

**Corso di Laurea in**  
***Ingegneria Biomedica***  
**Università degli Studi di Genova**

ANNO ACCADEMICO 2003/2004

**PROVA FINALE**

*Sviluppo di un protocollo sperimentale per la valutazione del  
mantenimento dell'equilibrio durante l'esecuzione di un compito motorio  
a livello dell'arto superiore*

Facco Giorgio

TUTORS:

ACCADEMICO : **Relatore: Chiar.<sup>mo</sup> Prof. Bove Marco**  
**Correlatore: Ing. Tacchino Andrea**

ALLIEVI: **Facco Giorgio**  
**Traverso Lorenzo**

23 02 2005

# Indice

<b>Introduzione</b>	5	
<b>Capitolo 1</b>	<b>Corteccia Motoria e Controllo Motorio</b>	6
Introduzione	7	
1.1 Midollo Spinale	7	
1.2 Tronco dell'encefalo	8	
1.3 Corteccia cerebrale	10	
1.4 L' Omuncolo	11	
1.5 Il cervelletto	11	
1.6 Aree anatomo-funzionali del cervelletto	12	
1.7 Le vie afferenti al cervelletto	15	
1.8 Afferenze dalla periferia	15	
1.9 Segnali in uscita dal cervelletto	17	
1.10 Vestibolo-cervelletto	18	
1.11 Spino-cervelletto	19	
1.12 Cerebro-cervelletto	20	
1.13 Postura	21	
1.14 Meccanismo di regolazione della postura	22	
<b>Capitolo 2</b>	<b>Double Cognitive Task e I movimenti fini della mano</b>	23
Introduzione	24	
2.1 Relazione tra attenzione, postura e andatura in soggetti giovani adulti	25	
2.2 Studi su movimenti di tapping	29	
2.3 Studi su movimenti di Opposite finger	30	

<b>Capitolo 3</b>	<b>Il Protocollo Sperimentale</b>	32
	Intruduzione	33
	3.1 Decisione delle Sequenze	33
	3.2 Visione del Filmato	34
	3.3 Condizioni Visive	35
	3.4 Condizioni Posturali	35
	3.5 Modalità Esecutive	37
	3.6 La randomizzazione	37
	3.8 Scelta dei soggetti	38
	3.9 Conclusione e applicazione del protocollo	38
<b>Capitolo 4</b>	<b>Acquisizione dei Dati</b>	39
	Introduzione	40
	4.1 Descrizione dell'interfaccia grafica di Soft Glove	40
	4.11 Pannello principale	40
	4.12 Pannello tabelle	42
	4.13 Pannello per la visualizzazione real time delle sequenze eseguite	43
	4.14 Pannello per la visualizzazione dei grafici	44
	4.15 Pannello per la visualizzazione dei risultati	45
	4.2 Piattaforma stabilometrica	46
	4.3 Win Posture	49
<b>Capitolo 5</b>	<b>Risultati</b>	52
	Introduzione	53
	5.1 Relazione tra Sitting e Standing	53
	5.2 Relazione tra le due diverse sequenze	55
	5.3 Tempo di tocco	56
	5.4 Sway Path a Sway Area	56

<b>Capitolo 6</b>	<b>Conclusioni</b>	58
	6.1 Conclusioni	59
<b>Bibliografia</b>		60

## Introduzione

La tesi da noi svolta si colloca nell'ambito di quel filone di ricerca della medicina che riguarda lo studio di *Double Cognitive Task*, un paradigma adottato negli ultimi anni e mirato alla valutazione degli effetti che il compimento di atti cognitivi o motori (task secondari), concomitanti al mantenimento dell'equilibrio (task primario), apportano al sistema di controllo posturale.

A tal fine si è stilato un protocollo sperimentale operativo utilizzato durante gli esperimenti eseguiti in laboratorio e curato sia negli aspetti riguardanti l'ambiente dove si sono eseguite le prove, sia nel comportamento tenuto dall'operatore, sia, infine, nella valutazione dei trial realizzati. Attenzione si è posta al rederlo standard, favorendo, di conseguenza, omogeneità e uniformità dei dati e una loro maggiore utilizzabilità.

Per l'acquisizione dei dati si è utilizzato un setup sperimentale costituito da SoftGlove, uno strumento per la misurazione di parametri caratterizzanti il movimento di apertura e chiusura delle dita, quali frequenze e tempi di tocco corredato da un software che permette la gestione, il controllo e l'archiviazione dei risultati ottenuti, e da Winposture, un programma che, invece, consente analoghe operazioni sui dati provenienti da una piattaforma stabilometrica.

I dati conseguiti, sono stati esportati in file di testo in modo da poter essere valutati tramite un potente software di calcolo, denominato Origin.

Grazie a questi strumenti abbiamo cercato di capire alcuni aspetti dell'interdipendenza di varie aree cerebrali durante il compimento di task motori e cognitivi diversi e concomitanti (mantenimento della postura eretta e movimento fine della mano; movimento fine della mano in sincronia con un metronomo acustico a differenti frequenze).

Infine si è valutato l'effetto del compimento di tali task in condizioni di occhi aperti e occhi chiusi.

# **Capitolo 1**

## ***Corteccia Motoria e Controllo Motorio***

## **Introduzione**

La maggior parte delle nostre azioni quotidiane coinvolge la funzione motoria, dal parlare al gesticolare al camminare. Anche un semplici movimenti come allungare un braccio per afferrare un bicchiere d'acqua è in realtà un complesso compito motorio decisamente interessante da studiare.

Il cervello non solo deve selezionare i muscoli da contrarre e l'ordine dei movimenti con cui dirigire la mano verso il bicchiere, ma deve anche stimare la forza necessaria per alzarlo, non prima, però, di aver valutato quanta acqua c'è nel bicchiere e di che materiale esso è fatto.

Altre variabili, che qui non descriveremo, influenzano ulteriormente i calcoli compiuti dal cervello non c'è dunque da stupirsi se molte aree cerebrali e distretti anatomici sono coinvolti negli atti motori, anche quelli più comuni.

In questo capitolo faremo una breve descrizione degli aspetti salienti del sistema nervoso direttamente collegati ai compiti motori.

### **1.1 Midollo spinale**

Il midollo spinale costituisce il livello più basso di organizzazione gerarchica; i suoi circuiti neuronali, capaci di funzionare anche quando il midollo spinale viene disconnesso dalle rimanenti regioni del sistema nervoso centrale, mediano le varie attività motorie automatiche e stereotipate nonché numerosi riflessi.

Interessante è l'organizzazione spaziale dei vari nuclei motori del midollo spinale, che segue due importanti regole anatomo-funzionali:

- *Regola prossimo-distale* secondo cui i motoneuroni che innervano i muscoli sono suddivisibili in due gruppi: il gruppo mediale costituito dai motoneuroni assiali (più prossimali) di collo e di schiena; il gruppo laterale i cui motoneuroni più mediali innervano muscoli prossimali, mentre quelli più laterali innervano muscoli distali

- *Regola dei flessori-estensori* secondo cui i motoneuroni che innervano i muscoli estensori sono disposti ventralmente ai motoneuroni che innervano i muscoli flessori.

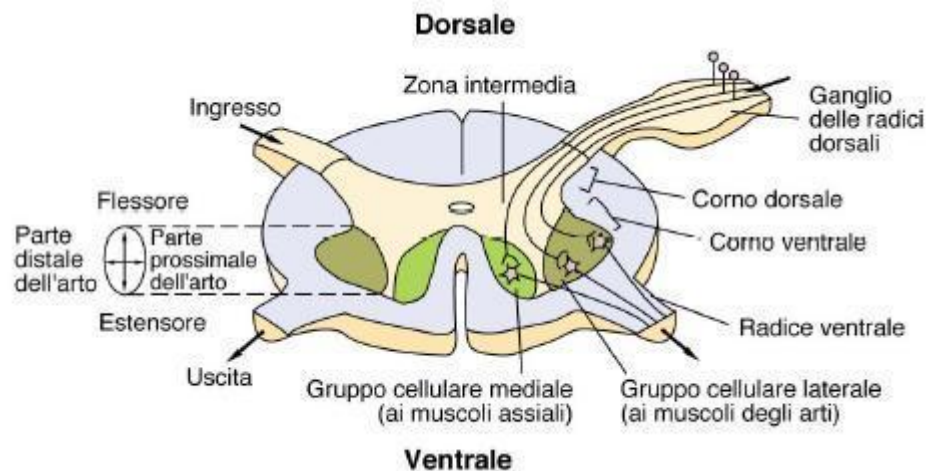


Fig.1.1 Organizzazione spaziale dei nuclei motori del midollo spinale

Gli interneuroni spinali, infine, coordinano le risposte integrate provenienti dall'attivazione e inibizione di gruppi muscolari differenti. Inoltre reti di interneuroni sono implicate anche in movimenti complessi come quelli volontari.

## **1.2 Tronco dell'encefalo**

Il tronco dell'encefalo contiene due sistemi neuronali disposti in parallelo, il *sistema mediale* e il *sistema laterale*, i cui assoni proiettano alle reti degli interneuroni e dei motoneuroni del midollo spinale implicate nell'esecuzione degli atti comportamentali regolandone l'attività.

Il sistema mediale svolge un ruolo importante nel controllo della postura integrando informazioni visive e vestibolari con informazioni somatosensitive; il sistema laterale controlla i muscoli distali degli arti risultando così importante nell'esecuzione dei movimenti fini diretti ad uno scopo, specialmente di quelli eseguiti da braccia e da mani.

I tre principali tratti delle vie medialì sono:

- *Tratti vestibolospinali*: si originano dai nuclei vestibolari e ritrasmettono informazioni provenienti dal labirinto vestibolare che prendono parte al controllo riflesso dell'equilibrio e della postura.
- *Tratti reticolospinali*: hanno origine da diversi nuclei di ponte e bulbo e svolgono un ruolo di rilievo nel mantenimento della postura; integrano le afferenze dei nuclei vestibolari e della corteccia cerebrale stabilendo connessioni eccitatorie ed inibitorie con i neuroni spinali.
- *Tratto tettospinale*: è importante per la coordinazione dei movimenti di capo e occhi; prende origine dal collicolo superiore del mesencefalo ed è controllato dalla corteccia cerebrale.

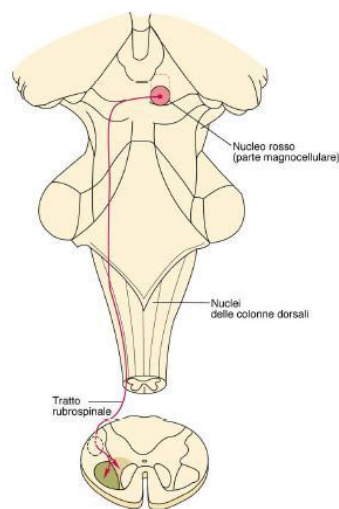


Fig.1.2a Vie laterali del tronco dell'encefalo

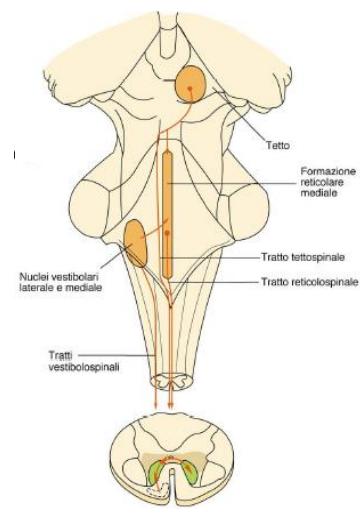


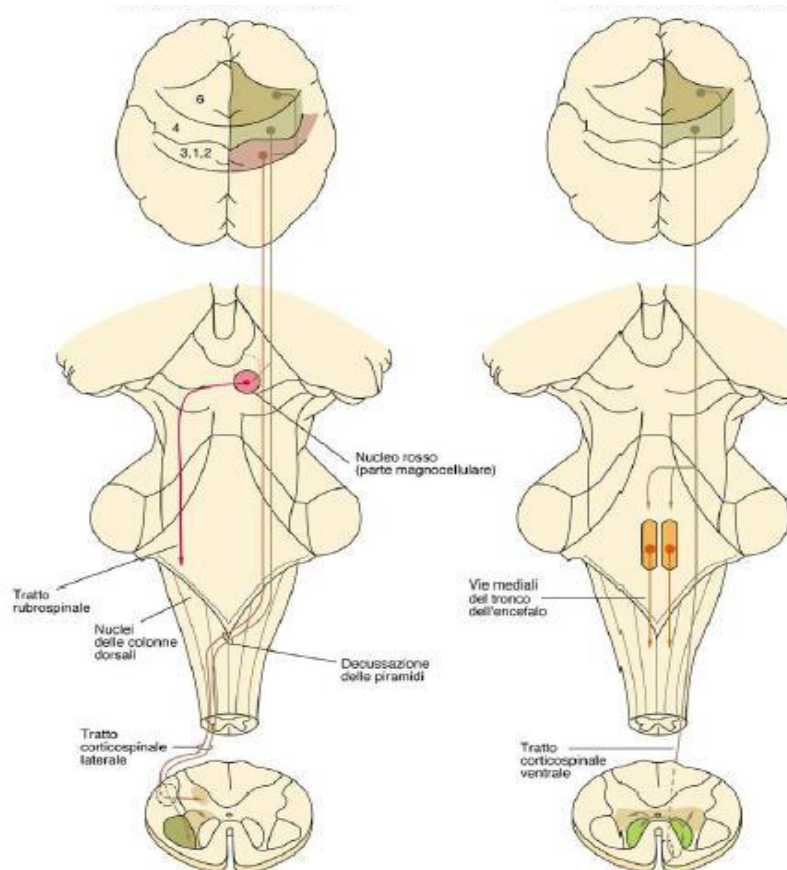
Fig.1.2b Vie laterali del tronco dell'encefalo

Le fibre del *tratto rubrospinale* costituiscono invece la via discendente laterale più importante; si originano dalla porzione magnocellulare del nucleo rosso del mesencefalo e dopo aver attraversato il bulbo, decorrendo nella parte dorsale delle colonne laterali del midollo spinale, giungono al gruppo dorsolaterale dei motoneuroni che innervano i muscoli distali degli arti deputati all'esecuzione dei movimenti fini.

### 1.3 Corteccia cerebrale

Le tre aree della corteccia cerebrale motoria (corteccia motrice primaria, area premotoria laterale, area motrice supplementare) costituiscono il livello più elevato e complesso del sistema gerarchico di controllo motorio. Ciascuna di queste proietta al midollo spinale direttamente attraverso il tratto corticospinale e indirettamente attraverso i sistemi motori del tronco dell'encefalo.

Possono essere individuate due vie, grazie alle quali i comandi motori corticali vengono convogliati; da una parte si hanno le fibre corticobulbari, che controllano i nuclei motori dei nervi cranici, dall'altra, invece, quelle corticospinali, che controllano sia i motoneuroni spinali che innervano i muscoli del tronco e degli arti che gli interneuroni.



**Fig.1.3a** Tratto corticospinale laterale

**Fig.1.3b** Tratto corticospinale mediale

Il tratto corticospinale è costituito da circa un milione di fibre, di cui la metà prende origine dalla corteccia motrice primaria (area 4 di Brodmann), situata nel giro precentrale del lobo frontale, mentre le restanti hanno origine in parte dalle aree premotoria (area 6), situata nel lobo frontale rostralmente alla precedente, e in parte dalle regioni 3, 2, 1 della corteccia somatosensitiva e regolano la ritrasmissione dei segnali afferenti a varie regioni cerebrali.

