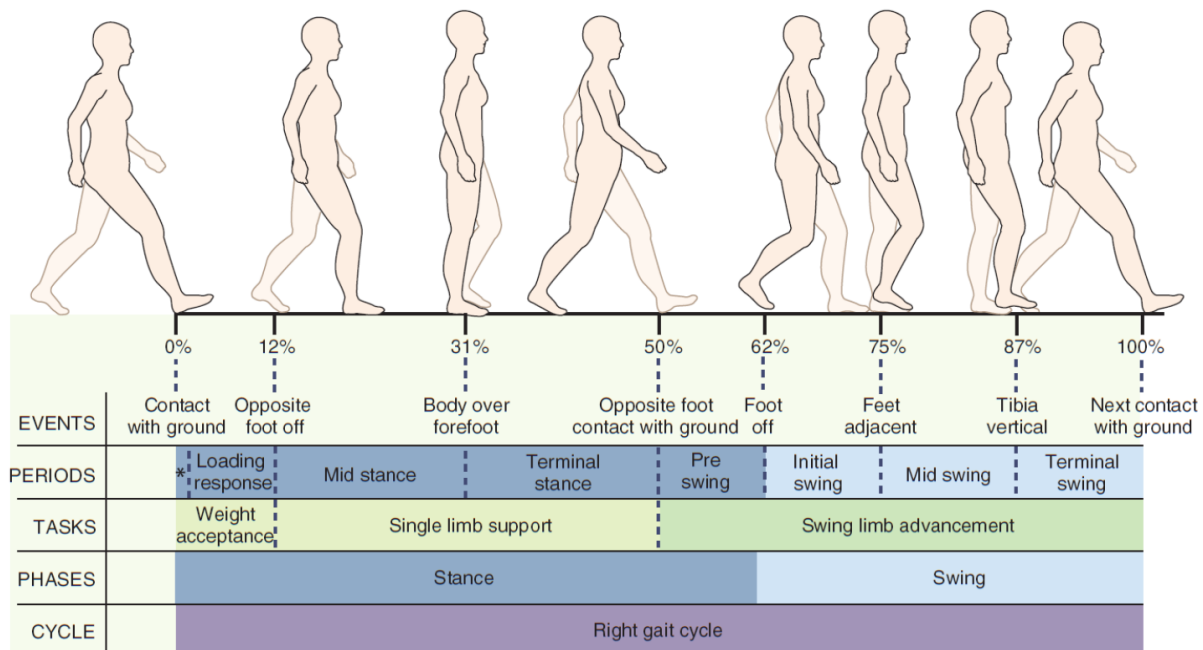


## UN PASSO PER VOLTA - Analisi biomeccanica e fisiologica del cammino

Il progetto “Un passo per volta - analisi biomeccanica e fisiologica del cammino” nasce dall’idea che il cammino rappresenti molto più di una semplice azione automatica: è una delle espressioni più complesse, evolute e significative del movimento umano, nonché uno dei principali indicatori di *autonomia*, *salute* e *qualità della vita*. Attraverso un’analisi biomeccanica e fisiologica approfondita, il lavoro esplora il cammino come risultato di una raffinata integrazione tra sistema nervoso centrale, apparato muscolo-scheletrico e sistemi sensoriali, evidenziando come anche il gesto più quotidiano sia il frutto di un equilibrio estremamente sofisticato.



L’elaborato affronta il cammino partendo dalle sue basi storiche e scientifiche, per poi analizzarne in modo dettagliato l’*artrocinematica*, la *dinamica* e la *neurofisiologia*. Vengono descritte le fasi del ciclo del passo, i movimenti articolari sui diversi piani dello spazio, le forze di reazione al suolo e i meccanismi di controllo motorio ed equilibrio che rendono la deambulazione efficiente e sicura. Un’attenzione particolare è rivolta al ruolo dell’attività muscolare e alla coordinazione neuromotoria, elementi fondamentali per garantire stabilità, adattamento all’ambiente e minimo dispendio energetico.

