

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica



Studio della maturità del cammino nei bambini attraverso l'analisi del
segnale EMG

Development of gait in children assessed by surface electromyography

Relatore:

Prof. Francesco Di Nardo

Candidato:

Maria Vittoria Riceci

Correlatore:

Prof. Sandro Fioretti

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Indice

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUZIONE | 7 |
| 2 LA CONTRAZIONE MUSCOLARE | 8 |
| 2.1 tipologie di muscolo | 8 |
| 2.2 Organizzazione del muscolo scheletrico | 9 |
| 2.2.1 struttura delle fibre muscolari..... | 10 |
| 2.2.2 Miofilamenti | 10 |
| 2.2.3 Il sarcomero | 12 |
| 2.2.4 Reticolo Sarcoplasmatico..... | 13 |
| 2.3 Giunzione neuromuscolare e unità motoria | 14 |
| 2.3.1 Giunzione neuromuscolare | 14 |
| 2.3.2 Unità motoria..... | 15 |
| 2.4 Contrazione Muscolare | 15 |
| 2.4.1 Eccitazione | 15 |
| 2.4.2 Accoppiamento eccitazione-contrazione | 16 |
| 2.4.3 Contrazione..... | 17 |
| 2.4.4 Rilassamento..... | 18 |
| 3 GAIT ANALYSIS | 19 |
| 3.1 INTRODUZIONE..... | 19 |
| 3.2 STANCE E SWING | 20 |
| 3.3 FASI DEL PASSO | 21 |
| Fase 1: Initial Contact | 21 |
| Fase 2: Loading Response | 22 |
| Fase 3: Mid Stance..... | 23 |
| Fase 4: Terminal Stance | 24 |

| | |
|--|----|
| Fase 5: Pre Swing | 25 |
| Fase 6: Initial Swing | 26 |
| Fase 7: Mid Swing | 27 |
| Fase 8: Terminal Swing | 28 |
| 3.4 ATTIVITA' MUSCOLARE DURANTE IL GC DEI 5 MUSCOLI ANALIZZATI | 28 |
| 4 MATERIALE E METODI..... | 31 |
| 4.1 SOGGETTI..... | 31 |
| 4.2 ACQUISIZIONE DEL SEGNALE..... | 32 |
| 4.3 ELABORAZIONE DEL SEGNALE..... | 33 |
| 4.3.1 Dati basografici e dati di appoggio | 33 |
| 4.4 STATISTICAL GAIT ANALYSIS..... | 34 |
| 4.5 STATISTICA COMPARATIVA | 35 |
| 5 RISULTATI | 36 |
| 5.1 BAMBINI DEL GRUPPO 1 | 38 |
| 5.1.1 Muscolo BF | 38 |
| 5.1.2 Muscolo GL | 39 |
| 5.1.3 Muscolo RF | 40 |
| 5.1.4 Muscolo TA | 41 |
| 5.1.5 Muscolo VM..... | 42 |
| 5.1.6 Parametri spazio-temporali | 43 |
| 5.2 BAMBINI DEL GRUPPO 2 | 44 |
| 5.2.1 Muscolo BF | 44 |
| 5.2.2 Muscolo GL | 45 |
| 5.2.3 Muscolo RF | 46 |
| 5.2.4 Muscolo TA | 47 |
| 5.2.5 Muscolo VM..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 5.2.6 Parametri spazio-temporali | 49 |
| 5.3 BAMBINI DEL GRUPPO 3 | 50 |
| 5.3.1 Muscolo BF | 50 |
| 5.3.2 Muscolo GL | 51 |
| 5.3.3 Muscolo RF | 51 |
| 5.3.4 Muscolo TA | 52 |
| 5.3.5 Muscolo VM..... | 53 |
| 5.3.6 Parametri spazio-temporali | 54 |
| 5.4 BAMBINI DEL GRUPPO 4 | 55 |
| 5.4.1 Muscolo BF | 55 |
| 5.4.2 Muscolo GL | 56 |
| 5.4.3 Muscolo RF | 57 |
| 5.4.4 Muscolo TA | 58 |
| 5.4.5 Muscolo VM..... | 59 |
| 5.4.6 Parametri spazio-temporali | 60 |
| 5.5 BAMBINI DEL GRUPPO 5 | 61 |
| 5.5.1 Muscolo BF | 61 |
| 5.5.2 Muscolo GL | 62 |
| 5.5.3 Muscolo RF | 63 |
| 5.5.4 Muscolo TA | 64 |
| 5.5.5 Muscolo VM..... | 65 |
| 5.5.6 Parametri spazio-temporali | 66 |
| 5.6 ANALISI STATISTICA COMPARATIVA..... | 67 |
| 5.6.1 Età | 67 |
| 5.6.2 Altezza..... | 68 |
| 5.6.3 Peso..... | 68 |

| | |
|---|----|
| 5.6.4 Cadenze | 68 |
| 5.6.5 Durate del ciclo del passo | 69 |
| 5.6.6 Durate fase singolo supporto | 69 |
| 5.6.7 Durate fase doppio supporto | 69 |
| 5.6.8 Modalità di appoggio HFPS..... | 70 |
| 5.6.9 Modalità di appoggio PFPS | 70 |
| 5.6.10 Frequenze di reclutamento del BF con 1 attivazione | 70 |
| 5.6.11 Frequenze di reclutamento del BF con 2 attivazioni..... | 71 |
| 5.6.12 Frequenze di reclutamento del BF con 3 attivazioni..... | 71 |
| 5.6.13 Frequenze di reclutamento del BF con 4 attivazioni..... | 72 |
| 5.6.14 Frequenze di reclutamento del BF con 5 attivazioni..... | 72 |
| 5.6.15 Frequenze di reclutamento del GL con 1 attivazione..... | 73 |
| 5.6.16 Frequenze di reclutamento del GL con 2 attivazioni..... | 73 |
| 5.6.17 Frequenze di reclutamento del GL con 3 attivazioni..... | 74 |
| 5.6.18 Frequenze di reclutamento del GL con 4 attivazioni..... | 74 |
| 5.6.19 Frequenze di reclutamento del GL con 5 attivazioni..... | 75 |
| 5.6.20 Frequenze di reclutamento del RF con 1 attivazione..... | 76 |
| 5.6.21 Frequenze di reclutamento del RF con 2 attivazioni..... | 76 |
| 5.6.22 Frequenze di reclutamento del RF con 3 attivazioni..... | 77 |
| 5.6.23 Frequenze di reclutamento del RF con 4 attivazioni..... | 78 |
| 5.6.24 Frequenze di reclutamento del RF con 5 attivazioni..... | 79 |
| 5.6.25 Frequenze di reclutamento del TA con 1 attivazione..... | 79 |
| 5.6.25 Frequenze di reclutamento del TA con 2 attivazioni..... | 80 |
| 5.6.26 Frequenze di reclutamento del TA con 3 attivazioni..... | 80 |
| 5.6.27 Frequenze di reclutamento del TA con 4 attivazioni..... | 81 |
| 5.6.28 Frequenze di reclutamento del TA con 5 attivazioni..... | 82 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.6.29 | Frequenze di reclutamento del VM con 1 attivazione | 82 |
| 5.6.30 | Frequenze di reclutamento del VM con 2 attivazioni | 83 |
| 5.6.31 | Frequenze di reclutamento del VM con 3 attivazioni | 83 |
| 5.6.32 | Frequenze di reclutamento del VM con 4 attivazioni | 84 |
| 5.6.33 | Frequenze di reclutamento del VM con 5 attivazioni | 84 |
| 5.6.34 | Durata fase H | 85 |
| 5.6.35 | Durata fase F | 85 |
| 5.6.36 | Durata fase P | 86 |
| 5.6.37 | Durata fase S | 86 |
| 6 | DISCUSSIONE E CONCLUSIONI | 86 |
| 7 | BIBLIOGRAFIA | 89 |

1 INTRODUZIONE

Lo studio, tramite elettromiografia di superficie, del cammino in soggetti sani, è molto importante ai fini della pratica clinica, perché, individuando le situazioni di normalità, si riescono, di conseguenza, a definire con maggiore chiarezza anche quelle patologiche o problematiche. Offrono infatti un importante riferimento per il confronto e la valutazione di eventuali alterazioni delle funzioni muscolari durante la fase di cammino. Per questo motivo c'è una ampia letteratura che studia e delinea i dati da considerare 'normali' per il cammino, proponendo riferimenti normativi per il segnale elettromiografico (EMG), per i parametri spazio-temporali e per i segnali cinematici e dinamici. A questo proposito sono fondamentali i lavori [1-5]. Diversi studi, inoltre, sono stati incentrati sulla maturazione del cammino nei bambini, come gli articoli [6] e [7], e, in particolare, diversi studi sono stati fatti per ottenere un dataset di riferimento per l'elettromiografia di superficie nella popolazione pediatrica [8], [9] e [10]. In molti di questi lavori, come anche [8] e [11], il numero di soggetti a disposizione su cui effettuare l'analisi risulta ampio (come vale anche per i soggetti considerati in tale tesi), ma, almeno fino a una decina di anni fa, una limitazione importante era data dal numero di passi consecutivi analizzati, che rimanevano circa sui 3-6 passi per soggetto. Successivamente grazie all'uso di una nuova tecnica, la statistical gait analysis, che permette di studiare anche un centinaio e più di passi consecutivi, si è potuto superare tale problematica. In questo caso è importante citare lo studio [12], uno dei primi a utilizzare tale tecnica per lo studio del cammino nei bambini (tra i 6 e gli 11 anni). Lo studio della maturità del cammino è estremamente rilevante perché al momento una delle ipotesi più caldegiate è che il bambino, intorno ai 3 o 4 anni, abbia già un'andatura del tutto matura e quindi mostri un cammino non distinguibile da un punto di vista funzionale quello dell'adulto [4,5]. Tuttavia, recenti studi hanno iniziato a metter in dubbio questa teoria. In particolare, è stato evidenziato in [13] che il reclutamento muscolare di tibiale anteriore e gastrocnemio laterale nei bambini, quantificato tramite analisi EMG, è indipendente dal genere, mentre questo non è vero nell'adulto, dove un significativo incremento del reclutamento di questi due muscoli è stato individuato nella popolazione femminile. Il presente lavoro vuole quindi dare il proprio contributo allo studio della maturità del cammino, ponendosi l'obiettivo di fornire un'analisi stratificata per età del segnale EMG conseguente all'attivazione muscolare dei cinque principali muscoli reclutanti durante il cammino (Bicipite Femorale, Gastrocnemio Laterale, Retto Femorale, Tibiale Anteriore e Vasto Mediale), in una popolazione di cento bambini in età scolare. L'attività muscolare sarà quantificata in termini di intervalli temporali di attivazione dei muscoli e di

frequenza di reclutamento degli stessi in un numero di passi molto elevato (centinaia) per ogni bambino considerato.

2 LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

2.1 tipologie di muscolo

In base alla forma delle sue cellule ed alle loro particolari caratteristiche funzionali, i muscoli possono essere classificati in 3 categorie:

- muscolo striato
- muscolo liscio
- muscolo cardiaco

Il muscolo scheletrico è classificato come muscolo striato ed è un muscolo volontario, cioè controllato dal sistema nervoso centrale. Il cuore è composto da muscolo cardiaco, e sebbene sia anch'esso un muscolo striato, è involontario (al contrario del muscolo scheletrico) e viene modulato dal sistema nervoso autonomo. Il muscolo liscio (che manca delle striature evidenti nello scheletrico e nel muscolo cardiaco) è un muscolo involontario che si trova in genere come rivestimento di organi cavi (per esempio l'intestino ed i vasi sanguigni). In tutti e tre i tipi di muscoli, la forza è generata dall'interazione di molecole di actina e miosina, che avviene durante il processo della contrazione. In questo capitolo, l'attenzione è rivolta ai meccanismi alla base della contrazione del muscolo scheletrico (che ci interessa ai fini della trattazione di questa tesi).

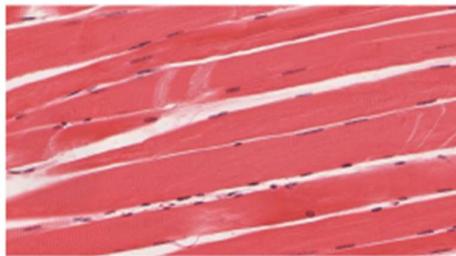


Figura 1. Vedi [14]. Muscolo striato

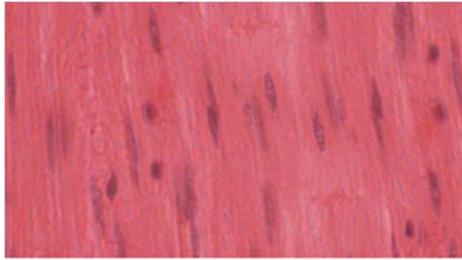


Figura 2. Vedi [14]. Muscolo liscio

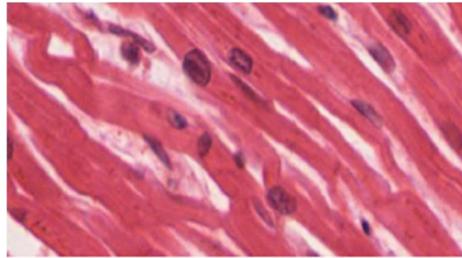


Figura 3. Vedi [14]. Muscolo cardiaco

2.2 Organizzazione del muscolo scheletrico

Il muscolo scheletrico non è costituito semplicemente da tessuto muscolare, ma anche da tessuto connettivo, tessuto nervoso e vasi sanguigni. Le cellule del muscolo scheletrico prendono nome di fibre muscolari ed ogni fibra muscolare viene circondata da uno strato sottile di tessuto connettivo lasso detto Endomisio. Diverse fibre muscolari sono poi raccolte insieme in un fascicolo, avvolte da un'altra guaina di tessuto connettivo più spessa detta Perimisio. Il Perimisio al suo interno trasporta i vasi sanguigni ed i nervi più grandi che riforniscono le varie fibre muscolari. Un altro strato di tessuto connettivo è l'Epimisio che circonda l'intero muscolo (costituito da un insieme di numerosi fascicoli). Infine un ultimo foglio di tessuto connettivo detto Fascia separa i muscoli o i gruppi muscolari adiacenti. Generalmente il muscolo scheletrico si attacca a diversi segmenti ossei ad ogni estremità dell'articolazione. Il punto di attacco più vicino al centro del corpo (prossimale) viene detto origine, mentre quello più lontano (distale) viene detto inserzione. La regione del muscolo che si attacca all'osso per trasferire la potenza generata dalla contrazione muscolare su di esso e quindi spostarlo, viene detta tendine: il tendine è costituito dalle estensioni dei vari strati di tessuto connettivo, principalmente da elastina e fibre di collagene.

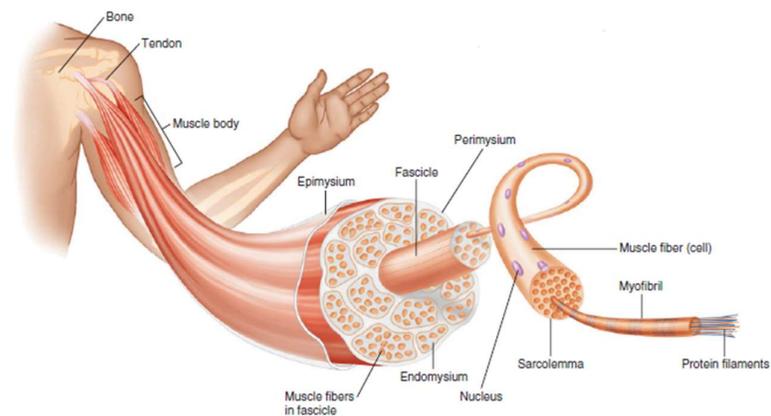


Figura 4. Organizzazione del muscolo scheletrico: le fibre muscolari sono avvolte da tessuto connettivo e poste longitudinalmente, in parallelo. Gruppi di fibre muscolari adiacenti costituiscono un fascicolo, avvolto a sua volta da tessuto connettivo. L'insieme di più fascicoli costituisce il muscolo intero (immagine presa da [15])

2.2.1 struttura delle fibre muscolari

Come abbiamo precedentemente accennato le fibre muscolari sono le cellule del muscolo scheletrico. Tali cellule hanno forma cilindrica e sono lunghe da pochi millimetri a diversi centimetri, mentre il loro diametro oscilla tra i 10 e gli 80 μm . La membrana plasmatica della fibra muscolare è denominata sarcolemma. Questa membrana è specializzata per svolgere funzioni di trasporto e scambio e, a livello della placca motrice, di ricezione dei segnali sinaptici. Il sarcolemma presenta inoltre dei canali voltaggio-dipendenti per sodio e potassio che permettono la generazione e la conduzione del potenziale d'azione. Le fibre muscolari sono multinucleate, infatti possono essere presenti anche centinaia di nuclei all'interno di una singola fibra. Questi nuclei sono generalmente localizzati in posizione periferica. Il citoplasma delle fibre muscolari viene detto sarcoplasma ed è principalmente occupato da un'aggregazione di numerosi filamenti proteici che corrono longitudinalmente, lungo l'asse maggiore della cellula. Ogni insieme di questi filamenti viene detto miofibrilla (il cui diametro è di circa $1\mu\text{m}$). La maggior parte degli organuli intracellulari si trovano impacchettati negli spazi compresi tra una miofibrilla e l'altra. In particolare qui si trovano i mitocondri (dove viene prodotto ATP) ed un particolare reticolo endoplasmatico liscio, detto reticolo sarcoplasmatico (RS), di cui parleremo in seguito.

2.2.2 Miofilamenti

Ogni miofibrilla è formata da microfilamenti di proteina detti miofilamenti. Si hanno 3 tipi di miofilamenti:

- filamenti spessi (diametro di circa 15 nm)
- filamenti sottili (diametro di 7 nm)
- filamenti elastici (diametro di 1 nm)

I filamenti spessi sono costituiti ognuno da centinaia di molecole di una proteina detta miosina. La miosina è costituita 6 catene polipeptidiche, di cui 2 più grandi sono dette pesanti e sono avvolte insieme in una configurazione ad elica. Questa coppia di catene pesanti prende la forma di uno stelo detto coda e finiscono con una doppia testa globulare. Ad ogni testa è legata una coppia di catene più piccole dette leggere. Un filamento spesso consiste di 200-500 molecole di miosina raggruppate in un fascio, con le teste che si proiettano verso l'esterno ed hanno un andamento elicoidale attorno ad esso. Nella parte centrale del filamento c'è una zona nuda, cioè priva della presenza di teste miosiniche. Tali teste sporgenti sono in grado di legarsi al filamento sottile nella fase di contrazione, formando un cosiddetto ponte trasversale o cross bridge. Presentano anche un sito per legare ATP la cui funzione è spiegata in seguito.

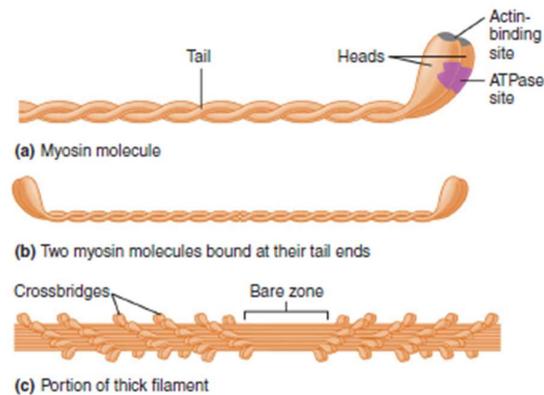


Figura 5. Vedi [15], (a) molecola di miosina. (b) due molecole di miosina legate insieme. (c) struttura del filamento spesso

La struttura fondamentale del filamento sottile è costituita da due catene di F-actina (actina fibrosa) avvolte l'una sull'altra a formare un'elica. Ogni catena di F-actina è composta da 200 molecole di G-actina (actina globulare) polimerizzate ed ogni molecola di G-actina contiene un sito di legame per le teste miosiniche. Inoltre un filamento sottile è composto anche da 40-60 molecole di tropomiosina, che sono distribuite lungo l'elica di F-actina e ad essa legate. Il ruolo di questa molecola è quello di coprire e scoprire i siti di legame della miosina sull'actina, ogni molecola copre circa 7 siti. Nello stato di riposo, la tropomiosina copre i siti per impedire il legame tra actina e miosina, mentre, in fase di contrazione, scopre i siti per permettere il meccanismo di ancoraggio delle due molecole, fenomeno fondamentale per la contrazione. Legata ad ogni molecola di tropomiosina, si trova una molecola più piccola detta troponina. Questa è composta da 3 subunità:

la troponina I inibisce i siti di legame dell'actina per la miosina, la troponina T regola la posizione della tropomiosina lungo la catena di F-actina e la troponina C presenta dei siti di legame per il calcio, il quale innesca il processo di contrazione.

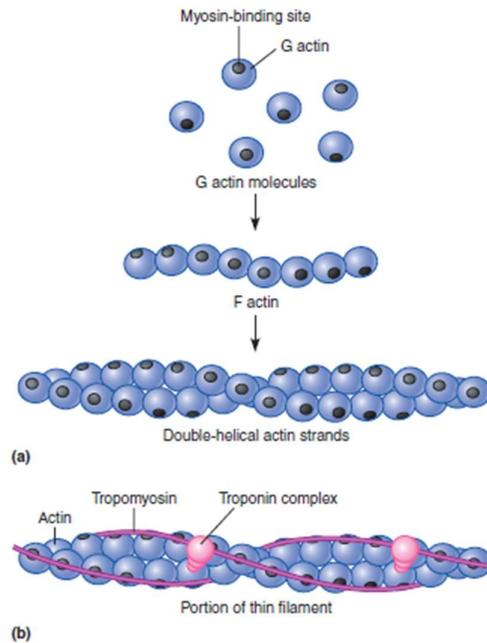


Figura 6. Vedi [15], (a) F-actina, composta da molecole di G-actina. (b) filamento sottile composto da 2 catene di F-actina avvolte, tropomiosina e troponina.

Infine i filamenti elastici sono costituiti da una proteina eccezionalmente grande che è in grado di svolgersi e ripiegarsi come una sorta di molla, che prende nome di titina. Questi filamenti si dispongono ai lati di ogni filamento spesso e lo ancorano ad una struttura detta disco Z. Actina e miosina sono denominate proteine contrattili perché determinano l'accorciamento della fibra muscolare.

2.2.3 Il sarcomero

Al microscopio ottico o a quello elettronico le miofibrille appaiono costituite da una successione periodica di bande chiare e bande scure. Queste bande delineano la caratteristica striatura dei muscoli scheletrico e cardiaco che sono detti, appunto, striati. La striatura è dovuta alla disposizione ordinata dei filamenti proteici che compongono i miofilamenti. Le bande scure che si osservano sono dette bande A (anisotrope) e si alternano a quelle chiare che sono dette bande I (isotrope).

Nella regione centrale della banda A c'è una zona più chiara che viene detta banda H. Questa è a sua volta divisa a metà da una stria detta linea M. Invece la banda I è divisa trasversalmente a metà da una stria più scura detta linea Z (o disco Z). Si definisce sarcomero la porzione di miofibrilla compresa tra due linee Z consecutive ed è convenzionalmente indicata come l'unità contrattile

fondamentale del muscolo scheletrico. Le bande A consistono in filamenti spessi affiancati e sovrapposti, in porzione variabile, ai filamenti sottili: i punti dove i filamenti sottili non arrivano corrispondono alla banda H. La sovrapposizione delle due fibre varia a seconda dell'allungamento delle miofibrille. Infatti, quando queste sono distese, vi è una diminuzione della sovrapposizione dei filamenti sottili con quelli spessi e di conseguenza risulta incrementa la larghezza delle bande I ed H. Per quanto riguarda le bande I, queste sono costituite da soli filamenti sottili. Nella zona di sovrapposizione del filamento spesso con quello sottile della banda A si distinguono le teste di miosina che permettono ai due filamenti di legarsi ad intervalli regolari. Sulle linee Z sono ancorati i filamenti sottili ed i filamenti elastici associati, mentre sulla linea M si hanno gli ancoraggi dei filamenti spessi.

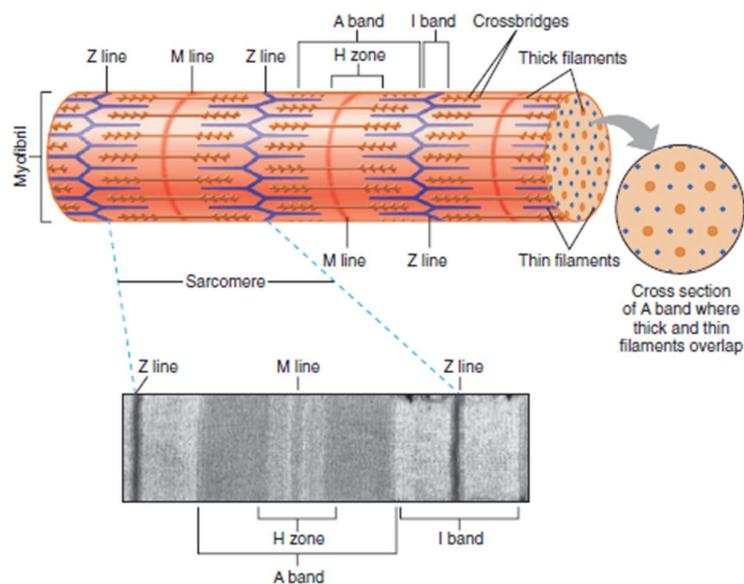


Figura 7. Vedi [15], Sotto l'immagine di una porzione di miofibrilla vista al microscopio. sopra vediamo come risultano organizzati i sarcomeri all'interno della miofibrilla

2.2.4 Reticolo Sarcoplasmatico

Il reticolo sarcoplasmatico è una rete di membrane intracellulari che svolge un ruolo critico nella regolazione della concentrazione degli ioni calcio $[Ca^{++}]$, fondamentale ai fini della contrazione, e che si sviluppa attorno ad ogni miofibrilla. Il reticolo sarcoplasmatico presenta, a intervalli regolari, delle dilatazioni sacciformi che prendono nome di cisterne terminali che attraversano da un lato all'altro tutta la fibra muscolare. Queste contengono il calcio che viene liberato in seguito all'eccitamento del sarcolemma. Il sarcolemma presenta numerose invaginazioni tubolari (che quindi sono in contatto con lo spazio extracellulare), che penetrano profondamente nella cellula e

che costituiscono i cosiddetti tubuli a T (o tubuli trasversi). Ogni tubulo a T è associato a 2 cisterne terminali, che gli corrono di fianco, una da un lato e l'altra dall'altro lato. Le 2 cisterne terminali e il relativo tubulo a T insieme vengono detti triade. La funzione dei tubuli a T è quella di propagare il potenziale d'azione dalla superficie della cellula verso il suo interno. Nella membrana dei tubuli T è presente il recettore sensibile DHPR, un canale del calcio che si attiva con la depolarizzazione della membrana plasmatica ed il cui ruolo è di stimolare il rilascio del calcio dal reticolo sarcoplasmatico. Sulla membrana delle cisterne terminali si trova il recettore RYR1. Esso è una proteina di membrana che funziona da canale voltaggio-dipendente per gli ioni calcio uscenti dal RS nel sarcoplasma, secondo gradiente, senza dispendio di energia (fase di contrazione). Nelle porzioni longitudinali del RS c'è una grande densità di SERCA, un tipo di pompa che ricapta ioni calcio e li ritrasferisce nel reticolo sarcoplasmatico dal sarcoplasma, spendendo energia sotto forma di ATP. SERCA, abbassando la concentrazione di ioni calcio sotto 0,001 mM (millimoli/millilitro) nel citoplasma, pone fine alla contrazione muscolare.

2.3 Giunzione neuromuscolare e unità motoria

2.3.1 Giunzione neuromuscolare

Il muscolo scheletrico è controllato dal sistema nervoso centrale. In particolare, ogni muscolo scheletrico è innervato da cellule nervose chiamate motoneuroni. I corpi cellulari dei neuroni motori sono situati nel tronco cerebrale e nel midollo spinale. Gli assoni del neurone motore, chiamati fibre motorie somatiche, si portano fino al muscolo scheletrico. Qui i nervi motori si ramificano e ogni ramo va ad innervare una singola fibra muscolare. Quando una fibra nervosa giunge ad una fibra muscolare, l'assone si ramifica ulteriormente per creare diversi punti di contatto in una stessa regione, rendendola così più sensibile ad una eventuale eccitazione. Questa zona prende nome di giunzione neuromuscolare (o placca motrice). Al suo interno quindi troviamo diverse sinapsi (punto di contatto) con la stessa fibra muscolare. Ogni sinapsi termina con un'espansione a forma di bulbo, detta bottone sinaptico. Il bottone sinaptico non entra in diretto contatto con la fibra muscolare, ma è separato da essa da uno spazio chiamato fessura sinaptica (largo tra i 60-100 nm). Una serie di cellule, che prendono nome di cellule di Schwann, circondano l'intera giunzione, isolandola dal circostante fluido interstiziale. Il bottone sinaptico contiene al suo interno delle vescicole sinaptiche che al loro interno contengono un mediatore chimico: l'acetilcolina (ACh). La membrana presinaptica (sul bottone sinaptico) è attraversata dai canali del calcio voltaggio-dipendenti e,

quando arriva un segnale nervoso, fanno entrare ioni calcio nella terminazione, promuovendo la fusione delle vescicole che rilasciano ACh nella fessura sinaptica. Successivamente l'ACh rilasciato si lega a specifiche proteine di membrana presenti sul sarcolemma (in questo punto detto anche membrana postsinaptica), dove esso presenta dei ripiegamenti per aumentare la superficie disponibile agli scambi chimici. In base al numero di ACh che giunge alla membrana postsinaptica si apriranno più o meno canali del sodio (presenti appunto sul sarcolemma) che permetteranno l'ingresso di ioni Na^+ e porteranno alla parziale depolarizzazione della membrana. Se tale depolarizzazione è sufficientemente ampia da superare una determinata soglia, si innesca il cosiddetto potenziale d'azione che diffonde lungo tutto il sarcolemma. Una volta che lo stimolo nervoso cessa, l'acetilcolina viene smaltita dagli enzimi acetilcolinesterasi, presenti sul sarcolemma.