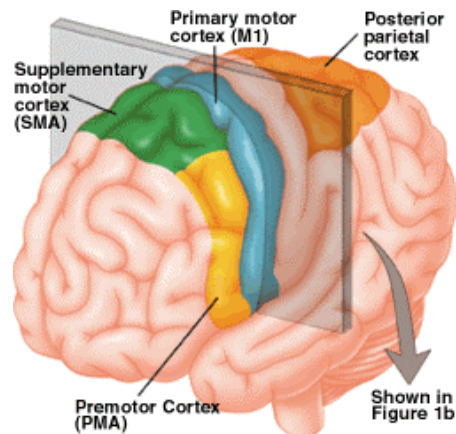


Fig.1.4 Aree della corteccia cerebrale motoria

### **1.4 L'omuncolo**

Già dalla seconda metà dell'800 diversi studi compiuti su animali dimostrarono che aree distinte del cervello controllano i movimenti della metà controlaterale del corpo. Ciò ovviamente ebbe ripercussioni di grande portata nell'ambito clinico e permisero di spiegare perché, ad es., lesioni di aree diverse del lobo frontale provocano paresi a parti del corpo controlaterali.

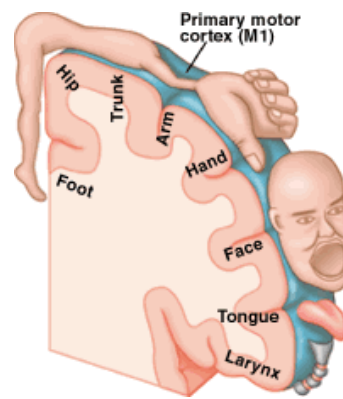


Fig.1.5 Mappa somatotopica della corteccia motrice primaria

L'approfondimento di tali studi condusse successivamente a scoprire che la corteccia primaria contiene una sorta di *mapping* motorio del corpo. Il capo è rappresentato in prossimità del solco laterale; al di sopra vi sono le rappresentazioni dell'arto superiore, del tronco e dell'arto inferiore. Come accade nel caso di mapping sensitivo, non tutte le parti del corpo sono rappresentate in modo uguale a livello della mappa motoria: regioni somatiche destinate a compiti motori fini e precisi, come faccia e mani, hanno una rappresentazione proporzionalmente più ampia a livello di tale mappa.

### **1.5 Il cervelletto**

Il cervelletto svolge un ruolo importante nella regolazione delle funzioni motorie ed è per questo motivo che molta attenzione è stata rivolta, negli ultimi anni, allo studio delle sindromi cerebellari (atassia) dalle quali si potrebbe sia risalire ai suoi meccanismi di funzionamento, sia conoscere le cause delle disfunzioni motorie, sia, infine, elaborare nuove strategie riabilitative.

Nonostante sia formato da una ripetizione modulare di circuiti nervosi elementari, si è dimostrato che la rimozione del cervelletto determina gravi alterazioni del movimento che si manifestano con la perdita di coordinazione nello svolgere compiti motori rapidi (correre, suonare il piano, parlare, etc.) anche se non determina paralisi muscolari. I sintomi delle lesioni cerebellari differiscono considerevolmente da quelle delle lesioni della corteccia motrice che provocano

diminuzione della forza e della velocità dei movimenti e fanno perdere la capacità di contrarre individualmente i vari muscoli.

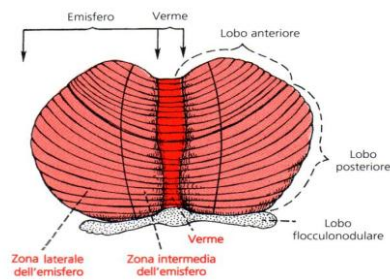
Il cervelletto esegue una comparazione tra i segnali provenienti dal feedback esterno (ottenuto dal sistema nervoso periferico che aggiorna sullo stato di ciascun segmento corporeo) e quelli trasmessi dal feedback interno (ottenuto da strutture cerebrali, come corteccia motrice e premotoria, che prendono parte alla programmazione del movimento), tramite la quale corregge il movimento nel corso della sua esecuzione qualora esso si discosti dall'obiettivo prefissato; successivamente proietta le informazioni ai sistemi motori discendenti del sistema nervoso centrale.

Caratteristica saliente del cervelletto è trarre insegnamento dai propri errori; se, ad es., un movimento non è eseguito esattamente come era stato programmato i circuiti cerebellari permettono di introdurre opportune correzioni la volta successiva, adeguando per esempio la forza muscolare. Le funzioni di maggior peso del cervelletto sono: *mantenimento dell'equilibrio* (controllato principalmente dal lobulo flocculo-nodulare); *regolazione dei riflessi posturali* essenziali per una corretta prestazione motoria (controllata dalla porzione vermiana e paravermiana del lobo anteriore); *regolazione dell'attività dei muscoli agonisti ed antagonisti (sinergia)* (controllata dalle connessioni a doppio senso tra emisferi cerebellari ed emisferi cerebrali ed alle reciproche connessioni cerebello-spinali).

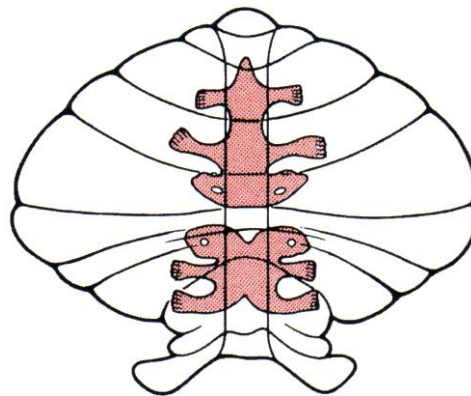
### **1.6 Aree anatomico-funzionali del cervelletto**

Il cervelletto, situato nella fossa cranica posteriore, mentre dal punto di vista anatomico può essere suddiviso in tre lobi delimitati da due profonde scissure (come si vede in figura) (il *lobo anteriore*; il *lobo posteriore*; il *lobo flocculonodulare*, il quale lavora in stretta associazione con il sistema vestibolare nel controllo dell'equilibrio corporeo), dal punto di vista funzionale, invece, può essere suddiviso diversamente secondo linee longitudinali (Fig.1.6) (il *verme*, sede della maggior parte delle funzioni di controllo del cervelletto sulle attività motorie della muscolatura assiale e di quella dei cingoli scapolare e pelvico; la *zona*

*intermedia*, implicata nel controllo della motilità delle parti distali degli arti, in particolar modo di quella delle mani, dei piedi e delle singole dita; la *zona laterale*, che opera ad un livello più elevato collaborando con la corteccia cerebrale nella programmazione di sequenze motorie, e che in sua assenza o in caso di grave lesione determina la perdita di temporizzazione e di fluida concatenazione sequenziale di gran parte dei movimenti fini, che risultano così fortemente scoordinati).



**Fig.1.6** Rapporto tra suddivisione anatomica (scritte in nero) e suddivisione funzionale (scritte in rosso)



**Fig. 1.7** Aree di proiezione somatosensoriale alla corteccia cerebellare.

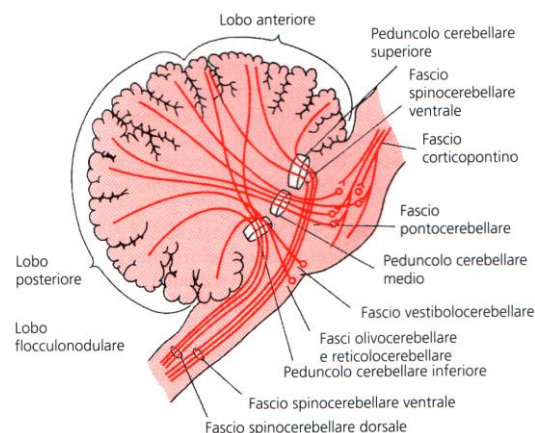
Mentre nella zona vermiana si riconosce un'organizzazione somatotopica (Fig.1.7) delle regioni assiali del corpo e nelle due zone intermedie degli arti e del viso, ricevendo afferenze dalle rispettive parti del corpo e dalle corrispondenti aree motorie della corteccia cerebrale e del tronco encefalico ed inviano a loro volta segnali afferenti alle rispettive aree di rappresentazione topografica della

corteccia motoria, del nucleo rosso e della formazione reticolare, nelle zone laterali, invece, non si hanno tali rappresentazioni topografiche essendo collegate quasi esclusivamente alla corteccia cerebrale, in particolar modo a quelle motoria e premotoria del lobo frontale e a quelle sensoriali del lobo parietale. In virtù di queste connessioni le zone laterali degli emisferi cerebellari svolgono un ruolo importante nell'organizzazione e nella coordinazione delle attività muscolari sequenziali rapide.

### **1.7 Le vie afferenti al cervelletto**

L'importante attività integrativa svolta dal cervelletto è dimostrata dal rapporto tra fibre afferenti ed efferenti nettamente a favore delle prime. Afferenze importanti vengono ricevute dalla via cortico-ponto-cerebellare, che prende origine dalla corteccia motoria, premotoria e somatosensoriale, raggiungendo l'emisfero controlaterale del cervelletto e passando attraverso i nuclei pontini ed i fasci ponto-cerebellari.

Importanti vie afferenti giungono anche dal tronco dell'encefalo: il grosso fascio olivo-cerebellare che connette l'oliva inferiore a tutte le porzioni del cervelletto; le fibre vestibolo-cerebellari alcune delle quali provengono direttamente dall'apparato vestibolare, mentre altre giungono dai nuclei vestibolari e terminano quasi tutte nel lobo flocculonodulare e nel nucleo del fastigio del cervelletto; le fibre reticolo-cerebellari, che hanno origine in differenti porzioni della formazione reticolare e terminano principalmente nelle aree cerebellari della linea mediana (Fig.1.8 ).



**Fig.1.8** Principali vie afferenti al cervelletto

### 1.8 Afferenze dalla periferia

Il cervelletto riceve dalla periferia una notevole quantità di informazioni trasmesse tramite quattro distinti fasci di fibre, due decorrenti nella parte dorsale del midollo e due nella parte ventrale. Le due vie più importanti (Fig.1.9) sono il fascio spino-cerebellare dorsale ed il fascio spino-cerebellare ventrale. Il primo trasmette segnali provenienti principalmente dai fusi neuromuscolari e in minor misura da altri recettori somatici, (organi tendinei di Golgi, i grossi recettori tattili della cute ed i recettori delle articolazioni) tramite i quali informa il cervelletto sullo stato della contrazione muscolare in atto, sul grado di tensione dei tendini, sulla posizione e la velocità del movimento dei differenti segmenti del corpo e sulle forze che stanno agendo sulle varie zone della superficie corporea.

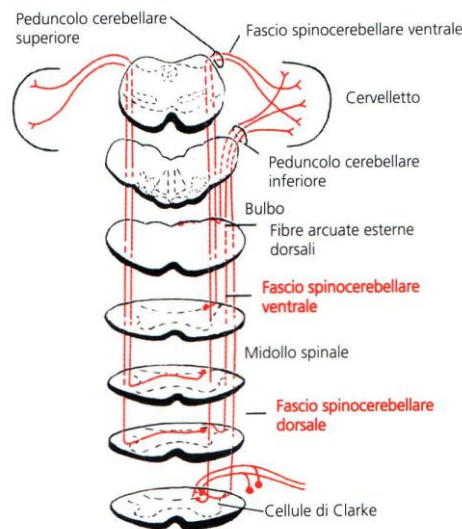


Fig.1.9 Vie spino-cerebellari

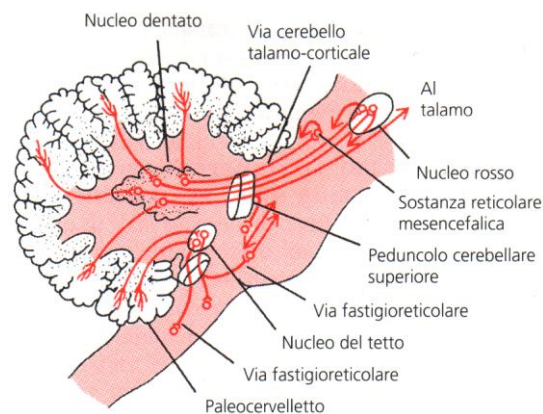
I secondi, invece, ricevono un minor numero di informazioni dalla periferia e vengono eccitati principalmente dai segnali motori in arrivo alle corna anteriori del midollo spinale dall'encefalo, tramite i fasci cortico-spinale e rubro-spinale, e dai generatori di pattern motori operanti all'interno dello stesso midollo.

Oltre ai segnali trasmessi dai fasci spino-cerebellari altri segnali raggiungono il cervelletto attraverso i cordoni posteriori utilizzando una serie di relè a livello dei nuclei delle colonne dorsali. Allo stesso modo informazioni di origine spinale arrivano alla formazione reticolare del tronco encefalico tramite la via spino-reticolare ed al nucleo olivare inferiore mediante la via spino-olivare e da

entrambe queste strutture vengono poi avviate al cervelletto. Il cervelletto dunque raccoglie continuamente informazioni relative ai movimenti ed alle posizioni di tutti i segmenti corporei, pur operando sempre a livello inconscio.

### **1.9 Segnali in uscita dal cervelletto**

Nella profondità della massa cerebellare si trovano i tre nuclei cerebellari profondi: il nucleo dentato, il nucleo interposto ed il nucleo fastigio (o del tetto). Essi ricevono dalla corteccia cerebellare e dalle vie sensitive al cervelletto. Ogni volta che un segnale afferente giunge al cervelletto esso si distribuisce o direttamente ad uno dei nuclei profondi, o alla corrispondente area cortico-cerebellare prossima al nucleo, la quale, a sua volta, rinvia dopo breve tempo i suoi segnali in uscita allo stesso nucleo profondo. Tutte le informazioni che entrano nel cervelletto finiscono dunque per raggiungere i nuclei profondi, da dove i segnali in uscita si distribuiscono ad altre parti del neurasse.



**Fig. 1.10** *Principali vie efferenti del cervelletto*

Una prima via origina dalle strutture della linea mediana del cervelletto (il verme) e da qui attraverso i nuclei del tetto, si dirige alle regioni bulbare e pontina del tronco encefalico. Questo circuito lavora in stretta associazione con i nuclei vestibolari per il controllo dell'equilibrio corporeo, e con la formazione reticolare tronco-encefalica, per la regolazione della postura.

Una seconda via origina dalla zona intermedia dell'emisfero cerebellare e, attraverso il nucleo interposto, si porta ai nuclei ventrale laterale e ventrale anteriore al talamo, da cui raggiunge la corteccia cerebrale, a varie strutture

talamiche della linea mediana e da essa ai gangli della base e al nucleo rosso ed alla formazione reticolare della parte superiore del tronco encefalico. Si ritiene che questo circuito coordini principalmente le attività reciproche di muscoli agonisti e antagonisti localizzati nelle parti distali degli arti, e specialmente dei muscoli delle mani e delle singole dita.

Una terza via prende origine dalla corteccia della zona laterale dell'emisfero cerebellare, passa al nucleo dentato e da questo ai nuclei ventrale laterale e ventrale anteriore del talamo, per terminare nella corteccia cerebrale. Questa via ha un ruolo importante nella coordinazione di sequenze motorie iniziate dalla corteccia cerebrale.