Il movimento costituisce la principale forma di espressione e di comunicazione nonché la base della sopravvivenza per tutte le specie animali. Alla base dell’*apprendimento motorio*, quindi le sue principali componenti, troviamo i *processi sensoriali*, i *processi percettivi*, la *pianificazione del movimento*, la *coordinazione*, l’*esecuzione* e infine l’*adattamento*. I diversi tipi di movimento pianificati ed eseguiti dai nostri sistemi motori sono consentiti dalla disponibilità continua di informazioni sensoriali e dall’esistenza di sistemi di controllo organizzati in modo sia gerarchico che parallelo. L’integrazione delle informazioni sensoriali con i comandi motori avviene a tre livelli organizzati in modo gerarchico e in parallelo: il *midollo spinale*, il *tronco encefalico*, la *corteccia cerebrale*.

Tre possono essere considerate anche le principali categorie di movimento, rappresentate dalle attività motorie riflesse, ritmiche e volontarie. È possibile sintetizzare i ruoli delle principali componenti dei sistemi motori e delle vie di elaborazione cerebrale. Il midollo spinale costituisce il livello più basso dell’organizzazione gerarchica e contiene circuiti neurali che mediano varie attività automatiche e stereotipate. Alla fine tutti i segnali di controllo convergono sui motoneuroni che innervano i muscoli scheletrici. Il tronco encefalico contiene il sistema mediale, che svolge un ruolo fondamentale nel controllo della postura, e il sistema laterale, che controlla prevalentemente i muscoli distali degli arti. I nuclei del tronco encefalico controllano anche i movimenti del capo e degli occhi. La corteccia motoria primaria, la

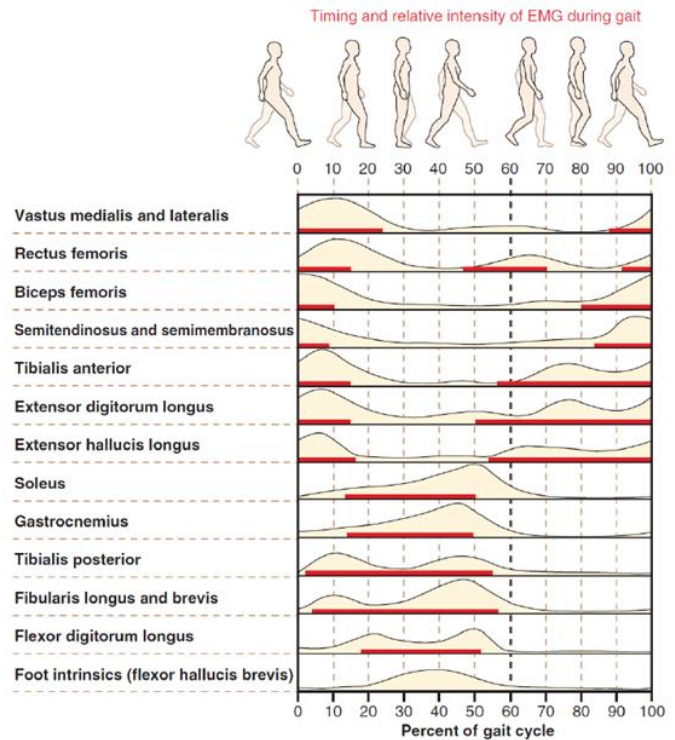
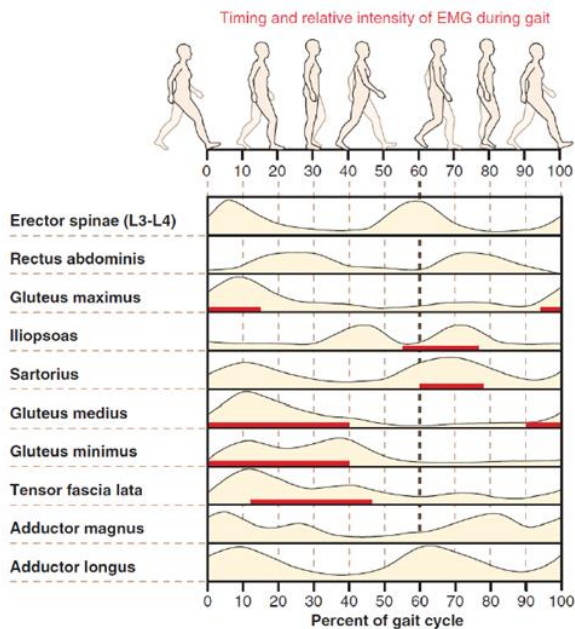
corteccia premotoria e l'area motoria supplementare costituiscono il livello gerarchicamente più elevato. Proiettano al midollo spinale sia direttamente sia tramite il tronco encefalico e, interagendo con la corteccia parietale posteriore, pianificano il movimento. Ad un livello gerarchico ancora superiore, ma non più strettamente motorio, la corteccia frontale dorso-laterale sembra responsabile degli aspetti decisionali del movimento. Ai tre livelli gerarchici menzionati si aggiungono due formazioni molto importanti per le funzioni motorie: il cervelletto e i nuclei della base. Il cervelletto regola l'attività delle strutture motorie del tronco encefalico e della corteccia motoria, aggiorna e perfeziona i programmi motori. I nuclei della base sono più probabilmente implicati nella pianificazione del movimento.

