



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



**1DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**“Monitoraggio dell’invecchiamento sano tramite strumentazione
biomedica: caso studio sugli effetti del Tai Chi”**

Relatore: Dott.ssa Sarah Tonello

Laureando: Kejvin Gerra

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Data di laurea: 25/11/2022

INDICE

Sommario	0
Abstract	0
1 Introduzione	1
2. Strumentazione biomedica per il monitoraggio dell'invecchiamento attivo	6
2.0 Introduzione alla strumentazione biomedica	6
2.1 Pedane di forza	7
2.2 Sensori inerziali	9
2.3 Footswitch	10
2.4 Elettromiografo di superficie	11
2.5 Sistema di acquisizione dati	14
3. Analisi segnali e protocollo di misura nel caso studio del Tai Chi:	19
3.0 Informazioni generali sul caso di studio	19
3.1 Analisi battito cardiaco	20
3.2 Analisi della postura	20
3.3 Analisi del cammino	21
3.4 Analisi di forza ed equilibrio	22
3.5 Test cognitivi e psicologici	23
4. Tecniche di elaborazione dei segnali	25
4.0 Panoramica sulle tecniche di elaborazione dei segnali nel caso di studio ...	25
4.1 Multiscale Entropy	25
4.2 Detrended Fluctuation Analysis	26
5. Risultati ottenuti nel caso di studio	28
5.1 Task singolo	28
5.2 Task duale	32
6. Conclusioni	36
Bibliografia	37

Sommario

L'invecchiamento è tipicamente associato al progressivo deterioramento di molteplici sistemi che portano alla diminuzione di funzioni fisiche e cognitive e riducono l'adattabilità a sopportare lo stress. Per questi motivi, negli ultimi anni si sta cercando di diminuire l'approccio clinico-ospedaliero per preferire un approccio che permette al paziente di essere valutato in un contesto quotidiano attraverso l'utilizzo di dispositivi di monitoraggio portabili e una maggior pratica di esercizi che aiutino a mantenere attiva sia la condizione fisica che quella mentale. Le arti marziali si prestano bene a questo scopo, poiché richiedono esercizi di controllo di forza ed equilibrio; ed in particolare, tra le arti marziali, il Tai Chi risulta essere particolarmente adatta alla popolazione anziana, data la lentezza e la semplicità dei movimenti. Questo studio si focalizza soprattutto sul trovare potenziali biomarcatori per capire meglio dove agire per promuovere un invecchiamento più sano.

Abstract

Aging is typically associated with progressive multi-system impairment that leads to decreased physical and cognitive function and reduced adaptability to stress. That's why on these last years, the clinical approach has been reduced in favor to a more daily-based approach, that lets the patient to be examined using portable devices and through the use of exercises that help a more active mental and physical condition. Martial arts are well suited for the purpose because balance and force control are required to exercise; Tai Chi, amidst martial arts, is suited for elder people, due to simple and slow movement required. This study focuses on finding biomarkers to better understand where to improve for a healthy aging.

Capitolo 1: Introduzione

L'aumento dell'aspettativa di vita della popolazione è una conquista molto importante della nostra epoca. Si prevede, infatti, che entro il 2050 la popolazione tenderà a raddoppiare, passando dal 11% al 22% della popolazione totale, mentre nei prossimi 5 anni il numero di persone di età uguale o superiore a 65 anni supererà quello dei bambini al di sotto dei 5 anni. Ciò nonostante, lo stato di salute dell'anziano non è più identificato unicamente con la ridotta presenza di malattia, ma con il mantenimento del benessere psicofisico e relazionale, pur in presenza di polipatologie.

Per questo motivo, uno degli indicatori più frequentemente utilizzati per misurare il benessere e lo stato di salute della popolazione è l'aspettativa di vita libera da disabilità (DFLE, Disability Free Life Expectancy), un indicatore composito che combina informazioni su mortalità e disabilità, estendendo il concetto di aspettativa di vita al di là del semplice numero di anni vissuti, quantificando quanti di questi siano realmente vissuti senza limitazioni nelle attività quotidiane. L'originalità del nuovo orientamento risiede nell'aver individuato come obiettivi fondamentali il mantenimento dell'autosufficienza e della qualità della vita dell'anziano, perciò il nuovo obiettivo prefissato è quello di attuare interventi di prevenzione in grado di minimizzare i principali fattori di rischio e promuovere adeguati stili di vita in ogni età.

Per affrontare la sfida dell'invecchiamento della popolazione, è necessario che la risposta tecnico-organizzativa del sistema sociale e sanitario si adegui tempestivamente ai mutamenti in corso e alle nuove esigenze, evitando l'ospedalizzazione e prediligendo interventi sul territorio, mirati alla prevenzione, alla riabilitazione, alle facilitazioni ambientali, al sostegno economico, sociale e motivazionale dell'anziano e della sua

famiglia, nel contesto di vita. Una delle possibili risposte a questa esigenza è rappresentata dalla rete integrata dei servizi sociosanitari che vede l'interazione di diverse figure professionali (medico, fisioterapista, ecc.), al fine di individuare precocemente l'anziano "fragile" per poi delineare un programma di intervento personalizzato e verificarne periodicamente l'efficacia, possibilmente senza dover andare in ospedale, ma riuscendo a realizzare il tutto nell'ambiente in cui si vive (proprio domicilio, case di riposo, ecc.).

E' necessario potenziare e finanziare la ricerca sull'invecchiamento come entità indipendente e complessa, riconoscendo l'enorme ritorno che gli investimenti in tal senso potrebbero assicurare all'intera società, attraverso l'individuazione dei fattori, non solo sanitari, ma anche di carattere assistenziale, sociale, economico e ambientale, che favoriscono l'invecchiamento attivo e in buona salute.

Tra gli strumenti sociali, emergono tutte quelle attività legate all'esercizio fisico, mentale e spirituale, che rappresentano un potente mezzo attraverso il quale stimolare un invecchiamento attivo della popolazione. Un interessante esempio è quello delle arti marziali usati già da tempi antichi come allenamenti per la difesa personale, ma che ora vengono principalmente impiegati come strumenti di miglioramento personale. Oggi, le arti marziali vengono studiate per molte ragioni: fitness, sport, autodifesa, meditazione e ultimamente come terapia complementare o alternativa per certe condizioni mediche.

Nel campo medico, i vantaggi principale che offrono le arti marziali, rispetto all'assunzione dei medicinali più comuni, sono i costi molto contenuti e la semplicità di utilizzo, che possono migliorare sia le capacità fisiche che quelle mentali; ciò le differenzia dagli altri sport che prediligono quasi esclusivamente l'allenamento fisico.

Le arti marziali possono essere divise in tradizionali e non-tradizionali a seconda dello scopo e la filosofia con cui vengono insegnate. Gli insegnamenti tradizionali prediligono il miglioramento della persona, mentre i non-tradizionalisti preferiscono concentrarsi sulla difesa personale. Nella scelta dell'arte marziale che si vuole praticare ci sono diversi fattori da considerare: contatto o non-contatto, impatto o non-impatto, durezza o delicatezza dello stile e frequenza degli infortuni. L'arte marziale più studiata è il Tai Chi, poiché è un'arte marziale molto semplice, che non richiede un contatto fisico con altre persone, non stanca fisicamente e richiede molta concentrazione per eseguire bene i movimenti.

Il Tai Chi è un'arte marziale tradizionale cinese, sviluppata nel Tredicesimo secolo. La filosofia che sta dietro all'arte del Tai Chi prende spunto dall'antica concezione medica cinese del Chi, nome dell'energia vitale che scorre nel corpo umano, in cui l'uomo è considerato sano se il Chi circola liberamente nel corpo, mentre è considerato malato se il Chi viene bloccato. Secondo la tradizione cinese, il ruolo del Tai Chi è quello di fornire un set di movimenti tali da sbloccare il flusso del Chi attraverso una postura corretta e il giusto rilassamento e la giusta consapevolezza dei movimenti.

Il Tai Chi è ideale per valutare gli effetti su un intervento progettato per rafforzare un invecchiamento sano nel quadro della biologia dei sistemi. Infatti, questa disciplina è indicata per migliorare sintomi e sistemi che tipicamente sono associati al declino correlato all'età, come funzioni cardiovascolari, equilibrio, camminata, funzioni cognitive, auto-efficacia e qualità della vita. Tuttavia, ad oggi, pochi studi hanno provato a studiare l'impatto del Tai Chi sui processi fisiologici legati l'età usando misure di complessità per poi rapportarle alle tradizionali misure di funzioni.