### **1.10 Vestibolo-cervelletto**

Soggetti con lesioni vestibolo-cerebellari evidenziano disturbi dell'equilibrio assai più gravi durante l'esecuzione di movimenti rapidi piuttosto che a riposo, specialmente quando i movimenti comportano variazioni di direzione che stimolano i canali semicircolari. Ciò suggerisce che il vestibolo-cervelletto possa essere particolarmente importante nell'assicurare il giusto equilibrio tra l'attività dei muscoli agonisti ed antagonisti del tronco e dei cingoli durante variazioni rapide della posizione del corpo.

Uno degli aspetti più problematici del controllo dell'equilibrio è rappresentato dal tempo necessario per trasmettere al cervello i segnali relativi alla posizione e alla velocità del movimento dei vari segmenti corporei: ad es. la trasmissione di tali informazioni dai piedi al cervello è evidente che, anche utilizzando le vie afferenti a più alta velocità di conduzione (circa 120 m/s nel caso del sistema spino-cerebellare), richieda pur sempre un tempo di 15/20 ms. Durante quest'intervallo di tempo, un soggetto che corre, sposta i piedi anche di 25 cm; quindi non avviene mai che, nel corso di un movimento rapido, i segnali originati dalle strutture periferiche impegnate raggiungano l'encefalo contemporaneamente all'esecuzione del movimento stesso. In realtà i segnali provenienti dalla periferia comunicano all'encefalo non solo la posizione dei diversi segmenti corporei, ma anche la velocità e la direzione del loro movimento. Si pensa allora che una delle funzioni del vestibolo-cervelletto sia di calcolare, a partire dalla velocità e dalle direzioni dei vari segmenti corporei in movimento, la posizione in cui questi ultimi

verranno a trovarsi alcuni millisecondi più tardi. I risultati di questi calcoli rappresentano un'informazione chiave per il cervello al fine del passaggio al movimento successivo della sequenza.

Si presume dunque che, nel controllo dell'equilibrio corporeo, i dati provenienti dall'apparato vestibolare vengano messi in un tipico circuito a feed-back, capace di operare, quasi istantaneamente, sui segnali motori posturali le correzioni necessarie al mantenimento dell'equilibrio, anche durante compiti motori estremamente rapidi, comprese le rapide variazioni di direzione del movimento. Il feedback originato dalle aree periferiche del corpo concorre a questo processo e si realizza principalmente attraverso la mediazione del verme cerebellare, la cui funzione è in relazione con la muscolatura assiale scapolare e pelvica. E' compito del vestibolo-cervelletto quindi calcolare istante per istante le posizioni che i rispettivi segmenti corporei dovrebbero avere, nonostante il lungo ritardo con cui i segnali giungono al cervelletto dalla periferica.

### **1.11 Spino-cervelletto**

Durante l'esecuzione di un movimento le zone intermedie cerebellari ricevono due tipi di informazioni: una diretta a feedforward proveniente dalla corteccia motoria e dal nucleo rosso, che comunica al cervelletto il programma motorio previsto per le frazioni di secondo immediatamente successive, un'altra a feedback proveniente dai segmenti corporei periferici, specialmente quelli distali degli arti, in grado di comunicare al cervelletto le caratteristiche dei movimenti così come effettivamente si svolgono.

Dopo che la zona intermedia del cervelletto ha confrontato il programma motorio previsto con il movimento in atto, il nucleo interposto invia segnali correttivi alla corteccia motoria tramite i relè talamici e alla porzione magnocellulare (la porzione inferiore) del nucleo rosso, la quale a sua volta dà origine al fascio rubrospinal. Quest'ultimo, insieme al fascio corticospinale, va ad innervare i motoneuroni più laterali delle corna anteriori della sostanza grigia spinale, che controllano i muscoli delle parti distali degli arti ed in particolare della mani e delle dita.

Questa componente del sistema cerebellare provvede ad assicurare movimenti fluidi e coordinati attraverso il controllo dei muscoli agonisti ed antagonisti delle

parti distali degli arti, nell'ambito di prestazioni motorie complesse e altamente finalizzate.

Sembra che lo spino-cervelletto confronti le "intenzioni" dei livelli più elevati del sistema di controllo motorio, trasmesse alla zona intermedia attraverso la via cortico-ponto-cerebellare, con l'"esecuzione" da parte dei rispettivi segmenti corporei, valutata attraverso i feedback di origine periferica. In effetti, attraverso i fasci spino-cerebellari ventrali, il cervelletto riceve anche "una copia" (copia efferente o corollaria) dei segnali di comando motorio che in ogni istante raggiungono i motoneuroni delle corna anteriori spinali, ed anche quest'informazione viene integrata con i segnali che giungono dai fusi neuromuscolari e da altri propriocettori, principalmente attraverso la via spino-cerebellare dorsale.

### **1.12 Cerebro-cervelletto**

Le zone laterali dei due emisferi cerebellari, molto sviluppate e di dimensioni considerevoli, testimoniano la capacità dell'uomo di programmare, di compiere sequenze complesse di movimenti con mani e con dita e infine di parlare.

Può sembrare singolare, dunque, che tali zone non dispongano di un canale di entrata diretto per le informazioni provenienti dalle parti periferiche del corpo e che quasi tutti i collegamenti tra le aree cerebellari in esame e la corteccia cerebrale non si realizzino con la corteccia motoria primaria, ma con l'area premotoria e con la corteccia somatosensoriale primaria ed associativa. Nonostante questo la delezione o la distruzione delle zone laterali degli emisferi cerebellari, insieme con quella dei relativi nuclei dentati, può provocare gravi mancanze di coordinazione dei movimenti finalizzati di mani, dita, piedi e del linguaggio. La spiegazione può essere fornita dai risultati di recenti ricerche, in cui tali regioni appaiono coinvolte in due aspetti importanti, ancorché indiretti, del controllo motorio: pianificazione e temporizzazione di sequenze motorie.

Il confronto tra l'attività dei neuroni del dentato e quella dei neuroni dell'interposito durante l'esecuzione di vari compiti motori documenta che le zone cerebellari, di cui questi due nuclei fanno parte, svolgono funzioni diverse e suffragano l'ipotesi che il cerebro-cervelletto prende parte alla preparazione del

movimento, mentre lo spino-cervelletto è implicato nell'esecuzione dei movimenti e negli aggiustamenti a feedback.

### **1.13 Postura**

Il mantenimento della postura, ossia la posizione che il corpo assume grazie alle proprietà di legamenti e muscoli, è uno dei compiti principali svolti dalla corteccia motoria.

La postura è la risultante di tre aspetti fondamentali:

- 1) anatomico (inerenze di tipo strutturale)
- 2) muscolare- neurofisiologico (inerenze di tipo funzionale)
- 3) psicomotorio

Quando parliamo di postura, dunque, ci riferiamo ad una condizione strutturale e funzionale del corpo umano che acquista posizioni differenti nell'espletamento dei compiti motori, statici o dinamici, al fine di mantenere condizioni di stabilità (massimo equilibrio), di ergonomia (minimo consumo energetico) e, infine, di comfort (minimo stress sulle strutture anatomiche).

Nello studio della cosiddetta postura standard vari sono gli aspetti interessanti di cui occorre tenere memoria: le ossa degli arti inferiori hanno un allineamento ideale per sostenere il peso corporeo e ridurre l'affaticamento e il dispendio energetico; la posizione della testa analogamente è eretta in posizione ben equilibrata, in modo che sia permessa la minima tensione a carico dei muscoli del collo; la posizione di torace e dorso favorisce la funzione respiratoria; la colonna vertebrale presenta curve che minimizzano gli effetti delle forze agenti sul corpo (lordosi cervicale, cifosi dorsale, lordosi lombare).

Abbiamo detto che una buona postura prevede uno stato di equilibrio muscolo-scheletrico che protegge le strutture portanti del corpo da eventuali lesioni o deformazioni progressive, che possono ingiungere malgrado tali strutture siano "studiate" appositamente per evitarle.

In queste condizioni i muscoli lavorano in modo efficace. Quindi un buon equilibrio muscolare deve assicurare un buon allineamento evitando tensioni eccessive e contratture di articolazioni, legamenti e muscoli.

Uno degli aspetti fondamentali della postura risulta essere quindi l'equilibrio che, per essere definito, si avvale del concetto di baricentro, ossia del centro della massa corporea di un oggetto.

Da alcuni principi della statica si apprende l'esistenza di due tipi di equilibrio: *equilibrio statico* (capacità di un corpo di mantenersi stabile da fermo); *equilibrio dinamico* (capacità di un corpo di mantenersi stabile durante un movimento). Diversi sono gli aspetti implicati nel conseguimento della stabilità di un corpo; essi sono suddivisibili in *primari* (posizione del centro di massa; geometria della base di appoggio, ossia dello spazio che racchiude, delimitandola, la regione occupata dalla zona plantare dei piedi; gli effetti reciproci tra la linea passante per il baricentro e la base di appoggio stessa; il vettore risultante della quantità di moto del corpo) e in *secondari* (orientamento dello sguardo del soggetto; suo stato fisico ed emozionale).

#### **1.14 Meccanismo di regolazione della postura**

Il Sistema Nervoso Centrale (SNC) regola il movimento attraverso comandi motori inviati alle ossa, alle articolazioni e ai muscoli che rivestono, così, il ruolo precipuo di esecutori materiali di ogni azione. Ad essi si aggiungono dei cosiddetti pattern, considerati schemi motori geneticamente determinati e, quindi, considerabili come reali proprietà intrinseche della "macchina cervello". Quando un individuo si muove, interagendo con l'ambiente esterno, propone i propri effettuando una continua modulazione delle afferenze esteroceettive e propriocettive che organizza nella strutturazione di nuovi schemi motori. Lo sviluppo della normale motricità consiste, dunque, nell'apprenderne nuovi, sempre più selettivi e funzionali grazie alla grande quantità di informazioni tattili, cinestetiche, sensoriali che arrivano al SNC durante l'esecuzione delle varie azioni quotidiane. Di seguito tratteremo proprio l'influenza di compiti motori e cognitivi sulla postura.

# Capitolo 2

## ***Double Cognitive Task e I movimenti fini della mano***

## Introduzione

Il controllo della postura è stato considerato, fino a non molto tempo fa, un'azione automatica o riflessa del sistema nervoso, facendo fede all'ipotesi che il mantenimento dell'equilibrio richieda un livello d'attenzione minimo, laddove per attenzione si intende la capacità dell'individuo di processare l'informazione.

L'organismo tende a mantenere l'equilibrio in posizione eretta in regime di massima economia energetica. In virtù di questo comportamento posturale tende ad assumere posizioni di bassa stabilità e a compensare le variazioni richieste con piccoli e rapidi movimenti.

Recenti ricerche hanno evidenziato che il mantenimento della postura è possibile grazie al sistema sensoriale capace di fornire con continuità riferimenti esterni (verticale; ambiente) ed interni (angoli alle articolazioni, tensioni muscolari, carico sullo scheletro). Pertanto è a livello centrale che, attraverso elaborazioni che tengono conto anche dei comandi volontari, hanno origine i segnali di controllo motorio delle masse muscolari. Ciò suggerisce che la richiesta attenzionale nel controllo posturale sia significativa e che questa vari in funzione di eventuali attività cognitive e posturali ad essa concomitanti, dall'età dell'individuo e dall'abilità di bilanciamento.

Si è giunti così ad una assunzione diametralmente opposta a quella tradizionale, ossia si è evinto che la capacità di mantenere la posizione eretta è il frutto di una complessa integrazione tra le informazioni provenienti dai vari organi di senso, congiunte a quelle relative alla risposta muscolo-scheletrica e al sistema nervoso nel suo complesso.

Al fine di avvallare questa nuova linea di pensiero, è stato adottato il cosiddetto *Double Cognitive Task* in cui, ad un task di controllo posturale (considerato il task primario), ne è associato uno secondario concomitante, costituito da un atto cognitivo. La diminuzione delle performance in uno dei due task è indice dell'interferenza tra i processi che li controllano, e di conseguenza costituisce una misura della condivisione delle loro peculiari risorse attenzionali.

L'uso del dual task per studiare attenzione e controllo posturale non è però privo di controversie. Alcuni studiosi hanno riscontrato che le variazioni nelle performance dei dual task sono dovute esclusivamente al tipo di task secondario eseguito; in questo modo è possibile risalire alla richiesta attenzionale relativa

solo al task posturale. Altri autori, invece, hanno riscontrato variazioni di performance in entrambi i task; le loro ricerche sono state condotte sia per verificare la richiesta attenzionale del task primario posturale, ottenuta dai cambiamenti del tipo di task secondario, sia per valutare gli effetti che un task secondario comporta sul controllo posturale.

Entrambi i gruppi di ricercatori sono concordi, però, nell'affermare che, si possa dedurre un effetto peggiorativo delle performance in almeno un task qualora, nell'esecuzione di più task concomitanti, posturali e cognitivi, la valutazione della loro richiesta attenzionale sia maggiore della somma di quella necessaria se eseguiti singolarmente,. Da questa osservazione se ne può derivare un'altra non completamente ovvia, ossia che gli studi che mostrano gli effetti d'interazione di task primari e task secondari non possono essere utilizzati per stimare la sola richiesta attenzionale associata al mantenimento dell'equilibrio o ad un atto cognitivo, valutabili eventualmente con *single task* posturali o mentali, ma possono permettere esclusivamente una valutazione della relazione, più o meno deleteria, che ciascuno esercita sull'altro.

Come si può riscontrare in letteratura, differenti sono state le modalità con le quali i vari autori hanno realizzato il *Double Cognitive Task*. Di seguito vengono presentate alcune delle ricerche fatte dai maggiori esponenti di questo campo.

### **2.1 Relazione tra attenzione, postura e andatura in soggetti giovani adulti**

Per primi vengono valutati gli studi eseguiti in merito alla relazione che intercorre tra attenzione, postura e andatura in soggetti giovani.

*Kerr* e colleghi [1] hanno eseguito esperimenti di dual task con task primari e secondari entrambi di due tipologie differenti; nella fattispecie costoro hanno scelto per la valutazione cognitiva un task di memoria spaziale (visiva), il task di Brooks, consistente nel ricordare la disposizione dei numeri scritti su una tabella, ed un task di memoria non-spaziale (verbale), consistente, invece, nella memorizzazione di frasi; le due prove sono state realizzate dai loro pazienti sia da seduti che nella cosiddetta posizione *tandem Romberg*; il test, condotto su 24 soggetti, opportunamente bendati, ha evidenziato risultati interessanti; infatti si può constatare come l'aumento di difficoltà del task posturale, apportato dalla

posizione tandem Romberg, influisce significativamente solo sul task cognitivo spaziale, in corrispondenza del quale si nota un numero di errori medio decisamente superiore rispetto a quello registrato in tutte le altre prove. Inoltre, nell'esecuzione di entrambi i task cognitivi, non hanno riscontrato sensibili differenze nei *postural sway* calcolati. Dai risultati ottenuti e visibili in Fig.2.1 gli autori giungono all'importante conclusione che, nei giovani, l'aumento di difficoltà del task primario ha effetti sull'atto cognitivo e che, però, non tutti i task cognitivi incidono allo stesso modo sul task posturale.