*L'equilibrio* è il controllo della posizione corporea nello spazio con due obiettivi: orientamento e stabilità. La postura è la posizione che assume il corpo a riposo o in movimento in opposizione alla forza di gravità. Il corpo, infatti, per svolgere le funzioni di vita quotidiana necessita della contrazione continua dei muscoli antigravitari. La difficoltà di mantenere la posizione eretta dipende dal rapporto tra l'ampiezza della base di appoggio e l'altezza del baricentro. Nell'uomo il mantenimento dell'equilibrio è particolarmente complesso perché il baricentro è posto piuttosto in alto, al livello della seconda vertebra lombare, e la base di appoggio è costituita dalla relativamente piccola superficie di contatto dei piedi. L'informazione necessaria per il controllo della *postura* è fornita dai sistemi sensoriali propriocettivo, *vestibolare* e *visivo*, e si realizza attraverso la contrazione tonica dei muscoli antigravitari; l'elaborazione centrale di tali segnali inoltre permette di ricostruire le coordinate spaziali e un modello interno di posizione del corpo. Le risposte motorie posturali infatti sono il risultato del confronto tra uno schema corporeo globale e le singole informazioni sensoriali.

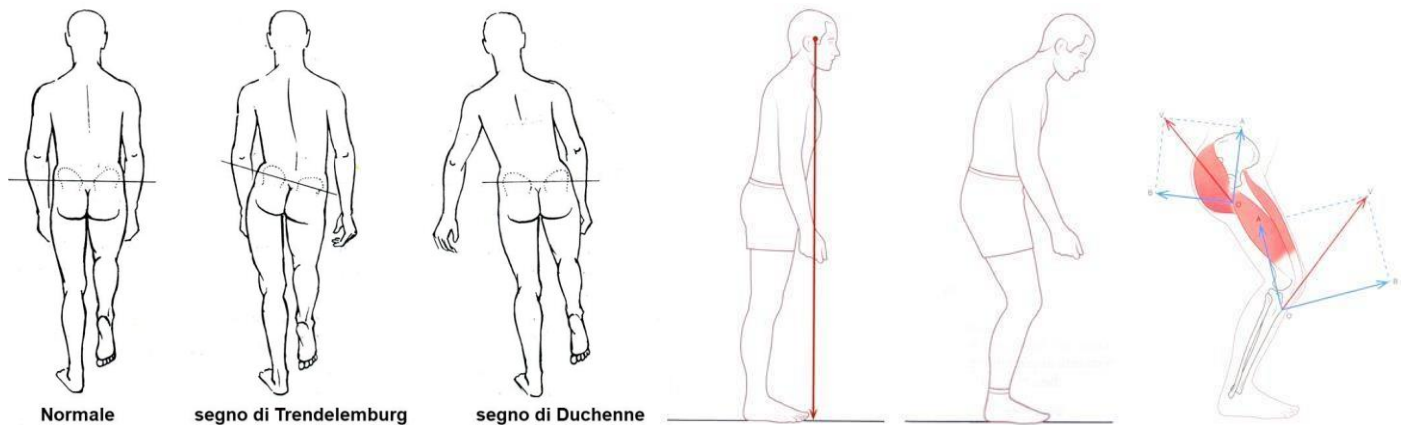
Gli input del sistema visivo, somatosensoriale (propriocezione, cutaneo e recettori articolari) e vestibolare sono importanti sorgenti di informazioni sulla posizione del corpo e di movimenti nello spazio. Ogni sistema sensoriale fornisce al sistema nervoso centrale differenti tipi di informazioni riguardanti la posizione ed il movimento del corpo, quindi differenti riferimenti di controllo posturale. Esistono due diversi tipi di equilibrio: reattivo e proattivo. L'equilibrio reattivo, o feedback control, si può sintetizzare come il recupero della stabilità successivamente ad uno spostamento inaspettato del centro di massa. Sono utilizzati schemi di movimento per recuperare l'equilibrio a base d'appoggio fissa, come strategie d'anca o di caviglia, in cui si riesce a mantenere la proiezione al suolo del baricentro nella base d'appoggio, oppure cambiando la base d'appoggio compiendo un passo o appoggiando l'arto superiore. L'equilibrio proattivo, o feedforward control, è l'insieme di strategie di movimento che avvengono per anticipare il cambiamento di stabilità in risposta a perturbazioni interne o esterne, e sono detti aggiustamenti posturali anticipatori (APA).