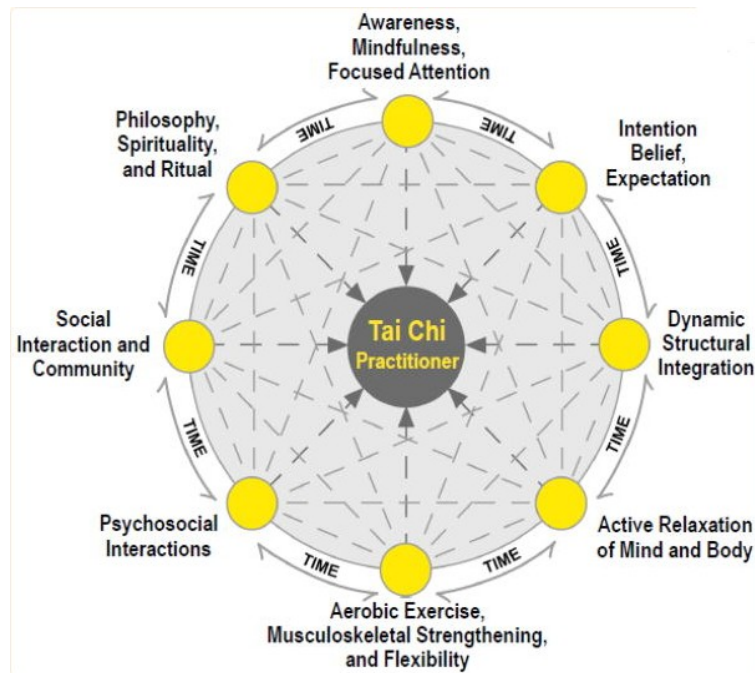


Figura 1. Schema che mostra 8 componenti terapeutici che il praticante di Tai Chi acquisisce praticando l'arte marziale; le frecce indicano l'interdipendenza dei vari fattori (Wayne and Fuerst 2013)

Un interessante studio che si focalizza proprio sul ruolo del Tai Chi nel migliorare l'invecchiamento è quello proposto da Wayne Peter, Manor Brad, Novak Vera, et al., i cui dati sono stati resi disponibili nel database Physionet. Lo studio si propone di fare da apripista per futuri e più definitivi trial fornendo informazioni su stime preliminari di portata e biomarcatori ottimali per caratterizzare l'impatto del Tai Chi su complessità fisiologiche, funzioni e capacità di adattabilità.

Partendo dai metodi sfruttati da questo studio e dai risultati ottenuti, questo elaborato si propone di presentare un approfondimento di come l'utilizzo di strumenti di acquisizione di parametri biomedici possa essere sfruttato per eseguire un monitoraggio dell'invecchiamento. Per non portare la trattazione ad un livello troppo generico, e

mostrare un esempio concreto, tutto l'elaborato si concentrerà sul caso specifico dell'acquisizione dati nell'ambito di pazienti praticanti o meno Tai Chi, ponendosi quindi come obiettivo di sfruttare la strumentazione biomedica per valutare l'utilità di questa arte marziale.

L'elaborato presenterà quindi in una prima parte una breve panoramica della strumentazione biomedica sfruttata nello studio citato; nella seconda approfondirà i parametri fisiologici utili e i loro protocolli di acquisizione; nella terza darà una breve panoramica delle tecniche di analisi dei segnali utili per estrarre le informazioni desiderate; infine, porterà una presentazione dei risultati ottenuti e un commento conclusivo generale.

Capitolo 2: Strumentazione biomedica per il monitoraggio dell'invecchiamento attivo

2.0 Introduzione alla strumentazione biomedica

In generale, per strumento di misura si intende qualsiasi oggetto in grado di interfacciare una grandezza fisica, come massa, temperatura, ecc., ad una grandezza elettrica, come tensione o corrente, in modo che questa rispecchi, tramite una legge matematica, le caratteristiche del segnale originale. Il componente dello strumento che si occupa dell'acquisizione della grandezza fisica ed esprime le sue caratteristiche in una grandezza elettrica, prende il nome di trasduttore. Il trasduttore svolge un ruolo fondamentale: oltre alla trasduzione delle diverse grandezze fisiche in gioco in una grandezza elettrica quantificabile, include spesso anche circuiti che permettono di elaborare e trasmettere l'informazione estratta a successivi blocchi di acquisizione, memorizzazione e visualizzazione, per poi poterla utilizzare per immagazzinarla in una memoria ed essere successivamente mostrata in un display.

Ciò che differenzia la strumentazione biomedica rispetto agli altri strumenti è l'ambito in cui essi vengono utilizzati; per esempio, l'ambito diagnostico (es. ECG, EMG, EEG, ecc.), l'ambito terapeutico (es. defibrillatore, pacemaker, ecc.) e l'ambito riabilitativo (es. organi artificiali). I principi base con cui si progetta uno strumento biomedico sono: assicurare la non alterazione della quantità da misurare, poiché spesso i dati che vengono raccolti devono fotografare perfettamente la situazione del paziente, anche in tempo reale; e soprattutto salvaguardare la sicurezza del paziente, visto che, quasi sempre, gli strumenti vengono applicati direttamente al corpo umano e quindi diventa importante attuare le giuste precauzioni per non danneggiare il paziente.

Le caratteristiche generali dei segnali biomedici acquisiti sono le piccole ampiezze, nell'ordine dei μV o mV (analogo per le correnti), per cui diventa necessario amplificare il segnale in modo da apprezzare le differenze e facilitarne la manipolazione e visualizzazione; inoltre sono caratterizzati da bassi rapporti S/N e bande in bassa frequenza ($<10\text{ KHz}$), perciò devono essere apportati filtri e amplificazioni in modo tale da alzare il rapporto S/N e campionare a frequenze opportune.

Nello specifico caso studio preso come esempio in questo elaborato, gli strumenti utilizzati per la valutazione dell'utilità del Tai Chi per il monitoraggio dell'invecchiamento attivo, gestiti contemporaneamente tramite un sistema di acquisizione dati multicanale (DAQ) sono:

- pedane di forza, strumento di misura che permettono di valutare la differenza di equilibrio
- sensori inerziali, come il dinamometro, per misurare la forza di trazione e il giroscopio, per misurare gli angoli di anca, ginocchio e caviglia
- footswitch, sensori posti nelle suole per rilevare il contatto del piede col terreno, inviando un segnale di tipo on/off
- elettromiografo di superficie, per controllare la giusta attivazione dei muscoli tibiale anteriore e gastrocnemio laterale nei pazienti durante il cammino.

2.1 Pedane di forza

Le pedane di forza sono piattaforme rettangolari di misura con un sensore di forza piezoelettrico posto nei quattro angoli della piattaforma. Le pedane di forza sono spesso usate per caratterizzare processi biomeccanici come il cammino o il salto, generalmente a scopi diagnostici negli sport e per ricerche cliniche e di analisi. I sensori piezoelettrici

sono sensori che prendono il nome dall'effetto piezoelettrico in cui il materiale piezoelettrico (e.g. quarzo), produce una carica elettrica quando è sotto l'effetto di una sollecitazione meccanica; la carica ottenuta è direttamente proporzionale alla sollecitazione meccanica applicata, anche se sarà comunque necessaria un'amplificazione data la ridotta grandezza elettrica che produce. Questi sensori possono coprire intervalli di misura molto ampi, ma sono soggetti al fenomeno di drift quando vengono sottoposti a carichi statici prolungati, questo fa sì che il sensore si deforma nel tempo, rendendo inaffidabile la sua misura.

Ciò che effettivamente viene restituito dalle pedane di forza è la forza di reazione vincolare. Infatti, secondo il terzo principio di Newton, la forza vincolare è quella forza che si oppone al corpo umano durante il movimento ed è uno dei parametri più misurati per capire le dinamiche di movimento delle persone.



3D Force Plate (-10...20kN)

Figura 2. Pedana di forza in 3-D Kistler usato nel caso di studio (Kistler Group)

2.2 Sensori inerziali

I sensori inerziali sono disegnati per convertire una forza di inerzia, che può essere o l'accelerazione lineare o quella angolare, in un segnale misurabile. Gli elementi in comune tra i sensori di accelerazione lineare, l'accelerometro, e quelli di accelerazione angolare, i giroscopi, sono: la presenza di una massa di riferimento, che generi la forza inerziale dovuta ad un'accelerazione; una molla elastica, per supportare meccanicamente la massa e riportarla in posizione neutra; un ammortizzatore, per controllare il moto della massa sismica e per ottenere delle caratteristiche favorevoli di risposta in frequenza; e un metodo per convertire lo spostamento meccanico in una misura elettrica.

Ultimamente stanno prendendo sempre più piede i sensori MEMS (micro electro-mechanical systems), ovvero chip in silicio che contengono al loro interno diversi sensori al loro interno integrando così funzioni diverse in un unico componente,

cosicché un sensore MEMS può misurare sia l'accelerazione lineare, che quella angolare, utilizzando l'effetto di Coriolis per quest'ultima.

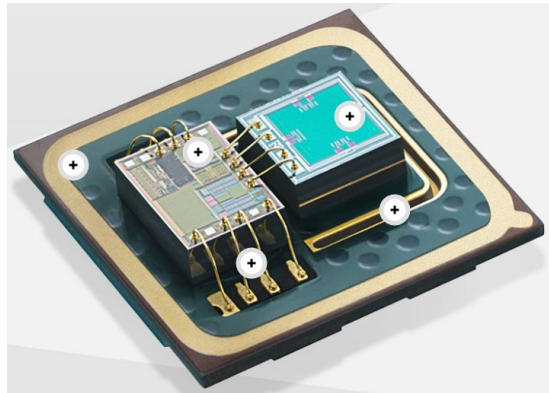


Figura 3. Schema di un sensore MEMS (Bosch Mobility Solutions)

2.3 Footswitch

I footswitch, o solette a pressione, sono dei tipi particolari di sensori di pressione, che si mettono nelle solette delle scarpe per catturare eventi di tipo on/off quando il piede tocca o non tocca il terreno. Applicando una pressione su questi sensori, la resistenza elettrica diminuisce, questa si traduce in unità di pressione e dipende, oltre che dalla resistività, anche dalla lunghezza e dalla sezione del conduttore. L'informazione che forniscono questi sensori sono un'immagine della distribuzione della pressione plantare e la traiettoria del centro di pressione.