2.3.2 Unità motoria

Un'unità motoria è costituita dal nervo motore e da tutte le fibre muscolari innervate dallo stesso nervo. L'unità motoria è l'unità contrattile funzionale perché tutte le fibre muscolari raggiunte dalla stessa fibra nervosa si contraggono in modo sincrono quando il nervo viene stimolato. La dimensione delle unità motorie all'interno di un muscolo varia, a seconda della funzione: se è necessario un controllo fine del movimento, si avranno unità piccole e se invece si ha bisogno di una forza notevole, si avranno unità grandi.

2.4 Contrazione Muscolare

La contrazione muscolare avviene per effetto dell'accorciamento simultaneo di una parte delle fibre che lo costituiscono. L'accorciamento delle fibre è a sua volta determinato dall'accorciamento delle miofibrille, che si realizza attraverso lo scivolamento dei filamenti sottili su quelli spessi all'interno dei sarcomeri.

2.4.1 Eccitazione

Una volta che il segnale nervoso che attraversa l'assone è arrivato al bottone sinaptico e che questo ha rilasciato ACh, i recettori sul sarcolemma si legano ad esso e ciò fa aprire i canali ionici del sodio, provocando la depolarizzazione della membrana ed innescando un potenziale d'azione (vedi paragrafo 2.3.1 sulla giunzione neuromuscolare).

2.4.2 Accoppiamento eccitazione-contrazione

Grazie ai tubuli a T, il segnale si propaga in profondità nella fibra e raggiunge le triadi (tubulo T e 2 cisterne). La depolarizzazione, quindi, stimola il rilascio di calcio che passa nei canali voltaggio-dipendenti presenti sulla membrana delle cisterne terminali e si riversano nel sarcoplasma (una volta che cessa lo stimolo, il calcio viene recuperato e riaccumulato contro gradiente nelle cisterne con dispendio di ATP grazie a particolari pompe: vedi paragrafo 2.2.4 Reticolo sarcoplasmatico). Raggiunto il sarcoplasma, gli ioni calcio si legano ai siti specifici presenti sulla troponina C, che interagisce con le altre subunità troponiniche per spostare la tropomiosina dai siti di legame della G-actina. Nella fase di riposo del muscolo, le teste miosiniche si trovano staccate dai siti di legame presenti sulle catene actiniche e ad ogni testa è legata una molecola di ATP. Con la liberazione del calcio nel sarcoplasma avviene l'esposizione dei siti di legame per la miosina sull'actina. A questo punto, grazie all'azione ATPasica della testa della miosina, su di essa avviene l'idrolisi dell'ATP, da cui risultano ADP e un gruppo fosfato Pi (entrambi i prodotti rimangono inizialmente legati alla miosina). Da tale reazione la miosina ricava l'energia per il successivo spostamento. Infatti l'energia liberata dall'idrolisi dell'ATP induce una rotazione della testa della miosina che passa da una posizione piegata ad una posizione estesa (verso il filamento di actina).

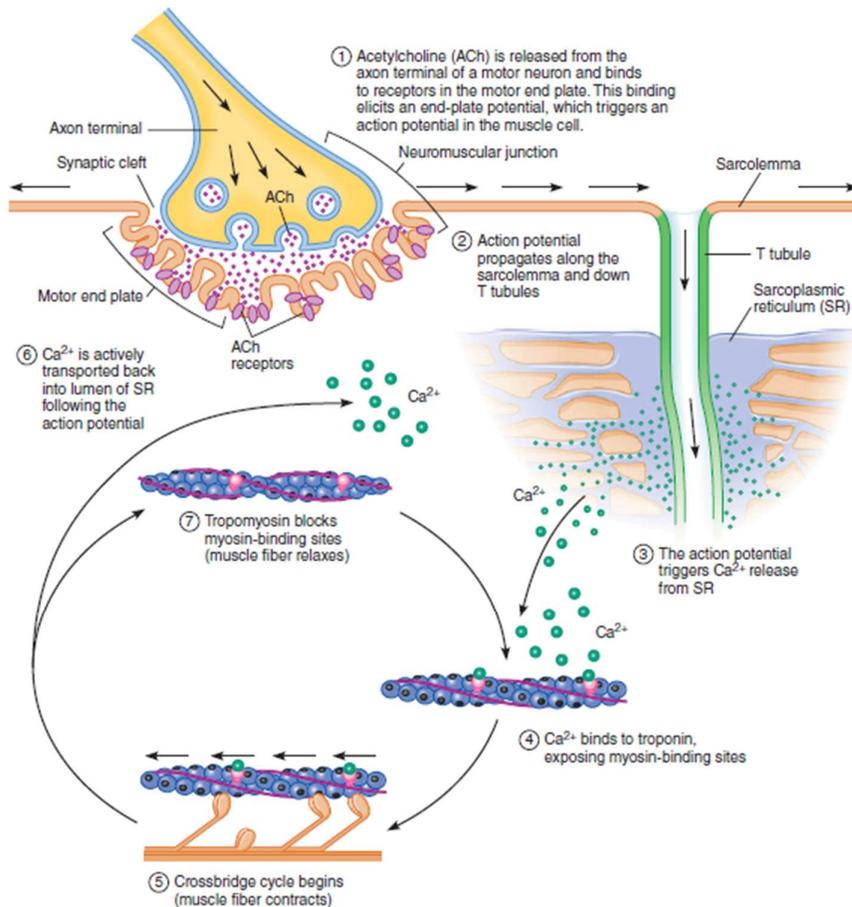


Figura 8. Vedi [15]. Ciclo dell'accoppiamento eccitazione-contrazione: viene rilasciato ACh che arriva alla membrana post sinaptica e innesca un potenziale d'azione. Il potenziale si propaga nella cellula tramite tubuli T e il calcio viene rilasciato nel sarcoplasma. Il calcio interagisce con la troponina che fa aprire i siti di legame con actina. Si creano i così detti cross bridge e si ha la contrazione.

2.4.3 Contrazione

La testa miosinica crea un legame provvisorio con una molecola di G-actina, formando un angolo di 90 gradi, e il legame che si forma in questo modo viene detto ponte trasversale. Viene rilasciato il gruppo fosfato Pi. A questo punto la miosina si flette, esercitando trazione sul filamento sottile che scivola per un breve tratto lungo il filamento spesso. Questo trascinarsi prodotto dalla miosina viene chiamato colpo di forza (power stroke). Dopo ciò viene rimosso dalla testa della miosina anche la molecola di ADP e quindi questa è ibera di legarsi con una nuova molecola di ATP, evento che causa il distacco della miosina dall'actina. A questo punto, in seguito ad una nuova idrolisi dell'ATP, la testa della miosina è pronta a legarsi nuovamente ad una G-actina in un sito più vicino alla linea Z del sarcomero. Queste fasi in cui la testa della miosina si lega con ATP, si raddrizza e si lega con l'actina si ripetono durante tutta la durata della contrazione: l'effetto è che il filamento sottile scivola, porzione dopo porzione, sul filamento spesso ed accorciando l'intera cellula. Ogni volta che

una testa miosinica rilascia il filamento sottile con cui si era legata, lungo la stessa fibra si avranno altre teste che invece in quello stesso istante rimangono legate, così che durante l'intera fase di contrazione i due filamenti non siano mai del tutto staccati l'uno dall'altro. Le teste di miosina agiscono cioè a turno sul filamento di actina, tirandolo e lasciandolo andare.

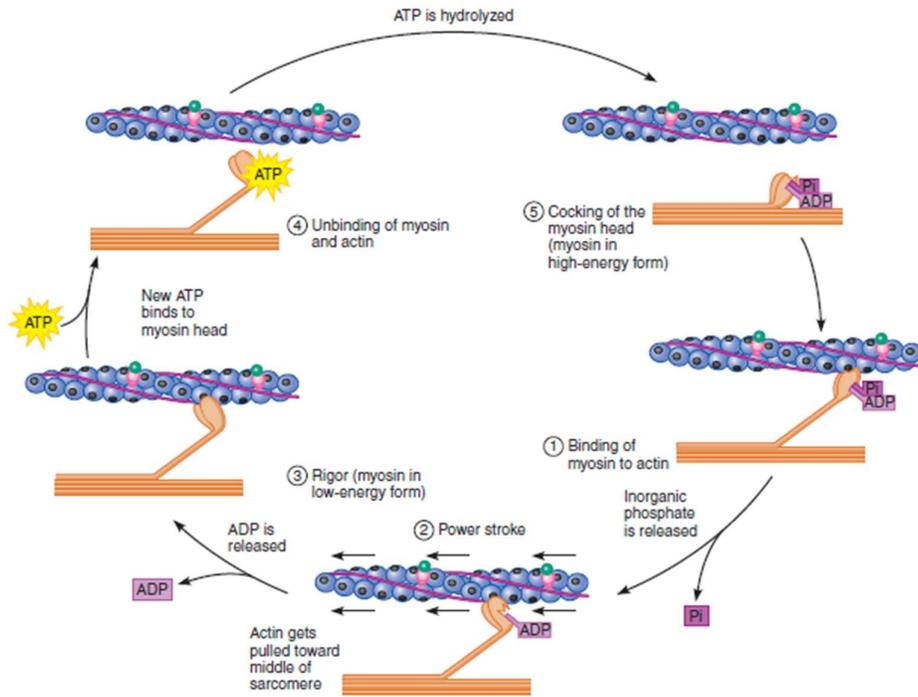


Figura 9 Vedi [15] riepilogo del ciclo degli eventi che portano alla formazione dei ponti trasversali

2.4.4 Rilassamento

Quando viene interrotta la stimolazione, il neurone motorio smette di rilasciare ACh. La fibra muscolare non viene più eccitata elettricamente. Il reticolo sarcoplasmatico riassume gli ioni calcio e li accumula fino a quando verrà stimolato un'altra volta. Senza calcio, la troponina si riporta alla posizione che blocca i siti attivi della G-actina e previene la formazione di nuovi ponti trasversali. In questo modo il muscolo non può più mantenere la tensione e si rilassa.

3 GAIT ANALISYS

3.1 INTRODUZIONE

La Gait Analysis è un metodo per l'analisi del movimento ampiamente utilizzata in clinica. Infatti l'analisi del cammino è quella funzione che meglio identifica l'autonomia del paziente nel contesto della vita quotidiana, ed inoltre la deambulazione è un'attività che ha una certa ripetitività funzionale e quindi si presta molto bene a diventare uno strumento d'indagine. Prima di procedere con la descrizione della deambulazione, però, è opportuno fare una piccola introduzione. Per prima cosa descriviamo i 3 piani dello spazio su cui avvengono i movimenti del corpo:

- il piano sagittale divide il corpo verticalmente, attraversandolo dall'avanti all'indietro e dividendolo in una parte destra e una parte sinistra
- il piano frontale percorre il corpo da sinistra verso destra (verticalmente) dividendolo in una parte anteriore ed una parte posteriore
- il piano trasverso, che corre orizzontalmente, divide il corpo in una parte superiore ed una parte inferiore

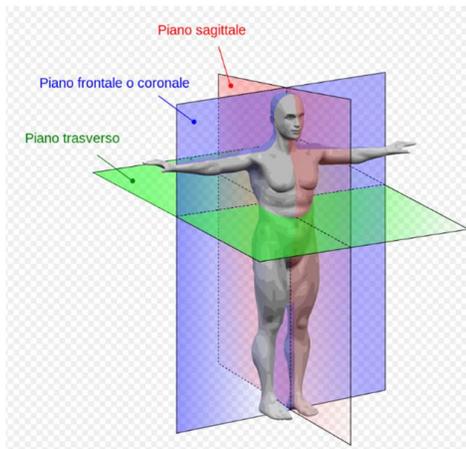


Figura 10. vedi [16]. i 3 piani anatomici dello spazio

Il movimento dei segmenti corporei in ognuno di questi piani avviene intorno ad un asse perpendicolare al piano stesso, cioè:

- i movimenti sul piano sagittale sono detti di flessione e di estensione ed avvengono intorno ad un asse trasverso
- i movimenti sul piano frontale sono detti di abduzione e di adduzione ed avvengono intorno ad un asse sagittale
- i movimenti sul piano trasverso sono detti di rotazione interna e di rotazione esterna ed avvengono attorno ad un asse frontale

3.2 STANCE E SWING

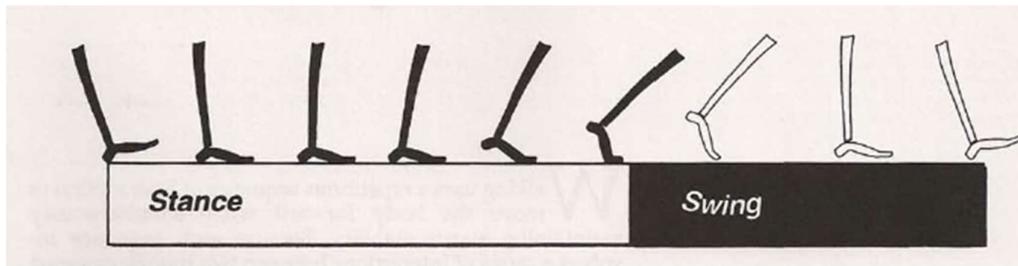


Figura 11. vedi [1]. divisione del GC in stance e swing

Mentre il corpo avanza, un arto funge da mobile fonte di supporto mentre l'altro arto si porta avanti fino ad appoggiarsi e diventare nuovo sito di supporto. Quindi gli arti invertono il loro ruolo. Per il trasferimento del peso corporeo da un arto all'altro, entrambi i piedi sono a contatto con il suolo. Questa serie di eventi è ripetuta da ciascun arto fino al raggiungimento della destinazione della persona. Una singola sequenza di queste funzioni per un arto è chiamata Gait Cycle (GC). Trattandosi di un'azione che scorre uniformemente alla successiva, non esiste, in realtà, uno specifico punto di inizio e fine. Per convenzione, comunque, il ciclo del passo viene fatto iniziare con il momento in cui il piede di riferimento impatta con il terreno ed inizia la sua fase di appoggio. Normalmente le persone iniziano il contatto con il pavimento con il tallone e per questo motivo, la fase corrispondente verrà chiamata Heel Contact. Ogni ciclo di andatura si divide in due periodi fondamentali: swing e stance. Con stance si intende l'intero periodo durante il quale il piede considerato si trova a terra. Lo swing (o oscillazione) è invece il tempo in cui il piede si trova in aria per l'avanzamento dell'arto stesso. Quando parliamo di gait cycle consideriamo che ogni ciclo è composto dalla fase di stance del piede di riferimento (mentre il controlaterale esegue lo swing) e la sua successiva fase di swing (mentre il controlaterale esegue lo stance). Si può fare quindi una suddivisione in sottointervalli in funzione della sequenza con cui i piedi toccano e stanno in contatto con il pavimento. Lo stance è suddiviso in tre intervalli: sia l'inizio che la fine dello stance comportano un periodo di contatto di entrambi i piedi, in contemporanea, con il suolo; mentre nella parte centrale si ha un contatto con il suolo del solo piede di riferimento. Una fase in cui il contatto con il pavimento si ha con entrambi i piedi viene detta di Double Limb Support (DLS), mentre una in cui il contatto si ha con un solo piede è detta Single Limb Support (SLS). In corrispondenza dell'Initial Contact del piede di riferimento si ha la prima fase di DLS dello stance e poi, quando il piede controlaterale si solleva per lo swing, si ha la SLS. Infine, quando l'altro piede impatta con il suolo si ha di nuovo una DLS che continua finché l'arto di riferimento viene sollevato per lo swing. Nello swing si avrà un periodo di SLS e alla fine del ciclo si avrà di nuovo un Initial Contact (accompagnato

da una fase di DLS). Normalmente la durata dello stance copre circa il 60% del ciclo del cammino; mentre quella dello swing il restante 40%.

3.3 FASI DEL PASSO

Durante lo sviluppo della gait analysis i ricercatori hanno correlato ad ogni schema di movimento, eseguito durante il cammino, una diversa domanda funzionale. Questi schemi di movimento sono quindi stati designati come fasi del passo, divise in base alla loro funzionalità. Ogni ciclo contiene otto schemi funzionali. Per evitare difficoltà e confusione, il Rancho Los Amigos Gait Analysis committee, ha sviluppato una terminologia generica per le fasi funzionali dell'andatura. La combinazione sequenziale delle fasi consente inoltre all'arto di svolgere tre compiti di base, che sono: accettazione del peso (WA), supporto dell'arto singolo (SLS) e avanzamento dell'arto (SLA). L'accettazione del peso coinvolge le prime 2 fasi del passo e consiste nel dover gestire correttamente il brusco trasferimento del peso corporeo sull'arto il cui piede ha appena terminato lo swing e che è ancora in una posizione instabile. Si deve avere, per questo task motorio: l'assorbimento dell'urto piede-terra, mantenimento dell'equilibrio e avanzamento della gamba stessa. Poi, per quanto riguarda il task del Single Limb Support, si ha quando l'altro piede viene sollevato per effettuare lo swing e dura finché lo stesso non atterra davanti al piede di riferimento. Questo compito coinvolge la fase 3 e la 4 del GC. Qui l'arto che rimane a terra deve sostenere da solo tutto il peso corporeo, mentre continua la progressione in avanti dell'intero corpo. L'ultimo task è quello che fa sì che la gamba, rimasta indietro rispetto al resto del corpo, sia portata avanti. In questa fase la gamba, che effettua quindi lo swing, si deve anche preparare per il seguente impatto con il suolo. Comprende tutte le fasi successive alle prime 4.

Fase 1: Initial Contact

La fase di IC rappresenta l'intervallo compreso tra lo 0% ed il 2% del Gait Cycle e consiste nel contatto iniziale del piede con il suolo che, normalmente, avviene con il tallone (heel strike). La GRF (ground reaction force) dell'arto in Initial Contact è localizzata anteriormente a livello di anca e ginocchio e posteriormente rispetto alla tibio-tarsica. Nell'anca verrà indotto un momento flessorio contrastato dalla contrazione dei muscoli estensori (grande gluteo e ischiocrurali). Il ginocchio risulta esteso, senza che sia necessaria un'attivazione muscolare. A livello della caviglia, che si trova inizialmente in posizione neutrale, man mano che il peso viene trasferito sul tallone del piede davanti, il piede inizia a scendere sul pavimento e viene indotto un momento di plantiflessione, controllato dalla

contrazione dei muscoli dorsiflessori con un maggior contributo del tibiale anteriore. Inizia l'eversione del calcagno.

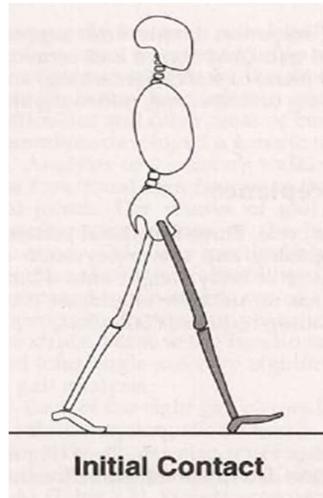


Figura 12. vedi [1]. Fase 1 di Initial Contact

Fase 2: Loading Response

La fase successiva, che rappresenta l'intervallo temporale situato tra il 2% ed il 12% del GC, prende nome di 'accettazione del carico' (loading response). Il peso corporeo viene spostato sull'arto di riferimento, ponendo le basi per una corretta e successiva fase di singolo supporto (tale arto dovrà sostenere da solo tutto il peso). Per mantenere il corpo in movimento senza interruzioni, il piede inizia a rotolare sul tallone (heel rocker), determinando uno spostamento della GRF posteriore a livello di anca e ginocchio ed anteriore rispetto alla tibiotarsica. Il piede continua la dorsiflessione, che lo guida verso il pavimento fino a 10° in flessione plantare, movimento controllato dal tibiale anteriore che frena la caduta del piede sul suolo. Mentre nell'anca continua il movimento flessorio, si ha la conclusione del processo di rotolamento sul tallone che, oltre a frenare il piede verso terra, trascina anche la tibia in avanti insieme alla coscia, cosa che permette la progressione. L'assorbimento degli urti è il secondo vantaggio della flessione plantare, contenuta dal TA, della caviglia. Quando l'avampiede si appoggia a terra, la caviglia cambia suo movimento: mentre prima, il piede si spostava rispetto alla gamba che rimaneva ferma, ora è la tibia a spostarsi in avanti e con questo inizia la dorsiflessione. In questa fase si ha inoltre la flessione del ginocchio che viene controllata dall'azione del quadricipite, con un maggior coinvolgimento dei 3 muscoli vasti, rispetto al retto femorale in modo tale che arrivi ad un massimo di 20°. Tale processo consentirà di assorbire l'impatto con il suolo. Sul piano frontale invece la GRF determinerà un momento adduttore all'anca che verrà contrastato dall'azione dei muscoli abduttori quali medio gluteo e tensore della fascia lata.

La stabilità sotto carico viene così mantenuta principalmente dal controllo della flessione di ginocchio e della componente flesso-adduttoria dell'anca.

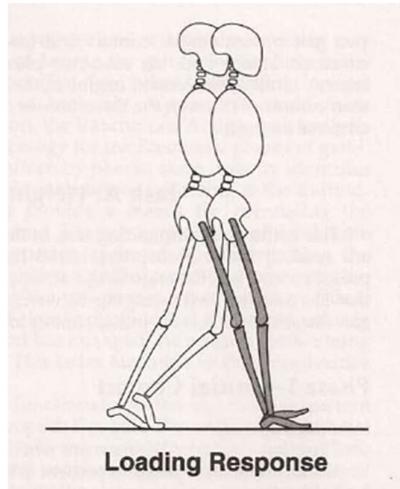


Figura 13. [1]. Fase 2 di Loading Response.

Fase 3: Mid Stance

La Mid Stance, situata nell'intervallo temporale tra il 12% ed il 31% del ciclo del passo, rappresenta la fase iniziale della SLS. Lo scopo in questa fase è di sostenere il peso del corpo per consentire la progressione in volo dell'arto controlaterale. La GRF si sposta posteriormente rispetto all'anca ed anteriormente rispetto a ginocchio e caviglia: continua la dorsiflessione a livello della tibiotarsica che viene controllata dall'azione muscolare di gastrocnemio e soleo. Durante questa fase si realizza un secondo rotolamento sulla tibiotarsica (ankle rocker): ciò avviene mediante lo spostamento della tibia in avanti che va a chiudere l'angolo con il piede, consentendo la progressione del corpo in avanti. Grazie a soleo e gastrocnemio la dorsiflessione viene bloccata a 5°, in modo da mantenere la GRF anteriore rispetto al ginocchio, consentendone l'estensione (passiva) senza l'intervento di altre forze muscolari e, di conseguenza, mantenendo la stabilità sull'arto in carico. L'anca riduce la flessione di circa 20°, grazie all'attività del bicipite femorale e dei vasti, portandosi in posizione neutrale. Sul piano frontale restano attivi il medio gluteo ed il tensore della fascia lata per contrastare il momento adduttorio ed impedire la caduta controlaterale del bacino, mentre sul piano trasverso la rotazione interna dell'arto in swing determina una rotazione esterna dell'arto in mid stance.

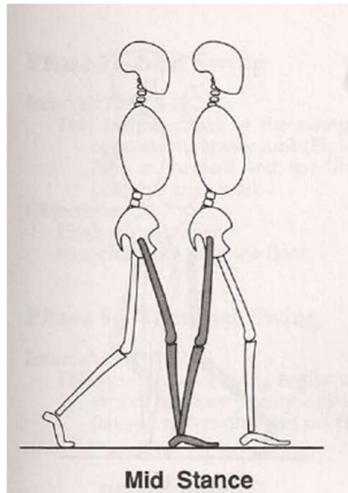


Figura 14. [1]. Fase 3 di Mid Stance

Fase 4: Terminal Stance

Nel momento in cui viene sollevato il tallone dell'arto principale, entriamo nella fase di terminal stance dell'arto in appoggio. Lo scopo di questa fase, corrispondente all'intervallo temporale compreso tra il 31% ed il 50% del GC, è garantire la progressione del corpo oltre il piede in appoggio e consentire al tempo stesso una buona lunghezza del passo. Qui si ha una riduzione dell'eversione del piede e l'avampiede rimane l'unico sostegno del peso corporeo. Il peso del corpo in caduta libera determina il sollevamento del tallone dal suolo: ciò avvia il terzo rotolamento sulle teste metatarsali (forefoot rocker), meccanismo che sostiene la progressione e porta gradualmente le dita in flessione dorsale di circa 20 gradi. La GRF si sposta anteriormente nel piede fino a raggiungere le teste metatarsali: aumenta la dorsiflessione della caviglia, che viene contenuta dall'azione di soleo e gastrocnemio che bloccano la tibiotarsica in flessione dorsale di circa 10°. L'estensione del ginocchio e dell'anca in questa fase è garantita dall'azione del tricipite surale che gioca un ruolo fondamentale nella stabilità dell'arto, tuttavia la posizione arretrata della coscia rispetto alla tibia durante il rotolamento sulle teste metatarsali determina uno spostamento posteriore della GRF nei confronti del ginocchio, il quale alla fine della Terminal Stance, inizia il suo momento flessorio.

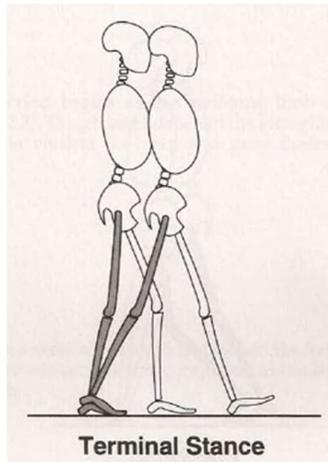


Figura 15. [1]. Fase 4 di Terminal Stance

Fase 5: Pre Swing

La fase di Pre Swing, corrispondente all'intervallo temporale compreso tra il 50% ed il 62% del GC, è la fase terminale di doppio appoggio ed ha 2 obiettivi fondamentali: consentire la progressione in avanti mediante il meccanismo di push-off, generato ad opera di soleo e gastrocnemio, e pre-posizionare l'arto per lo swing. Il trasferimento del carico sull'arto davanti, che ha completato l'avanzamento, libera il tricipite surale dall'azione di stabilizzatore ed il suo richiamo elastico accelera il rialzo del tallone e l'avanzamento della tibia. Questo genera una spinta impulsiva (appunto un push-off) che permette la plantiflessione della caviglia fino a 15° e la tibia continua ad avanzare. La posizione assunta dall'articolazione della caviglia, combinata con il rialzo del tallone, mantiene la lunghezza dell'arto, riducendo l'abbassamento ispilaterale della pelvi a soli 5°. La GRF si trova a livello dell'articolazione metatarsofalangea ed è posteriore al ginocchio. Mentre la tibia continua ad avanzare, il ginocchio si porta ad una flessione di circa 40°, in gran parte dovuta a forze passive, ma anche, per un contributo minore, dal controllo muscolare di popliteo, gracile e sartorio. Un'eccessiva flessione del ginocchio determina l'attivazione e relativo controllo da parte del retto femorale che assiste contemporaneamente alla flessione d'anca. I due terzi della flessione raggiunta in fase di Initial Swing è dovuta a quella che si ha in questa fase.