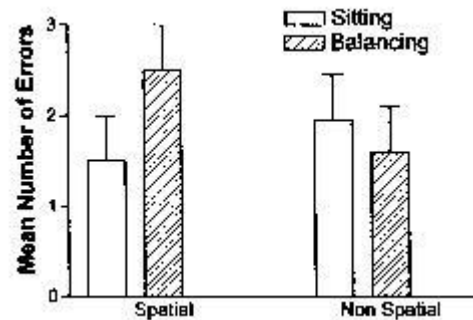


Fig.2.1 Numero di errori medio registrato nei soggetti valutati da Kerr in task di tipo spaziale e non spaziale

Il gruppo di *Lajoie* [1], invece, ha eseguito dual task in cui è stato valutato il tempo di risposta ad un segnale uditivo, adottato come task secondario cognitivo, e presentato in varie situazioni posturali: seduti, in posizione eretta statica, valutata sia con l'uso di un supporto normale che di uno ridotto, e durante camminata. I risultati hanno evidenziato un tempo di reazione medio che si dilata con l'aumentare della complessità del task posturale. Inoltre, nonostante affermino che il task cognitivo da loro utilizzato sia semplice, hanno ipotizzato che l'utilizzo di task secondari più impegnativi possa influire negativamente sul mantenimento dell'equilibrio e sull'andatura.

Dagli esperimenti di *Maki* e *McIlroy* [1] possono essere tratte considerazioni sull'influenza che attenzione e livello di sveglia hanno sul controllo posturale. Essi hanno valutato, tramite l'uso di una pedana stabilometrica, le variazioni del COP di 39 soggetti giovani e sani, preliminarmente sottoposti a questionari per la valutazione del loro stato d'ansia e successivamente a quattro diverse condizioni operative:

- a) condizione di single task posturale;
- b) condizioni di assenza di rumore, allo scopo di aumentare il livello di sveglia;
- c) durante la lettura di un brano, allo scopo di distogliere l'attenzione senza aumentare il livello di sveglia;
- d) durante conteggio silenzioso da sette a zero, allo scopo di aumentare sia l'attenzione che il livello di sveglia.

I risultati hanno dimostrato che valori del livello di sveglia, quantificato attraverso l'analisi della conduttanza epidermica, al di sopra della media sono riscontrabili solo durante la realizzazione del task matematico. In soggetti con livelli di ansia superiori alla norma sono state riscontrate oscillazioni posturali più marcate, con ulteriore accentuazione durante la realizzazione del task matematico; ciò ha suggerito ai due ricercatori che in soggetti con stati d'ansia anomali la valutazione del COP, quando il task secondario è un task di tipo matematico, debba avvenire previa analisi della conduttanza epidermica, poiché, come si può evincere in questo caso, il livello di sveglia fisiologico può essere una potenziale causa di errore quando si tenta di capire l'influenza dell'attenzione sul controllo posturale. Anche *Yardley* [1] e i suoi collaboratori hanno studiato il rapporto tra richiesta attenzionale ed equilibrio, andando ad analizzare, nei 30 secondi preposti per ogni prova, la variazione del COP di 36 individui sani. 12 soggetti sono stati testati in piedi su una pedana, in condizioni statiche, mentre gli altri 24 su una superficie instabile, resa tale da dei cuscinetti gonfiabili. Tre sono state le differenti condizioni visive alle quali sono stati sottoposti i loro pazienti:

- 1. ad occhi chiusi;
- 2. con immagine statica;
- 3. con immagine in movimento.

Il task secondari utilizzati sono stati:

- a) conteggio a ritroso eseguito ad alta voce (implicata attenzione e articolazioni);
- b) conteggio a ritroso eseguito in silenzio (implicata solo l'attenzione);
- c) ripetizione di un numero (implicata solo l'articolazione mandibolare);
- d) senza task concorrente.

Ai soggetti viene richiesto di soddisfare il task secondario in modo accurato e veloce, anche se aumentano le difficoltà relate al mantenimento dell'equilibrio. I risultati mostrano che il task posturale non ha effetti sulle performance del task secondario, mentre i task secondari influenzano l'oscillazione posturale, come si può vedere nella figura seguente.

Da essa si può capire come gli autori siano giunti alla conclusione che l'aumentata instabilità prodotta dal task matematico ad alta voce è dovuta principalmente all'effetto delle articolazioni piuttosto che all'attività mentale. Ciò suggerisce, allora, che l'effetto delle articolazioni, legato alla respirazione, implicata nell'atto del parlare, comporta perturbazioni alla postura..

Essi concludono il loro lavoro, sostenendo l'ipotesi che l'instabilità dipenda dal fatto che parlare e mantenere l'equilibrio siano due azioni che condividono strutture cerebrali comuni.

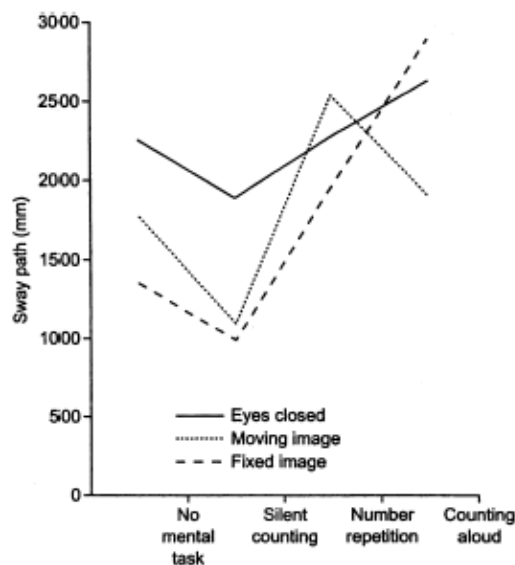


Fig.2.2 Curve relative all'andamento dello sway path in trial con task matematici e condizioni visive di diversa difficoltà

## **2.2 Studi su movimenti di tapping**

Negli ultimi anni si è sviluppato un filone di ricerca che riguarda lo studio dei movimenti fini della mano, ossia di quei movimenti che coinvolgono la parte più distale dell'arto superiore, le dita della mano; in particolar modo le analisi effettuate si sono avvalse della valutazione dei movimenti di prensione, in cui il pollice viene in contatto con le altre dita.

Come primo esempio apportiamo gli studi compiuti da L. Jancke [2], il quale, per studiare le aree motorie interessate ai movimenti delle dita ha invitato più soggetti a compiere diverse tipologie di task concernenti il cosiddetto *finger tapping*, in cui il movimento di prensione avviene, esclusivamente e ripetutamente, tra il pollice e l'indice. I soggetti valutati sono stati sottoposti in occasioni diverse alle seguenti prove: *finger tapping* semplice; *finger tapping* compiuto in sincronia con un metronomo realizzato con uno stimolo uditivo; *finger tapping* compiuto in sincronia con un metronomo realizzato con uno stimolo visivo.

Dalle elaborazioni da lui svolte interessanti risultati si sono riscontrati circa l'utilizzo dei segnali metronometrici; si è potuto dedurre che la risposta ottenuta durante la presentazione di uno stimolo visivo è maggiormente variabile rispetto a quella ottenuta durante l'ascolto di un metronomo uditivo, presumibilmente a causa di effetti di distrazione o forse per la diversa elaborazione del feedback cognitivo nei due casi; l'importanza del feedback cognitivo (uditivo o visivo) è dimostrata anche dalla diversità riscontrata nella attivazione della corteccia premotoria durante l'esecuzione delle due tipologie di trial e assente nel caso di prova condotta in assenza di segnale di sincronizzazione.

Altro esempio interessante riguarda le ricerche di Devin L. Jindrich [3], che ha improntato il suo lavoro principalmente sullo studio dei muscoli scheletrici delle dita della mano, valutando il tapping su un keyswitch (Fig.2.3), da cui ha avuto la possibilità di analizzare i parametri dinamometrici delle sezioni dell'arto superiore coinvolte durante il semplice movimento richiesto.

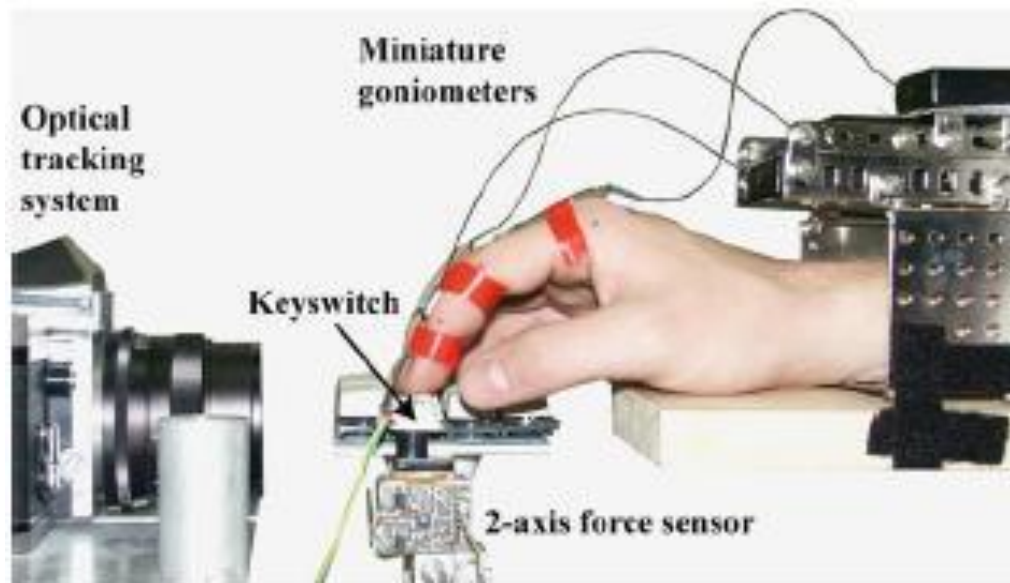


Figura 2.3 Keyswitches usato nell'esperimento di Jindrich

Grazie al dispositivo da loro ideato è stato possibile calcolare le forze i gioco durante successive pressioni del tasto e la disposizione spaziale delle varie falangi delle dita.

I risultati ottenuti hanno posto in evidenza come l'aumento dell'estensione del dito fosse associata direttamente all'incremento dei momenti torcenti, delle energie, e dell'affaticamento.

### **2.3 Studi su movimenti di Opposite finger**

Altri studi sui movimenti fini della mano sono stati condotti al fine di valutare non più solo fenomeni di tapping, ma anche task coinvolgenti il movimento di più dita, anche in questo caso interessanti sono state le valutazioni annesse, dirette o indirette, delle aree corticali coinvolte durante i differenti test.

Un primo esempio riguarda i lavori compiuti da Petr Hlus'ti'k [4], il quale attraverso un task semplice di opposizione delle dita in sequenze più o meno lunghe ha studiato l'attivazione della Corteccia Premotoria (PM), attraverso la registrazione di immagini provenienti da risonanza magnetica (fMRI) durante le prove di tapping. L'autore dopo aver condotto prove di tapping su due gruppi di soggetti, mancini e destrimani, valutandone esclusivamente la mano dominante, è giunto alla conclusione dell'ambidestria dei mancini; l'attivazione corticale della

PM da parte dei mancini non è esclusivamente presente nell'emisfero destro ma anche in quello ipsilaterale e ciò, quindi, diversamente da quanto accade nei destrimani, nei quali l'attivazione è delimitata al solo emisfero sinistro. Tali conclusioni e i dati ottenuti possono essere molto utili nello studio dell'aprassia e nel suo trattamento.

Altri importanti studi sui movimenti delle dita sono stati compiuti da Michele Tinazzi e Giampietro Zanette [5], i quali hanno realizzato alcune valutazioni sul MEP (Motor Evoked Potentials) cioè sulla nascita di potenziali motori corticali durante sequenze di tapping. Anche queste valutazioni sono state fatte sottoponendo i soggetti a sequenze ripetitive di prensione delle dita (pollice in opposizione con indice, medio, anulare e mignolo). Durante l'esperimento ai soggetti è stato richiesto di compiere più sequenze, alcune delle quali più semplici mentre altre di maggiore complessità. L'elaborazione dei risultati ha evidenziato valori del MEP sensibilmente modificati durante l'esecuzione di sequenze semplici, mentre ha dimostrato un cambiamento minimo nelle sequenze complesse.

# **Capitolo 3**

## ***Protocollo Sperimentale***

## **Introduzione**

Perché un test funzionale possa essere utilizzato quale strumento di diagnosi in clinica occorre poter confrontare i risultati ottenuti con una scala di riferimento. Per stilare una eventuale scala di riferimento occorre una fase di ricerca in ambito clinico e, consultando la letteratura, si nota che esistono due direzioni tipiche in cui si suole procedere.

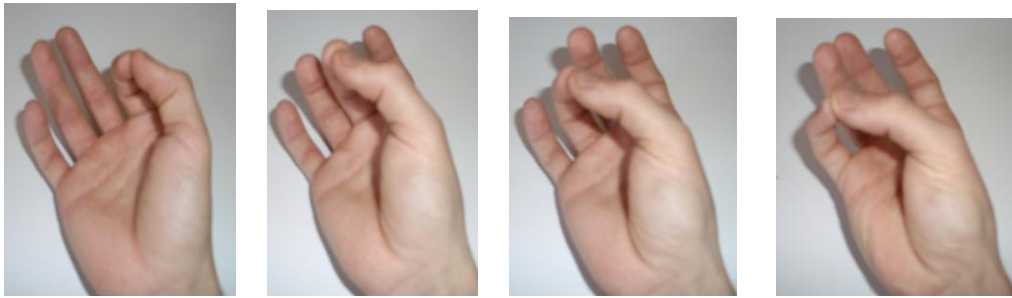
In primo luogo, qualora l'indagine miri a creare una prima diagnosi di una malattia o a quantificare la presenza di affezioni dovute all'età o dipendenti da patologie la cui esistenza è già nota, è evidente l'importanza di una inderogabile valutazione preventiva di soggetti sani, dai quali ottenere i valori di riferimento.

In secondo luogo, nel caso in cui si eseguano double task, sia con task secondario di tipo cognitivo (*Double Cognitive Task*) che di tipo motorio (*Double Motor Task*), risulta evidente, invece, l'importanza che assume una valutazione preventiva e separata (*Single Task*) sia del task primario, in genere costituito dal controllo posturale (valutazione quantitativa tramite pedana stabilometrica), sia del task secondario cognitivo o motorio-cognitivo.

Ciò su cui ci siamo focalizzati come primo passo è stata la creazione di un protocollo standard da attuare con meticolosità su tutti i soggetti valutati. A tal fine abbiamo considerato importanti gli aspetti che descriveremo nei paragrafi successivi.

### **3.1 Decisione delle Sequenze**

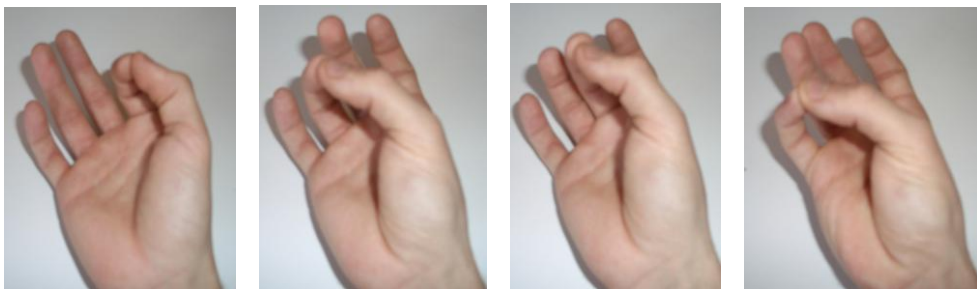
Il primo elemento da noi valutato è stata la scelta della sequenza da richiedere ai soggetti in esame. Allo scopo di avere parametri di confronto migliori e più convincenti si è deciso di realizzare sequenze di opposizione delle dita con differenti livelli di difficoltà.



*Figura 3.1 Sequenza numero uno*

La sequenza più semplice consta nell'opposizione del pollice con le altre dita secondo la sequenza indice (I), medio (M), anulare (R), mignolo (L) (Fig.3.1).