Figura 4. Esempio di Footswitch di tipo FSR usato nel caso di studio (Force Sensitive Resistor)

2.4 Elettromiografo di superficie

L'elettromiografo di superficie è uno strumento che misura i potenziali elettrici superficiali che si sviluppano nel muscolo durante la contrazione ed è costituito da un'entità ricevente collegata tramite cavi o wifi ad una o più sonde, che si compongono di clip per elettrodi e una parte di elettronica.

L'origine del segnale elettromiografico (EMG) deriva dall'unità motoria del muscolo, che consiste nell'insieme del motoneurone e delle fibre che esso innerva. Dal punto di innervazione di ogni fibra, all'arrivo di uno stimolo della sinapsi neuromuscolare si generano due zone di depolarizzazione elettrica che si propagano verso i due estremi della fibra alla velocità di 3-5m/s. La risultante dell'attività elettrica dell'unità motoria prende il nome di potenziale d'azione di unità motoria e l'attivazione ripetuta di un'unità motoria genera un MUAPT (Motor Unit Action Potential Train); il segnale EMG di superficie è costituito proprio dalla sovrapposizione dei contributi di MUAPT generati dalle unità motorie attive del muscolo osservato.

Il segnale EMG dipende da molti fattori: dal potenziale d'azione generato da ciascuna fibra muscolare, dal punto di innervazione, dall'orientazione delle fibre rispetto all'elettrodo di registrazione, dal tipo di tessuto, dal rumore esterno e dal rumore dell'amplificatore interno. Un altro fattore importante è la pelle, poiché elettricamente risulta come un circuito di resistenze e condensatori messi in serie e parallelo, che aumentano notevolmente l'impedenza nell'interfaccia elettrodo-cute; perciò è necessaria un'accurata preparazione della pelle, idealmente prima radere la zona interessata con le lamette e poi pulire con una pasta abrasiva.

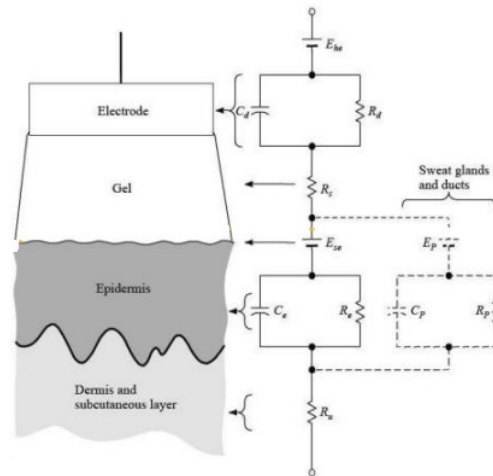


Figura 5. Schema approssimativo della pelle come circuito elettrico

Un'importante componente dell'elettromiografo sono gli elettrodi, conduttori che scambiano energia elettrica attraverso l'interfaccia che forma con un mezzo, generalmente elettrolita; gli elettrodi più usati sono generalmente elettrodi Ag-AgCl di tipo usa e getta. Gli elettrodi sono solitamente disposti in configurazione differenziale, in modo che i due segnali vengono sottratti l'uno dall'altro, cosicché il segnale di interesse si amplifica mentre i rumori di modo comune dei due elettrodi si annullano.

Anche la dimensione degli elettrodi gioca un ruolo fondamentale, poiché se sono troppo piccoli rilevo la somma dei MUAPT di poche fibre, quindi il segnale rilevato può essere non sufficientemente ampio da apprezzarne le differenze; mentre se sono troppo grandi posso incorrere al fenomeno di cross-talking, che consiste nel rilevare la somma di MUAPT anche di fibre muscolari non interessanti alla prova. Inoltre è importante posizionare gli elettrodi nel punto dove il fuso muscolare è più grosso e che siano

posizionati in modo più possibile parallelo, perché se così non è non rilevo la totalità del potenziale, ma solo una parte.

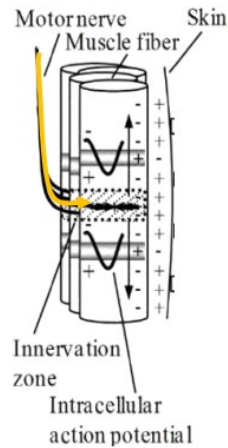


Figura 6. Illustrazione del luogo di sviluppo del potenziale d'azione

Una volta posizionati gli elettrodi, questi possono generare artefatti da movimento quando essi si muovono sulla pelle o quando vi si sbattono cavi o altri elettrodi, che possono generare piccoli potenziali elettrici che si sovrappongono al segnale del muscolo. I potenziali dovuti da artefatti da movimento solitamente non superano i 30Hz, quindi è necessario solamente un filtraggio per poterlo eliminare.

Dal segnale EMG grezzo si può ricavare un aspetto qualitativo, che viene valutato visivamente da uno specialista, che può già esprimere un giudizio sulla buona riuscita della misura. Tuttavia, è possibile rielaborare il segnale per ottenere ulteriori informazioni, ad esempio tracciando il grafico dello scarto quadratico medio, che riflette la potenza media del segnale ed è particolarmente utile per confrontare più soggetti, previa normalizzazione fatta rispetto alla massima contrazione volontaria.



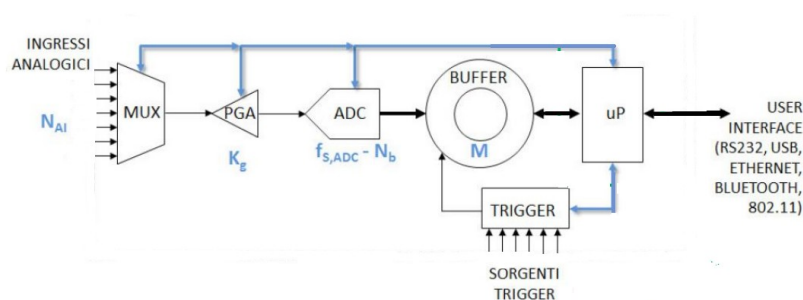
Figura 7. Esempio di un elettromiografo di superficie wireless usato nel caso di studio
(Ultium EMG,Noraxon Inc)

2.5 Sistema di gestione dell'acquisizione dati multicanale

La gestione dell'acquisizione dei dati provenienti dai molteplici strumenti descritti precedentemente deve necessariamente essere ottenuta affidandosi ad un sistema di acquisizione (DAQ) multicanale. Tali sistemi DAQ, sono dei moduli programmabili per l'acquisizione di dati; essi verranno poi rielaborati per permetterne la visualizzazione su uno schermo oppure essere semplicemente raccolti per essere utilizzati in tempi successivi. I DAQ hanno una struttura pressoché predefinita composta da: multiplexer, amplificatore a guadagno programmabile (PGA), convertitore analogico/digitale (ADC), buffer, trigger, microprocessore e un'interfaccia utente.

Figura 8.

Tipica
struttura di
un sistema



d'acquisizione dati (DAQ)

Il multiplexer è un selettore di ingresso, cioè riceve i segnali in ingresso e ne seleziona uno da mandare in uscita secondo dei segnali di temporizzazione (clock) dettati dal microprocessore. È costituito da un selettore di linee di dato in grado di selezionare diversi segnali in ingresso sia analogici che digitali, che verranno poi raccolti e mandati in una singola linea di uscita.

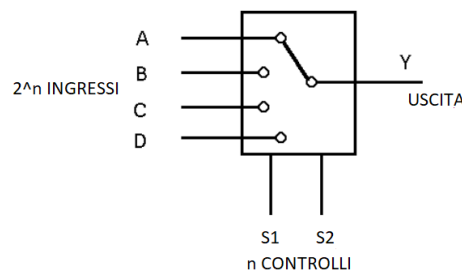


Figura 9. Schema semplificato di un Multiplexer (MUX)

L'amplificatore a guadagno programmabile (PGA) ha la caratteristica, rispetto agli altri amplificatori, di configurare via software il guadagno desiderato, nota la tensione di uscita, ossia la tensione in ingresso del ADC, perciò il fattore di amplificazione viene determinato automaticamente grazie ai comandi ricevuti dal micro-controllore; quindi ha il compito di adattare il segnale ricevuto dal multiplexer al campo di valori di ingresso del ADC.

