



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Biomedica

**Correlazione tra genere e età nelle
sinergie dei muscoli del ginocchio**

Correlation between gender and age in knee muscle
synergies

Relatore:

Prof. **Di Nardo Francesco**

Correlatore:

Prof. **Fioretti Sandro**

Tesi di Laurea di:

Roscini Riccardo

A.A. 2019 / 2020

Indice

1 INTRODUZIONE	1
2 La contrazione e la co-contrazione muscolare	5
2.1 Struttura del muscolo	5
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 (<i>Weight acceptance</i>)	12
3.3.1.1 Fase 1: <i>Contatto iniziale (Initial Contact)</i>	12
3.3.1.2 Fase 2: <i>Risposta al carico (Loading Response)</i>	13
3.3.2 Secondo compito: Supporto singolo (<i>Single Limb Support</i>)	14
3.3.2.1 Fase 3: <i>Appoggio intermedio (Mid Stance)</i>	14
3.3.2.2 Fase 4: <i>Appoggio terminale (Terminal Stance)</i>	15
3.3.3 Terzo compito: Avanzamento dell'arto (<i>Limb Advancement</i>)	16
3.3.3.1 Fase 5: <i>Pre-oscillazione (Pre-Swing)</i>	16
3.3.3.2 Fase 6: <i>Oscillazione iniziale (Initial Swing)</i>	17
3.3.3.4 Fase 8: <i>Oscillazione terminale (Terminal Swing)</i>	18
4 Materiali e metodi	20
4.1 Soggetti	20
4.2 Acquisizione del segnale EMG	21
4.3 Elaborazione del segnale	24
4.4 Statistical Gait Analysis (SGA)	25
4.5 Calcolo delle co-contrazioni	26
5. Risultati	27
5.1 Frequenza di reclutamento delle modalità di attivazione dei muscoli MH, VL e RF	27
5.2 Dati on/off delle attivazioni del RF	29
5.3 Dati on/off delle attivazioni del VL	35
5.4 Dati on/off delle attivazioni del VL in funzione del RF	39
5.4.1 Gruppo Adulti – Maschi	39
5.4.2 Gruppo Adulti – Femmine	43
5.4.3 Gruppo Bambini – Maschi	47
5.4.4 Gruppo Bambini – Femmine	51
5.5 Dati on/off delle attivazioni del MH in funzione del VL	55
5.5.1 Gruppo Adulti – Maschi	55

5.5.2 Gruppo Adulti – Femmine	60
5.5.3 Gruppo Bambini – Maschi	64
5.5.4 Gruppo Bambini – Femmine	68
5.6 Frequenze di reclutamento VL-RF	73
5.6.1 Gruppo Adulti	73
5.6.2 Gruppo Bambini	74
5.6.3 Frequenze di reclutamento RF	76
5.7 Frequenze di reclutamento MH-VL	77
5.7.1 Gruppo Adulti	77
5.7.2 Gruppo Bambini	78
5.7.3 Frequenze di reclutamento VL	80
5.8 Co – contrazione	81
5.8.1 Confronto Adulti – Bambini	82
5.8.2 Confronto Maschi – Femmine	83
5.8.3 Effetto concomitante di genere e età	84
5.8.3.1 Confronto gruppi BM – AM	84
5.8.3.2 Confronto gruppi BF – AF	85
5.8.3.3 Confronto gruppi AM – AF	86
5.8.3.4 Confronto gruppi BM – BF	87
6 Discussione Risultati e Conclusione	88
6.1 Confronto frequenze di reclutamento del RF	88
8 Bibliografia	91

1 Introduzione

Il ginocchio è una delle articolazioni più resistenti del corpo umano. Da un lato è sufficientemente mobile da consentire il movimento della parte inferiore della gamba, indispensabile per svolgere molte attività quotidiane, come camminare, stare seduti, correre e mantenere la posizione eretta. Dall'altro è sufficientemente forte da farsi carico del peso del corpo. Il ginocchio è un'articolazione formata dall'incontro di 3 ossa: femore, tibia e rotula. Le prime due entrano in contatto alle loro estremità, mentre la rotula è collocata davanti al femore. Le superfici ossee sono rivestite da un sottile strato di cartilagine che le protegge e che, rendendole estremamente lisce, scongiura pericolosi attriti durante il movimento. Inoltre tra il femore e la tibia è presente un'altra struttura fibrocartilaginea, il menisco, che assorbe gli shock prevenendo il contatto fra le ossa durante attività fisiche intense come correre e saltare. Infine, le ossa del ginocchio sono circondate da una capsula avvolta dalla membrana responsabile della produzione del liquido sinoviale, responsabile della lubrificazione dell'articolazione.

La capsula è in connessione diretta con i legamenti che mantengono il ginocchio in posizione, ne rafforzano la struttura e garantiscono il corretto posizionamento delle ossa. La rotula è tenuta in posizione dal legamento patellare, che si estende dal suo bordo inferiore fino alla tibia. Posteriormente, invece, i legamenti poplitei obliquo e arcuato uniscono il femore alla tibia e al perone. Infine, i legamenti collaterali mediale e laterale connettono il femore e la tibia impedendo che il ginocchio si muova lateralmente verso l'interno o l'esterno del corpo, mentre i crociati prevengono l'estensione eccessiva del ginocchio (crociato anteriore) e impediscono alla tibia di muoversi posteriormente rispetto al femore (crociato posteriore).

Una serie di altre strutture contribuiscono a proteggere l'articolazione da forze esterne e attriti, in particolare piccoli sacchetti contenenti liquido lubrificante (borse) e formazioni di tessuto adiposo che aiutano, rispettivamente, a ridurre l'attrito tra le ossa e a fare da cuscinetto in grado di assorbire le forze esterne.

Il ginocchio permette la flessione e l'estensione della parte inferiore della gamba rispetto alla coscia. Il suo raggio di movimento è limitato dalla sua stessa anatomia e si ferma a circa 120 gradi ma, rispetto ad altre articolazioni simili, quando è moderatamente flesso permette una certa libertà di rotazione verso l'interno e l'esterno.

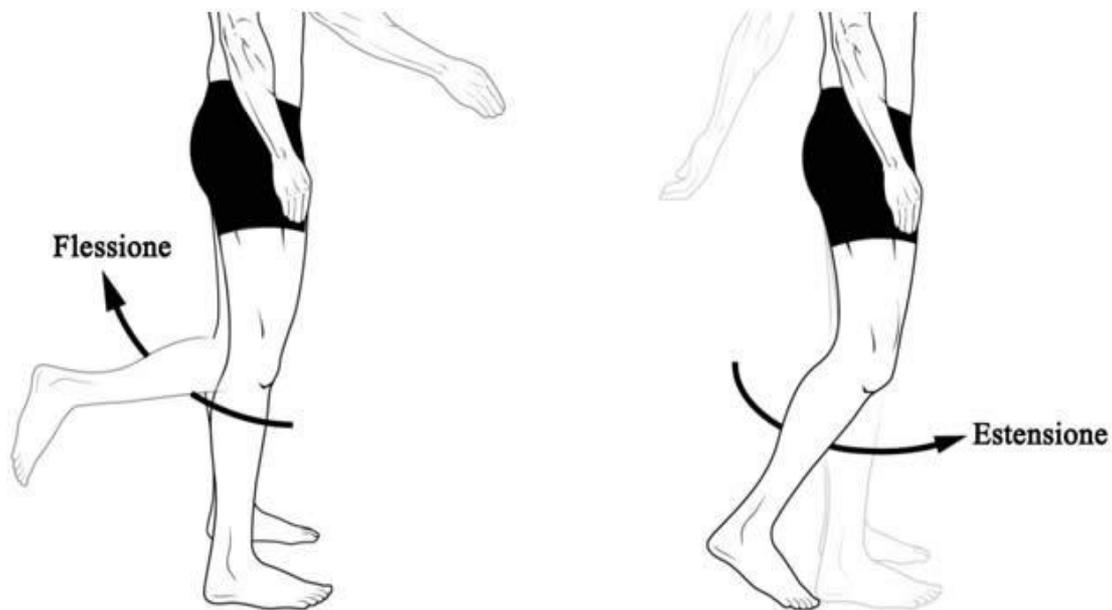


Figura 1.1 Movimenti di flessione ed estensione della parte inferiore della gamba.

Prima di andare ad analizzare i muscoli elencati in questo studio, faremo un breve richiamo di anatomia.

Gli anatomisti suddividono i muscoli della coscia in base alla loro localizzazione, ne deriva che esistono: **i muscoli della coscia del compartimento anteriore**, **i muscoli della coscia del compartimento mediale**, **i muscoli della coscia del compartimento posteriore** [1].

1. **Muscoli della coscia del compartimento anteriore:** Situati sul davanti della coscia, i muscoli della coscia del compartimento anteriore sono in tutto 4: il **muscolo Sartorio**, il **muscolo Pettineo**, il **muscolo Quadricipite Femorale** e il **muscolo Ilio - Psoas**.
2. **Muscoli della coscia del compartimento mediale:** Situati nella porzione interna della coscia, i muscoli della coscia del compartimento mediale sono in tutto 5: il **muscolo Gracile**, il **muscolo Otturatore Esterno**, il **muscolo Adduttore Breve**, il **muscolo Adduttore Lungo** e il **muscolo Grande Adduttore**.
3. **i muscoli della coscia del compartimento posteriore:** Situati sul di dietro della coscia, i muscoli della coscia del compartimento posteriore sono in tutto 3: il **muscolo Bicipite Femorale**, il **muscolo Semitendinoso**, il **Muscolo Semimembranoso**. I muscoli della coscia del compartimento posteriore sono noti anche con il termine inglese di **Hamstring**.

In questo studio andrò a considerare il **Retto Femorale** (Figura 1.2), il **Vasto Laterale** (Figura 1.2) e i muscoli **Ischiocrurali (Hamstring)** (Figura 1.3).

Il Retto Femorale e il Vasto Laterale sono due dei quattro muscoli che compongono il quadricipite femorale.



Figura 1.2 Muscoli del Quadricipite Femorale.

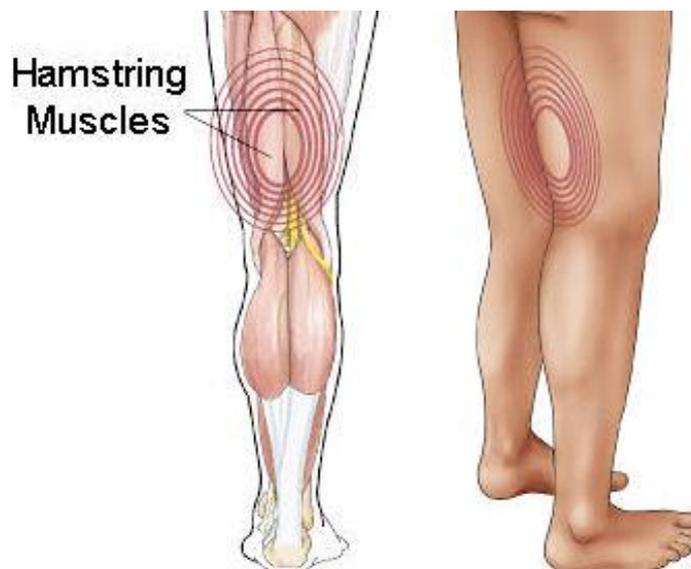


Figura 1.3 Muscoli di Hamstring.

Nello specifico andrò ad analizzare la contrazione simultanea (co-contrazione) di questi tre 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. 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.

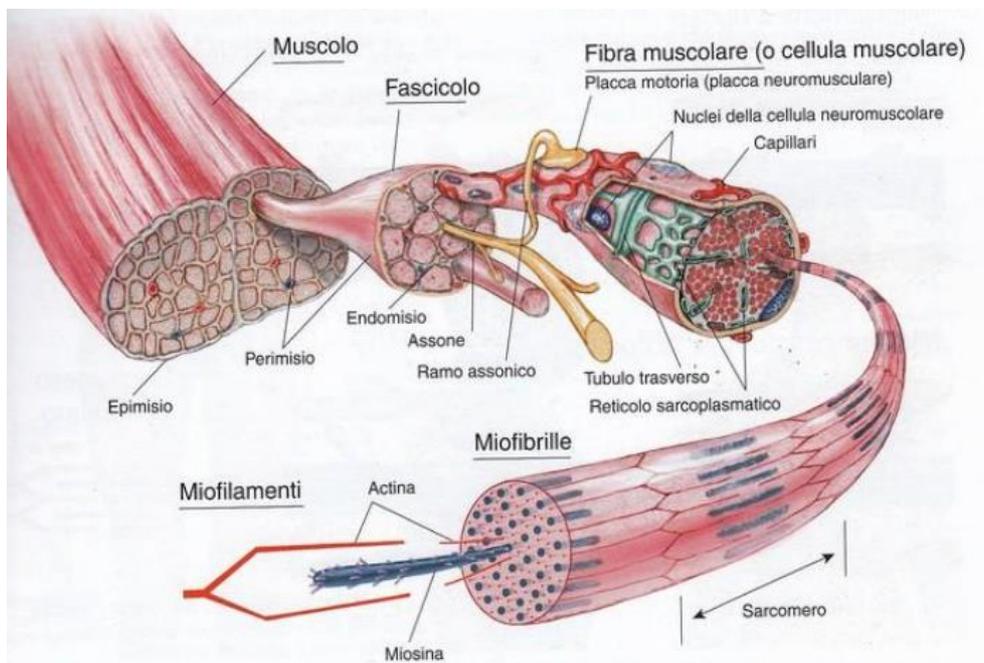


Figura 2.1 Rappresentazione degli elementi costitutivi del tessuto muscolare striato scheletrico.

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. 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.

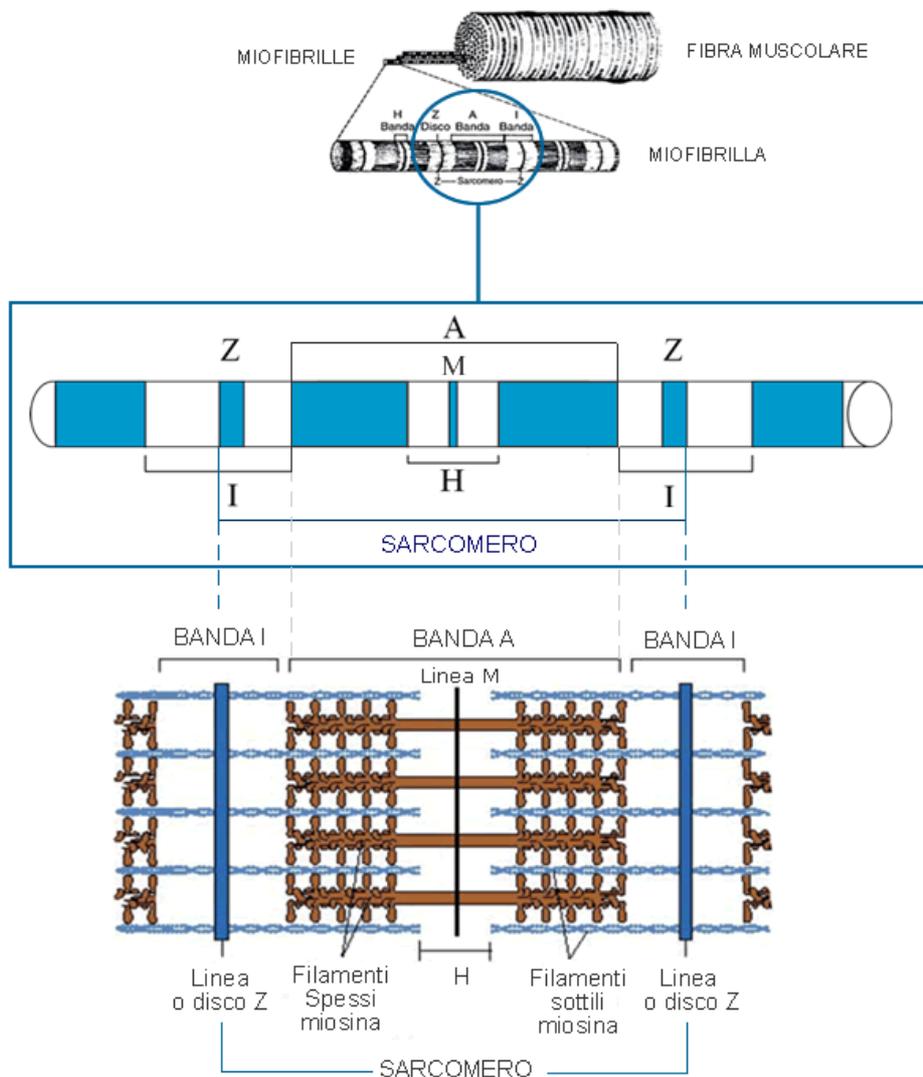


Figura 2.2 Rappresentazione degli elementi costitutivi del tessuto muscolare striato scheletrico.

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.

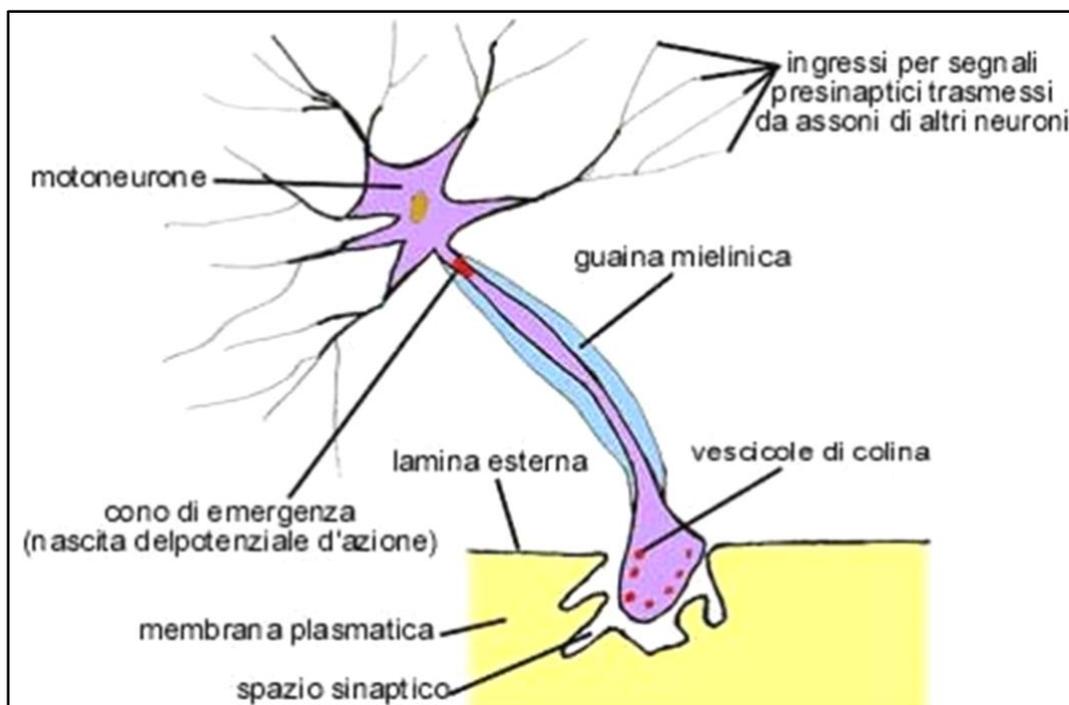


Figura 2.3 Rappresentazione della placca motrice o giunzione/sinapsi neuromuscolare.

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 rigidità delle articolazioni, la stabilità della postura e la precisione dei movimenti [2]. 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 [3].

3 Gait Analysis (Analisi del passo)

Basandomi sugli studi di Jacquelin Perry [4] 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 cammino 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).

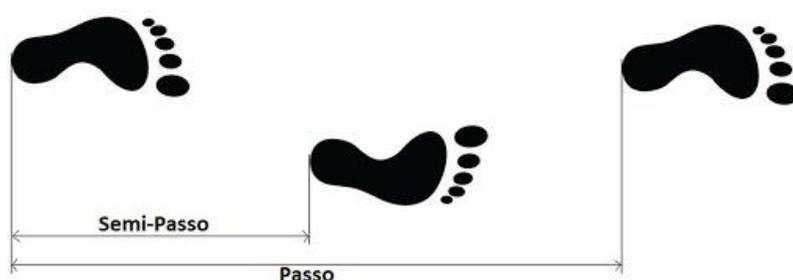


Figura 3.1 Definizione del termine passo: indica l'intervallo tra due successivi contatti con il suolo dello stesso piede. Il semi-passo invece è l'intervallo tra due contatti iniziali di ogni piede.

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).

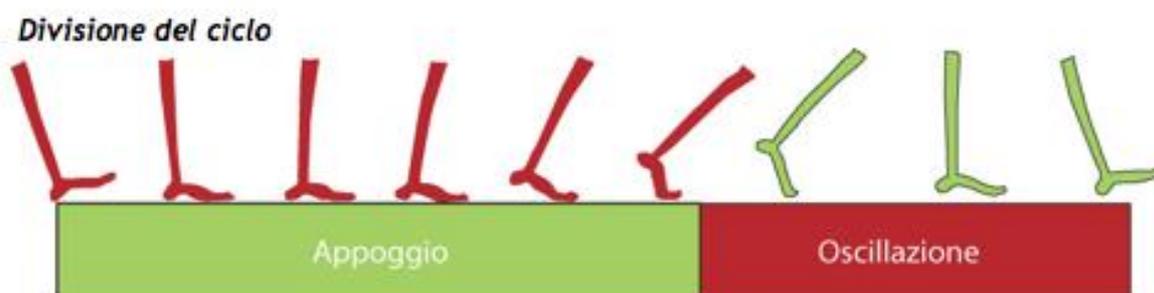


Figura 3.2 Divisione del ciclo del passo.

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.

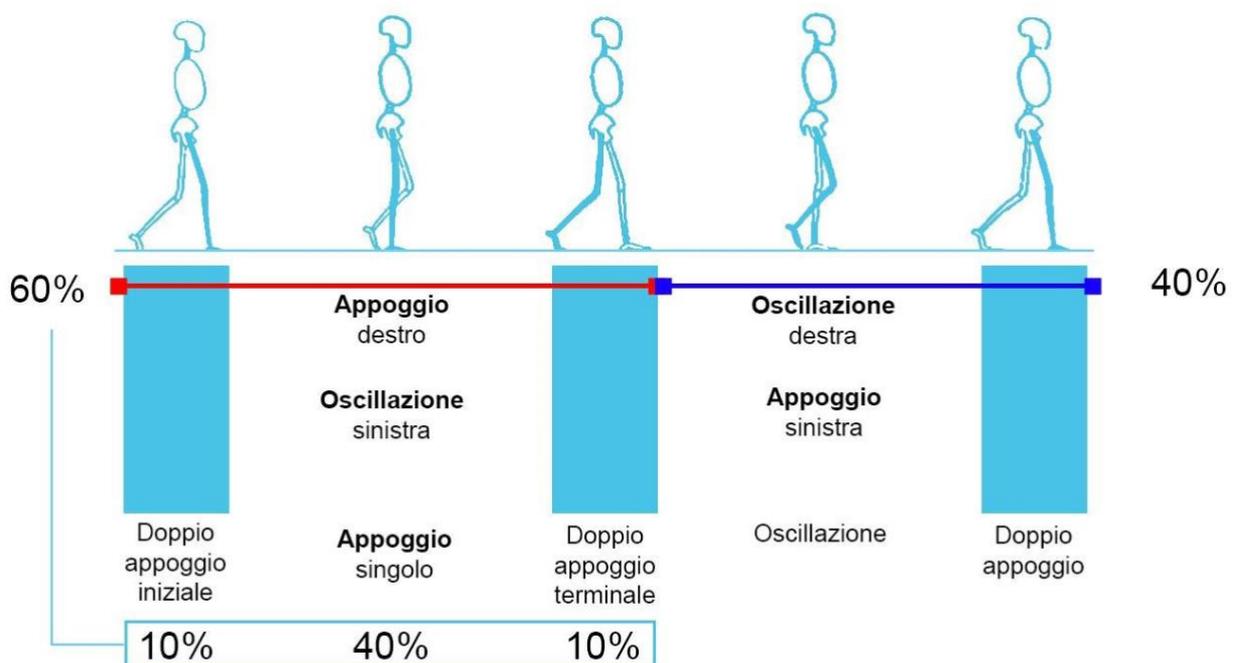


Figura 3.3 Suddivisione dei periodi stance e swing nel ciclo del passo.

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:

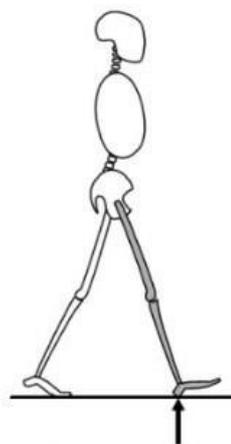
- **Accettazione del peso (*Weight acceptance*);**
- **Supporto singolo (*Single Limb Support*);**
- **Avanzamento dell'arto (*Limb Advancement*).**

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*)**.

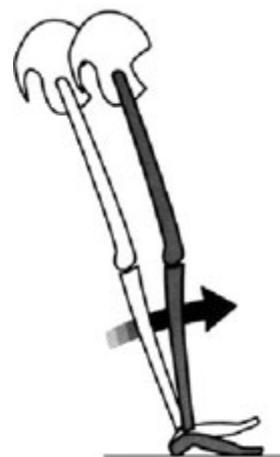
3.3.1.1 Fase 1: Contatto iniziale (*Initial Contact*)

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).



a) Initial Contact

Figura 3.4 Contatto iniziale. L'altro arto è alla fine dell'appoggio terminale. La sfumatura indica l'arto di riferimento.



Heel Rocker

Figura 3.5 L'avanzamento del corpo 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.

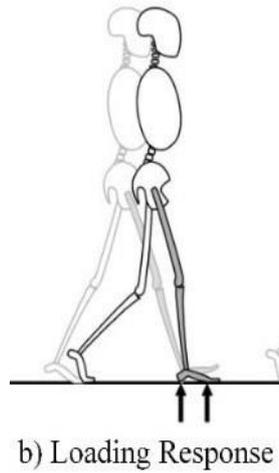


Figura 3.6 Risposta al carico. Il peso del corpo è trasferito sull'arto anteriore. L'altro arto è nella fase di pre-oscillazione. La sfumatura indica l'arto di riferimento.