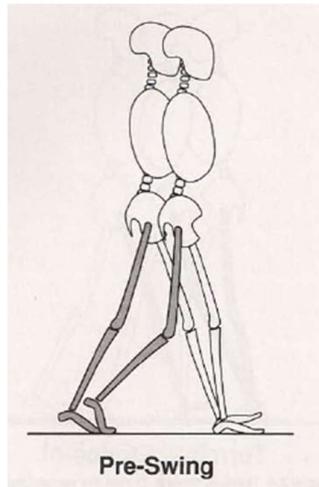


Figura 16. [1]. Fase 5 di Pre-Swing

Fase 6: Initial Swing

Con il distacco totale delle dita del piede da terra (detto toe-off) si passa alla fase di Initial Swing, corrispondente all'intervallo temporale compreso tra il 62% e 75% del GC. Tale fase ha come obiettivi principali una adeguata clearance del piede (sollevamento del piede dal suolo) e l'avanzamento dell'arto in volo. I meccanismi che consentono la realizzazione delle funzioni necessarie sono:

- aumenta la flessione dell'anca a 15° circa. L'attivazione muscolare che determina ciò è in realtà variabile e vengono coinvolti, a seconda della velocità del cammino, sartorio, gracile o iliaco
- anche la flessione del ginocchio aumenta fino a 60° con principale attività del muscolo bicipite femorale
- inoltre alla caviglia si ha una riduzione della plantiflessione, fino a 5° in PF, per azione del tibiale anteriore

la fase di initial swing termina quando l'arto in volo raggiunge la verticale rispetto al suolo.

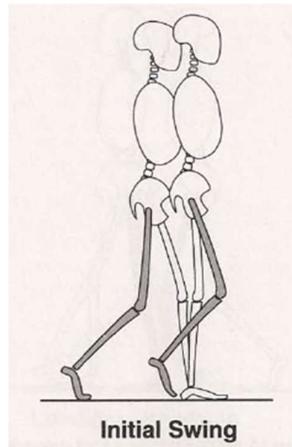


Figura 17. [1]. Fase 6 di Initial Swing

Fase 7: Mid Swing

La fase di Mid Swing corrisponde all'intervallo temporale che va dal 75% all' 87% del GC. La funzione principale dell'attività muscolare in tale fase è continuare a consentire la progressione, portando la tibia ad essere perpendicolare al suolo. Anche qui i meccanismi che consentono la progressione dell'arto in volo sono essenzialmente 3:

- il raggiungimento della massima flessione d'anca di circa 25°, nonostante la modesta attività dei flessori
- il movimento pendolare del ginocchio, generato passivamente dall'inerzia del segmento gamba-piede
- la persistente attività del tibiale anteriore per portare la caviglia in posizione neutra (angolo di 90° tra gamba e piede).

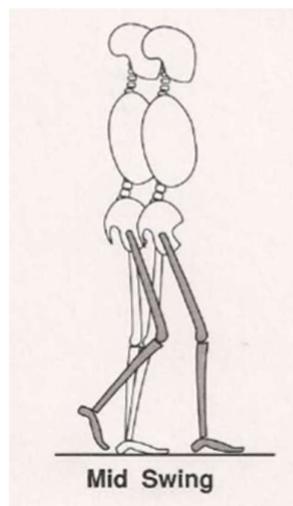


Figura 18. [1]. Fase 7 di Mid Swing

Fase 8: Terminal Swing

La fase di Terminal Swing, corrispondente all'intervallo temporale compreso tra l'87% ed il 100% del GC, rappresenta la fase terminale di swing e determina la transizione da fase di oscillazione alla fase di appoggio successiva. L'obiettivo principale a cui l'attività muscolare deve portare è il pre-posizionamento dell'arto all'Initial Contact. L'ulteriore flessione di anca è inibita dall'attivazione degli ischiocrurali (semimembranoso, semitendinoso e bicipite femorale). L'azione degli ischiocrurali determina inoltre un controllo dell'estensione del ginocchio, la quale verrà tuttavia completata dalla successiva attivazione del quadricipite femorale, preparando la suddetta articolazione ad attutire l'impatto imminente. I muscoli pretibiali restano attivi, determinando la posizione neutra o leggermente plantiflessa (massimo 5°) della tibiotarsica e preparando il piede per il Initial Contact.

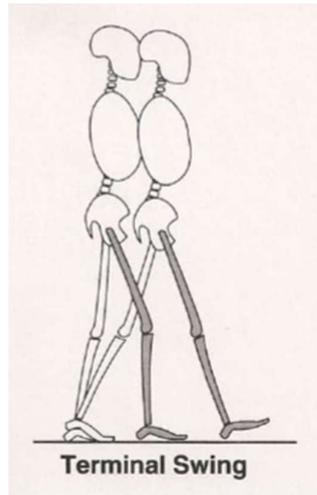


Figura 19. [1]. Fase 8 di Terminal Swing

3.4 ATTIVITA' MUSCOLARE DURANTE IL GC DEI 5 MUSCOLI ANALIZZATI

Il muscolo tibiale anteriore è un dorsiflessore della caviglia. La sua azione è tipicamente bifasica: è attivo all'inizio del ciclo del passo, dall' IC continua la sua azione per tutta la Loading Response, durante la quale l'attività muscolare del TA raggiunge il suo primo picco di intensità. L'attività muscolare riprende in fase di Pre Swing, per raggiungere poi un secondo picco di intensità in corrispondenza dell'Initial Swing. L'attività continua fino a fine ciclo: in realtà non si interrompe ed

il muscolo rimane attivo, proseguendo all'IC successivo (si parla di attività bifasica solo per una divisione che considera uno stesso ed unico GC).

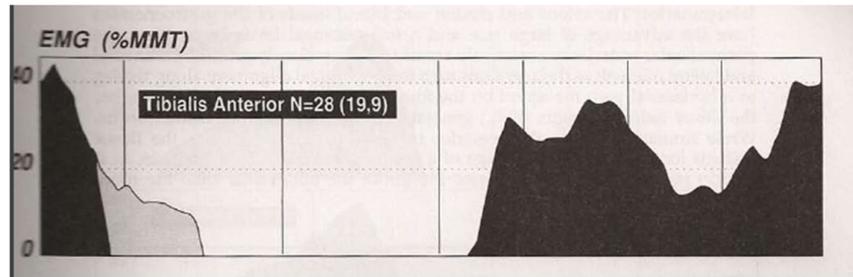


Figura 20. [1]. Diagramma che rappresenta l'attività muscolare del TA durante il GC. l'intensità dell'EMG è riportata in %MMT, che è un test manuale sul muscolo, in grado di fornire informazioni sulla sua efficienza. N è il numero di soggetti da cui son stati presi i dati. In ascissa abbiamo la %GC (le linee verticali individuano i cambi di fase)

Il gascocnemio laterale è uno dei muscoli plantiflessori della caviglia più importanti. La sua azione muscolare inizia poco prima di entrare nella fase di Mid Stance, continuando ad aumentare d'intensità fino a raggiungere il suo picco in corrispondenza della fase di Terminal Stance. Recenti studi hanno mostrato che la spinta plantiflessoria del gascocnemio (insieme al soleo), blocca la caviglia, in modo tale che gamba e piede possano rotolare sul forefoot rocker. Il gascocnemio ha anche la funzione di flessore del ginocchio.

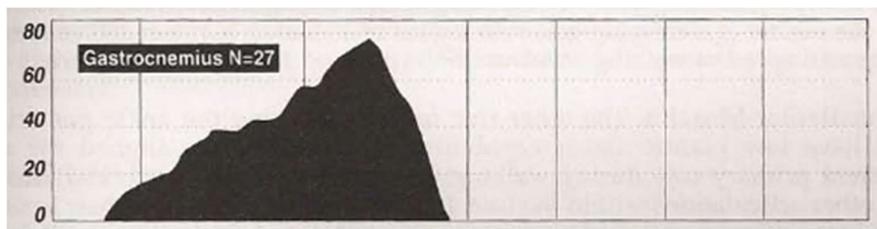


Figura 21. [1]. Diagramma che rappresenta l'attività muscolare del Gastrocnemio durante il GC. l'intensità dell'EMG è riportata in %MMT, che è un test manuale sul muscolo, in grado di fornire informazioni sulla sua efficienza. N è il numero di soggetti da cui son stati presi i dati. In ascissa abbiamo la %GC (le linee verticali individuano i cambi di fase).

Il muscolo vasto mediale fa parte del gruppo dei maggiori muscoli estensori del ginocchio. La sua attività durante la fase di Terminal Swing e la sua intensità aumenta fino a raggiungere un picco all'inizio della fase di Loading Response. Dopo tale picco il livello di sforzo diminuisce, fino a scomparire subito dopo al passaggio nella fase di Mid Stance.

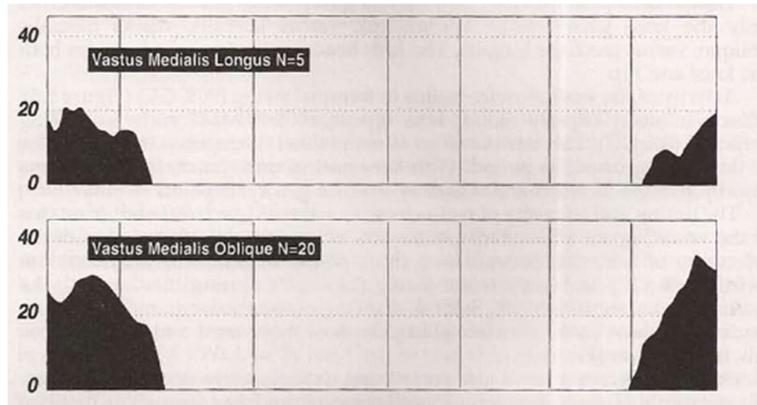


Figura 22. [1]. Diagramma che rappresenta l'attività muscolare del VM (lungo e obliquo) durante il GC. L'intensità dell'EMG è riportata in %MMT, che è un test manuale sul muscolo, in grado di fornire informazioni sulla sua efficienza. N è il numero di soggetti da cui son stati presi i dati. In ascissa abbiamo la %GC (le linee verticali individuano i cambi di fase)

Anche il muscolo retto femorale (che fa parte del quadricipite come i vasti) è parte del gruppo dei principali muscoli estensori del ginocchio, ma la sua attività è molto diversa da quella registrata per il muscolo vasto mediale. Esso ha un periodo di attivazione molto breve tra la fase di Pre Swing ed Initial Swing, durante la quale presenta comunque un'intensità moderata. Il retto femorale è anche uno dei muscoli che consentono la flessione dell'anca.

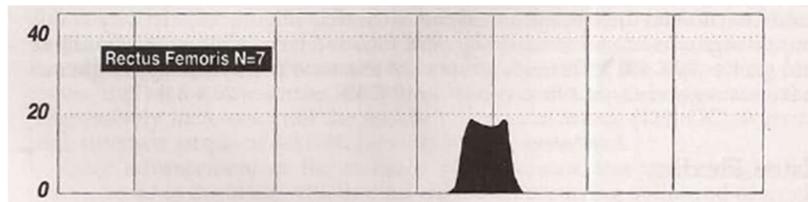


Figura 23. [1]. Diagramma che rappresenta l'attività muscolare del retto femorale durante il GC. L'intensità dell'EMG è riportata in %MMT, che è un test manuale sul muscolo, in grado di fornire informazioni sulla sua efficienza. N è il numero di soggetti da cui son stati presi i dati. In ascissa abbiamo la %GC (le linee verticali individuano i cambi di fase).

Per il muscolo bicipite femorale si ha una distinzione tra BFSH (Biceps Femoris Short Head) e BFLH (Biceps Femoris Long Head). Il BFSH è principalmente un flessore del ginocchio ed è attivo durante l'Initial Swing ed il Mid Swing (meno frequentemente presenta una breve azione a ridosso della fase di Terminal Stance). Il BFLH invece è principalmente un estensore dell'anca, ma è noto anche per la sua funzione di flessore del ginocchio. Questo inizia la sua attività verso la fine della fase di Mid Swing e raggiunge la massima intensità nella fase di Terminal Swing, mostrando poi una diminuzione progressiva, fino ad esaurire la sua azione nella Loading Response.

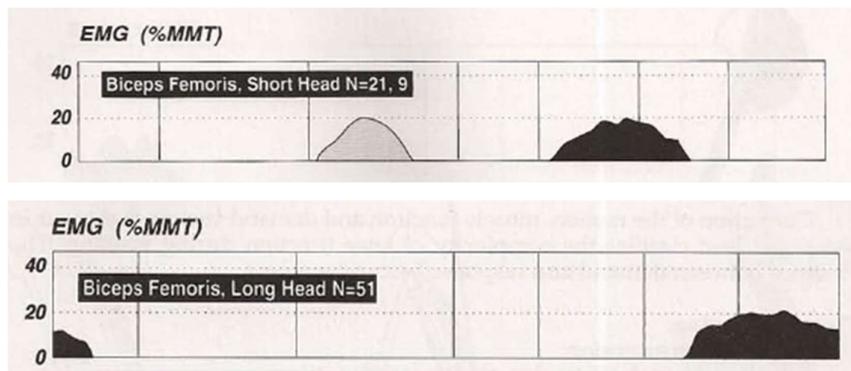


Figura 24. [1]. Sopra il diagramma che presenta l'azione muscolare del BFSH, sotto quello che presenta l'azione del BFLH. Hanno, come si può notare, delle azioni diverse. L'intensità dell'EMG è riportata in %MMT, che è un test manuale sul muscolo, in grado di fornire informazioni sulla sua efficienza. N è il numero di soggetti da cui son stati presi i dati. In ascissa abbiamo la %GC (le linee verticali individuano i cambi di fase).

4 MATERIALE E METODI

4.1 SOGGETTI

Sono stati analizzati i dati relativi a 100 bambini, tra i 6 e gli 11 anni. Si tratta di 51 maschi e 49 femmine (c'è omogeneità quindi anche tra i sessi). I soggetti vengono identificati da un codice ID (un numero che va da 1 a 100), per garantire la privacy dei loro dati personali. I bambini sono stati suddivisi in 5 gruppi in base alla loro età, in modo che, in ogni gruppo, fossero presenti esattamente 20 soggetti. Di conseguenza si potrebbe avere che il bambino più grande in un certo gruppo, abbia la stessa età del più piccolo del gruppo immediatamente successivo, cioè, in alcuni casi, gruppi adiacenti si sovrappongono parzialmente per un solo valore al loro interno (allo stesso modo si può avere che il bambino più piccolo di un certo gruppo abbia la stessa età del più grande del gruppo precedente). In particolare si ha che un bambino di 104 mesi (il bambino 34) è stato inserito nel Gruppo 2, mentre gli altri bambini di 104 mesi fanno tutti parte del Gruppo 3. Nella seguente tabella riportiamo i gruppi (da 1 a 5) con: relative medie di mesi dei soggetti appartenenti (e deviazione standard), numero di soggetti appartenenti al gruppo, media delle altezze e dei pesi (e deviazioni standard relative), il rapporto tra i sessi all'interno di ogni gruppo.

| GRUPPI | MESI | NUMERO SOGGETTI | ALTEZZA | PESO | SESSO: M a F |
|----------|-------------|-----------------|-----------|------------|--------------|
| Gruppo 1 | 84.45±4.04 | 20 | 1.23±0.08 | 25.16±6.07 | 11 a 9 |
| Gruppo 2 | 98.2±3.93 | 20 | 1.29±0.05 | 27.95±4.11 | 7 a 13 |
| Gruppo 3 | 108.9±4 | 20 | 1.33±0.07 | 30.3±4.67 | 12 a 8 |
| Gruppo 4 | 119.8±2.46 | 20 | 1.42±0.07 | 36.74±7.02 | 8 a 12 |
| Gruppo 5 | 129.65±3.79 | 20 | 1.39±0.05 | 33.26±4.96 | 12 a 8 |

Tabella 1. tabella esplicativa dei gruppi: media dei mesi (con deviazione standard), numero di soggetti appartenenti, altezza e peso medi con relative deviazioni standard, rapporto tra i sessi.

I bambini che presentavano problemi neurologici e/o ortopedici sono stati esclusi dal presente studio. Le acquisizioni dei dati sono state fatte presso l'ospedale Santa Croce, Moncalieri, Torino.

4.2 ACQUISIZIONE DEL SEGNALE

I segnali EMG di superficie sono stati registrati (frequenza di campionamento: 2 kHz; risoluzione: 12 bit) dal sistema di registrazione multichannel Step32 (Medical Technology, Italia). Per questo scopo, ad ogni soggetto partecipante sono stati disposti, sotto i piedi, degli interruttori a pedale (foot switches), goniometri alle ginocchia, e sonde per la registrazione del segnale elettromiografico in corrispondenza dei muscoli d'interesse. Un goniometro di accuratezza 0.5 gradi è stato posto nella parte laterale di entrambi gli arti inferiori, all'altezza del ginocchio, per misurare gli angoli articolari sul piano sagittale. Tre interruttori a pedale (foot switches) di grandezza 10 mm x 10 mm, spessore 0.5 mm e forza di attivazione 3 N, sono stati applicati sotto il tallone e sulla prima e quinta testa metatarsale di ciascun piede, per misurare i contatti del piede con il suolo. Per il segnale SEMG sono state utilizzate sonde SD (Single Differential) costituite da dischi di Ag, che hanno un diametro 4 mm, distanza inter-elettrodo di 12 mm, un guadagno pari a 1000, un filtro passa-alto a 10 Hz e 2 poli. Queste sonde sono state posizionate sui muscoli BF (Biceps Femoris), RF (Rectus Femoris), TA (Tibialis Anterior), GL (Gastrocnemius Lateralis) e VM (Vastus Medialis) bilateralmente seguendo le linee guida di Winter [2]. Il crosstalk è stato verificato mediante ispezione visiva: il sospetto di crosstalk si aveva quando due muscoli nella stessa sezione dell'arto mostravano simultaneamente un'attività con simile modulazione d'ampiezza. In questo caso, sono state utilizzate sonde DD (Double Differential) per migliorare ulteriormente la selettività spaziale. Il segnale ottenuto dalle sonde DD è stato poi confrontato con quello ottenuto dalle sonde SD: se l'ampiezza del segnale proveniente dalla sonda DD risultava significativamente più bassa di quella del relativo segnale proveniente dalla sonda SD, il crosstalk veniva confermato e, di conseguenza, il segnale scartato. Le sonde a doppia differenza (DD) erano sonde a tre barre con il diametro della barra pari a 1 mm e lunghezza di 10 mm, la distanza interelettrodo era di 10 mm. Le proprietà di guadagno e di filtraggio erano invece uguali a quelle delle sonde singole (SD). Dopo che tutti i sensori erano stati posizionati, è stato richiesto ai bambini di camminare a piedi nudi avanti e indietro per un percorso diritto di 10 m con il loro ritmo naturale, per circa 2 minuti e 30 secondi. Fare questi percorsi con un ritmo scelto dal bambino stesso, infatti, aumenta la ripetibilità del segnale EMG.

4.3 ELABORAZIONE DEL SEGNALE

I segnali SEMG sono stati subito amplificati e filtrati con un filtro passa basso dal sistema di registrazione a 450 Hz. Inoltre è stato applicato anche un filtro passa alto a 20 Hz.). Sono stati identificati gli intervalli di attivazione mioelettrici mediante un rilevatore statistico a doppia soglia [17]. Questa metodologia [17] consiste nel selezionare un primo valore di soglia ζ ed osservare gli m campioni successivi. Scegliendo un secondo valore di soglia r_0 , dovrà avere, dei successivi m (è la lunghezza della finestra di osservazione) campioni, dopo che ζ è stata superata, un numero r_0 di campioni sopra la prima soglia. In questo caso la presenza del segnale viene riconosciuta. I valori dei tre parametri ζ , r_0 e m sono scelti appositamente per ridurre al minimo il valore di probabilità del falso allarme e, allo stesso tempo, massimizzare il rapporto segnale-rumore che si ottiene. L'impostazione di ζ viene fatta basandosi sulla stima del livello di rumore di fondo, parametro di input necessario. Inoltre, l'uso del rivelatore a doppia soglia richiede che il rapporto segnale-rumore venga stimato per mettere a punto r_0 . Il livello di rumore di fondo ed il rapporto segnale-rumore, che sono necessari per eseguire l'algoritmo del rilevatore a doppia soglia, vengono calcolati, per ogni segnale, dal sistema Step32, utilizzando l'approccio statistico proposto da Agostini e Knaflitz [18]. Infine, un valore di $m = 30$ ms è considerato adatto per valutare l'attivazione muscolare nella gait analysis. Ulteriori dettagli sulla descrizione dell'algoritmo possono essere trovati nello studio, già citato in precedenza, [17]. Per quanto riguarda i segnali provenienti dagli elettrogoniometri posti a livello delle ginocchia, sono stati raccolti e poi filtrati con un filtro passa basso ad una frequenza di cut-off pari a 15 Hz. Questi sono poi stati utilizzati da un filtro statistico multivariato insieme alle durate delle fasi del passo per identificare, e poi scartare, quei cicli che presentavano delle durate molto diversa dalla media (calcolata sul singolo individuo su tutti i passi analizzati per esso) e che corrispondevano, cioè, ai momenti di decelerazione, cambio del verso del cammino e accelerazione.

4.3.1 Dati basografici e dati di appoggio

I segnali basografici sono quelli ottenuti dai foot switches. Si tratta di tre segnali binari provenienti dagli interruttori posti sotto i piedi dei soggetti. Ogni combinazione delle attività di tali interruttori viene fatta corrispondere ad una fase del passo specifica:

- fase di Heel strike (H): è chiuso solo l'interruttore posto sotto il tallone e quindi corrisponde alla fase in cui il tallone, subito dopo aver effettuato lo swing, tocca il pavimento ed il peso corporeo inizia ad avanzare;

- fase di Flat Foot Contact (F): l'interruttore sotto il tallone è chiuso ed anche almeno uno degli interruttori posti sotto l'avampiede risulta chiuso. Il peso corporeo del soggetto continua ad avanzare ed il piede aumenta sempre più la superficie di contatto con il suolo;
- fase di Push-off (P): l'interruttore sotto il tallone è aperto e almeno uno degli interruttori a posti sotto l'avampiede risulta chiuso. In questa fase il piede si prepara per effettuare lo swing ed il tallone viene sollevato da terra;
- fase di swing (S): tutti gli interruttori sono aperti. Il piede si sposta in aria, completamente sollevato da terra.

La segmentazione del segnale basografico è stata realizzata seguendo le indicazioni riportate nel lavoro [19]. Con i segnali provenienti dai foot switches si possono ricavare le durate di ogni fase del passo (rispettivamente di H, F, P e S), che si calcolano, individuo per individuo, come media della durata della stessa fase, per ogni passo analizzato dello stesso soggetto. In base a come le suddette fasi si verificano, si possono classificare i vari cicli di deambulazione (GC), dividendoli, cioè, a seconda delle modalità d'appoggio che si hanno. L'algoritmo per effettuare tale classificazione dei cicli del passo viene presentato nello studio [20]. La sequenza (o modalità d'appoggio) che risulta maggiormente utilizzata, nel caso di normalità, è la HFPS. Questa è data dall'insieme di fasi dell'andatura caratterizzate dalla seguente sequenza di contatto piede-pavimento: Heel Contact (H), Foot Flat Contact (F), Push-Off (P), Swing (S). Subito dopo di essa, in ordine di frequenza di utilizzo, c'è la PFPS che è caratterizzata da: un Initial Contact che avviene con l'avampiede (P1), subito dopo anche il tallone va a toccare terra (fase F) e seguono le fasi di P e S. In questo elaborato incontreremo solo queste due modalità perché sono quelle maggiormente utilizzate da soggetti sani.

4.4 STATISTICAL GAIT ANALYSIS

La Statistical Gait Analysis (SGA) è una metodologia recentemente sviluppata che fa una caratterizzazione statistica dell'andatura, calcolando la media dei parametri spazio-temporali e di quelli basati sul segnale sEMG per un numero molto ampio (centinaia) di passi, durante la stessa camminata dello stesso soggetto. L'SGA si basa sul fatto che il numero di attivazioni muscolari non è sempre lo stesso per un certo muscolo di un certo individuo. Durante un ciclo del passo, un muscolo si attiva un numero di volte che risulta essere variabile da ciclo a ciclo, anche per uno stesso individuo considerato. Questo implica che, quando si vanno a calcolare le medie per gli istanti di on (inizio contrazione) e di off (fine contrazione) per ogni muscolo (sempre per lo stesso individuo su vari passi registrati) bisogna considerare separatamente ogni modalità di attivazione. Con 'modalità di attivazione' si intende il numero di volte che lo stesso muscolo, all'interno dello stesso ciclo si

contrae e poi si rilassa. Quindi la modalità n sarà costituita da n intervalli di attivazione: il muscolo si contrae e si rilassa n volte durante lo stesso ciclo. Le medie degli intervalli di attivazione (di 1 soggetto) relativi ad ogni modalità di attivazione, vengono calcolate dal sistema Step32, nel seguente modo: per tutti i cicli corrispondenti ad un andamento diritto le attivazioni muscolari vengono raggruppate in base al numero di attivazioni che vengono rilevate; successivamente gli istanti di inizio e fine contrazione vengono mediati, per ognuna delle modalità di attivazione osservate; vengono calcolate le relative deviazioni standard ed errori standard. Alla fine, gli istanti di inizio e fine contrazione trovati, sono stati mediati su tutta la popolazione (nel nostro caso gruppo per gruppo) per ciascuna modalità di attivazione e normalizzati rispetto alla durata del ciclo dell'andatura. Il numero molto elevato di passi considerati nell'analisi ha consentito la valutazione di un nuovo parametro, noto come frequenza di reclutamento [21, 22]. La frequenza di reclutamento di una modalità di attivazione specifica è data dal numero (in percentuale) di passi con cui il muscolo considerato si attiva utilizzando una specifica modalità di attivazione, rispetto al numero di passi totali. Come riportato nella seguente formula, per la modalità n si ha:

$$\begin{aligned} & \textit{frequenza di reclutamento (n)} \\ & = \frac{\textit{numero cicli del passo con n intervalli di attivazione}}{\textit{numero totale di cicli del passo}} * 100 \end{aligned}$$

L'analisi dell'andatura statistica è stata eseguita mediante la toolbox statistica incorporata nello Step32, il sistema per l'analisi dell'andatura che è stato impiegato.

4.5 STATISTICA COMPARATIVA

Nel presente lavoro, al fine di effettuare una comparazione statistica tra i vari gruppi, ed eventualmente evidenziare differenze statisticamente significative tra di essi, è stata impiegata la piattaforma Matlab. In particolare il test lillitest è stato utilizzato per valutare, prima di effettuare ogni comparazione tra i 5 gruppi, la normalità delle 5 distribuzioni impiegate. Successivamente i test ANOVA e Kruskal – Wallis sono stati usati (il primo tra distribuzioni che si erano rivelate tutte normali, il secondo nel caso in cui anche solo 1 distribuzione fosse risultata non normale) per confrontare i campioni di ogni gruppo, con tutti quelli appartenenti ad ogni altro gruppo. Il significato statistico è stato fissato al 5%.

5 RISULTATI

Nel presente capitolo andremo ad esporre i risultati ottenuti dall'analisi effettuata sui dati provenienti dalle elettromiografie eseguite sui 100 bambini in età scolare, ed anche sui rispettivi dati spazio-temporali registrati (cadenze, durata del ciclo del passo, durata del singolo supporto, durata del doppio supporto, dati di appoggio e basografici). I muscoli analizzati (sia della gamba destra sia della sinistra) sono: BF (Bicipite Femorale), GL (Gastrocnemio Laterale), RF (Retto Femorale), TA (Tibiale Anteriore) E VM (Vasto Mediale). Avendo quindi diviso i 100 soggetti in 5 gruppi in base all'età procederemo esponendo le diverse caratteristiche gruppo per gruppo ed infine effettueremo un confronto tra di essi per cercare di individuare eventuali differenze. Vediamo un riepilogo dei gruppi che abbiamo ottenuto: ricordiamo che, avendo voluto fare in modo di avere precisamente 20 bambini in ogni gruppo, il range di mesi di ogni gruppo può risultare parzialmente sovrapposto con quelli adiacenti. Riportiamo nella tabella seguente la media dei mesi dei bambini di ogni gruppo ed anche l'età del più piccolo e del più grande di ogni gruppo.

| Gruppo | Dati | | | |
|----------|---------------------|---------------|-------------|-------------|
| | Conteggio di ID Bam | Media di mesi | Min di mesi | Max di mesi |
| 1°Gruppo | 20 | 84.5 | 78.0 | 89.0 |
| 2°Gruppo | 20 | 98.2 | 91.0 | 104.0 |
| 3°Gruppo | 20 | 108.9 | 104.0 | 115.0 |
| 4°Gruppo | 20 | 119.8 | 116.0 | 124.0 |
| 5°Gruppo | 20 | 129.7 | 125.0 | 137.0 |

Tabella 2. Gruppi con popolazione relativa, media dei mesi dei soggetti nei vari gruppi, età del più piccolo e del più grande per ogni gruppo.