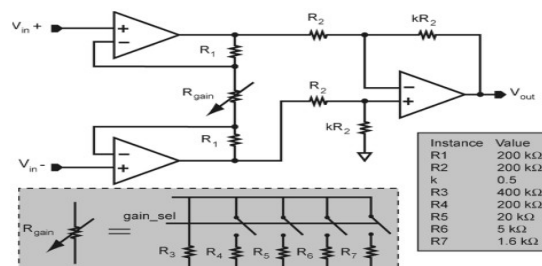


Figura 10. Esempio di un amplificatore a guadagno programmabile (PGA)

Il convertitore analogico/digitale (ADC) riceve il segnale condizionato dall'amplificatore, lo campiona e lo converte in forma numerica. I parametri che caratterizzano un ADC sono la risoluzione massima, espressa in numero di bit con cui sono rappresentati i campioni in uscita, il campo di ingresso e il tempo di conversione.

Il ruolo del campionamento non è direttamente gestito dal ADC, ma si serve di un blocco aggiuntivo, internamente incorporato nei moderni convertitori, che prende il nome di Sample and Hold (S/H). Come dice il nome, questo blocco ha il compito di campionare il segnale e tenerlo costante per una durata pari al tempo di conversione. La gestione dell'acquisizione dei campioni può essere gestita in due modi: in hardware timing, in cui è il microprocessore che si occupa della gestione tramite dei segnali digitali inviati da un clock fisico; oppure in software timing, in cui la gestione è affidata all'utente che invia un comando di lettura, attraverso un software; quest'ultima opzione è più svantaggiosa della prima poiché ci sono anche le latenze dello scambio dei messaggi da considerare.

Il buffer, o memoria di acquisizione, è un insieme di celle di memoria in grado di contenere fino ad M campioni del segnale per memorizzare temporaneamente le parole digitali in uscita dal convertitore. Può essere considerata una memoria di transito, detta anche intermediaria, usata per compensare differenze di velocità nel trasferimento o nella trasmissione di dati. Il parametro che caratterizza il buffer è la dimensione, fondamentale in base all'applicazione (tipicamente varia da poche migliaia di punti (es. schede DAQ) ad alcune centinaia di milioni di punti (es. Strumenti ad alta risoluzione). La memoria più utilizzata è quella di tipo FIFO (First In First Out) ed è costantemente

mantenuta piena, eliminando ad ogni nuovo campionamento il dato più vecchio per far posto all'ultimo.

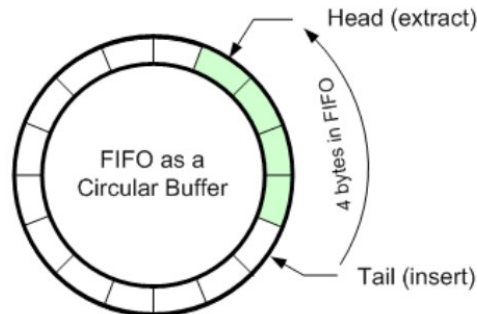


Figura 11. Schema semplificato di un buffer circolare

Per la gestione della memoria, c'è una costante interazione tra buffer e microprocessore, con quest'ultimo che invia un segnale di start e riceve dal buffer i campioni, che vengono poi elaborati al fine di fornire il risultato finale della misura, che può essere trasmesso ad altri dispositivi esterni, attraverso un'interfaccia di comunicazione, oppure trasmesso in formato grezzo alla memoria di sistema del dispositivo che controlla il DAQ (es. il PC), dove vengono successivamente elaborati.

Il blocco di trigger riceve i segnali di sincronizzazione esterni e li invia al buffer in modo da sincronizzare l'inizio della memorizzazione e gestire al meglio la memoria facendo una separazione tra una zona pre e post trigger. È composto da un circuito elettronico che riceve in ingresso dei segnali di trigger e ha il compito di verificare le condizioni di trigger per far avviare l'acquisizione.

Il microprocessore è considerato il "cervello" del sistema di acquisizione ed ha il compito di dettare tutti i tempi di comunicazione con tutti i blocchi del DAQ. L'acquisizione dei dati può avvenire in due modi: il primo prende il nome di innesco ed è composta da un comando di start, inviato dal microprocessore e ricevuto dal modulo

DAQ attraverso l'interfaccia di comunicazione, seguito dall'accensione del sistema dove il DAQ viene alimentato ed inizializzato e infine il manifestarsi di un evento di trigger; la seconda modalità si chiama durata e si divide in modalità on-demand, in cui il processo di acquisizione termina dopo un numero prestabilito di campioni; e modalità di acquisizione continua, in cui il processo di acquisizione ha termine solo in seguito alla disattivazione del sistema, oppure all'invio di un comando di reset.

Infine l'interfaccia di comunicazione utente serve per programmare la scheda di acquisizione e per trasmettere e ricevere il risultato della misura o i campioni grezzi acquisiti dai segnali di ingresso, durante la fase operativa. Il microprocessore è controllato tramite vari linguaggi di programmazione (es. Matlab) e viene spesso generata una finestra in modo che l'utente che esegue le misure possa selezionare le scale e adattare i parametri alla specifica applicazione e visualizzare risultati.



Figura 12. Esempio di un DAQ multicanale utilizzato nel caso di studio (Noraxon Inc)

Capitolo 3: Analisi segnali e protocollo di misura del caso studio

3.0 Informazioni generali sul caso di studio

Durante il caso di studio si sono reclutate 60 persone anziane in salute di età compresa tra i 50 e i 79 anni che non hanno praticato il Tai Chi negli ultimi 5 anni; queste persone vengono divise in due gruppi di 30 persone scelte a caso, in cui un gruppo viene sottoposto ad un allenamento di Tai Chi per 6 mesi, mentre l'altro gruppo viene sottoposto a dei controlli a 3 e a 6 mesi dall'inizio del trial. Alle persone che praticano il Tai Chi vengono misurati il battito cardiaco, l'oscillazione della postura in piedi e l'intervallo del passo della camminata al terzo e sesto mese del trial. Nel database sono presenti anche i dati di 27 persone anziane sane sempre di età compresa tra i 50 e i 79 anni, che svolgono regolarmente la pratica del Tai Chi da almeno 5 anni; questi dati, presi al primo giorno del trial, serviranno da riferimento per confrontare i risultati con gli altri due gruppi. I dati che si trovano nel database sono composti da due task, uno singolo e uno doppio. Nel task singolo vengono solamente presi i dati contemporaneamente sia dell'analisi del passo, sia dell'EMG, col soggetto che deve percorrere 10 minuti di camminata alla velocità preferita, mentre nel task doppio vengono presi entrambi i dati dell'analisi del passo e dell'EMG del soggetto che, oltre a camminare per 90 secondi, deve anche contare all'indietro mentre cammina. Dopo aver raccolto i dati, verranno mostrati i miglioramenti dei soggetti sottoposti all'allenamento di Tai Chi, che verranno poi confrontati sia coi soggetti non sottoposti ad allenamento, sia coi soggetti "esperti", per dare in conclusione una panoramica su quanto sia efficace il Tai Chi per migliorare le condizioni per un invecchiamento più sano.

3.1 Analisi battito cardiaco

Le dinamiche del battito cardiaco in posizione ferma sono valutate durante il riposo mentre si sta seduti con respirazione spontanea. Per raccogliere un sufficiente numero di cicli cardiaci, le dinamiche del battito cardiaco vengono valutate per 30 minuti. In aggiunta, due periodi da 5 minuti vengono valutati con una respirazione prefissata (15 e 6 respiri al minuto); le respirazioni prefissate attiva l'assestamento delle dinamiche cardiovascolari e misure lineari della frequenza cardiaca mentre si controllano potenziali effetti di disturbo per la respirazione. Gli effetti della perturbazione del sistema cardiovascolare è esaminato con il test sit-to-stand, preso da letteratura. Stare in piedi seguito da una seduta prolungata (più di 5 minuti) risulta in un immediato innalzamento del battito cardiaco, con una differenza maggiore che si nota con pazienti che hanno la regolazione cardiovascolare compromesso. La massima differenza di frequenza cardiaca si riscontra sottraendo la frequenza minima durante il periodo in cui si è seduti, con la frequenza massima in cui si sta in piedi.

3.2 Analisi della postura

Le dinamiche del controllo posturale sono valutate in stato da fermo e con gli occhi aperti, con le braccia lungo i fianchi e a piedi nudi distanti quanto le spalle; mentre si è in piedi viene ripassato il contorno dei piedi con del gesso per assicurare un continuo appoggio nella posizione fissata. Ai partecipanti viene chiesto di stare i più fermi possibile su una pedana di forza e di fissare una "X" disegnata su un muro distante circa 3 metri ad altezza occhio. Le oscillazione della postura sono quantificate registrando gli spostamenti del centro di pressione. Per raccogliere sufficienti dati riguardo il centro di pressione, il paziente sta in piedi per 1 minuto. Vengono anche valutati gli effetti di

perturbazioni visive e cognitive: per le perturbazioni visive, i pazienti stanno in piedi come precedentemente detto, ma con gli occhi chiusi; per quanto riguarda le perturbazioni cognitive, i pazienti, oltre che a stare in piedi come prima, devono contare all'indietro a multipli di tre. Per diminuire l'effetto di apprendimento, ovvero quando un paziente vede la prova di un altro paziente e impara a memoria il task da eseguire, il conteggio all'indietro viene fatto partire da un numero casuale tra 500, 499 e 498. Per tenere conto anche di diversità tra i trial, vengono completate tre prove da un minuto per ciascuna condizione, in stato fermo con occhi aperti, con occhi chiusi e mentre si conta all'indietro; questi trial vengono svolti in ordine casuale con una pausa tra un compito e un altro di 1 minuto.