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.

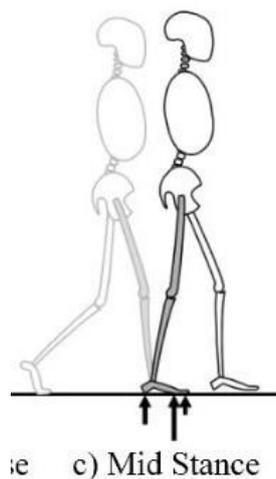


Figura 3.7 Appoggio intermedio. L'altro arto si trova nella fase di oscillazione intermedia. La sfumatura indica l'arto di riferimento.

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.

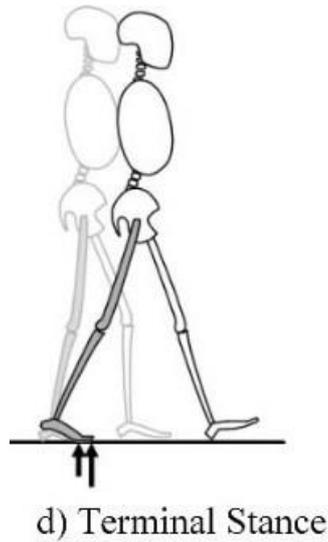


Figura 3.8 Appoggio terminale. L'altro arto si trova nella fase di oscillazione terminale (definita più avanti). La sfumatura indica l'arto di riferimento.

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.

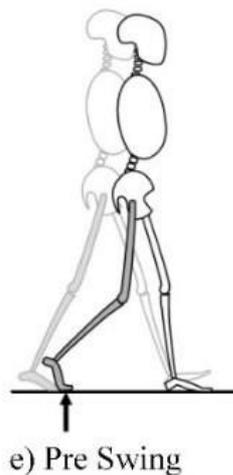
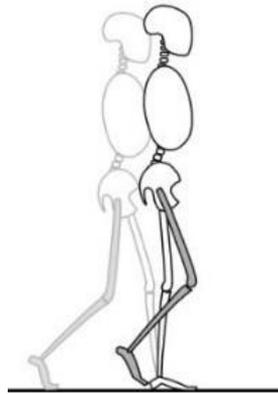


Figura 3.9 Pre-oscillazione. L'altro arto si trova nella fase di risposta al carico. La sfumatura indica l'arto di riferimento.

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.

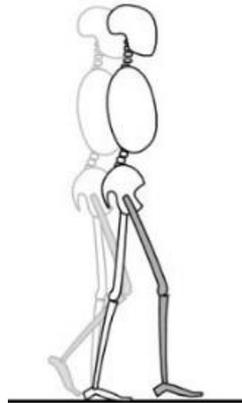


f) Initial Swing

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.

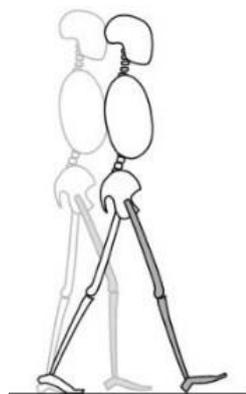


g) Mid Swing

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'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:

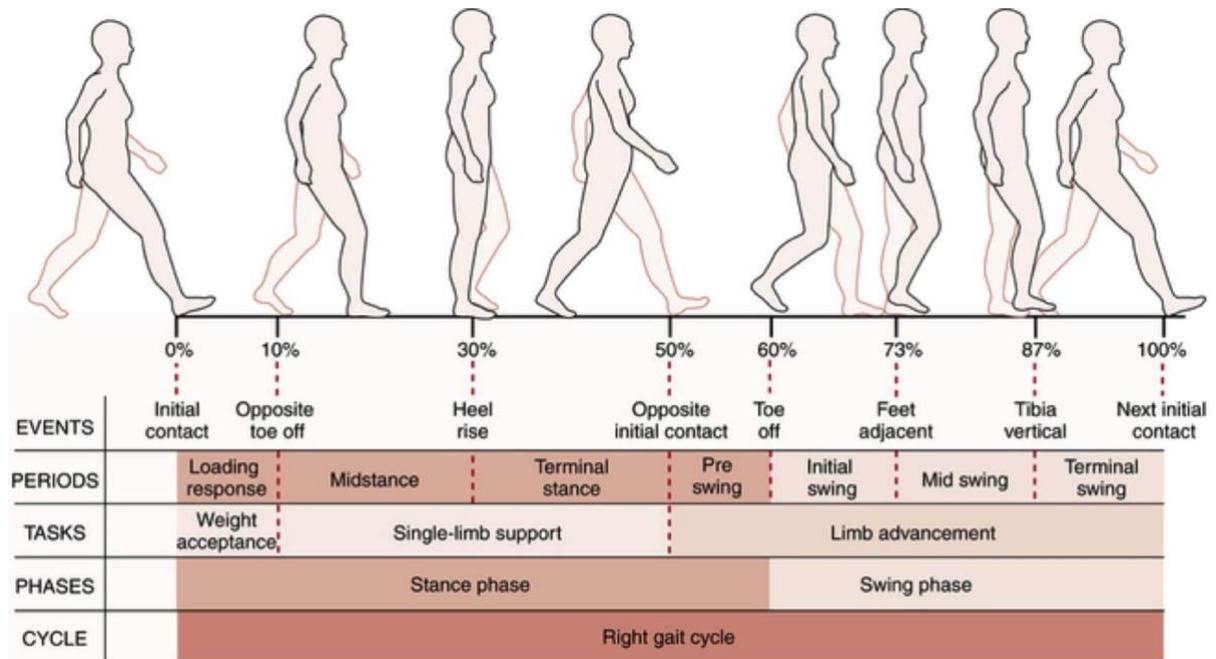


Figura 3.13 Fasi del passo in funzione dei compiti da assolvere e dei periodi di stance e swing nel ciclo del passo.

4 Materiali e metodi

4.1 Soggetti

Trenta adulti (15 maschi e 15 femmine) sono stati reclutati presso il Laboratorio di Analisi del Movimento, Dipartimento di Ingegneria dell'informazione, Università Politecnica delle Marche, Ancona. Parallelamente, cento bambini (50 maschi e 50 femmine) sono stati analizzati presso l'Ospedale Santa Croce di Moncalieri (TO). Ai fini dello studio i soggetti sono stati suddivisi 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)	24.2	± 2.0	23.4	±1.8	9.1	±1.4	9.0	±1.3
Altezza (m)	1.8	± 0.1	1.66	±0.1	1.3	±0.1	1.3	±0.1
Peso (kg)	73.4	± 12.4	53.2	±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 dal sistema di registrazione multicanale 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 [5].

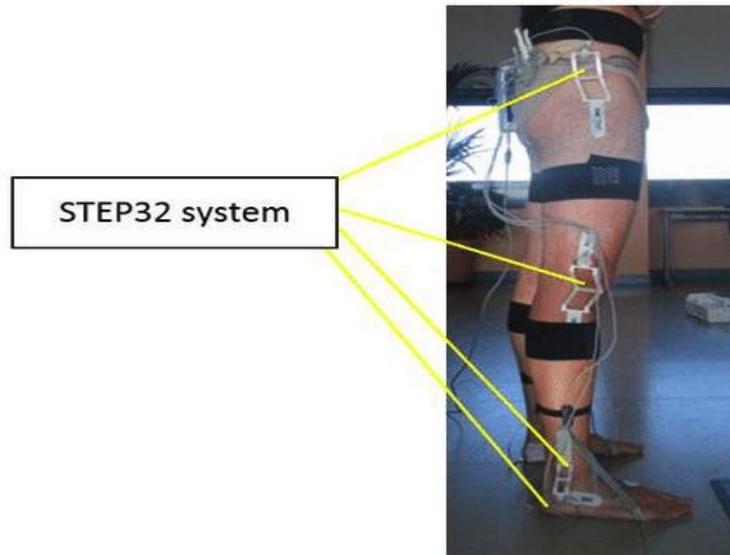


Figura 4.1 STEP 32: sistema elettromedicale per l'analisi statistica del cammino.

Ogni soggetto era dotato di interruttori basografici (foot-switches) (Figura 4.2),



Figura 4.2 Esempio di interruttori basografici con relativo posizionamento sul piede (primo interruttore da sinistra relativo al tallone, il secondo interruttore in alto relativo alla prima testa del metatarso, terzo interruttore in basso relativo alla quinta testa del metatarso).

elettro-goniometri sul ginocchio (Figura 4.3) e sonde per effettuare l'elettromiografia di superficie su entrambi gli arti inferiori (Figura 4.4).



Figura 4.3 Esempio di elettro – goniometro applicato al ginocchio.



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

I tre foot - switches (dimensione: 11 x 11 x 0.5 mm; forza di attivazione: 3N) sono stati incollati sotto il tallone e sotto la prima e la quinta testa del metatarso 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.

Il segnale elettromiografico è stato rilevato con sonde EMG a geometria fissa, singolo differenziale costituite da dischi in argento (produttore: Medical Technology, diametro: 4mm (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 μV_{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 Retto Femorale (RF), il Vasto Laterale (VL) e medialmente sugli Hamstring (ischiocrurali, MH) in entrambi gli arti inferiori (Figura 4.5).

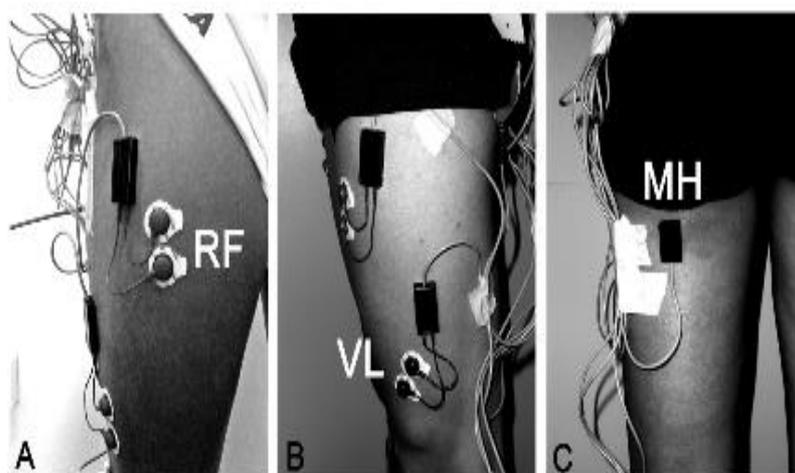


Figura 4.5 Impostazione degli strumenti usati dai partecipanti.

Ma, prima di posizzarle, la pelle è stata rasata, 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 [6], 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 [7]. Il rumore dovuto al Crosstalk (ovvero l'acquisizione di segnale "sgradito" da un muscolo spazialmente adiacente a quello in esame) è stato controllato attraverso un'ispezione visiva. 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 [8]. 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 [9], riportato nella figura sottostante. (Figura 4.6).

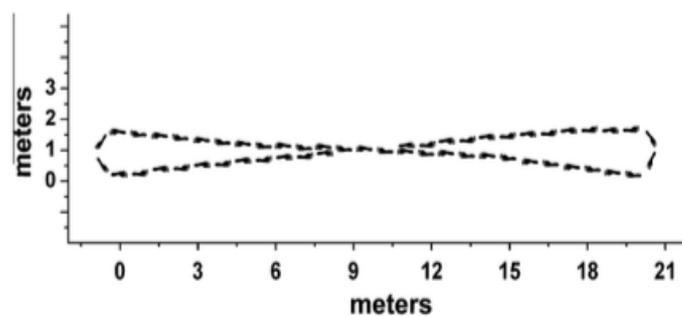


Figura 4.6 Percorso seguito dagli adulti durante l'acquisizione dati.

4.3 Elaborazione del segnale

Gli eventi temporali sono stati identificati 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 [10].

I segnali elettrogoniometrici sono stati filtrati passa-basso (frequenza di taglio: 15 Hz). Gli angoli del ginocchio insieme alle sequenze e alla durata delle fasi del cammino derivate dal segnale basografico sono stati utilizzati da un filtro statistico multivariato, per rilevare e scartare [11] i cicli anomali come quelli relativi alla decelerazione, inversione e accelerazione. I segnali sEMG sono stati filtrati passa-alto (frequenza di taglio: 20 Hz) ed elaborati da un rilevatore statistico a doppia soglia,

consentendo una valutazione indipendente dall'utente degli intervalli di attivazione [12]. Questa tecnica consiste nel selezionare una prima soglia ζ osservare M campioni successivi: se almeno r_0 degli M campioni successivi sono superiori a ζ , viene riconosciuta la presenza del segnale 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 [12]. 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 [13]).

Secondo Bonato et al. [12] 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 [14] [15]. 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 [16]. La SGA è stata eseguita attraverso un software incluso nel sistema Step32.

4.5 Calcolo delle co-contrazioni

I muscoli analizzati in questo studio sono il **Retto femorale (RF)**, il **Vasto laterale (VL)** e gli **Hamstrings mediali (MH)**. I muscoli VM e RF sono stati scelti come muscoli di riferimento. Il calcolo delle co-contrazioni è avvenuto considerando gli intervalli di tempo in cui sia il Vasto Mediale che i muscoli posteriori della coscia erano contemporaneamente attivi, sia considerando gli intervalli di tempo in cui il Retto Femorale e il Vasto Mediale erano contemporaneamente attivi. 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 [12]. 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 identifica il periodo di attivazione contemporanea tra MH e VM e tra VM e RF;
- 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 MH e VM di interesse.

5. Risultati

5.1 Frequenza di reclutamento delle modalità di attivazione dei muscoli MH, VL e RF

Dall'elaborazione dei dati si evince che tutti e tre i muscoli in esame (RF, VM e MH) vengono reclutati con 6 modalità di attivazioni differenti. Nella tabella 5.1 sono riportate le frequenze di reclutamento (OF) relative ai passi totali del RF per ogni gruppo analizzato.

OF	RF1	RF2	RF3	RF4	RF5	RF6
Gruppo AM	1.7±4.5%	16.9±16.2%	58.4±19.6%	18.6±11.8%	3.9±5.3%	0.5±0.7%
Gruppo AF	4.2±11.5%	25.9±20.2%	43.4±16.8%	21.0±12.7%	5.1±4.8%	0.4±0.6%
Gruppo BM	--	22.9±15.4%	49.0±18.5%	18.2±9.5%	--	--
Gruppo BF	--	28.4±18.1%	44.1±18.8	16.4±9.6%	--	--

Tabella 5.1 Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency di tutte le modalità di attivazione muscolare riscontrate per il Retto Femorale

Con RF_n (dove n è un numero intero) si intende la modalità n-attivazioni per il muscolo RF.

Il simbolo – indica che il dato è mancante.

Nella tabella 5.2 sono riportate le frequenze di reclutamento (OF) del VL per ogni gruppo analizzato.

Similmente a RF_n, con VL_n si intende la modalità n-attivazioni per il VL.

OF	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6
Gruppo AM	1.3±3.7%	54.7±26.0%	30.2±15.2%	10.5±11.4%	2.3±4.0%	0.8±2.7%
Gruppo AF	1.5±4.3%	45.3±24.1%	36.7±14.5%	13.2±10.4%	2.9±4.4%	0.4±0.9%
Gruppo BM	--	59.3±20.6%	29.1±13.7%	7.0±6.5%	--	--
Gruppo BF	--	52.9±22.7%	30.9±14.7%	9.4±8.6%	--	--

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

Nella tabella 5.3 sono riportate le frequenze di reclutamento (OF) del MH per ogni gruppo analizzato. Similmente a RFn e VLn, con MHn si intende la modalità n-attivazioni per il MH.

OF	MH1	MH2	MH3	MH4	MH5	MH6
Gruppo AM	1.3±3.7%	54.7±26.0%	30.2±15.2%	10.5±11.4%	2.3±4.0%	0.8±2.7%
Gruppo AF	12.1±19.7%	32.6±15.0%	37.7±16.9%	14.0±9.1%	3.0±3.9%	0.6±1.0%
Gruppo BM	4.4±10.4%	48.7±15.7%	34.9±10.7%	10.0±7.5%	1.8±2.6%	0.2±0.6%
Gruppo BF	5.7±10.5%	44.2±17.2%	35.9±11.6%	11.5±9.6%	2.3±3.1%	0.2±0.9%

Tabella 5.3 Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency di tutte le modalità di attivazione muscolare riscontrate per i muscoli posteriori della coscia.

Dalle tabelle si può notare come le frequenze di reclutamento di RF1, RF5 e RF6 prese contemporaneamente non superano il 10% dei passi totali negli adulti e se pur non avendo dati disponibili nei bambini per RF1, RF5 e RF6 possiamo notare che la somma di RF2, RF3 e RF4 superi il 90% dei passi totali. Mentre per il VL e MH si ha un discorso analogo nel considerare le modalità di attivazione VL1, VL5, VL6, MH1, MH5 e MH6.

Per via di queste frequenze decisamente più basse rispetto alle altre, si è preferito concentrare lo studio sulle seguenti modalità: RF 2-attivazioni, RF 3-attivazioni, RF 4-attivazioni per il muscolo Retto Femorale, VL 2-attivazioni, VL 3-attivazioni, VL 4-attivazioni per il muscolo Vasto Laterale, MH 2-attivazioni, MH 3-attivazioni, MH 4-attivazioni per i muscoli posteriori della coscia.

Prese la decisione di non considerare i passi con RF1, RF5, RF6 e VL1, VL5, VL6 si possono escludere dal conteggio dei passi totali, quindi si ottengono le nuove frequenze di reclutamento del RF riportate in tabella 5.4 e le nuove frequenze di reclutamento del VL in tabella 5.5. Queste nuove frequenze di reclutamento sono calcolate rispetto ai passi delle sole modalità a 2, 3 e 4 attivazioni dell'RF:

OF	RF2	RF3	RF4
Gruppo AM	18.0 ± 17.3	62.2 ± 20.9	19.8 ± 12.6
Gruppo AF	28.7 ± 22.4	48.1 ± 18.6	23.2 ± 14.0
Gruppo BM	25.4 ± 17.1	54.4 ± 20.5	20.2 ± 10.5
Gruppo BF	32.0 ± 20.4	49.6 ± 21.1	18.4 ± 10.8

Tabella 5.4 Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency delle modalità di attivazione muscolare RF2, RF3, RF4 escludendo dal conteggio dei passi totali RF1, RF5 e RF6.

Si è proceduto analogamente per le seguenti modalità di attivazione del VL:

OF	VL2	VL3	VL4
Gruppo AM	57.4 ± 27.3	31.6 ± 15.9	11.0 ± 11.9
Gruppo AF	47.6 ± 25.3	38.5 ± 15.2	13.9 ± 11.0
Gruppo BM	62.2 ± 21.6	30.5 ± 14.4	7.3 ± 6.8
Gruppo BF	56.8 ± 24.4	33.2 ± 15.8	10.0 ± 9.1

Tabella 5.5 Valori in Media ± Deviazione Standard (SD) delle Occurrence Frequency delle modalità di attivazione muscolare VL2, VL3, VL4 escludendo dal conteggio dei passi totali VL1, VL5 e VL6.

5.2 Dati on/off delle attivazioni del RF

Per il gruppo Adulti (AM e AF) si hanno gli intervalli di attivazione del RF riportati in tabella 5.6 e 5.7.

RF	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
RF 2	1.9±5.6	22.5±14.5	82.1±9.7	98.1±4.8				
RF 3	0.1±0.2	15.5±3.9	47.9±4.0	57.1±5.0	86.2±2.9	99.9±0.3		
RF 4	0.1±0.4	13.5±3.0	34.3±4.8	40.7±4.7	55.8±5.2	64.0±5.2	86.0±3.1	99.9±0.1

Tabella 5.6 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo RF nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

RF	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
RF 2	1.9±5.4	26.6±14.0	79.1±11.6	98.3±5.1				
RF 3	0.2±0.7	16.4±5.9	44.0±5.7	55.7±6.2	84.9±3.7	99.6±1.1		
RF 4	0.1±0.3	13.5±3.4	29.6±4.0	38.0±3.6	52.6±6.1	62.4±6.4	85.3±3.3	99.7±1.7

Tabella 5.7 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo RF nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

Nella tabella 5.8 sono riportati i valori di inizio e fine delle fasi del passo H, F, P, S per gli Adulti.

Fasi del passo	ADULTI - MASCHI		ADULTI - FEMMINE	
	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 5.8 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 ± Deviazione Standard):

- 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 \pm Deviazione Standard):

- 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 5.6, 5.7 e 5.8 possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.1 e 5.2):

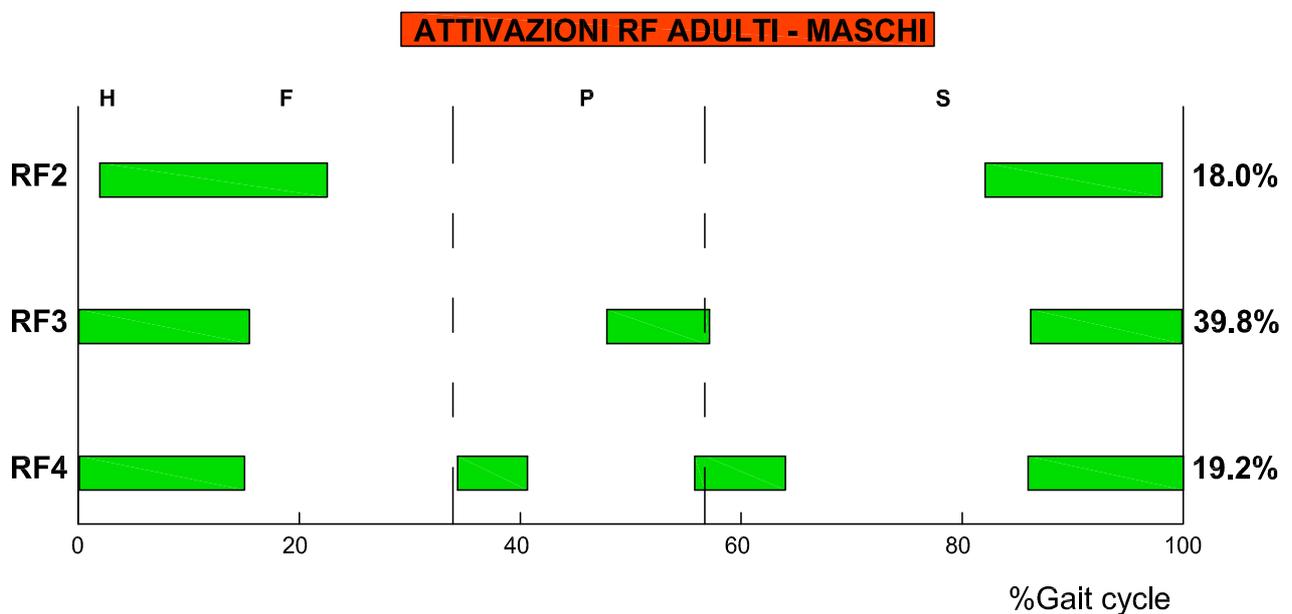


Figura 5.1 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo RF nel gruppo di studio Adulti – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, RF3 e RF4 sono riportate separatamente.

A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.4).

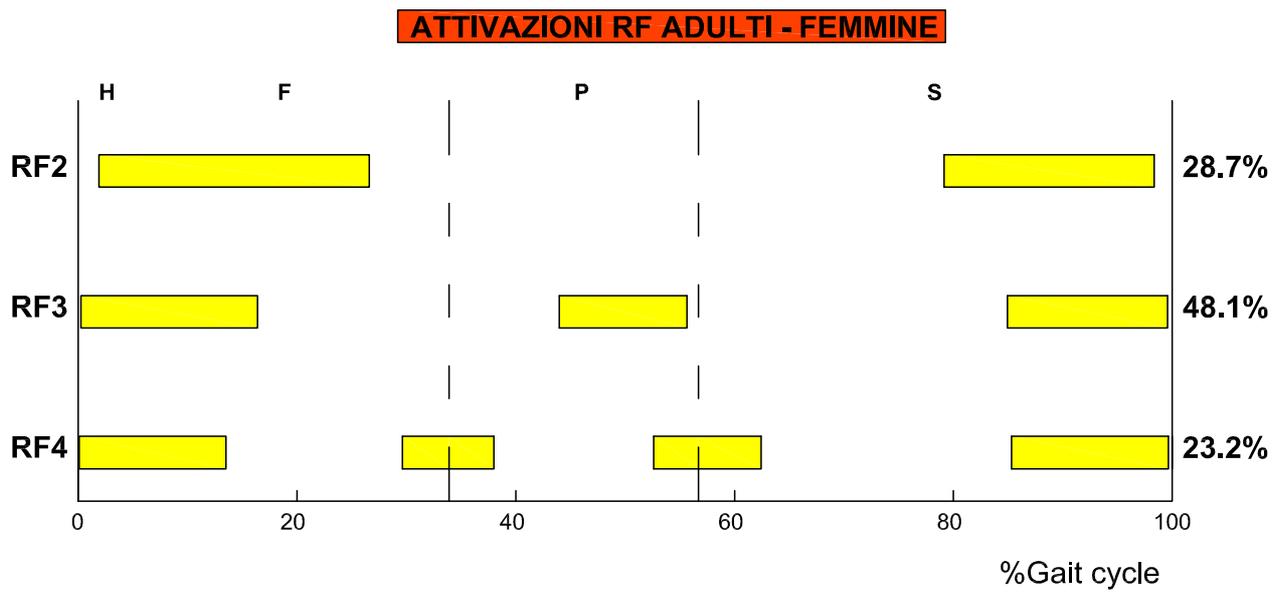


Figura 5.2 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo RF nel gruppo di studio Adulti – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, RF3 e RF4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.4).