Anche la sequenza più complessa consta nell'opposizione del pollice con le altre dita, però, in questo caso, secondo la sequenza indice (I), anulare (R), medio (M), mignolo (L).



*Figura 3.2 Sequenza numero due*

Questa sequenza ci è servita per valutare la capacità di un soggetto nel mantenere la performance conseguita durante i trial più semplici.

### **3.2 Visione del Filmato**

Per rendere le prove del tutto standard e indipendenti da aspetti legati alla soggettività dell'operatore, anziché destinare direttamente ad esso l'addestramento dei pazienti, si è pensato di istruirli tramite la visione di un filmato in cui è rappresentata una mano che esegue la sequenza richiesta. A tal fine, per ogni sequenza, si sono realizzati due filmati con angolazioni diverse, così da poter mostrare al soggetto tutti i particolari e in maniera inequivocabile.

Dopo tale operazione preliminare al soggetto viene richiesto di ripetere all'istante la sequenza per verificarne l'apprendimento. Nel caso di dubbi nell'esecuzione il paziente può richiederne una seconda visione.

### **3.3 Condizioni Visive**

Importante al fine di studiare gli effetti che il feedback visivo esercita sul controllo posturale e sui compiti motori fini si è scelto di effettuare le prove sia con occhi chiusi (EC) sia con occhi aperti (EO).

Nel caso di task compiuti con occhi chiusi si è posta attenzione a rendere condizioni ambientali di buio totale (luci spente). Invece durante i task compiuti ad occhi aperti il soggetto era tenuto, per tutta la durata del compito motorio, a fissare un bersaglio posto a 175 cm di distanza. In entrambi i casi lo scopo è rendere il più possibile migliore la concentrazione del soggetto. Nel caso EC il soggetto utilizza come punto di riferimento per il controllo posturale il proprio corpo e quindi utilizza un riferimento "interno"; nel caso EO, invece, il soggetto utilizza come riferimento il centro del bersaglio, elevato dunque a riferimento "esterno".

### **3.4 Condizioni Posturali**

Due sono le tipologie posturali alle quali sono stati sottoposti i soggetti; la prima prevede di stare seduti su una sedia confortevole e soprattutto priva di supporti per appoggiarvi le braccia, al fine di evitare vari impedimenti al compimento del task motorio fine (condizione Sitting); la seconda invece prevede il mantenimento della postura eretta in piedi su pedana con le braccia adese al corpo (condizione Standing).



*Figura 3.5 Posizione Sitting*



*Figura 3.6 Posizione Standing*

L'utilizzo della piattaforma stabilometrica ha permesso di ottenere informazioni sul mantenimento dell'equilibrio durante le varie prove; i dati raccolti da tale strumento e che hanno destato maggiormente la nostra attenzione riguardano Swaypath e SwayArea (di cui al Capitolo 4).

L'utilizzo della due condizioni posturali, coniugate a quelle visive ha permesso di registrare informazioni sul conseguimento dell'equilibrio e sul mantenimento

entro un certo range delle oscillazioni del centro di pressione sia nel caso di occhi chiusi che in quello di occhi aperti.

### **3.5 Modalità Esecutive**

Altra importante scelta riguarda le modalità con le quali far eseguire il task. A tal proposito si è optato per le seguenti: Self Pace Mode (SPM), consistente nel far eseguire la sequenza alla velocità desiderata dal soggetto, senza imporre vincoli se non quello di ricercare la maggiore precisione possibile (questo tipo di modalità ci ha permesso di ottenere valori basali); Maximum Speed (MS) consistente nel far eseguire la sequenza alla massima velocità possibile, privilegiando in questo caso la rapidità d'esecuzione; Metronome (M), consistente nel far eseguire la sequenza ritmata da un segnale acustico alle frequenze di 1 Hz, 2.5 Hz e 3.5 Hz (al soggetto viene richiesto di eseguire il movimento di prensione nell'istante in cui sente il segnale di "beep" ).

Le tre frequenze sono state scelte in modo tale da costringere ogni soggetto a velocità basse (1 Hz), medie (2.5 Hz) e alte (3.5 Hz).

I dati ottenuti ci sono serviti per appurare la capacità del soggetto di eseguire il compito motorio sotto un vincolo esterno e osservarne la disposizione del soggetto a soddisfare la velocità richiesta.

### **3.6 Randomizzazione**

Durante test sperimentali una delle cose più importanti è sicuramente la randomizzazione degli eventi; ciò comporta di sottoporre i soggetti alle stesse prove, ma proposte secondo un ordine, ogni volta differente. La randomizzazione è utile soprattutto per evitare che i possibili effetti di learning che si possono instaurare nell'esecuzione dei task risultino evidenti inficiando i dati ottenuti.

Nel nostro protocollo la randomizzazione è stata applicata a tutte le condizioni descritte in precedenza (EO e EC; Sequenze IMRL e IRML; Metronomo, MS e SPM; Standing e Sitting)

Si ricorda infine che il soggetto conclude l'esperimento nell'arco di due sedute distanziate l'una dall'altra da un intervallo temporale di una settimana, scelto al

fine di evitare, anche in questo caso, effetti di learning e di memorizzazione del task.

### **3.8 Scelta dei soggetti**

I soggetti sono stati scelti in modo tale da conseguire omogeneità sia per ciò che concerne il sesso (sono stati valutati cinque maschi e cinque femmine), sia per quanto riguarda l'età (si sono scelti soggetti in età compresa tra i 18 e i 22 anni), sia per ciò che descrive lo stato di salute (si sono scelti pazienti in condizioni di salute buone), sia, infine, per quanto riguarda la mano dominante (i soggetti scelti sono tutti destrimani).

### **3.9 Conclusione e applicazione del protocollo**

Di seguito è rappresentato un semplice schema delle operazioni che vengono realizzate durante le prove sperimentali, poste in ordine cronologico.

- 1) Visione del filmato della prima sequenza.
- 2) Inizio delle prove MS, SPM, Metronomo (1 Hz, 2.5 Hz, 3.5 Hz), con EO o EC, randomizzate, e con un intervallo di riposo di 1 minuto tra una prova e l'altra.
- 3) Pausa di 10 minuti circa per far riposare il soggetto.
- 4) Visione del filmato della seconda sequenza.
- 5) Inizio delle prove MS, SPM, Metronomo (1 Hz, 2.5 Hz, 3.5 Hz), con EO o EC, randomizzate, e con un intervallo di riposo di 1 minuto tra una prova e l'altra.
- 6) Il paziente ritorna dopo una settimana per eseguire il task con condizione posturale non ancora eseguita.

# **Capitolo 4**

## ***Acquisizione dei dati***

## **Introduzione**

L'acquisizione dei dati da noi effettuata è avvenuta tramite due strumenti differenti: un guanto ingegnerizzato, i cui segnali sono stati registrati tramite il software **Soft Glove**, e una piattaforma stabilometrica i cui segnali in uscita vengono gestiti tramite il software **Win Posture**.

Soft Glove è stato utilizzato nelle prove in condizione posturale sia Sitting che Standing, mentre Win Posture, ovviamente, è stato adottato esclusivamente nelle prove in condizione Standing.

Entrambi i programmi sono risultati fondamentali in fase di archiviazione, elaborazione e trattamento dei segnali ma anche dei dati anagrafici e dei parametri dei vari pazienti.

Le analisi statistiche sono poi state eseguite tramite il potente programma di calcolo Origin.

### **4.1 Descrizione dell'interfaccia grafica di Soft Glove**

L'interfaccia grafica di Soft Glove è formata da una serie di pannelli destinati ciascuno ad una particolare funzione. I cinque pannelli sui quali è possibile lavorare e modificare i vari parametri interessanti sono:

1. Pannello principale
2. Pannello tabelle
3. Pannello per la visualizzazione real time delle sequenze eseguite
4. Pannello per la visualizzazione dei grafici
5. Pannello per la visualizzazione dei risultati

Di seguito ne diamo una breve descrizione.

#### **4.11 Pannello principale**

L'interfaccia grafica presenta una finestra principale dalla quale è possibile selezionare i parametri desiderati. Tale pannello è suddiviso in diverse aree così come si può notare in Fig. 4.1

The screenshot shows the 'Hand Task' software interface with the following sections:

- SUBJECT SETTINGS:** Includes fields for First Name (Jesi), Surname (Default), Age (30), Sex (M), and Disease Duration (30 Month). There is a Notes field with the value 140 and a 'Load Subject Data' button.
- TASK SETTINGS:** Includes fields for Time [sec] (25.60), Error Threshold (70.00), and Frequency [Hz] (1000.00). A 'Save settings' button is present.
- TASK MODE:** Includes a 'Condition' section with radio buttons for Standing, Sitting, DE, CE, and LS. There is also a 'Posture' checkbox and a 'Create sequency' button.
- RESULTS (mean):** Includes two tables for 'Finger Frequency [Hz]' and 'Touch Duration [mSec]'. Each table has columns for Index, Middle, Ring, and Little fingers, and rows for Right and Left hands. All values are currently 0.00. A 'Graphic' button is located below the tables.

At the bottom of the interface are 'START' and 'QUIT' buttons.

Figura 4.1 Pannello principale

In *Subject Settings* è possibile settare i dati personali di un soggetto quali nome, cognome, età, sesso, durata della eventuale malattia; in questa parte del pannello è possibile anche scrivere alcune note utili a chi conduce l'analisi per tenere memoria di elementi caratteristici del trial realizzato o relativi al paziente su cui si è condotta l'indagine. Ogni volta che un nuovo paziente viene esaminato i suoi dati vengono automaticamente salvati in un database, prima di iniziare l'acquisizione. In questa sezione è possibile, inoltre, visualizzare le informazioni relative ad uno dei soggetti presenti nell'archivio qualora si decida di eseguire un nuovo trial su un individuo già schedato o qualora si desideri rianalizzare dei trial già archiviati.

In *Task Setting* si ha la possibilità di settare o modificare alcune impostazioni relative all'acquisizione; di particolare importanza è il settaggio della durata dell'esperimento che per default è posta pari a 25.6. Le impostazioni di default vengano caricate all'avvio del programma dal file "Settings.ini"; qualora si decida di modificarle le si deve salvare tramite il tasto **Save setting**

In *Task Mode* è invece possibile selezionare il tipo di task che il soggetto dovrà eseguire. Selezionando la checkbox **Posture** l'operatore può eseguire una vera e

propria prova di *double motor task* comprendente il task posturale, valutato tramite l'uso della pedana stabilometrica e di Win Posture, e il task motorio coinvolgente i movimenti fini della mano. Checkando Posture, **Standing** diventa attivo automaticamente e non deselezionabile (Sitting risulta, logicamente, deselezionato). Anche le condizioni visive di un paziente durante il task, giocano un ruolo cardine nella bontà della sua realizzazione. È stato necessario quindi introdurre la possibilità di scegliere la modalità visiva desiderata: EO (Open Eyes); EC (closet Eyes); LS (Look the screen). In *Task Mode* è possibile anche settare il tipo di modalità che si vuol far compiere al paziente: Self Pace Mode; Maxmimum Speed; Methronome. Infine è possibile sia scegliere se il task manuale lo si vuol far condurre con la mano destra, con la sinistra o con entrambe le mani, sia far apparire il Pannello tabelle per la scelta della sequenza desiderata.

#### **4.12 Pannello tabelle**

Prima di iniziare la registrazione dei dati è necessario che l'operatore definisca la sequenza che il soggetto dovrà eseguire e che il software prenderà come riferimento per la gestione degli errori. Per crearla esiste un apposito pannello al quale si accede con la pressione del tasto "Create sequency" nel riquadro *Task Mode*. È importante specificare che con il termine sequenza si intende l'ordine con cui le dita dovranno toccare il pollice.

In Fig.4.2 è mostrato il pannello compilato.

The image shows a software interface for selecting a sequence of finger touches. It consists of two tables, one for the right hand (Dx) and one for the left hand (Sx). Each table has 10 columns representing finger positions and 4 rows representing different fingers: Index, Middle, Ring, and Little. Green checkmarks indicate the selected sequence for the right hand: Index at position 1, Middle at position 2, Ring at position 3, and Little at position 4. The left hand table is empty. Below the tables are four buttons: OK, Default (highlighted with a dashed border), Clear, and QUIT.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Index Dx	✓									
Middle Dx		✓								
Ring Dx			✓							
Little Dx				✓						

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Index Sx										
Middle Sx										
Ring Sx										
Little Sx										

Buttons: OK, **Default**, Clear, QUIT

Figura 4.2 Pannello tabelle compilato

Nell'esempio presentato si vede un caso particolare; dalla scelta della mano con cui eseguire il task, avvenuta nel Pannello principale, dipende quale delle due tabelle nel Pannello tabelle risulta attiva quando si desidera scegliere la sequenza; in Fig. 4.2 è presentata quella di default già selezionata quando il pannello è aperto ed eventualmente ripristinabile premendo il tasto **Default**; sequenze differenti oltre a quella standard di default (IMRL, ossia Index-Medium-Ring-Little) possono essere vagliate semplicemente cliccando sulle varie caselle; ovviamente non si ha la possibilità di selezionare due caselle per colonna, né di lasciare una o più colonne prive di selezione se queste sono frapposte tra altre due.

#### **4.13 Pannello per la visualizzazione real time delle sequenze eseguite**

Questo pannello appare in fase di acquisizione e serve all'operatore per avere un riscontro visivo in tempo reale dei movimenti del soggetto o, nel caso di condizione LS, per fornire un feedback visivo al soggetto stesso. Nel pannello sono visualizzate una mano destra e una sinistra, eventualmente celate qualora si decida di eseguire il task con una sola delle due (Fig.4.3).