3.3 Analisi del cammino (gait analysis)

Le dinamiche del cammino allo stato di equilibrio sono esaminate durante una camminata su una superficie piana alla velocità di comfort del soggetto. Per registrare la durata passo-passo, i soggetti hanno i footswitch inseriti dentro delle solette e un sistema di acquisizione dati attaccato alla vita. Per raccogliere il numero sufficiente di passi richiesto per le misure di complessità, i soggetti devono camminare per 10 minuti di fila. Gli effetti delle perturbazioni motorie sono degli indicatori importanti per quanto riguarda la correttezza della camminata e vengono valutati mentre il soggetto cammina e conta all'indietro a multipli di tre per 1 minuto; questo task viene ripetuto tre volte e si nota come il task duale riduce la velocità di cammino. Infine, viene registrata anche la distanza percorsa ad ogni prova e, insieme alla durata del cammino, viene calcolata la velocità media. Inoltre, la velocità di cammino massima viene esaminata chiedendo ai pazienti di camminare in un percorso dritto di 11 metri il più velocemente possibile,

senza correre. La misura di velocità massima viene presa registrando il tempo per percorrere 5 metri, dal terzo all'ottavo metro, così da calcolare la velocità in quel tratto; a questa prova viene associato a un declino funzionale dei soggetti.

3.4 Analisi di forza ed equilibrio

Per valutare l'equilibrio il soggetto deve rimanere in equilibrio sulla gamba preferita; vengono fatte tre prove da 30 secondi sia con gli occhi aperti, sia con gli occhi chiusi ed il tempo maggiore rilevato in entrambe le condizioni, in cui si sta in equilibrio, viene preso come riferimento.

Successivamente, per rilevare la forza massima della parte inferiore del corpo viene misurata l'altezza massima di salto. Dopo che il paziente ha completato un riscaldamento, composto da 5 salti non fatti alla massima potenza, deve completare tre salti in contro-movimento su una pedana di forza; questo salto si ottiene eseguendo un salto alla massima forza e durante la fase di atterraggio, si eseguono dei salti per smorzare il primo salto. Il tempo di volo di ciascun salto, rilevato dalla pedana di forza, è usato per determinare l'altezza massima raggiunta dal centro di massa del soggetto. Questo test è dimostrato essere molto efficace per le persone anziane sedentarie, poiché dai risultati è possibile associare il rischio di morte, il rischio di caduta e in generale di funzioni fisiche.

La misura massima di trazione della mano dominante è misurata usando un dinamometro analogico per trazioni; la misura di cui si tiene conto è la media di tre rilevazioni, arrotondate al decimale più vicino a 0,5 Kg. Questa misura è collegata alla mortalità e alla disabilità, specialmente per quanto riguarda gli adulti e le persone anziane.

Successivamente si misurano i range degli angoli di anca, ginocchio e caviglia con un giroscopio, tramite una procedura standard, che misura tre angoli rispetto alle rotazioni dei tre assi cartesiani: intra-extra rotazione, ad-abduzione e flesso-estensione. Infine si misura anche la flessibilità della parte inferiore del corpo utilizzando il test Chiar Sit and Reach, che consiste nello stare seduti su una sedia, allungare una gamba a piacere e raggiungere la punta del piede con le braccia.

3.5 Test cognitivi e psicologici

Le ultime verifiche che vengono fatte riguardano le attitudini cognitive e psicologiche dei pazienti, a cui vengono testate le funzioni esecutive, di lavoro e la memoria a breve termine. Il primo test prende il nome di Trail Making Test (TMT), ed è uno strumento ampiamente utilizzato diviso in due parti. Il TMTa è una prova visiva, che consiste nel prendere il tempo del paziente che deve unire dei puntini numerati da 1 a 25 con una linea dritta. Il TMTb misura il tempo per connettere lo stesso numero di puntini, ma in un ordine alternato tra lettere e numeri. I risultati di questi due test sono degli indicatori sensibili al deterioramento delle funzioni neurologiche ed è risultato essere affidabile.

Il secondo test viene chiamato Controlled Oral Word Association Test (COWAT) e valuta la portata della memoria di lavoro. In questo test, ai partecipanti viene chiesto di dire il maggior numero di parole che iniziano con una data lettera dell'alfabeto (A, F oppure S) per 1 minuto a lettera; il risultato del test si ottiene facendo la somma delle parole ammesse dette per ciascuna lettera.

Il terzo test è nominato Bacwards Digit Span (BDS) ed è tra i test più utilizzati per valutare la memoria a breve termine. Il test è composto di due prove, entrambe consistono nel ripetere a voce alta una sequenza di otto numeri, per poi essere ripetuta

da capo; il risultato si ottiene contando il numero di sequenze ripetute correttamente in entrambe le prove. In generale tutte e tre le prove sono ampiamente utilizzate per valutare le funzioni cognitive nei pazienti anziani e tutte e tre hanno una buona affidabilità e validità.

Un ultimo test viene utilizzato per valutare l'umore dei soggetti e prende il nome di 30-item Profile of Mood States (POMS-30). Questa valutazione permette di misurare gli stati emotivi di transizione e di risposta attesa durante interventi clinici. Già studi precedenti avevano evidenziato il miglioramento dell'umore e la conseguente riduzione di ansia e aumento di vitalità utilizzando il POMS.

Capitolo 4: Tecniche di elaborazione dei segnali nel caso di studio

4.0 Panoramica sulle tecniche di elaborazione dei segnali nel caso di studio

In questo caso vengono applicati due parametri di complessità: il Multiscale Entropy (MSE) ed il Detrended Fluctuation Analysis (DFA). Il MSE determina il contenuto d'informazione di un segnale su scale spaziali e temporali multiple. Rispetto ad altri metodi di misura basati sull'entropia, il MSE considera unicamente l'informazione dinamica contenuta nei segnali fisiologici su scale multiple e perciò può fare una distinzione tra segnali altamente irregolari e casuali, e segnali veramente complessi.

Invece, il DFA quantifica proprietà di similitudine a lungo raggio di un segnale. Diversamente da altri approcci (es. trasformata di Fourier o esponente di Hurst), il DFA permette il rilevamento di similarità intrinseche in serie temporali apparentemente non-stazionarie.

4.1 MSE (Multiscale Entropy)

L'algoritmo per il calcolo del MSE è composto da due procedimenti: il primo consiste in una procedura approssimativa che permette di vedere le rappresentazioni delle dinamiche del sistema in serie temporali diverse; il secondo consiste nella quantificazione del grado di irregolarità di ogni serie temporale, che si può fare utilizzando un dato statistico di nome “campione entropico” introdotto da Moorman.

Le serie temporali sono costruite nel modo seguente: la prima serie è costituita dal segnale originale; dopodiché per le successive n serie, si dividono i dati in blocchi consecutivi non sovrapposti con n punti per ogni blocco, per poi calcolare la media per ogni blocco. La sequenza di valori medi è la serie temporale n approssimata.

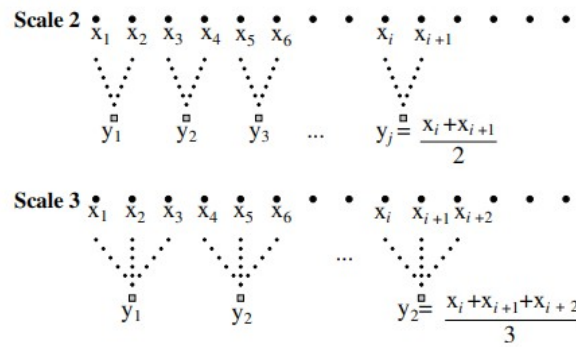


Figura 13. Illustrazione della suddivisione delle serie temporali (Costa M., Goldberger A.L., Peng C.-K. Multiscale entropy analysis of biological signals)

Il campione entropico è il logaritmo naturale negativo della probabilità condizionale che due modelli di lunghezza m , $x_m(i) = \{x_i, \dots, x_{(i+m-1)}\}$ ed $x_m(j) = \{x_j, \dots, x_{(j+m-1)}\}$, siano considerati uguali l'uno con l'altro quando i punti, x_{i+m} e x_{j+m} si aggiungono ai modelli $x_m(i)$ e $x_m(j)$, rispettivamente. I modelli, $x_m(i)$ e $x_m(j)$, sono campioni separati entro una serie temporale e solo selezionati in base al livello di uguaglianza tra loro. Viene usato una tolleranza di soglia pari a r , $d[x_m(i), x_m(j)] \leq r$, in cui d rappresenta una funzione che misura la distanza tra vettori. L'indice di complessità è la sommatoria dei valori di campione entropico per ogni serie temporale divisa in maniera grossolana per un determinato range di scale temporali; più alto è il MSE, più complesso è il sistema misurato.