Per il gruppo dei bambini (BM e BF) si hanno gli intervalli di attivazione del RF riportati in tabella 5.9a e 5.9b:

RF	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
RF 2	1.7±4.9	21.6±9.2	76.3±14.8	97.6±6.9				
RF 3	0.6±2.7	17.8±5.8	46.5±5.0	59.7±6.5	85.2±4.9	99.1±4.1		
RF 4	0.3±1.8	16.8±5.7	35.2±7.5	42.9±8.5	56.8±9.8	67.3±11.0	86.4±12.7	99.6±14.0

Tabella 5.9a Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo RF nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

RF	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
RF 2	3.0±6.4	22.1±9.0	77.8±12.9	96.2±7.7				
RF 3	0.6±1.9	18.0±5.8	46.3±6.1	58.7±7.3	85.0±5.0	98.7±4.5		
RF 4	0.3±1.5	15.5±6.1	34.0±9.9	42.2±11.2	56.7±12.9	67.0±14.5	86.9±17.8	99.8±19.9

Tabella 5.9b Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo RF nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

Nella tabella 5.9c 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 5.9c 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 ± Deviazione Standard):

- 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 di passo normalizzate in % del ciclo del passo (dati riportati in Media \pm Deviazione Standard):

- 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 5.9a, 5.9b, 5.9c possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.3 e 5.4):

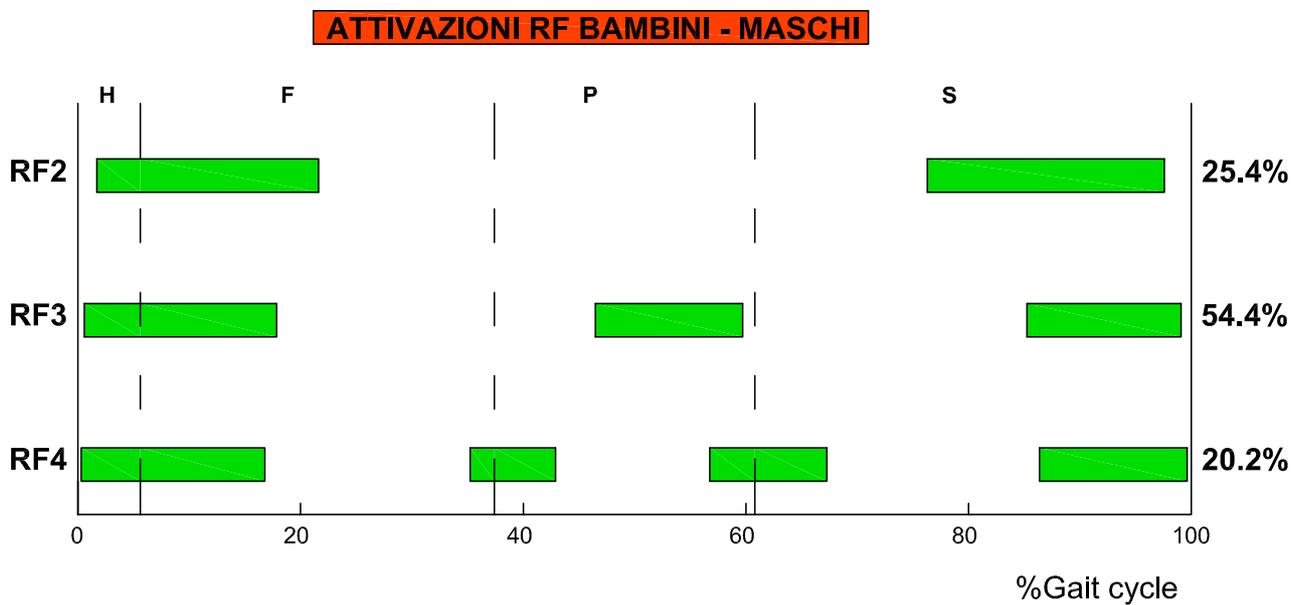


Figura 5.3 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo RF nel gruppo di studio Bambini – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, RF3 e RF4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.4).

ATTIVAZIONI RF BAMBINI - FEMMINE

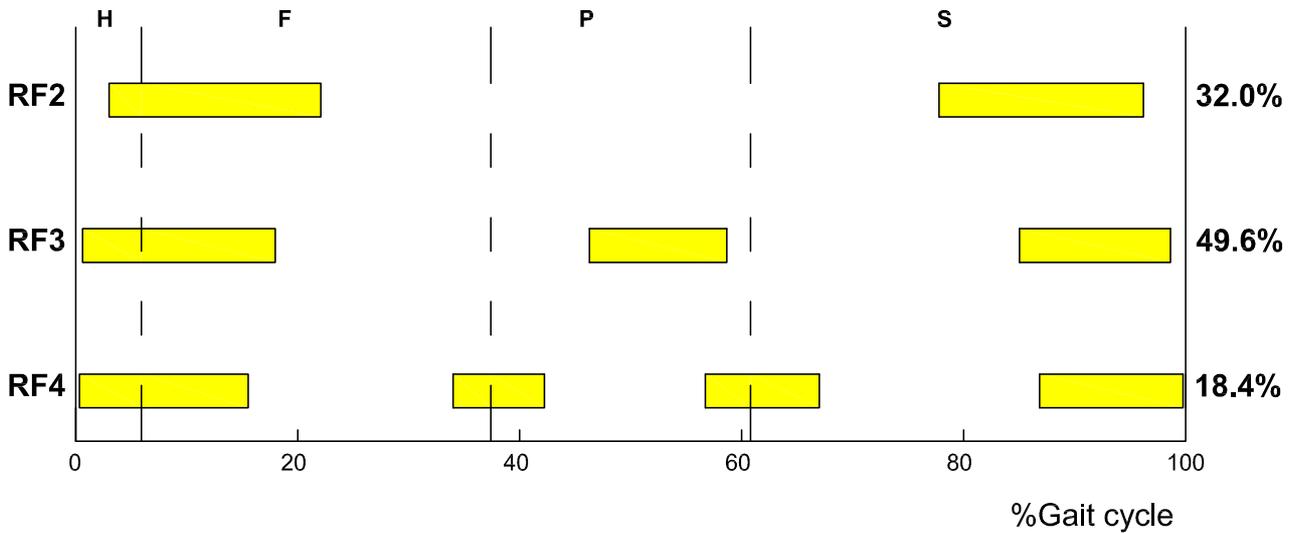


Figura 5.4 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo RF nel gruppo di studio Bambini – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, RF3 e RF4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.4).

5.3 Dati on/off delle attivazioni del VL

Per il gruppo Adulti (AM e AF) si hanno gli intervalli di attivazione del VL riportati in tabella 5.10 e 5.11.

VL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
AM								
VL 2	0.3±1.0	20.2±10.6	81.1±3.6	99.8±0.5				
VL 3	0.0±0.0	17.7±6.0	37.2±9.7	43.8±10.7	81.2±3.8	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	17.8±5.6	26.6±6.6	32.4±6.9	48.0±9.9	53.9±10.1	81.0±4.2	99.9±0.2

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

VL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.6±1.4	19.8±11.2	82.0±3.0	99.7±0.8				
VL 3	0.1±0.4	15.8±6.0	36.3±8.4	44.3±8.6	82.3±3.9	99.8±0.6		
VL 4	0.1±0.4	13.8±3.8	23.5±3.8	29.8±4.6	44.1±7.9	51.6±8.0	82.0±4.1	99.9±0.1

Tabella 5.11 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

Dalle tabelle 5.10, 5.11 e 5.8 possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.5 e 5.6):

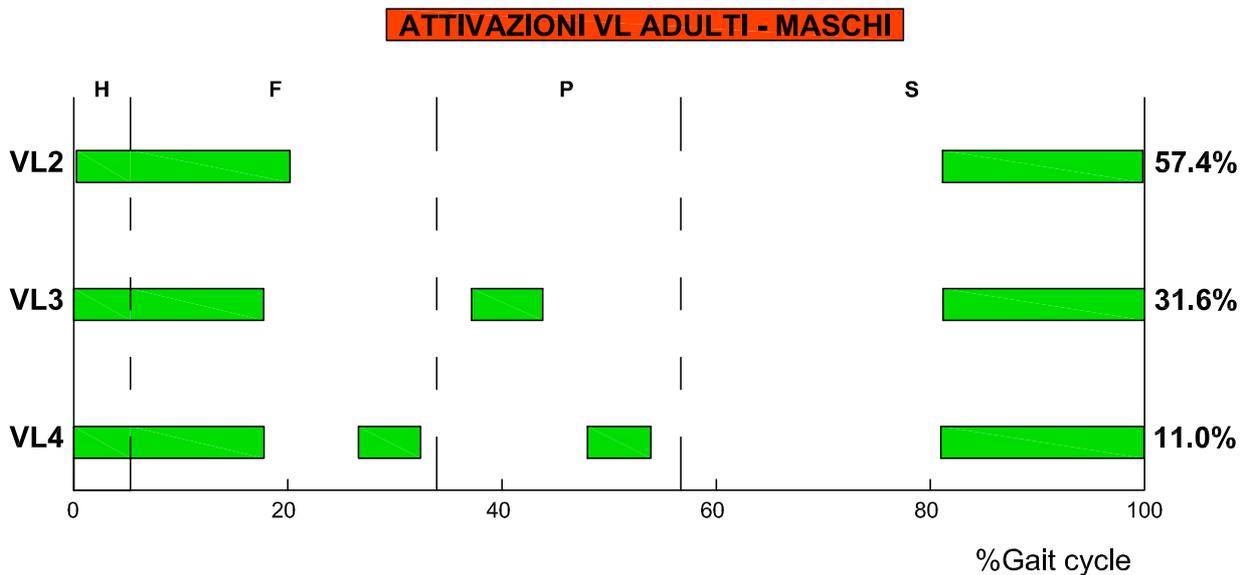


Figura 5.5 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL nel gruppo di studio Adulti – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.5).

ATTIVAZIONI VL ADULTI - FEMMINE

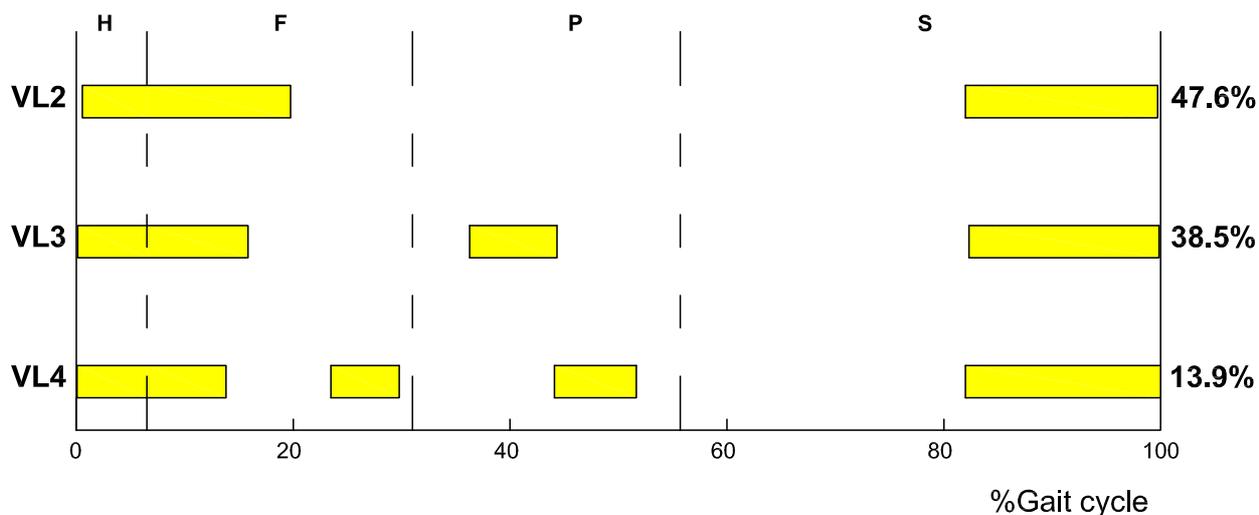


Figura 5.6 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL nel gruppo di studio Adulti – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.5).

Per il gruppo dei bambini (BM e BF) si hanno gli intervalli di attivazione del VL riportati in tabella 5.12 e 5.13:

VL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
BM								
VL 2	0.6±2.0	19.3±8.4	84.2±3.9	99.1±3.7				
VL 3	0.1±0.5	17.9±5.7	39.4±10.7	47.2±10.9	84.4±9.3	99.7±10.0		
VL 4	0.1±0.4	15.1±7.2	27.4±12.4	34.9±14.7	50.4±20.9	57.2±23.0	84.2±31.2	99.7±36.5

Tabella 5.12 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

VL	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
BF								
VL 2	0.5±1.5	20.2±8.9	83.2±6.4	98.5±4.3				
VL 3	0.1±0.5	16.8±6.3	38.4±9.0	47.0±9.8	84.7±4.5	99.5±1.8		
VL 4	0.2±0.6	15.9±7.0	27.6±10.2	35.3±12.1	50.8±17.0	57.7±18.7	85.0±23.9	99.9±27.5

Tabella 5.13 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

Dalle tabelle 5.12, 5.13 e 5.9c possono essere ricavati i seguenti grafici (Figure 5.7 e 5.8):

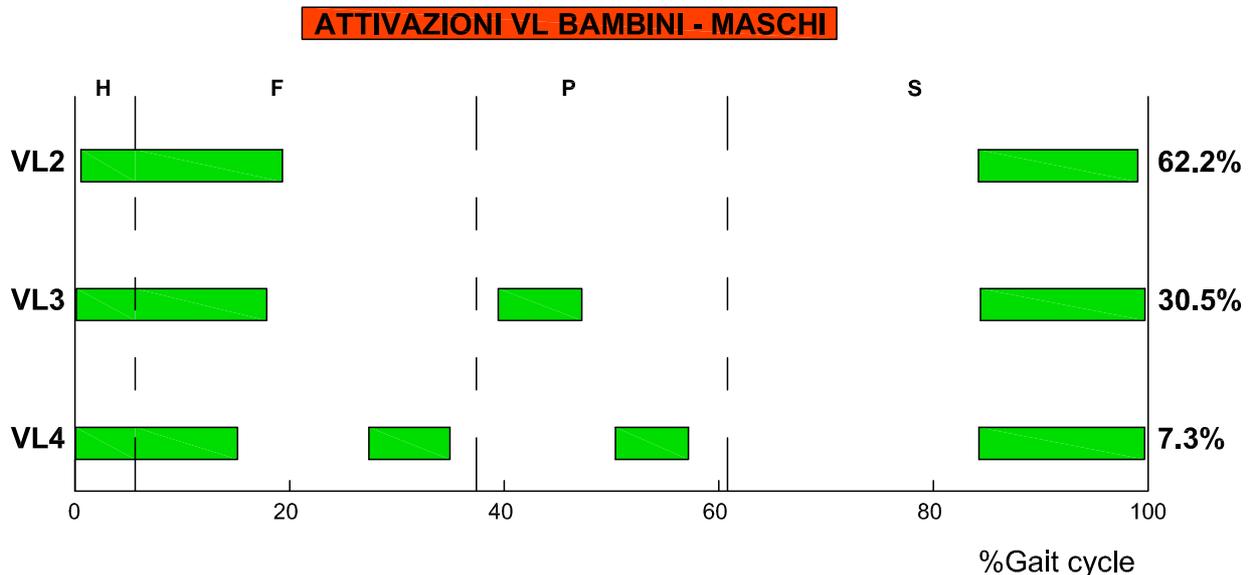


Figura 5.7 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL nel gruppo di studio Bambini – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.5).

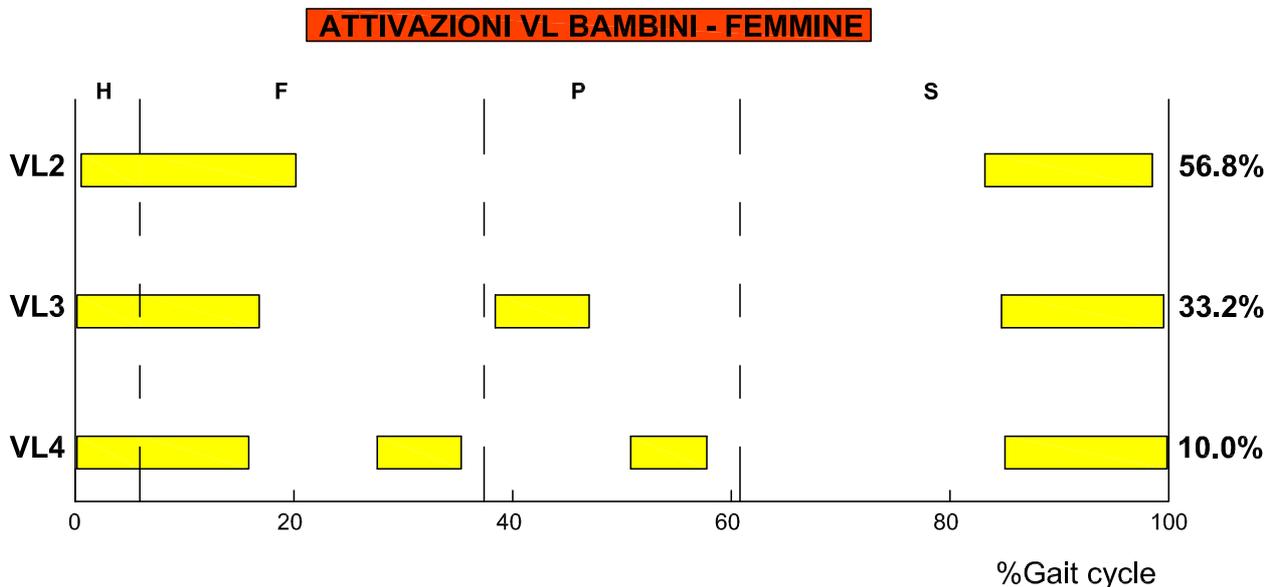


Figura 5.8 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL nel gruppo di studio Bambini – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento (per i valori con le Deviazioni Standard riferirsi alla tabella 5.5).

5.4 Dati on/off delle attivazioni del VL in funzione del RF

Le modalità di attivazione del Vasto Laterale (VL) sono state riportate anche in funzione del muscolo Retto Femorale (RF): si hanno, quindi, 3 grafici per ogni sottogruppo analizzato (un grafico diverso per ogni modalità di attivazione del RF).

5.4.1 Gruppo Adulti – Maschi

Per il gruppo **Adulti – Maschi** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del VL:

- Intervalli on/off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

RF2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.0±0.0	22.3±13.4	81.2±3.2	99.9±0.2				
VL 3	0.0±0.0	14.7±3.9	29.8±11.0	35.4±11.6	83.7±4.9	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	23.3±3.9	32.6±7.1	37.6±7.3	48.1±5.9	54.0±6.0	80.7±4.8	100.0±0.0

Tabella 5.14 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

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

VL in funzione di RF2 (Adulti - maschi)

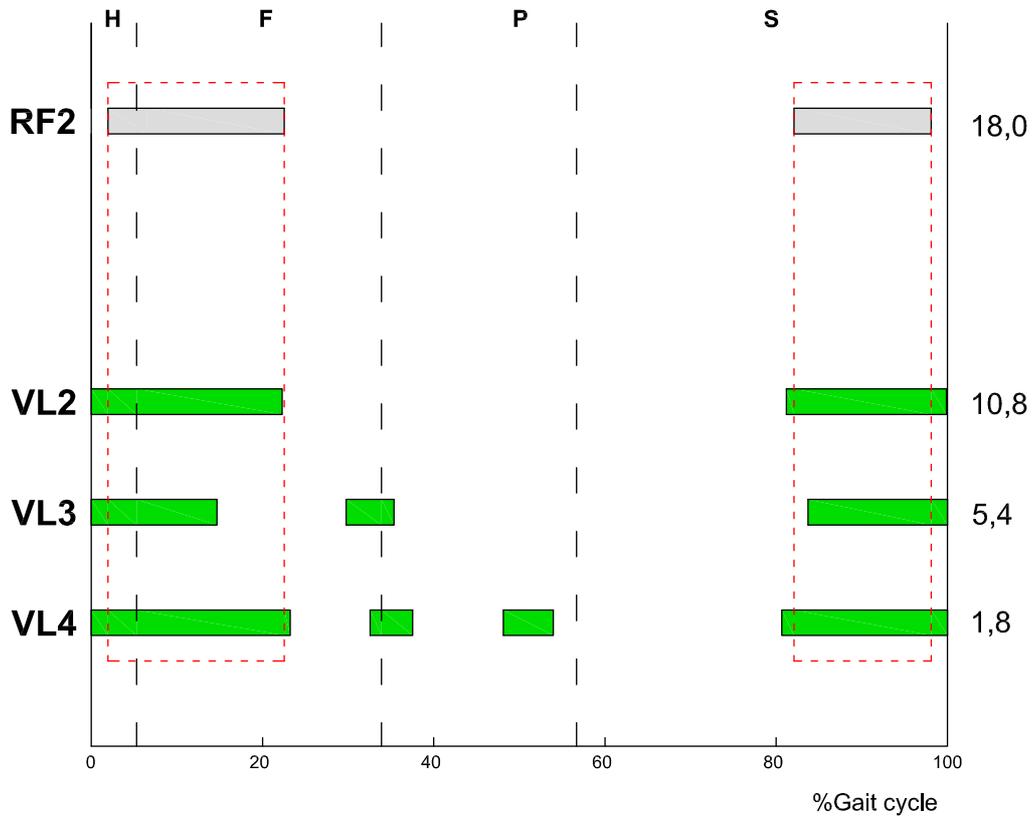


Figura 5.9 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli di On/Off del Vasto Laterale (VL) in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

RF3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.1±0.4	18.7±10.1	81.5±4.1	99.9±0.6				
VL 3	0.0±0.0	19.7±4.5	38.3±8.7	45.2±9.6	80.6±1.8	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	20.4±3.7	29.7±7.3	35.0±7.1	46.2±6.3	52.6±5.8	80.7±5.2	100.0±0.0

Tabella 5.15 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

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

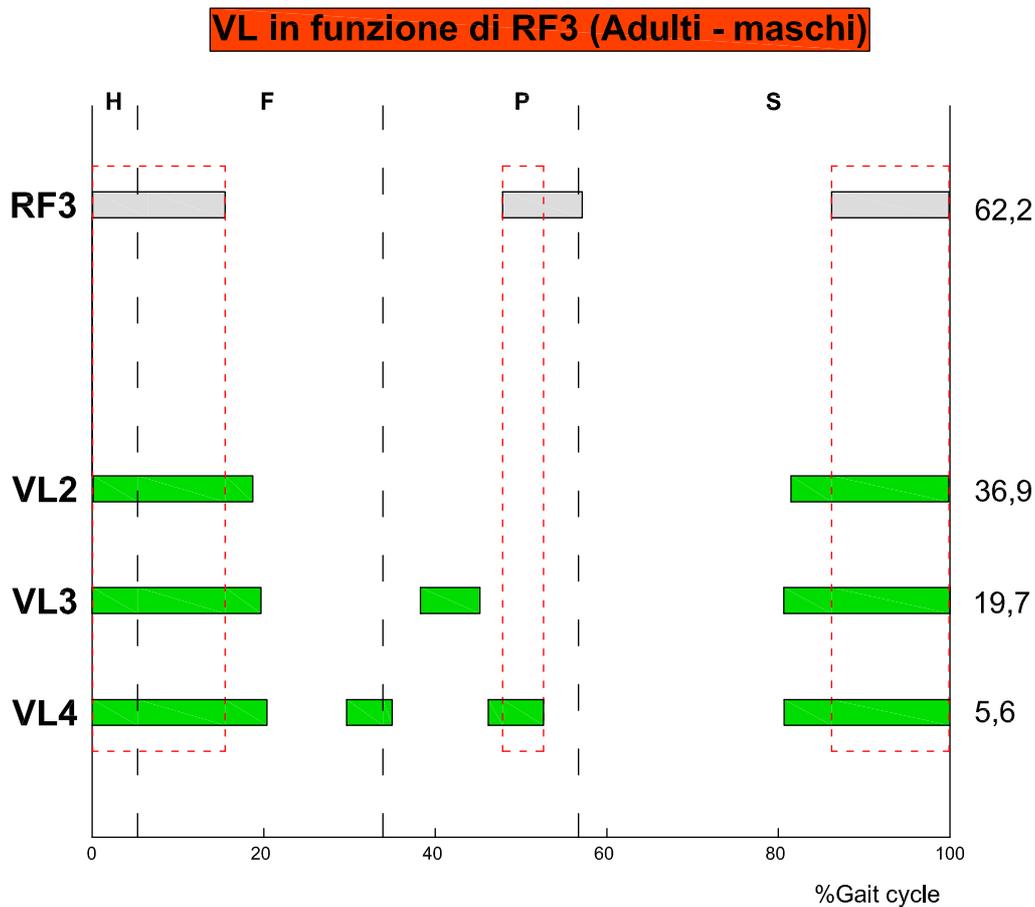


Figura 5.9 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF3, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli On/Off del Vasto Laterale (VL) in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

RF4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.0±0.0	21.2±13.0	81.1±3.9	100.0±0.0				
VL 3	0.0±0.0	19.4±7.8	42.1±5.8	50.8±4.7	81.7±3.3	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	17.5±2.3	26.7±3.3	32.4±5.0	44.2±10.6	51.3±10.6	80.7±0.3	100.0±0.0

Tabella 5.16 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.10, si ha il grafico relativo alla tabella 5.16: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

