascherina nella scheda di potenza.
- Fig. 76 schema elettrico del doppio ponte H, sezione di potenza del PLC
- Fig. 77 Vista posteriore del modello Optichair I, computer di bordo e sistemi di potenza.
- Fig. 78 Schema dei comandi ottici.
- Fig. 79 Telecamera retinica e prima versione di interfaccia per "Open-CV".
- Fig. 80 interfaccia di potenza a relè
- Fig. 81 schema elettrico di potenza a rele e morsettiera.
- Fig. 82 il PLC terminato e pronto all'uso
- Fig. 83 assemblaggio del PLC a bordo di Optichair I
- Fig. 84 sistema di sviluppo Mp-Lab di Microchip.
- Fig. 85 test del computer di bordo secondario
- Fig. 86 interfacciamento al sistema di espansione I/O per test e collaudi
- Fig. 87 Attivazione procedura guida di creazione del progetto MpLab
- Fig. 88 Selezione del microcontrollore impiegato nel computer secondario di optichair
- Fig. 89 Selezione del compilatore per il linguaggio prescelto per la programmazione del computer.
- Fig. 90 selezione della cartella e creazione del file progetto
- Fig. 91 salvataggio del progetto, assegnazione del nome definitivo
- Fig. 92 Conferma dei nomi di cartelle e file ed eventuale creazione del file .mcp
- Fig. 93 Aggiunta dei file facenti parte del progetto
- Fig. 94 situazione dopo l'inserimento dei files nel progetto
- Fig. 95 riassunto della struttura progetto creata
- Fig. 96 ambiente di programmazione attiva
- Fig. 97 comandi di compilazione
- Fig. 98 compilazione andata a buon fine.
- Fig. 99 contenuto della cartella progetto dopo la compilazione.
- Fig. 100 icona di lancio del simulatore di PIC
- Fig. 101 ambiente "visual" di simulazione del PIC
- Fig. 102 Sistema di sviluppo Micro-GT Autocostruito per la programmazione del computer di bordo
- Fig. 103 schema funzionale del comando di marcia autoritenuto.
- Fig. 104 schema funzionale del comando di marcia autoritenuto.
- Fig. 105 aspetto dell'editor di programmazione a contatti (ladder o Kop) che produce il file .hex
- Fig. 106 Tracciato EEG su paziente normodotato in tranquillita' emotiva
- Fig. 107 Tracciato EEG su paziente epilettico
- Fig. 108 segnale utilizzabile per comandare dispositivi, nello specifico il battito delle ciglia
- Fig. 109 Onde alfa.
- Fig. 110 Onde beta
- Fig. 111 onde delta
- Fig. 112 onde theta
- Fig. 113 tracciato EEG completo
- Fig. 114 elettrodi, (sonde o sensori) di tipo commerciale.
- Fig. 115 neuroscan sysamp. a 32 canali
- Fig. 116 schema elettrico del blinker (simula i segnali P300 in un canale del neuroscan).
- Fig. 117 apparato sensoriale del dispositivo blinker, e' una foto resistenza inserita in una ventosa.
- Fig. 118 dispositivo blinker,
- Fig. 119 cattura del centriode

