UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Biomedica

Correlazione tra genere e età nelle sinergie dei muscoli della caviglia

Correlation between age and gender in ankle-muscle synergies

Relatore:

Prof. **Di Nardo Francesco**

Correlatore:

Prof. **Fioretti Sandro**

Tesi di Laurea di:

Ambrosi Francesco

A.A. **2019** / **2020**

Indice

INDICE I

1 INTRODUZIONE 1

2 LA CONTRAZIONE E LA CO-CONTRAZIONE MUSCOLARE 4

2.1 Struttura del muscolo 4

2.2 Contrazione muscolare 7

2.3 Co-Contrazione muscolare 8

3 GAIT ANALYSIS (ANALISI DEL PASSO) 9

3.1 Suddivisione in base alla variazione del contatto reciproco dei due piedi con il suolo 10

3.2 Misurazione degli intervalli di tempo nel ciclo del passo 11

3.3 Significato funzionale delle fasi del cammino 12

3.3.1 Primo compito: Accettazione del peso (*Weight acceptance*) 12

3.3.1.1 Fase 1: Contatto iniziale (Initial Contact) 12

3.3.1.2 Fase 2: Risposta al carico (Loading Response) 13

3.3.2 Secondo compito: Supporto singolo (*Single Limb Support*) 14

3.3.2.1 Fase 3: Appoggio intermedio (Mid Stance) 14

3.3.2.2 Fase 4: Appoggio terminale (Terminal Stance) 15

3.3.3 Terzo compito: Avanzamento dell'arto (*Limb Advancement*) 16

3.3.3.1 Fase 5: Pre-oscillazione (Pre-Swing) 16

3.3.3.2 Fase 6: Oscillazione iniziale (Initial Swing) 17

3.3.3.3 Fase 7: Oscillazione intermedia (Mid Swing) 17

3.3.3.4 Fase 8: Oscillazione terminale (Terminal Swing) 18

3.4 Funzioni della caviglia durante il cammino 19

3.4.1 Contatto iniziale (*Initial Contact*) 19

3.4.2 Risposta al carico (*Loading Response*) 20

3.4.3 Appoggio intermedio (*Mid Stance*) 21

3.4.4 Appoggio terminale (*Terminal Stance*) 21
3.4.5 Pre-oscillazione (*Pre-Swing*) 23
3.4.6 Oscillazione iniziale (*Initial Swing*) 24
3.4.7 Oscillazione intermedia (*Mid Swing*) 24
3.4.8 Oscillazione Terminale (*Terminal Swing*) 25

4 MATERIALE E METODI 26

4.1 Soggetti 26

4.2 Acquisizione del segnale EMG 27

4.3 Elaborazione del segnale 31

4.4 Statistical Gait Analysis (SGA) 32

4.5 Calcolo delle co-contrazioni 33

4.6 Analisi statistica 34

5 RISULTATI 35

5.1 Frequenza di reclutamento delle modalità di attivazione dei muscoli GL e TA 35

5.2 Dati on/off delle attivazioni del GL 36

5.3 Dati on/off delle attivazioni del TA 42
5.3.1 Gruppo Adulti - Maschi 42
5.3.2 Gruppo Adulti – Femmine 45
5.3.3 Gruppo Bambini - Maschi 48
5.3.4 Gruppo Bambini - Femmine 51

5.4 Frequenze Di Reclutamento GL-TA 54
5.4.1 Gruppo Adulti 54
5.4.2 Gruppo Bambini 55
5.4.3 Frequenza di Reclutamento GL 57

5.5 Co-contrazione 59
5.5.1 Confronto Adulti - Bambini 61
5.5.2 Confronto Maschi - Femmine 63

5.5.3 Effetto concomitante di genere e età 65
5.5.3.1 Confronto gruppi BM - AM 65
5.5.3.2 Confronto gruppi BF - AF 66
5.5.3.3 Confronto gruppi AM - AF 66
5.5.3.4 Confronto gruppi BM - BF 67

6 DISCUSSIONE RISULTATI 68

6.1 Confronto frequenze di reclutamento del GL 68

6.2 Classificazione delle co-contrazioni e relative funzioni motorie 69

6.3 Confronto frequenze di reclutamento delle co-contrazioni 71
6.3.1 Prima tipologia: *Early Stance* 71
6.3.2 Seconda tipologia: *Mid Stance* 72
6.3.3 Terza tipologia: *Pre Swing* 73
6.3.4 Quarta tipologia: *Swing* 74

7 CONCLUSIONE 76

8 BIBLIOGRAFIA 77

1 Introduzione

La caviglia è un'articolazione del corpo umano situata tra la gamba ed il piede e permette al piede di effettuare due movimenti: la **flessione dorsale** (o **dorsiflessione**) e la **flessione plantare** (o **plantarflessione**) (Figura 1.1).

La **flessione dorsale** è il movimento verso l'alto che avvicina il piede alla tibia (ad esempio quando si cammina sui talloni). La **flessione plantare** è il movimento opposto al precedente, ovvero verso il basso, che allontana il piede dalla tibia (ad esempio quando si cammina sulle punte).

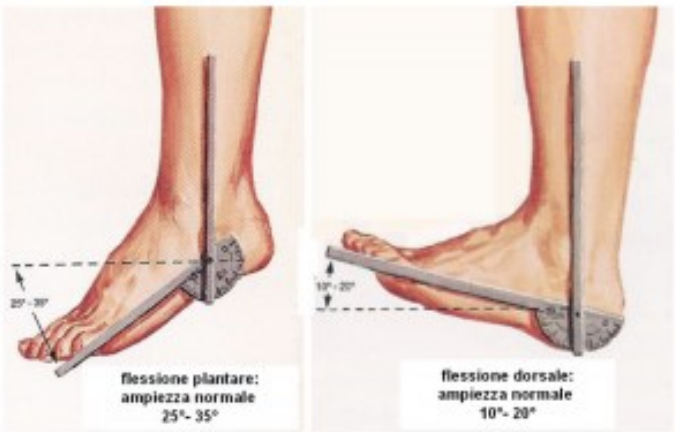


Figura 1.1 *Movimenti di flessione plantare (a sinistra) e flessione dorsale (a destra).*

In aggiunta, la caviglia gode di una certa mobilità che le permette di effettuare delle rotazioni lungo l'asse longitudinale del piede, che consistono nella **inversione** (o **supinazione**) (Figura 1.2) e nella **eversione** (o **pronazione**) (Figura 1.3) del piede.

L'inversione è la rotazione della caviglia in modo tale che la superficie plantare del piede guardi medialmente (verso il piede opposto), mentre l'eversione consiste nella rotazione della caviglia in modo tale che la superficie plantare guardi lateralmente (movimento opposto all'inversione).

Figura 1.2 *Inversione (o supinazione) del piede.*

Figura 1.3 *Eversione (o pronazione) del piede.*

La flessione dorsale è realizzata principalmente da tre muscoli: il Tibiale Anteriore, l'Estensore Lungo delle Dita e l'Estensore Lungo dell'Alluce. Tra questi il Tibiale Anteriore è il muscolo con la sezione trasversale più larga [1].

Per quanto riguarda la flessione plantare, ci sono sette muscoli in grado di svolgere questa funzione: il Soleo, il Gastrocnemio (che insieme formano il Tricipite della sura), il Tibiale Posteriore, il Flessore Lungo delle Dita, il Flessore Lungo dell'Alluce, il Peroneo Lungo e il Peroneo Breve. Di questi sette, il Soleo e il Gastrocnemio sono quelli che forniscono un maggior momento meccanico per la flessione plantare del piede.

In questo studio andrò a considerare il **Tibiale Anteriore** (Figura 1.4) come attuatore della flessione dorsale e della supinazione del piede, e il **Gastrocnemio Laterale** (Figura 1.5) come attuatore della flessione plantare. Nello specifico andrò ad analizzare la contrazione simultanea (co-contrazione) di questi due muscoli mettendo in evidenza le differenze relative al genere e all'età, analizzando i dati provenienti da un gruppo di soggetti sani composto da adulti e bambini equamente divisi tra maschi e femmine.

Figura 1.4 *Muscolo Tibiale Anteriore.*

Figura 1.5 *Muscolo Gastrocnemio Laterale.*

Allo stato attuale, la letteratura presenta uno studio preliminare che analizza l'effetto di età e genere sia sulle attività puramente antagonistiche che su quelle sinergiche dei muscoli della gamba durante il cammino [2]. Anche in altri articoli sono state studiate le co-contrazioni sugli adulti e sui bambini [3] [4]. Differenze di genere sono state documentate negli adulti [5], mentre nei bambini sono state riportate differenze di genere relative alle tempistiche delle attivazioni muscolari [6], che suggeriscono possibili differenze anche nelle co-contrazioni; differenze di età sono state documentate in [7] [8].

L'obiettivo di questo studio è, quindi, quello di confermare e unire i risultati ottenuti negli articoli citati riguardanti le differenze di genere e di età, individuare nuovi aspetti per comprendere l'evoluzione del cammino durante l'adolescenza e fornire un quadro più ampio nella valutazione delle co-contrazioni differenziando i risultati ottenuti in base al sottogruppo di riferimento: adulti_maschi, adulti_femmine, bambini_maschi, bambini_femmine, in modo da creare un database più variegato e specifico da poter confrontare con soggetti che presentano problemi di deambulazione.

2 La contrazione e la co-contrazione muscolare

2.1 Struttura del muscolo

Il muscolo è un organo del corpo umano principalmente composto da tessuto muscolare, ovvero un tessuto con capacità contrattile, cioè in grado di ridurre la propria lunghezza. Si hanno tre tipi di tessuto muscolare: il tessuto muscolare striato scheletrico, il tessuto muscolare liscio e il tessuto muscolare cardiaco.

La principale differenza è che il primo tessuto è governato dalla volontà, mentre gli altri due ne sono indipendenti. Il primo tipo lo troviamo nei muscoli deputati al movimento delle ossa, il secondo nei muscoli dei visceri (come ad esempio i muscoli dello stomaco, dell'intestino, ecc.), mentre il terzo tipo è quello cardiaco, anch'esso striato come quello scheletrico, ma indipendente dalla volontà. Ai fini dello studio prenderò in considerazione il primo tipo: **il tessuto muscolare striato scheletrico** (Figura 2.1).

Il tessuto muscolare striato scheletrico è responsabile delle attività motorie volontarie, quindi anche del cammino, ed è costituito da cellule chiamate fibre muscolari: elementi allungati, disposti longitudinalmente all'asse del muscolo e raccolti a fascette.

La fibra muscolare presenta nel suo citoplasma formazioni allungate, disposte longitudinalmente all'asse della fibra e quindi anche a quello del muscolo, dette miofibrille; esse sono le responsabili della striatura della fibra muscolare.

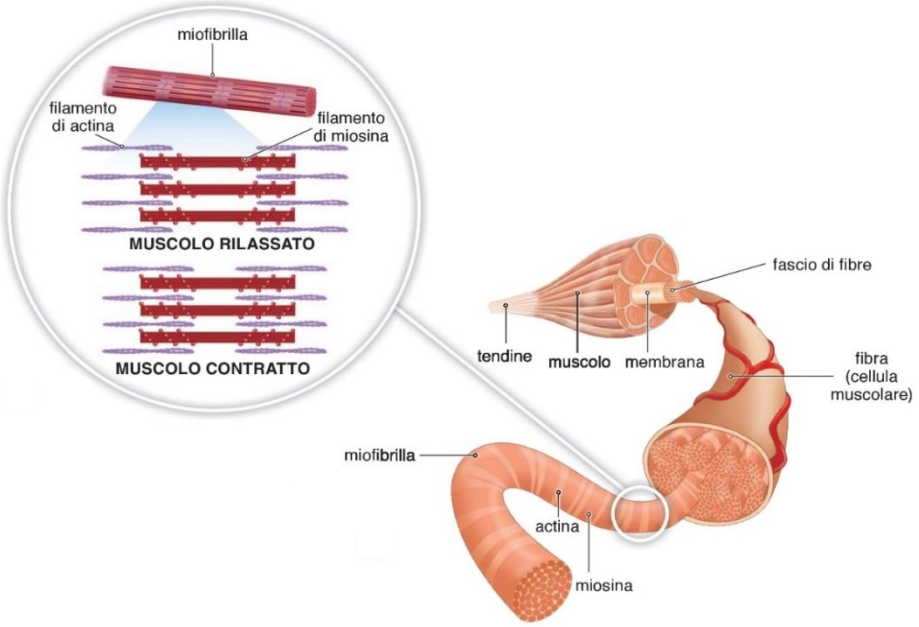


Figura 2.1 *Rappresentazione degli elementi costitutivi del tessuto muscolare striato scheletrico.*

Consideriamo la miofibrilla: presenta delle bande scure (dette bande A) e delle bande chiare (dette bande I); nel mezzo di quest'ultima c'è una linea scura (detta linea Z). Lo spazio tra una linea Z e l'altra è chiamato **Sarcomero** (Figura 2.2), che rappresenta l'elemento contrattile e la più piccola unità funzionale del muscolo. La fibra si accorcia poiché si accorciano i suoi sarcomeri (Figura 2.3).

La miofibrilla è composta da filamenti, alcuni grossi detti filamenti di miosina, altri sottili detti filamenti di actina. Quelli grossi formano la banda A e si incastrano con quelli sottili che invece formano la banda I.

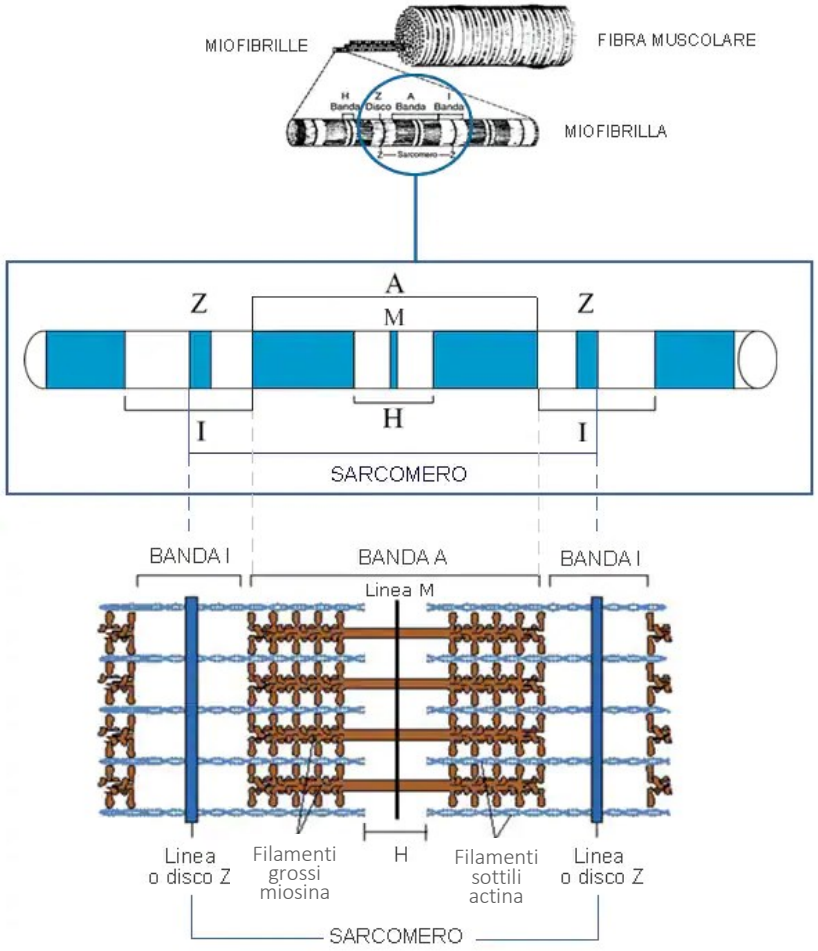


Figura 2.2 *Struttura interna del sarcomero.*

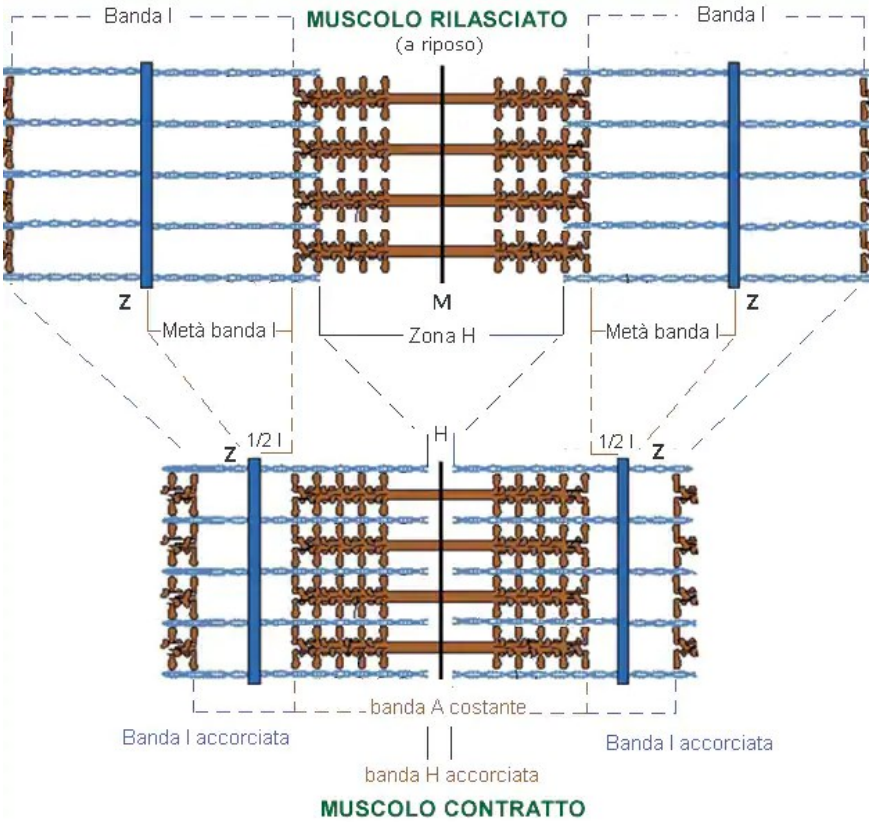


Figura 2.3 *Rappresentazione del sarcomero in situazione di riposo e durante la contrazione.*

2.2 Contrazione muscolare

Nella contrazione i filamenti di actina (quelli sottili) scorrono tra i filamenti di miosina (quelli grossi), in modo che le bande I diminuiscono di lunghezza. In questo modo si accorcia anche il sarcomero, cioè la distanza tra una banda Z e l'altra: quindi la contrazione avviene non perché si sono accorciati i filamenti, ma perché essi scorrendo hanno fatto diminuire la lunghezza del sarcomero (Figura 2.3). Questo provoca la diminuzione della lunghezza delle miofibrille, di conseguenza le fibre si accorciano provocando la contrazione del muscolo.

Affinché un muscolo possa contrarsi occorre che ad esso arrivi uno stimolo elettrico: tale stimolo giunge dal sistema nervoso. Per realizzare una contrazione muscolare volontaria, il cervello genera un impulso elettrico che viaggia dal sistema nervoso centrale a quello periferico, per arrivare alla **placca motrice** (Figura 2.4). Qui l'impulso elettrico entra nel muscolo e innesca la reazione actina/miosina che permette la contrazione muscolare. La **placca motrice** (o sinapsi neuromuscolare) è la zona di contatto tra fibra nervosa e fibra muscolare, attraverso la quale l'impulso passa da un tipo cellulare all'altro (da nervoso a muscolare).

L'acquisizione di un segnale EMG (elettromiografico) avviene rilevando lo stimolo elettrico che passa attraverso il motoneurone. Se il neurone viene eccitato allora il muscolo verrà contratto.

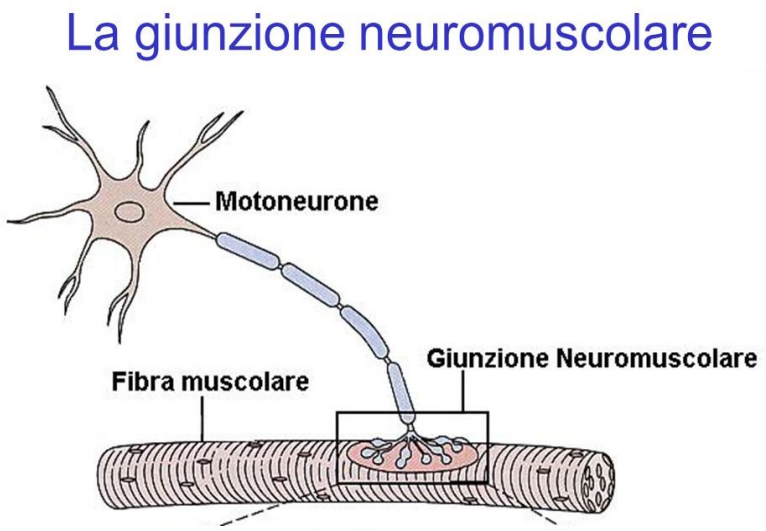


Figura 2.4 *Rappresentazione della placca motrice o giunzione/sinapsi neuromuscolare.*

2.3 Co-Contrazione muscolare

La **co-contrazione muscolare** è la contrazione simultanea di **muscoli agonisti** e **antagonisti** che attraversano un'articolazione e che agiscono sullo stesso piano anatomico. I **muscoli agonisti** sono coloro che, agendo sull'articolazione, generano il movimento desiderato. I **muscoli antagonisti** invece sono coloro che si oppongono al movimento e sono responsabili del ritorno dell'arto alla posizione iniziale.

Di norma, durante un movimento, il muscolo antagonista è inibito per consentire al muscolo agonista di funzionare fluentemente, ma può verificarsi la co-contrazione dei due muscoli per stabilizzare l'articolazione durante le prestazioni motorie. La co-contrazione serve per aumentare la rigidezza delle articolazioni, la stabilità della postura e la precisione dei movimenti [9].

In questo studio andremo ad analizzare le co-contrazioni nella caviglia tra i muscoli Tibiale Anteriore e Gastrocnemio Laterale, muscoli antagonisti agenti sul piano sagittale, poiché sono state rilevate sia nella camminata normale sia in quella patologica [10].

3 Gait Analysis (Analisi del passo)

Basandomi sugli studi di Jacquelin Perry [1] andrò a descrivere le fasi e le funzioni della biomeccanica del cammino. I suoi studi hanno ricevuto ampia accettazione nella letteratura scientifica, quindi, seguendo la classificazione internazionale, possiamo denominare ogni fase del camino umano.

Nel cammino le gambe ripetono una sequenza di movimenti che portano avanti il corpo, mantenendo un assetto stabile. Ogni sequenza si sviluppa in una serie d'interazioni tra i vari segmenti delle gambe e la massa totale del corpo. Per identificare gli eventi che si verificano bisogna considerare diversi aspetti. Ci sono tre approcci:

- **Suddivisione del ciclo del passo in base alle variazioni del contatto reciproco dei due piedi con il suolo**;
- **Misurazione degli intervalli di tempo nel ciclo del passo**;
- **Individuazione del significato funzionale delle fasi del cammino**.

Durante il cammino, una gamba serve come supporto mentre l'altra avanza in un nuovo punto di appoggio, poi si invertono i ruoli e la gamba che prima era stazionaria diventa mobile e viceversa. Una singola sequenza per un arto è chiamato "**ciclo del passo**" (in inglese ***Gait Cycle*** o *GC*) (Figura 3.1). Il momento del contatto col suolo è facilmente osservabile, quindi è stato scelto come evento iniziale del ciclo del passo. Normalmente le persone iniziano il contatto con il suolo appoggiando il tallone (*heel strike*) ma non tutti hanno questa capacità (ad esempio i soggetti paraplegici).