Abbiamo analizzato, in media per ogni bambino: 82 ± 16 passi. Le modalità di attivazione su cui si è posta l'attenzione in questo caso sono 5: modalità ad 1 attivazione, a 2 attivazioni, a 3 attivazioni, a 4 attivazioni ed a 5 attivazioni. Le modalità di attivazione e successivamente le relative frequenze di reclutamento, per ogni modalità ed ogni muscolo, sono state ricavate come descritto nel capitolo precedente (Materiali e Metodi). Una volta trovate le varie frequenze di reclutamento per ogni soggetto individuale, di ogni determinata modalità di attivazione e per ogni muscolo, ne abbiamo calcolato le medie per i soggetti appartenenti ad ogni specifico gruppo (con relative deviazioni standard). Cioè abbiamo fatto la media delle frequenze di reclutamento che mostravano i soggetti di un gruppo per ogni modalità di attivazione osservata e poi siamo andati a graficarle con le relative deviazioni standard. Questo lo abbiamo ripetuto per ogni gruppo ed ogni muscolo. A tale scopo siamo ricorsi ad un grafico a barre con il numero di attivazioni in ascissa (1,2,3,4 e 5) e quello delle relative frequenze di reclutamento medie (in percentuale) in ordinata. L'informazione è completata

dall'aggiunta delle relative deviazioni standard (disegnate come una linea sottile sopra ad ogni barra) che individua le distribuzioni dei dati attorno ad ogni media. Riporteremo di seguito tali grafici (a barre verdi), affiancati anche da quelli che offrono una visione delle varie durate degli intervalli di attivazione. Per questa seconda tipologia di grafici si sono inizialmente effettuate le medie dei punti di inizio contrazione del muscolo e fine contrazione del muscolo per i soggetti appartenenti ad ogni gruppo, separatamente. Ciò è stato fatto per ogni modalità di attivazione e per ogni muscolo. Nella pratica: per l'attivazione 1 del primo muscolo si è fatta una media della percentuale di Gait Cycle (%GC) alla quale il suddetto muscolo ha iniziato a contrarsi per i bambini del Gruppo 1. Successivamente si ripete lo stesso procedimento per la modalità a 2 attivazioni (media di inizio prima contrazione, fine prima contrazione, inizio seconda contrazione e fine seconda contrazione), sempre per il medesimo muscolo e tutti i soggetti del Gruppo 1. Procedendo in questo modo faccio la stessa cosa per tutte e 5 le modalità di attivazione e poi per tutti e 5 i muscoli per cui è stato registrato l'ECG. Successivamente ripeto il procedimento per i soggetti del Gruppo 2, poi del 3 e così via fino al Gruppo 5. Tali medie sono calcolate, come accennato, sulla %GC. Questo perché, chiaramente, la lunghezza di ogni passo che viene analizzato può essere sempre diversa e diventa quindi difficile trovare un modo per confrontare e uniformare i diversi passi registrati. Per superare questo problema si è pensato di ricampionare ogni segnale in modo da avere sempre 100 campioni per ogni passo: in tal modo 1 campione equivale ad un 1% del ciclo del passo. Per questo motivo, nei diagrammi che rappresentano le durate degli intervalli di attivazione (medie), troveremo sempre la %GC in ascissa. I diagrammi che rappresentano le medie delle durate delle attivazioni sono stati fatti su modello del diagramma di Gantt. In ordinata avremo le 5 modalità di attivazione analizzate. Ogni attivazione si riconosce con una barra piena colorata orizzontale che inizia dove, in media, il muscolo inizia la contrazione e finisce dove, in media, lo stesso si rilassa.

- Modalità 1 attivazione: colore azzurro
- Modalità 2 attivazioni: colore verde
- Modalità 3 attivazioni: colore rosso
- Modalità 4 attivazioni: colore blu
- Modalità 5 attivazioni: colore grigio

Di seguito riportiamo questi grafici (sia quello a barre delle frequenze di reclutamento, sia quello che riporta gli intervalli di attivazione), organizzandoli in base al numero del gruppo d'appartenenza, e poi in base al muscolo di cui trattano. Passeremo successivamente ai dati spazio-temporali, sempre ordinati in base ai gruppi di appartenenza. Riporteremo le tabelle con i dati che riguardano

le caratteristiche del passo, espressi come media accompagnata dalla deviazione standard corrispondente. I parametri sono:

- Cadenza
- Durata del ciclo del passo
- Durata fase del singolo supporto
- Durata fase del doppio supporto.

Dopo di ciò inseriamo anche le tabelle con le medie e deviazioni standard relative ai dati di appoggio, sempre in ordine di gruppo. In questo caso i parametri sono:

- numero passi con modalità d'appoggio HFPS
- numero passi con modalità d'appoggio PFPS

Le altre modalità non saranno riportate perché utilizzate dai soggetti troppo poco frequentemente (i dati raccolti non basterebbero per effettuare eventuali valutazioni). Infine inseriamo le tabelle con medie e relative deviazioni standard per i dati basografici, cioè le durate medie delle 4 fasi del passo in %GC:

- Durata fase H
- Durata fase F
- Durata fase P
- Durata fase S

Dopo l'esposizione dei dati e dei grafici presentati sopra, procederemo con le comparazioni: riporteremo i risultati ottenuti dall'analisi statistica comparativa. Nell'esposizione della comparazione tra le varie frequenze di reclutamento, inseriremo anche dei grafici a barre che hanno lo scopo di mostrare le possibili variazioni che si hanno per una stessa modalità di attivazione (e per ogni muscolo) in funzione dei diversi gruppi in cui sono stati divisi i soggetti (grafici con barre blu).

5.1 BAMBINI DEL GRUPPO 1

I bambini che abbiamo inserito nel gruppo 1 hanno da un minimo di 78 mesi ad un massimo di 89 (prima fascia d'età). Muscolo per muscolo elenchiamo i grafici delle frequenze di reclutamento e gli intervalli medi di attivazione in funzione del numero di attivazioni, per i soggetti appartenenti a questo gruppo.

5.1.1 Muscolo BF

Per primo abbiamo il diagramma delle frequenze di reclutamento medie, espresse in percentuale, relative ad ogni modalità di attivazione (poste in ascissa), completo di deviazioni standard (barre sottili); subito dopo, invece, le durate medie degli intervalli di attivazione.

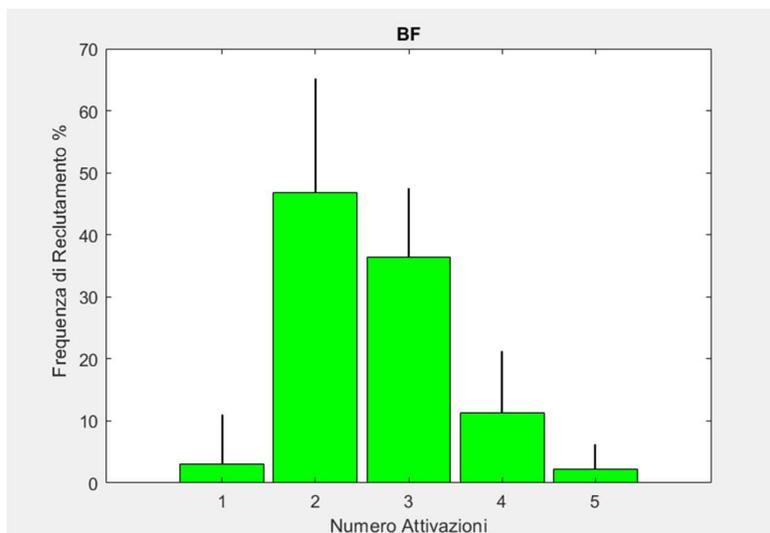


Figura 25. Frequenze di reclutamento % del muscolo BF per il Gruppo 1, in funzione della modalità di attivazione

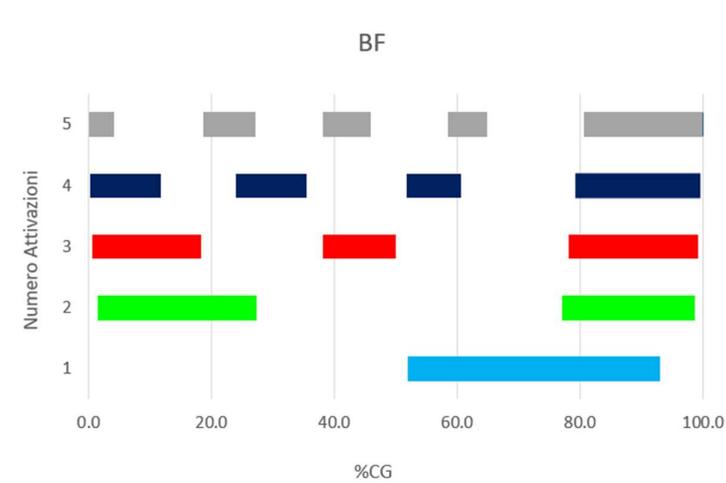


Figura 26. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo BF dei bambini del Gruppo 1, in funzione della %GC

5.1.2 Muscolo GL

In verde il grafico a barre che riporta le frequenze di reclutamento medie per il muscolo Gastrocnemio Laterale, con le relative deviazioni standard; sotto abbiamo le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui riportati riguardano soltanto il gruppo 1.

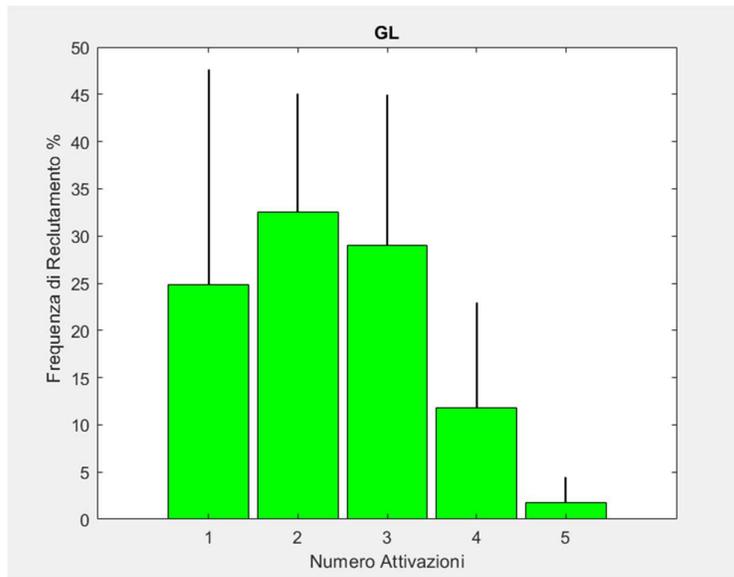


Figura 27. Frequenze di reclutamento % del muscolo GL per il Gruppo 1, in funzione della modalità di attivazione

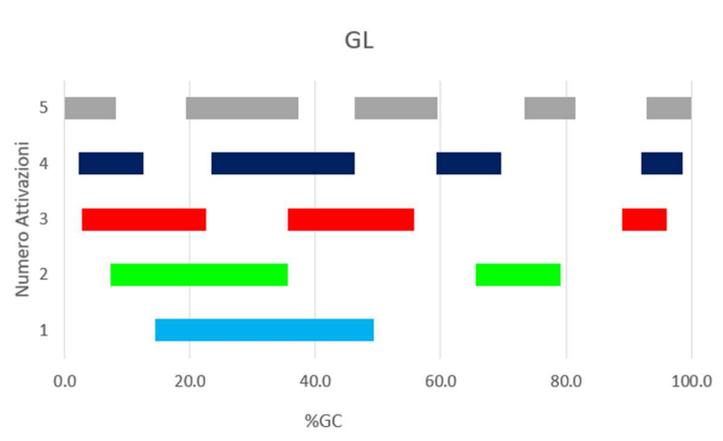


Figura 28. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo GL dei bambini del Gruppo 1, in funzione della %GC

5.1.3 Muscolo RF

Di nuovo per il gruppo 1, riportiamo in seguito il grafico a barre delle frequenze con cui i soggetti ricorrono ad ogni attivazione considerata per il muscolo RF con relative deviazioni standard e, subito dopo, riportiamo anche il grafico delle durate medie delle attivazioni muscolari in funzione della %GC.

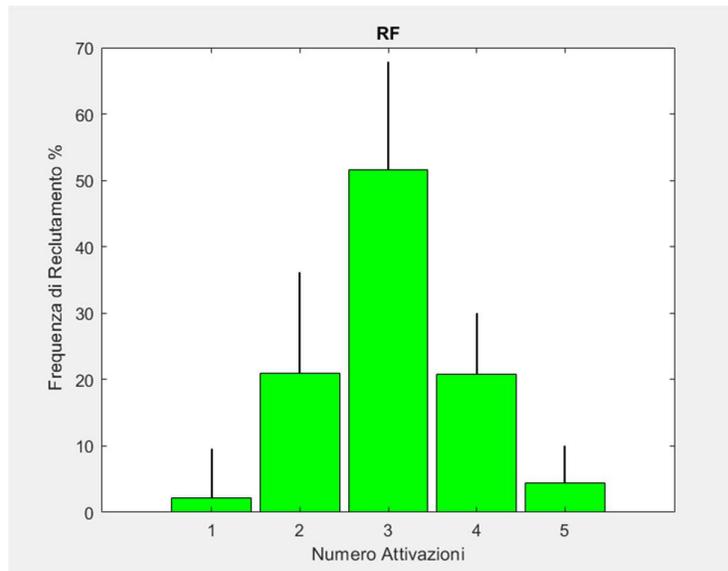


Figura 29. Frequenze di reclutamento % del muscolo RF per il Gruppo 1, in funzione della modalità di attivazione

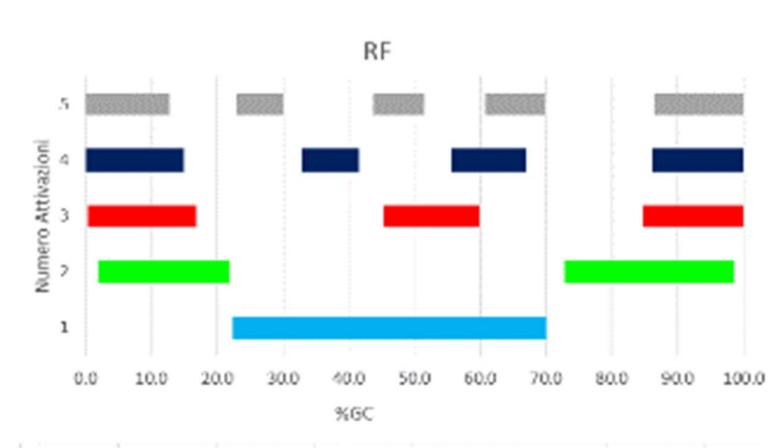


Figura 30. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo RF dei bambini del Gruppo 1, in funzione della %GC

5.1.4 Muscolo TA

In verde è riportato il grafico a barre che mostra le frequenze di reclutamento medie per il muscolo Tibiale Anteriore, con le relative deviazioni standard; sotto abbiamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui riportati riguardano soltanto il gruppo 1.

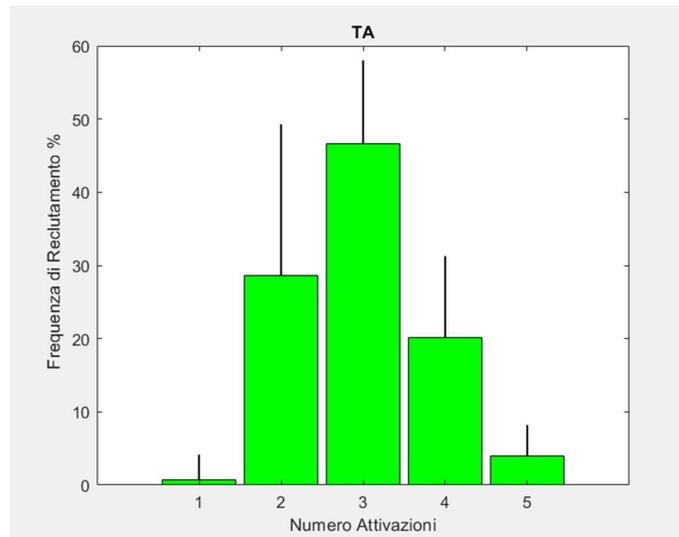


Figura 31. Frequenze di reclutamento % del muscolo TA per il Gruppo 1, in funzione della modalità di attivazione

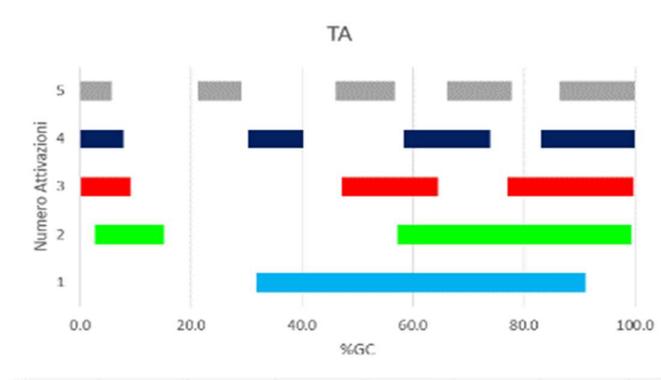


Figura 32. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo TA dei bambini del Gruppo 1, in funzione della %GC

5.1.5 Muscolo VM

Per il muscolo Vasto Mediale mettiamo di seguito il grafico delle frequenze di reclutamento medie con relative devizioni standard e poi anche quello delle durate medie di attivazione (per ogni modalità di attivazione) in funzione della %GC. Grafici sempre relativi al gruppo 1.

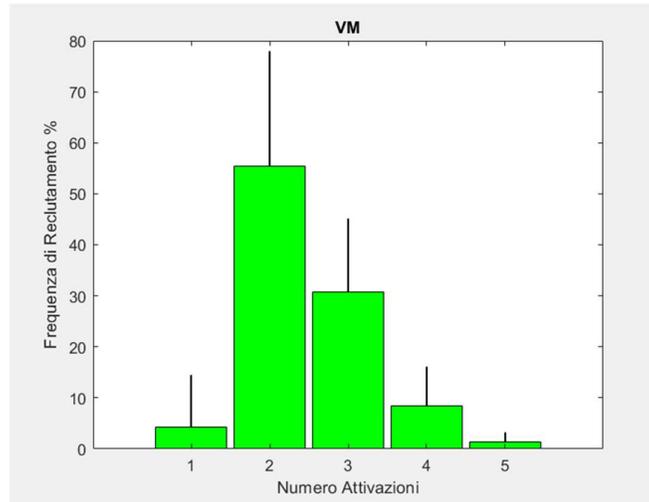


Figura 33. Frequenze di reclutamento % del muscolo VM per il Gruppo 1, in funzione della modalità di attivazione

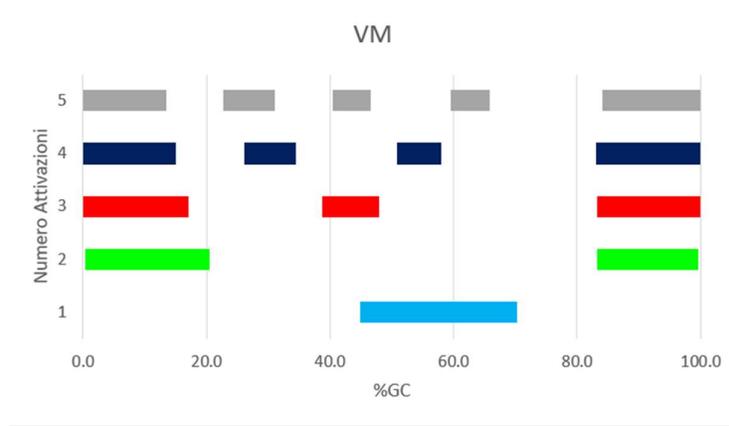


Figura 34. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo VM dei bambini del Gruppo 1, in funzione della %GC

5.1.6 Parametri spazio-temporali

Riportiamo di seguito una tabella contenente medie e relative deviazioni standard delle caratteristiche del passo per i soggetti appartenenti al Gruppo 1.

| CARATTERISTICI CHE PASSO | SINISTRA e DESTRA | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| | MATCHING CYCLES | CADENC E | CYCLE DURATION | SINGLE SUPPORT DURATION | DOUBLE SUPPORT DURATION |
| UNITA' MISURA | | (Cycle/m in) | (s) | (%) | (%) |
| MEDIA | 86.45 | 63.56 | 0.94 | 40.85 | 18.26 |
| DEV STD | 14.22 | 5.71 | 0.1 | 2.54 | 3.61 |

Tabella 3. Caratteristiche del passo per i bambini del Gruppo 1: cadenza media con SD, Durata del ciclo del passo con SD, Durata del singolo e doppio supporto con relative SD

Riportiamo anche medie e deviazioni standard delle 2 modalità d'appoggio più utilizzate dai soggetti analizzati (in percentuale dei passi totali analizzati), che sono la HFPS e la PFPS, per i bambini del Gruppo 1.

| DATI APPOGGIO | HFPS | PFPS |
|----------------|-------------------|-------------------|
| | %dei passi totali | %dei passi totali |
| MEDIA | 88,59% | 4.18% |
| DEV STD | 8,37% | 4.23% |

Tabella 4. media e SD delle 2 modalità di appoggio più frequenti: HFPS E PFPS per bambini del Gruppo 1

Aggiungiamo infine, per il Gruppo 1, anche medie e deviazioni standard dei dati basografici: li esprimo come durata, in %GC, delle fasi H, F, P, S.

| DATI BASOGRAFICI | DURATA FASI DEL PASSO SINISTRA e DESTRA | | | |
|------------------|---|-------|------|-------|
| FASE | H | F | P | S |
| MEDIA | 6.77 | 28.68 | 23.8 | 40.75 |
| DEV STD | 2.77 | 7.07 | 7.58 | 2.55 |

Tabella 5. Durata fasi del passo H, F, P, S medie con relative SD per il Gruppo 1

5.2 BAMBINI DEL GRUPPO 2

I bambini appartenenti a questo gruppo hanno un range di mesi che va da 91 a 104. Anche in questo caso procediamo mostrando i grafici, muscolo per muscolo, delle frequenze medie con cui si ricorre ad ogni modalità di attivazione e le durate medie di ogni intervallo di attivazione.

5.2.1 Muscolo BF

Sopra pongo il grafico a barre con le frequenze di reclutamento medie per il muscolo BF ed i soggetti del gruppo 2, con relative deviazioni standard. sotto pongo il grafico delle durate medie di attivazione (per ogni modalità di attivazione) in funzione della %GC sempre per il muscolo BF ed il gruppo 2.

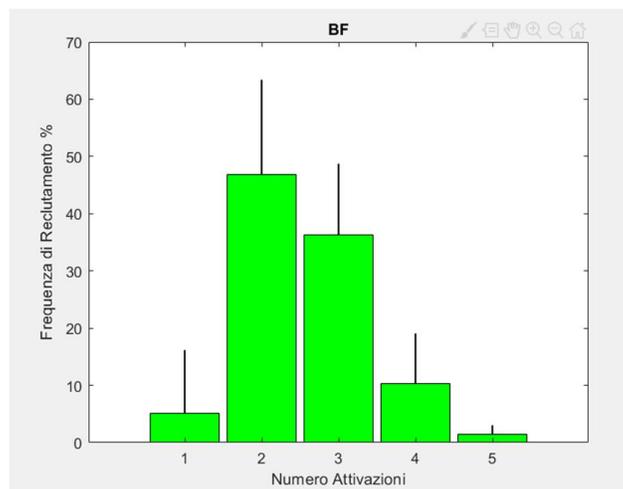


Figura 35. Frequenze di reclutamento % del muscolo BF per il Gruppo 2, in funzione della modalità di attivazione

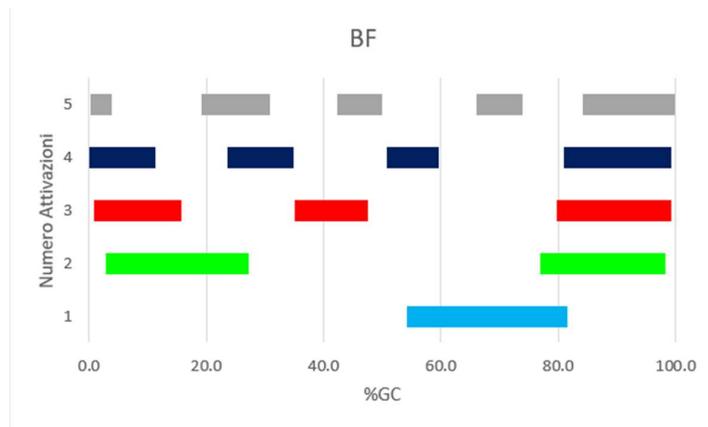


Figura 36. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo BF dei bambini del Gruppo 2, in funzione della %GC

5.2.2 Muscolo GL

Per il muscolo GL poniamo sotto il grafico relativo alle frequenze di reclutamento medie in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Subito dopo inseriamo il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Tutto ciò per il Gruppo 2.

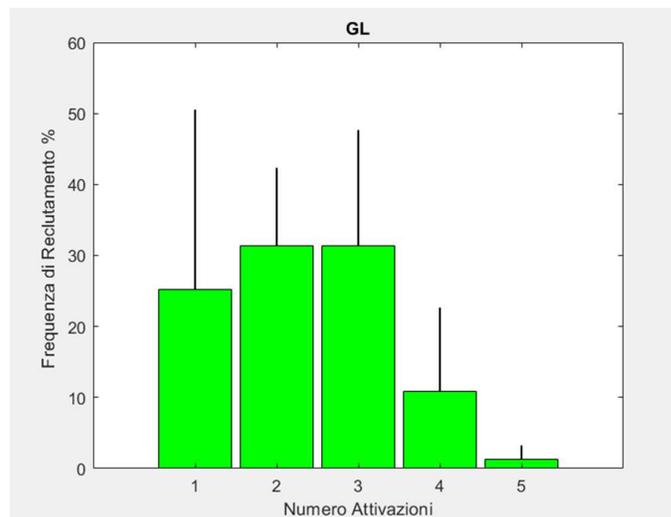


Figura 37. Frequenze di reclutamento % del muscolo GL per il Gruppo 2, in funzione della modalità di attivazione

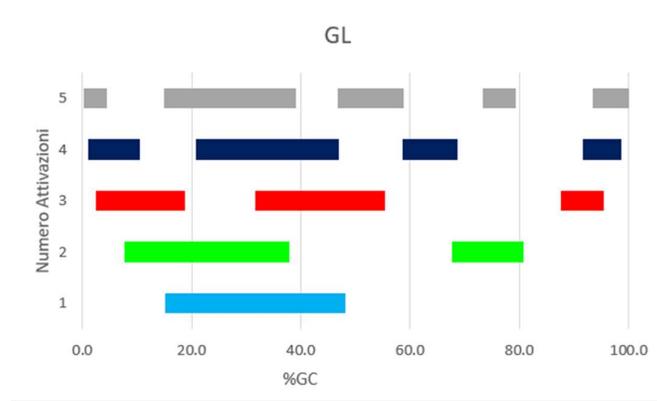


Figura 38. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo GL dei bambini del Gruppo 2, in funzione della %GC

5.2.3 Muscolo RF

Per il muscolo RF poniamo qui sotto il grafico relativo alle frequenze di reclutamento medie in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Subito dopo aggiungiamo anche il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Tutto ciò per il Gruppo 2.

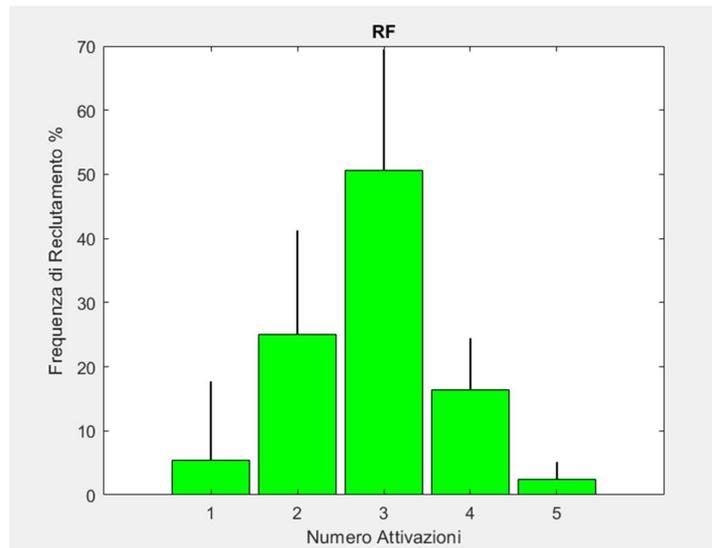


Figura 39. Frequenze di reclutamento % del muscolo RF per il Gruppo 2, in funzione della modalità di attivazione

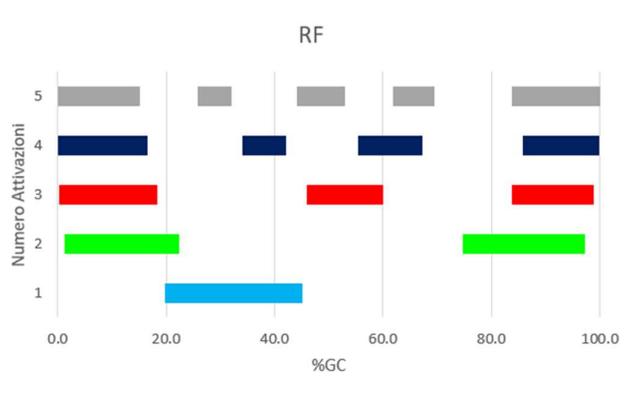


Figura 40. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo RF dei bambini del Gruppo 2, in funzione della %GC

5.2.4 Muscolo TA

Per il muscolo TA poniamo di seguito il grafico a barre (verdi) relativo alle frequenze di reclutamento medie in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Subito dopo poniamo il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi sono per il Gruppo 2.