4.2 DFA (Detrended Fluctuation Analysis)

Per stimare l'incremento dell'indice di ripetibilità per le proprietà di correlazione a lungo raggio usando il DFA, serie di tempo (con N dati) sono prima implementati usando il seguente algoritmo: $y(k) = \sum_{i=1}^k [B(i) - B_{ave}]$, dove $B(i)$ è l' i -esimo dato della serie di tempo e B_{ave} è il valore medio della serie. Successivamente, la serie di tempo viene suddivisa in blocchi uguali di lunghezza n . In ogni blocco viene poi tracciata una

linea dei minimi quadrati per poter tracciare l'andamento dei valori. La coordinata y dei segmenti è indicato con $y_n(k)$. Poi, si eliminano gli effetti di trend nelle serie di tempo, $y(k)$, sottraendo il trend locale, $y_n(k)$, in ogni blocco. La fluttuazione dello scarto quadratico medio delle serie accoppiate e quelle disaccoppiate si calcolano con la

formula:
$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2} .$$

Questa operazione è ripetuta per ogni scala temporale per $F(n)$, la variazione media, come una funzione dipendente dalla lunghezza dei blocchi. Una relazione lineare su un grafico con entrambi gli assi logaritmici indica la presenza di un incremento esponenziale. Sotto queste condizioni, le variazioni possono essere caratterizzate da un esponenziale a , mentre la pendenza relativa da $\log F(n)$ assume una caratteristica di tipo $\log n$. Siccome un esponente di 1 rappresenta l'incremento continuo, mentre piccole deviazioni da 1 sono più complessi, si può esprimere la complessità come $|1-a|$.

Capitolo 5: Risultati ottenuti nel caso di studio

5.1 Task singolo

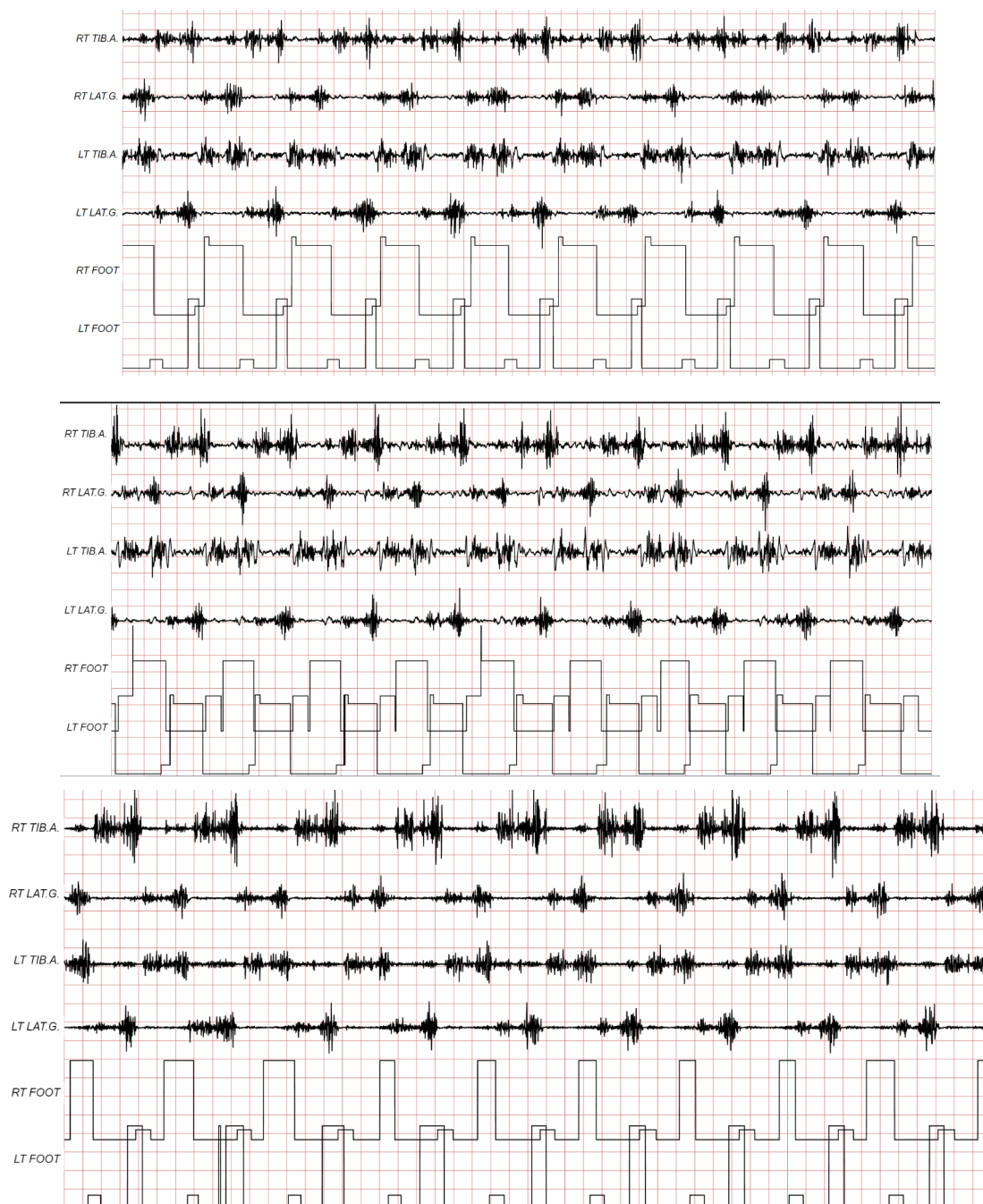


Figura 14-15-16 Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 77 anni non sottoposto all'allenamento di Tai Chi nel task singolo (cammino per 10 minuti) presi al minuto 3:20 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano il periodo al primo giorno della valutazione, al terzo mese e al sesto mese di controllo.

Si può notare come nelle prime due immagini i dati ricavati dal footswitch sottolineano come l'appoggio dei piedi durante il cammino sia irregolare e soprattutto nella seconda immagine, si può notare come il timing di attivazione dei muscoli tibiali siano molto diversi dagli ideali timing. Questo può essere dovuto da una ridotta complessità delle funzioni motorie e cognitive a causa dell'invecchiamento. Tuttavia al controllo finale al sesto mese, sia i segnali del footswitch che quelli dell'EMG risultano migliorati, anche se nel caso dell'EMG l'ampiezza del segnale del muscolo gastrocnemio laterale destro e del tibiale sinistro risultano minori rispetto alle aspettative; ciò può essere dovuto a un mal posizionamento del EMG superficiale.



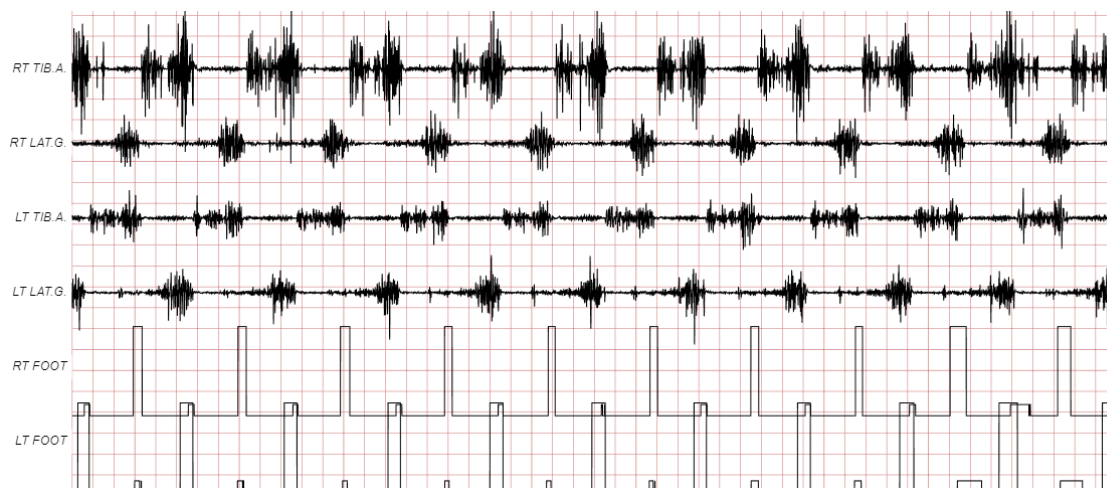


Figura 17-18-19 Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 73 anni sottoposto all'allenamento di Tai Chi nel task singolo (cammino per 10 minuti) presi al minuto 3:20 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano il periodo al primo giorno della valutazione, al terzo mese e al sesto mese di controllo.

Queste immagini mostrano i tracciati EMG e del footswitch di un paziente che si è sottoposto all'allenamento di Tai Chi. Si può notare come nella prima immagine, presa al primo giorno di controllo, vi sia un'attivazione dei footswitch abbastanza irregolare, segno di un cattivo appoggio dei piedi, simile al paziente sottoposto solo ai controlli; questo sottolinea le similarità nelle condizioni di partenza, anche se nella prima immagine i tracciati EMG sono piuttosto regolari; questo può essere dovuto dalla forma fisica del soggetto, poiché non si è a conoscenza della storia sportiva dei soggetti visto che viene domandato loro solo se negli ultimi 5 anni non hanno praticato alcuna arte marziale.