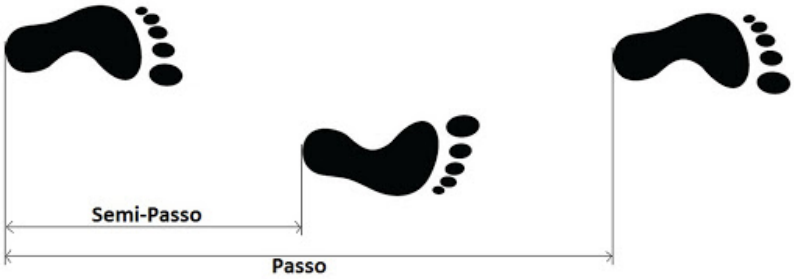


Figura 3.1 *Definizione del termine passo: indica l'intervallo tra due successivi contatti con il suolo (contatto iniziale, vedere paragrafo 3.3.1.1) dello stesso piede. Il semi-passo invece è l'intervallo tra due contatti iniziali di ogni piede.*

3.1 Suddivisione in base alla variazione del contatto reciproco dei due piedi con il suolo

Ogni ciclo del passo è diviso in due periodi: **Appoggio** (o ***Stance***) e **Oscillazione** (o ***Swing***). Con il termine **Appoggio** si indica il periodo durante il quale il piede è a contatto con il suolo; per **Oscillazione** si intende invece il periodo nel quale l'arto inferiore è sollevato dal terreno per permettere l'avanzamento della gamba (Figura 3.2).

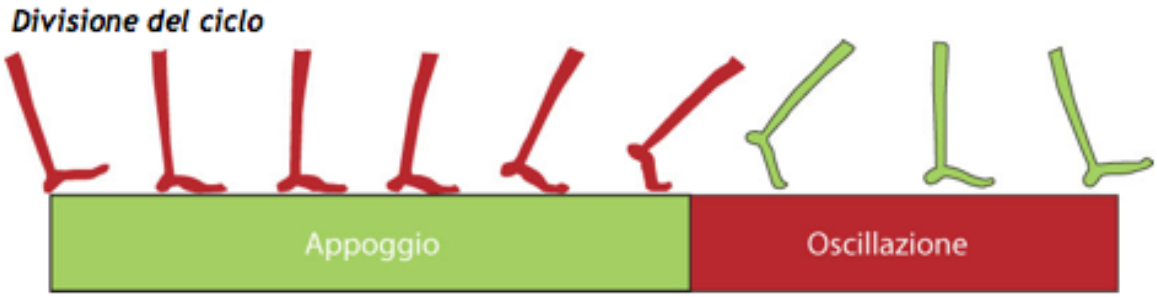


Figura 3.2 *Divisione del ciclo del passo.*

Il periodo d'appoggio inizia con il contatto iniziale con il suolo, mentre il periodo di oscillazione inizia nel momento in cui il piede viene sollevato completamente e non tocca più il terreno. La *stance* è suddivisa in tre intervalli:

- **Doppio appoggio iniziale**: entrambi i piedi toccano il suolo dopo il contatto iniziale; inizia il ciclo del passo.
- **Supporto singolo su una gamba**: inizia quando l'altro piede è sollevato per la fase di *swing*; durante questo periodo l'intero peso del corpo è sostenuto da una sola gamba.
- **Doppio appoggio terminale**: inizia quando l'altro piede riatterra dopo la fase di oscillazione e termina con l'inizio della fase di *swing*.

3.2 Misurazione degli intervalli di tempo nel ciclo del passo

Approssimativamente le tempistiche per il periodo di appoggio e per il periodo di oscillazione sono rispettivamente del 60% e 40%, dove, per quando riguarda la *stance*, si ha un 10% circa per entrambe le fasi di doppio appoggio e un 40% per la fase di supporto ad una sola gamba, che ovviamente deve coincidere con le tempistiche del periodo di *swing* dell'altra gamba. La durata precisa degli intervalli varia in base alla velocità di camminata della persona.

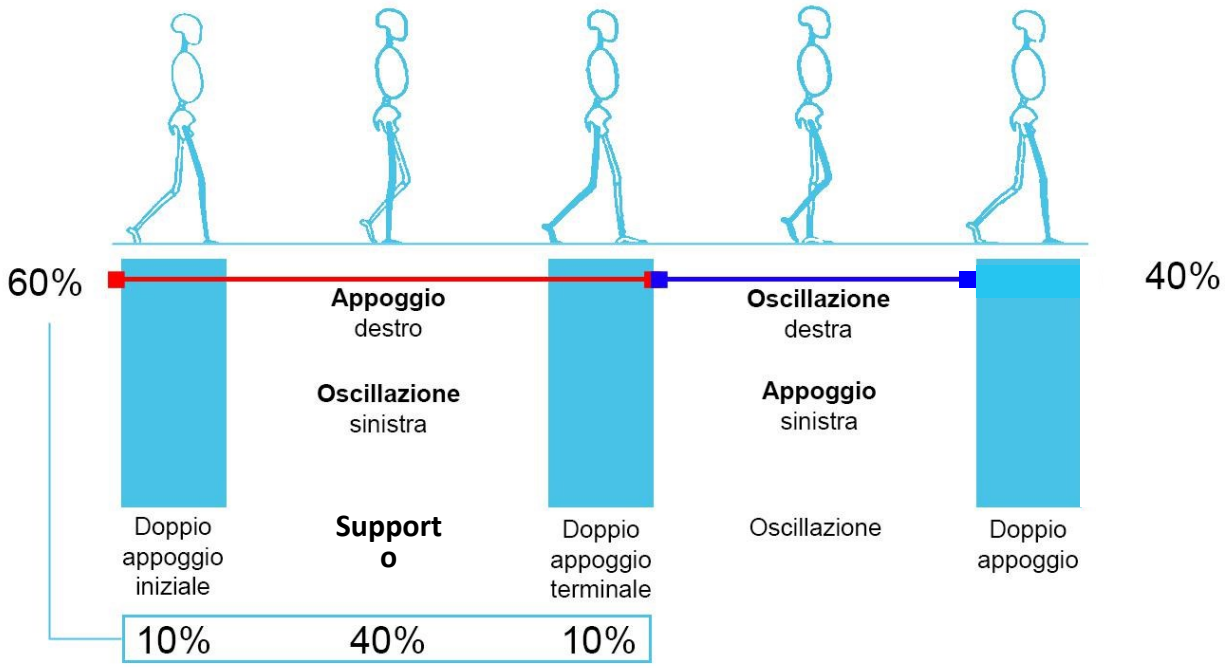


Figura 3.3 *Suddivisione dei periodi stance e swing nel ciclo del passo.*

Caratteristica base della camminata è avere un intervallo nel quale entrambi i piedi toccano il terreno contemporaneamente durante il cambio di ruoli delle gambe (da *stance* a *swing* e viceversa). Se questa caratteristica viene meno si sta correndo.

3.3 Significato funzionale delle fasi del cammino

Il ciclo del passo si divide in otto fasi funzionali. La combinazione di queste otto fasi assolve tre compiti basilari che sono:

- **Accettazione del peso** (***Weight acceptance***);
- **Supporto singolo** (***Single Limb Support***);
- **Avanzamento dell'arto** (***Limb Advancement***).

3.3.1 Primo compito: Accettazione del peso (*Weight acceptance*)

È il compito più impegnativo: è necessario assorbire l'impatto, garantire la stabilità iniziale dell'arto e preservare l'avanzamento del corpo durante il cammino.
La parte più complessa consiste nel brusco trasferimento di peso dall'arto in appoggio a quello in oscillazione. Due fasi sono coinvolte: **Contatto iniziale** (***Initial Contact***) e **Risposta al carico** (***Loading Response***).

3.3.1.1 Fase 1: Contatto iniziale (Initial Contact)

È il momento nel quale il piede tocca il suolo (Figura 3.4). L'obiettivo è quello di posizionare la gamba per iniziare il periodo di *stance* tramite il rotolamento della tibia sul calcagno che fa da fulcro (***heel rocker***) (Figura 3.5).

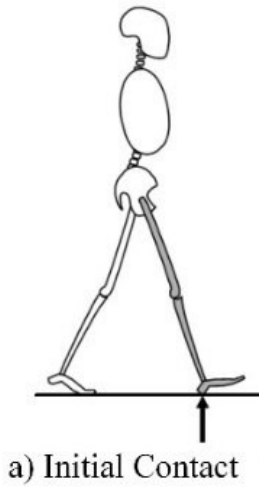


Figura 3.4 *Contatto iniziale. L'altro arto è alla fine dell'appoggio terminale (definito più avanti). La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

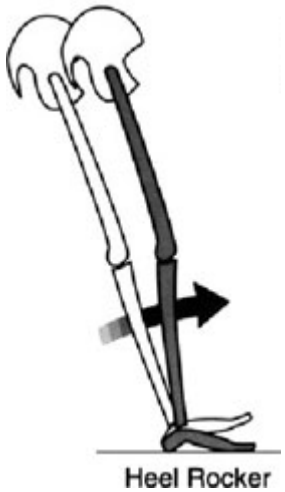
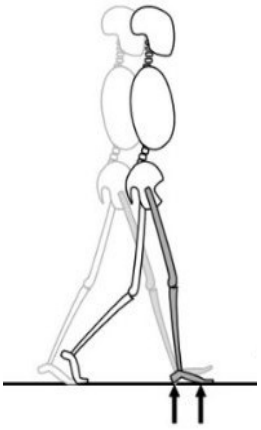


Figura 3.5 *L'avanzamento del corpo (indicato dalla freccia) è assistito dal calcagno che fa da fulcro per la rotazione della tibia.*

3.3.1.2 Fase 2: Risposta al carico (Loading Response)

Qui inizia il doppio appoggio iniziale (Figura 3.6). Questa fase inizia con l'*Initial Contact* e si conclude con il sollevamento dell'altro piede per iniziare l'oscillazione. L'obiettivo è quello di assorbire l'impatto, stabilizzare l'arto e mantenere la progressione del corpo.



b) Loading Response

Figura 3.6 *Risposta al carico. Il peso del corpo è trasferito sull'arto anteriore. L'altro arto è nella fase di pre-oscillazione (definita più avanti). La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.2 Secondo compito: Supporto singolo (*Single Limb Support*)

È il periodo in cui un solo arto ha il compito di sostenere l'intero peso corporeo: inizia quando l'altra gamba si solleva per iniziare la fase di oscillazione e termina quando riatterra. Due fasi sono coinvolte: **Appoggio intermedio** (***Mid Stance***) e **Appoggio terminale** (***Terminal Stance***).

3.3.2.1 Fase 3: Appoggio intermedio (Mid Stance)

Corrisponde alla prima metà del supporto singolo: inizia quando l'altra gamba viene sollevata e continua fino a quando il peso del corpo è allineato con l'avampiede in appoggio (Figura 3.7). L'obiettivo è quello di proseguire oltre il piede stazionario e garantire la stabilità dell'arto e del corpo.

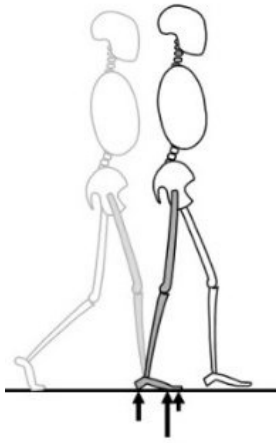
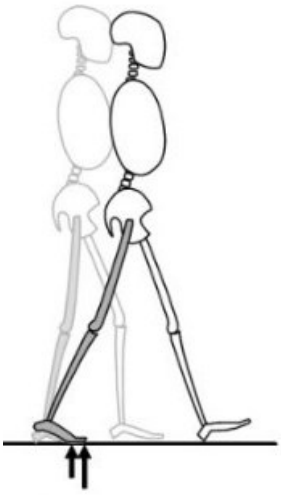


Figura 3.7 *Appoggio intermedio. L'altro arto si trova nella fase di oscillazione intermedia (definita più avanti). La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.2.2 Fase 4: Appoggio terminale (Terminal Stance)

Conclude il supporto singolo: inizia con il sollevamento del tallone e prosegue fino a quando l'altro piede tocca il suolo (Figura 3.8). L'obiettivo consiste nel far avanzare il corpo oltre il piede d'appoggio.



d) Terminal Stance

Figura 3.8 *Appoggio terminale. L'altro arto si trova nella fase di oscillazione terminale (definita più avanti). La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.3 Terzo compito: Avanzamento dell'arto (*Limb Advancement*)

La preparazione per l'avanzamento dell'arto inizia nella fase di appoggio. Successivamente la gamba si solleva, avanza e si prepara per la prossima fase di appoggio.

Quattro fasi sono coinvolte: **Pre-oscillazione** (***Pre-Swing***), **Oscillazione iniziale** (***Initial Swing***), **Oscillazione intermedia** (***Mid Swing***) e **Oscillazione terminale** (***Terminal Swing***).

3.3.3.1 Fase 5: Pre-oscillazione (Pre-Swing)

È la fase finale del doppio appoggio terminale: inizia con il Contatto iniziale dell'altro arto, e termina con il distacco del piede dal suolo (Figura 3.9). L'arto viene scaricato dal peso del corpo ed è pronto per oscillare velocemente. L'obiettivo di questa fase è di posizionare l'arto per l'oscillazione.

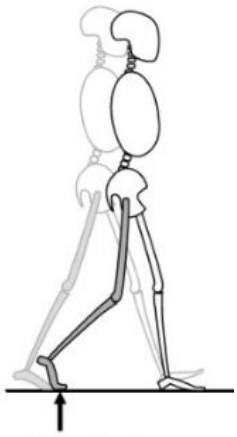
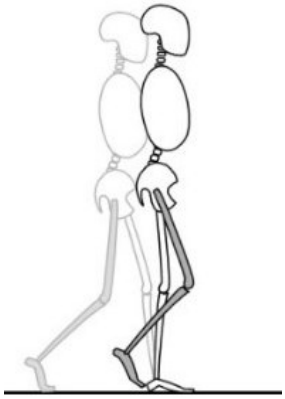


Figura 3.9 *Pre-oscillazione. L'altro arto si trova nella fase di risposta al carico. La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.3.2 Fase 6: Oscillazione iniziale (Initial Swing)

Prima fase del periodo di oscillazione: ricopre all'incirca un terzo del periodo di *swing*. Inizia con il sollevamento del piede dal suolo e termina quando il piede che oscilla è di fronte al piede in appoggio (Figura 3.10). L'obiettivo è quello di avere un adeguato sollevamento del piede dal suolo e di far avanzare l'arto.

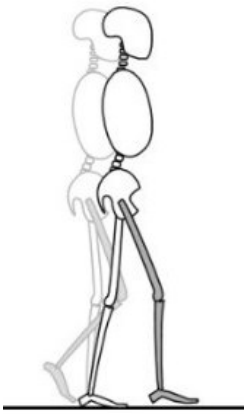


f) Initial Swing

Figura 3.10 *Oscillazione iniziale. L'altro arto si trova nella fase di appoggio intermedio. La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.3.3 Fase 7: Oscillazione intermedia (Mid Swing)

Seconda fase del periodo di oscillazione: inizia quando l'arto oscillante è di fronte a quello in appoggio e finisce quando l'arto oscillante è più avanti dell'altro arto e la tibia è verticale (Figura 3.11). L'obiettivo consiste nel far avanzare la gamba.

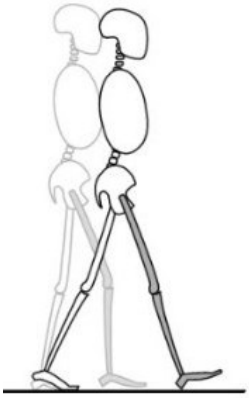


g) Mid Swing

Figura 3.11 *Oscillazione intermedia. L'altro arto si trova verso la fine dell'appoggio intermedio. La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

3.3.3.4 Fase 8: Oscillazione terminale (Terminal Swing)

Terza ed ultima fase del periodo di oscillazione: inizia con la tibia verticale e termina con il piede che colpisce il pavimento (Figura 3.12). Il movimento è completo quando la gamba avanza oltre la coscia. L'obiettivo è quello di completare l'avanzamento dell'arto inferiore e prepararlo all'appoggio.



h) Terminal Swing

Figura 3.12 *Oscillazione terminale. L'altro arto si trova nella fase di appoggio terminale. La sfumatura indica l'arto di riferimento.*

Tutte le fasi del passo sono riassunte nella seguente immagine:

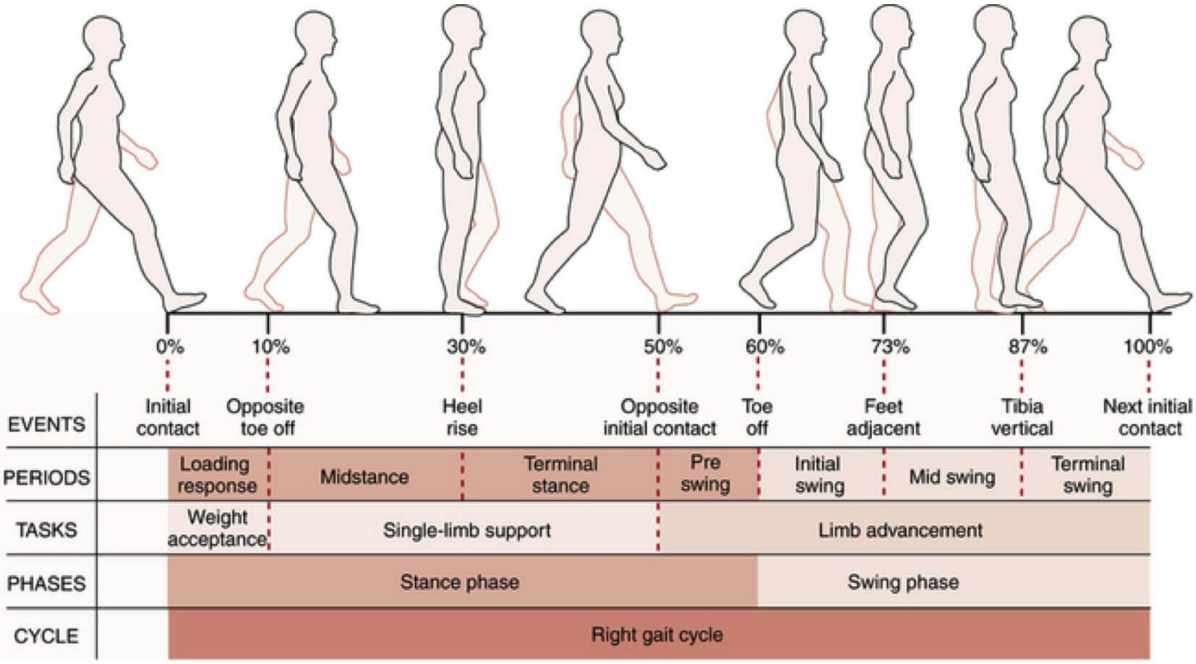


Figura 3.13 *Fasi del passo in funzione dei compiti da assolvere e dei periodi di stance e swing nel ciclo del passo.*

3.4 Funzioni della caviglia durante il cammino

Per comprendere le funzioni della caviglia all'interno del ciclo del passo, è una buona idea correlare il movimento, il **vettore del corpo** (***body vector***) e l'azione dei muscoli in base alle fasi del *gait cycle*.

Con **vettore del corpo** si intende la risultante delle forze di reazione del suolo generate dal peso del corpo: se il peso del corpo cade verso il pavimento, quest'ultimo genera una forza di uguale intensità ma di verso opposto. Mettendo in relazione il vettore del corpo con i centri delle articolazioni, otteniamo l'intensità e la direzione dell'instabilità. Questo ci indica la forza muscolare necessaria per riottenere la stabilità.

3.4.1 Contatto iniziale (*Initial Contact*)

Durante il contatto iniziale la caviglia ha un'angolazione di 90° rispetto alla gamba, per permettere il rotolamento del calcagno (*heel rocker*) durante la fase di risposta al carico: in questo modo si preserva il movimento.

Il vettore del corpo è dietro la caviglia: l'angolo tra piede e gamba è mantenuto grazie ai muscoli per la dorsiflessione (Figura 3.14).

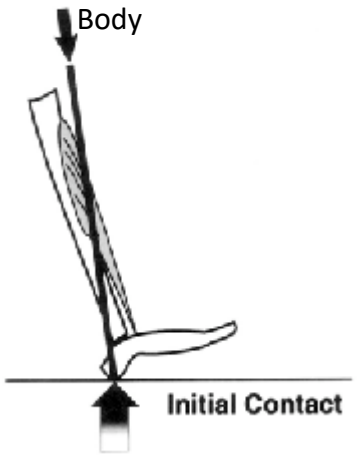


Figura 3.14 *Posizione della caviglia durante il contatto iniziale e posizione del vettore del corpo. Il vettore è all'interno del tallone ed è controllato dal Tibiale Anteriore.*

3.4.2 Risposta al carico (*Loading Response*)

Durante questa fase la caviglia realizza una flessione plantare. Il vettore del corpo è verticale e questo garantisce stabilità ma non l'avanzamento. Per ovviare al problema si sfrutta l'*heel rocker* che permette di muovere il corpo in avanti senza interruzioni (Figura 3.15).

Il *body vector*, situato posteriormente alla caviglia, genera una coppia di forze che flette plantarmente il piede. Rapidamente i muscoli anteriori della gamba rallentano la plantarflessione: la tibia viene trascinata in avanti e la durata del contatto tallone-suolo è aumentata. Entrambe le azioni contribuiscono a preservare l'avanzamento del corpo.

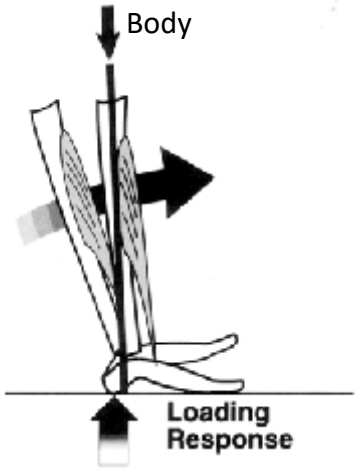


Figura 3.15 *Movimento della caviglia durante la risposta al carico, controllo dei muscoli e allineamento del vettore del corpo. La freccia indica la direzione del movimento.*

3.4.3 Appoggio intermedio (*Mid Stance*)

Durante la *Mid Stance*, la caviglia realizza una flessione dorsale e funge da perno per realizzare l'***ankle rocker*** (Figura 3.17) ovvero una rotazione della gamba sulla caviglia, così viene preservato il movimento.

Per tutta la *Mid Stance*, il vettore del corpo avanza attraverso il piede: viene quindi creata una coppia di forze che dorsiflette la caviglia, facendo rotolare la tibia in avanti (Figura 3.16). Il soleo e, successivamente, il gastrocnemio rallentano la velocità di dorsiflessione della caviglia.