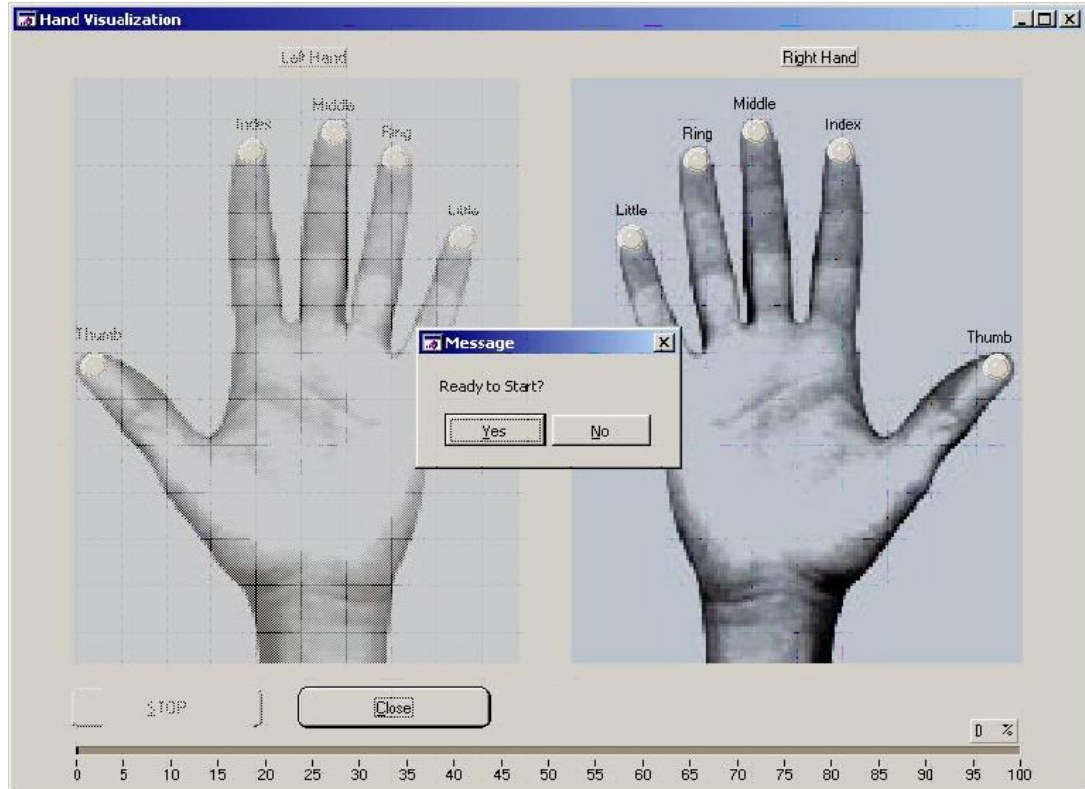


Figura 4.3 Pannello per la visualizzazione real time delle sequenze eseguite

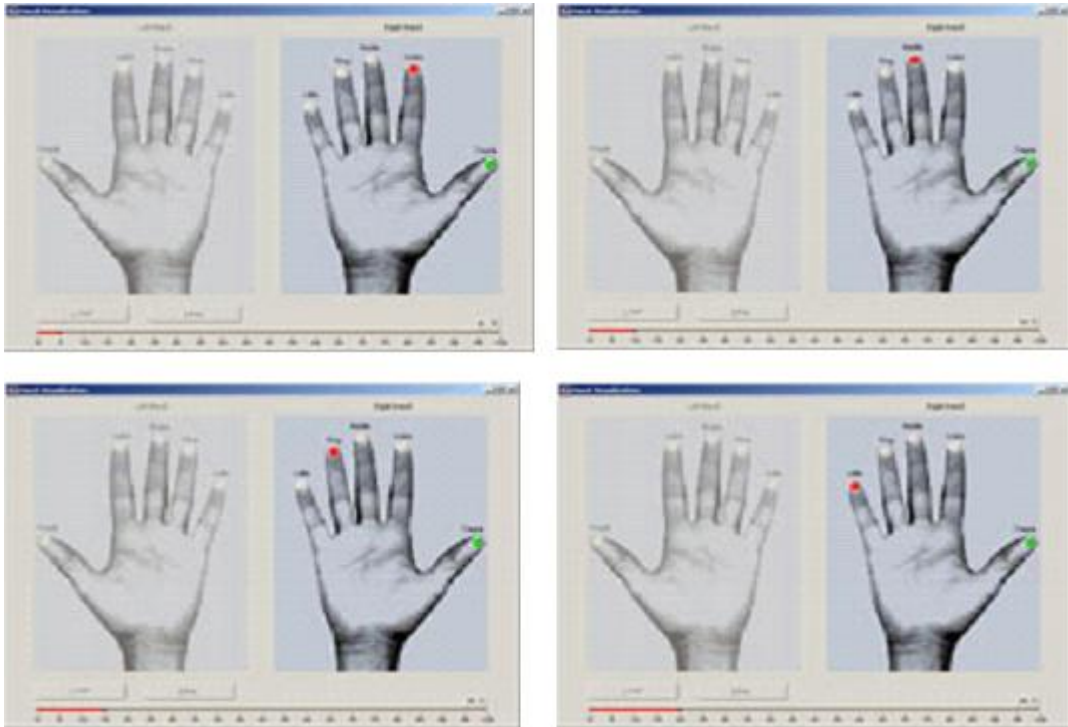


Figura 4.4 Esempio di visualizzazione real time della sequenza 2-3-4-5 nella mano destra

Si ricorda che, qualora si sia scelta la valutazione in concomitanza con il task relativo al mantenimento della postura, “Soft Glove” attende un segnale di trigger dalla pedana, prima di iniziare l’acquisizione; tale segnale arriva nell’istante in cui si avvia l’acquisizione da piattaforma. Ciò è uno degli aspetti fondamentali di tale software: infatti la registrazione simultanea dei dati relativi al controllo posturale e di quelli relativi al task motorio secondario permettono in fase di valutazione un’analisi quantitativa della correlazione tra bontà di esecuzione del task posturale e bontà di esecuzione di quello motorio fine.

#### **4.14 Pannello per la visualizzazione dei grafici**

Al termine di ogni task o quando si decide di analizzare trial già archiviati, è sempre possibile graficare i risultati ottenuti tramite il Pannello per la visualizzazione dei grafici in cui si può rappresentare sia l’andamento relativo ad ogni singolo dito che quello relativo a tutte le dita insieme. Ciò consente all’operatore di avere anche una visione qualitativa della realizzazione della sequenza.

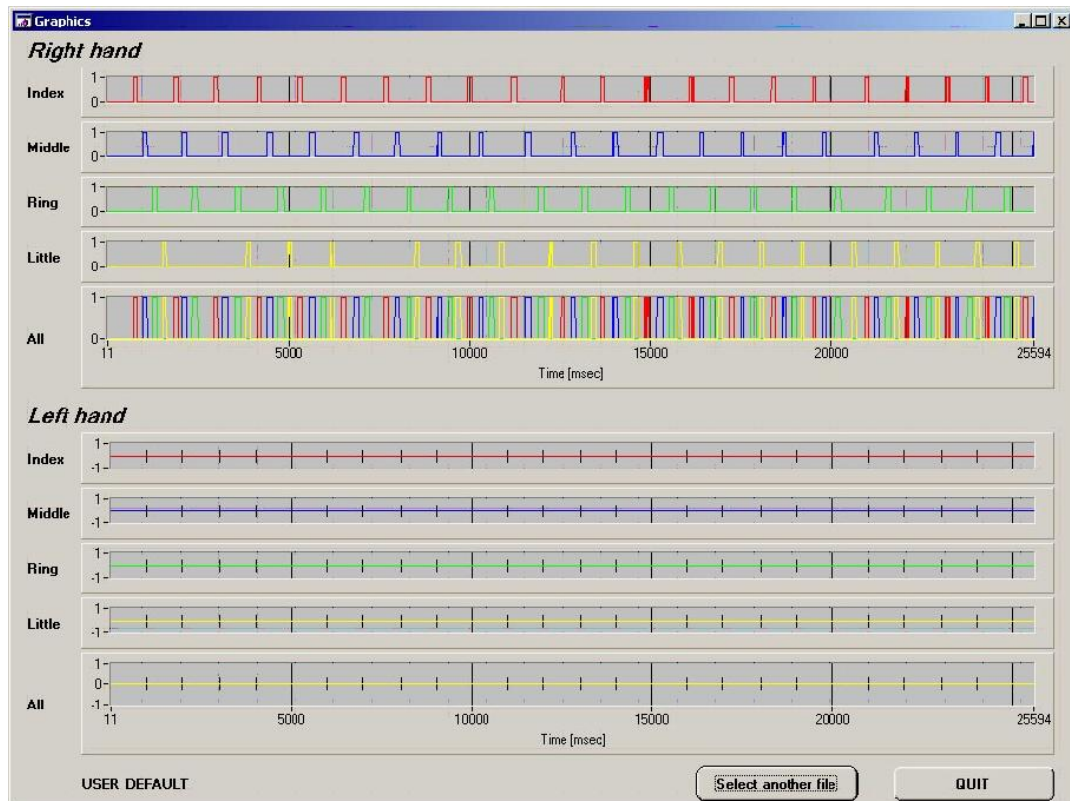


Figura 4.5 Esempio di grafico della sequenza 1-2-3-4 nella mano destra

#### 4.15 Pannello per la visualizzazione dei risultati

In questo ultimo pannello viene realizzata una sorta di refertazione, che è possibile stampare e in cui vengono visualizzati i parametri studiati, i dati personali del soggetto e quelli relativi al tipo di task eseguito.

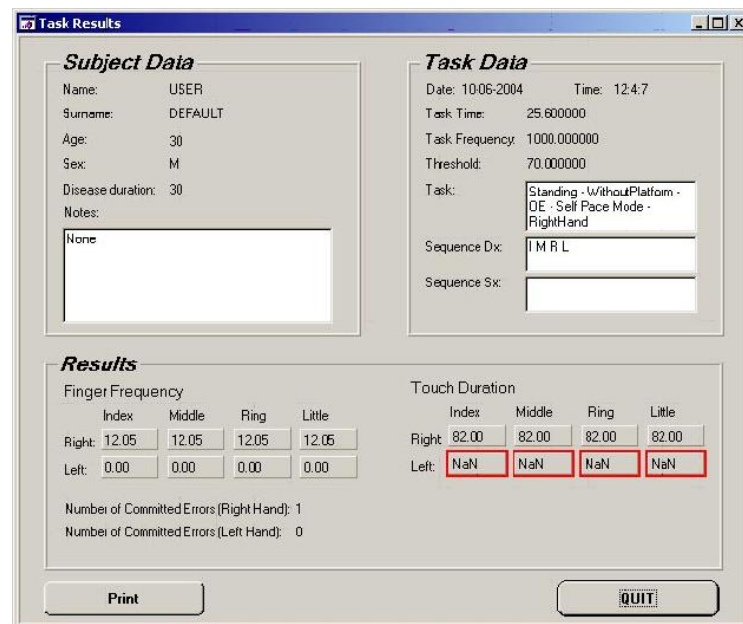


Figura 4.6 Pannello per la visualizzazione dei risultati

Poiché i dati risultanti da ciascuna singola registrazione vengono salvati in un file di testo con standard ASCII, essi sono reperibili semplicemente per poter essere analizzati in un secondo momento anche attraverso l'utilizzo di altri strumenti software.

#### **4.2 Piattaforma stabilometrica**

Il mantenimento dell'equilibrio dipende da informazioni fornite da tre sistemi sensoriali: Sistema Vestibolare; Sistema Visivo; Sistema Somatosensoriale.

E' attraverso la loro integrazione in tempo reale che il centro di gravità corporeo viene mantenuto, sia nella stazione eretta che nella deambulazione all'interno del poligono di sostegno.

L'esame posturografico è in grado di valutare l'efficienza di questi tre sottosistemi e quantificare la performance posturale, e ciò grazie alla piattaforma stabilometrica.

Le piattaforme stabilometriche, si avvalgono dell'uso di due principali sistemi di trasduzione alternativi: gli *estensimetri*, che misurano le variazioni della resistenza elettrica del sensore causata da fenomeni di compressione e trazione; i *trasduttori piezoelettrici*, che misurano la polarizzazione elettrica per effetto di una deformazione meccanica applicata a particolari materiali.

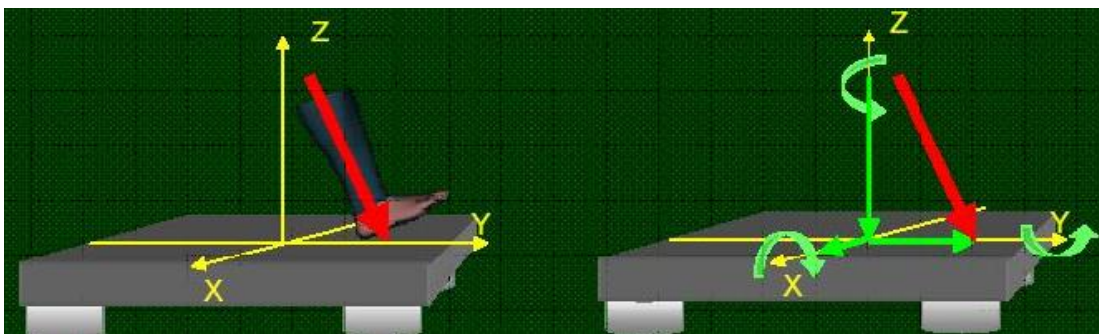


Figura 4.7 Visualizzazione delle direzioni di azione di forze e momenti

Differenti configurazioni e topologie di sensori offrono l'opportunità di misurare tutte e/o alcune delle grandezze cinetiche d'interesse, quali forze e/o momenti delle forze; le piattaforme commercializzate sono di tre tipi: pedane di forza a sei componenti (piezoelettriche o estensimetriche); pedane di forza a tre componenti;

pedane di pressione. Questi tipi di strumenti permettono, al massimo, la misurazione delle tre forze  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , e delle tre coppie meccaniche  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  (Fig 4.7).

Il soggetto viene fatto salire con i piedi nudi su di una piattaforma munita di tre sensori di peso posti ai vertici di un triangolo equilatero.

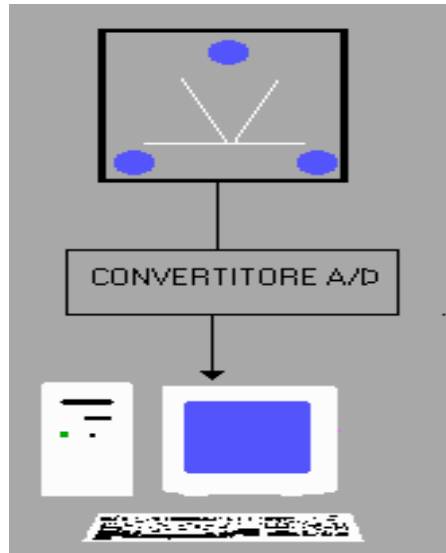


Figura 4.8 Passaggio dati da piattaforma a calcolatore

Il segnale rilevato dai sensori, quindi amplificato e convertito da analogico a digitale, tramite fibra ottica viene acquisito da un calcolatore. Win Posture permette di valutare le grandezze statistiche, archiviare i dati raccolti, e consentendo l'elaborazione on-line, di graficare i risultati real time.

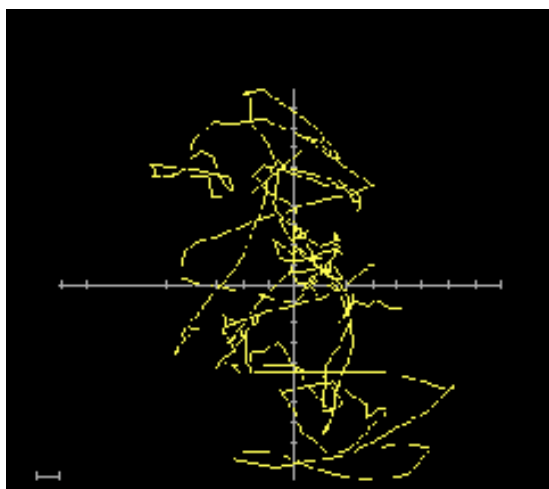


Figura 4.9 Lo statokinesigramma

A tal proposito è interessante lo statokinesigramma che rappresenta lo spostamento reale del centro di pressione (COP), detto gomitolino, in riferimento all'appoggio plantare. Grandezze legate direttamente allo statokinesigramma sono la superficie e la lunghezza del COP (Fig. 4.9).

I valori  $X$  medio e  $Y$  medio rappresentano il punto medio delle oscillazioni rispettivamente sul piano frontale e sagittale; il loro valore riguarda le deviazioni segmentario-toniche dell'asse corporeo.

Altro importante parametro riguarda l'analisi della LFS (Leight Function Surface), che descrive l'energia spesa durante una prova, energia che è direttamente collegata allo Sway Path realizzato. E' possibile allora dati due Sway Area di egual valore, registrati su due diversi trial, dello stesso paziente o di diversi pazienti, riscontrare differenti energie, dovuti proprio a percorsi diversi e, in generale, non lunghi in modo uguale. Un grande interesse riveste, secondo la nostra esperienza, lo studio degli spettri frequenziali. L'oscillazione del centro di pressione, rilevato mediante la stabilometria statica, può essere considerato come una funzione  $f(t)$  non periodica ma limitata nel tempo e quindi analizzabile mediante l'integrale di Fourier.