Successivamente nei successivi controlli al terzo mese e al sesto mese, si può apprezzare il chiaro miglioramento riguardante l'appoggio dei piedi, che risulta essere più regolare e di minor durata, a sottolineare i miglioramenti apportati dal praticare il Tai Chi. Inoltre, si possono apprezzare piccoli miglioramenti riguardanti l'ampiezza

dell'attivazione dei muscoli gastrocnemio laterali destro e sinistro, che risultano essere maggiori rispetto al segnale preso durante il primo controllo.

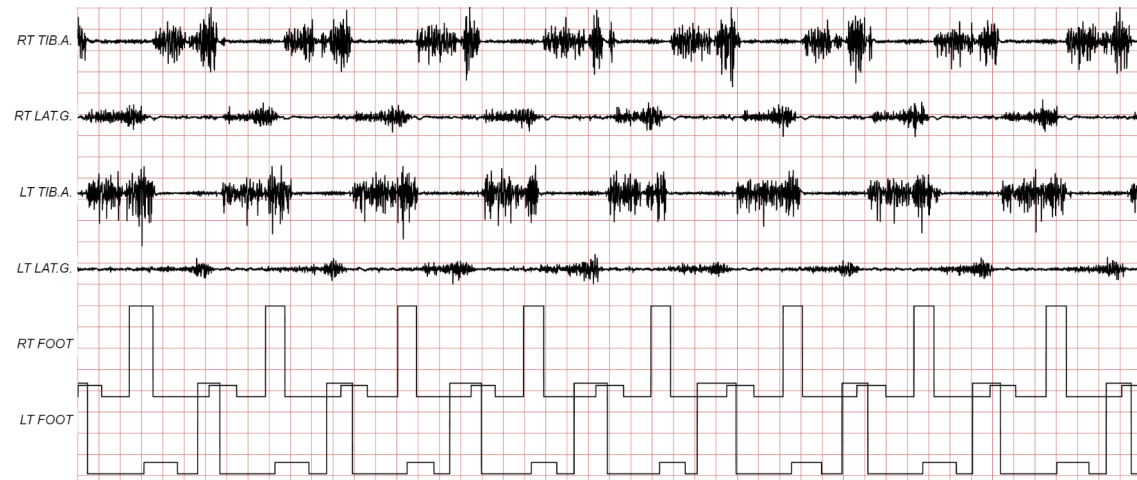


Figura 20. Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 76 anni esperto di Tai Chi nel task singolo (cammino per 10 minuti) presi al minuto 3:20 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano solo il primo giorno della valutazione, poiché vengono presi come riferimento.

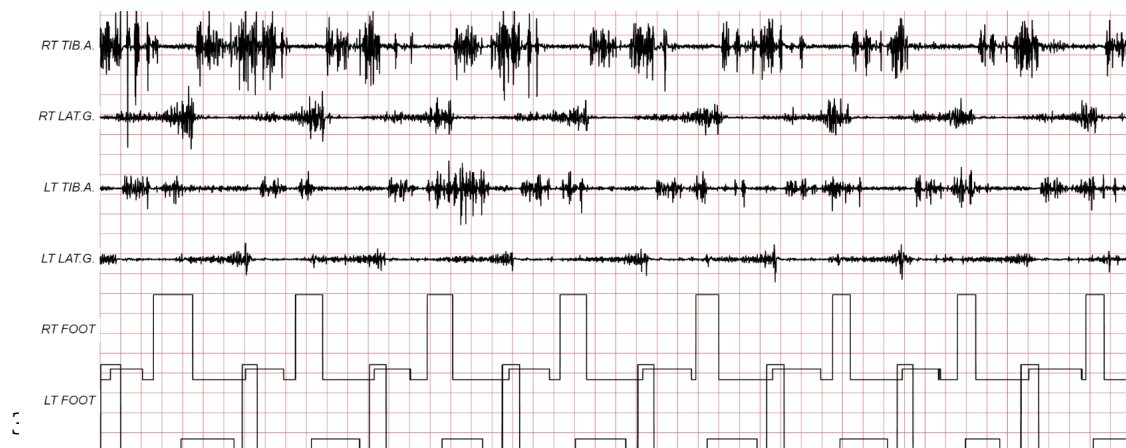
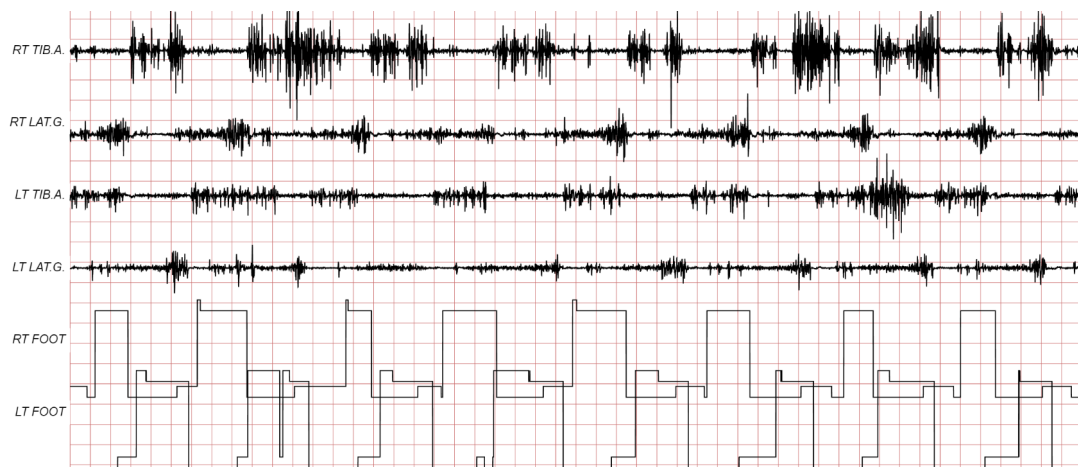
Come si può notare, il paziente esperto di Tai Chi (per esperto si indica il praticare Tai Chi per almeno 5 anni), presenta dei tracciati del footswitch molto regolari e dei tracciati EMG assolutamente congrui alle aspettative di cui si possono apprezzare i perfetti timing di attivazione dei due muscoli gastrocnemio laterale e tibiale anteriore ad ogni appoggio; quando il piede destro è appoggiato, si attiva il gastrocnemio destro e il tibiale sinistro e viceversa per l'altro piede, questo a sottolineare l'antagonismo dei due muscoli. Per quanto riguarda l'ampiezza dei muscoli gastrocnemi, è insolitamente bassa, dovuto forse a un mal posizionamento del EMG superficiale o più probabilmente a una grandezza del muscolo molto ridotta, tipica di una persona anziana magra.

5.2 Task duale



Figura 21-22-23 Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 77 anni non sottoposto all'allenamento di Tai Chi nel task duale (cammino per 90 secondi mentre si conta all'indietro) presi al secondo 40 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano il periodo al primo giorno della valutazione, al terzo mese e al sesto mese di controllo.

In questo caso i tracciati di EMG e del footswitch riguardano il paziente non sottoposto ad allenamento di Tai Chi alle prese con una prova che richiede capacità di multitasking, quindi più incentrato sull'aspetto cognitivo rispetto a quello fisico. Più che soffermarsi sui tracciati EMG, irregolari come da aspettativa visto il maggiore sforzo mentale in gioco, i dati relativi agli appoggi assumono più rilevanza per valutare il miglioramento cognitivo. Si può notare come al primo giorno di controllo il soggetto tende a stare più appoggiato al piede destro, rispetto al piede sinistro, probabilmente segno del periodo in cui il soggetto sta contando all'indietro; al terzo mese di controllo gli appoggi dei piedi risultano sovrapposti, segno di un'evidente difficoltà ad eseguire una prova che richiede la capacità di fare più cose contemporaneamente. Infine, al sesto mese di controllo, gli appoggi sono più regolari, anche se continua a prevalere la parte destra rispetto a quella sinistra.



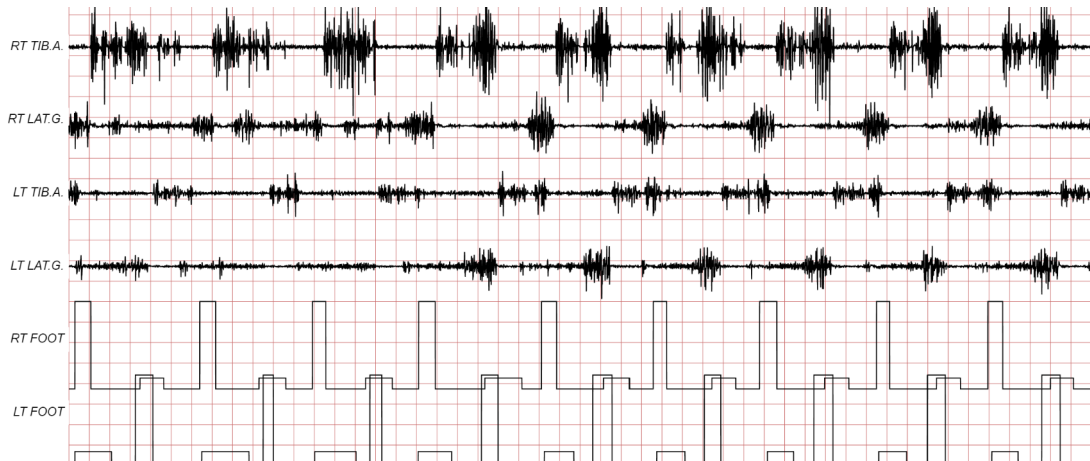


Figura 24-25-26 Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 73 anni sottoposto all'allenamento di Tai Chi nel task duale (cammino per 90 secondi mentre si conta all'indietro) presi al secondo 40 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano il periodo al primo giorno della valutazione, al terzo mese e al sesto mese di controllo.