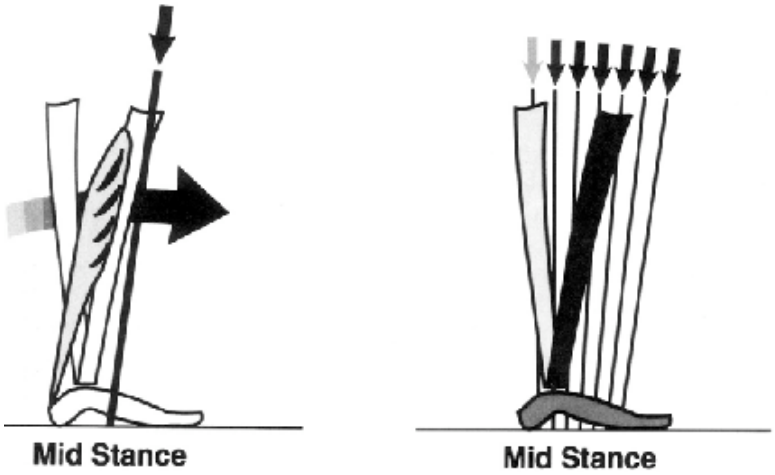


Figura 3.16 *A sinistra: Movimento durante l'appoggio intermedio, vettore del corpo e controllo muscolare. La dorsiflessione della caviglia viene controllata dal soleo e dal gastrocnemio. La freccia indica la direzione del movimento. A destra: avanzamento del vettore del corpo quando la caviglia dorsiflette. Le frecce in alto indicano il peso del corpo.*

Figura 3.17 *L'avanzamento del corpo (indicato dalla freccia) è assistito dalla caviglia che fa da fulcro per la rotazione della tibia.*

3.4.4 Appoggio terminale (*Terminal Stance*)

Durante questa fase il tallone viene alzato e la caviglia continua la dorsiflessione. Alla fine della *Mid stance*, il vettore del corpo giace sull'avampiede e con il soleo e il gastrocnemio che bloccano virtualmente la caviglia, il tallone è costretto a sollevarsi quando la tibia avanza (Figura 3 .18). Questo fa sì che l'avampiede rimane l'unica zona di contatto con il suolo, ovvero l'unico punto di supporto dell'intero peso corporeo: il soleo e il gastrocnemio devono aumentare di molto la loro intensità (circa tre volte

maggiore rispetto alla fase di Appoggio intermedio) per frenare la dorsiflessione del piede. L'avampiede diventa il nuovo fulcro (***forefoot rocker***) (Figura 3 .19) per preservare la progressione del corpo. Il sollevamento del tallone e la dorsiflessione della caviglia spostano il centro di gravità del corpo oltre il punto di appoggio: il piede ruota intorno al nuovo fulcro seguendo il corpo, sollevando ulteriormente il tallone.

Alla fine della *Terminal Stance*, il *body vector* è avanzato verso le articolazioni metatarso-falangee e la caduta del corpo in avanti non trova più vincoli; non ci sono più forze stabilizzanti nel piede e quindi è libero di flettere plantarmente sotto l'azione del soleo e del gastrocnemio. Questa fase finisce con l'appoggio dell'altro piede, ripristinando la stabilità.

La funzione comunemente attribuita al gastrocnemio è quella di spinta: il grande arco di plantarflessione alla fine delle *terminal stance*, il picco di intensità muscolare e la grande reazione vincolare del suolo fortificano questa idea.

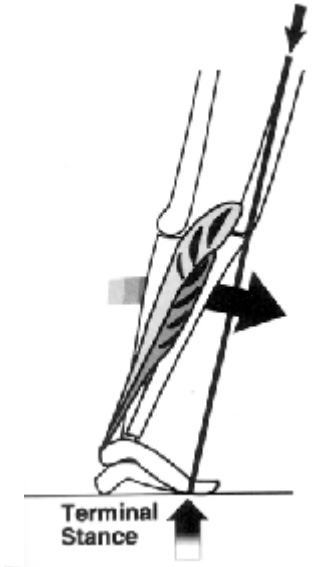


Figura 3.18 *Movimento durante l'appoggio terminale, vettore del corpo e controllo muscolare.*

Figura 3.19 *L'avanzamento del corpo (indicato dalla freccia) grazie all'avampiede che fa da fulcro per la rotazione della tibia.*

3.4.5 Pre-oscillazione (*Pre-Swing*)

All'inizio di questa fase l'altro piede ha già toccato terra ed il peso del corpo è stato trasferito all'altro arto: il soleo e il gastrocnemio riducono notevolmente la loro intensità. Nello stesso momento, la caviglia effettua una flessione plantare. In questa fase i muscoli del tricipite della sura (soleo + gastrocnemio) non generano abbastanza forza per spingere il corpo, infatti è sufficiente accelerare l'avanzamento dell'arto ormai scaricato dal peso del corpo. Il vettore del corpo è applicato sulle articolazioni metatarso-falangee (Figura 3.21), questo permette al piede di plantarflettere liberamente e l'attività muscolare residua del tricipite della sura spinge avanti la tibia poiché le dita del piede sono stabilizzate grazie al contatto con il suolo.

L'effetto ottenuto è una rapida flessione del ginocchio in preparazione per l'oscillazione (Figura 3.20).

Alla fine di questa fase interviene il muscolo Tibiale Anteriore per prepararsi al rallentamento della velocità di caduta del piede, una volta sollevato dal pavimento.

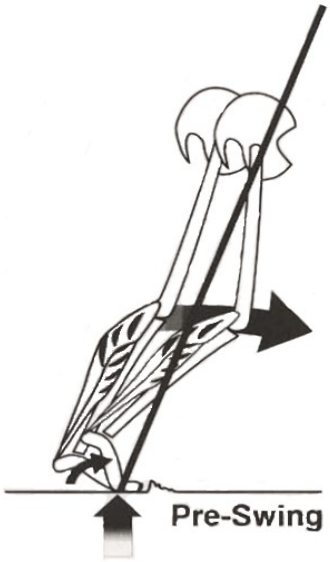


Figura 3.20 *Movimento durante la fase di pre-oscillazione, vettore del corpo e controllo muscolare.*

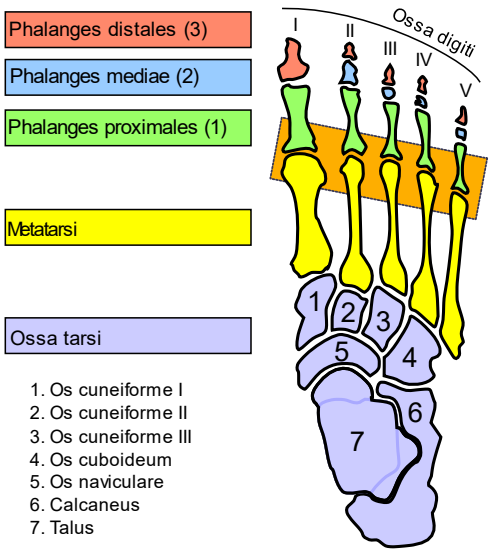


Figura 3.21 *Ossa del piede. Le articolazioni metatarso-falangee sono state evidenziate con un rettangolo arancione.*

3.4.6 Oscillazione iniziale (*Initial Swing*)

Le azioni che si verificano in questa fase hanno lo scopo di facilitare la progressione. Per quanto concerne la caviglia significa dover sollevare il piede in fase di oscillazione, per non ostacolare l'avanzamento del corpo: si ha una dorsiflessione realizzata dai muscoli anteriori della gamba (tra cui il Tibiale Anteriore) (Figura 3.22).

Anche i muscoli estensori delle dita vengono attivati provocando la dorsiflessione delle dita dei piedi.

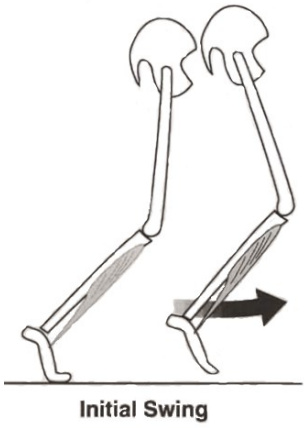


Figura 3.22 *Movimento durante la fase di oscillazione iniziale e controllo muscolare.*

3.4.7 Oscillazione intermedia (*Mid Swing*)

Durante questa fase si continua a dorsiflettere la caviglia, per mantenere un'adeguata distanza piede-suolo.

Quando la tibia è in posizione verticale, il peso del piede crea un momento meccanico verso il basso: il Tibiale Anteriore e l'estensore lungo dell'alluce rispondo incrementando la loro intensità (Figura 3.23).

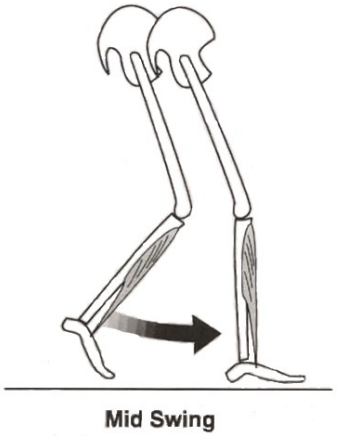


Figura 3.23 *Movimento durante la fase di oscillazione intermedia e controllo muscolare.*

3.4.8 Oscillazione terminale (*Terminal Swing*)

Durante questa fase la caviglia deve essere mantenuta in posizione neutra (90° rispetto alla tibia) per prepararsi al meglio al contatto iniziale: c'è un incremento nell'attività dei muscoli anteriori della gamba che, inoltre, li prepara per la fase di risposta al carico (*loading response*) del successivo ciclo del passo (Figura 3.24).

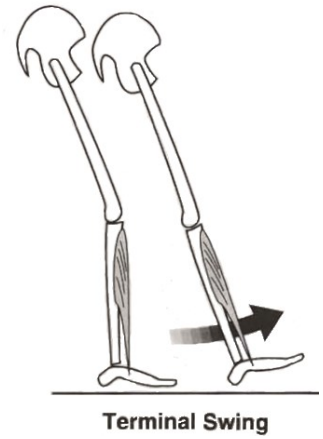


Figura 3.24 *Movimento durante la fase di oscillazione terminale e controllo muscolare.*

4 Materiale e metodi

4.1 Soggetti

Ventiquattro adulti (12 maschi e 12 femmine) e cento bambini (50 maschi e 50 femmine) sono stati analizzati. Ai fini dello studio i soggetti sono stati divisi in 4 sottogruppi:

- Adulti: Maschi (AM)
- Adulti: Femmine (AF)
- Bambini: Maschi (BM)
- Bambini: Femmine (BF)

I dati antropometrici dei 4 sottogruppi in studio sono:

	ADULTI				BAMBINI			
	MASCHI		FEMMINE		MASCHI		FEMMINE	
Età (anni)	24.3	± 2.3	23.4	± 1.3	9.1	± 1.4	9.0	± 1.3
Altezza (m)	1.8	± 0.1	1.6	± 0.0	1.3	± 0.1	1.3	± 0.1
Peso (kg)	73.6	± 9.2	51.8	± 3.2	30.6	± 6.2	30.7	± 7.2

Tabella 4.1 *Dati antropometrici dei soggetti analizzati. I dati sono in Media ± Deviazione Standard (SD).*

Sono stati usati criteri di esclusione per la scelta dei soggetti: sono state scartate le persone con storie di disturbi neurologici, chirurgie ortopediche, dolori o patologie acute/croniche ad una qualsiasi articolazione degli arti inferiori, indici di massa corporea (BMI) maggiori di 25 o cammino anormale (determinato tramite l'osservazione da parte di un fisioterapista specializzato nell'analisi del passo).

4.2 Acquisizione del segnale EMG

I segnali sono stati acquisiti ed elaborati da un sistema di registrazione multicanale, lo Step32 (Version PCI-32 ch2.0.1. DV) Medical Technology, Italia (Figura 4.1), con frequenza di campionamento: 2 kHz; risoluzione: 12 bit. La frequenza di campionamento usata assicura, in base al teorema del campionamento di Nyquist-Shannon, il rilevamento dell'intero spettro del segnale sEMG, che si estende fino a 500 Hz [11].

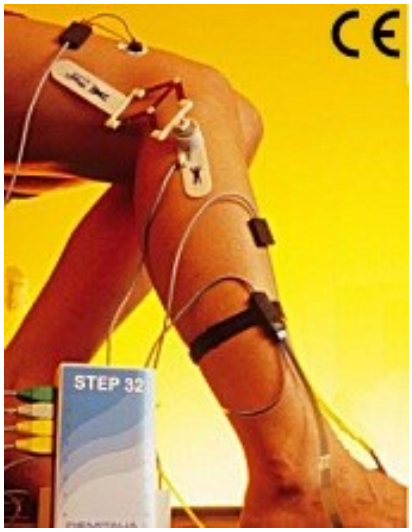


Figura 4.1 *STEP 32: sistema elettromedicale per l'analisi statistica del cammino.*

Ad ogni soggetto sono stati applicati degli interruttori basografici (*foot-switches*) (Figura 4.2), elettro-goniometri sul ginocchio (Figura 4.3) e sonde per effettuare l'elettromiografia di superficie su entrambi gli arti inferiori (Figura 4.4). I 3 *foot-switches* (Step32, Medical Technology, Italia; dimensioni:11 x 11 x 0.5 mm; forza di attivazione:3 N) sono stati incollati sotto il tallone e sotto la prima e la quinta testa del metatarso (la testa è la zona del metatarso che si articola con la falange prossimale) di ogni piede. Un elettro-goniometro (Step32, Medical Technology, Italia; precisione:0.5°) è stato fissato al lato di ogni arto inferiore, direttamente alla pelle, usando un nastro biadesivo con le placche rispettivamente incollate in corrispondenza della tibia prossimale e del femore distale, per misurare gli angoli dell'articolazione del ginocchio nel piano sagittale.

Figura 4.2 *Esempio di interruttori basografici e loro posizionamento sul piede.*

Figura 4.3 *Esempio di elettro-goniometro applicato sul ginocchio.*

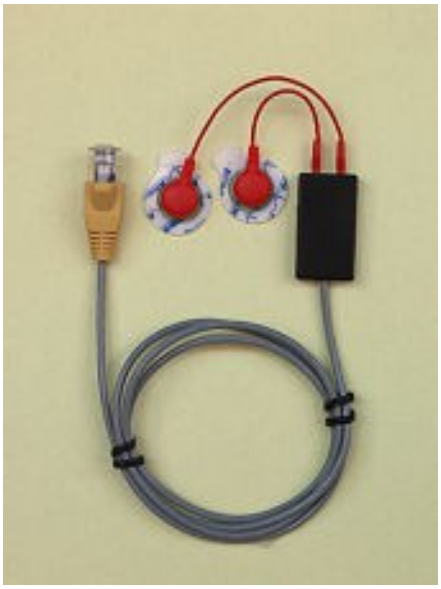


Figura 4.4 *Esempio di sonda EMG a geometria fissa, singolo differenziale.*

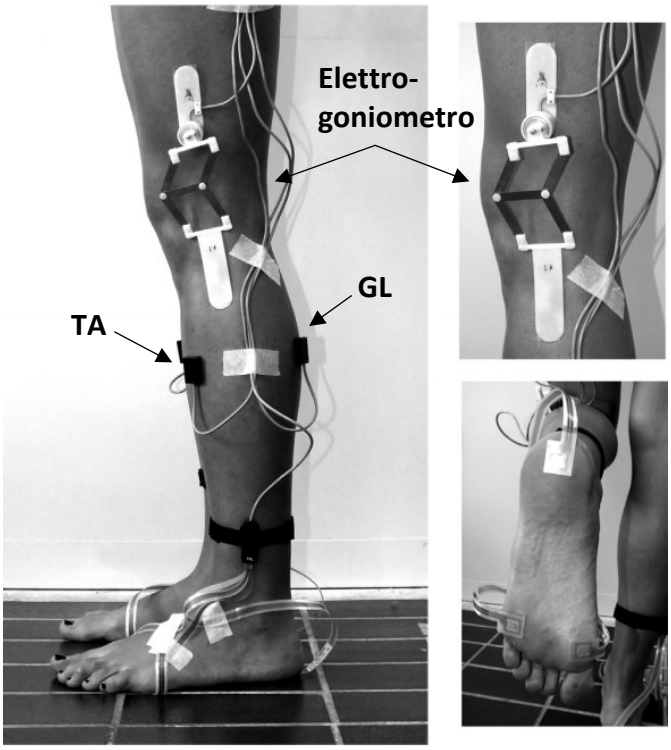


Figura 4.5 *Impostazione degli strumenti usati sui partecipanti.*

Il segnale elettromiografico è stato rilevato con sonde EMG a geometria fissa, singolo differenziale costituite da dischi in argento (Figura 4.4) (produttore: Medical Technology, diametro: 4 mm (sui bambini); dimensioni: 7 x 27 x 19 mm (sugli adulti); distanza interelettrodica: 12 mm, guadagno: 1000, filtro passa-alto: 10 Hz, impedenza d'ingresso > 1,5 GΩ, CMRR > 126 dB, rumore in input riferito ≤ 1 $\mu V_{efficace}$).

I segnali sEMG sono stati ulteriormente amplificati e filtrati con un filtro passa-basso (450 Hz) dal sistema di registrazione. Un ulteriore guadagno, variabile da 1000 a 50000, potrebbe essere scelto per osservare uno specifico muscolo.

Le sonde sEMG sono state applicate sul Tibiale Anteriore (TA) e il Gastrocnemio Laterale (GL) in entrambi gli arti inferiori. Ma, prima di posizionarle, la pelle è stata rasata (principalmente sugli uomini per via della peluria), pulita a fondo con pasta abrasiva ed umidificata con un panno imbevuto. Per assicurare un appropriato contatto elettrodo-pelle, un gel altamente conduttivo è stato applicato sugli elettrodi.

Nei bambini, le sonde sono state posizionate secondo le linee guida di Winter [12], mentre negli adulti si sono seguite le raccomandazioni di SENIAM per la localizzazione e l'orientamento degli elettrodi sui muscoli rispetto ai tendini, ai punti motori dei muscoli e alla direzione delle fibre muscolari [13].

Il rumore dovuto al *Crosstalk* (ovvero interferenza elettromagnetica che si può generare tra due cavi vicini di un circuito o di un apparato elettronico) è stato controllato attraverso un'ispezione visiva. Sospetti di Crosstalk si sono verificati quando due muscoli presenti nella stessa porzione dell'arto hanno mostrato attività simultanee con simile modulazione in ampiezza. In questo caso sono state usate sonde EMG doppio differenziali a tre barre (diametro barra: 1 mm, lunghezza barra: 10 mm, distanza interelettrodica: 10 mm, guadagno: 1000, filtro passa-alto: 10 Hz) per migliorare ulteriormente la selettività spaziale. Il segnale proveniente dalle sonde doppio differenziali è stato confrontato con quelle a singolo differenziale: se le ampiezze del segnale delle sonde doppio differenziali erano notevolmente più basse, il rumore dovuto al crosstalk è stato confermato e il segnale scartato.

Ai soggetti è stato chiesto di camminare a piedi nudi alla loro velocità naturale, in modo da rendere il test più ripetibile, poiché la variabilità dei dati aumenta quando ai soggetti viene chiesto di camminare notevolmente più lenti [14]. I bambini hanno camminato per almeno 2.5 minuti avanti e indietro su un percorso rettilineo lungo circa 10 metri, mentre gli adulti hanno camminato per circa 5 minuti su un percorso a forma di 8 [15], riportato nella figura 4.6.

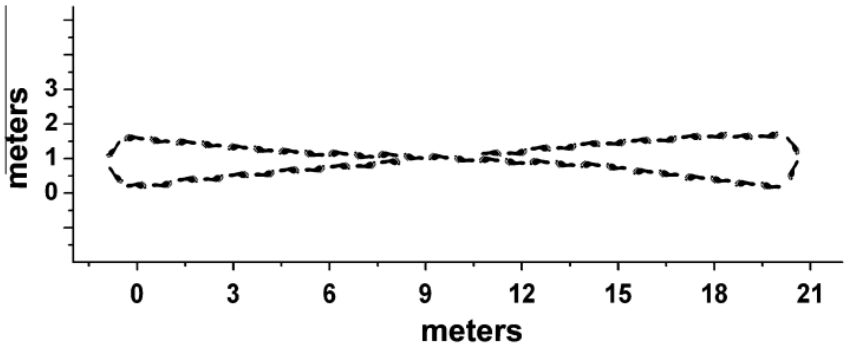


Figura 4.6 *Percorso seguito dagli adulti durante l'acquisizione dati.*

4.3 Elaborazione del segnale

Gli eventi temporali sono stati indentificati dai segnali provenienti dagli interruttori basografici e sono corrispondenti al contatto del tallone con il suolo o *Heel contact* (H), al contatto completo di tutto il piede con il suolo o *Flat foot contact* (F), all'alzamento del tallone dal suolo o *Push off* (P) e alla fase di oscillazione o *Swing* (S). Gli eventi sono stati poi processati per segmentare e classificare i differenti cicli del passo: la segmentazione del segnale basografico è stata realizzata seguendo le indicazioni riportate nell'articolo [16].

I segnali basografici descrivono il contatto piede-suolo, dal quale sono ricavate la sequenza e la durata di ciascuna fase del passo, mediante l'utilizzo di interruttori basografici posti sotto la pianta del piede.

Durante le accelerazioni, decelerazioni e cambi di direzione, i passi sono diversi da quelli di una camminata normale. Quindi, è stato usato un filtro statistico multivariato incorporato nel sistema Step32, che usa i dati degli angoli nel piano sagittale del ginocchio (dati filtrati con un filtro passa-basso con frequenza di taglio a 15 Hz) e i dati delle sequenze e durate delle fasi del passo derivate dal segnale basografico per identificare questi cicli anomali. Così i cicli con una sequenza errata delle fasi del passo (cioè differente da H -> F -> P -> S) o con tempistiche o angoli del ginocchio anormali, rispetto al valore medio calcolato per ogni soggetto, sono stati scartati [17].

Il segnale sEMG filtrato (filtro passa-alto con frequenza di taglio di 20 Hz) è poi elaborato da un rilevatore statistico a doppia soglia, incorporato nel sistema Step32. Questo rilevatore fornisce gli instanti di attivazione e disattivazione del muscolo in un modo completamente indipendente dall'utente. Questa tecnica [18] consiste nel selezionare un valore di soglia ζ e osservare M campioni successivi: se almeno r_0 degli M campioni sono sopra la soglia ζ, il segnale viene riconosciuto e acquisito. In questo approccio, la prima soglia è data dal parametro ζ mentre la seconda soglia è data da r_0.

Perciò il comportamento del rilevatore a doppia soglia è regolato da 3 parametri: ζ, r_0 e la lunghezza della finestra di osservazione M. I loro valori sono selezionati per minimizzare la probabilità di falso allarme [18]. La regolazione della prima soglia ζ è basata sulla valutazione dell'intensità del rumore di fondo. Mentre la regolazione della

seconda soglia r_0 richiede una stima del rapporto segnale/rumore (stimato dal sistema Step32 usando un approccio statistico proposto da Agostini e Knaflitz [19].
Secondo Bonato et al. [18] una lunghezza della finestra di osservazione, M, di 30 ms è un valore adatto per lo studio delle attivazioni muscolari nell'analisi del passo.