- Fig 120 una fase di test e di studio preliminare delle opencv (addestramento A.I. di Optichair)
- Fig. 121 comandi di marcia codificati nella posizione dell'occhio.
- Fig. 122 telecamera retinica.
- Fig. 123 interfaccia telecamera retinica.
- Fig. 124 Rilevamento comandi con algoritmi di visione
- Fig. 125 occhiali modificati per la telecamera retinica.
- Fig. 126 occhiali modificati per la telecamera retinica e sistema in uso.
- Fig. 127 sistema di acquisizione USB degli occhiali modificati per la telecamera retinica.
- Fig 128 parti componenti dell'occhio umano interessate al progetto Optichair II
- Fig 129 Metodo di rilevamento retinico, l'onda infrarossa rimbalza sulla retina attraverso la pupilla.
- Fig 130 Metodo di rilevamento sclera-iride, l'onda infrarossa rimbalza sulla sclera ed è assorbita dall'iride.
- Fig 131 comportamento dell'onda elettromagnetica luminosa nel cambio di mezzo di trasmissione.
- Fig 132 Principio di base del funzionamento
- Fig 133 schema di principio dell'utilità del filtro IR
- Fig 134 configurazione interna del circuito integrato LM324
- Fig 135 schema elettrico dell'interfaccia di acquisizione segnali infrarossi
- Fig 136 Circuito stampato dell'interfaccia di acquisizione segnali IR
- Fig 137 interfaccia di comparazione dei segnali IR installata sull'occhiale
- Fig 138 struttura anatomica media dell'occhio umano
- Fig 139 matrice di comando generata dagli occhiali IR-Reflex
- Fig 140 matrice di comando completa generata dagli occhiali IR-Reflex
- Fig 141 dislocazione teorica dei sensori infrarossi.
- Fig 142 disposizione dei sensori e trasmettitori IR sull'occhiale
- Figura 143 e figura 144 Rappresentano l'installazione corretta e non corretta dell'inclinometro
- Fig. 145 Telemetria primaria sviluppato con microprocessore infineon.
- Fig. 146 XE164 KeyChain lato inferiore
- Fig. 147 XE164 KeyChain lato superiore
- Fig. 148 Lancio del sistema di sviluppo DAVe.
- Fig. 149 Pannello di controllo di DAVe.
- Fig. 150 selezione del corretto microcontrollore.
- Fig. 151 selezione del corretto compilatore.
- Fig. 152 conferma impostazioni compilatore e microcontrollore
- Fig. 153 architettura interna del microcontrollore selezionato
- Fig. 154 configurazione dei canali di comunicazione
- Fig. 155 configurazione di U0C0 eUSIC
- Fig. 156 configurazione parametri di U0C0 eUSIC
- Fig. 157 abilitazione degli interrupt di U0C0 eUSIC
- Fig. 158 assegnazione del livello di interrupt
- Fig. 159 configurazione di U0C0 eUSIC
- Fig. 160 funzioni e routine di servizio abbinate a U0C0 eUSIC
- Fig. 161 generazione del codice sorgente in C
- Fig. 162 generatore di codice sorgente in C in esecuzione
- Fig. 163 file componenti del sorgente in C autogenerato
- Fig. 164 struttura classica di un progetto
- Fig. 165 Editor del compilatore in cui compare il sorgente C autogenerato
- Fig. 166 capsule ad ultrasuoni TX e RX
- Fig. 167 misurazione oscilloscopiche tempi di ritardo capsule ad ultrasuoni TX e RX
- Fig. 168 grafico delle distanze rilevate dalle capsule ad ultrasuoni.
- Fig. 169 schema a blocchi del sistema telemetrico primario a ultrasuoni
- Fig. 170 schema elettrico alimentazione capsula ad ultrasuoni TX
- Fig. 171 comparazione oscilloscopia segnali al piedino del processore e al collettore del BJT
- Fig. 172 schema elettrico del ricevitore a ultrasuoni
- Fig. 173 elaborazione del segnale ultrasonico di rimbalzo
- Fig 174 A sinistra il XE164 e a destra il circuito di interfaccia alle capsule ad ultrasuoni
- Fig 175 programmazione visuale del generatore di impulsi (latch alto o duty cycle)
- Fig 176 A generatore di impulsi (latch basso)
- Fig 177 interfacciamento del sistema telemetrico al display LCD
- Fig 178 diagramma a blocchi del CAPCOM2
- Fig 179 diagramma a blocchi del trigger usato per il CAPCOM2 associato ai timer T7 e T8
- Fig 180 abilitazione del modulo capture e compare (telemetria primaria)
- Fig 181 impostazione della risoluzione del tempo di cattura e comparazione telemetria primaria

- Fig 182 impostazione dei timer hardware dei moduli capture e compare telemetria primaria
- Fig 183 impostazione dei moduli capture e compare su fronte positivo
- Fig 184 associazione del capture e compare 16 con il timer T7 telemetria principale
- Fig 185 abilitazione su fronte positivo al pin P2.3
- Fig 186 vettorizzazione dell'interrupt a livello 12 per il capture e compare
- Fig 187 Associazione logica delle funzioni alle funzionalità, telemetria primaria
- Fig 188 fasi logiche di funzionamento della telemetria primari, flusso del programma
- Fig 189 visualizzazione dei tempi di echo del segnale telemetrico
- Fig 190 reazione del sistema quando l'echo non arriva entro il tempo massimo
- Fig 191 ottimizzazione software per una maggiore accuratezza della misura della distanza
- Fig 192 visualizzazione stringa e distanza dall'ostacolo
- Fig. 193 sensori piezoelettrici della telemetria secondaria (sensibili fino a 2,5metri).
- Fig. 194 centralina del sistema di telemetria secondaria.
- Fig. 195 telemetria pss-1 con un LCD, 4 sensori e 1 unita' di controllo
- Fig. 196 schema di cablaggio e funzionalita' dei sensori telemetrici secondari
- Fig. 197 meccanica del ricevitore GPS.
- Fig. 198 Richiesta identificazione in internet per controllo GPS.
- Fig. 199 informazioni GPS, costellazione e posizione terrestre.
- Fig. 200 collegamento GPS alla cartografia elettronica di google.
- Fig. 201 visione satellitare del GPS della cartografia di google.

Bibliografia

- [1] **International Lighting in Controlled Environments Workshop** T.W.Tibbitts 1994
NASA-CP-95-3309

OCULAR HAZARDS OF LIGHT

David H. Sliney, Ph.D.

[2] Le fonti principali sono Internet e in particolare modo il mio sito web www.gtronic.it contenete solo ed esclusivamente pubblicazione e progetti di me medesimo. (Il laureando Marco Gottardo)

[3] manualistica online www.microchip.com per le piedinature di microcontrollori

[4] manualistica online www.infineon.com per la realizzazione del sistema secondario di telemetria

[5] manualistica fonita allegata al prodotto del DC/DC converter minidragon

[6] alcuni risultati dalla tesi svolta dell'ing L.Criveller "analisi dell'affidabilita' dei sistemi P300" 2010, svolta presso l'ospedale San Camillo di venezia Lido.