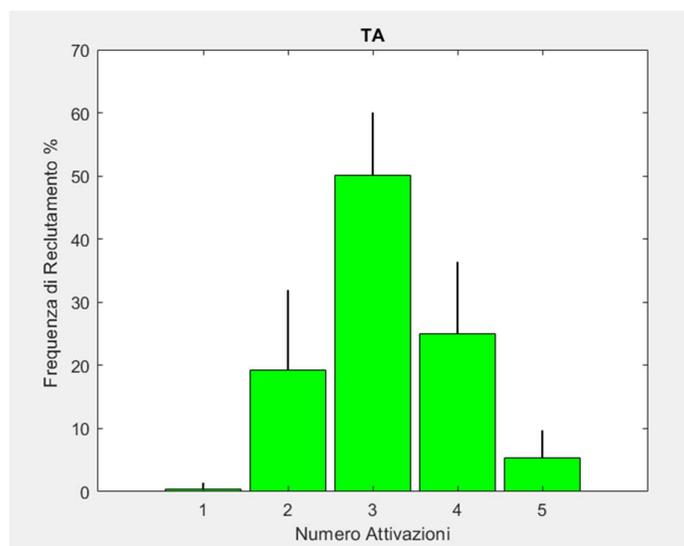


Figura 41. Frequenze di reclutamento % del muscolo TA per il Gruppo 2, in funzione della modalità di attivazione

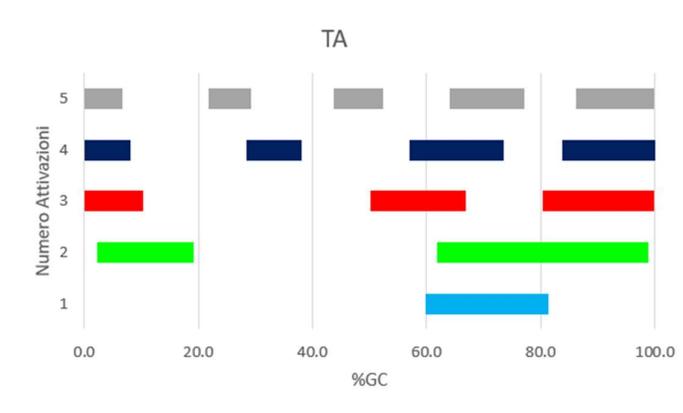


Figura 42. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo TA dei bambini del Gruppo 2, in funzione della %GC

5.2.5 Muscolo VM

Per il muscolo VM poniamo di seguito il grafico a barre (verdi) relativo alle frequenze di reclutamento medie in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Sotto di esso poniamo il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi sono per il Gruppo 2.

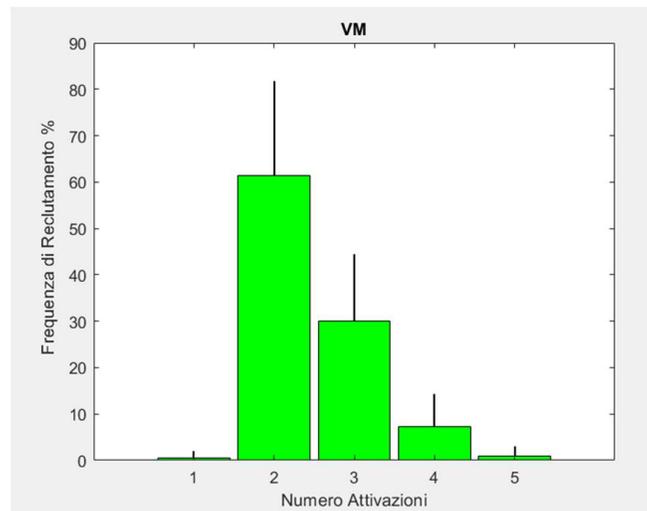


Figura 43. Frequenze di reclutamento % del muscolo VM per il Gruppo 2, in funzione della modalità di attivazione

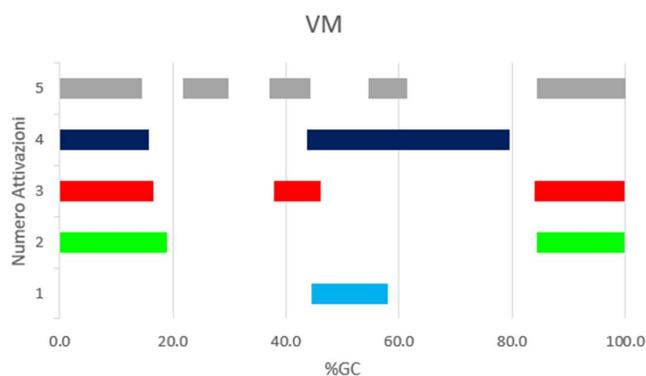


Figura 44. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo VM dei bambini del Gruppo 2, in funzione della %GC

5.2.6 Parametri spazio-temporali

Di seguito inseriamo la tabella riportante medie e deviazioni standard dei parametri indicanti le caratteristiche del passo, per i soggetti del Gruppo 2.

| CARATTERISTICI CHE PASSO | SINISTRA e DESTRA | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | MATCHING CYCLES | CADENCE | CYCLE DURATION | SINGLE SUPPORT DURATION | DOUBLE SUPPORT DURATION |
| UNITA' MISURA | | (Cycle/min) | (s) | (%) | (%) |
| MEDIA | 88.97 | 61.89 | 0.98 | 39.93 | 20.05 |
| DEV STD | 14.07 | 4.3 | 0.08 | 3.89 | 6.23 |

Tabella 6. Caratteristiche del passo per i bambini del Gruppo 2: cadenza media con SD, Durata del ciclo del passo con SD, Durata del singolo e doppio supporto con relative SD

Nella tabella sottostante riportiamo medie e relative deviazioni standard dei parametri relativi alle modalità d'appoggio maggiormente utilizzate dai soggetti, in questo caso del Gruppo 2 (riportate in percentuale dei passi totali).

| DATI APPOGGIO | HFPS | PFPS |
|----------------|-------------------|-------------------|
| | %dei passi totali | %dei passi totali |
| MEDIA | 92.47% | 3.74% |
| DEV STD | 4.82% | 3.36% |

Tabella 7. Media e SD delle 2 modalità di appoggio più frequenti: HFPS E PFPS per bambini del Gruppo 2

Infine, sempre per i bambini del Gruppo 2, inseriamo qui sotto una tabella riportante le medie (accompagnate anche dalle deviazioni standard) delle durate delle fasi H, F, P ed S.

| DATI BASOGRAFICI | DURATA FASI DEL PASSO SINISTRA e DESTRA | | | |
|------------------|---|------|-------|-------|
| FASE | H | F | P | S |
| MEDIA | 6.13 | 33.2 | 20.77 | 39.89 |
| DEV STD | 1.77 | 5.51 | 5.8 | 3.96 |

Tabella 8. Durata fasi del passo H, F, P, S medie con relative SD per il Gruppo 2

5.3 BAMBINI DEL GRUPPO 3

Il range di mesi per questo terzo gruppo inizia a 104 ed arriva a 115. Muscolo per muscolo andiamo ad elencare i grafici delle frequenze di reclutamento medie trovate e degli intervalli medi di attivazione in funzione del numero di attivazioni, per i soggetti appartenenti a questo gruppo.

5.3.1 Muscolo BF

Per primo abbiamo il diagramma a barre (in verde) delle frequenze di reclutamento medie, espresse in percentuale, relative ad ogni modalità di attivazione (poste in ascissa), completo di deviazioni standard (barre sottili); subito dopo, invece, il grafico che rappresenta le durate medie degli intervalli di attivazione, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi seguenti sono relativi al gruppo 3 ed al muscolo BF.

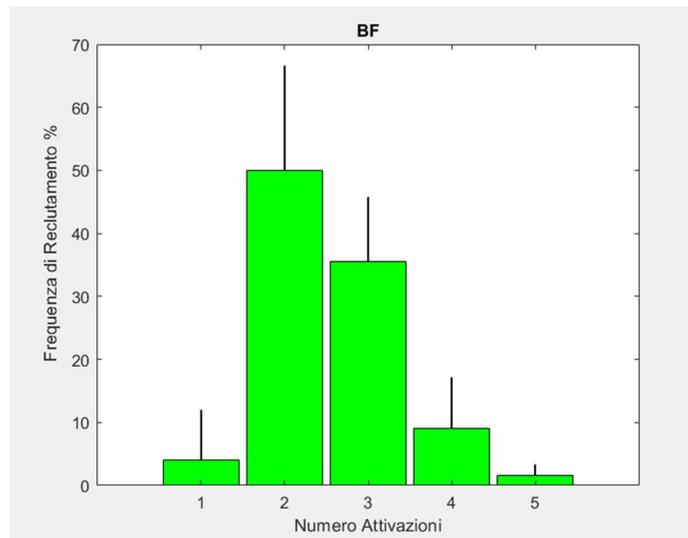


Figura 45. Frequenze di reclutamento % del muscolo BF per il Gruppo 3, in funzione della modalità di attivazione

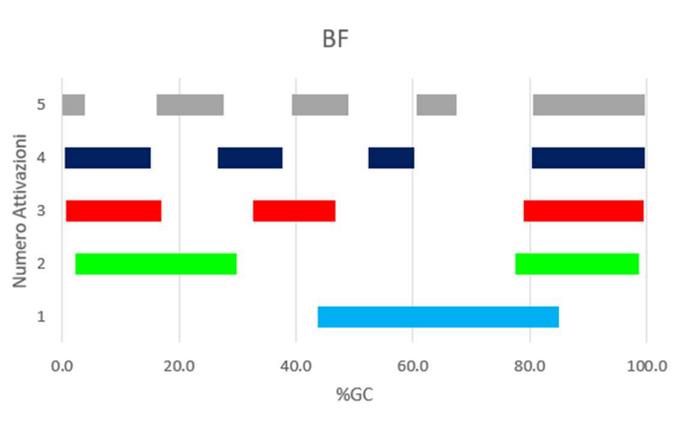


Figura 46. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo BF dei bambini del Gruppo 3, in funzione della %GC

5.3.2 Muscolo GL

Qui sotto inseriamo per primo il diagramma a barre verdi che rappresenta le frequenze di reclutamento medie, espresse in percentuale, relative ad ogni modalità di attivazione (poste in ascissa), completo di deviazioni standard (barre sottili); subito sotto di esso, invece, abbiamo il grafico che rappresenta le durate medie degli intervalli di attivazione, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi seguenti sono relativi al gruppo 3 ed al muscolo GL.

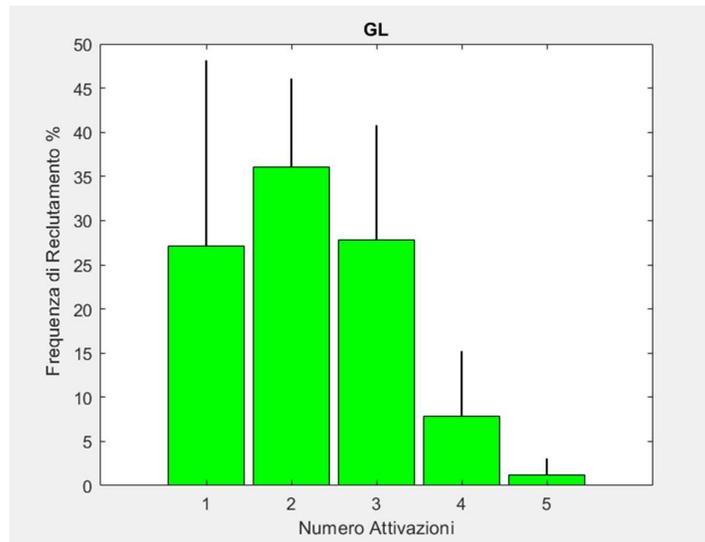


Figura 47. Frequenze di reclutamento % del muscolo GL per il Gruppo 3, in funzione della modalità di attivazione

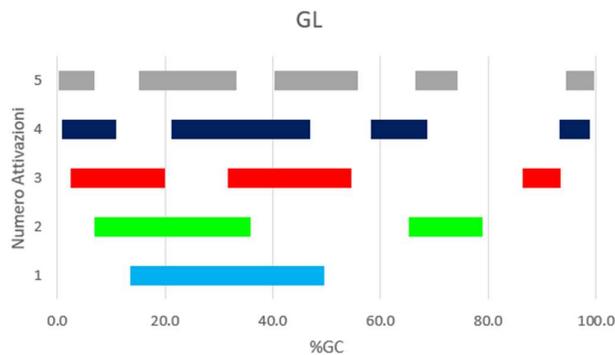


Figura 48. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo GL dei bambini del Gruppo 3, in funzione della %GC

5.3.3 Muscolo RF

Inseriamo di seguito il diagramma a barre verdi che rappresenta le frequenze di reclutamento medie, espresse in percentuale, relative ad ogni modalità di attivazione (che sono poste in ascissa), completo di deviazioni standard (le barre sottili); subito sotto poniamo il grafico che rappresenta le durate medie degli intervalli di attivazione, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi seguenti sono relativi al gruppo 3 ed al muscolo RF.

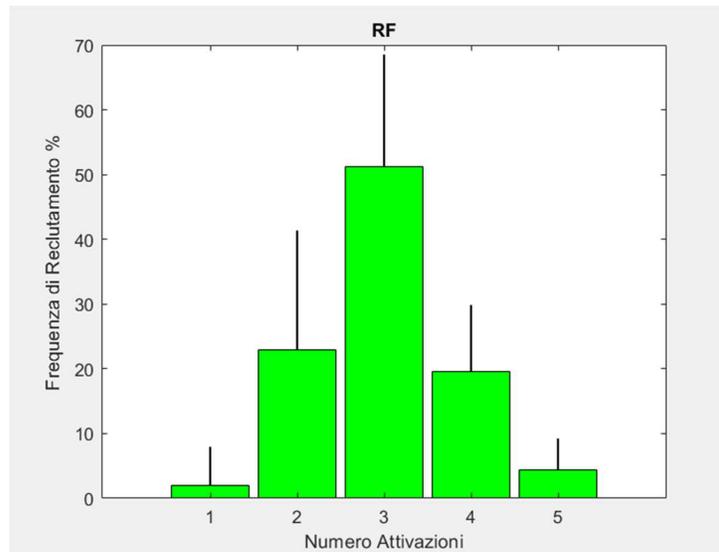


Figura 49. Frequenze di reclutamento % del muscolo RF per il Gruppo 3, in funzione della modalità di attivazione

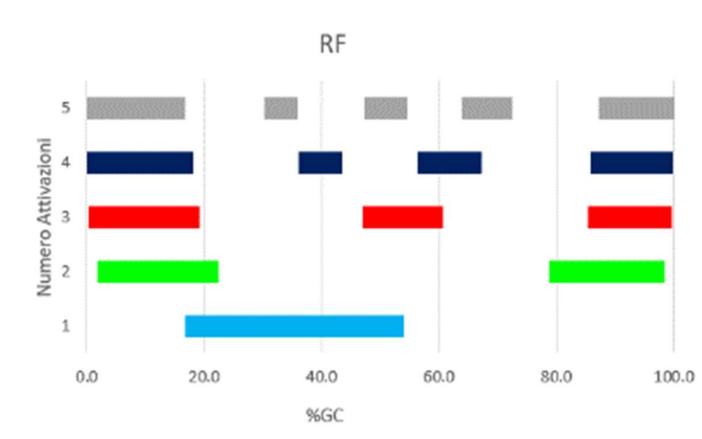


Figura 50. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo RF dei bambini del Gruppo 3, in funzione della %GC

5.3.4 Muscolo TA

Per il muscolo TA poniamo di seguito il grafico a barre (di colore verde) relativo alle frequenze di reclutamento medie espresse in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Sotto di esso inseriamo, sempre per il muscolo TA, anche il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi sono relativi al Gruppo 2.

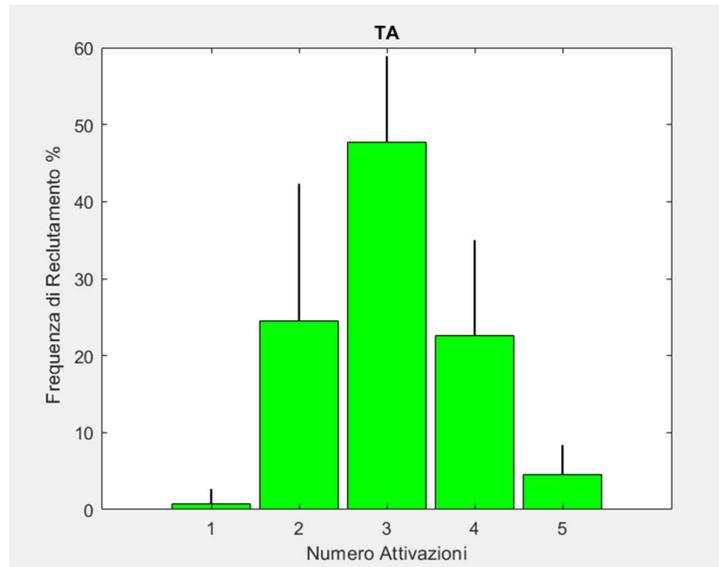


Figura 51. Frequenze di reclutamento % del muscolo TA per il Gruppo 3, in funzione della modalità di attivazione

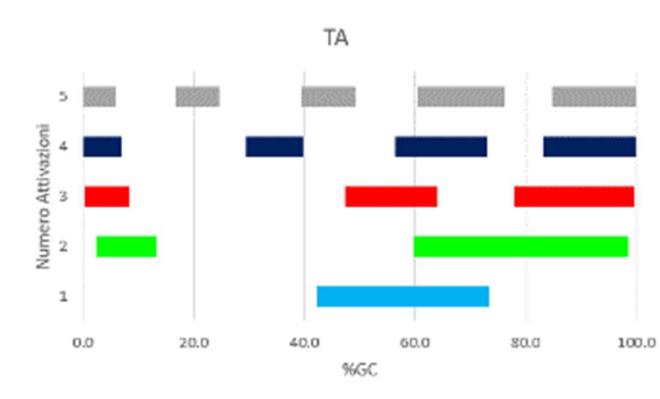


Figura 52. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo TA dei bambini del Gruppo 3, in funzione della %GC

5.3.5 Muscolo VM

Per il muscolo Vasto Mediale mettiamo di seguito il grafico delle frequenze di reclutamento medie con le relative deviazioni standard in funzione delle modalità di attivazione, per il Gruppo 3. Sotto di esso, sempre per il Gruppo 3, inseriamo anche quello delle durate medie di attivazione (per ogni modalità di attivazione) in funzione della %GC.

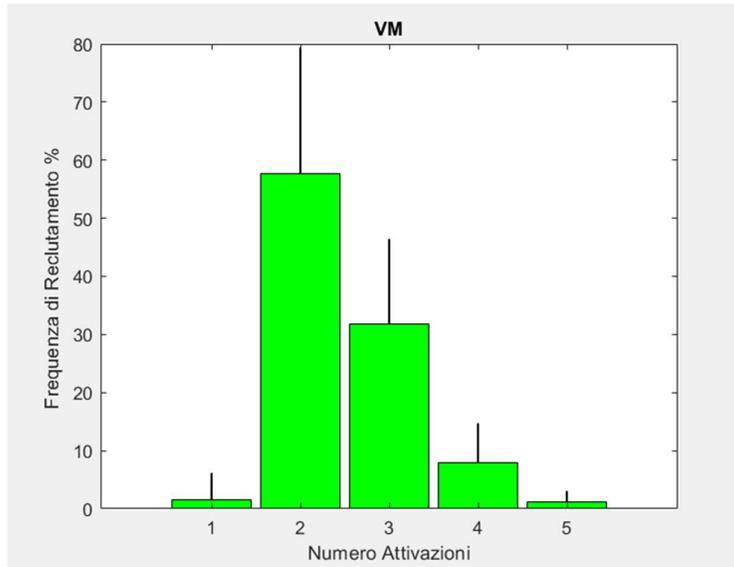


Figura 53. Frequenze di reclutamento % del muscolo VM per il Gruppo 3, in funzione della modalità di attivazione

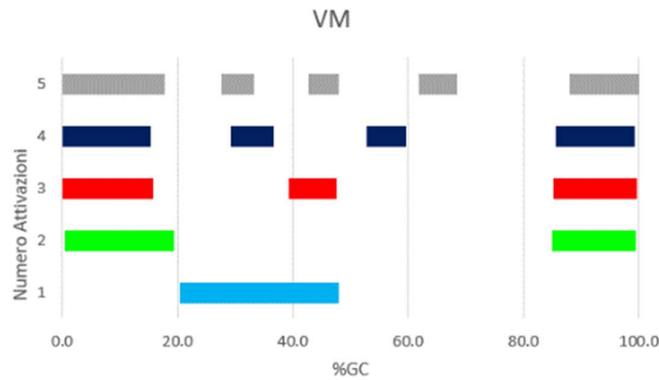


Figura 54. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo VM dei bambini del Gruppo 3, in funzione della %GC

5.3.6 Parametri spazio-temporali

Riportiamo, anche per questo Gruppo 3, i dati sulle caratteristiche del passo, sotto forma di media e deviazione standard di ogni parametro osservato.

| CARATTERISTI CHE PASSO | SINISTRA e DESTRA | | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| | MATCHING CYCLES | CADENC E | CYCLE DURATION | SINGLE SUPPORT DURATION | DOUBLE SUPPORT DURATION |
| UNITA' MISURA | | (Cycle/m in) | (s) | (%) | (%) |
| MEDIA | 84.2 | 61.65 | 0.97 | 39.45 | 21.18 |
| DEV STD | 14.49 | 6.18 | 0.1 | 3.1 | 6.1 |

Tabella 9. Caratteristiche del passo per i bambini del Gruppo 3: cadenza media con SD, Durata del ciclo del passo con SD, Durata del singolo e doppio supporto con relative SD

Ora inseriamo anche la tabella, per il Gruppo 3, relativa a medie e deviazioni standard dei parametri che identificano le 2 modalità d'appoggio maggiormente utilizzate dai soggetti (HFPS e PFPS), riportate in percentuale dei passi totali analizzati.

| DATI APPOGGIO | HFPS | PFPS |
|----------------|-------------------|-------------------|
| | %dei passi totali | %dei passi totali |
| MEDIA | 91.87% | 3.10% |
| DEV STD | 4.66% | 2.20% |

Tabella 10. Media e SD delle 2 modalità di appoggio più frequenti: HFPS E PFPS per bambini del Gruppo 3

Infine inserisco qui sotto la tabella con medie e deviazioni standard relative alle durate medie delle fasi del passo H, F, P, S. Anche in questo caso si tratta dei dati relativi al solo Gruppo 3.

| DATI BASOGRAFICI | DURATA FASI DEL PASSO SINISTRA e DESTRA | | | |
|------------------|---|-------|-------|-------|
| FASE | H | F | P | S |
| MEDIA | 5.53 | 32.27 | 22.87 | 39.33 |
| DEV STD | 1.4 | 8.02 | 8.77 | 4.18 |

Tabella 11. Durata fasi del passo H, F, P, S medie con relative SD per il Gruppo 3

5.4 BAMBINI DEL GRUPPO 4

In questo gruppo abbiamo bambini la cui età varia tra 116 e 124 mesi. Inseriamo i grafici, relativi ai soggetti del Gruppo 4, sia delle frequenze di reclutamento medie (in funzione della modalità di attivazione), sia quelli riportanti le durate medie degli intervalli di attivazione per ogni modalità, organizzandoli in base al muscolo di cui descrivono l'attività.

5.4.1 Muscolo BF

Per il muscolo BF poniamo di seguito il grafico a barre (di colore verde) relativo alle frequenze di reclutamento medie espresse in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Sotto di esso inseriamo, per lo stesso muscolo, anche il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi sono relativi al Gruppo 4.

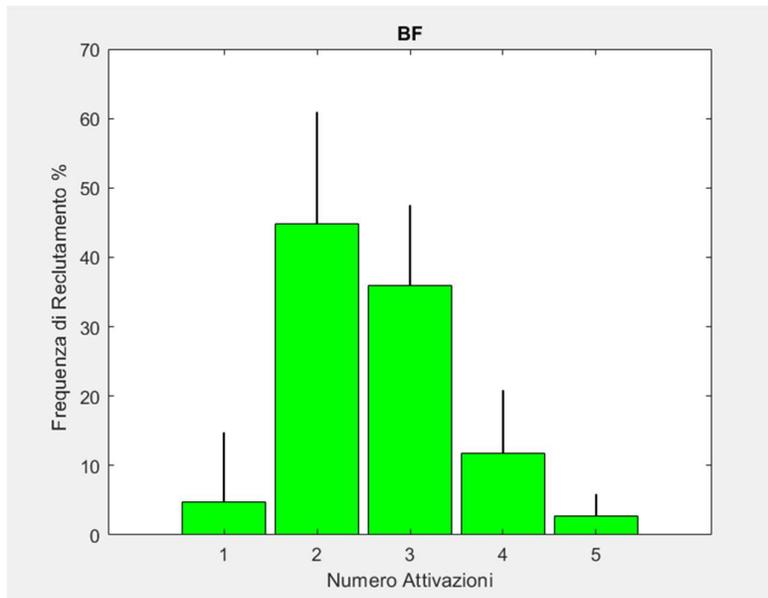


Figura 55. Frequenze di reclutamento % del muscolo BF per il Gruppo 4, in funzione della modalità di attivazione

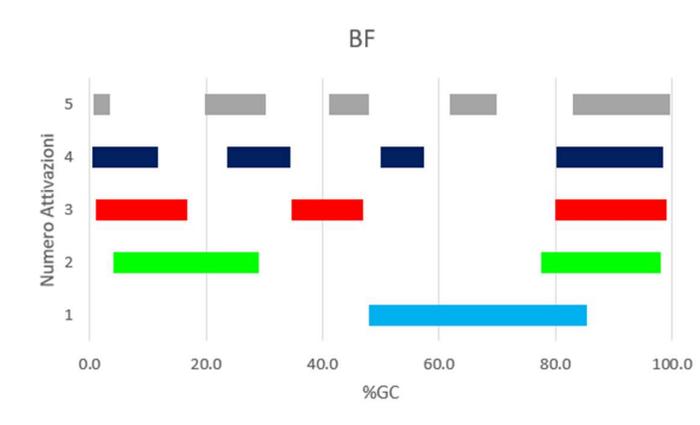


Figura 56. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo BF dei bambini del Gruppo 4, in funzione della %GC

5.4.2 Muscolo GL

Nel grafico in verde riportiamo il grafico a barre che presenta le frequenze di reclutamento medie per il muscolo GL, con le relative deviazioni standard in funzione della modalità di attivazione; sotto di essa abbiamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui riportati riguardano soltanto il Gruppo 4.

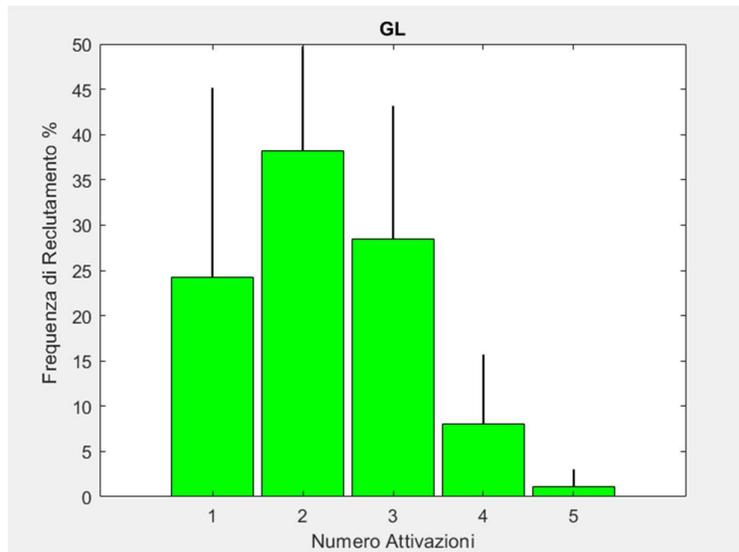


Figura 57. Frequenze di reclutamento % del muscolo GL per il Gruppo 4, in funzione della modalità di attivazione

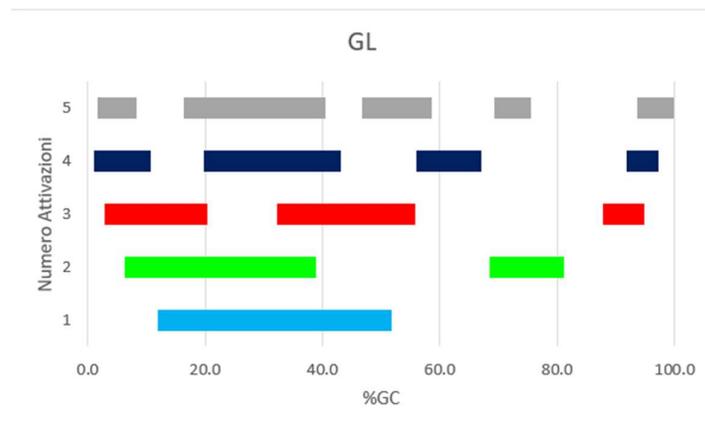


Figura 58. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo GL dei bambini del Gruppo 4, in funzione della %GC

5.4.3 Muscolo RF

Di nuovo per il gruppo 4, riportiamo il grafico a barre delle frequenze medie con cui i soggetti di tale gruppo ricorrono ad ogni attivazione considerata, per il muscolo RF (accompagnate da relative deviazioni standard) e, subito dopo, riportiamo anche il grafico delle durate medie delle attivazioni muscolari in funzione della %GC (per lo stesso muscolo).