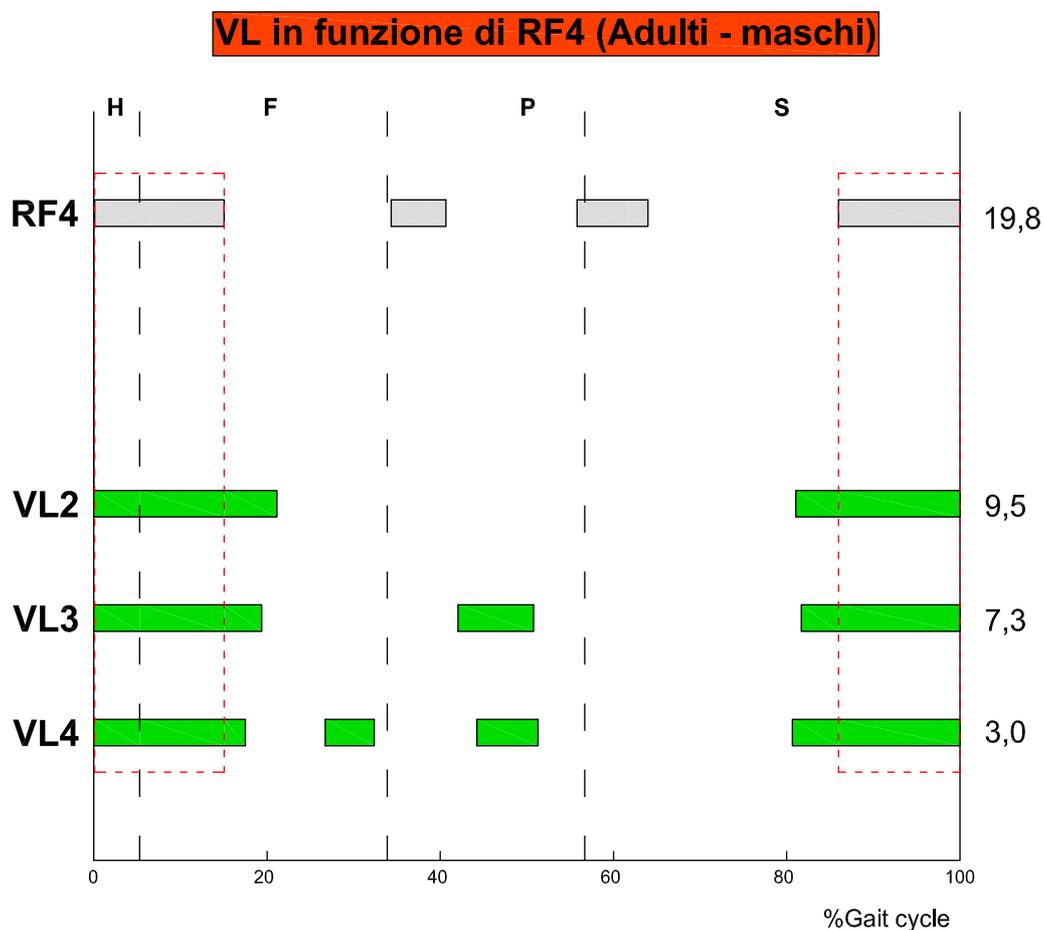


Figura 5.10 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF4, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.4.2 Gruppo Adulti – Femmine

Per il gruppo **Adulti – Femmine** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del VL:

- Intervalli On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

RF2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.0±0.0	24.0±15.1	81.8±2.6	100±0.0				
VL 3	0.0±0.0	14.9±6.4	37.9±12.4	45.0±13.6	80.7±6.3	99.9±0.2		
VL 4	0.0±0.0	11.9±3.6	28.2±1.5	33.5±3.9	55.8±5.1	59.1±6.1	85.4±0.8	100.0±0.0

Tabella 5.17 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.11, si ha il grafico relativo alla tabella 5.17: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

VL in funzione di RF2 (Adulti - femmine)

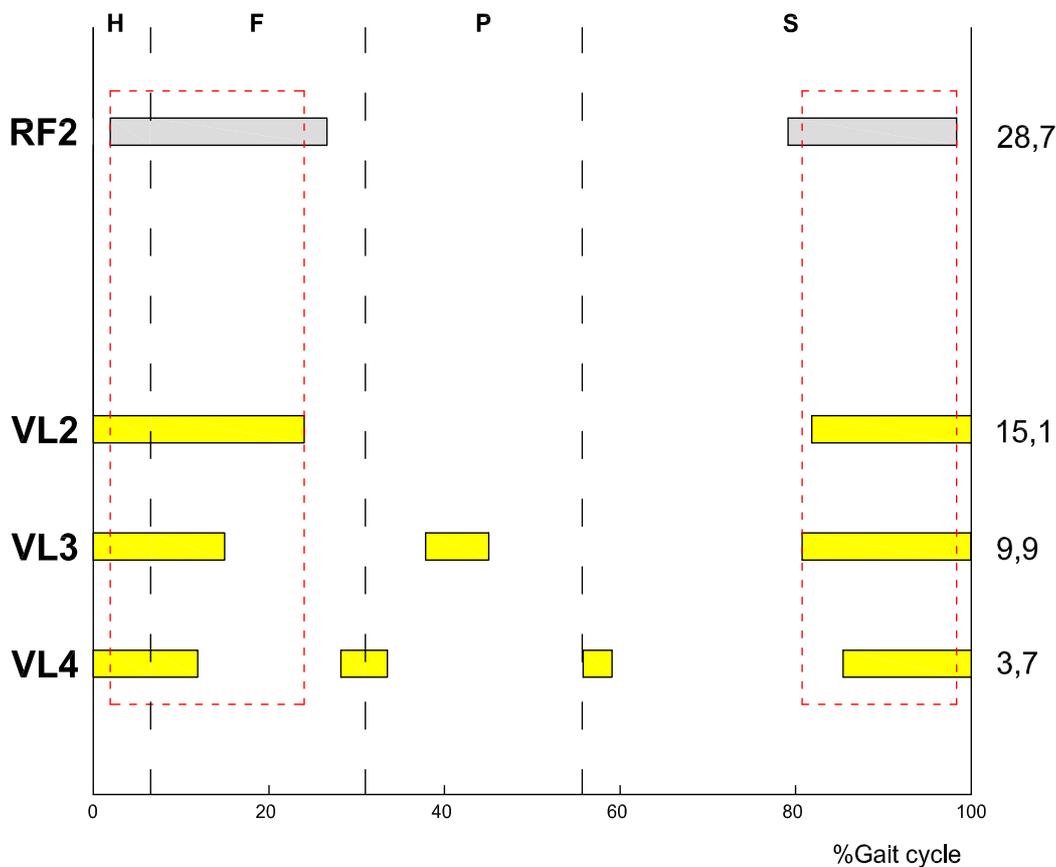


Figura 5.11 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo di studio Adulti – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli di attivazione On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

RF3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.9±2.2	20.3±10.2	83.1±2.9	99.8±0.7				
VL 3	0.0±0.0	17.1±8.1	38.1±9.9	46.2±9.8	81.4±3.5	99.9±0.6		
VL 4	0.0±0.0	14.1±3.4	27.0±1.4	34.9±3.7	53.8±5.3	58.5±5.9	83.7±0.7	100.0±0.0

Tabella 5.18 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.12, si ha il grafico relativo alla tabella 5.18; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

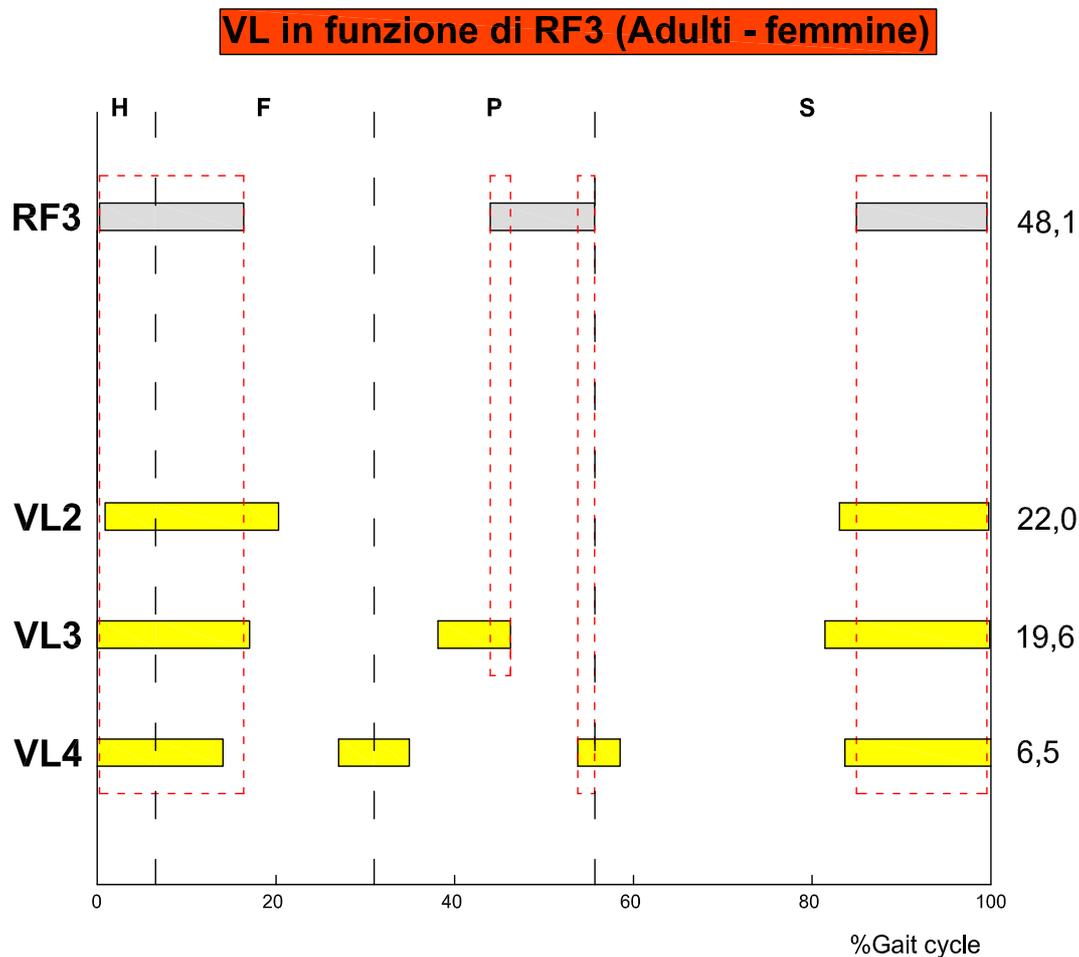


Figura 5.12 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo di studio Adulti – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF3, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

RF4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	1.3±3.0	22.1±11.3	81.0±5.9	99.6±0.9				
VL 3	0.0±0.0	15.5±4.3	33.1±5.4	42.3±6.4	82.9±3.8	99.9±0.2		
VL 4	0.0±0.0	16.2±3.2	25.8±1.3	36.3±3.5	51.7±5.5	57.9±5.7	81.9±0.6	100.0±0.0

Tabella 5.19 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.13, si ha il grafico relativo alla tabella 5.19; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

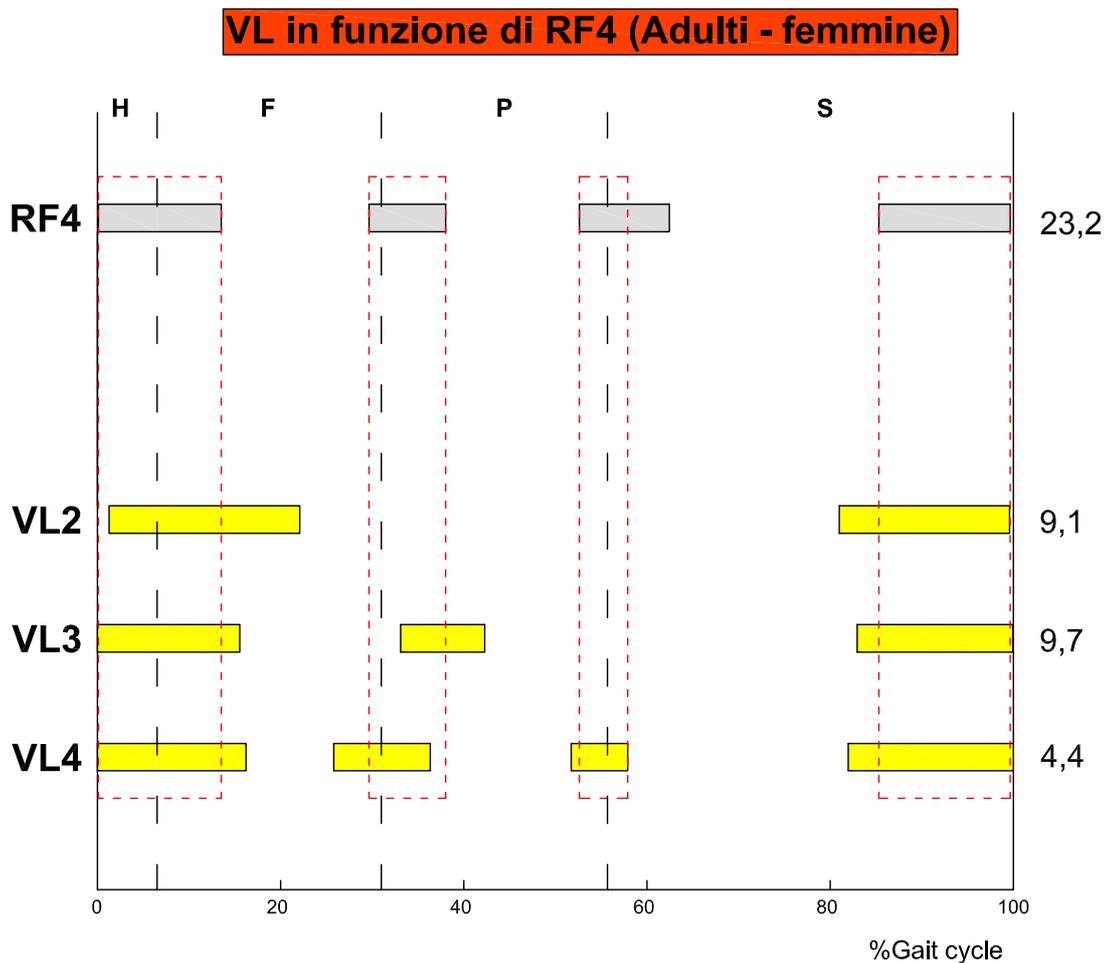


Figura 5.13 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo di studio Adulti – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF4, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.4.3 Gruppo Bambini – Maschi

Per il gruppo **Bambini – Maschi** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del VL:

- Intervalli on/off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

RF2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.02±0.2	17.1±7.0	84.3±6.6	96.7±16.6				
VL 3	0.0±0.0	19.3±6.3	38.9±9.0	49.8±8.9	82.9±5.4	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	16.4±	27.2±	32.2±	45.5±	54.5±	84.2±	100.0±0.0

Tabella 5.20 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.14, si ha il grafico relativo alla tabella 5.20; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

VL in funzione di RF2 (Bambini - maschi)

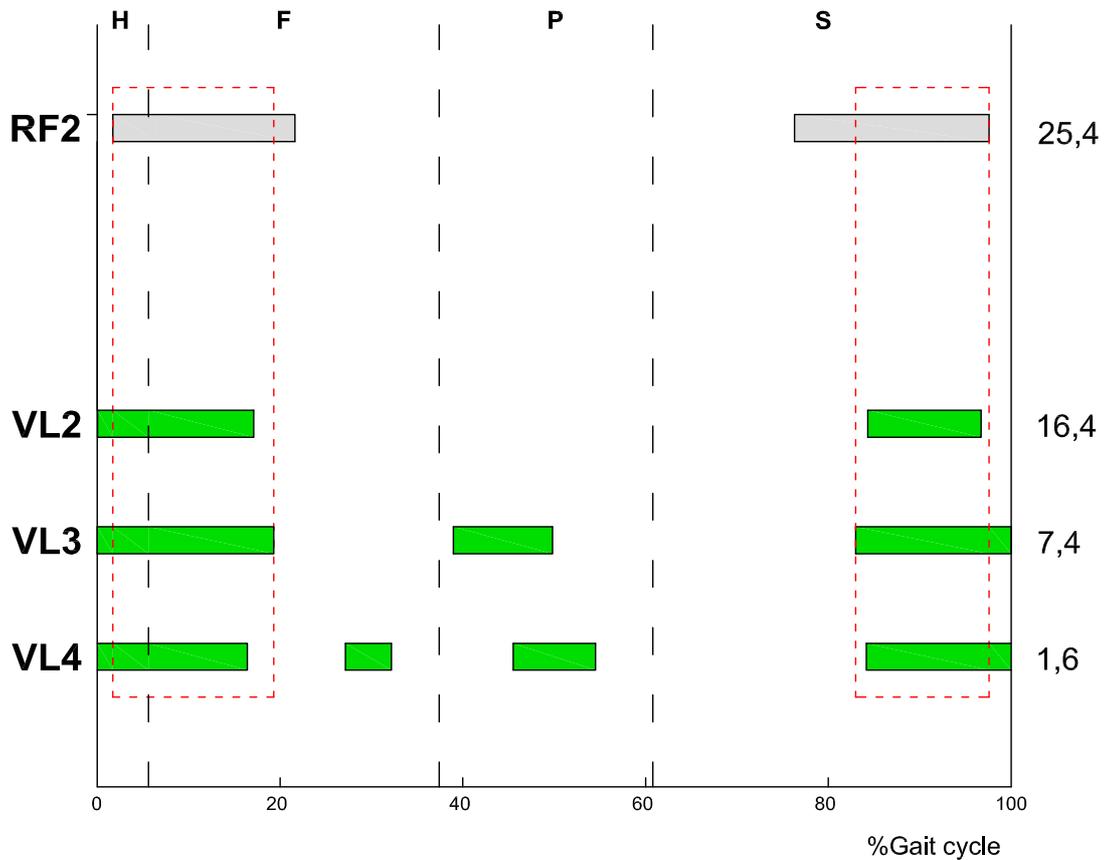


Figura 5.14 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo di studio Bambini – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli di On/Off del Vasto Laterale (VL) in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

RF3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.4±1.9	19.2±10.9	84.3±3.4	99.4±2.6				
VL 3	0.3±1.3	17.9±6.2	40.8±11.0	51.9±10.4	83.9±4.8	99.9±0.1		
VL 4	0.0±0.0	16.1±0.0	26.6±0.0	31.2±0.0	45.6±0.0	53.5±0.0	85.9±0.0	100.0±0.0

Tabella 5.21 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo Bambini - Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.15, si ha il grafico relativo alla tabella 5.21: le regioni colorate in verde rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

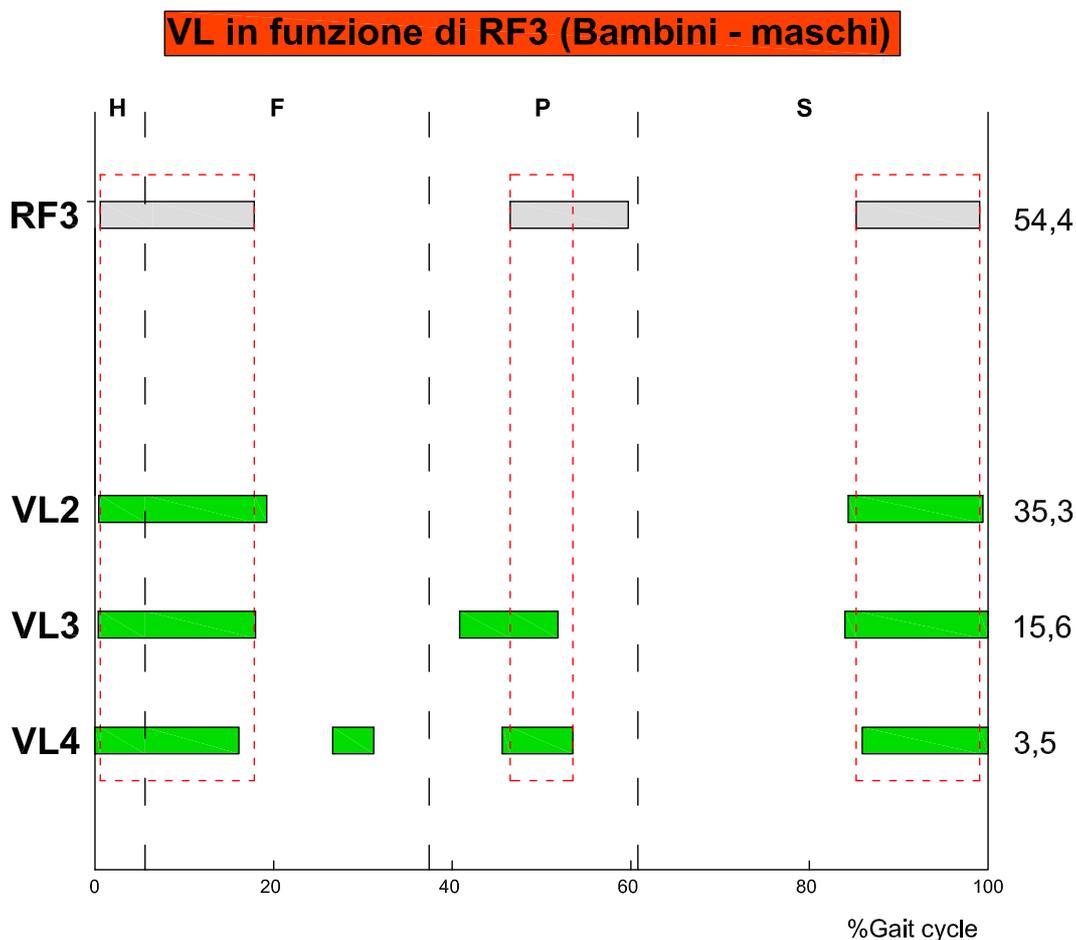


Figura 5.15 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo di studio Bambini – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF3, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli di On/Off del Vasto Laterale (VL) in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

RF4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
BM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.2±0.9	17.8±7.9	84.6±5.2	99.7±1.7				
VL 3	0.1±0.1	18.2±6.3	37.5±8.7	48.8±10.2	83.9±4.2	99.9±0.2		
VL 4	0.0±0.0	18.1±3.0	28.9±2.4	34.6±2.8	44.8±4.6	54.1±2.8	82.9±1.7	100.0±0.0

Tabella 5.22 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo Bambini - Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.16, si ha il grafico relativo alla tabella 5.22: le regioni colorate in verde rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

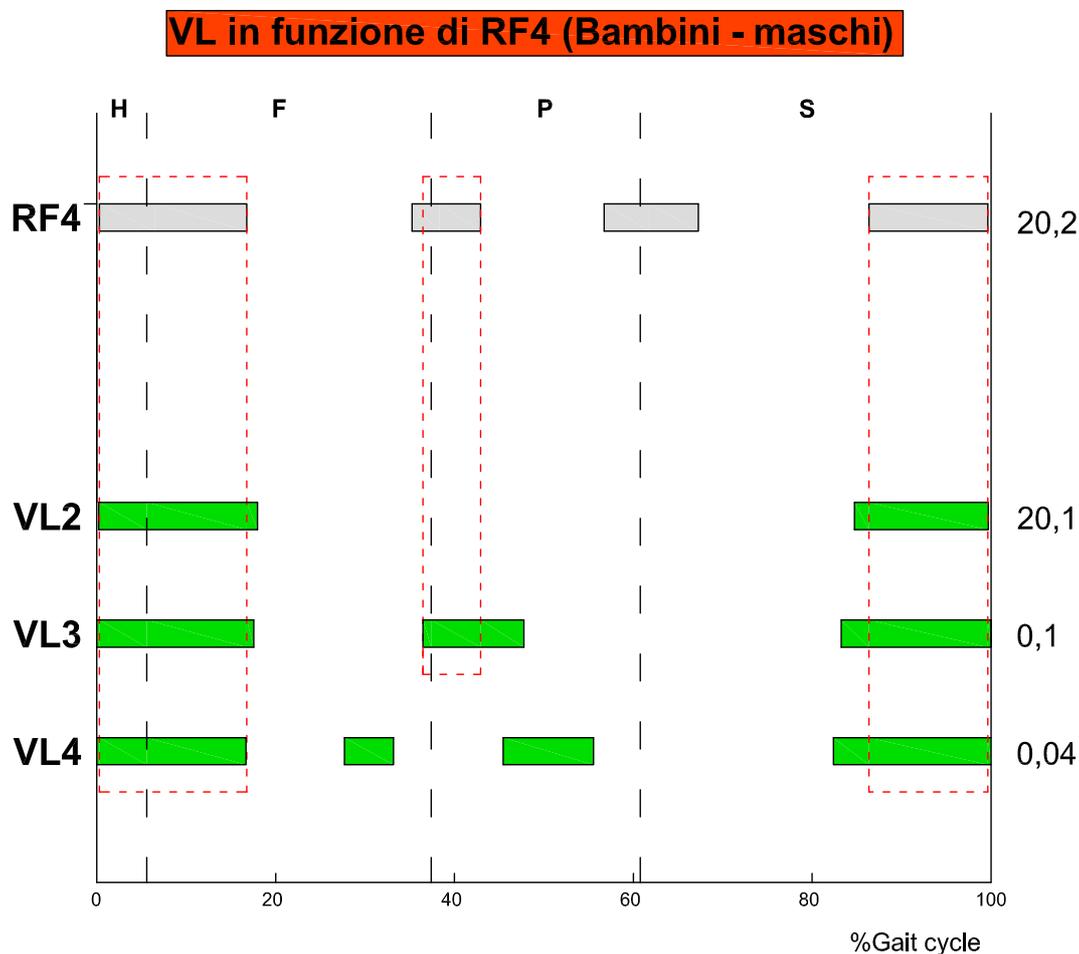


Figura 5.16 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo di studio Bambini – Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF4, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.4.4 Gruppo Bambini – Femmine

Per il gruppo **Bambini – Femmine** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del VL:

- Intervalli On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

RF2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.5±2.8	18.2±7.6	84.1±6.2	99.5±2.1				
VL 3	0.1±0.3	17.7±6.0	41.4±7.5	52.7±6.3	85.4±4.2	99.8±0.8		
VL 4	0.0±0.0	18.4±0.0	29.7±0.0	35.0±0.0	44.5±0.0	52.2±0.0	82.6±0.0	100.0±0.0

Tabella 5.23 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.17, si ha il grafico relativo alla tabella 5.23: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

VL in funzione di RF2 (Bambini - femmine)