Il soggetto sano posto sulla piattaforma stabilometrica da luogo ad una serie di oscillazioni sul piano sagittale (antero-posteriore) asse  $y$ , e sul piano frontale asse delle ascisse ( $x$ ). Possiamo notare come la funzione di queste oscillazioni è caratterizzata, nel dominio del tempo, da una ampiezza che può assumere valori positivi e negativi rispetto ad un valore iniziale. Osservando nel particolare l'analisi spettrale di queste funzioni mediante la FFT possiamo notare una frequenza fondamentale intorno a 0.02 Hz sia per la funzione di  $x$  che per quella di  $y$ . Questa frequenza fondamentale rappresenta l'offset del sistema posturale statico. E' con questa frequenza che il sistema rileva le afferenze visive, propriocettive, vestibolari, determina le dovute correzioni posturali resettando le precedenti grandezze.

Il sistema posturale fine è in grado di controllare solamente le frequenze molto basse che determinano il valore dello statokinesigramma.

### 4.3 Win Posture

Il software da noi utilizzato per gestire i dati provenienti dalla pedana è Win Posture, che è composto principalmente da tre pannelli, uno per visualizzare i dati dei soggetti, il secondo per la gestione dei dati dei soggetti e il terzo per l'osservazione in real time dell'andamento del task. In Fig. 4.10 possiamo osservare il pannello principale, che fornisce l'opportunità di scegliere, tramite menù, quale operazione si desidera fare

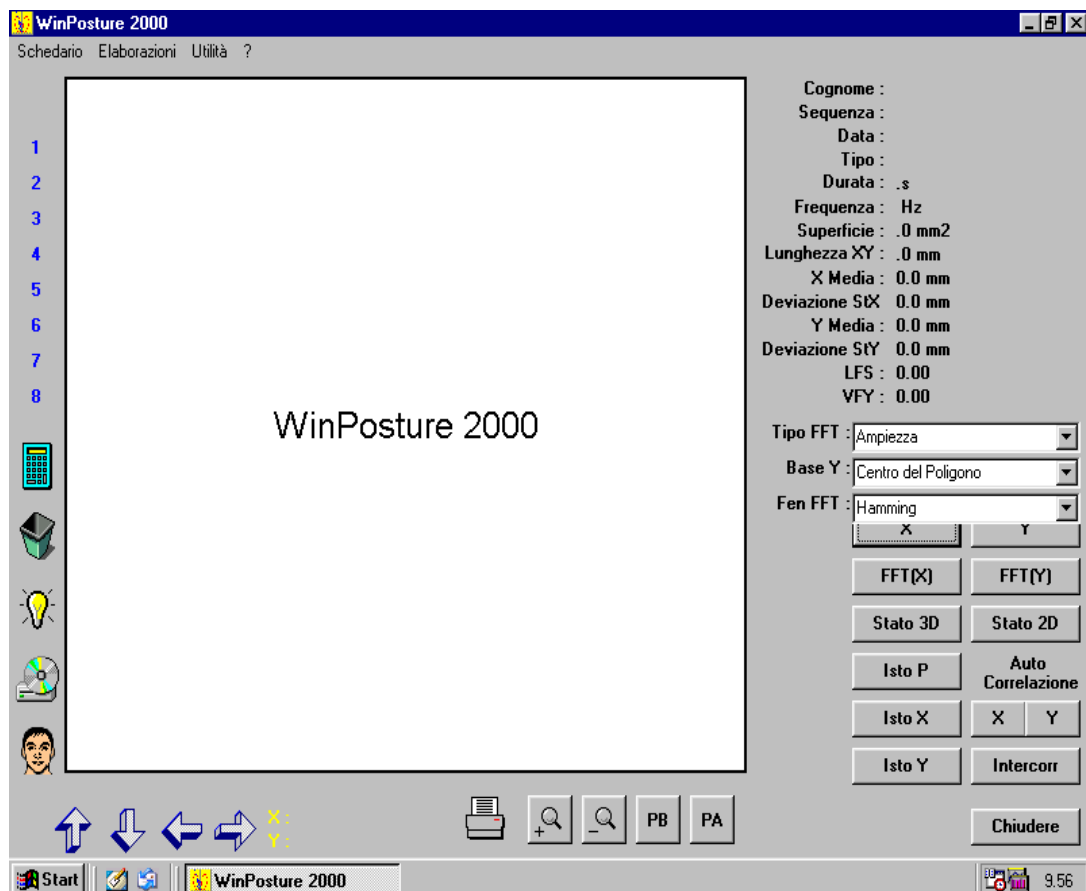


Figura 4.10 Schermata iniziale Win Posture

La Fig.4.11, invece, illustra la schermata per l'inserimento dei dati del nuovo soggetto, la loro gestione e la denominazione del tipo di test che si desidera eseguire.

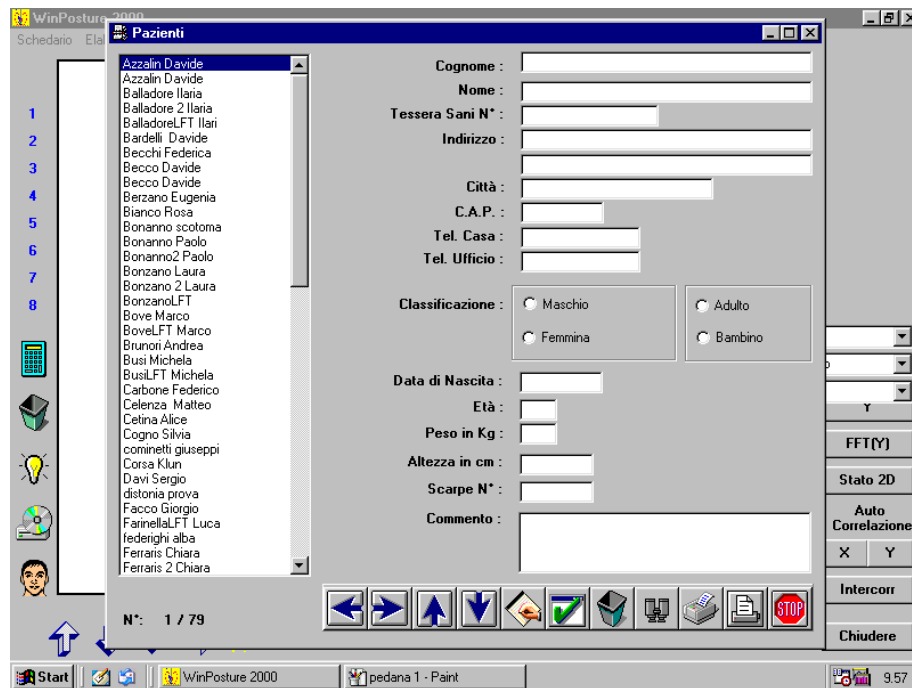


Figura 4.11 Inserimento dati soggetto

Infine abbiamo il pannello che permette la visione in real time dell'andamento dello statokinesigramma (fig 4.12).

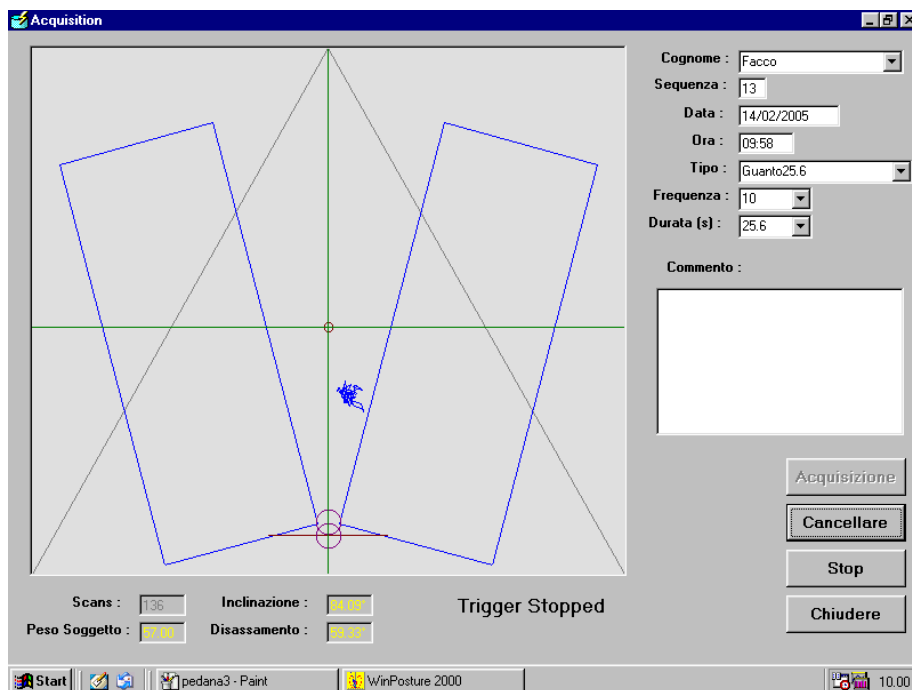


Figura 4.12 Acquisizione dati in real time

Al termine dell'acquisizione veniva salvato il file dati , e si procedeva con un'altra acquisizione dello stesso soggetto; nel caso di nuovo soggetto si ripeteva la procedura iniziale di inserimento dati.

# **Capitolo 5**

## ***Risultati***

## Introduzione

I dati da noi ottenuti sono stati analizzati principalmente al fine di valutare l'andamento dei dati provenienti dal guanto e dalla piattaforma, cercandone eventuali correlazioni.

I parametri di maggiore interesse sono risultati essere frequenze di tocco, durata del tempo di contatto tra un dito e il pollice, numero di errori compiuti nell'eseguire le sequenze.

Le prove sperimentali da noi eseguite allo scopo precipuo di testare strumento e software hanno riguardato la valutazione dei movimenti fini della mano, sia in modalità Sitting, sia in modalità Standing; si sono così ottenuti interessanti considerazioni sulle capacità di un individuo di compiere determinati atti motori e sulle caratteristiche dell'atto motorio stesso.

### 5.1 Relazione tra Sitting e Standing

Nell'analisi dei dati ci si è accorti inizialmente delle differenze registrate tra la modalità Sitting e quella Standing; a tal fine si sono valutate le diverse tipologie (MS, SPM, EC, EO) nelle due sequenze.

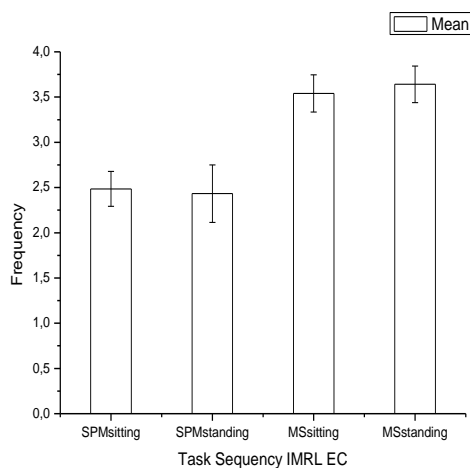


Grafico 5.1 a

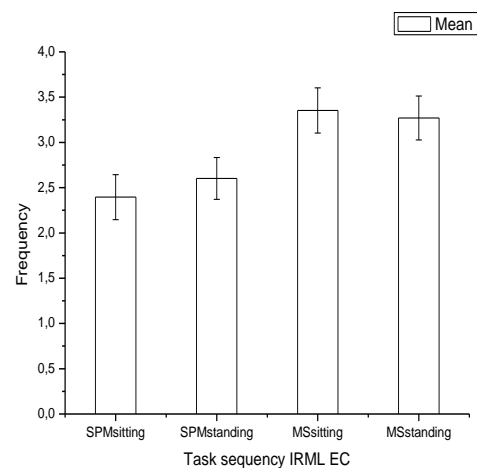


Grafico 5.1 b

Come si può notare dai grafici che mettono in relazione le due sequenze condotte nelle due condizioni posturali e ad occhi chiusi, sia nella modalità MS che in quella SPM ad occhi chiusi, non si hanno particolari differenze se non ch e le

prove MS hanno valori di velocità medi sempre superiori a quelli riscontrati durante un SPM.

Invece notiamo una leggera differenza nei dati che riguardano le prove con metronomo nelle due modalità posturali.

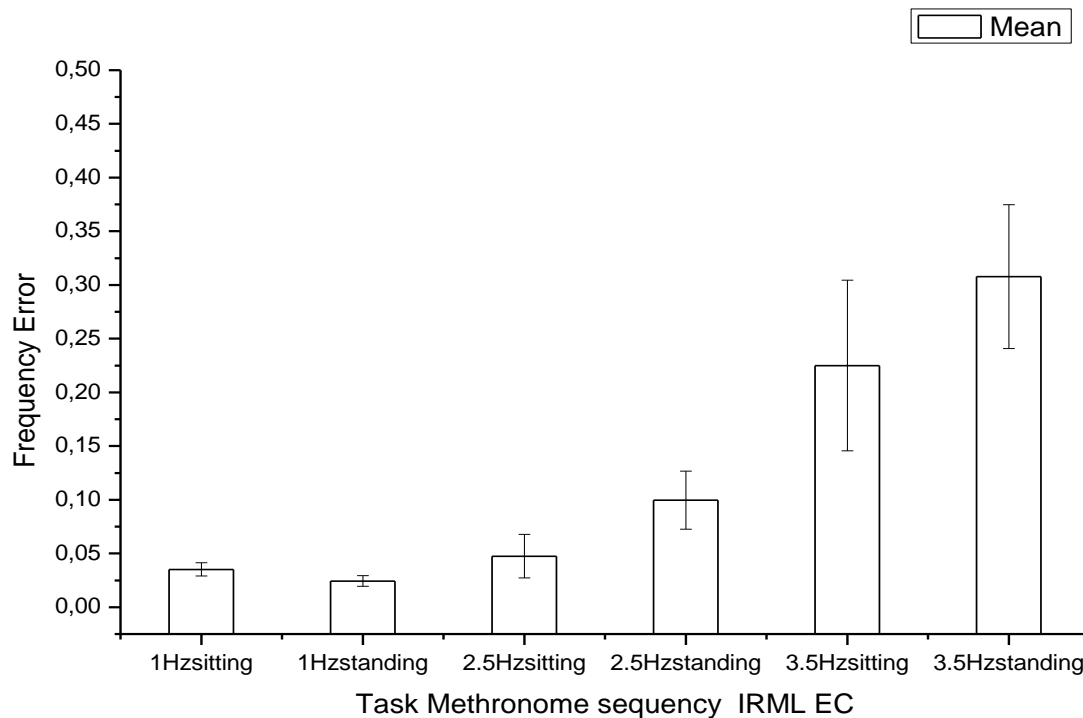


Grafico 5.2

Come si vede dal grafico notiamo un Frequency Error (che è il risultato della sottrazione della frequenza media ottenuta dai soggetti con la frequenza del metronomo che avrebbero dovuto seguire) in aumento con l'aumentare delle frequenze del metronomo, ma soprattutto notiamo un Frequency Error maggiore per quanto riguarda la fase Standing.

## 5.2 Relazione tra le due diverse sequenze

Analizzando e confrontando SPM e MS durante l'esecuzione delle due sequenze non si riscontrano differenze sensibili. Ciò è visibile sia nelle prove da seduti che in quelle condotte da in piedi. Confrontando però i risultati ottenuti nelle due diverse condizioni posturali si nota un lieve incremento dei valori in tutte le prove condotte da in piedi.