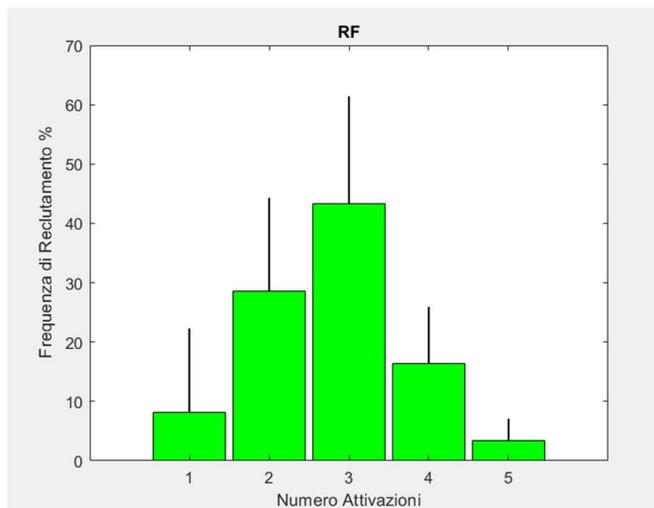


Figura 59. Frequenze di reclutamento % del muscolo RF per il Gruppo 4, in funzione della modalità di attivazione

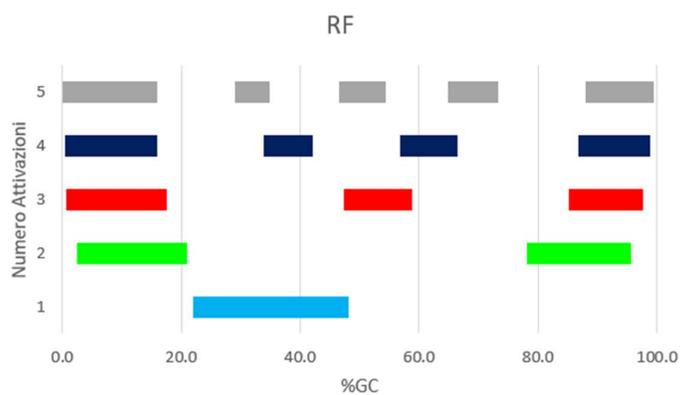


Figura 60. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo RF dei bambini del Gruppo 4, in funzione della %GC

5.4.4 Muscolo TA

Nel grafico a barre in verde riportiamo le frequenze di reclutamento medie per il muscolo TA, con le relative deviazioni standard, in funzione della modalità di attivazione; sotto di esso abbiamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui riportati riguardano soltanto il Gruppo 4.

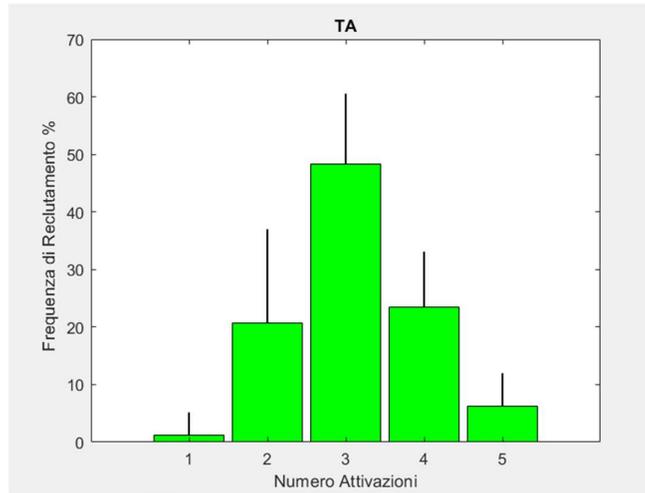


Figura 61. Frequenze di reclutamento % del muscolo TA per il Gruppo 4, in funzione della modalità di attivazione

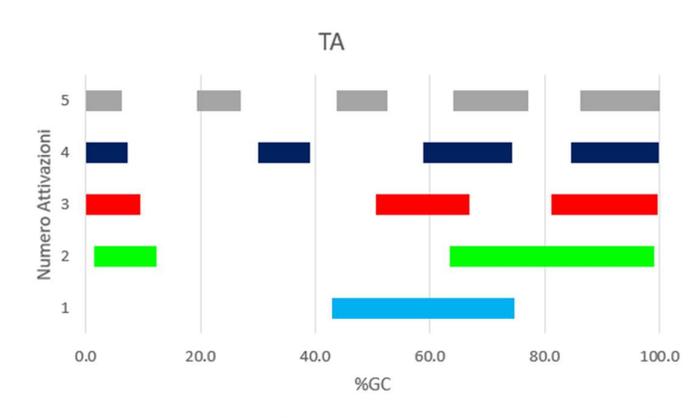


Figura 62. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo TA dei bambini del Gruppo 4, in funzione della %GC

5.4.5 Muscolo VM

Nel grafico a barre in verde riportiamo le frequenze di reclutamento medie per il muscolo VM, con le relative deviazioni standard, in funzione alla modalità di attivazione. Sotto di esso abbiamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui sotto riportati riguardano soltanto il Gruppo 4.

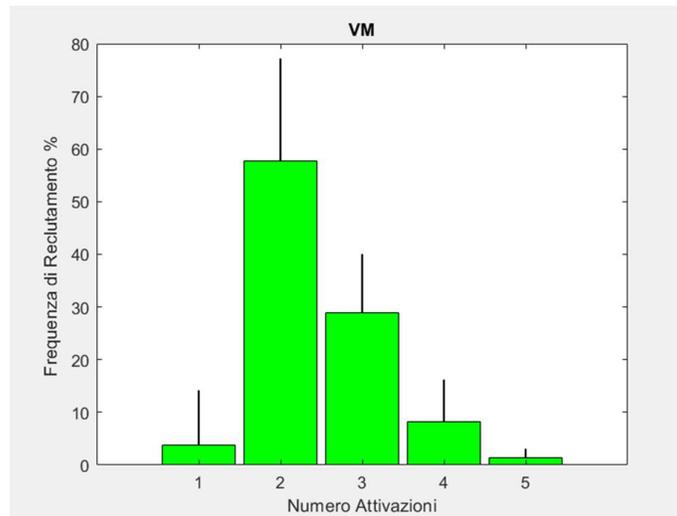


Figura 63. Frequenze di reclutamento % del muscolo VM per il Gruppo 4, in funzione della modalità di attivazione

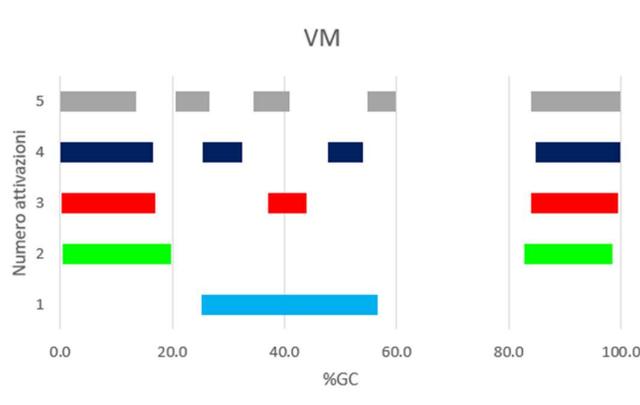


Figura 64. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo VM dei bambini del Gruppo 4, in funzione della %GC

5.4.6 Parametri spazio-temporali

Di seguito riportiamo la tabella con le medie e deviazioni standard dei dati, relativi al gruppo 4, delle caratteristiche del passo analizzate.

| CARATTERISTICHE PASSO | SINISTRA e DESTRA | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | MATCHING CYCLES | CADENCE | CYCLE DURATION | SINGLE SUPPORT DURATION | DOUBLE SUPPORT DURATION |
| UNITA' MISURA | | (Cycle/min) | (s) | (%) | (%) |
| MEDIA | 79.17 | 58.39 | 1.04 | 38.37 | 23.33 |
| DEV STD | 14.63 | 4.88 | 0.09 | 5.11 | 8.63 |

Tabella 12. Caratteristiche del passo per i bambini del Gruppo 4: cadenza media con SD, Durata del ciclo del passo con SD, Durata del singolo e doppio supporto con relative SD

Sempre per il Gruppo 4, inseriamo qui sotto anche una tabella che riporti i valori medi con relative deviazioni standard delle 2 modalità di appoggio maggiormente in uso dai soggetti analizzati, espresse in percentuale dei passi totali.

| DATI APPOGGIO | HFPS | PFPS |
|----------------|-------------------|-------------------|
| | %dei passi totali | %dei passi totali |
| MEDIA | 89.83% | 5.20% |
| DEV STD | 7.90% | 3.40% |

Tabella 13. Media e SD delle 2 modalità di appoggio più frequenti: HFPS E PFPS per bambini del Gruppo 4

Infine inseriamo la tabella per il Gruppo 4 che esprime le medie e deviazioni standard per le durate medie delle fasi del passo (H, F, P, S).

| DATI BASOGRAFICI | DURATA FASI DEL PASSO SINISTRA e DESTRA | | | |
|------------------|---|-------|-------|-------|
| FASE | H | F | P | S |
| MEDIA | 5.14 | 34.31 | 22.25 | 38.29 |
| DEV STD | 1.3 | 6.07 | 7.13 | 5.02 |

Tabella 14. Durata fasi del passo H, F, P, S medie con relative SD per il Gruppo 4

5.5 BAMBINI DEL GRUPPO 5

Ultimo gruppo in ordine crescente. Qui abbiamo i bambini più grande che hanno preso parte alla sperimentazione: dai 125 ai 137 mesi. Anche per questo ultimo gruppo elenchiamo, muscolo per muscolo, i grafici a barre con le frequenze di reclutamento medie in funzione della modalità di attivazione e poi anche quelli delle durate medie delle attivazioni (per le 5 modalità di attivazione viste) in funzione della %GC

5.5.1 Muscolo BF

Nel grafico a barre in verde riportiamo le frequenze di reclutamento medie per il muscolo BF, con le relative deviazioni standard (barre sottili), in funzione alla modalità di attivazione, posta in ascissa. Sotto di esso abbiamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici qui sotto riportati riguardano soltanto il Gruppo 5.

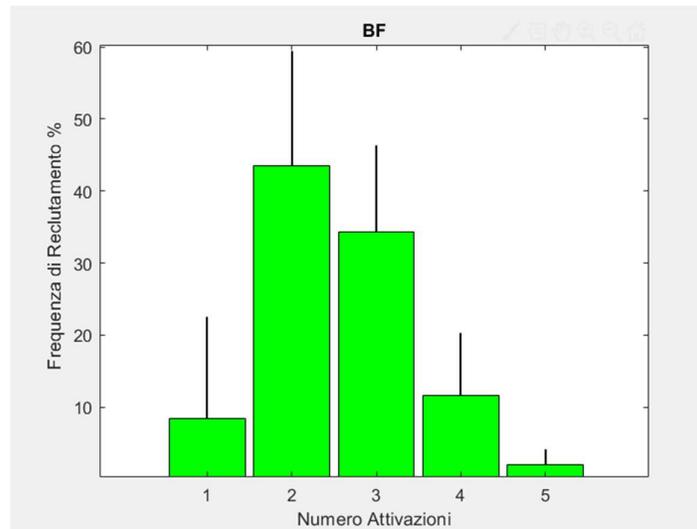


Figura 65. Frequenze di reclutamento % del muscolo BF per il Gruppo 5, in funzione della modalità di attivazione

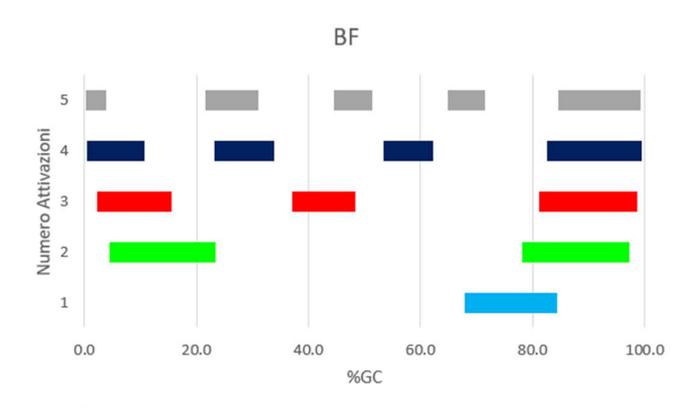


Figura 66. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo BF dei bambini del Gruppo 5, in funzione della %GC

5.5.2 Muscolo GL

Riportiamo, per il muscolo GL, il grafico a barre (di colore verde) che presenta le frequenze di reclutamento medie, con le relative deviazioni standard, in funzione delle modalità di attivazione; immediatamente sotto poniamo il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo. Entrambi i grafici di seguito riportati riguardano soltanto il Gruppo 5.

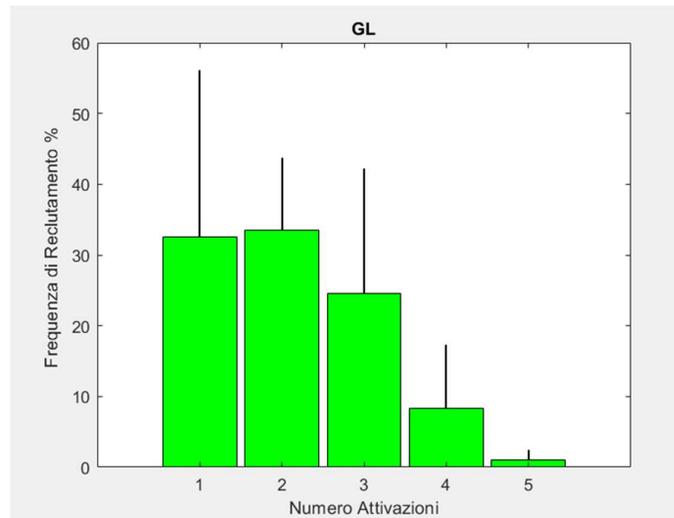


Figura 67. Frequenze di reclutamento % del muscolo GL per il Gruppo 5, in funzione della modalità di attivazione

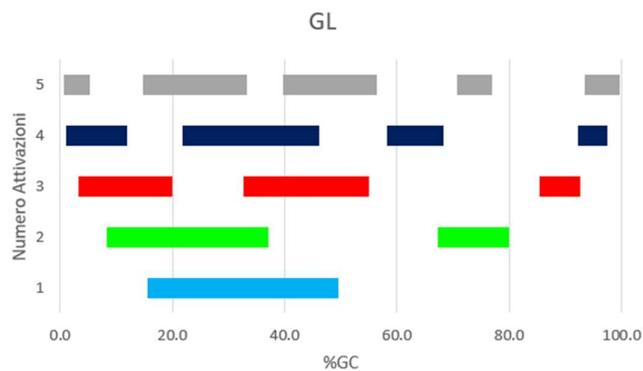


Figura 68. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo GL dei bambini del Gruppo 5, in funzione della %GC

5.5.3 Muscolo RF

Per il muscolo RF poniamo di seguito il grafico a barre (di colore verde) relativo alle frequenze di reclutamento medie espresse in percentuale per ognuna delle 5 modalità di attivazione analizzate, complete di deviazioni standard. Sotto di esso inseriamo, per lo stesso muscolo, anche il diagramma che mostra le durate medie degli intervalli di attivazione, a seconda della modalità impiegata, in funzione della %GC. Entrambi i diagrammi sono relativi al Gruppo 5.

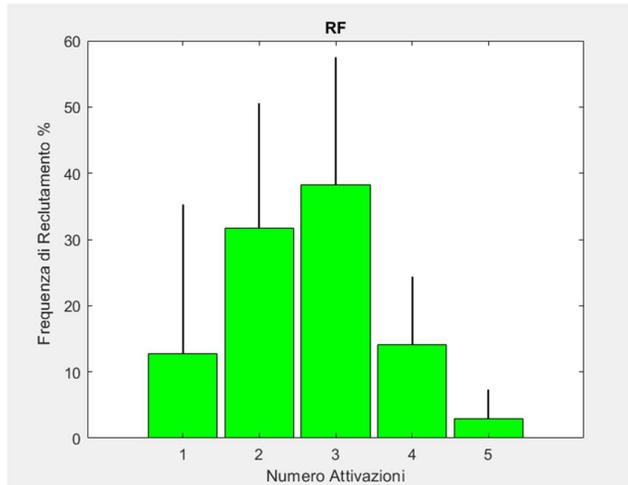


Figura 69. Frequenze di reclutamento % del muscolo RF per il Gruppo 5, in funzione della modalità di attivazione

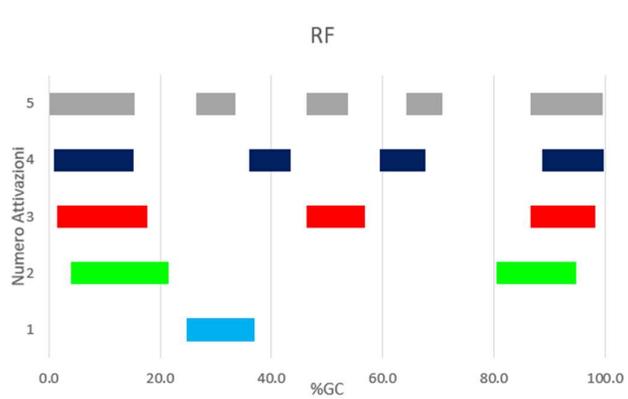


Figura 70. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo RF dei bambini del Gruppo 5, in funzione della %GC

5.5.4 Muscolo TA

In verde è riportato il grafico a barre che mostra le frequenze di reclutamento medie per il muscolo Tibiale Anteriore, con le relative deviazioni standard, in funzione della modalità di attivazione per il Gruppo 5. Immediatamente sotto abbiamo invece il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione in base al numero di attivazioni, espresse in %GC, sempre per lo stesso muscolo e per il Gruppo 5.

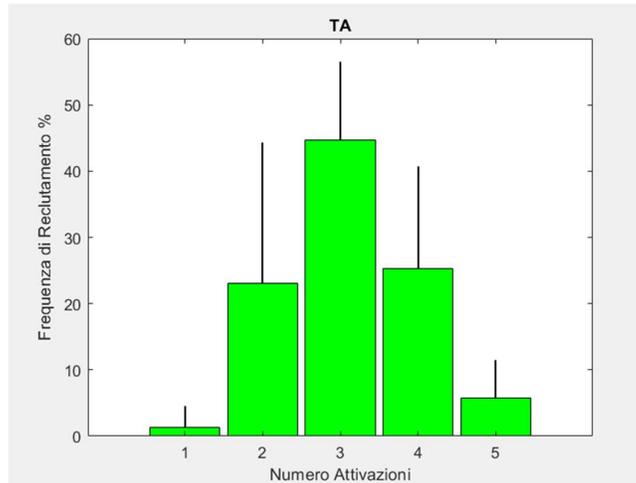


Figura 71. Frequenze di reclutamento % del muscolo TA per il Gruppo 5, in funzione della modalità di attivazione

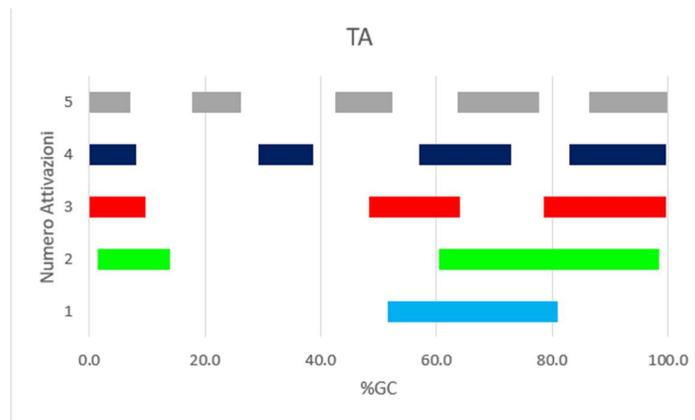


Figura 72. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo TA dei bambini del Gruppo 5, in funzione della %GC

5.5.5 Muscolo VM

Riportiamo qui di seguito il grafico a barre che mostra le frequenze di reclutamento medie per il muscolo VM, con le relative deviazioni standard, espresse in funzione della modalità di attivazione per il Gruppo 5. Immediatamente sotto abbiamo invece il grafico con le durate medie degli intervalli di attivazione, in base al numero di attivazioni, espresse in %GC e sempre per il muscolo VM E Gruppo 5.

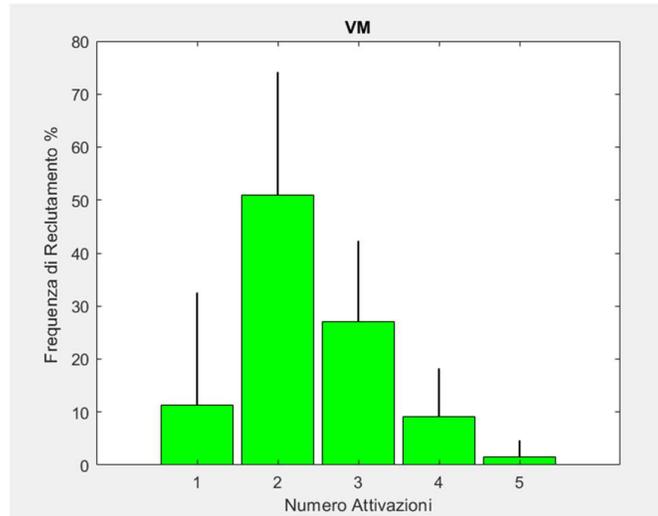


Figura 73. Frequenze di reclutamento % del muscolo VM per il Gruppo 5, in funzione della modalità di attivazione

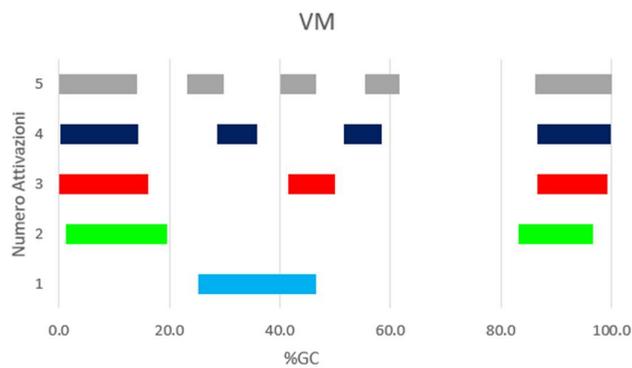


Figura 74. Grafico delle durate medie di attivazione per il muscolo VM dei bambini del Gruppo 5, in funzione della %GC

5.5.6 Parametri spazio-temporali

Riportiamo sotto la tabella delle caratteristiche del passo per il Gruppo 5, che presenta medie e relative deviazioni standard dei parametri di Cadenza, Durata del ciclo del passo, Durata della fase di singolo supporto e Durata della fase di doppio supporto (in %GC)

| CARATTERISTICI CHE PASSO | SINISTRA e DESTRA | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | MATCHING CYCLES | CADENCE | CYCLE DURATION | SINGLE SUPPORT DURATION | DOUBLE SUPPORT DURATION |
| UNITA' MISURA | | (Cycle/min) | (s) | (%) | (%) |
| MEDIA | 73.2 | 56.31 | 1.07 | 39.6 | 20.78 |
| DEV STD | 15.9 | 4.35 | 0.09 | 3.83 | 5.53 |

Tabella 15. Caratteristiche del passo per i bambini del Gruppo 5: cadenza media con SD, Durata del ciclo del passo con SD, Durata del singolo e doppio supporto con relative SD

Sempre per il Gruppo 5 riportiamo la tabella che presenta medie e deviazioni standard dei dati di appoggio (sono riportate le frequenze di utilizzo in % dei passi totali per le 2 modalità d'appoggio più utilizzate dai soggetti analizzati)

| DATI APPOGGIO | HFPS | PFPS |
|----------------|-------------------|-------------------|
| | %dei passi totali | %dei passi totali |
| MEDIA | 85.52% | 6.39% |
| DEV STD | 9.60% | 5.61% |

Tabella 16. Media e SD delle 2 modalità di appoggio più frequenti: HFPS E PFPS per bambini del Gruppo 5

Infine inseriamo la tabella per il Gruppo 5, che esprime le medie e deviazioni standard per le durate medie delle fasi del passo (H, F, P, S).

| DATI BASOGRAFICI | DURATA FASI DEL PASSO SINISTRA e DESTRA | | | |
|------------------|---|-------|-------|-------|
| FASE | H | F | P | S |
| MEDIA | 5.2 | 33.21 | 21.94 | 39.64 |
| DEV STD | 2.1 | 6.99 | 7.67 | 3.68 |

Tabella 17. Durata fasi del passo H, F, P, S medie con relative SD per il Gruppo 5

5.6 ANALISI STATISTICA COMPARATIVA

Dopo la sistemazione del database di informazioni, abbiamo proceduto con un'analisi statistica comparativa, per tentare di individuare delle differenze o delle possibili evoluzioni dei parametri visti con il crescere dell'età dei bambini, e quindi con la progressione dei gruppi (vedi capitolo materiali e metodi: analisi statistica). Si sono andate a cercare tutte le similitudini e le differenze tra le mediane delle distribuzioni coinvolte.

5.6.1 Età

Comparando le età abbiamo visto che i vari gruppi talvolta possono avere distribuzioni simili solo parzialmente ed al massimo con i soli gruppi adiacenti (mai oltre). Infatti dalle comparazioni delle 5 distribuzioni emerge che:

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2, ma diverso da tutti gli altri gruppi
- Gruppo 2: statisticamente simile al gruppo 1 ed al gruppo 3, diverso da 4 e 5
- Gruppo 3: statisticamente simile al gruppo al 2 e 4, diverso dal 1 e 5
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 3 e 5, diverso da 1 e 2
- Gruppo 5: statisticamente simile al gruppo 4 , è diverso da tutti gli altri gruppi.

Ad ogni modo l'andamento delle distribuzioni all'interno dei vari gruppi cresce in modo omogeneo

5.6.2 Altezza

Dalla comparazione delle altezze emerge che:

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2, ma diverso da tutti gli altri gruppi
- Gruppo 2: statisticamente simile al gruppo 1 ed al gruppo 3, diverso da 4 e 5
- Gruppo 3: statisticamente simile al gruppo al 2 e 5, ma diverso dal 1 e 4
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 5, ma diverso da 1,2 e 3
- Gruppo 5: statisticamente simile al gruppo 4 e 3, diverso da 1 e 2

In particolare la somiglianza delle distribuzioni del Gruppo 3 con il Gruppo 2 è ampia, mentre con il gruppo 5 la somiglianza rimane piccola. Chiaramente l'altezza tende a crescere con l'età dei bambini: i primi 3 gruppi mostrano una certa crescita graduale, che diventa di spessore statistico tra 1° e 3° gruppo. Il Gruppo 4 si stacca di più dalle distribuzioni precedenti, presenta differenze anche con il 3°. Il Gruppo 5 rimane estremamente simile al 4 come valori.

5.6.3 Peso

Per quanto riguarda il peso, dalla comparazione si ottiene che:

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2, ma diverso da tutti gli altri gruppi
- Gruppo 2: statisticamente simile al gruppo 1 ed al gruppo 3, diverso da 4 e 5
- Gruppo 3: statisticamente simile al gruppo al 2, 4 e 5, diverso dal 1
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 3 e 5, diverso da 1 e 2
- Gruppo 5: statisticamente simile al gruppo 3 e 4, diverso da 1 e 2

Il peso presenta valori praticamente in crescita. Anche qui (come per il peso) gli ultimi 2 gruppi presentano i valori maggiori e molto simili tra loro. Questi risultano del tutto diversi dai primi due gruppi, mentre il gruppo 3 rappresenta in questo caso un gruppo di 'transizione' perché assume valori intermedi.

5.6.4 Cadenze

Abbiamo effettuato un confronto fra le cadenze registrate per ogni gruppo.