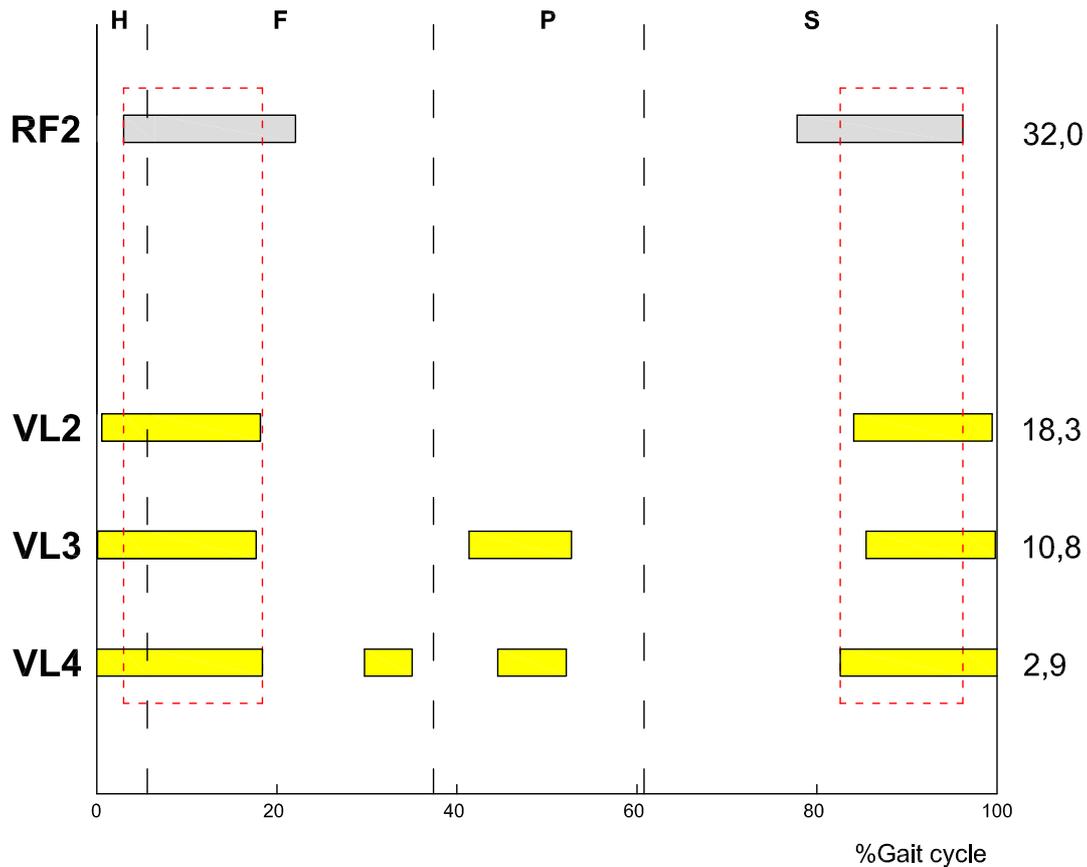


Figura 5.17 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF2 nel gruppo di studio Bambini – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF2, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli di attivazione On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

RF3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
BF								
VL 2	0.2±0.8	18.6±7.9	84.3±5.4	99.5±1.8				
VL 3	0.1±0.2	20.1±5.7	40.7±8.9	53.7±9.7	86.6±4.8	100.0±0.0		
VL 4	0.0±0.0	15.9±3.5	28.1±4.3	32.6±4.2	45.5±0.2	53.0±1.3	81.3±0.5	100.0±0.0

Tabella 5.24 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.18, si ha il grafico relativo alla tabella 5.24: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

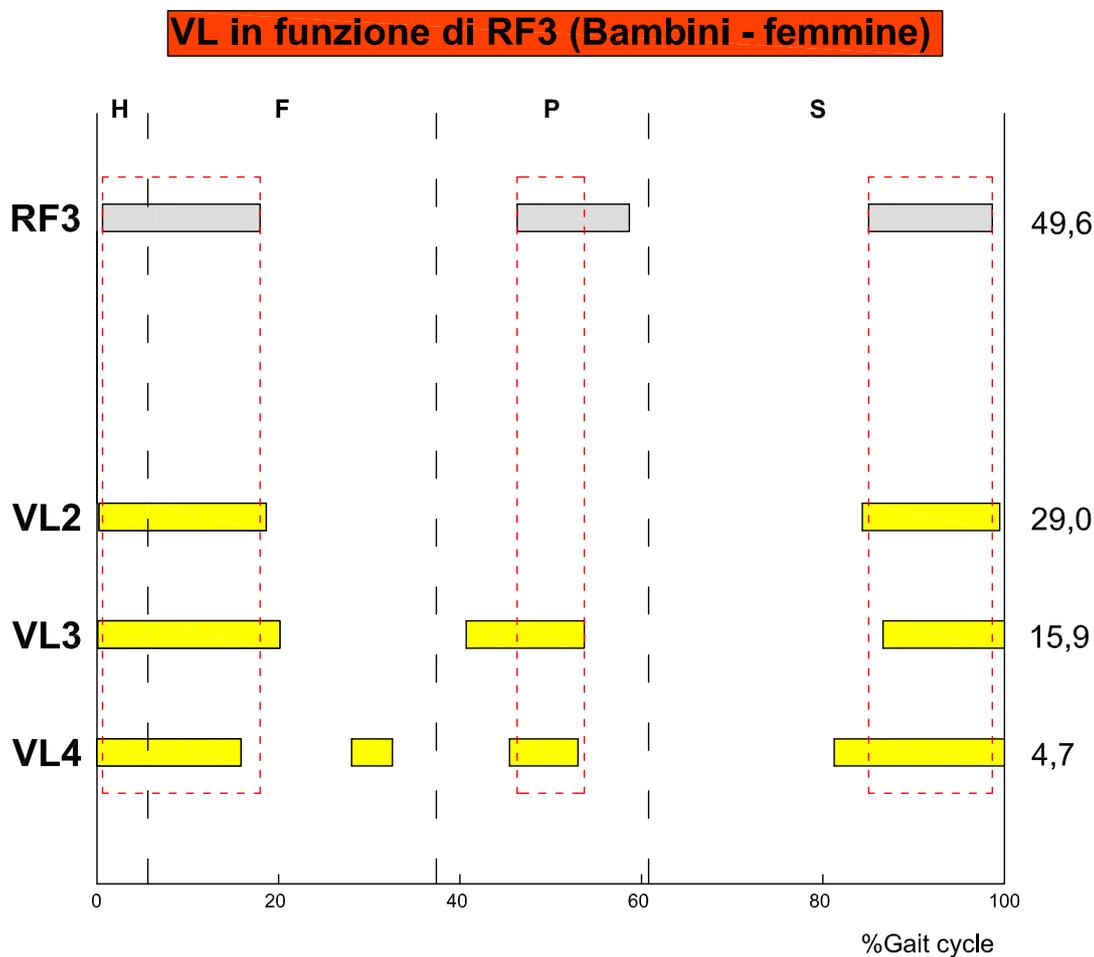


Figura 5.18 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo di studio Bambini – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF3, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli di attivazione On/Off del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto Femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

RF4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
VL 2	0.2±0.8	17.5±8.3	84.4±6.2	99.7±1.8				
VL 3	0.1±0.2	18.8±6.1	38.2±8.5	49.6±9.3	84.3±4.2	99.9±0.2		
VL 4	0.0±0.0	20.9±0.0	31.4±0.0	37.5±0.0	43.6±0.0	51.3±0.0	83.9±0.0	100.0±0.0

Tabella 5.25 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF3 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.19, si ha il grafico relativo alla tabella 5.25: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del VL; in grigio è mostrato il muscolo RF.

VL in funzione di RF4 (Bambini - femmine)

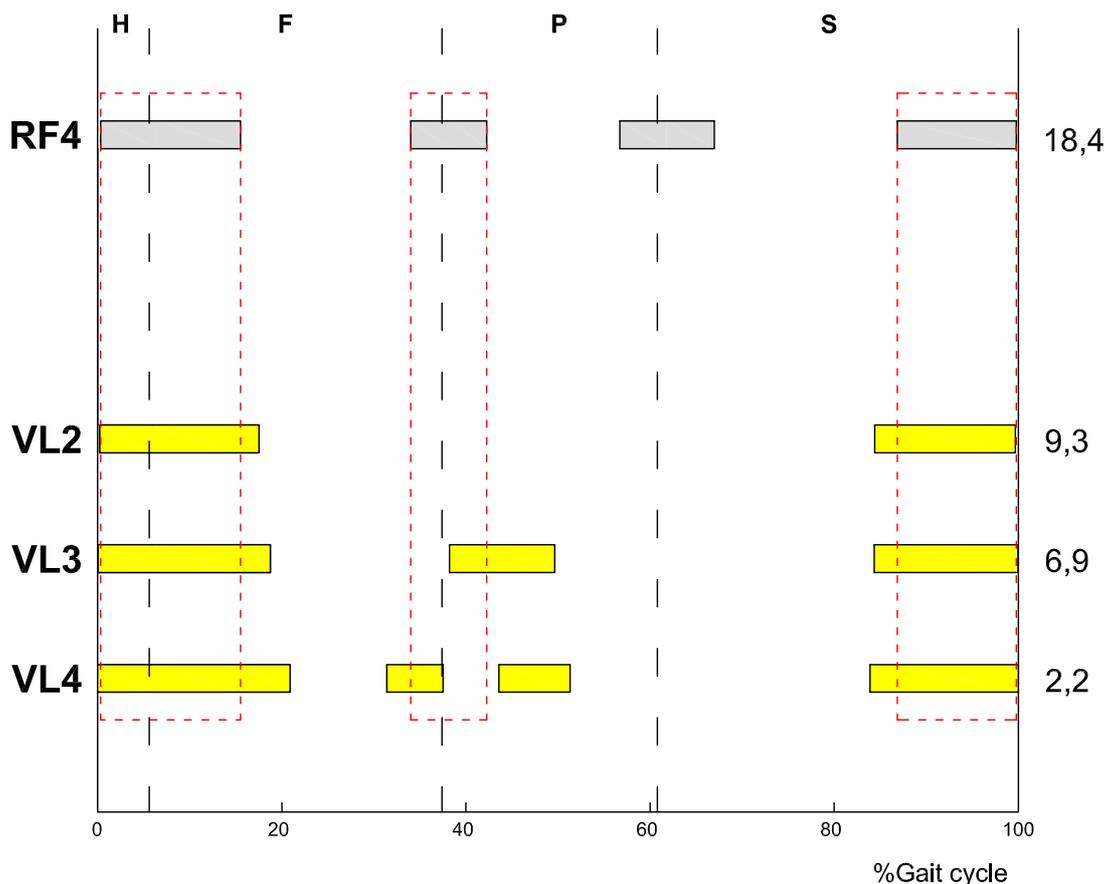


Figura 5.19 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo VL in funzione dell'attivazione RF4 nel gruppo di studio Bambini – Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione RF4, VL2, VL3 e VL4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

5.5 Dati on/off delle attivazioni del MH in funzione del VL

Le modalità di attivazione dei muscoli posteriori della coscia (MH) sono state riportate in funzione del muscolo Vasto Laterale (VL): si hanno, quindi, 3 grafici per ogni sottogruppo analizzato (un grafico diverso per ogni modalità di attivazione del VL).

5.5.1 Gruppo Adulti – Maschi

Per il gruppo **Adulti – Maschi** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del MH:

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

VL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	2.7±3.2	11.0±5.1	80.1±5.5	98.9±0.9				
MH 3	1.1±2.1	10.4±3.1	39.6±10.6	51.6±9.9	79.0±4.1	99.6±0.5		
MH 4	0.3±0.0	5.8±0.0	27.7±0.0	36.9±0.0	54.9±0.0	65.1±0.0	78.9±0.0	99.7±0.0

Tabella 5.26 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.20, si ha il grafico relativo alla tabella 5.26: le regioni colorate in verde rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL2 (Adulti - maschi)

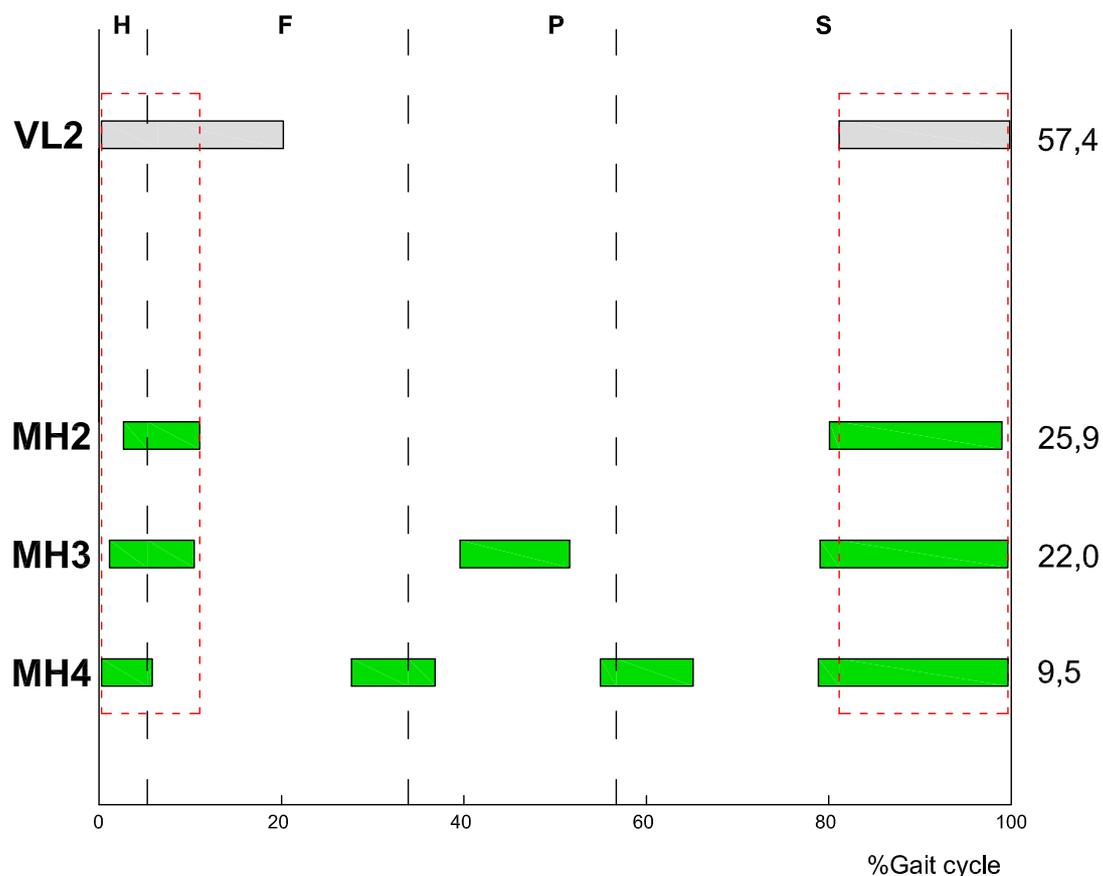


Figura 5.20 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

VL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
AM								
MH 2	7.4±16.4	16.7±16.4	79.5±6.5	98.8±1.2				
MH 3	1.7±2.8	12.3±4.4	41.9±13.1	51.5±13.2	81.5±3.8	99.4±1.5		
MH 4	0.6±0.5	6.3±2.1	25.8±1.3	37.2±0.5	57.9±14.5	65.6±13.0	80±4.9	99.3±0.9

Tabella 5.27 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.21, si ha il grafico relativo alla tabella 5.27: le regioni colorate in verde rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

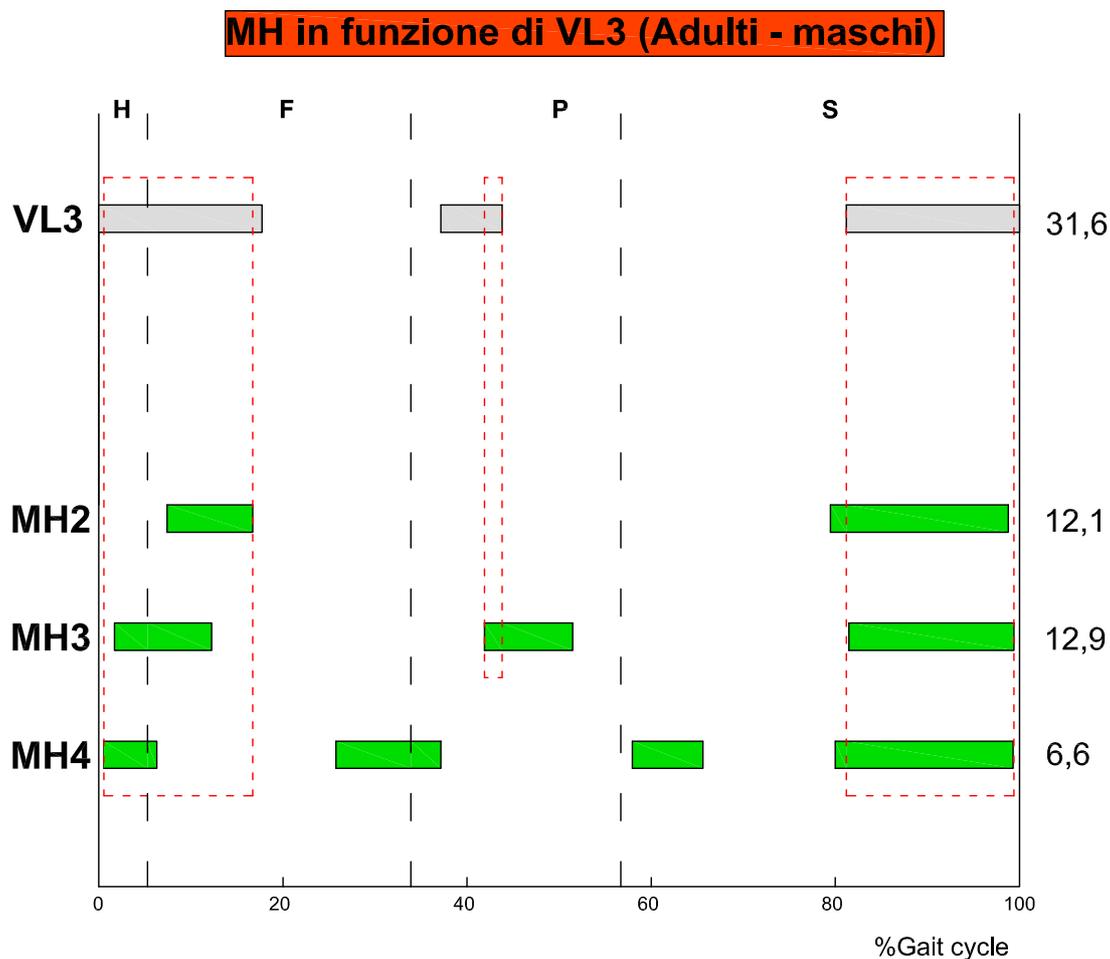


Figura 5.21 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL3, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

VL4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione		
	AM	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2		5.3±16.8	13.6±17.1	83.6±5.7	97.6±3.6				
MH 3		1.9±4.2	10.4±5.8	34.7±10.8	42.9±13.6	75.9±7.6	99.8±0.3		
MH 4		0.0±0.0	5.4±3.7	29.6±4.8	36.6±8.1	52.0±10.7	64.7±5.0	77.7±10.7	100.0±0.0

Tabella 5.28 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo Adulti – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In Figura 5.22, si ha il grafico relativo alla tabella 5.28: le regioni colorate in verde rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL4 (Adulti - maschi)

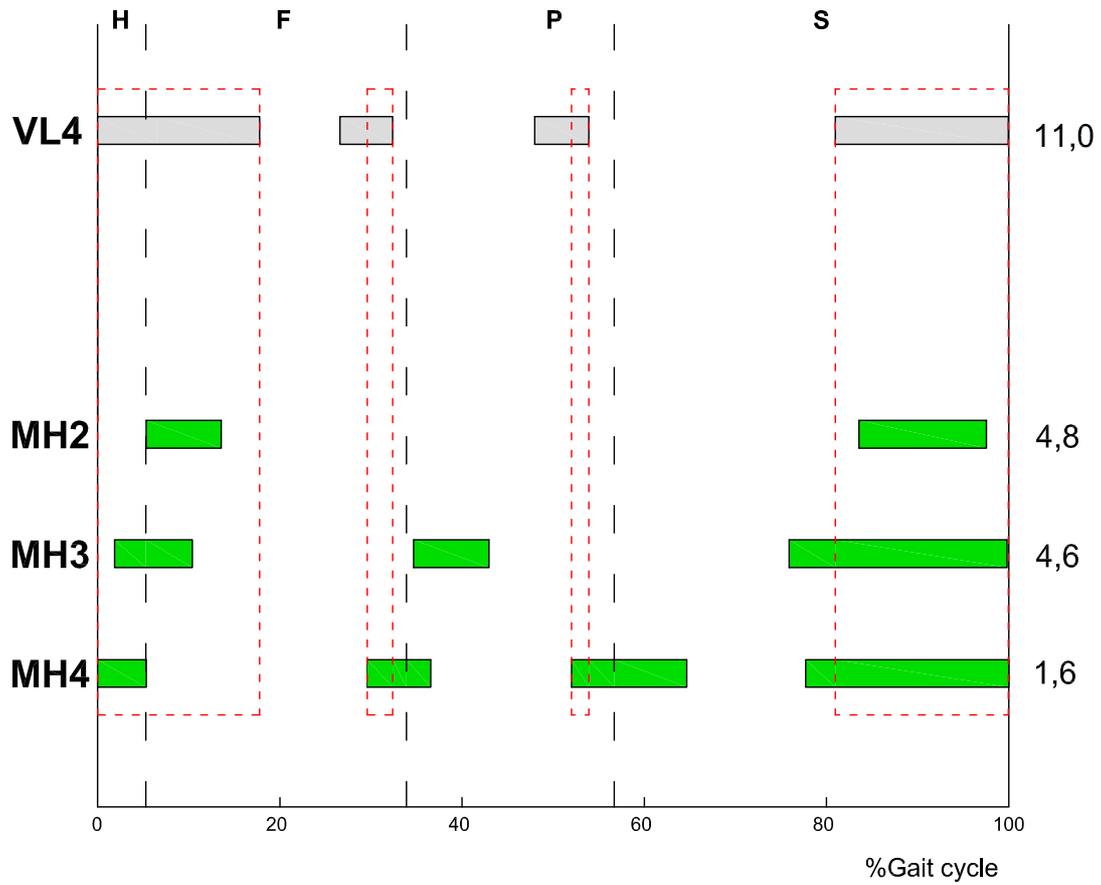


Figura 5.22 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo di studio Adulti - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL4, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co - contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.5.2 Gruppo Adulti – Femmine

Per il gruppo **Adulti – Femmine** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del MH:

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

VL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	11.3±11.3	19.2±13.3	76.9±4.6	97.6±2.8				
MH 3	0.5±0.9	8.5±3.5	35.2±10.1	49.2±7.8	77.8±5.5	99.6±0.7		
MH 4	1.6±0.0	8.9±0.0	30.3±0.0	41.9±0.0	54.6±0.0	63.0±0.0	81.2±0.0	99.2±0.0

Tabella 5.29 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.23, si ha il grafico relativo alla tabella 5.29: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL2 (Adulti - femmine)

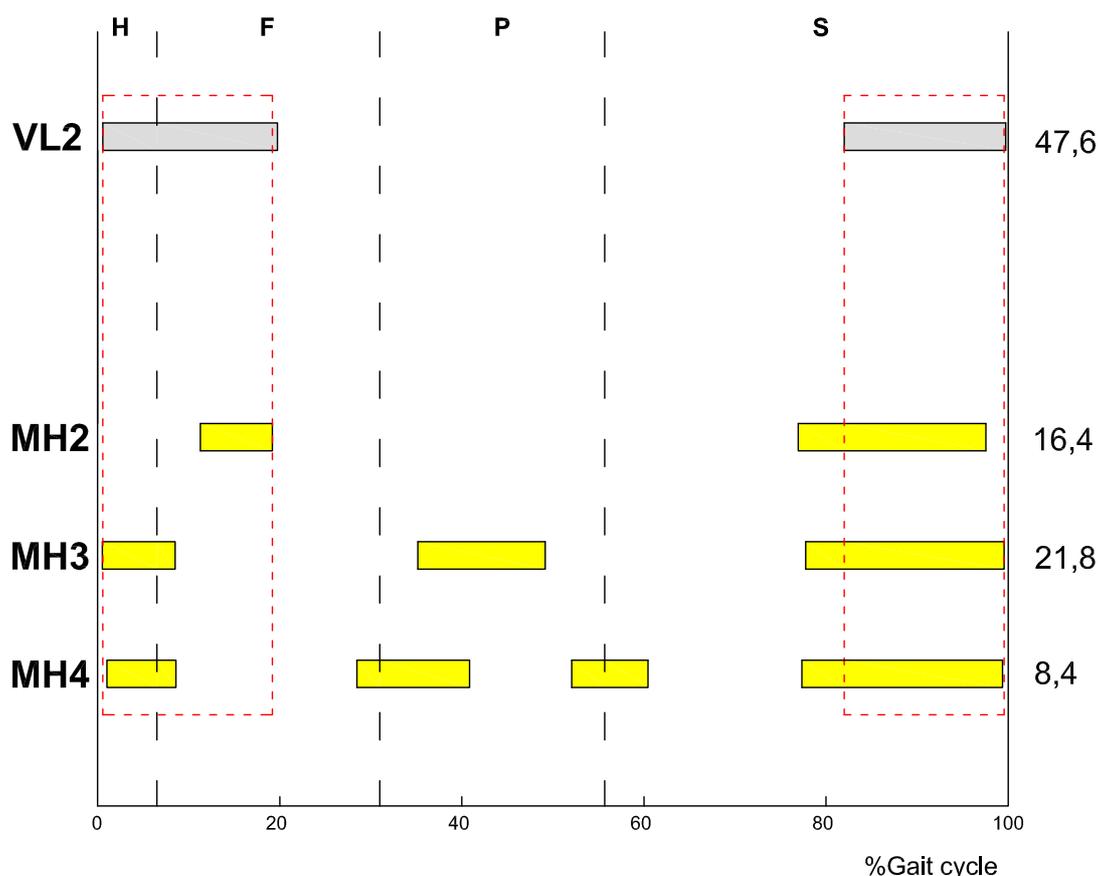


Figura 5.23 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

VL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
AF								
MH 2	7.6±11.6	13.0±12.3	72.8±6.8	94.7±8.7				
MH 3	2.3±4.5	10.7±4.8	35.6±12.1	48.9±9.5	78.6±5.0	99.2±1.5		
MH 4	0.5±0.7	8.3±0.0	26.7±3.1	39.9±4.3	49.6±3.7	57.9±2.7	73.6±1.8	99.6±0.6

Tabella 5.30 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

MH in funzione di VL3 (Adulti - femmine)