4.4 Statistical Gait Analysis (SGA)

La Statistical Gait Analysis è una metodologia che descrive la deambulazione umana calcolando la media di parametri spazio-temporali e parametri basati sulla elettromiografia di superficie (sEMG) su numerosi passi acquisiti durante lo stesso test.
Durante il cammino, il numero di attivazioni di un singolo muscolo all'interno di un ciclo del passo dipende dal ciclo stesso: potrebbe variare da passo a passo [20] [21]. Quindi gli istanti di attivazione e disattivazione (on/off) dovrebbero essere mediati considerando solamente la singola **modalità di attivazione**.
La **modalità di attivazione** è definita come il numero di volte che un muscolo viene reclutato durante un solo ciclo del passo (*gait cycle*): ad esempio, la modalità ad N attivazioni è la modalità di reclutamento del muscolo che consiste in N intervalli di attivazione/disattivazione per il muscolo considerato all'interno di un singolo ciclo del passo. Le attivazioni del muscolo sono state contate considerando gli intervalli medi (on/off) di attivazione relativi ad ogni *gait cycle*. Successivamente, le attivazioni sono state raggruppate in base alla loro modalità. Infine, sono state calcolate le medie degli istanti di tempo on/off separatamente per ogni modalità di attivazione e i valori sono stati normalizzati fornendo i dati in percentuale del ciclo del passo, in modo da avere dati confrontabili tra tutti i soggetti, indipendentemente dalla loro velocità di camminata durante l'acquisizione dati.
La Statistical Gait Analysis fornisce anche un nuovo parametro chiamato "**frequenza di reclutamento**" (in inglese ***Occurrence frequency*** o OF). La **frequenza di reclutamento** è definita come il rapporto tra il numero di cicli del passo in cui il muscolo è stato reclutato con la modalità ad N attivazioni e il numero totale dei passi analizzati [22]. La SGA è stata eseguita attraverso un software incluso nel sistema Step32.

4.5 Calcolo delle co-contrazioni

Come già detto, i muscoli analizzati in questo studio sono il **Tibiale Anteriore** (**TA**) e il **Gastrocnemio Laterale** (**GL**). Il GL è stato scelto come muscolo di riferimento: i passi totali sono stati suddivisi nelle varie modalità di attivazione del Gastrocnemio Laterale, e successivamente, le attivazioni del Tibiale Anteriore sono state raggruppate tenendo conto sia della singola modalità con la quale il muscolo è stato reclutato, sia della modalità di attivazione del GL che si è verificata in quel determinato passo.

Esempio: in un determinato ciclo del passo posso avere il GL che si è attivato 1 volta, ed il TA 3 volte; in un altro passo posso avere il GL che si è attivato 2 volte ed il TA sempre 3 volte. Il sottogruppo 3-attivazioni di TA con GL 1-attivazione è diverso dal sottogruppo 3-attivazioni di TA con GL 2-attivazioni.

Il calcolo delle co-contrazioni è avvenuto considerando gli intervalli di tempo in cui sia il Gastrocnemio Laterale che il Tibiale Anteriore erano contemporaneamente attivi nello stesso passo [23]. Periodi di co-contrazione più corti di 30 ms non sono stati considerati, poiché attivazioni muscolari più corte di 30 ms non hanno effetto nel controllo del movimento di un'articolazione durante il cammino [18]. Per questo motivo co-contrazioni inferiori al 2% del ciclo del passo sono state scartate.

È possibile classificare le co-contrazioni in base alla fase del passo in cui sono situate e calcolarne la **frequenza di reclutamento** (**OF**), questa volta definita come il rapporto tra il numero di passi in cui ho uno specifico tipo di co-contrazione e il numero di passi totali.

Le 4 fasi considerate sono:

- **Early Stance** (ES), comprendente le fasi di contatto iniziale e risposta al carico.
- **Mid Stance** (MS), comprendente la fase di Appoggio Intermedio e di Appoggio Terminale, ovvero il periodo in cui il corpo viene sorretto da una sola gamba.
- **Pre Swing** (PS), corrispondente alla fase di Pre-oscillazione.
- **Swing** (SW), comprendente le fasi di Oscillazione iniziale, intermedia e terminale, ovvero tutto il periodo di oscillazione della gamba.

La frequenza di reclutamento di una co-contrazione è così calcolata:

- Si indentifica il periodo di attivazione contemporanea tra TA e GL;
- Si classifica la co-contrazione individuata;
- Si ricava la frequenza di reclutamento della co-contrazione, conoscendo la frequenza di reclutamento della modalità di attivazione del TA di interesse.

4.6 Analisi statistica

I dati sono stati riportati come Media ± Deviazione standard (SD = Standard Deviation). Il test Lilliefors è stato usato per valutare l'ipotesi che ogni vettore di dati avesse una distribuzione normale. I confronti tra due vettori di dati normalmente distribuiti sono stati effettuati tramite il t-test bilaterale di Student per dati spaiati (*two-tailed, non-paired Student's t-test*). I confronti tra due vettori di dati non normalmente distribuiti sono stati effettuati tramite il test Kruskal–Wallis, seguito da un test di confronto multiplo. La significatività statistica è stata impostata al 5%.

5 Risultati

5.1 Frequenza di reclutamento delle modalità di attivazione dei muscoli GL e TA

Dall'acquisizione dati si può vedere che il GL viene reclutato con 5 modalità di attivazioni differenti, mentre per il TA sono presenti 6 modalità di attivazioni. Nella tabella 5.1 sono riportate le frequenze di reclutamento (OF) del GL per ogni gruppo analizzato.

OF	GL1	GL2	GL3	GL4	GL5
Gruppo AM	38.5±18.2%	37.4±10.5%	18.0±9.2%	--	--
Gruppo AF	22.9±18.7%	40.2±9.1%	28.7±12.2%	--	--
Gruppo BM	28.3±21.9%	34.7±10.5%	26.6±14.4%	9.2±10.1%	1.1±1.8%
Gruppo BF	25.0±23.4%	34.5±12.1%	29.2±15.8%	9.8±9.6%	1.4±2.1%

Tabella 5.1 *Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency di tutte le modalità di attivazione muscolare riscontrate per il Gastrocnemio Laterale.*

Con GLn (dove n è un numero intero) si intende la modalità n-attivazioni per il muscolo GL. Il simbolo -- indica che il dato è mancante.

Nella tabella 5.2 sono riportate le frequenze di reclutamento (OF) del TA per ogni gruppo analizzato. Similmente a GLn, con TAn si intende la modalità n-attivazioni per il TA.

OF	TA1	TA2	TA3	TA4	TA5	TA6
Gruppo AM	0.7±1.6%	32.8±23.5%	34.0±11.6%	19.2±15.2%	6.1±8.2%	1.0±2.6%
Gruppo AF	0.8±1.7%	16.8±11.1%	39.3±10.1%	25.0±9.8%	8.3±6.9%	1.7±2.2%
Gruppo BM	0.6±2.5%	25.9±23.3%	43.7±18.2%	21.3±17.8%	4.6±8.0%	0.6±2.2%
Gruppo BF	0.8±3.2%	18.9±17.7%	47.1±18.6%	23.4±16.4%	5.4±8.8%	0.6±1.8%

Tabella 5.2 *Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency di tutte le modalità di attivazione muscolare riscontrate per il Tibiale Anteriore.*

Dalle tabelle si può notare come le frequenze di reclutamento di GL4 e GL5 prese contemporaneamente non superano il 10% dei passi totali negli adulti e arrivano a poco più dell'11% dei passi totali nei bambini. Mentre per il TA si ha un discorso analogo nel considerare le modalità di attivazione TA1, TA5 e TA6.

Per via di queste frequenze decisamente più basse rispetto alle altre, si è preferito concentrare lo studio sulle seguenti modalità: GL 1-attivazione, GL 2-attivazioni, GL 3-attivazioni per il muscolo Gastrocnemio Laterale, e TA 2-attivazioni, TA 3-attivazioni, TA 4-attivazioni per il muscolo Tibiale Anteriore.

Presa la decisione di non considerare i passi con GL4 e GL5, si possono escludere dal conteggio dei passi totali, quindi si ottengono le nuove frequenze di reclutamento del GL riportate in tabella 5.3.

OF	GL1	GL2	GL3
Gruppo AM	41.0 ± 19.4%	39.8 ± 11.2%	19.2 ± 9.8%
Gruppo AF	24.9 ± 20.3%	43.8 ± 9.9%	31.3 ± 13.2%
Gruppo BM	31.6 ± 24.4%	38.7 ± 11.7%	29.7 ± 16.1%
Gruppo BF	28.2 ± 26.4%	38.9 ± 13.6%	33.0 ± 17.8%

Tabella 5.3 *Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency delle modalità di attivazione muscolare GL1, GL2, GL3 escludendo dal conteggio dei passi totali GL4 e GL5.*

5.2 Dati on/off delle attivazioni del GL

Per il gruppo Adulti (AM e AF) si hanno gli intervalli di attivazione del GL riportati in tabella 5.4 e in tabella 5.5.

GL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione	
AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
GL 1	10.3 ± 7.5	47.1 ± 2.5				
GL 2	6.8 ± 4.9	35.6 ± 6	67.1 ± 11.4	79.3 ± 8.4		
GL 3	3.5 ± 3.1	22.1 ± 11.1	34.9 ± 13.1	55.9 ± 7.8	86.7 ± 7.2	92.7 ± 5.9

Tabella 5.4 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo GL nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

GL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione	
AF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
GL 1	11.9 ± 6.8	47.3 ± 2.3				
GL 2	6.0 ± 3.5	35.8 ± 6.9	68.4 ± 11.5	81.2 ± 9.4		
GL 3	2.1 ± 1.5	18.0 ± 7.9	29.2 ± 8.4	52.0 ± 6.3	87.5 ± 6	94.8 ± 4.9

Tabella 5.5 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo GL nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

Nella tabella 5.6 sono riportati i valori di inizio e fine delle fasi del passo H, F, P, S per gli Adulti.

	ADULTI - MASCHI		ADULTI - FEMMINE	
Fasi del passo	Inizio	Fine	Inizio	Fine
H	0.0	5.3	0.0	6.5
F	5.3	33.9	6.5	31.0
P	33.9	56.7	31.0	55.7
S	56.7	100.0	55.7	100.0

Tabella 5.6 *Tempistiche di inizio e fine delle fasi del passo H, F, P, S. Dati riportati in Media.*

Nel gruppo **Adulti - Maschi** sono state riscontrate le seguenti durate delle fasi del passo normalizzate in % del ciclo del passo (dati riportati in Media ± SD):

- Heel Contact (H) = 5.3 ± 1.6 %
- Flat foot Contact (F) = 28.5 ± 4.9 %
- Push off (P) =22.8 ± 4.6 %
- Swing (S) = 43.3 ± 2.3 %

Nel gruppo **Adulti – Femmine** sono state riscontrate le seguenti durate delle fasi del passo normalizzate in % del ciclo del passo (dati riportati in Media ± SD):

- Heel Contact (H) = 6.5 ± 2.5 %
- Flat foot Contact (F) = 24.5 ± 6.1 %
- Push off (P) =24.8 ± 4.2 %
- Swing (S) = 44.3 ± 2.9 %

Dalle tabelle 5.4, 5.5 e 5.6 possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.1 e 5.2):

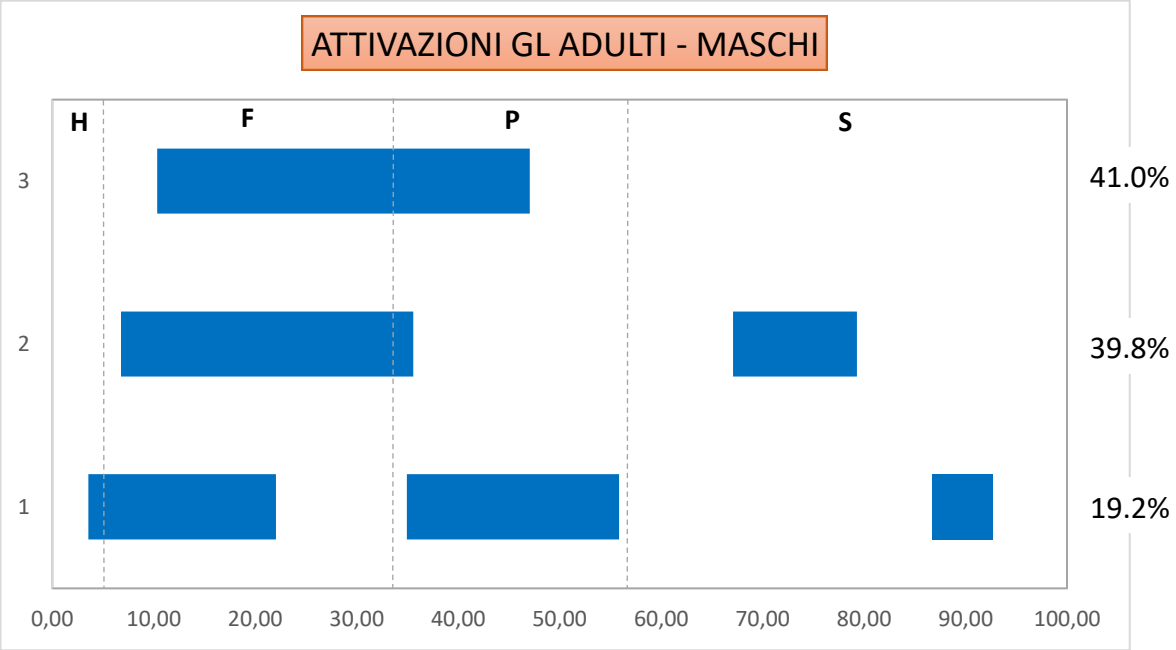


Figura 5.1 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo GL nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, GL2 e GL3 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.3).*

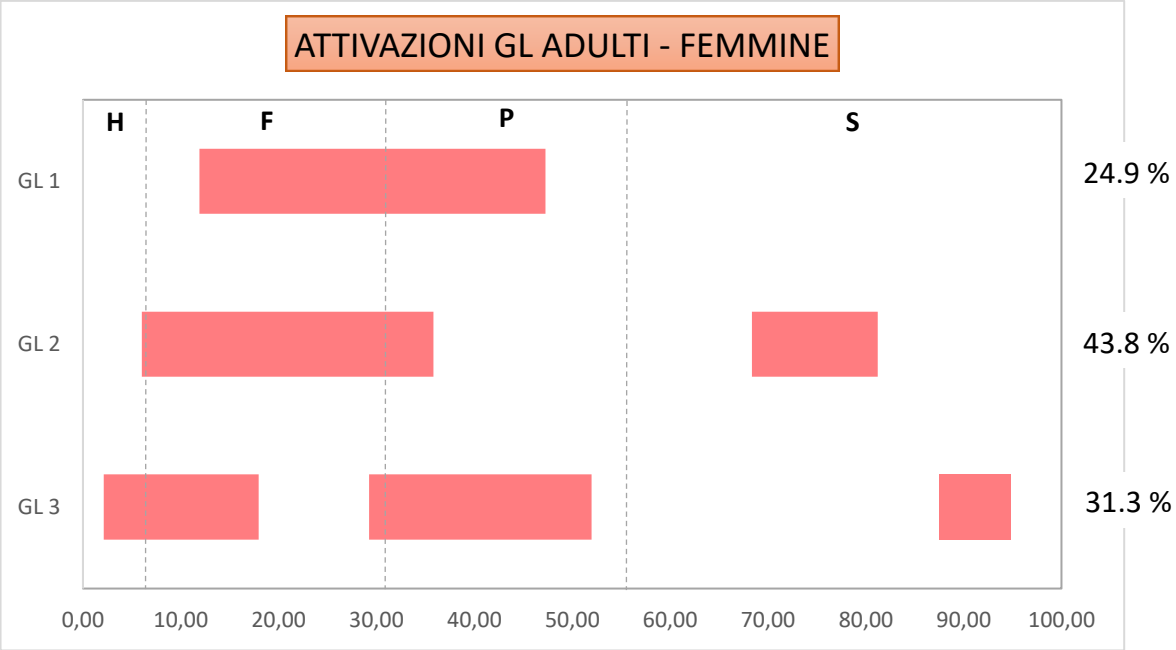


Figura 5.2 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo GL nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, GL2 e GL3 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.3).*

Per il gruppo dei bambini (BM e BF) si hanno gli intervalli di attivazione del GL riportati in tabella 5.7 e in tabella 5.8:

GL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione	
BM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
GL 1	14.3 ± 8.2	49.7 ± 6.3				
GL 2	7.3 ± 3.9	36.6 ± 7.7	66.2 ± 12.2	79.3 ± 10.2		
GL 3	2.9 ± 3.2	19.9 ± 10.7	32.5 ± 10.1	55.4 ± 6.8	87.7 ± 8.5	94.5 ± 7.2

Tabella 5.7 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo GL nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

GL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
GL 1	13.9 ± 8.0	49.8 ± 7.2				
GL 2	7.2 ± 4.4	37.4 ± 7.6	67.5 ± 12.1	80.6 ± 9.9		
GL 3	2.7 ± 3.1	20.8 ± 9.4	33 ± 9.3	55.2 ± 6.4	86.8 ± 8.0	94.5 ± 6.7

Tabella 5.8 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo GL nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

Nella tabella 5.9 sono riportati i valori di inizio e fine delle fasi del passo H, F, P, S per i Bambini.

	BAMBINI - MASCHI		BAMBINI - FEMMINE	
Fasi del passo	Inizio	Fine	Inizio	Fine
H	0.0	5.6	0.0	5.9
F	5.6	37.4	5.9	38.8
P	37.4	60.8	38.8	60.0
S	60.8	100.0	60.0	100.0

Tabella 5.9 *Tempistiche di inizio e fine delle fasi del passo H, F, P, S. Dati riportati in Media.*

Nel gruppo **Bambini - Maschi** sono state riscontrate le seguenti durate delle fasi del passo normalizzate in % del ciclo del passo (dati riportati in Media ± SD):

- Heel Contact (H) = 5.6 ± 2.3 %
- Flat foot Contact (F) = 31.7 ± 6.9 %
- Push off (P) =23.5 ± 7.8 %
- Swing (S) = 39.2 ± 4.6 %

Nel gruppo **Bambini – Femmine** sono state riscontrate le seguenti durate delle fasi del passo normalizzate in % del ciclo del passo (dati riportati in Media ± SD):

- Heel Contact (H) = 5.9 ± 1.7 %
- Flat foot Contact (F) = 32.9 ± 7.1 %
- Push off (P) =21.2 ± 7.0 %
- Swing (S) = 40.0 ± 3.2 %

Dalle tabelle 5.7, 5.8 e 5.9 possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.3 e 5.4):

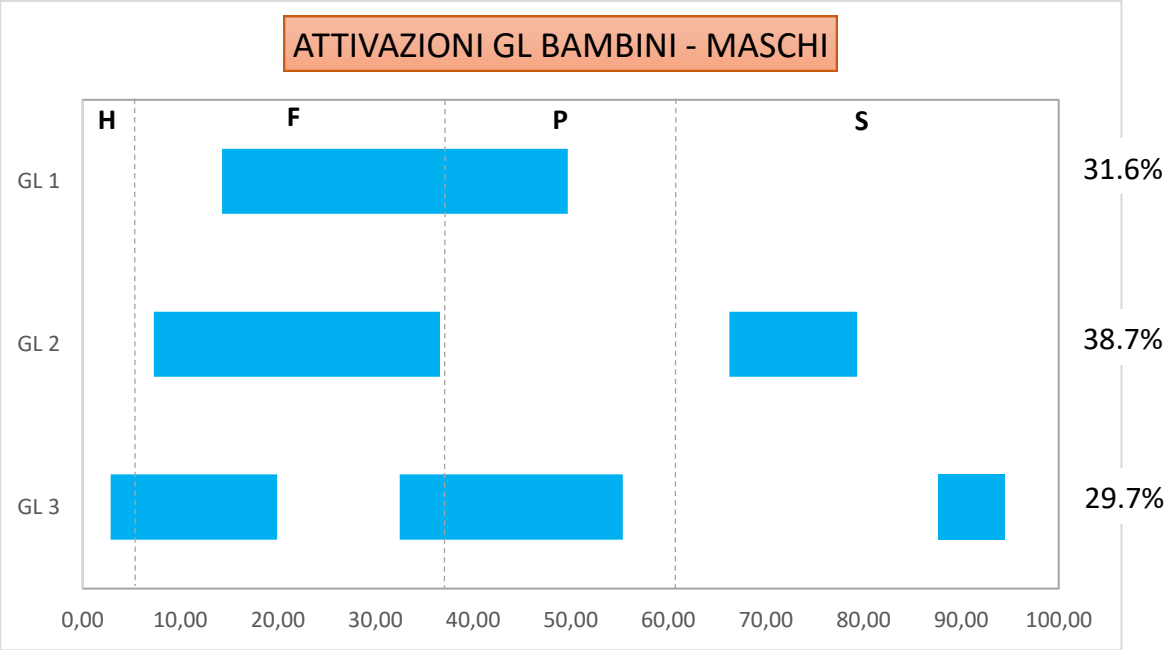


Figura 5.3 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo GL nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, GL2 e GL3 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.3).*

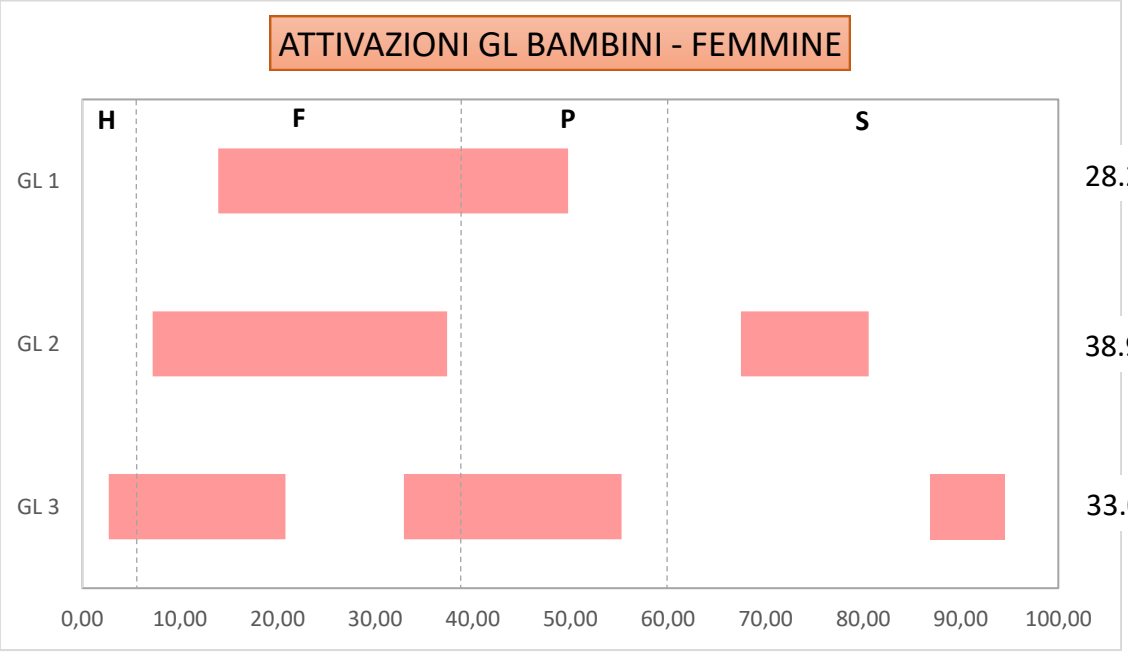


Figura 5.4 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo GL nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, GL2 e GL3 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.3).*

5.3 Dati on/off delle attivazioni del TA

Le modalità di attivazione dei Tibiale Anteriore (TA) sono state riportate in funzione del muscolo Gastrocnemio Laterale (GL): si hanno, quindi, 3 grafici per ogni sottogruppo analizzato (un grafico diverso per ogni modalità di attivazione di GL).