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2 e 3, ma diverso da 4 e 5
- Gruppo 2: statisticamente simile al gruppo 1 ed al gruppo 3, ma diverso da 4 e 5
- Gruppo 3: statisticamente simile al gruppo 1, 2 e 4, diverso solo da 5
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 3 e 5, diverso da 1 e 2
- Gruppo 5: statisticamente simile al gruppo 4, è diverso da tutti gli altri gruppi

In questo caso si può individuare un trend: i cicli del passo effettuati per ogni minuto sembrano diminuire con l'aumentare dell'età del soggetto. Questo passaggio appare abbastanza graduale: i

primi tre gruppi sembrano molto simili tra loro anche se tendono a decrescere poco per volta, fino al gruppo 4 che sembra distaccarsi dai primi 3 gruppi, anche se ancora non si trova una differenza statistica con i gruppi precedenti. Infine il gruppo 5 presenta i valori più bassi per le cadenze (in maniera consistente rispetto a quelli che si hanno nei primi gruppi).

5.6.5 Durate del ciclo del passo

Per quanto riguarda il confronto tra le durate (medie) del ciclo del passo per ogni gruppo, si è osservato che:

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2 e 3, ma diverso da 4 e 5
- Gruppo 2: statisticamente simile al gruppo 1 ed al gruppo 3, ma diverso da 4 e 5
- Gruppo 3: statisticamente simile al gruppo 1 e 2, ma diverso da 4 e 5
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 5, diverso da tutti gli altri gruppi
- Gruppo 5: statisticamente simile al gruppo 4, è diverso da tutti gli altri gruppi

Si può supporre che le durate del ciclo del passo tendano ad aumentare con l'aumentare dell'età dei bambini. In particolare dalle distribuzioni analizzate sembra che tale crescita non sia graduale come quanto visto con le cadenze, ma sembrerebbe esserci un distacco netto dei valori tra gruppo 3 e gruppo 4. Si avrebbero cioè 2 'blocchi' principali: uno contenente i primi 3 gruppi, con valori mediamente più bassi; ed un secondo blocco ben separato dal primo, contenente gli ultimi due gruppi con valori in media più alti.

5.6.6 Durate fase singolo supporto

Comparando invece le durate della fase di singolo supporto non sono emerse differenze significative tra i vari gruppi analizzati: tutti i gruppi risultano tra loro statisticamente simili. Si potrebbe al massimo ipotizzare che le durate del singolo supporto siano in leggera decrescita: i gruppi, infatti, tendono ad avere valori inferiori anche se si parla di differenze minime. Tale andamento sembra infine interrompersi con il gruppo 5 che presenta valori che tenderebbero a risalire, sempre di pochissimo (la distribuzione nel gruppo 5 è praticamente quasi uguale a quella del gruppo3).

5.6.7 Durate fase doppio supporto

Sono state comparate anche le distribuzioni nei vari gruppi della durata della fase di doppio supporto:

- Gruppo 1: statisticamente simile al gruppo 2 , 3 e 5, ma diverso solo da 4
- Gruppo 2: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi
- Gruppo 3: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi
- Gruppo 4: statisticamente simile al gruppo 2, 3 e 5, diverso solo da 1

- Gruppo 5: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi

In questo caso l'andamento delle durate del doppio supporto sembrerebbe quello di crescita. Tale trend viene anche qui, diciamo, interrotto dal gruppo 5, i cui valori presentano una leggera diminuzione, che fa sì che esso torni ad essere parzialmente simile alle distribuzioni dei gruppi precedenti (il gruppo 5 risulta essere particolarmente simile al 3 come contenuto e quindi avrebbe comunque valori un poco più alti di quelli dei gruppi 1 e 2).

5.6.8 Modalità di appoggio HFPS

Confrontando il numero di passi effettuati (in % dei passi totali) con la modalità d'appoggio HFPS dai bambini di ogni gruppo, non si sono ottenute differenze statisticamente rilevanti. Si potrebbe azzardare l'ipotesi di un andamento leggermente decrescente: Gruppo 2 e 5 presentano le distribuzioni più distanziate, ma comunque non in modo statisticamente rilevante. D'altra parte Gruppo 1 e Gruppo 5 presentano distribuzioni molto simili.

5.6.9 Modalità di appoggio PFPS

Per quanto riguarda la modalità d'appoggio PFPS, non sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra le distribuzioni dei 5 gruppi analizzati.

5.6.10 Frequenze di reclutamento del BF con 1 attivazione

Non sono state trovate differenze rilevanti dal punto di vista statistico per il muscolo BF con la modalità ad 1 attivazione. Tale modalità di attivazione potrebbe comunque sembrare in crescita con la crescita dell'età. Riportiamo il grafico a barre che visualizza questo andamento: le frequenze di reclutamento in percentuale in funzione dei 5 gruppi.

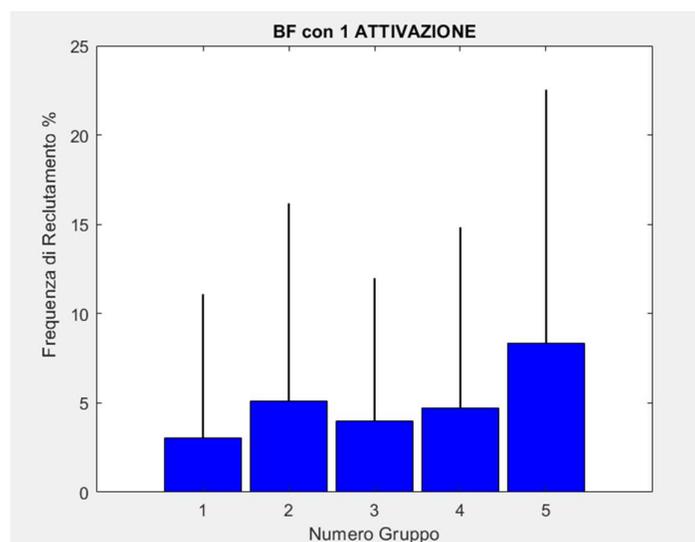


Figura 75. Frequenze di reclutamento in % del BF con 1 attivazione, in funzione del numero di Gruppo

5.6.11 Frequenze di reclutamento del BF con 2 attivazioni

Non sono state trovate differenze rilevanti dal punto di vista statistico per il muscolo BF con la modalità a 2 attivazioni. I gruppi presentano frequenze di reclutamento estremamente simili. Vediamo il grafico a barre che visualizza l'andamento delle frequenze di reclutamento del muscolo BF con 2 attivazioni, in funzione dei gruppi d'appartenenza.

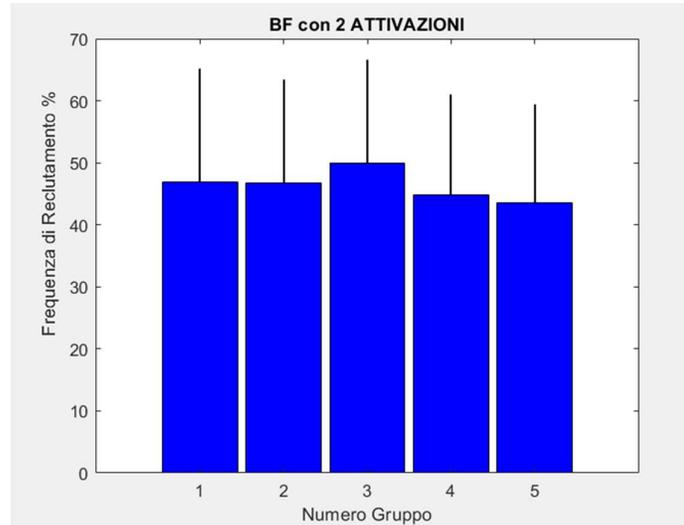


Figura 76. Frequenze di reclutamento in % del BF con 2 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.12 Frequenze di reclutamento del BF con 3 attivazioni

Non sono state trovate differenze rilevanti dal punto di vista statistico per il muscolo BF con la modalità a 3 attivazioni. Tra i gruppi le frequenze di reclutamento sono praticamente identiche. Di seguito il grafico a barre che riporta le frequenze di reclutamento espresse in percentuale del BF con 3 attivazioni in funzione dei 5 gruppi analizzati

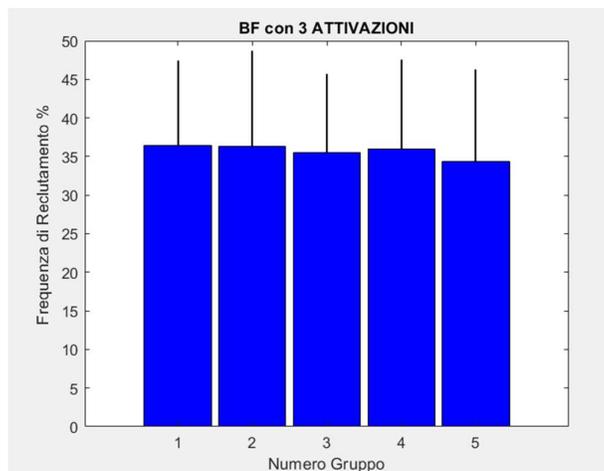


Figura 77. Frequenze di reclutamento in % del BF con 3 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.13 Frequenze di reclutamento del BF con 4 attivazioni

Non sono state trovate differenze rilevanti dal punto di vista statistico per il muscolo BF con la modalità a 4 attivazioni. Di seguito il grafico a barre che riporta le frequenze di reclutamento espresse in percentuale del BF con 4 attivazioni, in funzione dei 5 gruppi analizzati.

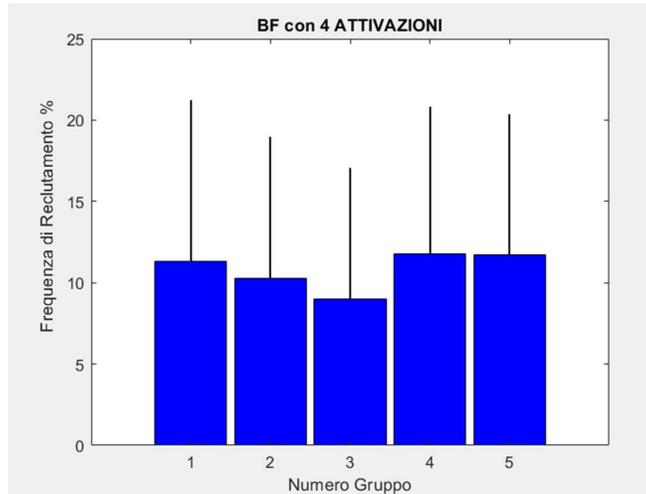


Figura 78. Frequenze di reclutamento in % del BF con 4 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.14 Frequenze di reclutamento del BF con 5 attivazioni

Non sono state trovate neanche in questo caso delle differenze rilevanti dal punto di vista statistico per il muscolo BF con la modalità a 3 attivazioni. Tra i gruppi le frequenze di reclutamento sono molto simili anche se presentano lievi oscillazioni nei valori contenuti. Di seguito il grafico a barre che riporta le frequenze di reclutamento espresse in percentuale del muscolo BF con 5 attivazioni, in funzione dei 5 gruppi analizzati.

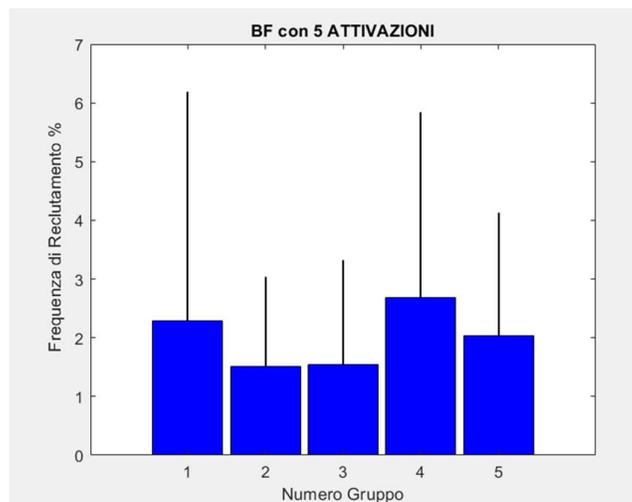


Figura 79. Frequenze di reclutamento in % del BF con 5 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.15 Frequenze di reclutamento del GL con 1 attivazione

Non sono state riscontrate differenze significative tra i 5 gruppi per il muscolo GL con la modalità ad 1 attivazione. I 5 gruppi hanno distribuzioni molto simili: forse si potrebbe ipotizzare una crescita molto piccola dei valori, ipotesi che comunque non riceve conferma con gli elementi a disposizione. Di seguito il grafico a barre che riporta le frequenze di reclutamento espresse in percentuale del GL con 1 attivazione, in funzione dei 5 gruppi analizzati

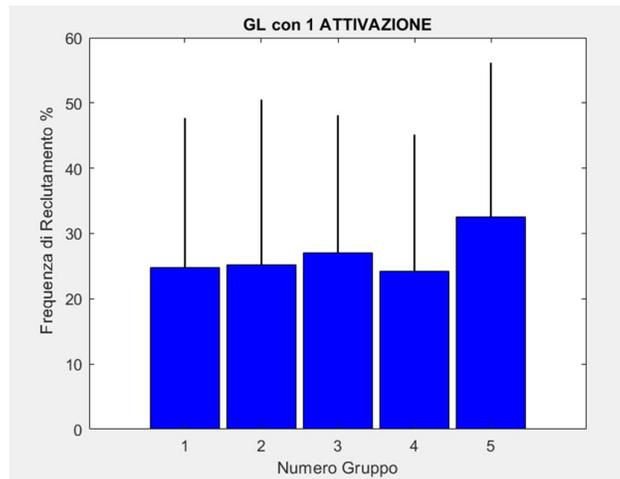


Figura 80. Frequenze di reclutamento in % del GL con 1 attivazione, in funzione del numero di Gruppo

5.6.16 Frequenze di reclutamento del GL con 2 attivazioni

Dall'analisi statistica, per le 2 attivazioni del muscolo GL si è trovato che:

- Gruppo 1: nessuna differenza con gli altri gruppi
- Gruppo 2: diverso dal Gruppo 4 (ma statisticamente simile a tutti gli altri)
- Gruppo 3: nessuna differenza con gli altri gruppi
- Gruppo 4: diverso dal gruppo 2 (ma statisticamente simile a tutti gli altri)
- Gruppo 5: nessuna differenza con gli altri gruppi

Si potrebbe pensare di essere davanti a valori in crescita guardando i 3 gruppi intermedi, ipotesi che sembra invece venire smentita dal primo ed ultimo gruppo, che interrompono questa tendenza. Gruppo 1 e 2 sono particolarmente simili tra loro. Anche il 3 e 4 sono molto simili tra loro e sembrano avere in media valori un po' più grandi di quelli dei primi 2 gruppi. Il gruppo 5 sembra essere intermedio. Nella figura successiva viene riportato il diagramma a barre delle frequenze di reclutamento per le 2 attivazioni del GL in funzione dei gruppi.

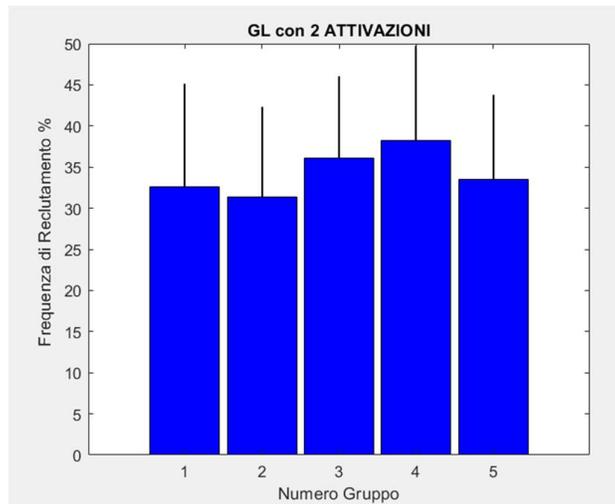


Figura 81. Frequenze di reclutamento in % del GL con 2 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.17 Frequenze di reclutamento del GL con 3 attivazioni

Anche per le 3 attivazioni del muscolo GL con l'analisi statistica non sono state evidenziate differenze consistenti nelle frequenze impiegate dai diversi gruppi. Guardando gli estremi (Gruppo 1 e 5) i valori sembrano decrescere, ma la differenza è troppo piccola per poter essere considerata significativa. Il successivo grafico a barre visualizza le frequenze di reclutamento in percentuale impiegate dai soggetti appartenenti ai vari gruppi per il muscolo GL con 3 attivazioni.

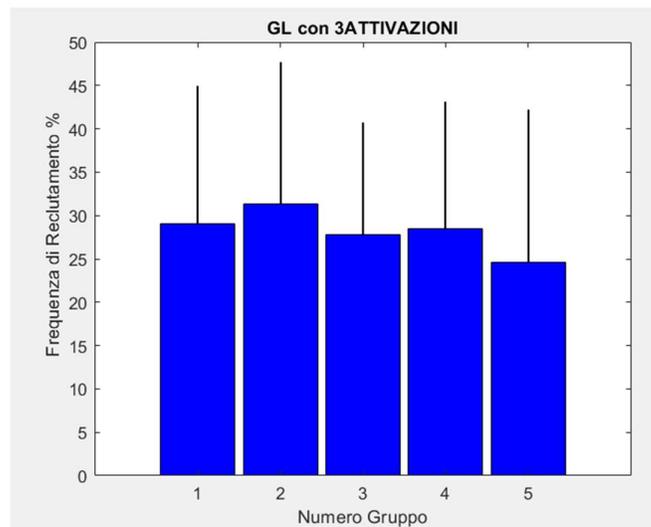


Figura 82. Frequenze di reclutamento in % del GL con 3 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.18 Frequenze di reclutamento del GL con 4 attivazioni

Anche in questo caso non ci sono stati risultati con differenze statisticamente rilevati. Al massimo possiamo affermare che gli ultimi 2 gruppi sembrerebbero avere frequenze di reclutamento leggermente più basse di quelle dei primi 3, informazione statisticamente non rilevante. Per le 4

attivazioni del muscolo GL poniamo di seguito il grafico a barre, che presenta le frequenze di reclutamento in percentuale, in funzione dei 5 gruppi analizzati.

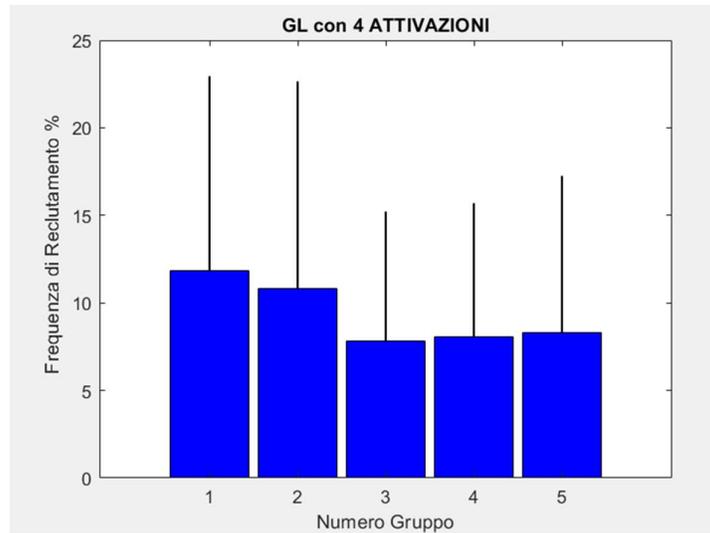


Figura 83. Frequenze di reclutamento in % del GL con 4 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.19 Frequenze di reclutamento del GL con 5 attivazioni

Per le 5 attivazioni del muscolo GL non sono state riscontrate differenze statisticamente significative. Anche qui si potrebbe ipotizzare una decrescita, che però risulta minima e quindi non confermabile con questi dati. Di seguito viene riportato il diagramma a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale per le 5 attivazioni del GL in funzione dei gruppi.

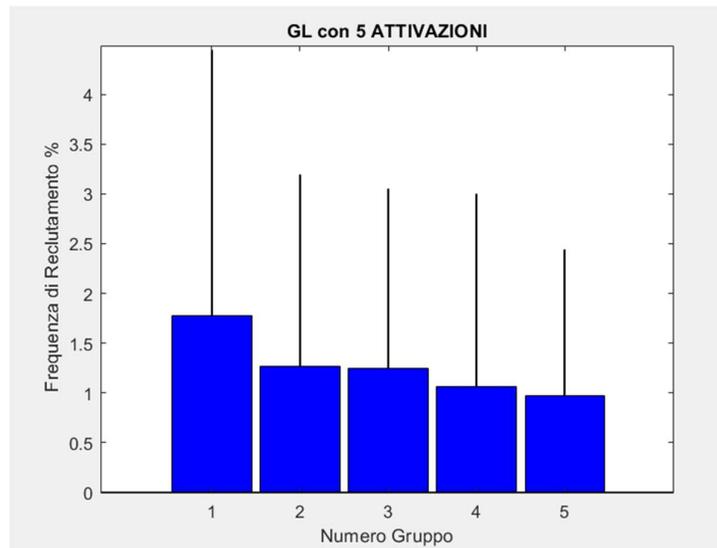


Figura 84. Frequenze di reclutamento in % del GL con 5 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.20 Frequenze di reclutamento del RF con 1 attivazione

Con la prima modalità di attivazione per il muscolo RF si è trovato che:

- Gruppo 1: statisticamente diverso solo dal gruppo 5
- Gruppo 2: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 3: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 4: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 5: statisticamente diverso solo dal gruppo 1

Si potrebbe ipotizzare che la frequenza di reclutamento tenda ad aumentare con l'età del soggetto. Il gruppo 1, a tal proposito, che presenta questa differenza sostanziale dal gruppo 5, sembra accreditare tale ipotesi. La figura seguente mostra il grafico a barre che presenta in ordinata le frequenze di reclutamento percentuali della modalità con 1 attivazione del muscolo RF, in ascissa i 5 gruppi.

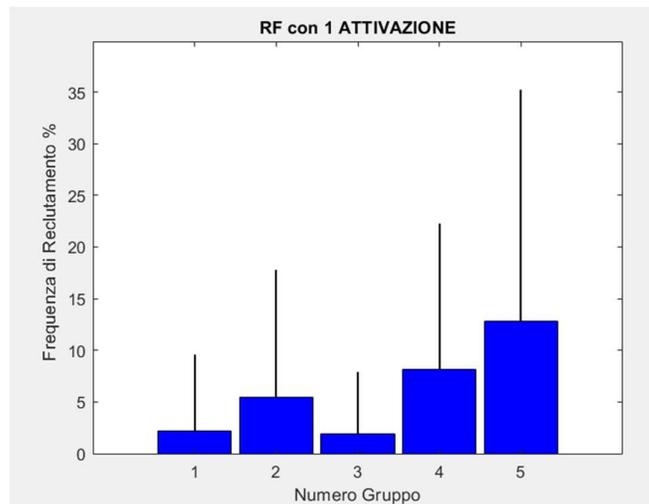


Figura 85. Frequenze di reclutamento in % del RF con 1 attivazione, in funzione del numero di Gruppo

5.6.21 Frequenze di reclutamento del RF con 2 attivazioni

Per quanto riguarda la modalità a 2 attivazioni del muscolo RF, non si sono evidenziate differenze significative tra i vari gruppi. Forse si potrebbe provare a ipotizzare una crescita lenta dei valori con l'aumentare dell'età dei soggetti (gruppo 1 e 5 hanno distribuzioni abbastanza separate, la differenza statistica non è stata trovata per molto poco). Di seguito il grafico a barre che riporta come variano le frequenze di reclutamento del muscolo RF per la modalità a 2 attivazioni, con il variare dei gruppi.

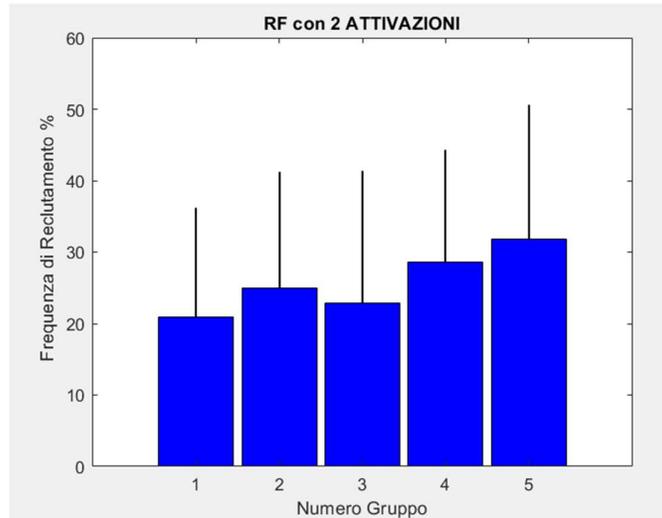


Figura 86. Frequenze di reclutamento in % del RF con 2 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.22 Frequenze di reclutamento del RF con 3 attivazioni

Con le 3 attivazioni del muscolo RF, invece, dall'analisi statistica comparativa sono emerse le seguenti differenze:

- Gruppo 1: statisticamente diverso da gruppo 5
- Gruppo 2: statisticamente diverso da gruppo 5
- Gruppo 3: statisticamente diverso da gruppo 5
- Gruppo 4: non presenta differenze statisticamente rilevanti con tutti gli altri gruppi
- Gruppo 5: contemporaneamente statisticamente differente da gruppi 1,2 e 3.

Sembrerebbe che i valori tendano a scendere man mano che l'età aumenta: infatti i primi tre gruppi presentano valori estremamente simili tra loro e tutti e 3 presentano una differenza consistente con il gruppo 5 (i cui valori sono appunto statisticamente minori). Il gruppo 4 presenta valori intermedi. Nel grafico successivo riportiamo le frequenze di attivazione in percentuale della modalità con 3 attivazioni del muscolo RF, in funzione della variazione dei gruppi.

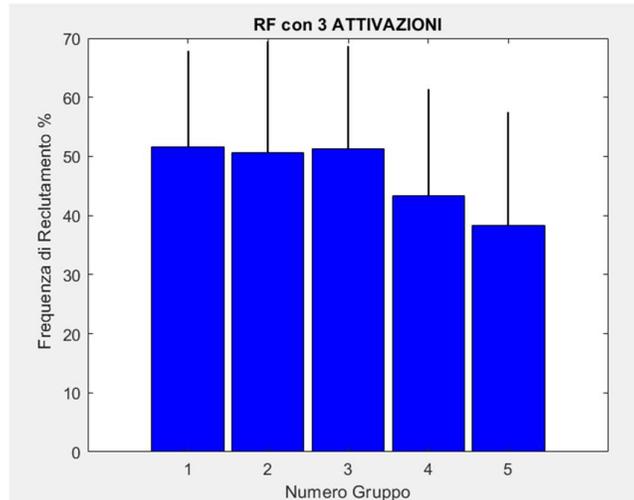


Figura 87. Frequenze di reclutamento in % del RF con 3 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.23 Frequenze di reclutamento del RF con 4 attivazioni

Dall'analisi statistica effettuata sulle distribuzioni relative alla modalità di attivazione 4 del muscolo RF, si è trovato che:

- Gruppo 1: statisticamente diverso solo dal gruppo 5
- Gruppo 2: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi
- Gruppo 3: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi
- Gruppo 4: statisticamente simile a tutti gli altri gruppi
- Gruppo 5: statisticamente diverso solo dal gruppo 1

Anche la modalità di attivazione con 4 intervalli sembra quindi che si porti progressivamente verso valori inferiori (man mano che il numero del gruppo aumenta e quindi l'età cresce). Qui però tale andamento sembrerebbe interrotto in corrispondenza del gruppo 3 che sembra crescere leggermente rispetto al 2, per poi riprendere. Tale ipotesi potrebbe trovare fondamento nel fatto che comunque gruppo 1 e 5, agli estremi, presentano una differenza abbastanza grande tra le proprie distribuzioni. Di seguito il diagramma a barre che rappresenta le frequenze di reclutamento in percentuale per l'RF con 4 attivazioni in funzione dei vari gruppi.

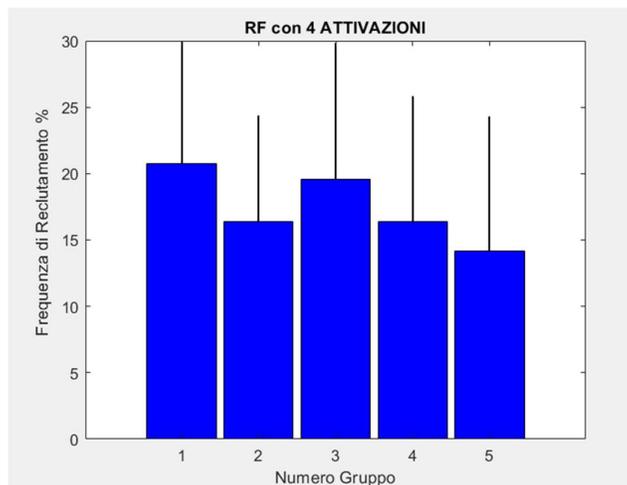


Figura 88. Frequenze di reclutamento in % del RF con 4 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.24 Frequenze di reclutamento del RF con 5 attivazioni

Per le frequenze di reclutamento relative al muscolo RF con 5 attivazioni non sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra un gruppo e l'altro. Sotto poniamo il grafico a barre con le frequenze di reclutamento in percentuale per l'RF con 5 attivazioni in funzione dei vari gruppi.