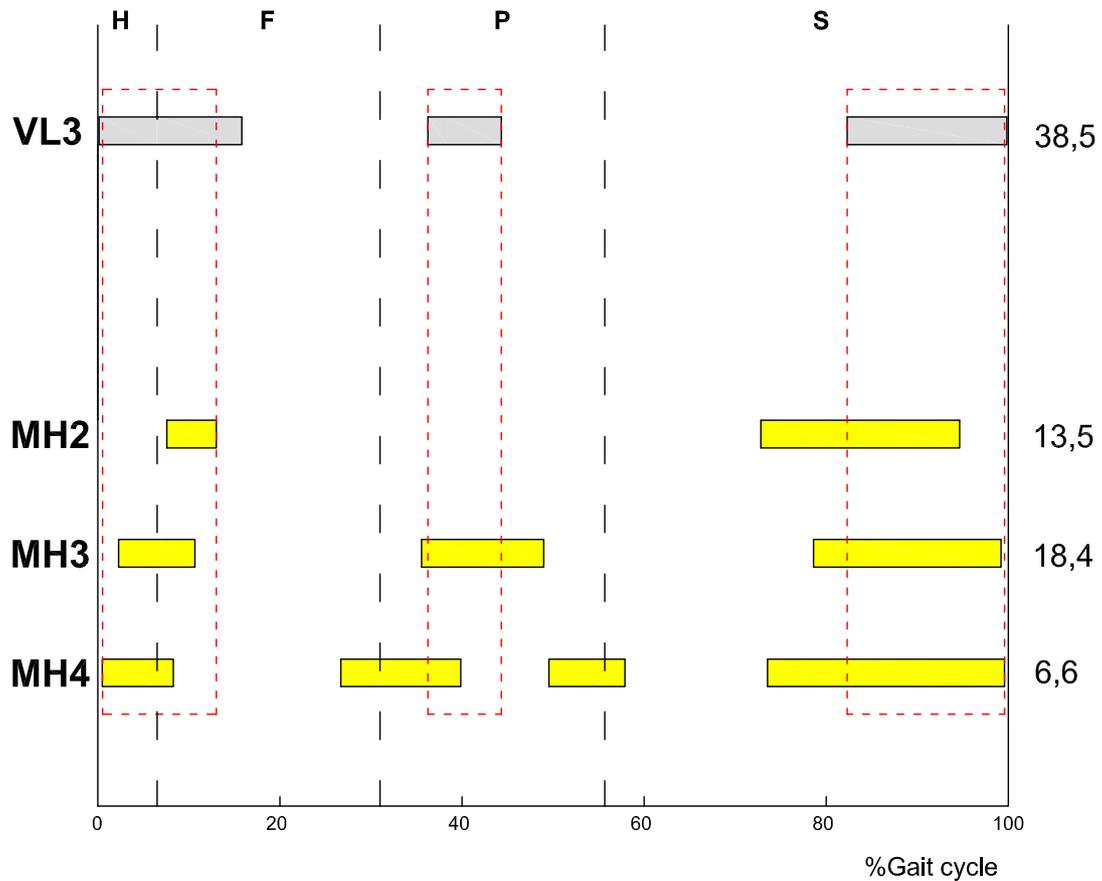


Figura 5.24 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL3, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

VL4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
AF								
MH 2	9.1±9.6	15.6±10.5	77.4±7.1	97.5±6.1				
MH 3	0.4±1.3	9.5±3.6	33.0±10.2	47.8±6.8	76.3±5.1	99.8±0.4		
MH 4	1.6±2.2	8.9±0.4	30.3±7.9	41.9±7.3	54.6±10.0	63.0±8.5	81.2±6.4	99.2±0.6

Tabella 5.31 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo Adulti – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

MH in funzione di VL4 (Adulti - femmine)

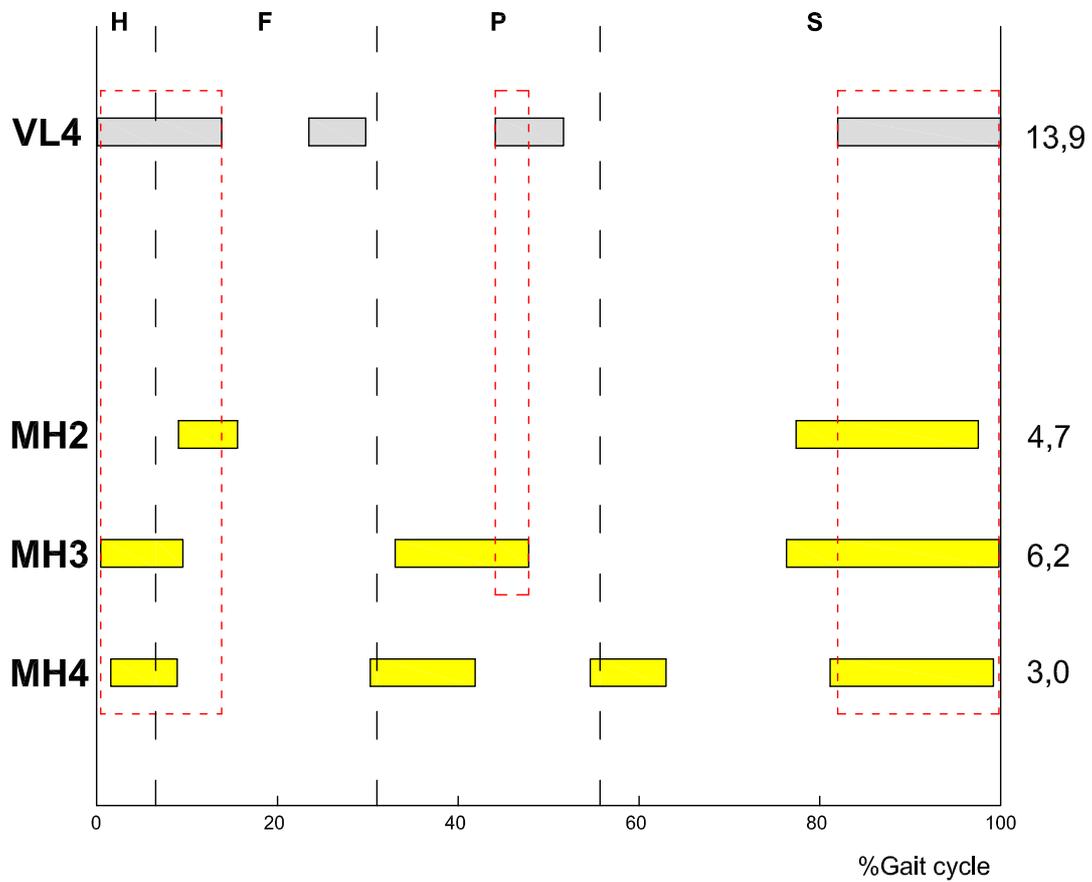


Figura 5.25 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo di studio Adulti - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL4, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.5.3 Gruppo Bambini – Maschi

Per il gruppo **Bambini – Maschi** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del MH:

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

VL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	1.1±2.5	24.7±10.4	78.3±3.8	98.5±4.6				
MH 3	0.5±1.3	15.5±7.4	37.1±12.8	48.8±10.8	79.4±3.1	99.7±0.8		
MH 4	0.0±0.0	18.4±0.0	36.2±0.0	48.4±0.0	56.3±0.0	63.5±0.0	79.0±0.0	100.0±0.0

Tabella 5.32 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.26, si ha il grafico relativo alla tabella 5.32; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL2 (Bambini - maschi)

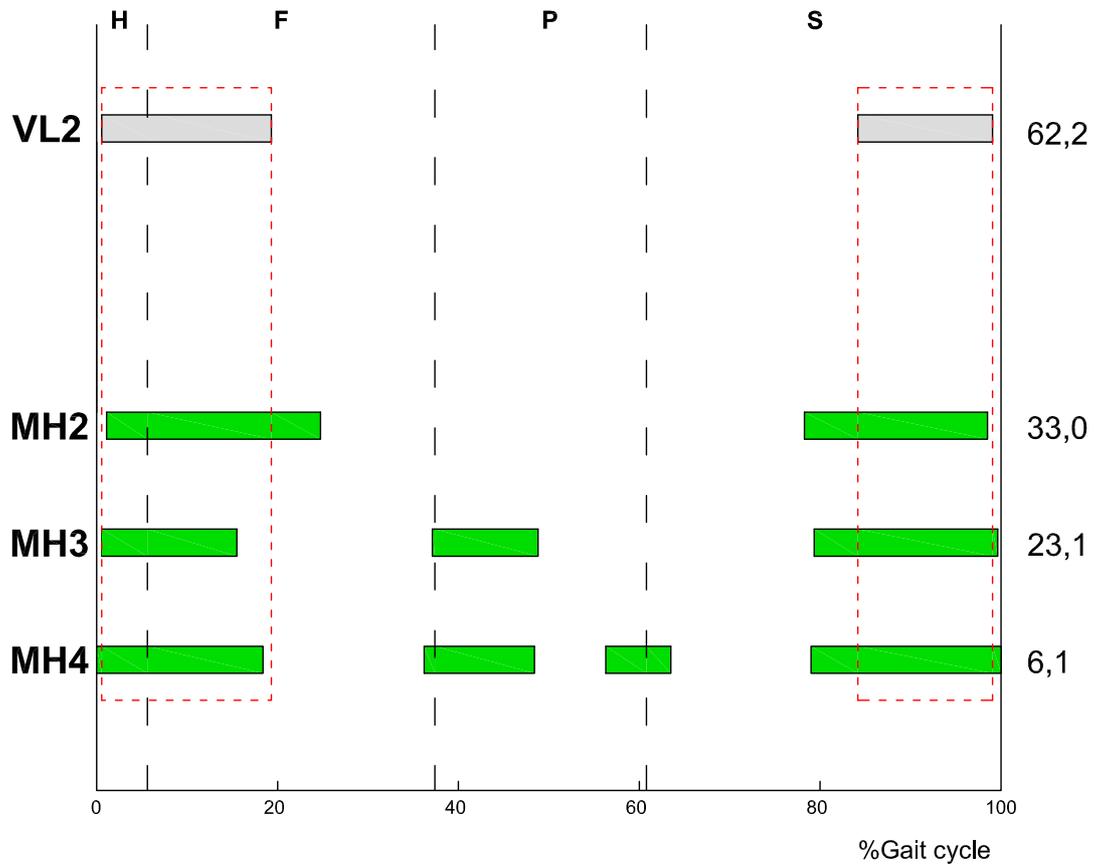


Figura 5.26 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

VL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
BM								
MH 2	0.7±2.1	25.9±11.2	77.3±5.7	98.2±5.8				
MH 3	0.2±0.8	16.1±7.7	38.8±11.5	49.9±10.6	78.9±3.8	99.9±0.2		
MH 4	0.0±0.0	20.3±0.0	29.0±0.0	38.4±0.0	57.5±0.0	63.4±0.0	77.0±0.0	100.0±0.0

Tabella 5.33 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.27, si ha il grafico relativo alla tabella 5.33; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

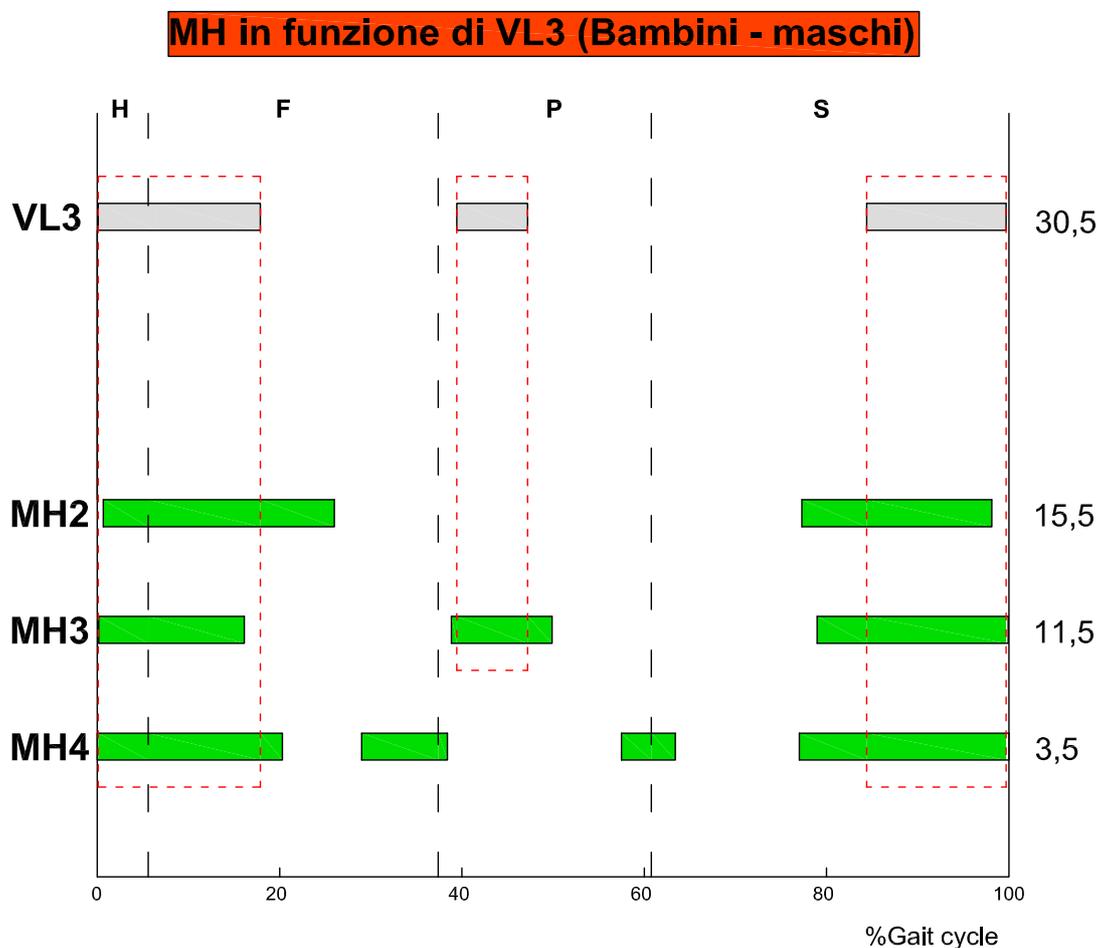


Figura 5.27 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL3, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

VL4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	1.5±8.3	28.9±15.3	78.2±7.9	99.4±2.4				
MH 3	0.2±0.5	18.8±12.9	44.1±15.2	55.4±12.7	80.1±5.5	99.5±2.1		
MH 4	0.0±0.0	15.0±6.2	25.1±8.7	35.8±7.6	47.4±11.9	56.1±15.2	80.1±2.6	100.0±0.0

Tabella 5.34 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo Bambini – Maschi. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.28, si ha il grafico relativo alla tabella 5.34; le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

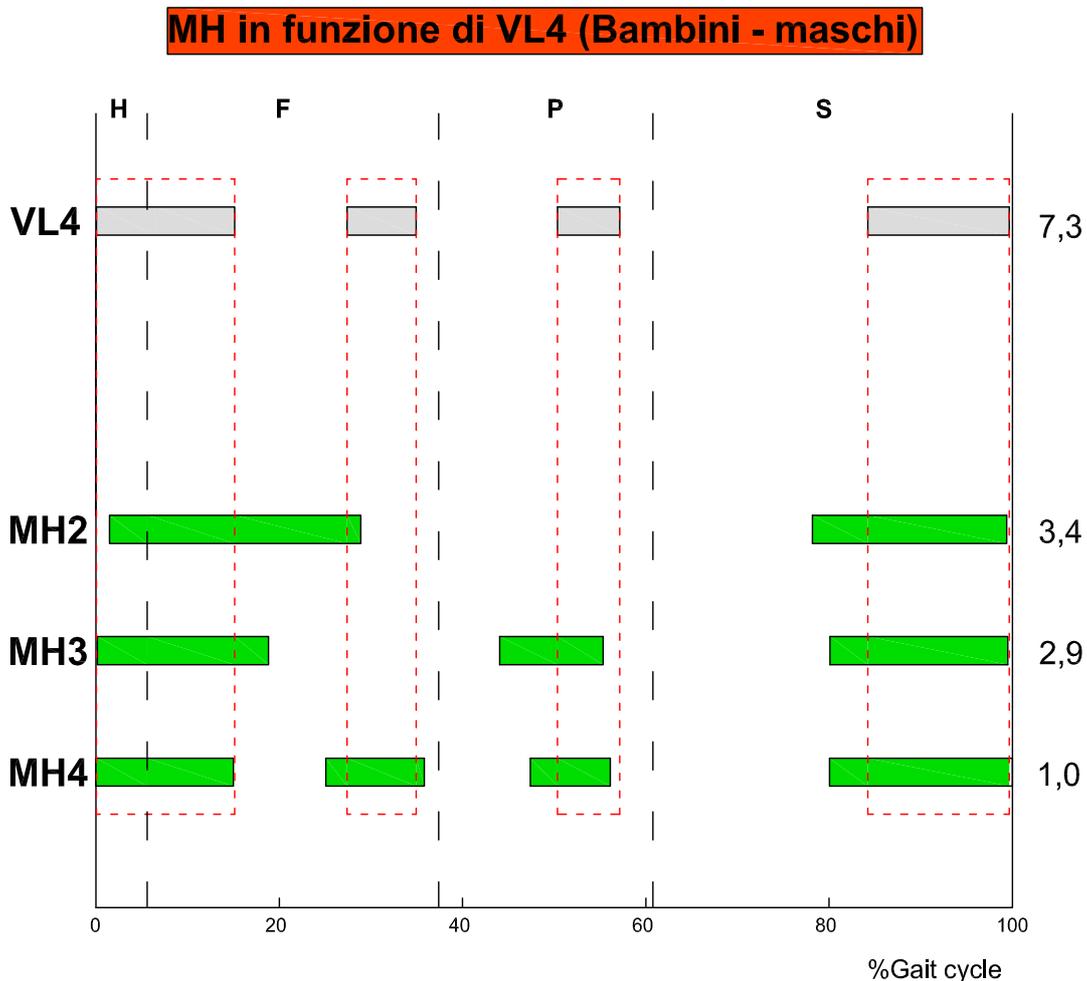


Figura 5.28 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo di studio Bambini - Maschi. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL4, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.5.4 Gruppo Bambini – Femmine

Per il gruppo **Bambini – Femmine** si hanno i seguenti intervalli di attivazione del MH:

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

VL2	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	4.4±7.4	27.9±9.7	77.7±3.8	98.2±3.9				
MH 3	0.7±1.2	13.5±6.0	32.2±11.6	46.8±7.9	79.7±3.3	96.1±17.6		
MH 4	0.0±0.0	11.2±3.8	22.6±3.1	33.7±1.3	54.7±5.3	62.8±5.4	79.4±1.4	100.0±0.0

Tabella 5.35 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.29, si ha il grafico relativo alla tabella 5.35: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL2 (Bambini - femmine)

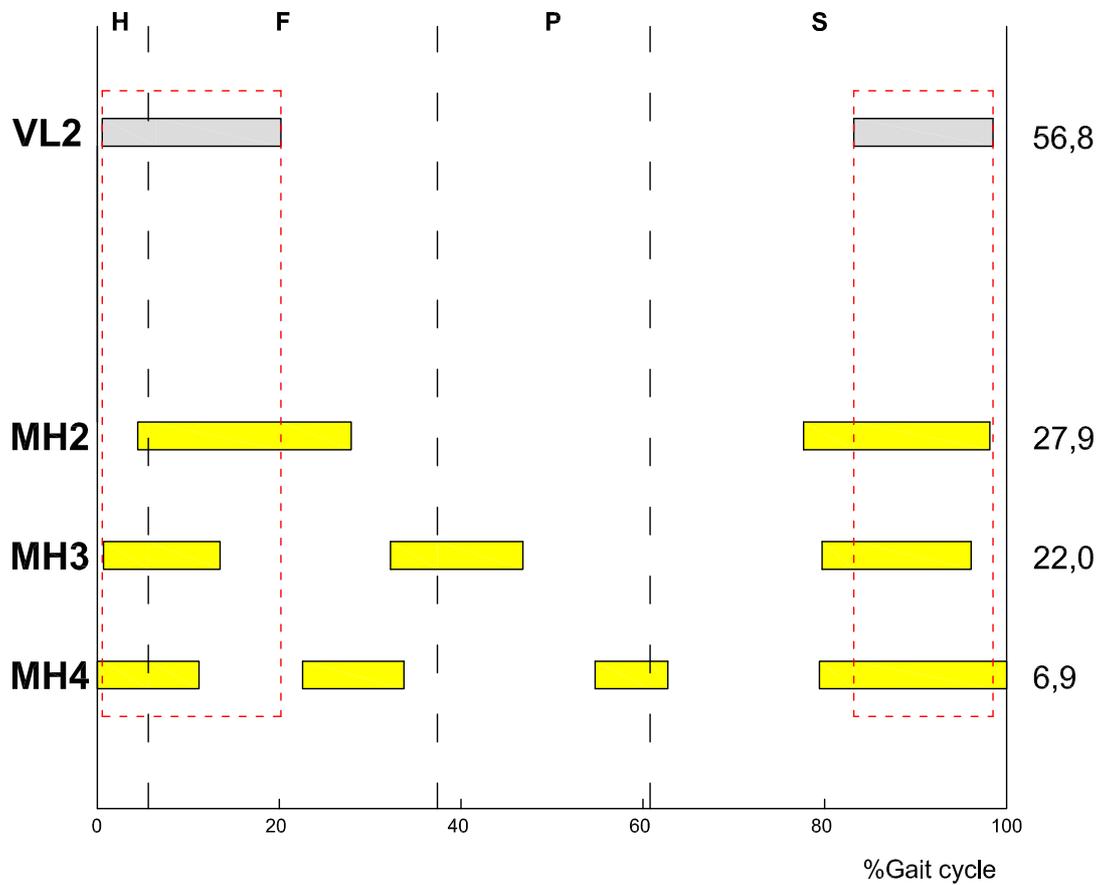


Figura 5.29 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL2 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL2, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co - contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

VL3	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	3.4±7.1	30.4±11.0	77.8±3.7	99.1±2.2				
MH 3	0.8±1.5	14.4±5.4	34.2±10.2	48.5±8.0	78.9±5.1	99.1±2.7		
MH 4	0.7±1.5	11.7±8.1	26.5±13.0	38.7±6.8	58.0±6.4	66.5±5.9	81.0±2.6	99.9±0.2

Tabella 5.36 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.30, si ha il grafico relativo alla tabella 5.36: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

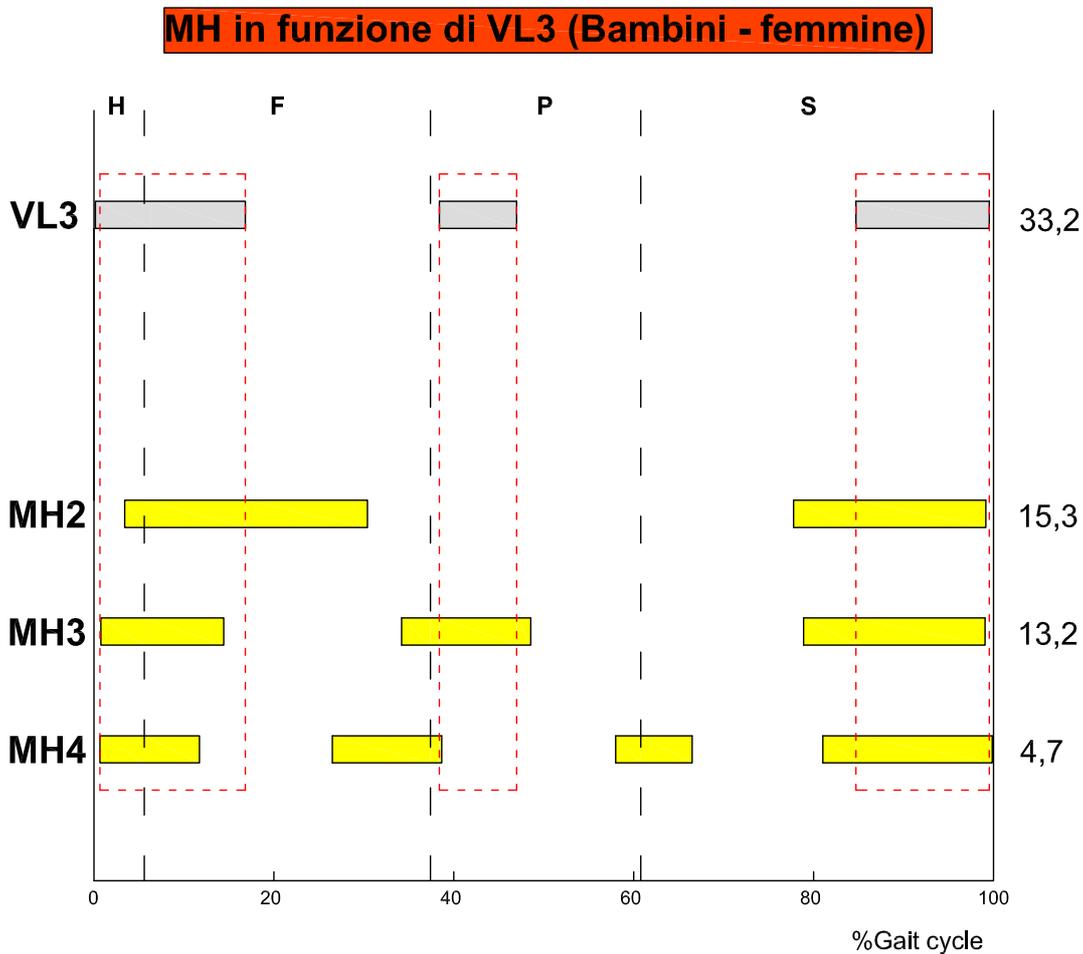


Figura 5.30 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL3 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL3, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co – contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiati.

- Intervalli on/off dei Muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

VL4	1° Attivazione		2° Attivazione		3° Attivazione		4° Attivazione	
BF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
MH 2	2.5±6.1	31.9±14.2	75.8±8.4	96.8±9.8				
MH 3	0.5±1.4	17.0±9.5	34.0±11.9	47.6±9.3	78.2±5.8	99.5±1.7		
MH 4	0.6±1.2	9.0±3.3	24.6±10.1	33.9±9.9	50.2±13.4	58.7±12.1	80.3±4.4	99.7±0.5

Tabella 5.37 Tempistiche di attivazione e disattivazione riportate in % del ciclo del passo del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo Bambini – Femmine. Dati riportati in Media ± Deviazione Standard (SD).