5.3.1 Gruppo Adulti - Maschi

Per il gruppo Adulti - Maschi si hanno i seguenti intervalli di attivazione del TA:

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 1-attivazione:

GL1	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.6±0.8	5.6±2.5	53.6±2.8	100.0±0.0				
TA3	0.3±1.1	7.1±3.9	41.7±8.6	58.9±13.7	71.6±11.3	100.0±0.0		
TA4	0.3±0.6	4.8±1.7	39.6±5.6	51.6±8.9	63.6±10	77.9±5.9	87±2.8	100.0±0.0

Tabella 5.10 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.5, si ha il grafico relativo alla tabella 5.10: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

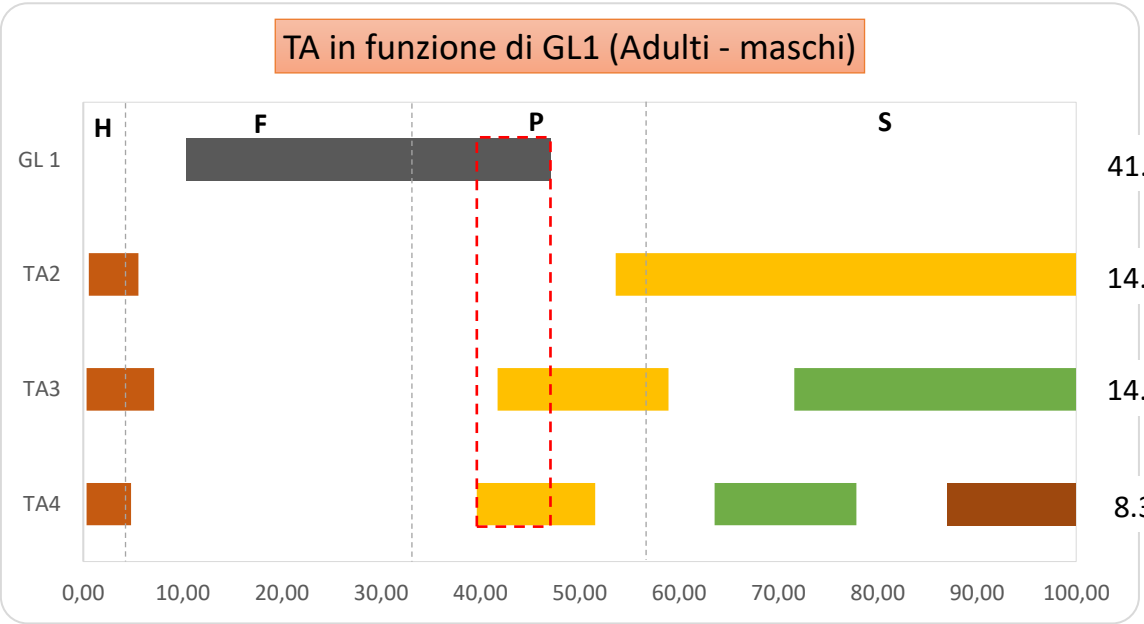


Figura 5.5 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.22). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 2-attivazioni:

GL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.6±0.7	5.4±2.0	53.8±3.3	100±0.1				
TA3	0.0±0.0	7.5±4.2	36.6±7.9	52.5±11.3	66.2±9.1	100.0±0.0		
TA4	0.0±0.0	4.8±1.4	31.1±6.7	41.9±7.4	56.3±1.9	75.8±2.4	85.9±2.5	100.0±0.0

Tabella 5.11 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.6, si ha il grafico relativo alla tabella 5.11: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

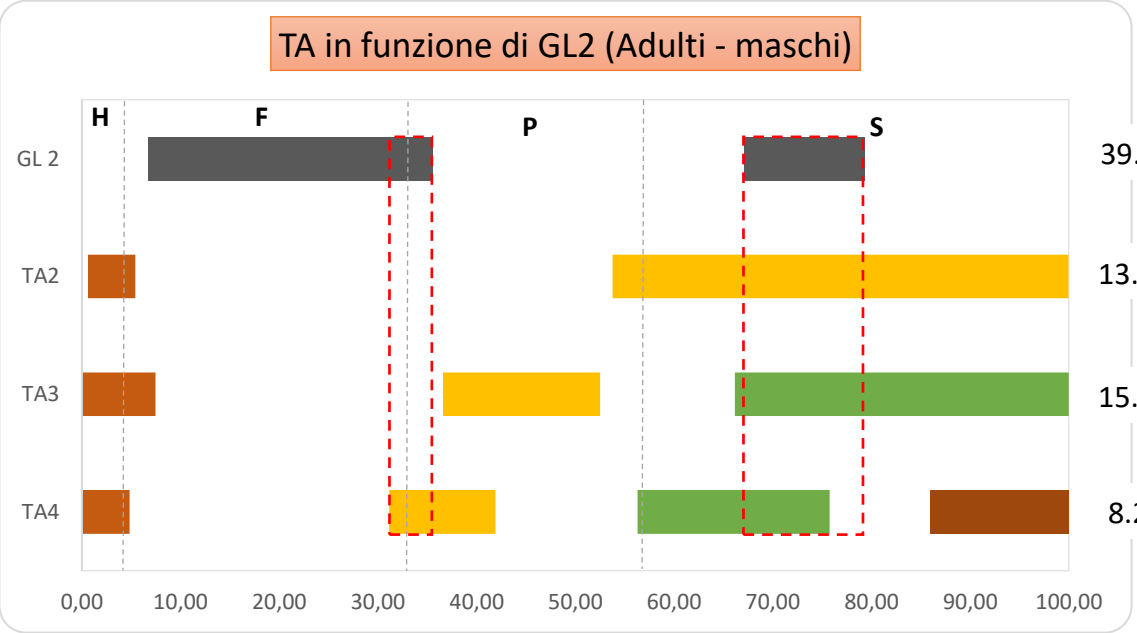


Figura 5.6 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL2, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.23). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 3-attivazioni:

GL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.0±0.0	6.3±5.8	53.8±1.6	100.0±0.1				
TA3	0.0±0.0	7.4±5.2	36.9±8.3	52.6±10.8	64.7±9.4	100.0±0.0		
TA4	0.0±0.0	4.6±1.7	33.5±4.5	44.2±3.1	56.1±2.7	75.4±2.3	86.3±2.6	100.0±0.0

Tabella 5.12 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.7, si ha il grafico relativo alla tabella 5.12: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

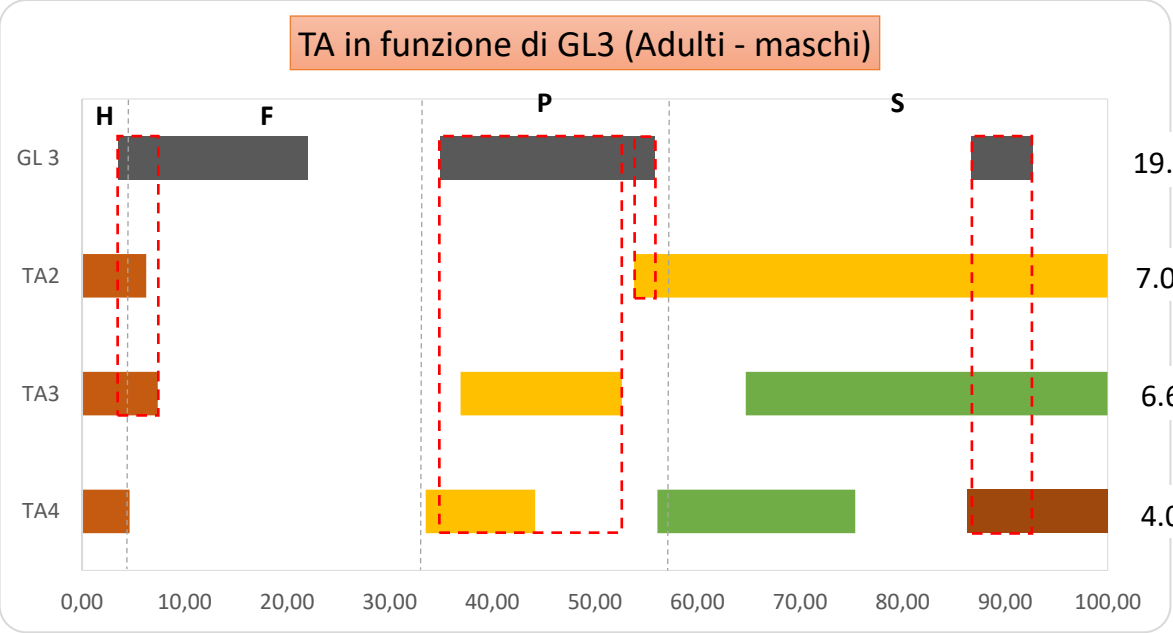


Figura 5.7 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL3, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.24). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

5.3.2 Gruppo Adulti – Femmine

Per il gruppo Adulti - Femmine si hanno i seguenti intervalli di attivazione del TA:

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 1-attivazione:

GL1	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.4±0.6	5.1±0.2	54.8±1.4	99.9±0.1				
TA3	0.8±2.9	5.9±4.2	45.1±10.8	61.3±12.2	77.0±9.0	99.9±0.5		
TA4	0.1±0.1	6.5±3.5	30.3±5.8	37.6±5.5	57.6±2.6	72.8±2.2	84.4±6.0	100.0±0.1

Tabella 5.13 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.8, si ha il grafico relativo alla tabella 5.13: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

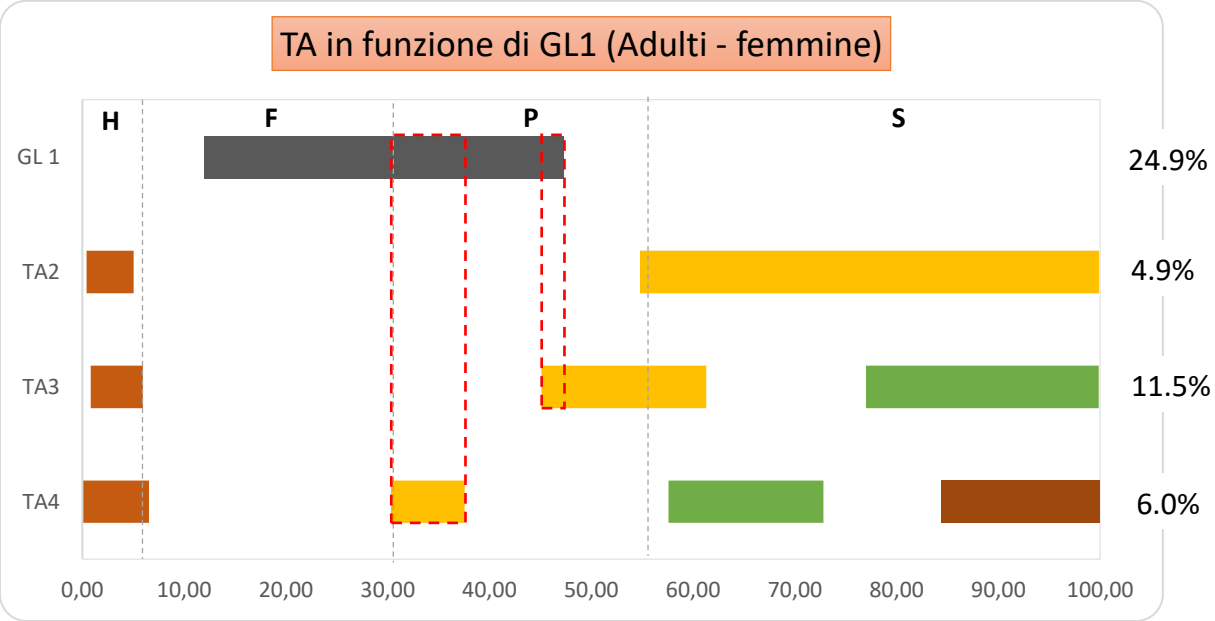


Figura 5.8 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.22). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 2-attivazioni:

GL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	1.3±2.0	8.4±5.4	55±1.5	99.9±0.1				
TA3	1.5±3.5	7.0±3.5	45.7±10.1	60.8±11	76±9.2	99.9±0.1		
TA4	0.2±0.3	5.5±3.2	31.4±7.8	40.3±8.5	57.7±4.3	73.3±3.3	84.5±5.5	100.0±0.1

Tabella 5.14 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.9, si ha il grafico relativo alla tabella 5.14: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

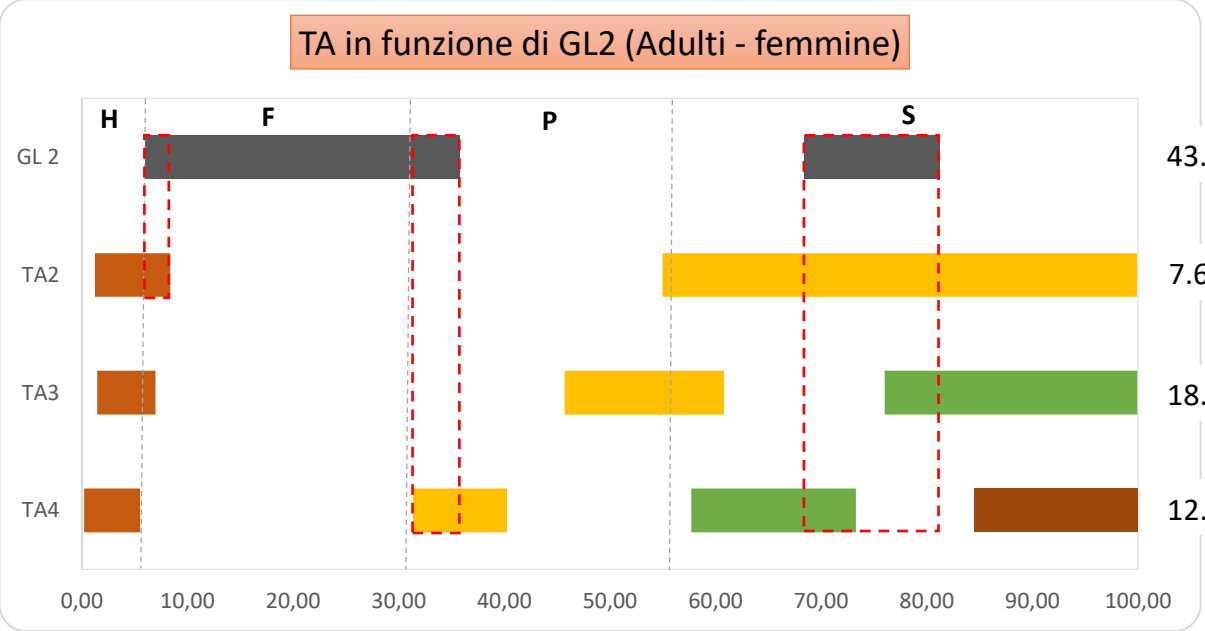


Figura 5.9 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL2, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.23). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 3-attivazioni:

GL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
AF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	2.1±3.0	11.7±6.6	55.2±2.2	100.0±0.1				
TA3	0.8±1.5	6.9±3.3	48.1±8.1	65.1±9.7	78.5±7.7	99.8±0.3		
TA4	0.7±2.0	5.4±2.6	31.2±8.7	38.7±8.4	58.8±7.6	75.1±5.3	85.9±5.5	99.9±0.2

Tabella 5.15 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.10, si ha il grafico relativo alla tabella 5.15: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

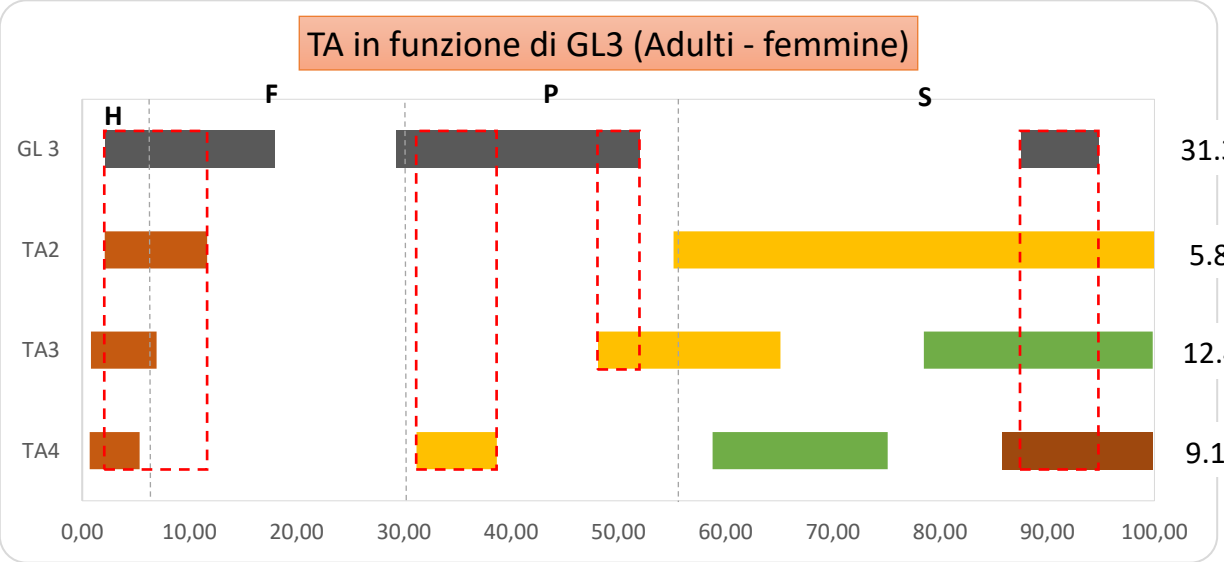


Figura 5.10 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL3, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.24). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

5.3.3 Gruppo Bambini - Maschi

Per il gruppo Bambini - Maschi si hanno i seguenti intervalli di attivazione del TA:

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 1-attivazione:

GL1	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.3±1.8	11.2±8.1	55.5±3.6	99.8±0.7				
TA3	0.3±1.1	8.6±5	51.3±6.8	68.3±6.9	82.0±7.5	99.8±0.9		
TA4	0.0±0.0	6.8±1.7	33.9±14.2	46.1±15.1	61.7±8.9	77.2±5.4	88.9±4.3	100.0±0.1

Tabella 5.16 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.11, si ha il grafico relativo alla tabella 5.16: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

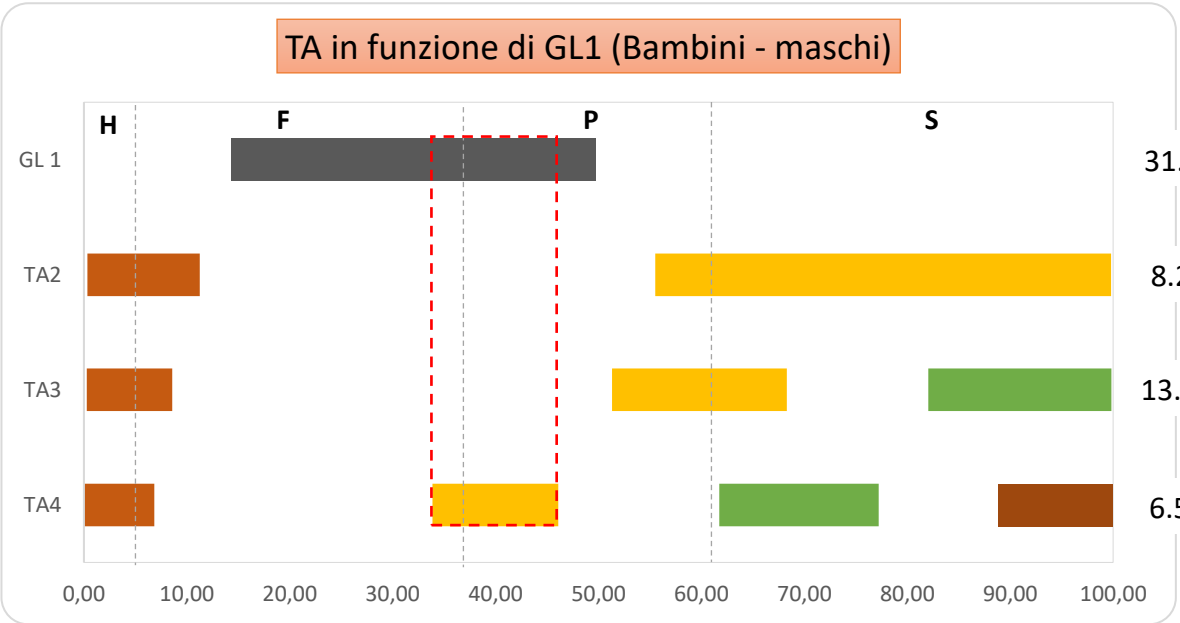


Figura 5.11 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.25). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 2-attivazioni:

GL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.2±0.7	10.2±5.6	55.1±1.9	99.4±1.4				
TA3	0.1±0.7	8.2±4.6	51.5±6.0	68.5±7.2	81.3±7.3	99.8±0.5		
TA4	0.0±0.0	9.2±3.7	32.2±3.4	44.5±3.7	59.1±3.3	75.0±2.8	88.0±3.4	99.8±0.5

Tabella 5.17 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.12, si ha il grafico relativo alla tabella 5.17: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

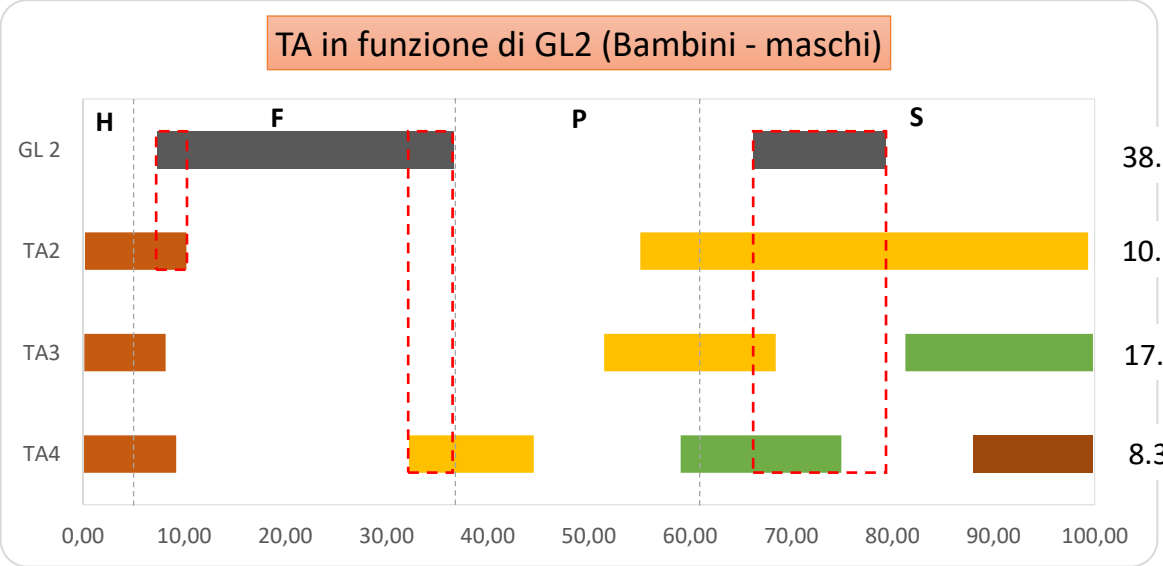


Figura 5.12 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL2, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.26). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 3-attivazioni:

GL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	0.6±1.5	9.1±4	56.4±7.8	99.4±1.5				
TA3	0.2±0.9	9.3±4.9	50.7±7.1	68.1±8.5	80.7±7.7	99.8±0.6		
TA4	0.0±0.1	8.4±3.8	32.5±7.4	43.4±8.6	57.8±3.8	74.3±4.1	87.2±3.8	100.0±0.0

Tabella 5.18 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.13, si ha il grafico relativo alla tabella 5.18: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