Nel corso della vita ogni persona va incontro ad un progressivo apprendimento motorio che ci rende capaci di mantenere la postura, di camminare, di usare accuratamente le mani e le dita, di muovere in maniera appropriata gli arti, gli occhi e la bocca. È fondamentale quindi una buona connessione ed interazione tra tutte le componenti che entrano in gioco negli aspetti del controllo motorio e dell'equilibrio.

Durante il ciclo del cammino quasi tutti i muscoli degli arti inferiori e del tronco mostrano uno o due brevi intervalli di attivazione elettrica, che durano generalmente da 100 a 400 millisecondi. L'attivazione della muscolatura degli arti inferiori è stata studiata usando l'elettromiografia. Nella sua interpretazione più semplice, l'attivazione muscolare può essere determinata su base temporale, quindi il muscolo può essere considerato "acceso" o "spento". Il muscolo viene considerato "acceso" quando l'ampiezza del suo segnale elettromiografico raggiunge un valore predeterminato sopra il livello di riposo, altrimenti il muscolo viene considerato "spento" o elettricamente silenzioso. Un altro metodo per registrare le attività muscolari è grazie alla quantificazione relativa del segnale elettromiografico rispetto ad uno standard di riferimento. Questo tipo di analisi fornisce informazioni sul livello relativo di attivazione del muscolo durante tutto il cammino.



La parte conclusiva del progetto si concentra sulle principali anomalie del cammino, analizzando come alterazioni strutturali, muscolari o neurologiche possano modificare profondamente la qualità della deambulazione. Dall'in-toeing e out-toeing in età evolutiva, ai segni clinici come Trendelemburg e Duchenne, fino ai quadri patologici più complessi come l'atassia e il Parkinson, il lavoro mette in luce l'importanza della valutazione del cammino in ambito *clinico*, *preventivo* e *riabilitativo*. In questo senso, la tesi si propone non solo come uno studio descrittivo, ma come uno strumento di lettura utile per comprendere il movimento umano, riconoscere precocemente le disfunzioni e valorizzare il cammino come parametro fondamentale di salute e indipendenza funzionale.



All'interno delle mie sedute, l'analisi della deambulazione riveste un ruolo fondamentale. Il cammino viene utilizzato come parametro chiave di valutazione e di monitoraggio del miglioramento, non limitandosi agli aspetti numerici o misurabili, ma ponendo particolare attenzione alla qualità del gesto motorio. Attraverso un'osservazione accurata della deambulazione è possibile valutare l'evoluzione del controllo motorio, dell'equilibrio e dell'efficienza del movimento, elementi essenziali per un recupero funzionale reale e duraturo.