In figura 5.31, si ha il grafico relativo alla tabella 5.37: le regioni colorate rappresentano la durata dell'attivazione muscolare del MH; in grigio è mostrato il muscolo VL.

MH in funzione di VL4 (Bambini - femmine)

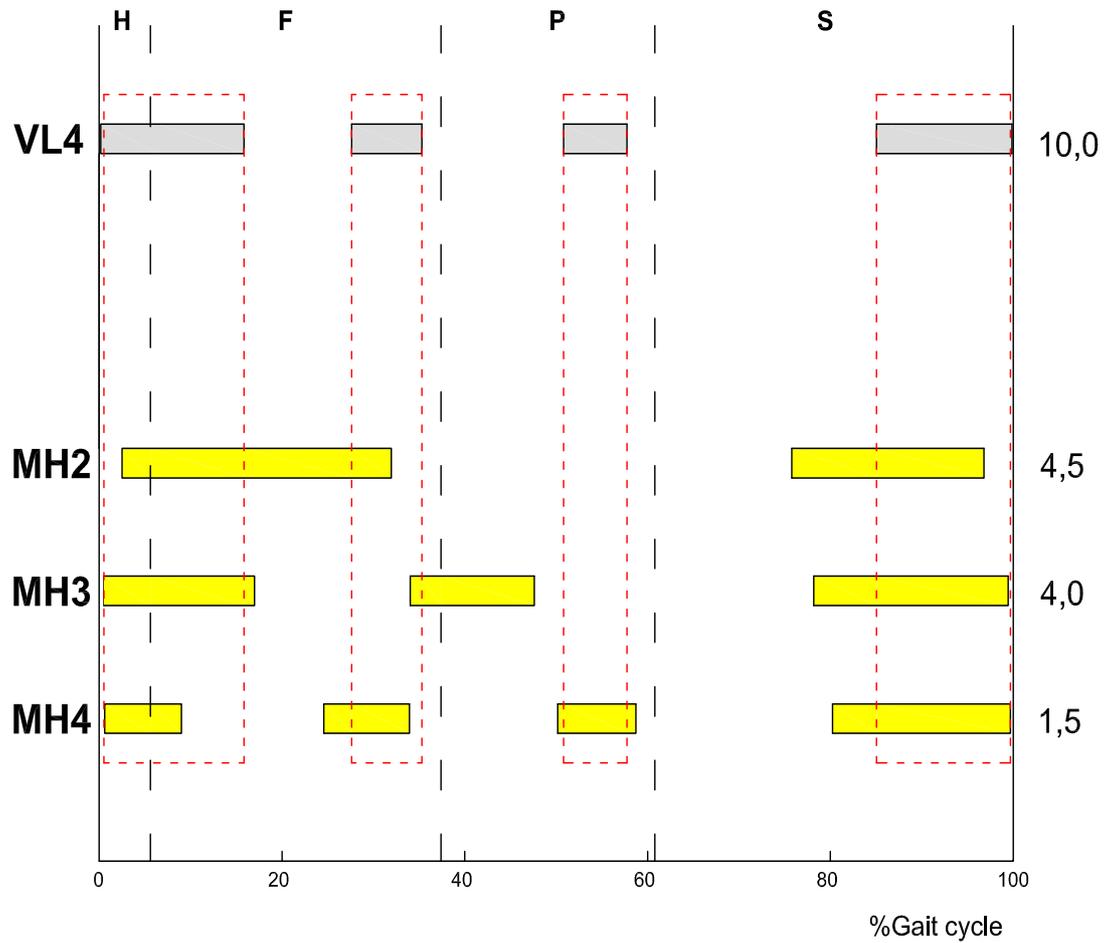


Figura 5.31 Valori medi degli istanti di On e Off del muscolo MH in funzione dell'attivazione VL4 nel gruppo di studio Bambini - Femmine. Valori riportati in % del ciclo del passo. Le modalità di attivazione VL4, MH2, MH3 e MH4 sono riportate separatamente. A destra è presente il valore medio delle rispettive frequenze di reclutamento. Le fasi H, F, P, S sono delimitate da linee verticali tratteggiate. Le co - contrazioni sono state evidenziate con dei rettangoli rossi tratteggiate.

5.6 Frequenze di reclutamento VL-RF

A destra di ogni grafico presente nel capitolo 5.4 sono state inserite le frequenze di reclutamento medie delle singole modalità di attivazione. Gli stessi dati sono stati riportati nelle tabelle seguenti come Media \pm Deviazione standard.

5.6.1 Gruppo Adulti

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF2	Media	SD	Media	SD
RF2	18.0	± 17.3	28.7	± 22.3
VL2(RF2)	10.8	± 29.7	15.1	± 32.1
VL3(RF2)	5.4	± 22.1	9.9	± 19.9
VL4(RF2)	1.8	± 15.6	3.7	± 15.1

Tabella 5.38 Frequenze di reclutamento di RF2 e dei VL in funzione di RF2 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media \pm Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF3	Media	SD	Media	SD
RF3	62.2	± 20.9	48.1	± 18.6
VL2(RF3)	36.9	± 26.3	22.0	± 26.5
VL3(RF3)	19.7	± 16.5	19.6	± 19.2
VL4(RF3)	5.6	± 10.5	6.5	± 11.3

Tabella 5.39 Frequenze di reclutamento di RF3 e dei VL in funzione di RF3 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media \pm Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF4	Media	SD	Media	SD
RF4	19.8	±12.5	23.2	±14.1
VL2(RF4)	9.5	±30.3	9.1	±24.8
VL3(RF4)	7.3	±20.3	9.7	±16.7
VL4(RF4)	3.0	±16.5	4.4	±14.3

Tabella 5.40 Frequenze di reclutamento di RF4 e dei VL in funzione di RF4 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

5.6.2 Gruppo Bambini

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con due attivazioni (RF2):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF2	Media	SD	Media	SD
RF2	25.4	±15.4	32.0	±18.1
VL2(RF2)	16.4	±25.1	18.3	±28.8
VL3(RF2)	7.4	±18.1	10.8	±19.6
VL4(RF2)	1.6	±9.8	2.9	±10.3

Tabella 5.41 Frequenze di reclutamento di RF2 e dei VL in funzione di RF2 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con tre attivazioni (RF3):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF3	Media	SD	Media	SD
RF3	54.4	±18.5	49.6	±18.8
VL2(RF3)	35.3	±84.5	29.0	±25.8
VL3(RF3)	15.6	±17.9	15.9	±18.8
VL4(RF3)	3.5	±6.8	4.7	±10.6

Tabella 5.42 Frequenze di reclutamento di RF3 e dei VL in funzione di RF3 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione dei passi in cui il Retto femorale viene reclutato con quattro attivazioni (RF4):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con RF4	Media	SD	Media	SD
RF4	20.2	±9.5	18.4	±9.6
VL2(RF4)	20.1	±48.9	9.3	±28.8
VL3(RF4)	0.1	±0.3	6.9	±25.4
VL4(RF4)	0.4	±0.2	2.2	±14.6

Tabella 5.43 Frequenze di reclutamento di RF4 e dei VL in funzione di RF4 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

5.6.3 Frequenze di reclutamento RF

Estrapolando dalle precedenti tabelle solo i valori delle frequenze di reclutamento del muscolo Retto Femorale (RF) si ottiene la tabella 5.44 con relativo grafico (Figura 5.32).

	ADULTI		BAMBINI	
	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine
RF2	18.0±17.3%	28.7±22.3%	25.4±15.4%	32.0±18.1%
RF3	62.2±20.9%	48.1±18.6%	54.4±18.5%	49.6±18.8%
RF4	19.8±12.5%	23.2±14.1%	20.2±9.5%	18.4±9.6%

Tabella 5.44 Frequenze di reclutamento di ogni modalità del RF per tutti i sottogruppi. Dati riportati come media ± Deviazione Standard.

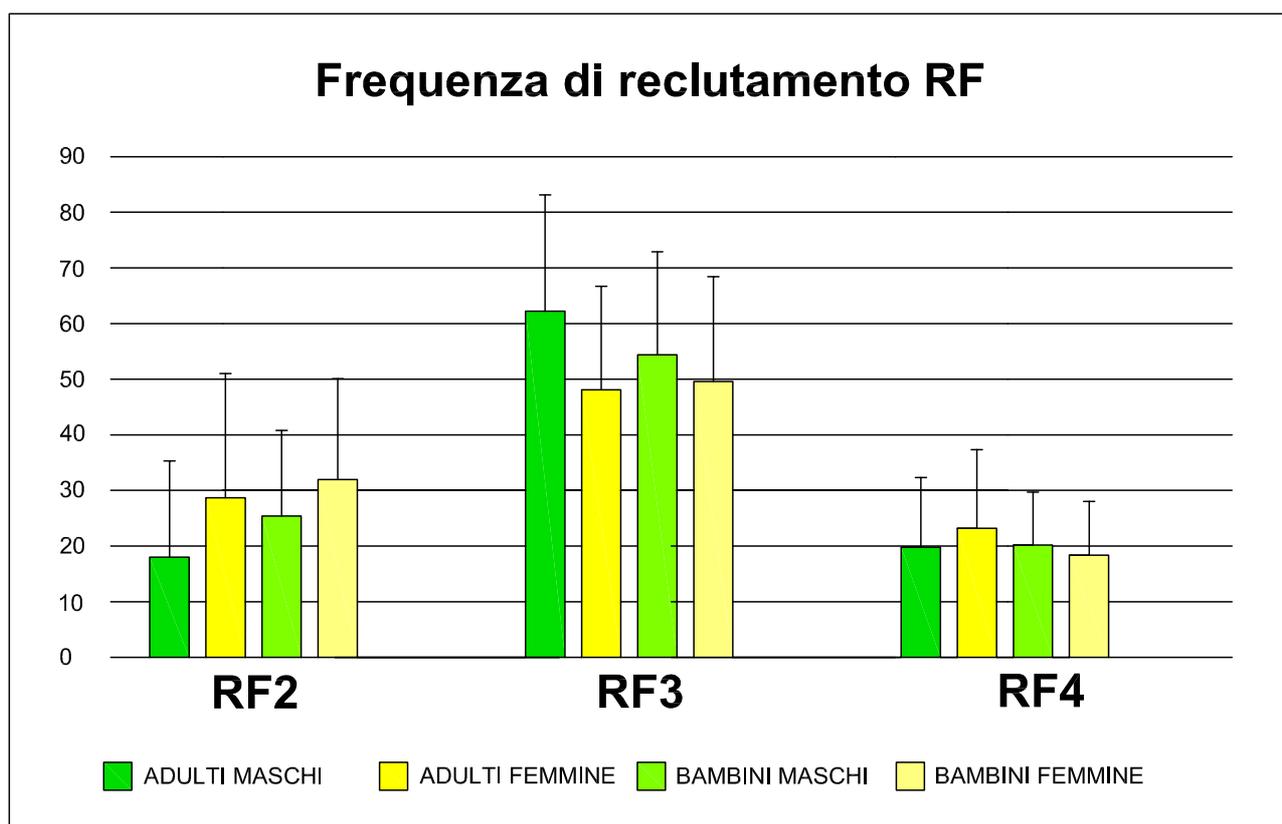


Figura 5.32 Frequenze di reclutamento del Retto Femorale in funzione del sottogruppo di riferimento e della modalità di attivazione. I valori sono tutti espressi in percentuale. Le barre rappresentano il valor medio, le linee la Deviazione Standard.

5.7 Frequenze di reclutamento MH-VL

A destra di ogni grafico presente nel capitolo 5.5 sono state inserite le frequenze di reclutamento medie delle singole modalità di attivazione. Gli stessi dati sono stati riportati nelle tabelle seguenti come Media \pm Deviazione standard.

5.7.1 Gruppo Adulti

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL2	Media	SD	Media	SD
VL2	57.4	± 27.3	47.6	± 25.3
MH2(VL2)	25.9	± 18.1	16.4	± 22.0
MH3(VL2)	22.0	± 16.7	21.8	± 24.4
MH4(VL2)	9.5	± 11.4	8.4	± 12.3

Tabella 5.45 Frequenze di reclutamento di VL2 e dei MH in funzione di VL2 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media \pm Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL3	Media	SD	Media	SD
VL3	31.6	± 15.9	38.5	± 15.2
MH2(VL3)	12.1	± 20.9	13.5	± 20.9
MH3(VL3)	12.9	± 17.2	18.4	± 21.8
MH4(VL3)	6.6	± 17.6	6.6	± 12.9

Tabella 5.46 Frequenze di reclutamento di VL3 e dei MH in funzione di VL3 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media \pm Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

ADULTI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL4	Media	SD	Media	SD
VL4	11.0	±11.9	13.9	±10.9
MH2(VL4)	4.8	±34.6	4.7	±28.1
MH3(VL4)	4.6	±31.5	6.2	±27.2
MH4(VL4)	1.6	±15.4	3.0	±16.1

Tabella 5.47 Frequenze di reclutamento di VL4 e dei MH in funzione di VL4 nel gruppo adulti maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

5.7.2 Gruppo Bambini

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con due attivazioni (VL2):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL2	Media	SD	Media	SD
VL2	62.2	±21.6	56.8	±24.4
MH2(VL2)	33.0	±18.4	27.9	±21.3
MH3(VL2)	23.1	±12.8	22.0	±15.3
MH4(VL2)	6.1	±9.6	6.9	±11.9

Tabella 5.48 Frequenze di reclutamento di VL2 e dei MH in funzione di VL2 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con tre attivazioni (VL3):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL3	Media	SD	Media	SD
VL3	30.5	±14.4	33.2	±15.8
MH2(VL3)	15.5	±24.2	15.3	±24.8
MH3(VL3)	11.5	±19.1	13.2	±19.5
MH4(VL3)	3.5	±18.0	4.7	±14.6

Tabella 5.49 Frequenze di reclutamento di VL3 e dei MH in funzione di VL3 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

- Frequenze di reclutamento dei muscoli di Hamstring in funzione dei passi in cui il Vasto Laterale viene reclutato con quattro attivazioni (VL4):

BAMBINI	MASCHI		FEMMINE	
OF con VL4	Media	SD	Media	SD
VL4	7.3	±6.8	10.0	±9.1
MH2(VL4)	3.4	±37.8	4.5	±38.6
MH3(VL4)	2.9	±32.0	4.0	±31.2
MH4(VL4)	1.0	±33.7	1.5	±23.7

Tabella 5.50 Frequenze di reclutamento di VL4 e dei MH in funzione di VL4 nel gruppo bambini maschi e femmine. Dati riportati come Media ± Deviazione Standard.

5.7.3 Frequenze di reclutamento VL

Estrapolando dalle precedenti tabelle solo i valori delle frequenze di reclutamento del muscolo Vasto Laterale (VL) si ottiene la tabella 5.44 con relativo grafico (Figura 5.33).

	ADULTI		BAMBINI	
	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine
VL2	57.4±20.3%	47.6±25.3%	62.2±21.6%	56.8±24.4%
VL3	31.6±15.9%	38.5±15.2%	30.5±14.4%	33.2±15.8%
VL4	11.0±11.9%	3.0±16.1%	7.3±6.8%	1.5±23.7%

Tabella 5.51 Frequenze di reclutamento di ogni modalità del RF per tutti i sottogruppi. Dati riportati come media ± Deviazione Standard.

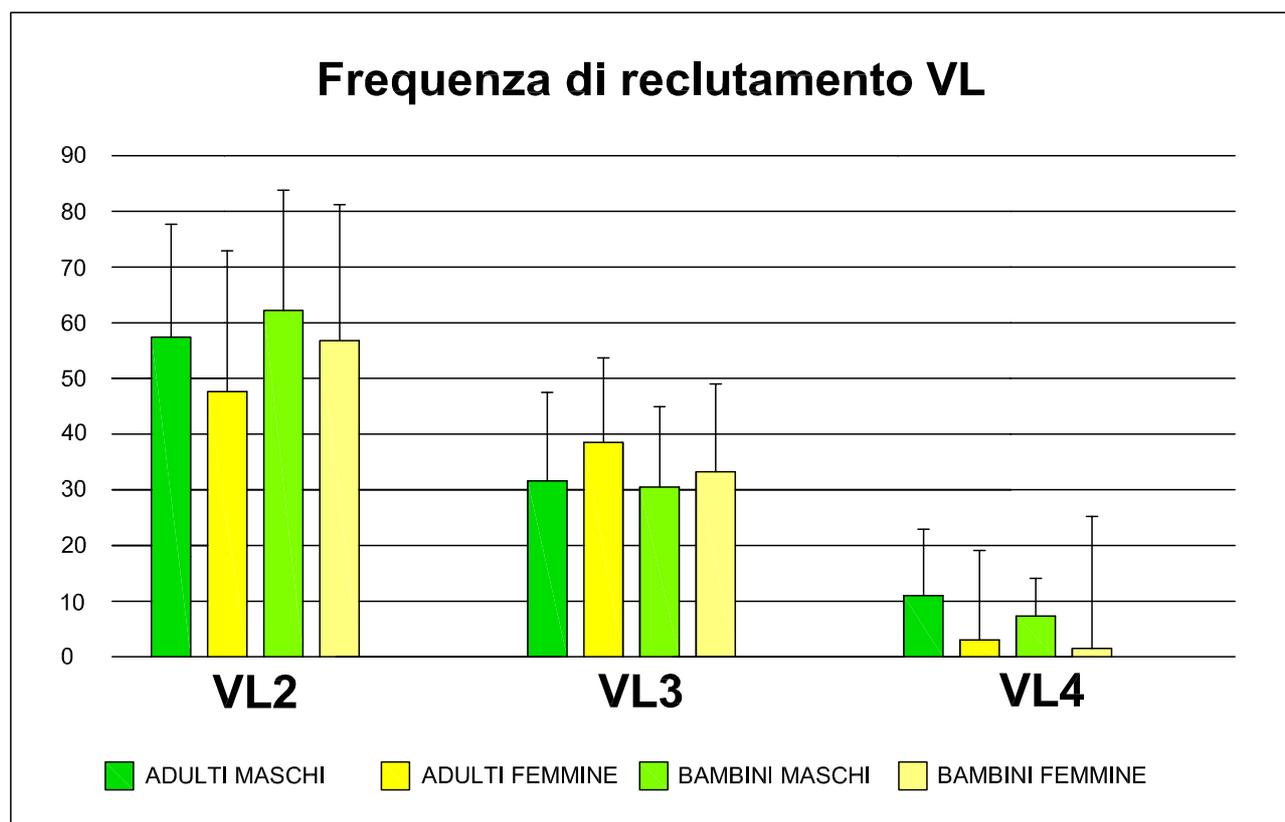


Figura 5.33 Frequenze di reclutamento del Vasto Laterale in funzione del sottogruppo di riferimento e della modalità di attivazione. I valori sono tutti espressi in percentuale. Le barre rappresentano il valor medio, le linee la Deviazione Standard.

5.8 Co – contrazione

Le aree evidenziate da rettangoli rossi tratteggiati all'interno dei grafici presenti nel capitolo 5.4, indicano le zone di co – contrazione dei due muscoli, ovvero quelle zone in cui sono entrambi attivi negli stessi istanti. Le co – contrazioni della durata inferiore al 2% del ciclo del passo sono state ignorate.

Le Occurrence Frequency di ogni tipologia di co – contrazione sono in tabella 5.52.

	ADULTI				BAMBINI			
	Maschi		Femmine		Maschi		Femmine	
Early-stance	100.0	±0.0	100.0	±0.0	100.0	±0.0	100.0	±0.0
Mid-stance	0.0	±0.0	14.1	±5.6	0.1	±0.1	9.1	±3.5
Pre-swing	5.6	±10.5	4.4	±2.5	19.1	±6.4	20.6	±7.8
Swing	100.0	±0.0	100.0	±0.0	100.0	±0.0	100.0	±0.0

Tabella 5.52 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di di co – contrazione, per tutti i sottogruppi analizzati. Dati riportati in media ± Deviazione Standard.

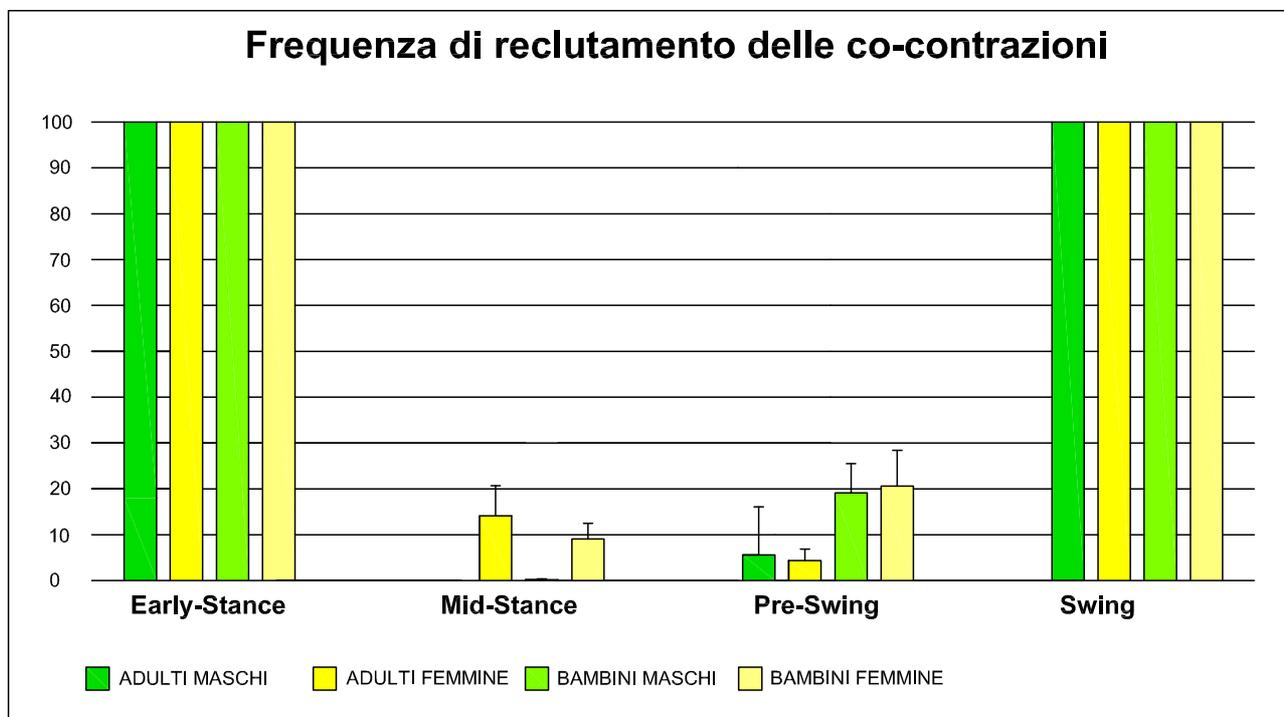


Figura 5.34 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per tutti i sottogruppi AM, AF, BM, BF.

Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.1 Confronto Adulti – Bambini

Possiamo confrontare i dati anche 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).

	ADULTI		BAMBINI	
Early-stance	100.0	±0.0	100.0	±0.0
Mid-stance	12.2	±3.6	4.6	±0.8
Pre-swing	6.3	±2.4	20.0	±4.8
Swing	100.0	±0.0	100.0	±0.0

Tabella 5.53 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.

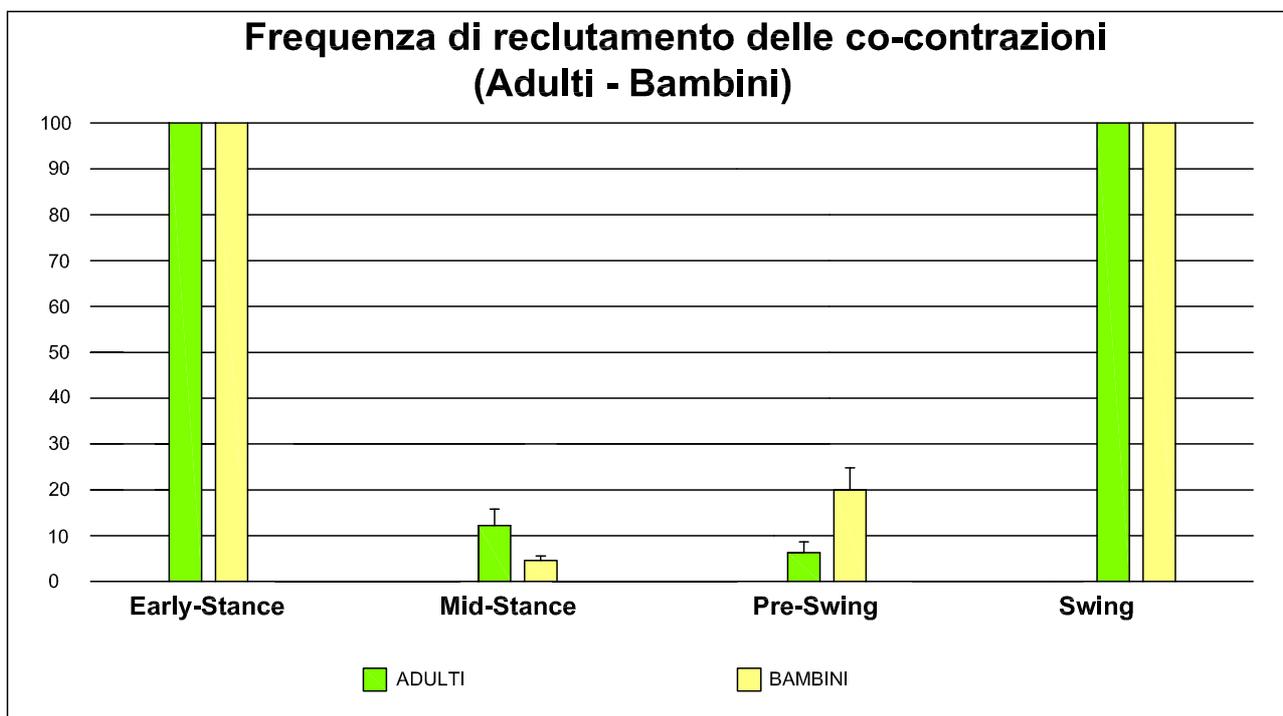


Figura 5.35 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Adulti e Bambini.

Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.2 Confronto Maschi – Femmine

Per ogni gruppo è stata calcolata la frequenza di reclutamento delle co – contrazioni (dati riportati in Media \pm Deviazione Standard).

	MASCHI		FEMMINE	
Early-stance	100.0	± 0.0	100.0	± 0.0
Mid-stance	0.1	± 0.1	8.20	± 3.40
Pre-swing	4.6	± 2.4	29.0	± 11.40
Swing	100.0	± 0.0	100.0	± 0.0

Tabella 5.54 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co – contrazione, per i sottogruppi Maschi e Femmine senza distinzione di età. Dati riportati in media \pm Deviazione Standard (SD).

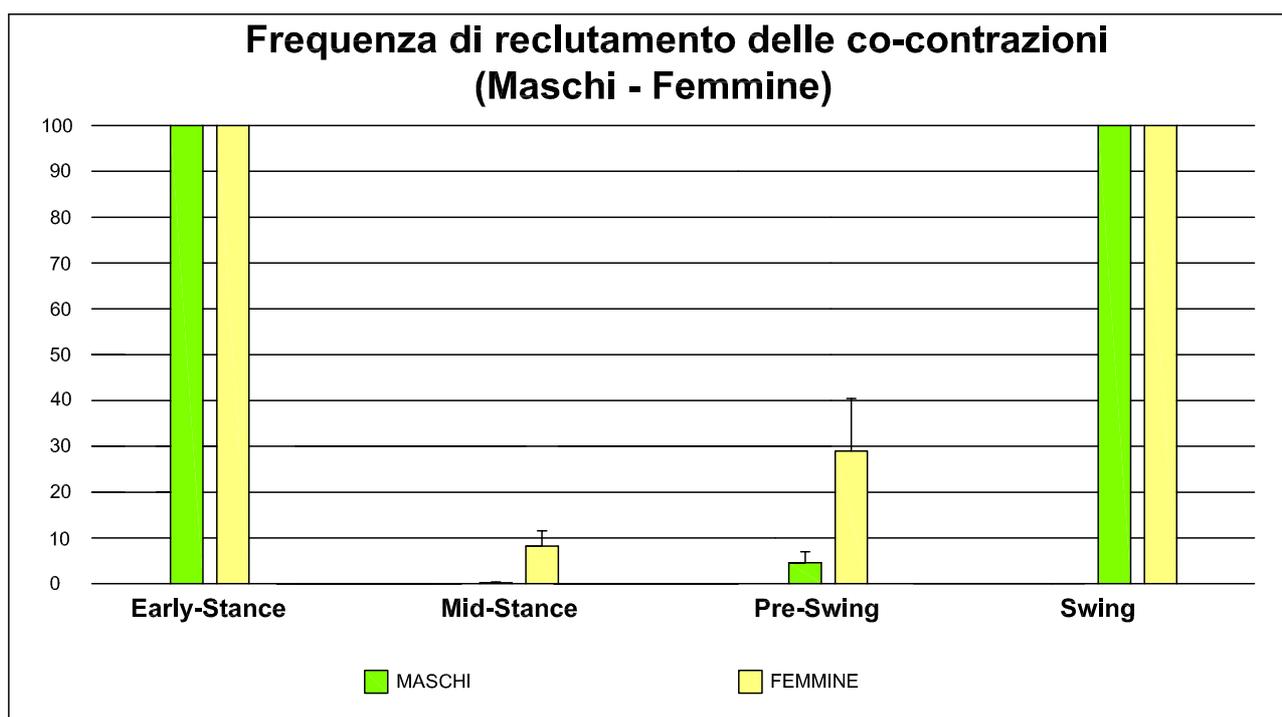


Figura 5.36 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi Maschi e Femmine (senza distinzione di età). Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.3 Effetto concomitante di genere e età

Dalla Figura 5.34 e dalla Tabella 5.52, possono essere estrapolate le informazioni relative ai confronti tra coppie di gruppi, mettendo quindi in evidenza le differenze dei due gruppi confrontati.

5.8.3.1 Confronto gruppi BM – AM

In figura 5.37 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co – contrazioni tra i gruppi **Bambini Maschi** e **Adulti Maschi**.

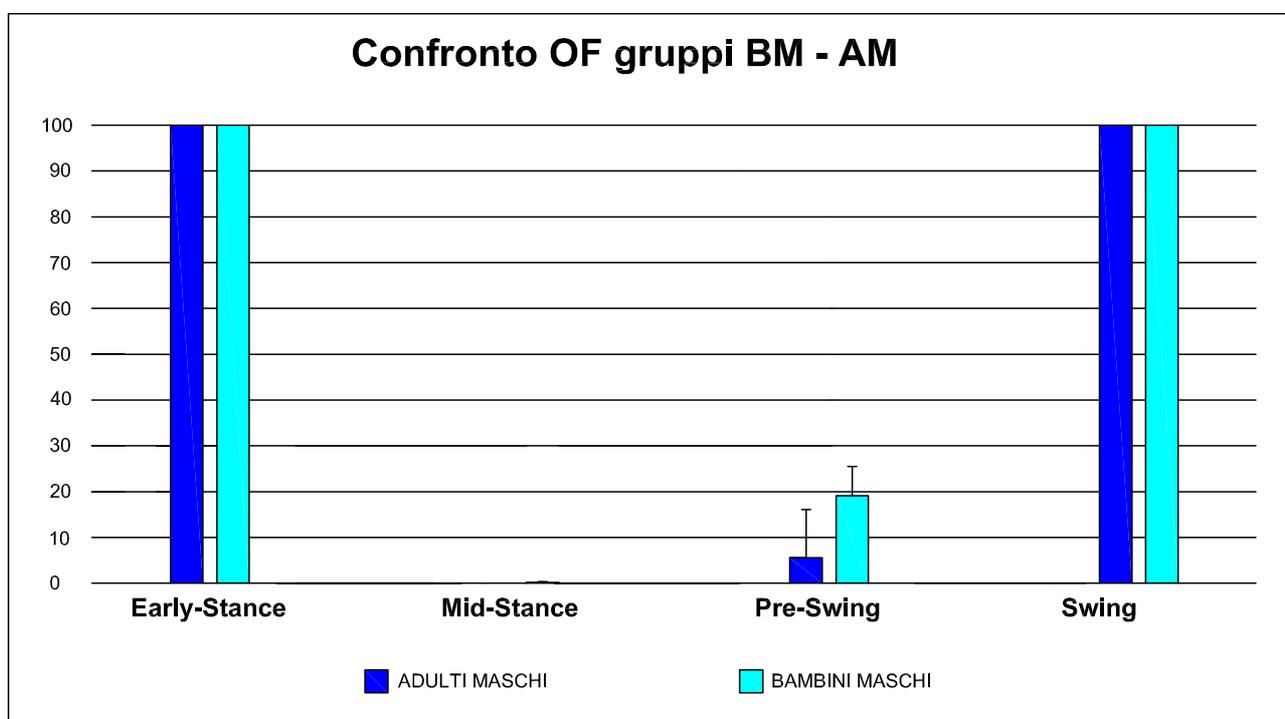


Figura 5.37 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi BM e AM. Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.3.2 Confronto gruppi BF – AF

In figura 5.38 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co – contrazioni tra i gruppi **Bambini Femmine** e **Adulti Femmine**.

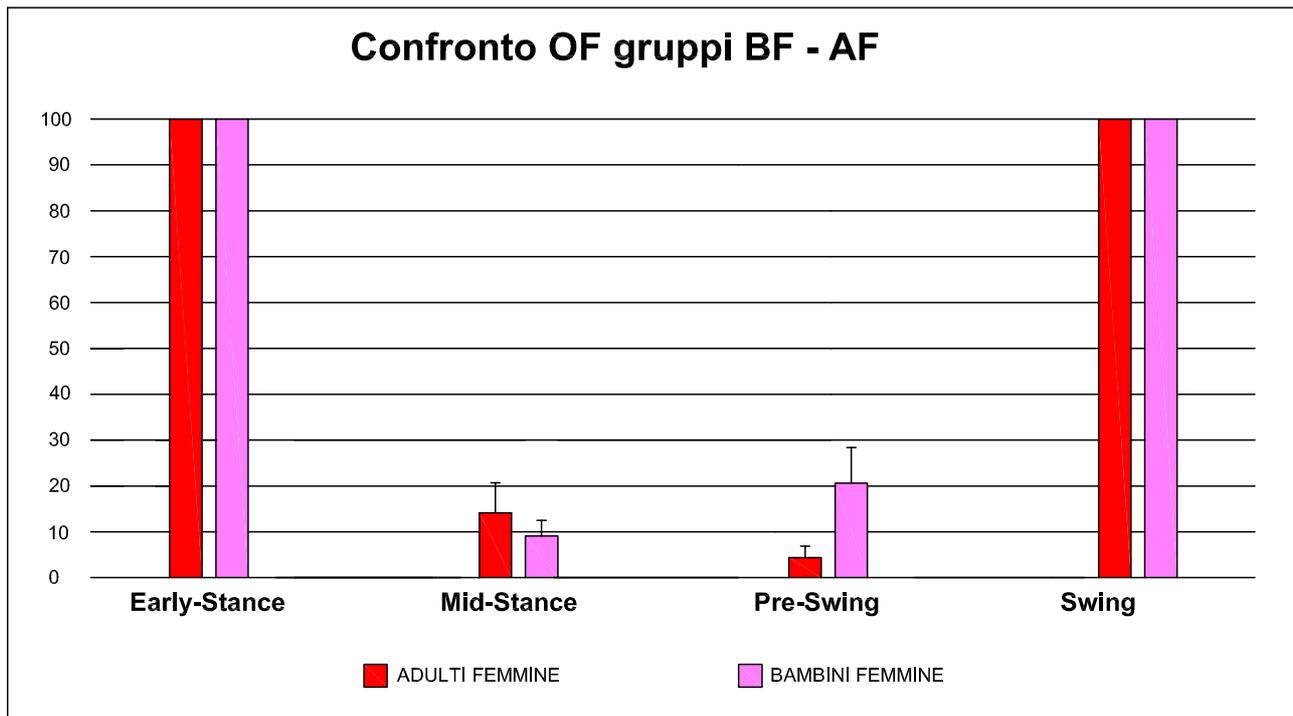


Figura 5.38 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi BF e AF. Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.3.3 Confronto gruppi AM – AF

In figura 5.39 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co – contrazioni tra i gruppi **Adulti Maschi** e **Adulti Femmine**.

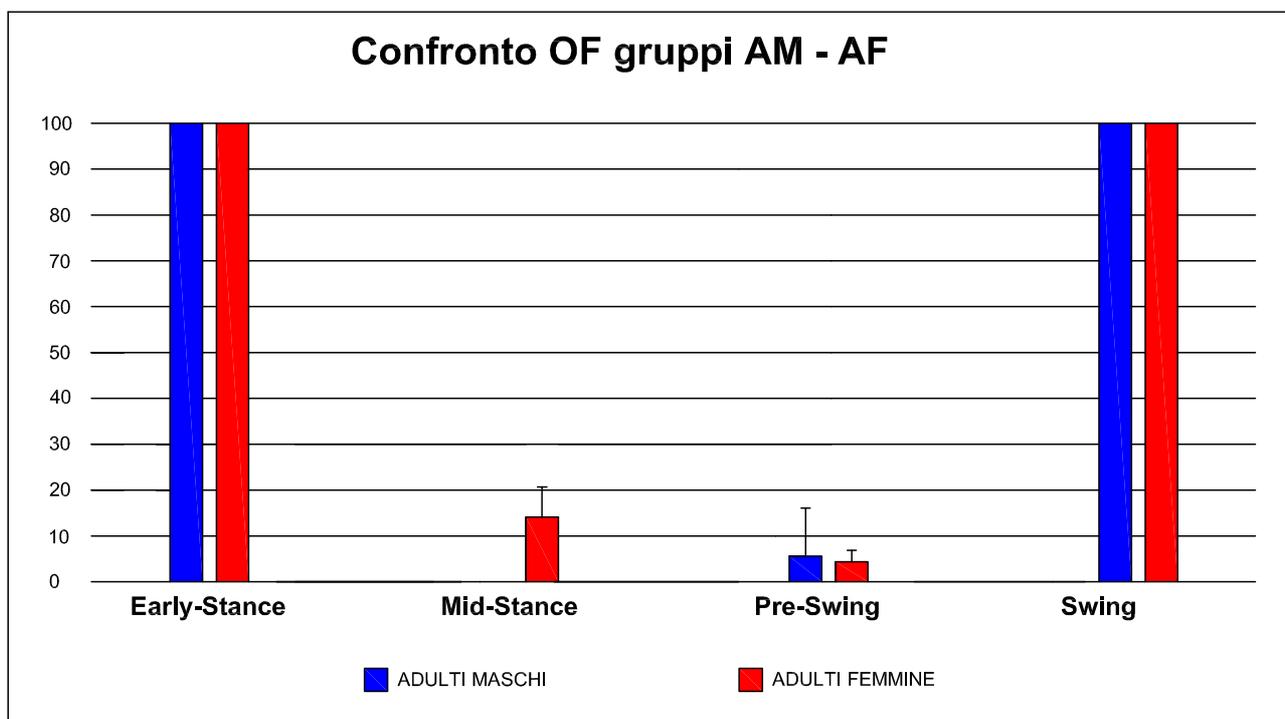


Figura 5.39 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi AF e AM. Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

5.8.3.4 Confronto gruppi BM – BF

In figura 5.40 è possibile notare le differenze nelle frequenze di reclutamento delle co – contrazioni tra i gruppi **Bambini Maschi** e **Bambini Femmine**.

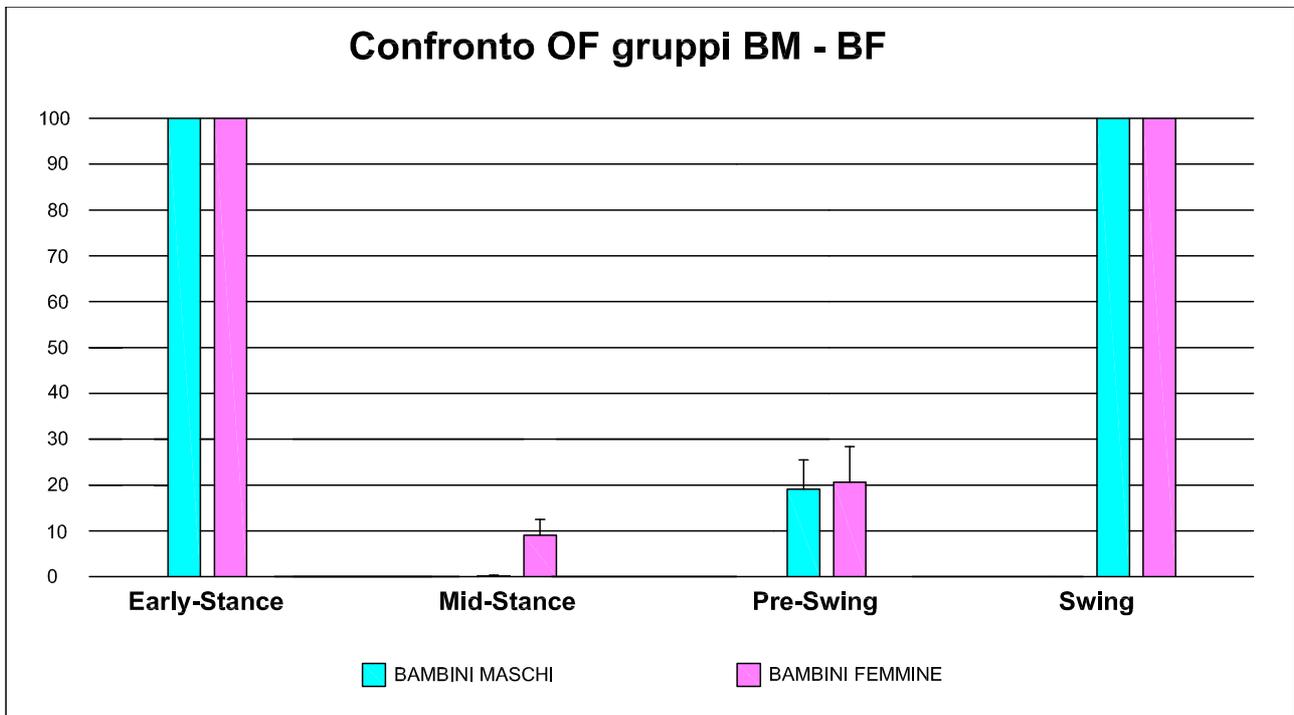


Figura 5.40 Frequenze di reclutamento di ogni tipologia di co-contrazione, per i sottogruppi BF e BM. Le barre colorate indicano il valor medio, le linee sottili rappresentano la deviazione standard. Ogni colore rappresenta un gruppo diverso.

6 Discussione Risultati e Conclusione

Lo scopo di questo studio è di valutare la possibile influenza di genere e età sul reclutamento contemporaneo di due muscoli durante il cammino. Il fenomeno, definito co – contrazione muscolare, è stato studiato analizzando il reclutamento concomitante, a due a due, durante il cammino dei seguenti tre muscoli: **Retto Femorale (RF)**, **Vasto Laterale (VL)** e **muscoli di Hamstring (MH)**. 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. Questo è un parametro di recente individuazione che consente di investigare ulteriormente e da un nuovo punto di vista la frequenza con cui un muscolo viene attivato, da solo o in relazione ad un altro muscolo. [17]

I dati delle attivazioni muscolari nei bambini e negli adulti sono coerenti con quanto riportato in [18] e in [19]. In questo studio i muscoli hanno mostrato una alta variabilità nelle modalità di attivazione, come notato anche in [9] e di conseguenza molte più co – contrazioni rispetto a quelle che si sarebbe aspettati stando alla letteratura [4]. Proprio questa alta variabilità suggerisce di tenere in considerazione non solo il tipo di attivazione, ma anche quanto spesso si verifica (Frequenza di reclutamento) [9].

6.1 Confronto frequenze di reclutamento del RF

Sei modalità di attivazione per il VL, sei modalità di attivazione per il RF e sei modalità di attivazione per MH, 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 VL1, VL5, VL6, RF1, RF5, RF6, MH1, MH5 e MH6 non sono stati considerati ai fini dello studio. Dalla figura 5.32 e dalla tabella 5.44 è immediato notare come RF3 sia la modalità di attivazione più ricorrente. Il **gruppo Adulti – Maschi (AM)** presenta una frequenza di reclutamento del RF2 significativamente inferiore a quella del gruppo **Adulti - Femmine (AF)**, mentre presenta una frequenza di reclutamento del RF3 notevolmente maggiore, infine non ci sono particolari differenze del RF4. Per quanto riguarda i **Bambini maschi** e **Bambini femmine** non vi sono differenze significative da segnalare.

Il muscolo Vasto Laterale (VL) presenta per gli adulti le stesse identiche differenze elencate per il RF, evidenziamo differenze sostanziali soltanto nei **Bambini Maschi (BM)** con i **Bambini Femmine (BF)** per quanto riguarda le frequenze di reclutamento del VL4.

Confrontando, infine, le differenze relative all'età (cioè confrontando i gruppi AM – BM – AF – BF) si può notare come non ci siano differenze rilevanti nella popolazione femminile al crescere dell'età; cosa non vera per la popolazione maschile, che mostra un incremento significativo nel numero di attivazioni di RF3 passando da un $54.4 \pm 18.5\%$ nei bambini ad un $62.2 \pm 20.9\%$ negli adulti e una diminuzione significativa nel numero di attivazioni di RF2 passando da un $25.4 \pm 15.4\%$ nei bambini ad un $18.0 \pm 17.3\%$ negli adulti. Questi risultati suggeriscono come le donne tendano a reclutare il Retto Femorale (ed in generale anche il VL e MH) in modalità più complesse (cioè con più attivazioni all'interno dello stesso ciclo del passo) indipendentemente dall'età [14], mentre i maschi con il crescere dell'età tendono a preferire modalità di reclutamento più semplici. Questi risultati coincidono con quelli ottenuti nell'articolo [17]. Oltretutto quest'idea viene rafforzata dagli studi effettuati sulla maturazione del passo [20][21] che indicano l'adolescenza come il periodo dove il passo completa la sua maturazione.

In conclusione, il presente studio ha mostrato che i muscoli adottano modalità di attivazione differenti in differenti passi della stessa camminata. Ciò significa che un muscolo potrebbe essere reclutato in un singolo passo con una, due, tre o anche più attività e nel passo successivo il numero di attività potrebbe essere diverso. Numerosi passi hanno permesso di identificare cinque diverse modalità di attivazione per ciascun muscolo, descrivendo la grande variabilità del reclutamento muscolare. Questo porta ad identificare attività muscolari solitamente non riportate nei classici studi di riferimento per l'EMG durante la deambulazione [22][23] come attività VL in fase di push-off. Lo studio dell'intera variabilità dei tre muscoli ha permesso di valutare la sovrapposizione di attività muscolare in tutte le modalità di attivazione, fornendo quello che il presente studio suggerisce essere il quadro completo delle co-contrazioni tra VL, RF e MH. L'attività RF dall'oscillazione terminale alla successiva risposta al carico è stata rilevata nella quasi totalità dei passi. L'attività VL principale si è verificata alla stessa percentuale relativa in GC come RF, determinando una sovrapposizione nel 100% dei passi. Queste attività sono riconosciute come attivazioni tipiche dei muscoli QF come estensori del ginocchio. La sovrapposizione durante l'appoggio iniziale potrebbe essere intesa come azione sinergica dei muscoli per il controllo del carico. Allo stesso modo, si suggerisce che l'azione sinergica di VL e RF nell'oscillazione terminale sia presente per assistere l'estensione del ginocchio e sviluppare la tensione muscolare per l'accettazione del peso durante la risposta al carico. Tuttavia, il segnale RF, rilevato dall'oscillazione terminale alla seguente risposta di carico, potrebbe anche essere dovuto al cross-talk da vastii [24][25]. È stato anche reclutato MH nella stessa percentuale di GC dove è stata rilevata l'attività

sopra citata dei muscoli QF. Ciò ha determinato una sovrapposizione di MH con attività sia di VL che di RF in oltre il 90% dei passi considerati. RF e VL hanno sovrapposto la loro attività anche in fase di push-off. È probabile che RF e VL lavorino in sinergia per modulare la flessione rapida del ginocchio [26][27][28][29]. Allo stesso tempo, VL è in grado di contribuire alla stabilizzazione della rotula prima di entrare nella fase di pre-oscillazione e la RF partecipa alla flessione dell'anca [26][27][28][29]. I diversi compiti dei muscoli potrebbero probabilmente spiegare la grande variabilità dell'attività muscolare e della co-contrazione in questa fase.

Durante la fase di push-off, sono state rilevate attività non comuni e variabili di VL e MH. È probabile che la VL venga reclutata per modulare la flessione rapida del ginocchio e stabilizzare la rotula prima di entrare nella fase di pre-oscillazione [30]. MH funge da estensore dell'anca per spingere il corpo in avanti. Queste attività implicavano la comparsa di una sovrapposizione tra VL e MH. Questa sovrapposizione non deve essere considerata come una co-contrazione reale, perché VL e MH lavorano principalmente su articolazioni diverse. Diversamente, la sovrapposizione tra segnali sEMG da RF e MH, potrebbe essere intesa come una co-contrazione effettiva per il controllo dell'estensione rapida del ginocchio e potrebbe svolgere un ruolo anche in stabilizzazione del bacino durante la progressione del corpo. I livelli di intensità di eccitazione sembravano essere superiori a quelli riportati per la co-attivazione VL / MH nella stessa fase. 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] Anastasi, Cannas, Cavalletti, Cinti, Manzoli, Miscia, Sbarbati, Zecchi, <<Trattato di Anatomia Umana>>, vol. unico, 2020.

[2] 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.

[3] 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.

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

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

[7] 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.

- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] F. D. Nardo, Giulio Laureati, Annachiara Strazza, Alessandro Mengarelli, Laura Burattini, Valentina Agostini, Alberto Nascimbeni, Marco Knaflitz, Sandro Fioretti. Is child walking conditioned by gender? Surface EMG patterns in female and male children. *Gait Posture*. 2017 Mar;53:254-259.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] T. Petersen, M. Kliim-De, 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.
- [21] 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.

[22] J. Perry, *Gait Analysis—Normal and Pathological Function*, Slack Incorporated, Thorofare (NJ), 1992.

[23] D.H. Sutherland, The evolution of clinical gait analysis part I: kinesiological EMG, *Gait Posture* 14 (2001) 61–70.

[24] F. Di Nardo, S. Fioretti, Statistical analysis of surface electromyographic signal for the assessment of rectus femoris modalities of activation during gait, *J. Electromyogr. Kinesiol.* 23 (2013) 56–61.

[25] A. Nene, C. Byrne, H. Hermens, Is rectus femoris really part of the quadriceps? assessment of the rectus femoris function during gait in able-bodied adults, *Gait Posture* 10 (2004) 1–13.

[26] F. Di Nardo, E. Maranesi, A. Mengarelli, G. Ghetti, L. Burattini, S. Fioretti, Assessment of the variability of vastii myoelectric activity in young healthy females during walking: a statistical gait analysis, *J. Electromyogr. Kinesiol.* 25 (2015) 800–807.

[27] V. Agostini, A. Nascimbeni, A. Gaffuri, P. Imazio, M.G. Benedetti, M. Knaflitz, Normative emg activation patterns of school-age children during gait, *Gait Posture* 32 (2010) 285–289.

[28] A.R. den Otter, Speed related changes in muscle activity from normal to very slow speeds, *Gait Posture* 19 (2004) 270–278.

[29] S. Ounpuu, P. DeLuca, K. Bell, R. Davis, Using surface electrodes for the evaluation of the rectus femoris, vastus medialis and the vastus lateralis muscles in children with cerebral palsy, *Gait Posture* 5 (1997) 211–221.

[30] R.P. Grelsamer, J. McConnell, *The Patella: A Team Approach*, Aspen Publishers, Gaithersburg (MD), 1998.