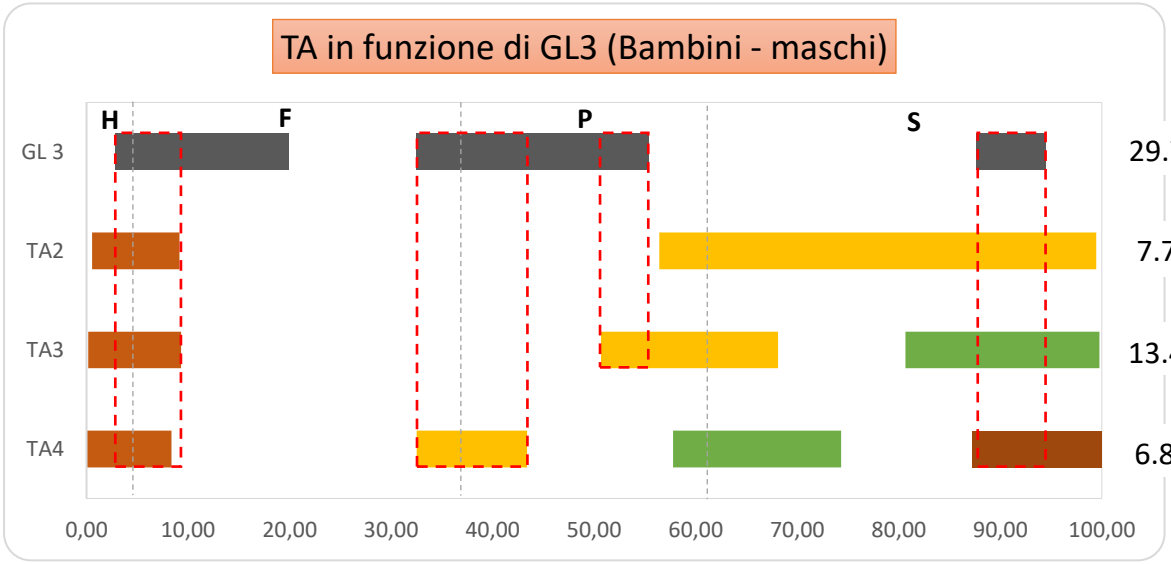


Figura 5.13 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL3, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.27). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

5.3.4 Gruppo Bambini - Femmine

Per il gruppo Bambini - Femmine si hanno i seguenti intervalli di attivazione del TA:

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 1-attivazione:

GL1	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	2.3±7.9	9.8±9.6	57.1±5.4	99.0±2.4				
TA3	0.2±1.6	9.2±5.3	51.5±8.3	68.3±9.9	81.9±9.1	99.7±0.9		
TA4	0.1±0.2	9.2±6.9	29.2±8.5	38.5±7.6	56.9±6.2	73.9±6.0	85.7±7.2	99.8±0.8

Tabella 5.19 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.14, si ha il grafico relativo alla tabella 5.19: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

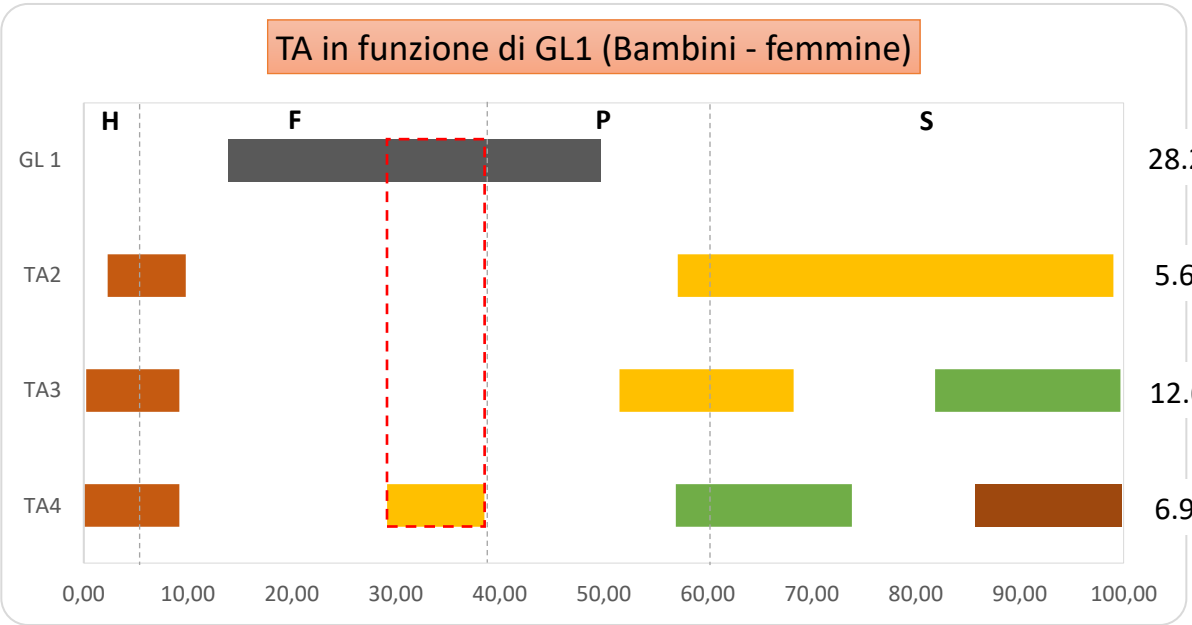


Figura 5.14 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL1 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL1, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.25). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 2-attivazioni:

GL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	4.7±10.2	15.3±12.9	58.8±5.5	99.2±1.8				
TA3	0.2±0.6	10.0±5.5	50.7±6.8	67.5±7.2	81.7±8.0	99.8±0.6		
TA4	0.0±0.0	5.7±1.1	24.9±9.2	34.5±8.9	59.8±4.3	76.7±2.8	89.2±2.4	100.0±0.0

Tabella 5.20 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.15, si ha il grafico relativo alla tabella 5.20: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

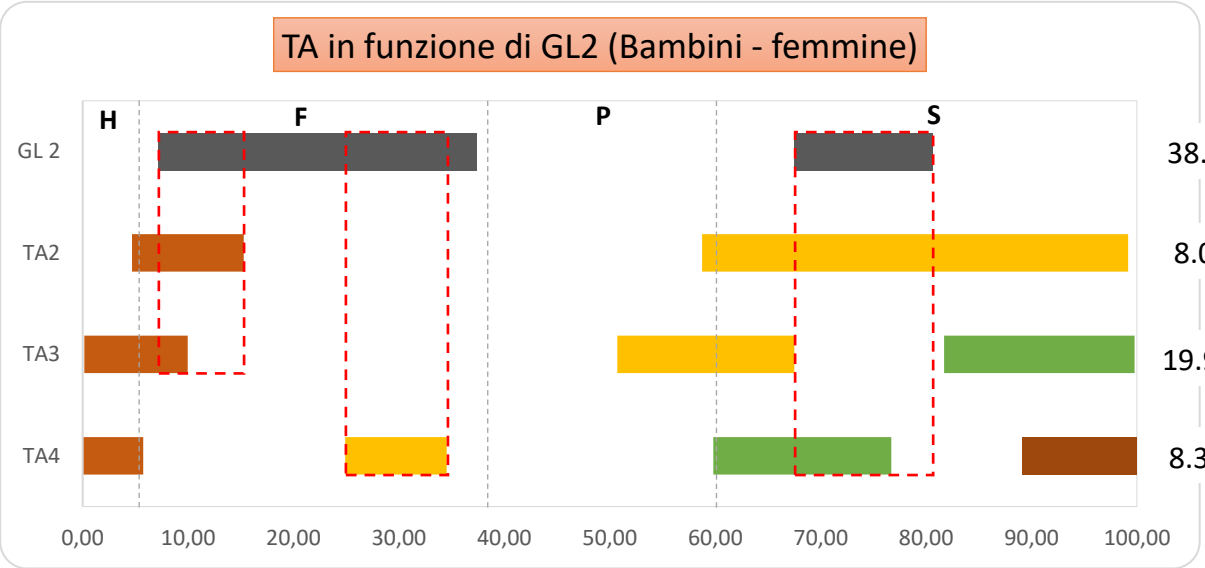


Figura 5.15 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL2 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL2, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.26). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

- Intervalli di On/Off del Tibiale Anteriore in funzione del GL 3-attivazioni:

GL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
TA2	1.6±5.7	10.2±9.1	56.3±4.0	100±0.1				
TA3	0.2±0.8	10.2±5.6	50.9±6.8	67.6±8.0	81.1±8.4	99.9±0.4		
TA4	0.0±0.0	6.4±3.6	26.8±14.4	39.5±11	57.1±4.0	73.6±3.1	85.4±2.7	99.7±0.6

Tabella 5.21 *Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

In Figura 5.16, si ha il grafico relativo alla tabella 5.21: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del TA; in grigio è mostrato il muscolo GL.

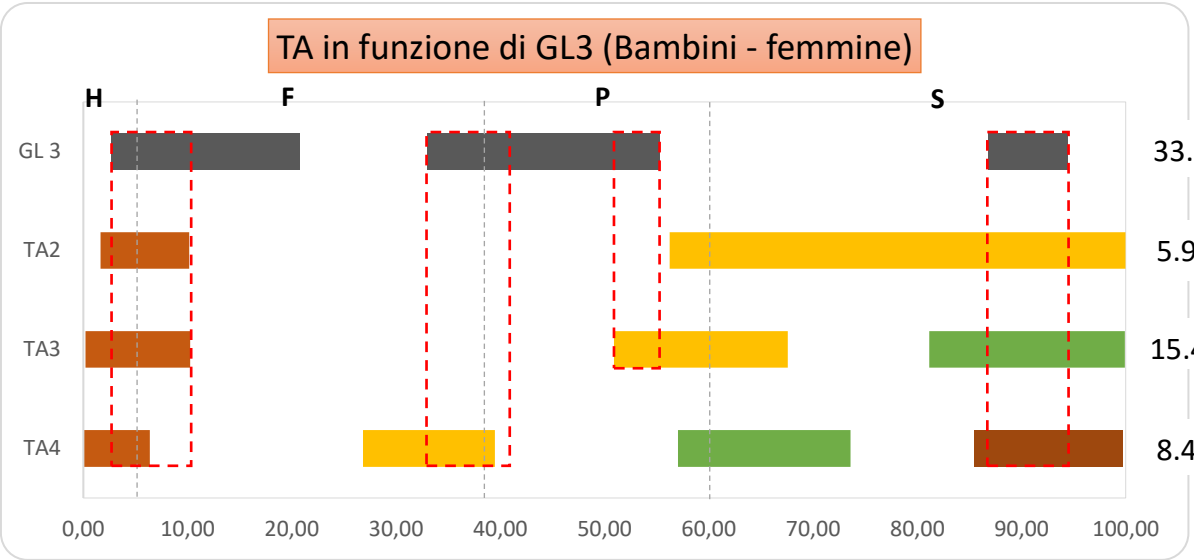


Figura 5.16 *Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo TA in funzione dell'attivazione GL3 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione GL3, TA2, TA3, TA4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le SD riferirsi alla tabella 5.27). Le fasi del passo H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co-contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli tratteggiati.*

5.4 Frequenze Di Reclutamento GL-TA

A destra di ogni grafico presente nel capitolo 5.3 sono state inserite le frequenze di reclutamento medie delle singole modalità di attivazione. Gli stessi dati sono riportati nelle tabelle seguenti come Media ± Deviazione Standard (SD).

5.4.1 Gruppo Adulti

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 1-attivazione:

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL1	Media	SD	Media	SD
GL1	41.0	± 19.4 %	24.9	± 20.3 %
TA2 (GL1)	14.8	± 10.5 %	4.9	± 3.7 %
TA3 (GL1)	14.6	± 4.7 %	11.5	± 3.7 %
TA4 (GL1)	8.3	± 6.3 %	6.0	± 3.6 %

Tabella 5.22 *Frequenze di reclutamento di GL1 e dei TA in funzione di GL1 nel gruppo Adulti (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 2-attivazioni:

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL2	Media	SD	Media	SD
GL2	39.8	± 11.2 %	43.8	± 9.9 %
TA2 (GL2)	13.2	± 9.7 %	7.6	± 4.8 %
TA3 (GL2)	15.0	± 5.2 %	18.9	± 3.7 %
TA4 (GL2)	8.2	± 6.4 %	12.1	± 4.4 %

Tabella 5.23 *Frequenze di reclutamento di GL2 e dei TA in funzione di GL2 nel gruppo Adulti (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 3-attivazioni:

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL3	Media	SD	Media	SD
GL3	19.2	± 9.8 %	31.3	± 13.2 %
TA2 (GL3)	7.0	± 4.8 %	5.8	± 3.5 %
TA3 (GL3)	6.6	± 2.4 %	12.4	± 3.6 %
TA4 (GL3)	4.0	± 3.6 %	9.1	± 2.6 %

Tabella 5.24 *Frequenze di reclutamento di GL3 e dei TA in funzione di GL3 nel gruppo Adulti (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

5.4.2 Gruppo Bambini

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 1-attivazione:

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL1	Media	SD	Media	SD
GL1	31.6	± 24.4 %	28.2	± 26.4 %
TA2 (GL1)	8.2	± 7.4 %	5.6	± 5.2 %
TA3 (GL1)	13.7	± 6.3 %	12.6	± 5.9 %
TA4 (GL1)	6.5	± 5.6 %	6.9	± 6.0 %

Tabella 5.25 *Frequenze di reclutamento di GL1 e dei TA in funzione di GL1 nel gruppo Bambini (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 2-attivazioni:

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL2	Media	SD	Media	SD
GL2	38.7	± 11.7 %	38.9	± 13.6 %
TA2 (GL2)	10.3	± 8.2 %	8.0	± 6.6 %
TA3 (GL2)	17.5	± 5.4 %	19.9	± 5.3 %
TA4 (GL2)	8.3	± 5.5 %	8.3	± 4.3 %

Tabella 5.26 *Frequenze di reclutamento di GL2 e dei TA in funzione di GL2 nel gruppo Bambini (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

- Frequenze di reclutamento del TA in funzione del GL 3-attivazioni:

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con GL3	Media	SD	Media	SD
GL3	29.7	± 16.1 %	33.0	± 17.8 %
TA2 (GL3)	7.7	± 7.1 %	5.9	± 5.4 %
TA3 (GL3)	13.4	± 5.1 %	15.4	± 5.9 %
TA4 (GL3)	6.8	± 5.7 %	8.4	± 5.1 %

Tabella 5.27 *Frequenze di reclutamento di GL3 e dei TA in funzione di GL3 nel gruppo Bambini (sia maschi che femmine). Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

5.4.3 Frequenza di Reclutamento GL

Estrapolando dalle precedenti tabelle solo i valori delle frequenze di reclutamento del muscolo GL si ottiene la tabella 5.28 e si possono graficare i dati (Figura 5.17) per avere un'idea visiva di come ogni gruppo analizzato tenda a reclutare con differenti modalità il Gastrocnemio Laterale durante il cammino.

	BAMBINI				ADULTI			
	MASCHI		FEMMINE		MASCHI		FEMMINE	
GL1	31.6	± 24.4%	28.2	± 26.4%	41.0	± 19.4%	24.9	± 20.4%
GL2	38.7	± 11.7%	38.9	± 13.6%	39.8	± 11.2%	43.8	± 9.9%
GL3	29.7	± 16.1%	33.0	± 17.8%	19.2	± 9.8%	31.3	± 13.2%

Tabella 5.28 *Frequenze di reclutamento di ogni modalità di attivazione del GL per tutti i sottogruppi. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard (SD).*

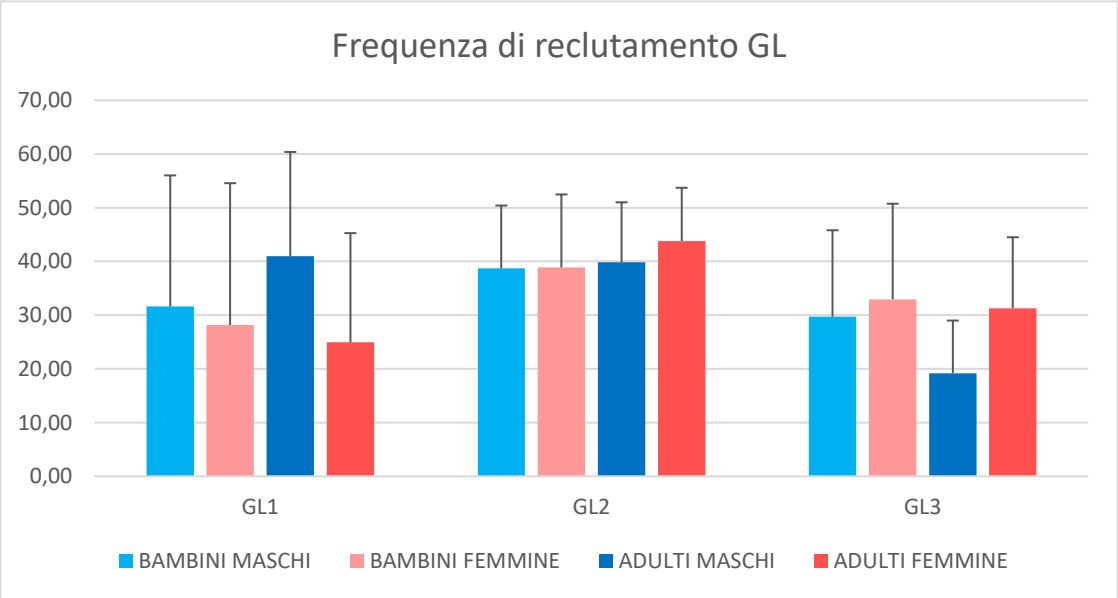


Figura 5.17 *Frequenze di reclutamento del Gastrocnemio Laterale in funzione del sottogruppo di riferimento e della modalità di attivazione. I valori sono tutti espressi in percentuale. Le barre rappresentano il valor medio, le linee la deviazione standard. È stata mostrata solo la SD positiva per motivi di chiarezza. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso, come visibile dalla legenda sotto il grafico.*

Per approfondire la valutazione delle differenze tra le varie popolazioni in esame, si sfruttano i test statici introdotti nel capitolo 4.6 “Analisi statistica”. Il test Lilliefors è stato usato per analizzare le distribuzioni delle varie tipologie di co-contrazione.

Tipologia OF	GL1	GL2	GL3
Gruppo AM	Normale	Normale	Normale
Gruppo AF	Normale	Normale	Normale
Gruppo BM	NON Normale	Normale	NON Normale
Gruppo BF	NON Normale	Normale	Normale

Tabella 5.29 *Per ogni tipologia di GL è stato usato il Lilliefors test per valutare se le distribuzioni fossero normali o non normali.*

Per confrontare due popolazioni con distribuzione normale è stato usato il *two-tailed, non-paired Student’s t-test,* mentre per confrontare due popolazioni di cui almeno una con distribuzione NON normale è stato usato il *Kruskal–Wallis’ test*, seguito da un test di confronto multiplo (*multcompare*).

Con 4 gruppi sono possibili 6 confronti a due a due. Valori della significatività statistica riportati in tabella 5.30.

Tipologia OF	GL1	GL2	GL3
AM - AF	0.00370	0.16713	0.00252
AM - BM	0.01729	0.57153	0.01012
AM - BF	0.00033	0.62877	0.00107
AF - BM	0.34163	0.01768	0.65506
AF - BF	0.94453	0.04219	0.48008
BM - BF	0.19028	0.99736	0.28091

Tabella 5.30 *Significatività statistica: i valori possono variare tra 0 ed 1. La soglia è stata impostata al 5%, cioè valori superiori a 0,05 indicano la NON significatività statistica. I valori in rosso sono quelli che superano il valore di soglia. Numeri arrotondati a 5 cifre dopo la virgola.*

5.5 Co-contrazione

Le aree evidenziate da rettangoli tratteggiati all'interno dei grafici presenti nel capitolo 5.3 "Dati on/off delle attivazioni del TA", indicano le zone di co-contrazione dei due muscoli, ovvero quelle zone in cui sono entrambi attivi negli stessi istanti. Le co-contrazioni dalla durata inferiore al 2% del ciclo del passo sono state ignorate, come spiegato nel capitolo 4.5 "Calcolo delle co-contrazioni".

Per ogni gruppo è stata calcolata la frequenza di reclutamento delle co-contrazioni (dati riportati in Media ± Deviazione Standard), ovvero il numero di passi rispetto al totale nei quali ho avuto almeno una co-contrazione:

- Gruppo Adulti - Maschi: 76.8 ± 16.3 %
- Gruppo Adulti - Femmine: 83.4 ± 10.7 %
- Gruppo Bambini - Maschi: 70.5 ± 16.4 %
- Gruppo Bambini - Femmine: 72.8 ± 14.7 %

Le *Occurrence Frequency* di ogni tipologia di co-contrazione sono in tabella 5.31.

	BAMBINI				ADULTI			
	MASCHI		FEMMINE		MASCHI		FEMMINE	
No Co-contrazione	29.5	± 16.4%	27.2	± 14.7%	23.2	± 16.3%	16.6	± 10.7%
Early Stance	38.3	± 13.3%	57.6	± 12.7%	13.6	± 5.4%	34.9	± 7.4%
Mid Stance	21.6	± 9.7%	23.6	± 9.0%	41.7	± 11.0%	27.2	± 6.3%
Pre Swing	13.4	± 5.1%	15.4	± 5.9%	7.0	± 4.8%	23.8	± 5.2%
Swing	64.0	± 15.4%	46.0	± 12.3%	53.9	± 14.3%	65.9	± 9.4%

Tabella 5.31 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per tutti i sottogruppi analizzati. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD). La riga No co-contrazione indica il numero di passi rispetto al totale, in cui non si è avuta nessuna co-contrazione tra TA e GL.*

Un modo più intuitivo per confrontare i risultati è quello di realizzare un grafico partendo dai dati in tabella 5.31 (Figura 5.18).

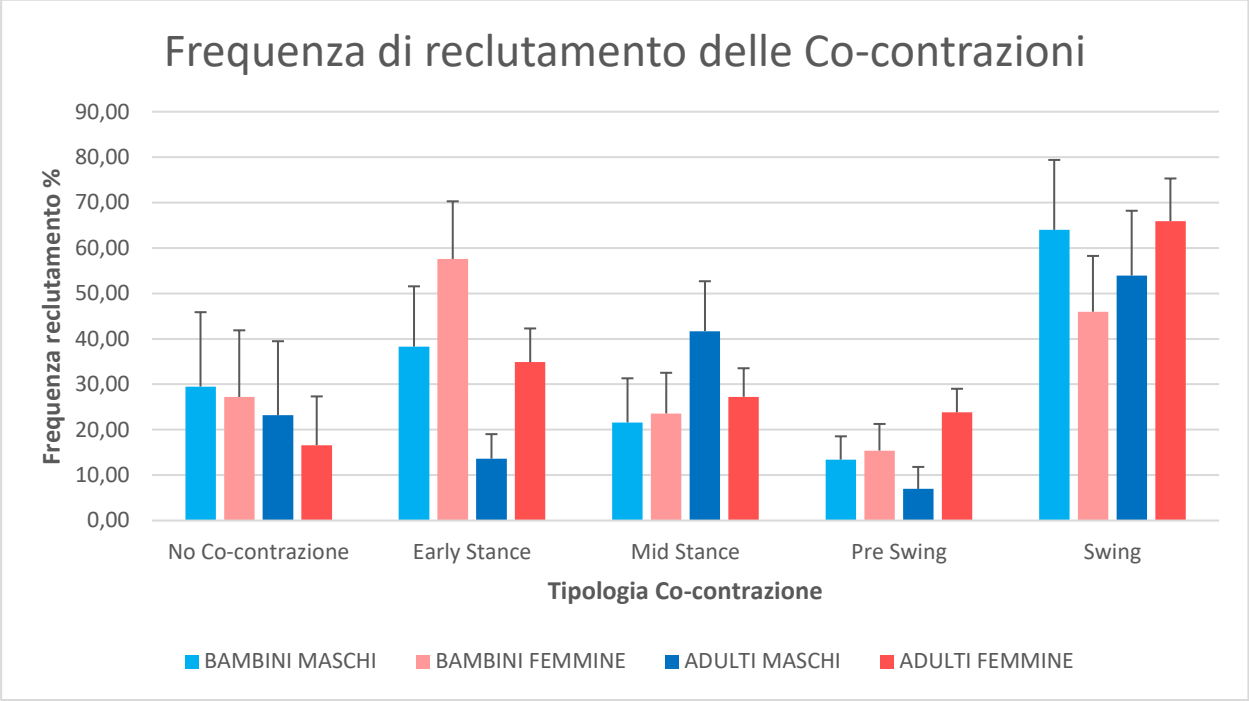


Figura 5.18 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per tutti i sottogruppi BM, BF, AM, AF. Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva (quella negativa non è stata mostrata per motivi di chiarezza). Ogni colore rappresenta un gruppo diverso, come visibile dalla legenda sotto il grafico.*

Dall'analisi statistica si ottengono i seguenti risultati:

- verifica della normalità delle distribuzioni in tabella 5.32.

Tipologia OF	No co-contrazione	Early Stance	Mid Stance	Pre Swing	Swing
Gruppo AM	Normale	Normale	Normale	Normale	NON Normale
Gruppo AF	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale
Gruppo BM	NON Normale	Normale	Normale	Normale	NON Normale
Gruppo BF	NON Normale	NON Normale	Normale	Normale	Normale

Tabella 5.32 *Per ogni tipologia di co-contrazione è stato usato il Lilliefors test per valutare se le distribuzioni fossero normali o non normali.*

- valori della significatività statistica in tabella 5.33

Tipologia OF	No co-contrazione	Early Stance	Mid Stance	Pre Swing	Swing
AM - AF	0.00008	<0.00001	0.00068	<0.00001	<0.00001
AM - BM	0.00224	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
AM - BF	0.09997	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
AF - BM	<0.00001	0.15937	0.04703	<0.00001	0.02683
AF - BF	<0.00001	<0.00001	0.13942	<0.00001	<0.00001
BM - BF	0.00016	<0.00001	0.21629	0.00780	<0.00001

Tabella 5.33 *Significatività statistica: i valori possono variare tra 0 ed 1. La soglia è stata impostata al 5%, cioè valori superiori a 0,05 indicano la NON significatività statistica. I valori in rosso sono quelli che superano il valore di soglia. Numeri arrotondati a 5 cifre dopo la virgola: numeri più piccoli sono stati riportati come <0,00001.*

5.5.1 Confronto Adulti - Bambini

È possibile anche confrontare i dati considerando solo il fattore età (mettendo a confronto gruppo Adulti e gruppo Bambini) o solo il fattore genere (mettendo a confronto gruppo Maschi e gruppo Femmine).

Per ogni gruppo è stata calcolata la frequenza di reclutamento delle co-contrazioni (dati riportati in Media ± Deviazione Standard), ovvero il numero di passi rispetto al totale nei quali ho avuto almeno una co-contrazione:

- Gruppo Adulti: 80.1 ± 19.5 %
- Gruppo Bambini: 71.6 ± 22.0 %

	ADULTI		BAMBINI	
No Co-contrazione	19.9	± 19.5%	28.4	± 22.0%
Early Stance	24.2	± 9.2%	47.9	± 18.4%
Mid Stance	34.5	± 12.7%	22.6	± 13.2%
Pre Swing	15.4	± 7.1%	14.4	± 7.8%
Swing	59.9	± 17.1%	55.0	± 19.7%

Tabella 5.34 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Adulti e Bambini (senza distinzione di genere). Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

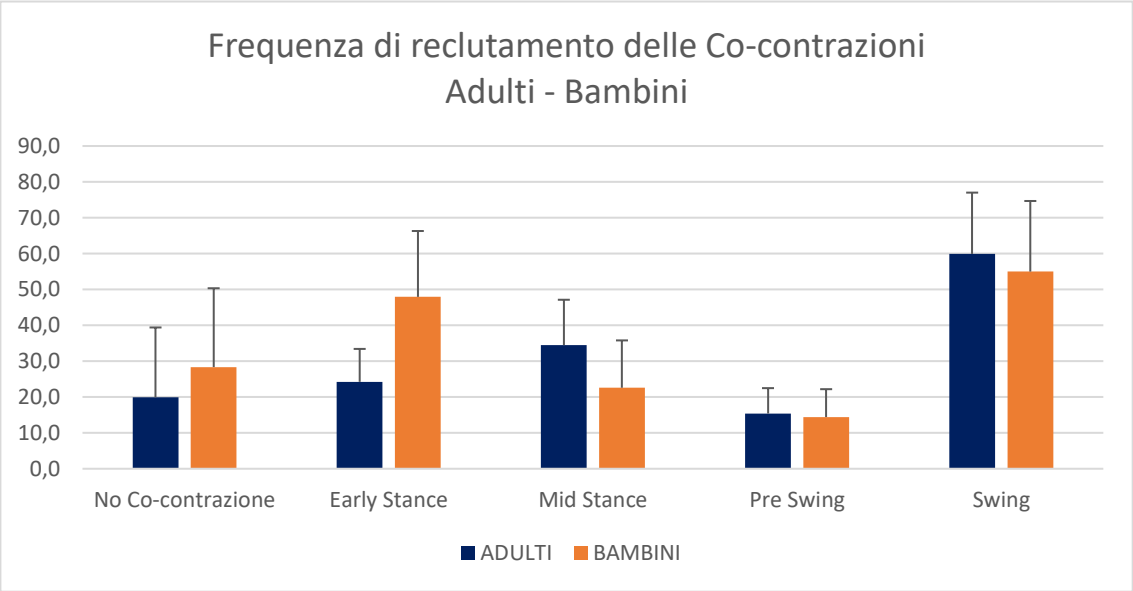


Figura 5.19 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Adulti e Bambini (senza distinzione di genere). Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva (quella negativa non è stata mostrata per motivi di chiarezza). Il blu indica il gruppo degli Adulti, l'arancione quello dei Bambini.*

Tipologia OF	No co-contrazione	Early Stance	Mid Stance	Pre Swing	Swing
Adulti - Bambini	<0.00001	<0.00001	<0.00001	0.60006	0.00266

Tabella 5.35 *Significatività statistica: i valori possono variare tra 0 ed 1. La soglia è stata impostata al 5%, cioè valori superiori a 0,05 indicano la NON significatività statistica. I valori in rosso sono quelli che superano il valore di soglia. Numeri arrotondati a 5 cifre dopo la virgola.*

5.5.2 Confronto Maschi - Femmine

Per ogni gruppo è stata calcolata la frequenza di reclutamento delle co-contrazioni (dati riportati in Media ± Deviazione Standard), ovvero il numero di passi rispetto al totale nei quali ho avuto almeno una co-contrazione:

- Gruppo Maschi: 73.7 ± 23.1 %
- Gruppo Femmine: 78.1 ± 18.2 %

	MASCHI		FEMMINE	
No Co-contrazione	26.3	± 23.1%	21.9	± 18.2%
Early Stance	25.9	± 14.3%	46.2	± 14.7%
Mid Stance	31.6	± 14.7%	25.4	± 10.9%
Pre Swing	10.2	± 7.0%	19.6	± 7.8%
Swing	59.0	± 21.0%	55.9	± 15.5%

Tabella 5.36 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Maschi e Femmine (senza distinzione di età). Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).*

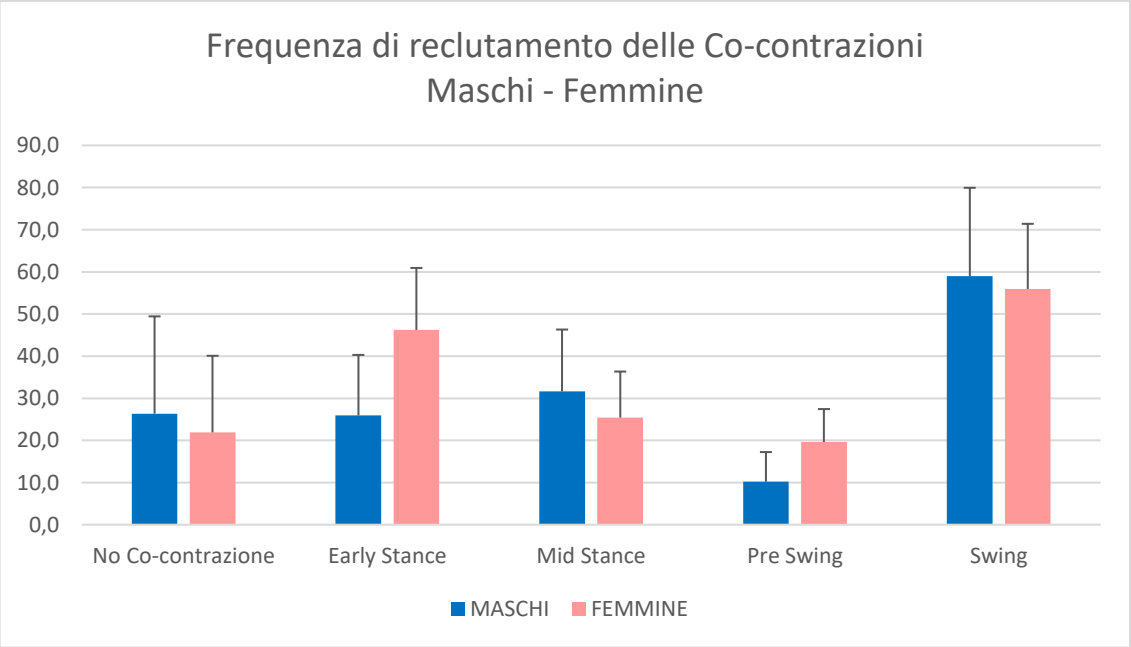


Figura 5.20 *Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Maschi e Femmine (senza distinzione di età). Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva (quella negativa non è stata mostrata per motivi di chiarezza). Il blu indica il gruppo dei Maschi, il rosa quello delle Femmine.*

I valori della significatività statistica sono riportati in tabella 5.37.

Tipologia OF	No co-contrazione	Early Stance	Mid Stance	Pre Swing	Swing
Maschi - Femmine	0.00001	<0.00001	0.56338	<0.00001	<0.00001

Tabella 5.37 *Significatività statistica: i valori possono variare tra 0 ed 1. La soglia è stata impostata al 5%, cioè valori superiori a 0,05 indicano la NON significatività statistica. I valori in rosso sono quelli che superano il valore di soglia. Numeri arrotondati a 5 cifre dopo la virgola.*

I risultati statistici relativi a quest'ultimo confronto sono da considerare con prudenza, poiché le popolazioni considerate sono composte da 50 bambini e 12 adulti ciascuna, ragion per cui c'è il rischio di una forte polarizzazione dei dati a favore dei bambini.

5.5.3 Effetto concomitante di genere e età

Dalla Figura 5.18 e dalla tabella 5.31, possono essere estrapolate le informazioni relative ai confronti tra coppie di gruppi, mettendo quindi in evidenzia le differenze peculiari dei due gruppi confrontati.

5.5.3.1 Confronto gruppi BM - AM

In figura 5.21 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co-contrazioni tra i gruppi Bambini - Maschi e Adulti - Maschi.

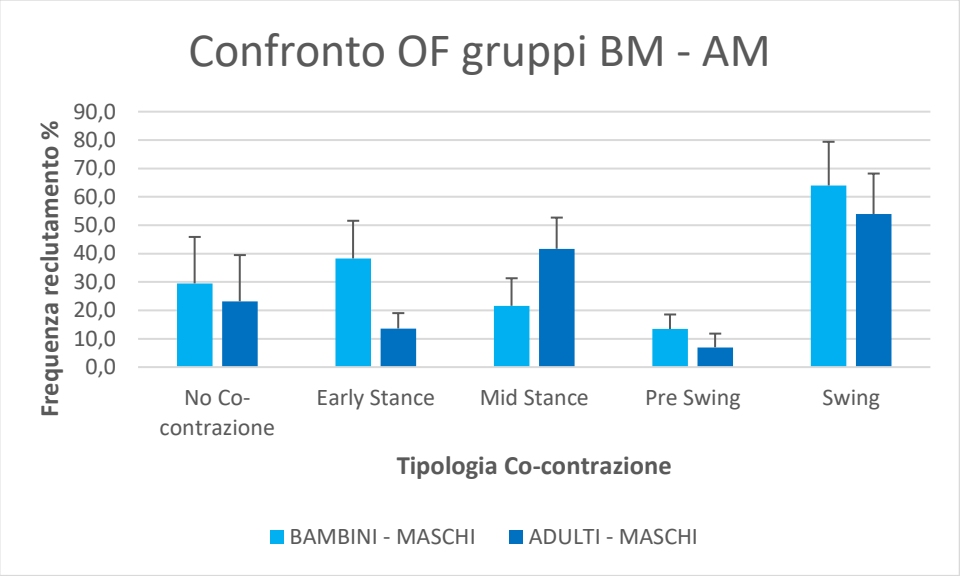


Figura 5.21 *Frequenze di reclutamento delle co-contrazioni, per i sottogruppi BM e AM. Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva. La legenda dei colori è riportata nel grafico.*

5.5.3.2 Confronto gruppi BF - AF

In figura 5.22 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co-contrazioni tra i gruppi Bambini - Femmine e Adulti - Femmine.

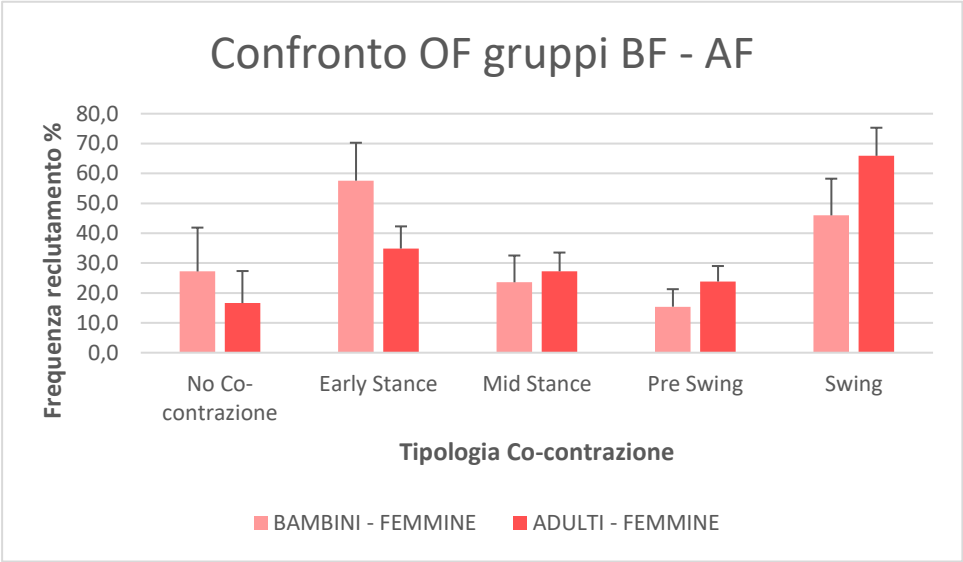


Figura 5.22 *Frequenze di reclutamento delle co-contrazioni, per i sottogruppi BF e AF. Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva. La legenda dei colori è riportata nel grafico.*

5.5.3.3 Confronto gruppi AM - AF

In figura 5.23 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co-contrazioni tra i gruppi Adulti - Maschi e Adulti - Femmine.

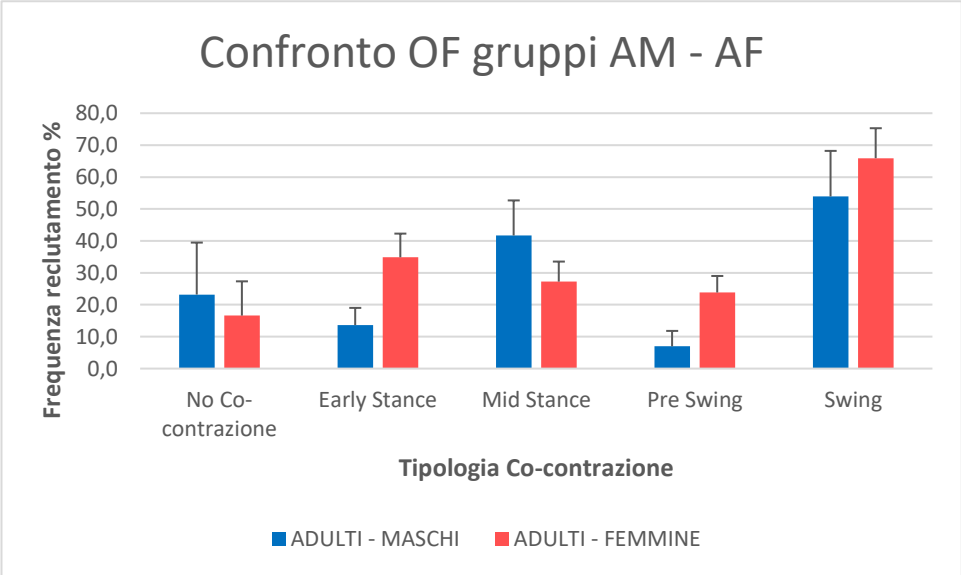


Figura 5.23 *Frequenze di reclutamento delle co-contrazioni, per i sottogruppi AM e AF. Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva. La legenda dei colori è riportata nel grafico.*

5.5.3.4 Confronto gruppi BM - BF

In figura 5.24 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co-contrazioni tra i gruppi Bambini - Maschi e Bambini - Femmine.

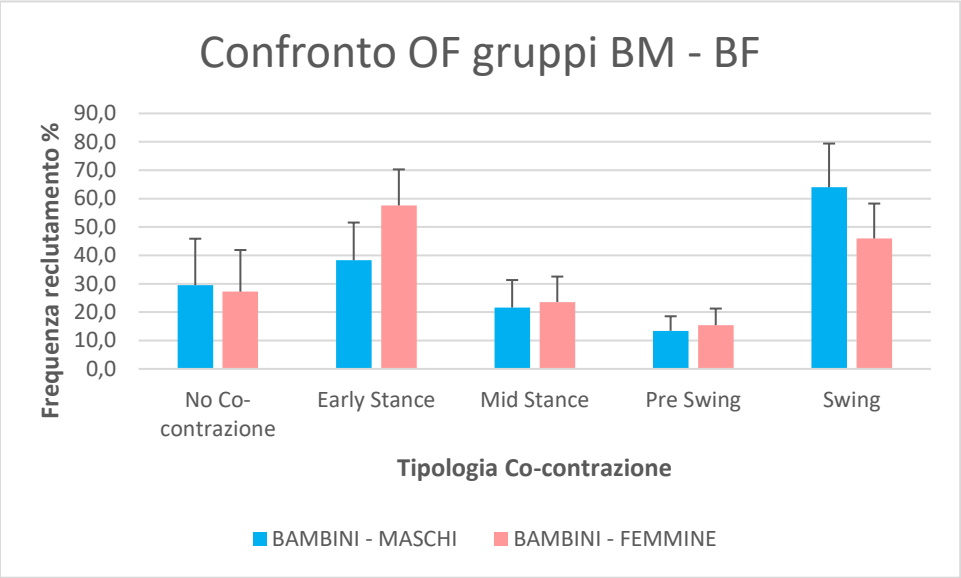


Figura 5.24 *Frequenze di reclutamento delle co-contrazioni, per i sottogruppi BM e BF. Le barre spesse indicano il valore medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard positiva. La legenda dei colori è riportata nel grafico.*

I valori delle significatività statistiche per tutti i confronti mostrati nel capitolo 5.5.3 "Effetto concomitante di genere e età" sono riportati in tabella 5.33.

6 Discussione risultati

Lo scopo di questo studio è di valutare possibili differenze dovute al genere e all'età nelle co-contrazioni tra Gastrocnemio Laterale (GL) e Tibiale Anteriore (TA) durante il cammino. I confronti sono stati effettuati non solo considerando gli istanti di attivazione e disattivazione dei muscoli, ma anche tenendo conto della frequenza di reclutamento (OF), cioè il numero di passi rispetto al totale in cui si verifica uno specifico evento.

I dati delle attivazioni muscolari nei bambini e negli adulti sono coerenti con quanto riportato in [4] e in [3], anche se ci sono alcune differenze nelle co-contrazioni degli adulti rispetto a quanto riportato in [5] (nello specifico nelle OF in *Mid Stance*). Nella letteratura [1] è riportata l'attivazione del GL principalmente durante le fasi di Appoggio intermedio, Appoggio terminale e Pre-oscillazione; mentre per il TA è nota l'attivazione durante le fasi di Risposta al carico e durante tutte le fasi legate all'oscillazione. In questo studio, invece, i muscoli hanno mostrato una alta variabilità nelle modalità di attivazione, come notato anche in [15] e di conseguenza molte più co-contrazioni rispetto a quelle che ci si sarebbe aspettati stando alla letteratura [1]. Proprio questa alta variabilità suggerisce di tenere in considerazione non solo il tipo di attivazione, ma anche quanto spesso si verifica (Frequenza di reclutamento) [15] .

6.1 Confronto frequenze di reclutamento del GL

Cinque modalità di attivazione per il GL e sei per il TA sono state rilevate ma, come già scritto nel capitolo 5 "Risultati", per via della diversa frequenza con la quale sono comparse alcune modalità rispetto ad altre, i dati relativi GL4, GL5, TA1, TA5 e TA6 (dove con GLn e TAn si intende la modalità n-attivazioni per il relativo muscolo) non sono stati considerati ai fini dello studio. Dalla figura 5.17 e dalla tabella 5.28 (paragrafo 5.4.3) è immediato notare come GL2 sia la modalità di attivazione più ricorrente, ad eccezione del gruppo Adulti - Maschi (AM) che presenta una percentuale di 41.0 ± 19.4% per la modalità ad 1-attivazione contro il 39.8 ± 11.2% della modalità a 2-attivazioni. Il gruppo Adulti - Femmine (AF) presenta una frequenza di reclutamento del GL1 significativamente inferiore a quella del gruppo AM (AF: 24.9 ± 20.4% vs AM: 41.0 ±

19.4%; p<0.01) che viene recuperata nella OF significativamente maggiore del GL3 (AF: 31.3 ± 13.2% vs AM: 19.2 ± 9.8%; p<0.01) (per i valori della significatività statistica riferirsi alla tabella 5.30). Al contrario, nel gruppo dei bambini non sono presenti differenze significative tra maschie e femmine per le frequenze di reclutamento del GL. Confrontando, infine, le differenze relative all'età (cioè confrontando i gruppi AM - BM e AF - BF) si può notare come non ci siano differenze statistiche rilevanti nella popolazione femminile al crescere dell'età; cosa non vera per la popolazione maschile, che mostra un incremento significativo (p≃0.02) nel numero di attivazioni di GL1 passando da un 31.6 ± 24.4% nei bambini ad un 41.0 ± 19.4% negli adulti e una diminuzione significativa (p≃0.01) nel numero di attivazioni di GL3 passando da un 29.7 ± 16.1% nei bambini ad un 19.2 ± 9.8% negli adulti. Questi risultati suggeriscono come le donne tendano a reclutare il Gastrocnemio Laterale (ed in generale anche il TA) in modalità più complesse (cioè con più attivazioni all'interno dello stesso ciclo del passo) indipendentemente dall'età [20], mentre i maschi con il crescere dell'età tendono a preferire modalità di reclutamento più semplici. Questi risultati coincidono con quelli ottenuti nell'articolo [6]. Oltretutto quest' idea viene rafforzata dagli studi effettuati sulla maturazione del passo [24] [25] che indicano l'adolescenza come il periodo dove il passo completa la sua maturazione.

6.2 Classificazione delle co-contrazioni e relative funzioni motorie

Dai grafici presenti nel capitolo 5.3 "Dati on/off delle attivazioni del TA" si può notare come la presenza di co-contrazioni aumenti all'aumentare del numero di attivazioni del TA e del GL all'interno dello stesso ciclo del passo. I muscoli studiati, quindi, non hanno il solo ruolo di agire come muscoli agonisti e antagonisti, controllando l'articolazione della caviglia nel piano sagittale [12], ma anche quello di migliorare il controllo motorio e la stabilità durante il cammino attraverso la co-contrazione [9]. Infatti, è molto più raro osservare un comportamento puramente agonistico/antagonistico (OF No co-contrazioni AM: 23.2 ± 16.3 %; AF: 16.6 ± 10.7 %; BM: 29.5 ± 16.4 %; BF: 27.2 ± 14.7 %)

rispetto all'osservare la contemporanea attivazione del TA e del GL (OF co-contrazioni AM: 76.8 ± 16.3 %; AF: 83.4 ± 10.7 %; BM: 70.5 ± 16.4 %; BF: 72.8 ± 14.7 %).

Le sovrapposizioni tra TA e GL (cioè la loro co-contrazione) coprono l'intero ciclo del passo, e sono quindi state divise in 4 tipologie:

- ***Early Stance*** (ES), comprendente le fasi di contatto iniziale e risposta al carico.
- ***Mid Stance*** (MS), comprendente la fase di Appoggio Intermedio e di Appoggio Terminale, ovvero il periodo in cui il corpo viene sorretto da una sola gamba.
- ***Pre Swing*** (PS), corrispondente alla fase di Pre-oscillazione.
- ***Swing*** (SW), comprendente le fasi di Oscillazione iniziale, intermedia e terminale, ovvero tutto il periodo di oscillazione della gamba.

Ogni tipologia di co-contrazione è stata identificata in ogni gruppo di soggetti analizzato, indipendentemente dal loro genere o dalla loro età.

Analizziamo gli effetti di ogni tipologia in base al ruolo del GL e del TA. Il primo tipo è l'***Early Stance***: qui il soggetto muove quasi tutto il suo peso corporeo da una gamba all'altra, ed è quindi necessaria una forte stabilizzazione della caviglia [12]. La co-contrazione del GL e del TA ha lo scopo di aumentare la stabilità e facilitare la transizione da doppio appoggio a supporto singolo. Le co-contrazioni durante la ***Mid Stance***, invece, presentano un'attivazione contemporanea tra un GL che realizza la flessione plantare della caviglia e un TA anomalo, poiché in questa fase la sua attivazione non serve per realizzare della flessione dorsale. In questa fase, i due muscoli sono attivati in modo non antagonistico: il GL plantarflette la caviglia, il TA realizza una inversione (o supinazione) del piede [26]. I muscoli agiscono in sinergia sulla caviglia per controllare l'avanzamento della tibia tramite l'*ankle rocker* (Figura 3.17), decelerando lo spostamento in avanti dell'arto inferiore e stabilizzandolo durante l'oscillazione dell'altro arto. Il terzo tipo è il ***Pre Swing***: il TA svolge la sua funzione di dorsiflessione della caviglia, mentre l'attivazione del GL in questa fase potrebbe essere legata ad una possibile eccessiva estensione del ginocchio, sfruttando quindi il GL come muscolo flessore di questa articolazione [12]. Secondo Olney [27] i due muscoli agiscono su articolazioni differenti

(il TA sulla caviglia, il GL sul ginocchio) e quindi una loro attivazione contemporanea non dovrebbe essere considerata una vera e proprio co-contrazione. Infine, il quarto tipo è lo ***Swing***: l'attivazione del TA serve a realizzare la flessione dorsale della caviglia (come nel *pre-swing*), mentre il GL potrebbe essere legato ad una possibile inversione del piede [15]. La loro co-attivazione potrebbe quindi servire per posizionare correttamente il piede per il prossimo contatto iniziale, che avvia il successivo passo.

6.3 Confronto frequenze di reclutamento delle co-contrazioni

Analizziamo adesso le frequenze di reclutamento delle co-contrazioni nelle popolazioni studiate, partendo dalla tabella 5.31 e dal grafico in figura 5.18.

6.3.1 Prima tipologia: *Early Stance*

Partiamo dalla prima tipologia: l'*Early Stance*. Si è presentata nella quasi totalità dei passi con GL3, escludendo solamente la combinazione GL3 + TA2 per il gruppo AM. Ricorrente è stata anche l'attivazione GL2, mancante solamente negli Adulti - Maschi, che si è co-attivata insieme al TA2 nei restanti gruppi ed in aggiunta con il TA3 solamente nel gruppo BF. Guardando il grafico (Figura 5.18) saltano all'occhio due importanti risultati: la notevolmente alta frequenza di reclutamento del gruppo BF rispetto alle altre popolazioni e la piuttosto bassa OF del gruppo AM. Concentriamoci per il momento sui bambini: il gruppo BF presenta una frequenza di reclutamento delle co-contrazioni in *Early Stance* del 50% maggiore (statisticamente significativo; $p<0.01$) rispetto a quella del gruppo BM suggerendo, quindi, già la necessità di una maggiore stabilizzazione della caviglia durante la fase di Risposta al carico. Guardando gli Adulti si ha una situazione simile: il gruppo AM presenta una *occurrence frequency* (OF) del 60% circa inferiore (statisticamente significativo; $p<0.01$) rispetto a quella del gruppo AF. Questi risultati suggeriscono come, indipendentemente dall'età, il genere femminile necessita un maggior controllo sulla caviglia nelle fasi iniziali del passo. Osservando invece i cambiamenti dovuti all'età, si può notare come, sia nei maschi che nelle femmine, il reclutamento delle co-contrazioni nella fase iniziale del passo cala notevolmente: nei

maschi, si passa da un 38.3 ± 13.3% nei bambini ad un 13.6 ± 5.4% negli adulti (statisticamente significativo; p<0.01); nelle femmine, si passa da un 57.6 ± 12.7% nei bambini ad un 34.9 ± 7.4% negli adulti (statisticamente significativo; p<0.01). Quest'ultimo risultato può suggerire come con il crescere dell'età divenga meno necessario una frequente stabilizzazione dell'articolazione della caviglia all'inizio del ciclo del passo.

6.3.2 Seconda tipologia: *Mid Stance*

La *Mid Stance* si è presentata nel 100% dei passi con TA4 (quindi con ogni modalità di attivazione del Gastrocnemio Laterale) in ogni gruppo analizzato. L'unica eccezione riguarda il gruppo AM che presenta un'ulteriore co-contrazione in *Mid Stance* tra GL3 e TA3. Infatti, guardando la figura 5.18 si può notare come la frequenza di reclutamento del gruppo AM sia la più elevata (significatività statistica p<0.01). Questo dato non trova riscontro con quanto riportato in [5], dove negli Adulti - Maschi si ha una frequenza di reclutamento della co-contrazione in *Mid Stance* del 26.22 ± 22.8% contro il 41.7 ± 11.0% riportato nella tabella 5.31, e negli Adulti - Femmine si ha un 41.5 ± 15.2% contro un 27.2 ± 6.3% qui riportato. Confrontando i grafici ottenuti per gli adulti in questo studio con quelli ottenuti nell'articolo [5], si notano differenze sostanziali nella OF della co-contrazione in *Mid Stance* e nella OF della No Co-contrazione (34.0 ± 19.9% contro il 23.2 ± 16.3% qui riportato) per quanto riguarda gli Adulti - Maschi. Invece, per gli Adulti - Femmine, si notano differenze più o meno marcante in tutte le tipologie di co-contrazione: nella frequenza di No Co-contrazione si ha un 12.5 ± 9.2% contro un 16.6 ± 10.7%, nell'*Early Stance* si ha un 40.7 ± 18.7% contro un 34.9 ± 7.4%, nella *Mid Stance* si ha un 41.5 ± 15.2% contro un 27.2 ± 6.3%, nel *Pre-swing* si ha un 16.6 ± 7.3% contro un 23.8 ± 5.2% e nello *Swing* si ha un 79.4 ± 13.7% contro un 65.9 ± 9.4%.

Per quanto riguarda il gruppo dei bambini non ci sono differenze significative tra maschi e femmine, ma, confrontando i risultati con l'articolo [4], viene confermato che la frequenza di co-contrazione in *Mid Stance* sia inferiore rispetto a quella calcolata in *Early Stance*. Considerando, infine, l'effetto dovuto all'età, l'unica differenza significativa è quella tra BM e AM dove l'*occurrence frequency* aumenta quasi del 100% raggiungendo

un'età adulta. Le differenze statistiche tra BM - AM e AF - AM sembrano suggerire come gli Adulti - Maschi tendano a controllare maggiormente l'avanzamento della tibia dell'arto stazionario (attraverso l'*ankle rocker*) e ad avere bisogno di un maggior controllo della stabilità della gamba, durante l'oscillazione dell'altro arto, rispetto alla controparte femminile e rispetto a quanto lo stesso gruppo avrebbe fatto in età più giovanile.

6.3.3 Terza tipologia: *Pre Swing*

Il *Pre Swing* è la modalità di co-contrazione meno frequente in tutti e quattro i gruppi. Si è presentata principalmente con il GL3 in combinazione con il TA3 (nei gruppi AF, BM e BF). Nel gruppo AF, inoltre, si ha un'ulteriore co-contrazione tra il GL1 e il TA3 e nel gruppo AM la si ha invece solamente tra il GL3 e il TA2. Dal grafico (Figura 5.18) si può notare come negli adulti la differenza di genere in questa tipologia di co-contrazione è la più evidente: nel gruppo AM si ha una OF del 7.0 ± 4.8%, contro la OF del gruppo AF del 23.8 ± 5.2%, cioè un aumento del 240% (statisticamente significativo; $p<0.01$). Nei bambini c'è una piccola differenza statisticamente rilevante ($p<0.01$), ma le rispettive OF sono molto simili tra loro (13.4 ± 5.1% nei BM e 15.4 ± 5.9% nei BF). Considerando, infine, il fattore età, si nota come nei maschi ci sia la tendenza a reclutare meno questa co-contrazione durante il cammino (passando dal 13.4 ± 5.1% nei bambini al 7.0 ± 4.8% negli adulti; $p<0.01$); mentre si ha la tendenza opposta nelle femmine (passando dal 15.4 ± 5.9% al 23.8 ± 5.2%; $p<0.01$). Questi risultati sembrano indicare come le donne, specialmente in età adulta, tendano a iper-estendere maggiormente il ginocchio rispetto alla controparte maschile, per questo il GL viene reclutato in modo da opporsi, flettendo il ginocchio. Come riportato nel paragrafo precedente, c'è una differenza non trascurabile con i risultati riportati in [5] (16.6 ± 7.3% presente nell'articolo contro un 23.8 ± 5.2% presente in questo studio). In ogni caso, la differenza di genere tra uomini e donne rimane confermata.

6.3.4 Quarta tipologia: *Swing*

Infine, l'ultima tipologia di co-contrazione: lo *Swing*. È la co-contrazione più frequente, con l'unica eccezione nel gruppo BF dove la OF più alta è l'*Early Stance*. Questa differenza si nota anche guardando a quali combinazioni di attivazioni muscolari corrisponde lo *Swing*: nei gruppi AM, AF e BM questa co-contrazione si presenta con la combinazione di GL2 + TA2, TA3 e TA4 e la combinazione di GL3 + TA2, TA3 e TA4; l'unica differenza risiede nel gruppo BF dove si ha GL2 + TA2 e TA4 e GL3 + TA2, TA3 e TA4. La mancanza della co-contrazione GL2 + TA3 diminuisce la OF del 19.9%.

Guardiamo adesso le differenze dovute al genere: negli adulti si ha una OF statisticamente maggiore nelle donne (65.9 ± 9.4% contro il 53.9 ± 14.3% negli uomini, $p<0.01$). Risultato confermato dall'articolo [5] anche se la frequenza dello Swing nelle donne risulta più alta (79.4 ± 13.7% in [5] contro un 65.9 ± 9.4% riportato qui). Nei bambini, invece, si ha un andamento opposto: i maschi hanno un OF statisticamente maggiore rispetto alle femmine (64.0 ± 15.4% nei BM contro il 46.0 ± 12.3% nei BF, $p<0.01$). Da notare è la differenza della frequenza di *Swing* riportata nell'articolo [4]: in quest'articolo non si è analizzato l'effetto del genere nel cammino dei bambini, ma i risultati mostrano un OF dello Swing del 73.2 ± 22.6%, contro un valore medio tra maschi e femmine del 55.0 ± 19.7% ottenuto dal presente studio.

Infine, valutiamo le differenze dovute all'età: dal grafico (Figura 5.18) è immediato notare come all'avanzare dell'età la frequenza di reclutamento nei maschi diminuisca del circa il 15% passando da un 64.0 ± 15.4% nei bambini ad un 53.9 ± 14.3% negli uomini; andamento opposto nelle donne che aumentano la loro OF di un 43% circa passando da un 46.0 ± 12.3% nelle bambine ad un 65.9 ± 9.4% nelle donne.

Questi risultati evidenziano come la necessità di posizionare correttamente il piede per il contatto iniziale varia con l'avanzare dell'età: nei bambini sono i maschi a necessitare di un maggior controllo, mentre negli adulti i risultati si ribaltano e identificano le donne come coloro che ne necessitano maggiormente.

Delle ipotetiche spiegazioni delle differenze riportate nei paragrafi precedenti tra questo studio e gli articoli citati, potrebbero trovare soluzione in due punti. In primo luogo, in questo studio sono state discusse un numero limitato di modalità di attivazione dei TA e GL rispetto a quanto fatto in [4] [5]. In secondo luogo, la casistica esaminata e la classificazione delle co-contrazioni nell'articolo [2] sono diverse da quelle analizzate in questo studio. Nello specifico, la suddivisione delle co-contrazioni all'interno del ciclo del passo è avvenuta in base ai seguenti criteri [2]:

- *Early Stance*: dal 5 al 10% del ciclo del passo;
- *Mid Stance*: dal 10 al 40% del ciclo del passo;
- *Pre Swing*: dal 50 al 60% del ciclo del passo;
- *Swing*: dal 60 al 100% del ciclo del passo.

Si può notare, in special modo, come co-contrazioni avvenute tra il 40% e il 50% non siano incluse in questa suddivisione, poiché non si sono verificate nei soggetti analizzati in quell'articolo. In questo studio, invece, sono state ricorrenti, in particolar modo nel gruppo Adulti - Maschi, inducendomi a classificare quelle co-contrazioni come *Mid Stance* o come *Pre Swing*, valutando di volta in volta gli istanti iniziali e finali degli intervalli di co-attivazione.

7 Conclusione

I risultati ottenuti mostrano una percentuale di co-contrazione statisticamente maggiore ($p<0.01$) nei soggetti femminili rispetto a quelli maschili e negli adulti rispetto ai bambini. Più nello specifico: in *Early Stance* si può notare la frequenza di reclutamento delle co-contrazioni più alta nei bambini rispetto agli adulti e nelle femmine rispetto ai maschi (sia nei bambini che negli adulti); in *Mid Stance* l'unica differenza significativa si ha nel gruppo AM che presenta una più alta OF rispetto agli altri gruppi di confronto; in *Pre Swing* la differenza di genere è marcata solo negli adulti; in Swing, invece, è riportata una tendenza opposta tra i due generi all'avanzare dell'età, infatti i maschi riducono il numero di volte che la reclutano durante il cammino, mentre le femmine l'aumentano. Guardando i grafici presenti nel capitolo 5.5 "Co-contrazione" è immediato notare come la frequenza di reclutamento del *Pre Swing* sia la più bassa rispetto a tutte le altre modalità di co-contrazione, mentre lo Swing rappresenta la modalità più reclutata, con l'unica eccezione nel gruppo BM, che presenta l'*Early Stance* come co-contrazione più sfruttata.

Negli adulti la differenza di genere è piuttosto marcata (significatività statistica per tutte le tipologie di co-contrazioni; $p<0.01$) (Figura 5.23), mentre nei bambini le differenze principali risiedono in *Early Stance* e *Swing* (Figura 5.24). Concentrandosi, invece, sul fattore età, nei maschi le differenze maggiori ($p<0.01$) si hanno in *Early Stance* e *Mid Stance* (Figura 5.21), mentre nelle femmine si notano importanti differenze ($p<0.01$) in *Early Stance* e *Swing* (Figura 5.22).

In conclusione, i risultati ottenuti mostrano come gli effetti del genere e dell'età non possano venire trascurati durante la valutazione della co-contrazione muscolare e, quindi, è necessario che, nel riconoscere comportamenti patologici da quelli fisiologici durante il cammino, si tengano in considerazione il genere e l'età del paziente.

8 Bibliografia

[1] J. Perry, Gait Analysis: Normal and Pathological Function, Thorofare, USA: SLACK Inc., 1992.

[2] A. Mengarelli, A. Strazza, S. Fioretti, L. Burattini, F. D. Nardo, V. Agostini e M. Knaflitz, «Ankle Muscles Co-activation during Walking: a Gender Comparison in Adults and Children,» *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS),* pp. 1-4, 2017.

[3] F. D. Nardo, A. Mengarelli, E. Maranesi, L. Burattini e S. Fioretti, «Assessment of the ankle muscle co-contraction during normal gait: A surface electromyography study,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 25, n. 2, pp. 347-354, 2015.

[4] F. D. Nardo, A. Mengarelli, L. Burattini, E. Maranesi, V. Agostini, A. Nascimbeni, M. Knaflitz e S. Fioretti, «Normative EMG patterns of ankle muscle co-contractions in school-age children during gait,» *Gait & Posture,* vol. 46, pp. 161-166, 2016.

[5] A. Mengarelli, E. Maranesi, L. Burattini, S. Fioretti e F. D. Nardo, «Co-contraction activity of ankle muscles during walking: A gender comparison,» *Biomedical Signal Processing and Control,* vol. 33, pp. 1-9, 2017.

[6] F. D. Nardo, G. Laureati, A. Strazza, A. Mengarelli, L. Burattini, V.Agostini, A. Nascimbeni, M. Knaflitz e S. Fioretti, «Is child walking conditioned by gender? Surface EMG patterns in female and male children,» *Gait & Posture,* vol. 53, pp. 254-259, 2017.

[7] A. Schmitz, A. Silder, B. Heiderscheit, J. Mahoney e D. G. Thelen, «Differences in lower-extremity muscular activation during walking between healthy older and

young adults,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 19, n. 6, pp. 1085-1091, 2009.

[8] G. Frost, J. Dowling, K. Dyson e O. Bar-Or, «Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 7, n. 3, pp. 179-186, 1997.

[9] B. L. Riemann e S. M. Lephart, «The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability,» *Journal of Athletic Training,* vol. 37, n. 1, pp. 80-84, 2002.

[10] M. C. N. Rosa, A. Marques, S. Demain, C. D. Metcalf e J. Rodrigues, «Methodologies to assess muscle co-contraction during gait in people with neurological impairment – A systematic literature review,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 24, n. 2, pp. 179-191, 2014.

[11] R. Merletti, A. Botter, A. Troiano, E. Merlo e M. A. Minetto, «Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: State of the art,» *Clinical Biomechanics,* vol. 24, n. 2, pp. 122-134, 2009.

[12] D. Winter, Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 2° ed., New york: Wiley, 1990.

[13] H. J. Hermens, B. Freriks e G. R. C. Disselhorst-Klug, «Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 10, n. 5, pp. 361-374, 2000.

[14] R. L. J. C.M. Powers, «Timing and Intensity of Vastus Muscle Activity During Functional Activities in Subjects With and Without Patellofemoral Pain,» *Physical Therapy,* vol. 76, n. 9, p. 946–955, 1996.

[15] F. D. Nardo, G. Ghetti e S. Fioretti, «Assessment of the activation modalities of gastrocnemius lateralis and tibialis anterior during gait: A statistical analysis,» *Journal of Electromyography and Kinesiology,* vol. 23, n. 6, pp. 1428-1433, 2013.

[16] V. Agostini, G. Balestra e M. Knaflitz, «Segmentation and classification of gait cycles,» *IEEE transactions neural systems rehabilitation engineering,* vol. 22, p. 946–952, 2014.

[17] V. Agostini e M. Knaflitz, «Statistical gait analysis,» in *Distributed Diagnosis and Home Healthcare*, California (USA): American Scientific, U. Rajendra Acharya; Toshiyo T.; Subbaram Naidu D.; Jasjit SS; Stevenson Ranch, 2012, p. 99–121.

[18] P. Bonato, T. D'Alessio e M. Knaflitz, «A statistical method for the measurement of muscle activation intervals from surface myoelectric signal during gait,» *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* vol. 45, n. 3, pp. 287-299, 1998.

[19] V. Agostini e M. Knaflitz, «An Algorithm for the Estimation of the Signal-To-Noise Ratio in Surface Myoelectric Signals Generated During Cyclic Movements,» *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* vol. 59, n. 1, pp. 219 - 225, 2012.

[20] F. D. Nardo, A. Mengarelli, E. Maranesi, L. Burattini e S. Fioretti, «Gender differences in the myoelectric activity of lower limb muscles in young healthy subjects during walking,» *Biomedical Signal Processing and Control,* vol. 19, pp. 14-22, 2015.

[21] V. Agostini, A. Nascimbeni, A. Gaffuri, P. Imazio, M. Benedetti e M. Knaflitz, «Normative EMG activation patterns of school-age children during gait,» *Gait & Posture,* vol. 32, n. 3, pp. 285-289, 2010.

[22] F. D. Nardo, V. Agostini, M. Knaflitz, A. Mengarelli, E. Maranesi, L. Burattini e S. Fioretti, «The occurrence frequency: A suitable parameter for the evaluation of the

myoelectric activity during walking,» *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC),* pp. 6070-6073, 2015.

[23] A. D. Otter, A. Geurts, T. Mulder e J. Duysens, «Gait recovery is not associated with changes in the temporal patterning of muscle activity during treadmill walking in patients with post-stroke hemiparesis,» *Clinical Neurophysiology,* vol. 117, n. 1, pp. 4-15, 2006.

[24] T. Petersen, M. Kliim-Due, S. Farmer e J. B. Nielsen, «Childhood development of common drive to a human leg muscle during ankle dorsiflexion and gait,» *The Journal of Physiology,* vol. 588, n. 22, p. 4387–4400, 2010.

[25] D. Sutherland, R. Olshen, L. Woo e S. L. Cooper, «The Development of Mature Gait,» *the journal of bone and joint surgery,* vol. 62, n. 3, pp. 336-353, 1980.

[26] F. D. Nardo, A. Mengarelli, G. Ghetti e S. Fioretti, «Statistical Analysis of EMG Signal Acquired from Tibialis Anterior during Gait,» *IFMBE Proceedings,* vol. 41, pp. 619-622, 2014.

[27] S. Olney, «Quantitative evaluation of cocontraction of knee and ankle muscles in normal walking,» in *biomechanics IX-A Human Kinetics*, champaign (IL), D.A. Winter; R.W. Norman; R.P. Wells; K.C. Hays; A.E. Patla , 1985, pp. 431-435.