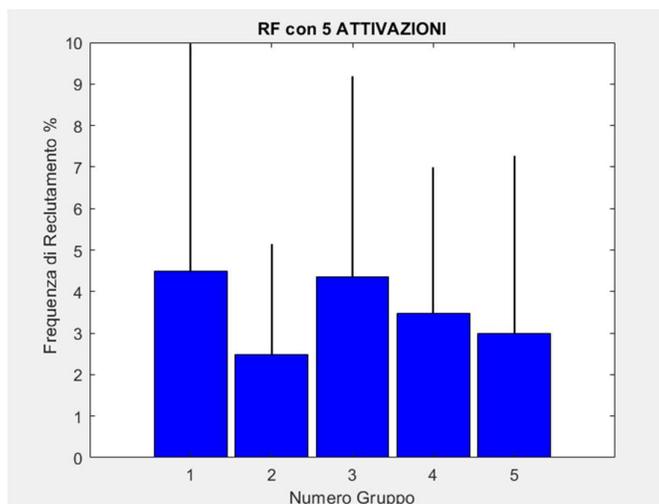


Figura 89. Frequenze di reclutamento in % del RF con 5 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.25 Frequenze di reclutamento del TA con 1 attivazione

Per le frequenze di reclutamento relative al muscolo TA con 1 attivazione, l'analisi statistica effettuata non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra un gruppo e l'altro. Poniamo qui di seguito il grafico a barre che riporta l'andamento delle frequenze di reclutamento in percentuale per il muscolo TA con 1 attivazione in funzione dei vari gruppi.

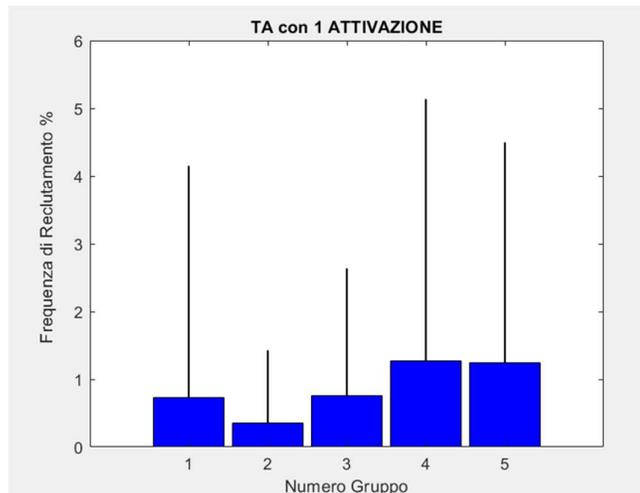


Figura 90. Frequenze di reclutamento in % del TA con 1 attivazione, in funzione del numero di Gruppo

5.6.25 Frequenze di reclutamento del TA con 2 attivazioni

Comparando frequenze di reclutamento relative al muscolo TA con 2 attivazioni non sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra un gruppo e l'altro. L'andamento generale all'aumentare dei gruppi non è coerente: presenta piccole oscillazioni nelle distribuzioni. Qui sotto inseriamo il grafico a barre con le frequenze di reclutamento in percentuale per il TA con 2 attivazioni in funzione dei vari gruppi.

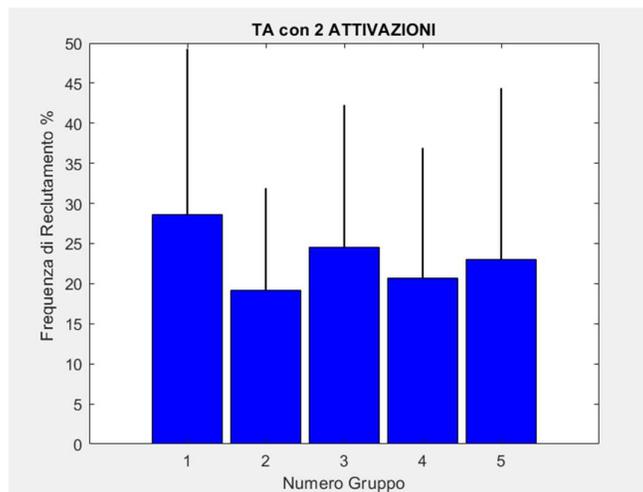


Figura 91. Frequenze di reclutamento in % del TA con 2 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.26 Frequenze di reclutamento del TA con 3 attivazioni

Con le frequenze di reclutamento del muscolo TA con la modalità a 3 attivazioni, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze tra i gruppi. Anzi, le distribuzioni si presentano estremamente simili l'una con l'altra. Sotto inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, espresse in funzione del numero del gruppo.

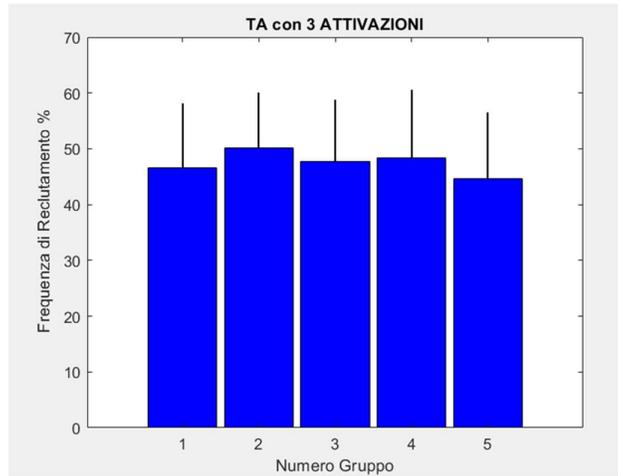


Figura 92. Frequenze di reclutamento in % del TA con 3 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.27 Frequenze di reclutamento del TA con 4 attivazioni

Comparando le frequenze di reclutamento del muscolo TA con la modalità a 4 attivazioni, l'analisi statistica non ha, di nuovo, evidenziato differenze tra i vari gruppi. Anche in questo caso le distribuzioni si presentano molto simili tra di esse. Il primo gruppo rimane comunque quello con distribuzione delle frequenze più bassa (distribuzione abbastanza diversa da quella del gruppo 2 e 5 che sono più grandi, ma non tanto da evidenziare una significatività). Sotto inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo TA con 4 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

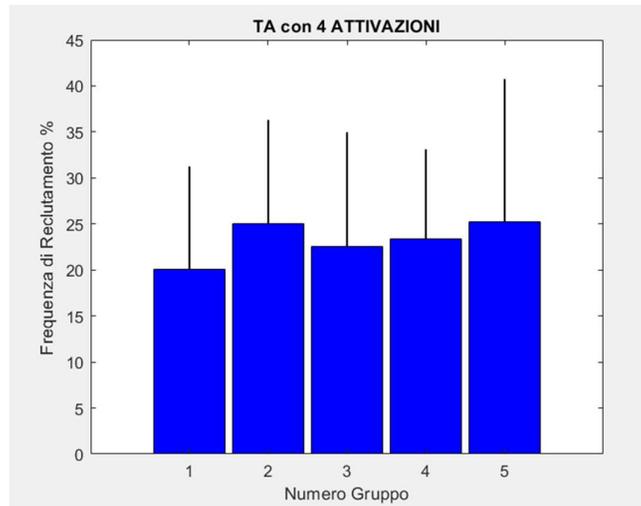


Figura 93. Frequenze di reclutamento in % del TA con 4 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.28 Frequenze di reclutamento del TA con 5 attivazioni

Comparando poi le frequenze di reclutamento del muscolo TA con la modalità a 5 attivazioni, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze tra i vari gruppi. L'andamento delle frequenze non presenta un trend. Di seguito inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo TA con 5 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

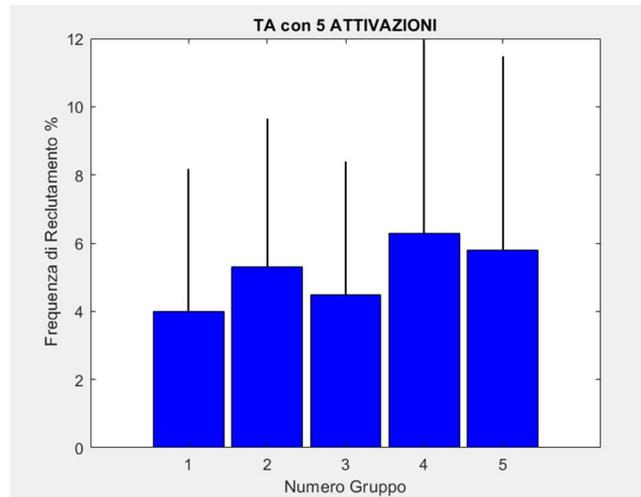


Figura 94. Frequenze di reclutamento in % del TA con 5 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.29 Frequenze di reclutamento del VM con 1 attivazione

I confronti delle varie frequenze di reclutamento per il muscolo VM, con la modalità ad 1 sola attivazione ha prodotto i seguenti risultati:

- Gruppo 1: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 2: statisticamente diverso solo dal gruppo 5
- Gruppo 3: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 4: nessuna differenza statisticamente rilevante con gli altri gruppi
- Gruppo 5: statisticamente diverso solo dal gruppo 2

Anche qui si potrebbe ipotizzare un andamento crescente, data la differenza che si trova in particolare tra gruppo 2 e 5. Questa ipotesi però non è accertata, ed infatti l'andamento non è del tutto chiaro, dato che non c'è un percorso unidirezionale e continuo (in particolare il gruppo 1 è sovrapposto al 5 per più della metà delle distribuzioni comparate). Il gruppo 1 presenta valori molto simili a quelli dei gruppi 3 e 4. Qui sotto inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo VM con 1 attivazione, espresse in funzione del numero del gruppo.

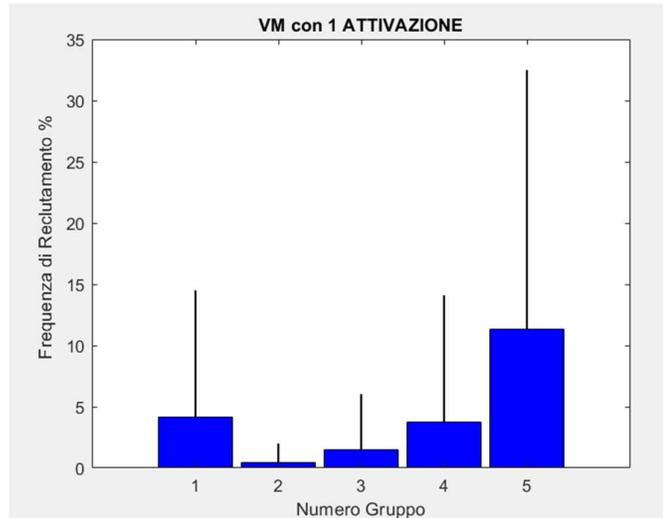


Figura 95. Frequenze di reclutamento in % del VM con 1 attivazione, in funzione del numero di Gruppo

5.6.30 Frequenze di reclutamento del VM con 2 attivazioni

Comparando le frequenze di reclutamento del muscolo VM con la modalità a 2 attivazioni, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze statisticamente rilevanti tra i vari gruppi. Di seguito inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo VM con 2 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

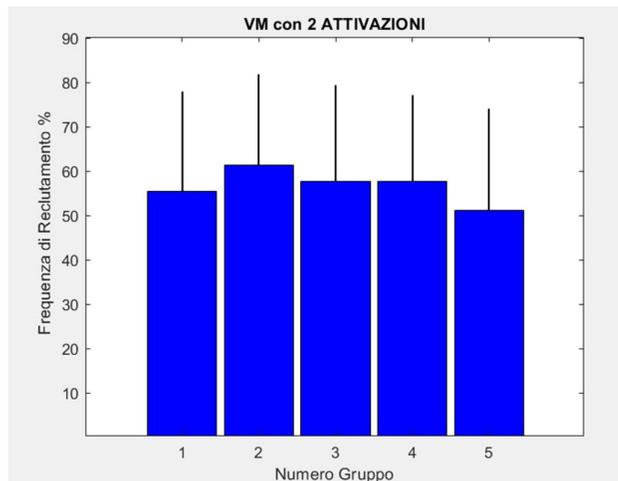


Figura 96. Frequenze di reclutamento in % del VM con 2 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.31 Frequenze di reclutamento del VM con 3 attivazioni

Comparando le frequenze di reclutamento del muscolo VM con la modalità a 3 attivazioni, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze rilevanti tra i vari gruppi. I range delle varie frequenze di reclutamento relative ai diversi gruppi sono molto simili tra loro. Di seguito inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo VM con le 3 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

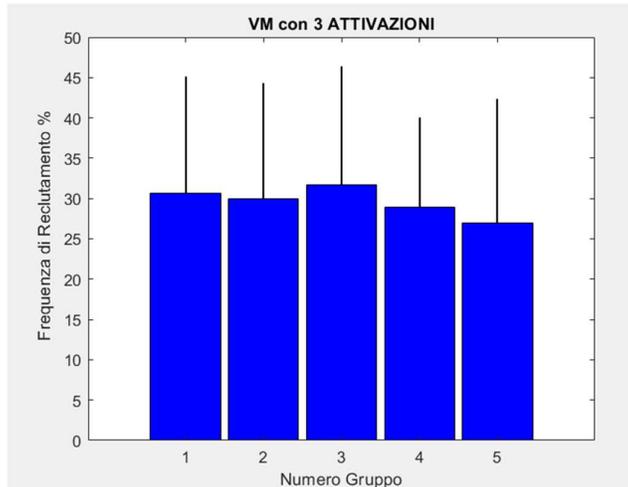


Figura 97. Frequenze di reclutamento in % del VM con 3 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.32 Frequenze di reclutamento del VM con 4 attivazioni

Comparando le frequenze di reclutamento del muscolo VM con la modalità a 4 attivazioni, l'analisi statistica non ha evidenziato differenze rilevanti tra i vari gruppi. I range delle varie frequenze di reclutamento relative ai diversi gruppi sono estremamente simili tra loro. Di seguito inseriamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo VM con le 4 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

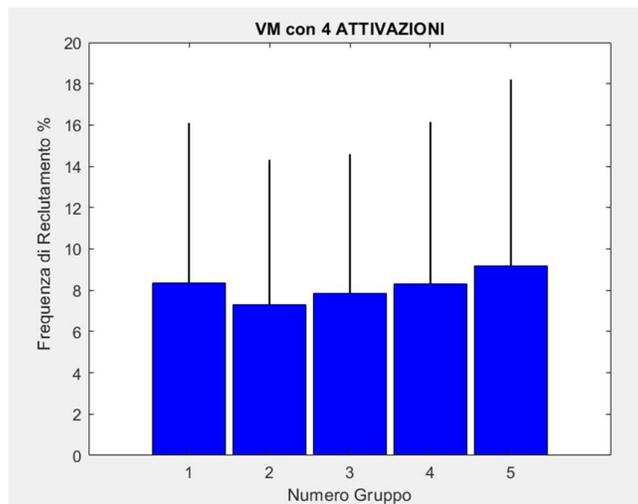


Figura 98. Frequenze di reclutamento in % del VM con 4 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.33 Frequenze di reclutamento del VM con 5 attivazioni

Neanche l'analisi statistica comparativa effettuata per le distribuzioni delle frequenze di reclutamento per il muscolo VM con 5 attivazioni ha prodotto risultati rilevanti. Guardando le distribuzioni dei 3 gruppi centrali si potrebbe pensare ad una leggera crescita delle frequenze insieme all'età, andamento che sembra smentito dai 2 gruppi agli estremi che invece presentano

distribuzioni estremamente simili tra di loro (in realtà estremamente simili anche a quella del gruppo 4). Qui sotto poniamo il grafico a barre delle frequenze di reclutamento in percentuale, del muscolo VM con le 5 attivazioni, espresse in funzione del numero del gruppo.

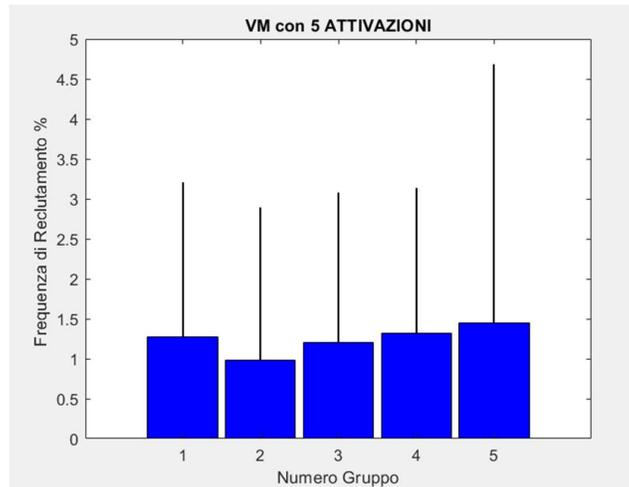


Figura 99. Frequenze di reclutamento in % del VM con 5 attivazioni, in funzione del numero di Gruppo

5.6.34 Durata fase H

Effettuando la comparazione tra le durate della fase H in %GC, al variare del numero di gruppo, si è trovato che:

- Gruppo 1: statisticamente diverso da 3,4 e 5 ma simile al 2
- Gruppo 2: nessuna differenza con ognuno degli altri gruppi
- Gruppo 3: statisticamente diverso dal gruppo 1, ma simile ad ognuno degli altri
- Gruppo 4: statisticamente diverso da gruppo 1, simile ad ognuno degli altri
- Gruppo 5: statisticamente diverso da gruppo 1, simile ad ognuno degli altri

Si può individuare un trend in decrescita: i valori sembrano diminuire in media man mano che l'età dei soggetti aumenta. In particolare si ha una decrescita regolare di gruppo in gruppo fino al 4, mentre il 5 presenta valori molto simili al gruppo 4 (comunque più bassi di quelli dei primi 3 gruppi).

5.6.35 Durata fase F

Effettuando la comparazione statistica anche tra le durate della fase F, in %GC, al variare del numero di gruppo, si è trovato che:

- Gruppo 1: statisticamente diverso da 2,4 e 5 ma simile al gruppo 3
- Gruppo 2: statisticamente diverso da 1, simile ad ognuno degli altri
- Gruppo 3: statisticamente simile ad ogni altro gruppo
- Gruppo 4: statisticamente diverso da 1, simile agli altri
- Gruppo 5: statisticamente diverso da 1, simile agli altri

Sembrerebbe esserci una crescita nei valori appartenenti alle distribuzioni qui analizzate: in particolare i valori del Gruppo 1 sembrerebbero mediamente quelli più bassi. I valori appartenenti agli altri gruppi sembrano avere invece distribuzioni ben distaccate da quelle del primo gruppo (a parte per il terzo che ha valori un po' più bassi) e con valori più alti (rispetto in generale a quelli del Gruppo 1).

5.6.36 Durata fase P

L'analisi statistica comparativa effettuata per le durate della fase P in %GC ed in funzione del numero di gruppo, non ha prodotto differenze statisticamente rilevanti.

5.6.37 Durata fase S

Neanche l'analisi statistica comparativa effettuata per le durate della fase S in %GC ed in funzione del numero di gruppo, non ha prodotto differenze statisticamente rilevanti.

6 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il presente lavoro, condotto con il metodo della Statistical Gait Analysis, si inserisce nell'importante percorso dello studio del cammino mediante elettromiografia di superficie, alla ricerca della conoscenza dei dati significativi e caratteristici del cammino di soggetti sani. Più in particolare ci siamo concentrati sullo studio della maturità del cammino, condotto su bambini in età scolare, per il quale sono stati analizzati mediante stratificazione ed elaborazione statistica i segnali EMG conseguenti all'attivazione muscolare dei cinque principali muscoli reclutanti durante il cammino (Bicipite Femorale, Gastrocnemio Laterale, Retto Femorale, Tibiale Anteriore e Vasto Mediale) e altri parametri spazio-temporali (cadenze, durata ciclo del passo, durata del singolo e doppio supporto, modalità d'appoggio HFPS e PFPS, durate delle fasi H, P, F, S). I risultati sono da intendersi significativi in quanto la popolazione di studio era composta da un numero importante di soggetti (100 bambini) ed i segnali acquisiti su un numero molto elevato di passi (valore medio 82 passi, deviazione standard 16), per ciascun bambino considerato. La popolazione è stata classificata in 5 gruppi (di 20 bambini ciascuno) crescenti per intervalli di età. Il lavoro ha compreso l'analisi statistica comparativa con la finalità di identificare differenze e/o evoluzioni dei parametri con il crescere dell'età dei bambini, presentiamo qui a seguire le considerazioni significative rilevate:

- Età: i bambini, organizzati in 5 gruppi ad età crescenti, mostrano un andamento delle distribuzioni che risultano crescere in modo abbastanza omogeneo. Gruppi tra loro contigui, però, mostrano somiglianza statistica.

- Altezza: Le altezze sono crescenti per età e quindi per gruppo; crescono in modo omogeneo, a parte per l'ultimo gruppo i cui valori rimangono estremamente simili a quelli del gruppo 4.
- Peso: crescente con l'età; emergono anche qui similitudini, specie fra gruppi adiacenti: i primi due gruppi sono molto simili tra loro, gli ultimi 2 gruppi (con valori statisticamente più alti) sono lo stesso molto simili tra loro. Il Gruppo 3 presenta valori intermedi.
- Cadenze: i cicli del passo al minuto tendono a diminuire con l'età del bambino, in modo graduale;
- Durata del ciclo del passo: tende ad aumentare all'aumentare dell'età del bambino; nei primi tre gruppi si rilevano valori mediamente più bassi, gli ultimi due presentano valori medi significativamente più elevati;
- Durate fase singolo supporto: si individua un andamento crescente in funzione dell'età (anche se come contenuto il gruppo 5 è statisticamente molto simile al gruppo 3, comunque questi ultimi gruppi presentano mediamente valori più elevati rispetto a quelli nei primi gruppi).
- Modalità di appoggio HFPS e modalità di appoggio PFPS: non sembrano subire variazioni con l'aumentare dell'età dei soggetti.
- Durata media fase H: si individua una decrescita all'aumentare del numero del gruppo.
- Durata media fase F: si individua una crescita all'aumentare del numero di gruppo.
- Durata media fase P e Durata media fase S: non sono risultate differenze rilevanti tra i vari gruppi.

Per quello che concerne le frequenze di reclutamento dei cinque principali muscoli reclutanti durante il cammino, lo studio, per le attivazioni da 1 a 5 ha mostrato i seguenti risultati:

1. Risultato positivo: l'elaborazione statistica con Matlab, ha dimostrato differenze statistiche significative nei gruppi con la seguente articolazione:
 - a. Muscolo Gastrocnemio Laterale (GL) con due attivazioni, rilevate differenze solo fra i gruppi 2 e 4 che dimostrano crescita al crescere dell'età;
 - b. Muscolo Retto Femorale (RF), per i casi di 1 attivazione la frequenza di reclutamento cresce con l'età del soggetto;
 - c. Muscolo Retto Femorale (RF) per 3 attivazioni la frequenza di reclutamento invece decresce con l'età;
 - d. Muscolo Retto Femorale (RF) per 4 attivazioni la frequenza di reclutamento di nuovo decresce con l'età;

- e. Muscolo Vasto Mediale (VM), per 1 attivazione è emersa differenza statistica significativa fra gruppo 2 e gruppo 5, cosa che confermerebbe un andamento crescente con l'età, anche se dall'altra parte si avrebbe il fatto che il gruppo 1 è simile ai gruppi 3 e 4.
2. Risultato negativo ma con valori di "frontiera": sono casi nei quali la differenza statistica non è stata trovata ma per molto poco, per cui è plausibile ipotizzare andamenti:
 - a. Muscolo Bicipite Femorale (BF) per 1 attivazione, tendenza a crescere con l'età
 - b. Muscolo Retto Femorale (RF) per 2 attivazioni, probabile crescita lenta dei valori con l'età;
 3. Risultato negativo: in tutti gli altri casi l'analisi statistica non dimostra differenze significative di frequenze di reclutamento fra i gruppi, la qual cosa potrebbe essere legata al fatto che le differenze significative per i parametri fisici degli individui assegnati (età, altezza e peso in particolare) ai vari gruppi, specie per quelli contigui, sono piuttosto ridotte ed anche il range di valori stesso è troppo ridotto.

In conclusione, sulla base degli esiti delle analisi condotte, possiamo confermare che per il muscolo Retto Femorale, i dati dimostrano che in età scolare emergono casi di variazione dell'attività muscolare (per 1, 3 e 4 attivazioni e forse anche per 2) con il crescere dell'età, a conferma che il cammino continui ad evolversi anche dopo i 6 anni, sebbene con un ritmo tutto da valutare. Inoltre sembrano esserci cambiamenti, anche se presenti in quantità minore, anche nei muscoli Gastrocnemio Laterale (2 attivazioni) e Vasto mediale (1 attivazione). Pur confermando la significatività dell'analisi svolta, riteniamo che sia per i casi nei quali non si riscontrata per nulla la variazione con l'età, che per quelli che per cui si è riscontrata in maniera incerta, si potrebbe auspicare a compiere, come possibile spunto di miglioramento, ulteriori step di indagine su una diversa organizzazione dei gruppi. Si potrebbe provare, ad esempio, a classificare i bambini in modo da aumentare le differenze presenti nei vari gruppi di età, ma anche di caratteristiche fisiche (peso, altezza), anche riducendo il numero dei gruppi da analizzare (anche tra 2 soli gruppi). Sarebbe infine interessante aumentare il range totale di età a disposizione, per poter effettuare gli stessi confronti ed avere valutazioni molto più rappresentative della maturazione completa dell'individuo.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. 1992.
- [2] Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement, 2nd ed., New York: Wiley; 1990.
- [3] Blanc Y, Balmer C, Landis T, Vingerhoets F. Temporal parameters and patterns of the foot roll over during walking: normative data for healthy adults. *Gait Posture* 1999.
- [4] Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part II-Kinematics. *Gait Posture* 2002.
- [5] Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part III-Kinetics and energy assessment. *Gait posture* 2005.
- [6] Hillman, Susan J., et al. "Development of temporal and distance parameters of gait in normal children." *Gait & Posture* 29.1 (2009): 81-85.
- [7] Sutherland, David H., et al. "The development of mature gait." *J Bone Joint Surg Am* 62.3 (1980): 336-353.
- [8] Chang, Wei-Ning, et al. "Kinesiological surface electromyography in normal children: range of normal activity and pattern analysis." *Journal of Electromyography and Kinesiology* 17.4 (2007): 437-445.
- [9] Schwartz, Michael H., Adam Rozumalski, and Joyce P. Trost. "The effect of walking speed on the gait of typically developing children." *Journal of biomechanics* 41.8 (2008): 1639-1650.
- [10] Shiavi, Richard G., et al. "Normative childhood EMG gait patterns." *Journal of orthopaedic research* 5.2 (1987): 283-295.
- [11] Dusing, Stacey C., and Deborah E. Thorpe. "A normative sample of temporal and spatial gait parameters in children using the GAITRite® electronic walkway." *Gait & posture* 25.1 (2007): 135-139.
- [12] Agostini, Valentina, et al. "Normative EMG activation patterns of school-age children during gait." *Gait & posture* 32.3 (2010): 285-289.
- [13] Di Nardo F, Laureati G, Strazza A, Mengarelli A, Burattini L, Agostini V, Nascimbeni A, Knaflitz M, Fioretti S. Is child walking conditioned by gender? Surface EMG patterns in female and male children. *Gait Posture*. 2017 Mar;53:254-259
- [14] Kennet S. Saladin. Human Anatomy, Third Edition (2011)
- [15] Principles of Human Physiology, Fifth Edition Cindy L. Stanfield, University of South Alabama
- [16] https://it.wikipedia.org/wiki/Piano_frontale#/media/File:Human_anatomy_planes-it.svg

- [17] Bonato, P.; D'Allessio, T.; Knaflitz, M. A statistical method for the measurement of muscle activation intervals from surface myoelectric signal during gait. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1998, 45, 287–299
- [18] Agostini, V.; Knaflitz, M. An algorithm for the estimation of the signal-to-noise ratio in surface myoelectric signals generated during cyclic movements. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2012, 59, 219–225.
- [19] Agostini, V.; Balestra, G.; Knaflitz, M. Segmentation and classification of gait cycles. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2014, 22, 946–952.
- [20] Agostini, V.; Balestra, G.; Knaflitz, M. Segmentation and classification of gait cycles. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2014, 22, 946–952.
- [21] Di Nardo, F.; Mengarelli, A.; Ghetti, G.; Fioretti, S. Statistical analysis of EMG signal acquired from tibialis anterior during gait. In *IFMBE Proceedings*; Springer: Berlin, Germany, 2014; Volume 41, pp. 619–622.
- [22] Di Nardo, F.; Mengarelli, A.; Strazza, A.; Agostini, V.; Knaflitz, M.; Burattini, L.; Fioretti, S. A new parameter for quantifying the variability of surface electromyographic signals during gait: The occurrence frequency. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2017, 36, 25–33