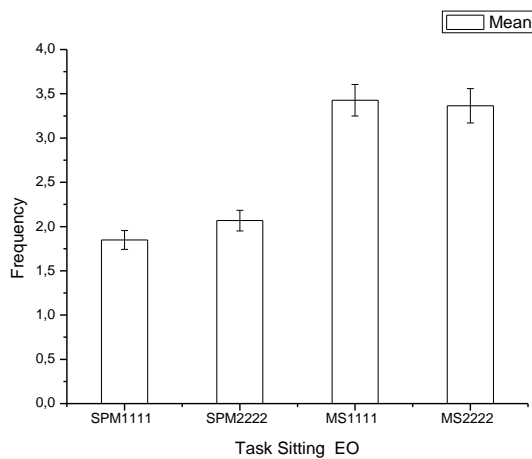


Grafico 5.3 a

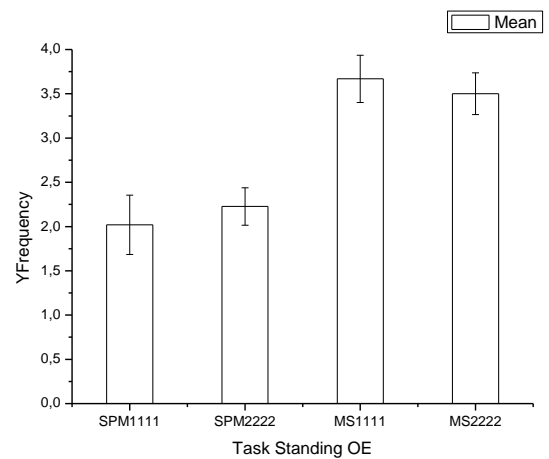


Grafico 5.3 b

Con l'utilizzo dello stimolo uditivo, si nota come con l'aumentare della velocità richiesta l'errore aumenti; nel caso Standing notiamo uno standard error più elevato, quindi una risposta molto disomogenea tra i soggetti.

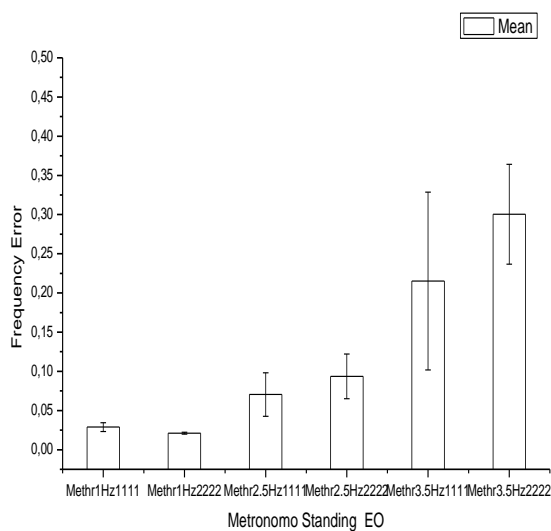


Grafico 5.4 a

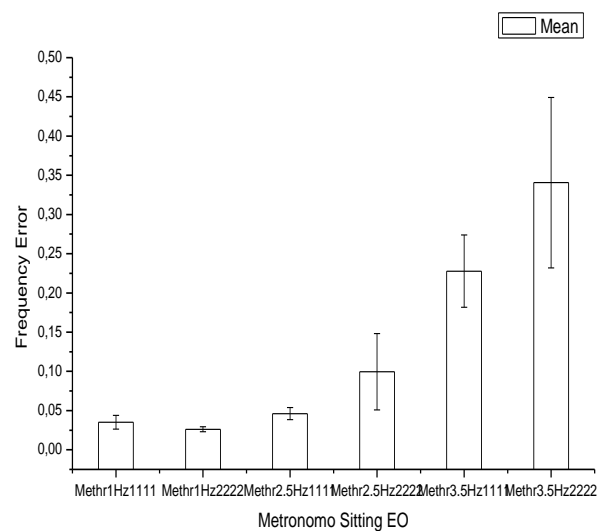


Grafico 5.4 b

### 5.3 Tempo di Tocco

Con il termine Tempo di tocco indichiamo la quanto il soggetto tiene a contatto il polpastrello del pollice con quello di un altro dito durante lo svolgimento del compito motorio. Come è abbastanza intuibile durante SPM la durata del tempo di tocco è molto elevata, risultato amplificato durante le prove ad occhi aperti.

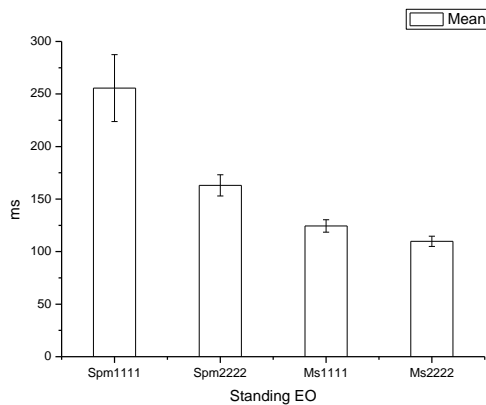


Grafico 5.5 a

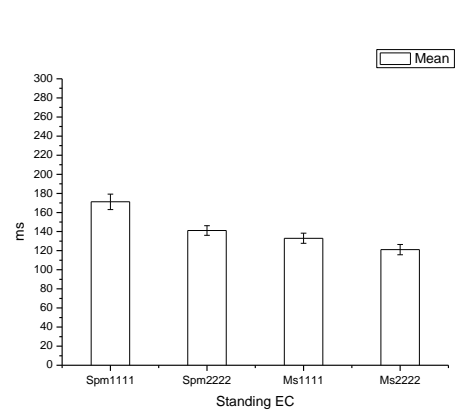


Grafico 5.5 b

Si può notare inoltre come la durata di tocco sia inversamente proporzionale con la velocità scandita dal metronomo; più la velocità è bassa, più il tocco è di lunga durata.

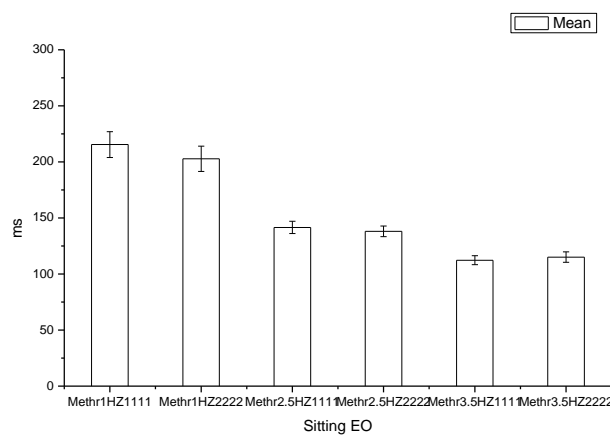


Grafico 5.6

## 5.4 Sway Path a Sway Area

I dati presentati in questo paragrafo sono relativi esclusivamente alle prove compiute con la piattaforma stabilometrica; con i termini Sway Path e Sway Area andiamo a definire il percorso compiuto dal COP e l'area da esso occupata. Se l'area occupata da un soggetto è elevata, ciò indica che durante il task il soggetto ha avuto difficoltà a mantenere l'equilibrio.

Abbiamo potuto appurare come l'unico dato rilevante nell'esecuzione del compito motorio è che i soggetti hanno Sway Path e Sway Area maggiori durante le prove ad occhi chiusi, indifferentemente dalla modalità esecutiva, così come si può notare dai grafici che seguono.

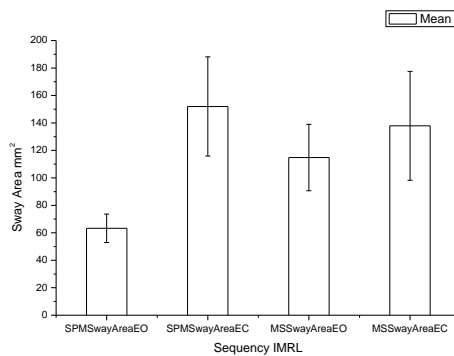


Grafico 5.7 a

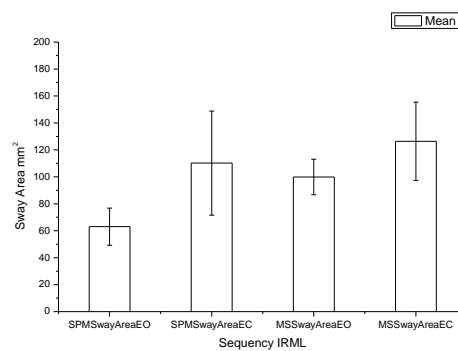


Grafico 5.7 b

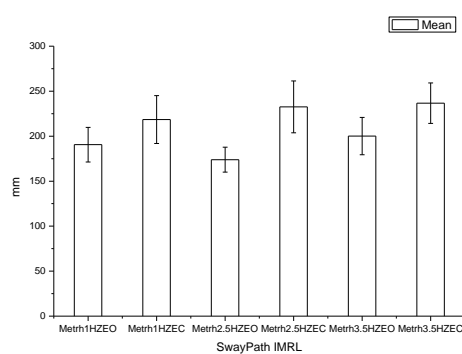


Grafico 5.8 a

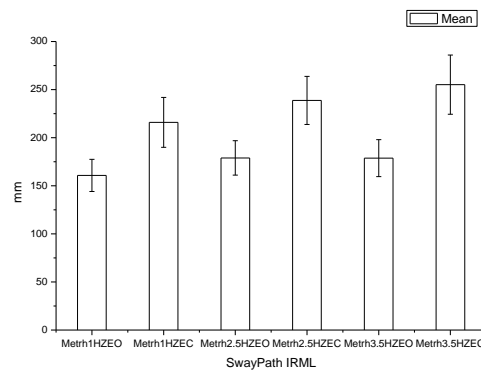


Grafico 5.8 b

# **Capitolo 6**

## ***Conclusioni***

## **6.1 Conclusioni**

Il protocollo standard, da noi stilato ha permesso di sottoporre tutti i soggetti ad un trattamento uguale.

Il software Soft Glove, da noi utilizzato, ha permesso di utilizzare uno strumento utile per la valutazione quantitativa di atti motori fini della mano; dopo un'attenta analisi statistica dei dati siamo potuti arrivare alle conclusioni che la risposta dei soggetti sottoposti al nostro esperimento varia al variare di alcune modalità di esecuzione.

Una delle conclusioni a cui siamo giunti è che i soggetti sottoposti alla modalità Maximum Speed raggiungono frequenze uguali o superiori ai 3.5 Hz nonostante l'esecuzione con metronomo a tale frequenza non presenti risultati confortanti; ciò può essere spiegato pensando all'elaborazione del feedback uditivo che abbassa le qualità di risposta motoria.

Un'altra conclusione alla quale siamo giunti riguarda le prove con piattaforma stabilometrica; il compimento del task motorio secondario su pedana provoca infatti un innalzamento dello Sway Path e dello Sway Area.

Possiamo infine sottolineare come soggetti sottoposti ad un compito motorio abbiano maggior difficoltà nell'esecuzione delle sequenze richieste con l'aumentare della frequenza, comportando anche un significativo incremento del numero di errori.

Quindi il compito motorio a livello della mano, come dimostrato in precedenza in soggetti normali, non influenza il mantenimento dell'equilibrio, tuttavia il mantenimento della postura fa diminuire la performance motoria nei movimenti della mano, soprattutto nella condizione di uno stimolo esterno da seguire.

I risultati ottenuti suggeriscono una priorità maggiore della postura rispetto a tutti gli altri movimenti a livello dell'organizzazione del sistema nervoso centrale.

# Bibliografia

## Paper

- [1] Marjorie Woollacott, Anne Shumway-Cook. “Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research”. *Gait and Posture* 16 (2002) 1–14.
- [2] Devin L. Jindrich, Aruna D. Balakrishnan, Jack T. Dennerlein. “Effects of keyswitch design and finger posture on fingerjoint kinematics and dynamics during tapping on computer keyswitches”. *Clinical Biomechanics* 19 (2004) 600–608.
- [3] L. Jancke , R. Loose , K. Lutz , K. Specht , N.J. Shah. “Cortical activations during paced finger-tapping applying visual and auditory pacing stimuli”. *Cognitive Brain Research* 10 (2000) 51–66.
- [4] Petr Hlusˇtík, Ana Solodkin, Rao P. Gullapalli, Douglas C. Noll and Steven L. Small. “Functional Lateralization of the Human Premotor Cortex during Sequential Movements” . *Brain and Cognition* 49, 54–62 . (2002).
- [5] Michele Tinazzi, Giampietro Zanette. “Modulation of ipsilateral motor cortex in man during unimanual finger movements of different complexities”. *Neuroscience Letters* 244 (1998) 121–124.
- [6] Anouk Lamontagne, Nicole Paquet, Joyce Fung. “Postural adjustments to voluntary head motions during standing are modified following stroke”. *Clinical Biomechanics* 18 (2003) 832–842.
- [7] Li-Shan Chou, Kenton R. Kaufman, Ann E. Walker-Rabatin, Robert H. Brey c, Jeffrey R. Basford. “Dynamic instability during obstacle crossing following traumatic brain injury”. *Gait and Posture* xxx (2003) xxx–xxx
- [8] Young-Gyu Ko, John H. Challis, Karl M. Newell. “Learning to coordinate redundant degrees of freedom in a dynamic balance task”. *Human Movement Science* 22 (2003) 47–66.
- [9] Michael W. Whittle. “Three-dimensional motion of the center of the body during walking of gravity”. *Human Movement Science* 16 (1997) 347-355.

- [10] P.J. Rowe, C.M. Myles, C. Walker, R. Nutton. “Knee joint kinematics in gait and other functional activities measured using flexible electrogoniometry: how much knee motion is sufficient for normal daily life?”. *Gait and Posture* 12 (2000) 143–155.
- [11] Marjorie Woollacott, Anne Shumway-Cook. “Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research”. *Gait and Posture* 16 (2002) 1–14.
- [12] Mark L. Latash, Alexander S. Aruin, Mark B. Shapiro. “The relation between posture and movement: A study of a simple synergy in a two-joint task”. *Human Movement Science* 14 (1995) 79-107.
- [13] Angelo Cappello, Aurelio Cappozzo, Pier Francesco La Palombara, Luigi Lucchetti, Alberto Leardini. “Multiple anatomical landmark calibration for optimal bone pose estimation”. *Human Movement Science* 16 (1997) 259-274.

## Testo di riferimento

E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. “Fondamenti delle neuroscienze e del comportamento”. Center for Neurobiology and Behavior College of Physicians & Surgeons of Columbia University and the Howard Huges Medical Institute. Casa editrice Ambrosiana.

## Internet

- [A] [http://www.sportmedicina.com/equilibriocorporeoe\\_raumatologiasportiva.htm](http://www.sportmedicina.com/equilibriocorporeoe_raumatologiasportiva.htm)
- [B] <http://pmsgagey.club.fr>
- [C] <http://www.uniroma2.it/facolta/medicina/otorino/posturografia.htm>
- [D] [http://www.psicopedagogika.it/site/articolo.asp?id\\_area=17&id\\_rubrica=36&id\\_articolo=199](http://www.psicopedagogika.it/site/articolo.asp?id_area=17&id_rubrica=36&id_articolo=199)

[E] <http://www.unsitoperte.it/enciclo/IndiceArgomento.asp?Argomento=Nervoso&Codice=107>

[F] <http://www.brainconnection.com/topics/printindex.php3?main=anat/motor-anat>

[G] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/bv.fcgi?rid=neurosci.section.1190>