Per quanto riguarda il paziente sottoposto all'allenamento di Tai Chi, durante il primo giorno di rilevamento dati vi sono le stesse difficoltà, ovvero attivazione irregolare dei muscoli e cattivo appoggio dei piedi, talvolta sovrapposti, come da aspettativa. Tuttavia, già al terzo mese di controlli si nota un miglioramento in tutti gli aspetti: l'attivazione dei muscoli ha un andamento più regolare, i timing di attivazione sono leggermente migliorati, ma il miglioramento più grande si nota negli appoggi dei piedi, decisamente più regolari rispetto alla prima visita di controllo. Successivamente tutti questi appena citati, vengono ulteriormente potenziati, come visto dalle misurazioni effettuate al sesto mese. Questo dimostra anche il ruolo positivo del Tai Chi nell'accrescere anche le potenzialità cognitive delle persone anziane.

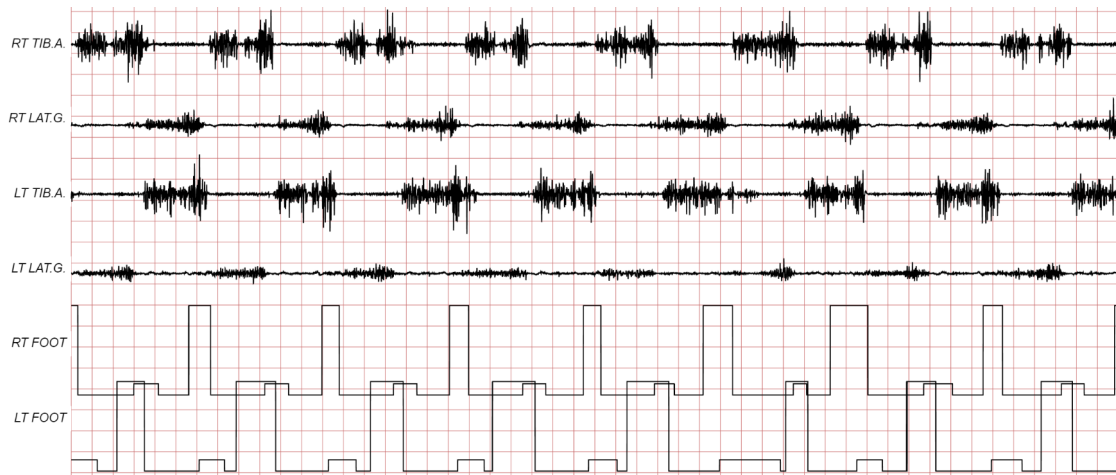


Figura 27. Tracciati EMG e segnale on/off del footswitch di un paziente maschio di età 76 anni esperto di Tai Chi nel task duale (cammino per 90 secondi mentre si conta all'indietro) presi al secondo 40 in una finestra di 10 secondi. I tracciati riguardano solo il primo giorno della valutazione, poiché vengono presi come riferimento.

Come nel task singolo, si possono apprezzare le differenze di una persona esperta nel Tai Chi, rispetto a una persona principiante e un'altra persona che invece non pratica Tai Chi. Infatti, sia le ampiezze dei muscoli, sia i timing di attivazione e sia il periodo di appoggio dei piedi sono tutti indicativi di una persona sana, non solo fisicamente, ma che dimostra una buona attività cognitiva.

Capitolo 6: Conclusioni

Capire la biologia dell'invecchiamento e valutare interventi che promuovono un invecchiamento sano stanno diventando priorità sempre più importanti. Il caso di studio preso in evidenza si sofferma molto sull'idea che l'invecchiamento comporta una perdita delle complessità delle funzioni fisiologiche. Tuttavia trovare dei criteri per individuare i biomarcatori più adatti per monitorare l'invecchiamento attivo, così come cercare di quantificare l'entità di quanto effettivamente il Tai Chi contribuisca alla prevenzione e alla riabilitazione dei pazienti rimane tutt'ora un punto interrogativo. Con l'uso di nuovi strumenti matematici nel campo della complessità e della biologia dei sistemi (MSE e DFA), aiutano senz'altro ad avvicinare l'obiettivo fissato di oggettivare il positivo impatto del Tai Chi, attraverso misurazioni di battito cardiaco, analisi posturale, analisi del cammino, così come le più tradizionali misure delle funzioni fisiche e mentali. Il tutto viene fatto tenendo sempre a mente la grande conquista scientifica dell'aumento dell'aspettativa di vita delle persone e che questi tipi di prove vengono svolte con l'intento di proporre un metodo alternativo, più improntato ad un approccio quotidiano e di abitudine, rispetto al classico approccio clinico, per permettere che l'aumento di aspettativa di vita vada a pari passo con un invecchiamento più sano.

Bibliografia

Harmer PA, Li F. Tai Chi and falls prevention in older people. In Tai Chi Chuan 2008 (Vol. 52, pp. 124-134). Karger Publishers.

Wolf SL, Barnhart HX, Ellison GL, Coogler CE, Atlanta FICSIT Group. The effect of Tai Chi Quan and computerized balance training on postural stability in older subjects. Physical therapy. 1997 Apr 1.

Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ, Sherrington C, Gates S, Clemson LM, Lamb SE. Interventions for preventing falls in older people living in the community. Cochrane database of systematic reviews. 2012.

Liu H, Frank A. Tai chi as a balance improvement exercise for older adults: a systematic review. Journal of geriatric physical therapy. 2010 Jul 1.

Yan JH. Tai Chi practice improves senior citizens' balance and arm movement control. Journal of Aging and Physical Activity. 1998 Jul.

Judge JO, Whipple RH, Wolfson LI. Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. Journal of the American Geriatrics Society. 1994 Sep.

Wang C, Collet JP, Lau J. The effect of Tai Chi on health outcomes in patients with chronic conditions: a systematic review. Archives of internal medicine. 2004 Mar 8.

Wu G, Zhao F, Zhou X, Wei L. Improvement of isokinetic knee extensor strength and reduction of postural sway in the elderly from long-term Tai Chi exercise. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2002 Oct 1.

Judge JO, Lindsey C, Underwood M, Winsemius D. Balance improvements in older women: effects of exercise training. Physical therapy. 1993 Apr 12.

Li F, Harmer P, Fitzgerald K, Eckstrom E, Stock R, Galver J, Maddalozzo G, Batya SS. Tai chi and postural stability in patients with Parkinson's disease. New England Journal of Medicine. 2012 Feb 9.

Wayne PM, Hausdorff JM, Lough M, Gow BJ, Lipsitz L, Novak V, Macklin EA, Peng CK, Manor B. Tai chi training may reduce dual task gait variability, a potential mediator of fall risk, in healthy older adults: cross-sectional and randomized trial studies.

Frontiers in human neuroscience. 2015 Jun 9.

Vergara-Diaz G, Osypiuk K, Hausdorff JM, Bonato P, Gow BJ, Miranda JG, Sudarsky LR, Tarsy D, Fox MD, Gardiner P, Thomas CA. Tai Chi for reducing dual-task gait variability, a potential mediator of fall risk in Parkinson's disease: a pilot randomized controlled trial. Global advances in health and medicine. 2018 May.

Hausdorff JM, Edelberg HK, Mitchell SL, Goldberger AL, Wei JY. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. Archives of physical medicine and rehabilitation. 1997 Mar 1.

Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2001 Aug 1.

Maki BE. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear?. Journal of the American geriatrics society. 1997 Mar;.

Hausdorff JM. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. Human movement science. 2007 Aug 1.

Hausdorff JM. Gait dynamics in Parkinson's disease: common and distinct behavior among stride length, gait variability, and fractal-like scaling. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 2009 Jun 29.

Busse ME, Wiles CM, van Deursen RW. Co-activation: its association with weakness and specific neurological pathology. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2006 Dec 1.

Gow BJ, Hausdorff JM, Manor B, Lipsitz LA, Macklin EA, Bonato P, Novak V, Peng CK, Ahn AC, Wayne PM. Can Tai Chi training impact fractal stride time dynamics, an index of gait health, in older adults? Cross-sectional and randomized trial studies. PloS one. 2017 Oct 11.

Lucia Galluzzo, Claudia Gandin, Silvia Ghirini ed Emanuele Scafato Centro Nazionale di Epidemiologia, Sorveglianza e Promozione della Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma