

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di laurea in Ingegneria Biomedica

**Analisi della stabilità motoria durante il cammino: come gli indici di
variabilità e stabilità dell'accelerazione del centro di massa sono
influenzati da processi cognitivi (Dual-Task)**

Elaborato in

Biomeccanica

Relatore

Prof.ssa Rita Stagni

Presentato da

Rita Marasco

Correlatrice

Dott.ssa Paola Tamburini

Sessione II

Anno accademico 2016/2017

Abstract

La valutazione strumentale del cammino è solitamente svolta chiedendo ai soggetti semplicemente di camminare (ST). Tale condizione non rappresenta la quotidianità. Infatti, nella vita di tutti i giorni la locomozione richiede di adattarsi alle necessità individuali e il coinvolgimento di attività cognitive. I paradigmi di Dual-Task (DT) sono utilizzati per valutare i cambiamenti nella strategia di controllo del cammino in situazioni di vita quotidiana. In particolare, gli indici di performance, di variabilità e di stabilità, utilizzati nella valutazione del controllo motorio, potrebbero essere utili per valutare le interferenze cognitive durante il cammino. L'obiettivo del lavoro è di valutare come tali indici cambiano durante il Dual-Task.

Sono stati reclutati 16 studenti, giovani e sani, della Facoltà di Ingegneria Biomedica di Cesena, ai quali è stato chiesto di compiere un cammino rettilineo di 250 m, senza ostacoli, all'aperto, in due condizioni: svolgendo la sola attività di cammino (ST); aggiungendo al precedente task, una sottrazione consecutiva di 7 ad alta voce, partendo da un numero casuale (DT).

Tramite tre sensori inerziali tri-assiali, posti sul tronco (L5) e sulle caviglie, sono stati acquisiti i segnali di accelerazione e velocità angolare. Dopo aver calcolato, a partire da tali dati, indici di performance (numero di passi, cadence, velocità e tempo di esecuzione del test), di variabilità (Standard Deviation, Coefficient of Variation, Index of the Variance, Nonstationary Index, Poincaré

Plots) e di stabilità (Harmonic Ratio e Index of Harmonicity), nelle due condizioni (ST e DT), è stata eseguita un'analisi statistica tra i due task.

Le analisi statistiche condotte su tali indici hanno evidenziato che il DT influenza prevalentemente gli indici di performance (numero di passi, cadence, velocità e tempo di esecuzione del test) e in grado minore gli indici di variabilità e stabilità.

Indice

Capitolo 1: Introduzione	pag. 7
Capitolo 2: Stato dell'arte	pag. 9
2.1 Dual task	pag. 9
2.2 Sensori inerziali	pag. 11
2.2.1 Accelerometro	pag. 11
2.2.2 Giroscopio	pag. 13
2.3 Indici	pag. 13
2.3.1 Indici di variabilità	pag. 14
2.3.2 Indici di stabilità	pag. 16
Capitolo 3: Materiali e metodi	pag. 18
3.1 Soggetti	pag. 18
3.2 Set-up sperimentale	pag. 19
3.3 Task motorio	pag. 22
3.4 Data analysis	pag. 23
Capitolo 4: Risultati	pag. 28
4.1 Confronto tra indici calcolati sull'intero segnale nelle due condizioni: ST e DT	pag. 28
4.2 Confronto tra indici calcolati su porzioni di segnale	pag. 30
4.2.1 n-STRIDE: suddivisione in finestre da 50 m	pag. 30
4.2.2 n-STRIDE: suddivisione in finestre da 30 s	pag. 31

4.2.3 Indici di variabilità	pag. 32
4.2.4 Indici di stabilità	pag. 33
Capitolo 5: Discussioni	pag. 35
Capitolo 6: Conclusioni	pag. 37
Bibliografia	pag.39
Appendice A	pag.41

Capitolo 1

Introduzione

Il cammino, seppur considerato uno dei task motori più semplici, è un processo complesso, che non può essere assunto come una mera ripetizione meccanica di un pattern motorio, dove un passo è uguale al precedente; questo perché l'ambiente circostante è variabile. Tale attività necessita, infatti, del sistema sensoriale e di quello cognitivo.

La locomozione richiede abilità di adattamento a obiettivi individuali e ostacoli ambientali [1], e comporta, comunemente, anche l'esecuzione di un'attività cognitiva, quale ad esempio conversare o ricordare qualcosa.

Per riuscire a comprendere in che modo interagiscono le due attività – motoria e cognitiva – in ambito di ricerca viene sempre più usata la metodologia del Dual-Task (DT): consiste nello svolgere un qualsiasi compito cognitivo contemporaneo ad un task motorio. Il confronto tra la condizione di DT e quella di Single-Task (ST), la quale prevede la sola esecuzione del task motorio, permette di capire le interazioni tra le diverse attività.

Molto rilevanti sono le condizioni in cui viene condotto l'esperimento, dal momento che differenti task svolti in differenti luoghi possono portare a valutazioni ed esiti diversi.

Nello studio condotto in questa tesi, è stato chiesto a 16 soggetti di camminare su un percorso rettilineo, all'aperto, di 250 m, in due condizioni: effettuando solo l'attività di camminare (ST); effettuando, oltre al cammino, sottrazioni di 7 ad alta voce, partendo da un numero casuale (DT).

Sono stati acquisiti l'accelerazione e la velocità angolare del Centro di Massa (CoM) e delle caviglie destra e sinistra, tramite l'utilizzo di tre sensori inerziali. Da questi dati si sono calcolati, in entrambe le condizioni (ST e DT), indici di performance, variabilità e stabilità, atti a definire le caratteristiche del cammino.

L'obiettivo della tesi è di valutare come gli indici sopra menzionati cambiano durante il Dual-Task.

Il lavoro è strutturato nei seguenti capitoli:

- I. Stato dell'arte: breve descrizione dei paradigmi di DT, sensori inerziali e indici di variabilità e stabilità utilizzati.
- II. Materiali e Metodi: dettagli dell'esperimento condotto e delle analisi svolte.
- III. Risultati.
- IV. Discussioni: commento e confronto con altri studi, dei risultati ottenuti.
- V. Conclusioni: limiti dello studio e sviluppi futuri.

Capitolo 2

Stato dell'arte

2.1 Dual Task

Il cammino è un processo motorio che racchiude in sé due aspetti fondamentali:

- **Biomeccanico**, con cui sono analizzate le attivazioni muscolari, le cinematiche e i carichi articolari;
- **Di controllo**, con cui si valuta il ruolo del Sistema Nervoso Centrale (SNC) durante l'atto motorio.

Lo studio dell'aspetto di controllo è affrontato in ambito di ricerca mediante il **Dual-Task (DT)**. Esso consiste nel chiedere al soggetto di svolgere due attività contemporaneamente: una di tipo motorio, come stare in postura eretta statica, camminare, correre, e l'altra di tipo cognitivo, come parlare, contare, rispondere a domande.

Comparando le prestazioni del soggetto ottenute durante lo svolgimento della sola attività motoria, Single-Task (ST), e quelle ottenute in condizione di DT, è possibile determinare se i due compiti – motorio e cognitivo – competono per le stesse risorse all'interno del sistema nervoso e di conseguenza le loro interazioni.

La ricerca sulla relazione tra attenzione – intesa come capacità di un individuo di elaborare informazioni [2] – e il controllo della postura e del cammino è un argomento di crescente interesse in ambito scientifico. Essa intende esplorare il ruolo dei fattori cognitivi sul controllo dell'equilibrio e del cammino.

A tale proposito, i paradigmi di DT permettono di definire il controllo posturale come attività primaria, accompagnato dallo svolgimento simultaneo di una seconda attività. L'ottenimento del punto in cui le performance d'esecuzione di uno dei due task, o di entrambi, calano, permetterebbe di individuare l'interferenza tra i processi di controllo delle due attività, motoria e cognitiva [2].

Diversi studi [1-5] hanno mostrato l'importanza della scelta del task cognitivo per l'identificazione di possibili interferenze tra la sfera biomeccanica e quella di controllo.

Nonostante non sia ancora stata definita quale attività cognitiva usare a seconda delle circostanze, la loro classificazione può essere d'aiuto durante la scelta del protocollo di DT [1]:

- *Reaction time tasks*: attività che prevedono misurazioni del tempo trascorso tra stimolo sensoriale e risposta comportamentale;
- *Discrimination and decision making tasks*: attività che richiedono attenzione selettiva ad uno specifico stimolo e una conseguente risposta;
- *Mental tracking tasks*: attività che richiedono di immagazzinare informazioni durante l'esecuzione di un processo mentale;

- *Working memory tasks*: attività che richiedono esclusivamente di memorizzare informazioni;
- *Verbal fluency tasks*: attività che richiedono di formulare parole spontaneamente o secondo condizioni specificate precedentemente.

2.2 Sensori inerziali [6]

Con il termine sensori inerziali ci si riferisce a quella tipologia di sensori che sfruttano l'inerzia di una massa contenuta al loro interno per misurare accelerazioni lineari (accelerometro) o velocità angolari (giroscopio).

2.2.1 Accelerometro

È uno strumento di misura in grado di rilevare e misurare l'accelerazione, effettuando il calcolo della forza rilevata rispetto alla massa dell'oggetto.

È un sensore che può essere fissato su qualsiasi segmento corporeo per misurare l'accelerazione lineare agente lungo l'asse sensibile. Il suo funzionamento si basa sulla rilevazione dell'inerzia di una massa quando viene sottoposta ad un'accelerazione: la massa, presente all'interno dell'accelerometro, viene sospesa ad un elemento elastico, mentre un sensore ne rileva lo spostamento rispetto alla struttura fissa del dispositivo. L'elemento elastico segue la legge di Hooke, per cui vale:

$$F_{molla} = kx \quad (1)$$

Dove:

k = costante elastica;

x = spostamento.

Quando subisce accelerazione, la massa si sposta dalla propria posizione di riposo, in modo proporzionale all'accelerazione impressa, secondo il II principio della dinamica, per cui:

$$F = ma \quad (2)$$

Dove:

m = massa;

a = accelerazione.

Imponendo che le forze siano uguali e contrarie (per il III principio della dinamica), vale che:

$$F = kx = ma \quad (3)$$

Da ciò perviene che un'accelerazione determina uno spostamento della molla pari a:

$$x = \frac{ma}{k} \quad (4)$$

Considerando invece lo spostamento x , la massa subirà un'accelerazione pari a:

$$a = \frac{kx}{m} \quad (5)$$

Il sensore trasforma lo spostamento che subisce la molla in un segnale elettrico acquisibile dai moderni sistemi di misura.

2.2.2 Giroscopio

È un dispositivo fisico rotante che, per effetto della Legge di conservazione del momento angolare, tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa.

Essenzialmente è composto da un rotore a forma di toroide che ruota attorno al proprio asse; quando il rotore è in movimento, il suo asse tende a mantenersi parallelo a se stesso e ad opporsi ad ogni tentativo di cambiare il suo orientamento. In assenza di rotazione, l'elemento vibrante oscilla continuamente all'interno di un piano; al contrario, in presenza di rotazione attorno a un asse perpendicolare al piano di vibrazione della massa, l'elemento vibrante devia dal proprio piano di vibrazione sotto l'effetto dell'accelerazione di Coriolis e l'ampiezza di tale vibrazione è proporzionale alla velocità angolare applicata.

2.3 Indici

Le misurazioni basate sull'accelerazione del tronco della variabilità e stabilità del cammino sono utilizzate nella letteratura allo scopo di quantificare specifiche caratteristiche del cammino, quali handicap relativi alla deambulazione, disturbi a livello di controllo neuro-motorio e di equilibrio [4].

Nonostante la stabilità sia un concetto ben definito in meccanica, non c'è ancora un consenso completo sul modo con cui misurare la stabilità del cammino, dal momento che quest'ultima comprende sia fattori biomeccanici indiretti che diretti.

La valutazione indiretta della stabilità del cammino è rappresentata da misure cinematiche di variabilità: quando, durante un compito motorio, la correzione degli errori diventa meno efficace, la variabilità aumenta.

Le misure di stabilità dirette, oltre a fornire informazioni circa i disturbi nelle prestazioni durante lo svolgimento di certe attività motorie, quantificano chiaramente le prestazioni nella correzione degli errori.

2.3.1 Indici di variabilità

Sono stati calcolati sul tempo di stride, definito come il tempo trascorso tra due appoggi dello stesso tallone al suolo.

Di seguito sono riportati gli indici studiati nella tesi.

Standard Deviation

La deviazione standard (SD) rappresenta la deviazione standard del tempo di stride.

Coefficient of Variation

Il coefficiente di variazione (CV) rappresenta la SD normalizzata rispetto al tempo di stride medio.

$$CV = \frac{SD \times 100}{mean_stride_time} \quad (6)$$

Inconsistency of the Variance

La serie temporale data dai tempi di stride viene prima normalizzata rispetto alla propria media (μ) e deviazione standard (std), e successivamente divisa in

blocchi di 5 stride. Per ciascuna porzione sono calcolati media ($\mu_{porzione}$) e deviazione standard ($std_{porzione}$) locali.

L'Inconsistency of the Variance (IV) rappresenta la deviazione standard delle deviazioni standard locali.

Nonstationary Index

Analogamente alla IV, il Nonstationary Index (NI) rappresenta la deviazione standard delle medie locali (μ_{locale}).

Poincaré Plots

Sono grafici dei dati relativi al tempo di stride tra successivi cicli del passo, che vengono utilizzati per mostrare la variabilità dei dati del tempo di stride.

Questi grafici sono usati per estrarre indici, come la lunghezza (PSD2) e la larghezza (PSD1) degli assi principali, che descrivono la natura ellittica del tempo di stride.

Statisticamente il plot mostra la correlazione tra passi consecutivi in maniera grafica: i punti al di sopra della linea d'identità indicano passi più lunghi del precedente; quelli al di sotto individuano passi più brevi.

Il Poincaré plot appare tipicamente come una trama di punti allungata lungo la linea d'identità: la dispersione di punti in modo perpendicolare alla linea d'identità riflette il livello di variabilità a breve termine; la dispersione di punti lungo la linea d'identità indica il livello di variabilità a lungo termine.

2.3.2 Indici di stabilità

In letteratura sono presenti delle misure che non consentono una valutazione diretta della stabilità del cammino, ma sono legate ad essa giacché quantificano “smoothness”, complessità e ripetitività del pattern motorio.

Tali indici sono calcolati sulle accelerazioni del Centro di massa (CoM), lungo le tre direzioni antero-posteriore (AP), medio-laterale (ML) e verticale (V).

Harmonic Ratio

L'Harmonic Ratio (HR) è stata calcolata decomponendo i segnali delle accelerazioni lungo le direzioni antero-posteriore (AP), medio-laterale (ML) e verticale (V) in armoniche utilizzando la Trasformata Discreta di Fourier.

Per le accelerazioni lungo la direzione AP e V, la somma delle ampiezze delle prime 10 armoniche pari sono state poi divise per la somma delle ampiezze delle prime 10 armoniche dispari; viceversa per le accelerazioni lungo la direzione ML.

Per evitare errori, la HR è stata calcolata decomponendo l'intero segnale nelle armoniche.

Index of Harmonicity

Index of Harmonicity (IH), come per HR, si ottiene scomponendo il segnale di accelerazione in armoniche attraverso la Trasformata Discreta di Fourier in modo da analizzare le componenti dello spettro di potenza.

IH è un rapporto tra potenze, definito come:

$$IH = \frac{P_0}{\sum_{i=0}^5 P_i} \quad (7)$$

Dove P_0 è la densità di potenza dello spettro della prima armonica e P_i la somma cumulativa della densità della potenza dello spettro della frequenza fondamentale e delle prime cinque armoniche.

Valori prossimi a 1 indicano elevata armonicità, dal momento che un'onda sinusoidale ha un rapporto di potenza pari ad 1, indicando perfetta armonicità.

Capitolo 3

Materiali e metodi

3.1 Soggetti

Per questo studio, sono stati reclutati nella Facoltà di Ingegneria Biomedica di Cesena 16 giovani adulti sani, privi di evidenti e certificati problemi di salute (età 24 ± 2 anni, peso 65.3 ± 13 kg, altezza 169 ± 10 cm, 5 Maschi e 11 Femmine), aventi le caratteristiche fisiche riportate in Tabella 1. Il Comitato Bioetico dell'Università di Bologna ha approvato questo studio e i partecipanti hanno letto e firmato il consenso informativo.

Soggetti	Sesso	Età	Peso [kg]	Altezza [cm]	BMI [kg/m ²]	N° di piede	Altezza gamba [cm]
1	F	24	71.5	176	23.08	41	92
2	M	23	85.5	187	24.45	45	98
3	M	29	89	190	24.65	46	97
4	F	23	63	161	24.3	39	88
5	F	23	70.7	167	25.35	39	89
6	F	25	50.2	154	21.17	35	83
7	F	23	50	164	18.59	37	84
8	F	23	55.9	164	20.78	38	85
9	F	22	68.4	162	26.06	38	82.5
10	M	22	62.3	175	20.34	44	89
11	M	27	76.1	175	24.85	42	86
12	M	25	80.6	177	25.73	43	93
13	F	24	51	160	19.92	37	85
14	F	25	48.1	158	19.27	37	78
15	F	26	66	169	23.11	38	87
16	F	25	56.6	162	21.57	38	85

Tabella 1: caratteristiche fisiche dei soggetti

3.2 Set-up sperimentale

Per le acquisizioni di accelerazioni e velocità angolari sono stati utilizzati tre sensori inerziali 3D, OPAL (Apdm, Inc., USA), mostrato in Figura 1: un sistema microelettromeccanico, ad alte performance, triassiale, composto da una serie di unità inerziali (IMU), dotato di un sistema di comunicazione wireless a bassa potenza per trasmettere i dati dei vari moduli (fino a un massimo di 6) all'access point collegato al PC tramite cavo USB.



Figura 1: OPAL.

Le specifiche tecniche di un sensore OPAL sono [7]:

- Dimensioni: $48.4 \times 36.1 \times 13.4$ mm (Figura 2);
- Peso: minore di 22 g (compresa la batteria);
- Materiale: Alluminio 6061 anodizzato e plastica ABS;
- Memoria interna: 8 GB.

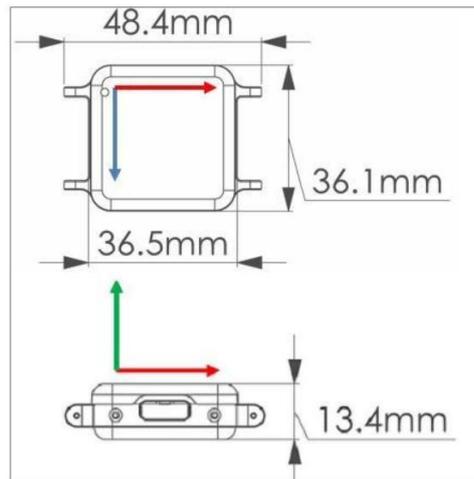


Figura 2: Schematizzazione di un Opal con i relativi assi del frame locale.

I sensori sono stati posti uno sul tronco, il più vicino possibile a L5, per acquisire le accelerazioni del Centro di Massa (CoM) durante il cammino [4], uno sulla caviglia destra e uno su quella sinistra, necessari per la stride detection mediante il metodo proposto da Aminian et al. [8] (Figura 3). Le misurazioni delle accelerazioni sono state registrate con una frequenza di campionamento di 128 Hz.



Figura 3: posizioni dell'OPAL.

Per ciascun dispositivo, sono state registrate accelerazione e velocità angolare relative agli assi x, y, z, corrispondenti rispettivamente agli assi anatomici (Figura 4) longitudinale o verticale (V), trasversale o medio-laterale (ML) e sagittale o antero-posteriore (AP) (Figura 5).

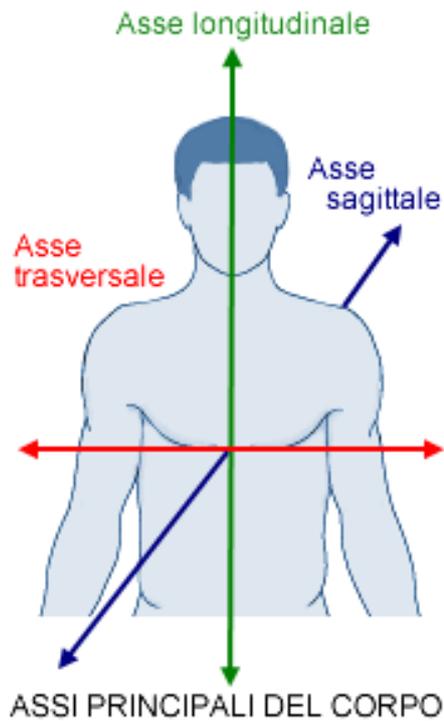


Figura 4: assi anatomici.

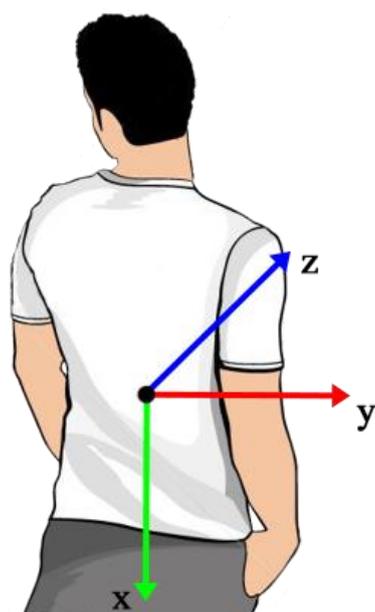


Figura 5: rappresentazione sistema di riferimento del sensore posizionato sulla schiena.

3.3 Task motorio

Ai soggetti è stato chiesto di camminare all'aperto lungo un percorso rettilineo, piano e senza ostacoli, per 250 m (Figura 6) alla velocità loro più confortevole, in due condizioni:

- I. Single Task (ST), durante la quale hanno svolto l'unica attività motoria di camminare;
- II. Dual Task (DT), che aggiungeva alla precedente condizione l'attività cognitiva di compiere sottrazioni consecutive di sette, ad alta voce, partendo da un numero casuale.

Non è stata imposta loro la preferenza su quale delle due attività prediligere: arbitrariamente potevano concentrarsi maggiormente sulla camminata o sulla sottrazione.



Figura 6: lunghezza del percorso rettilineo.

3.4 Data analysis

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato Matlab (MathWorks BV, USA). È stata effettuata, innanzitutto, la Stride Detection: sono stati ricavati, partendo dai dati registrati dall'OPAL, la velocità angolare relativa al solo asse ML e, tramite il metodo Aminian et al. [8], gli Heel Strike (HS) (Figura 7 e 8), cioè gli istanti nei quali i talloni toccano il suolo, guardando le cime negative che coinvolgono le alte frequenze e il relativo picco poco prima e dopo la fase di oscillazione.

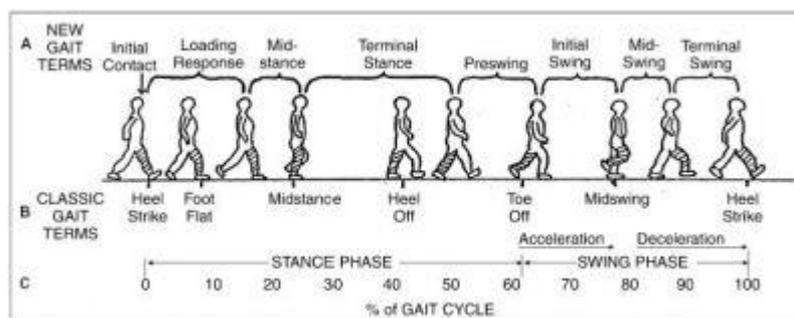


Figura 7: ciclo del passo.

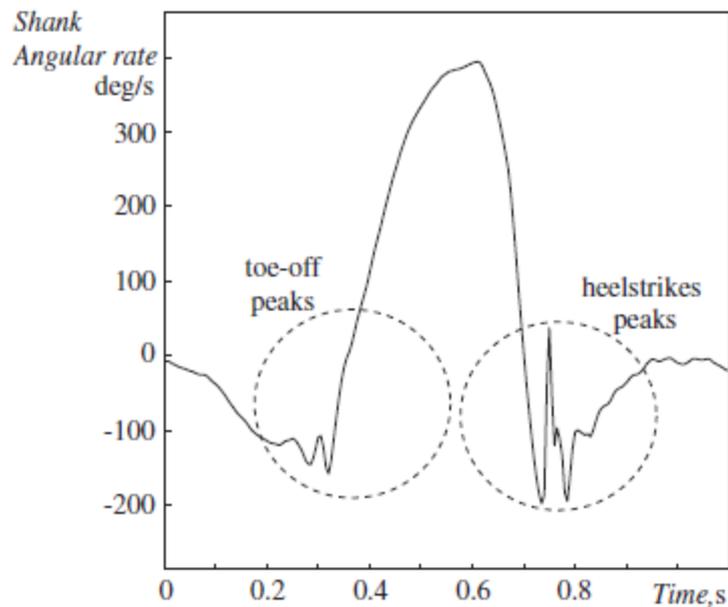


Figura 8: Velocità angolare di una gamba e identificazione di Heel-Strike e Toe-Off.

Per entrambe le condizioni (ST e DT), per ciascun soggetto, sono stati calcolati:

- il numero di cicli del passo (n-STRIDE), cioè il numero di appoggi dello stesso tallone al suolo (Figura 7);
- il tempo impiegato da ciascun soggetto per completare il percorso (t-TASK);
- la velocità (v-TASK), definita come il rapporto tra la lunghezza del percorso e il tempo impiegato;
- la cadence (CAD), definita come il rapporto tra il numero di passi effettuato durante il percorso e il tempo impiegato;
- Standard Deviation (SD) [4];
- Coefficient of Variation (CV) [4];
- Inconsistency of the Variance (IV) [4];

- Nonstationary Index (NI) [4];
- Poincaré Plots (PSD1 e PSD2) [4];
- Harmonic Ratio (HR) [4];
- Index of Harmonicity (IH) [4].

La Normalità dei dati è stata verificata tramite il Lilliefors Test [9]: dal momento che i dati sono risultati non gaussiani, per le successive analisi statistiche è stato usato il Kruskal Wallis Test [10], con un p-value al 5%. Inoltre sono stati calcolati 25°, 50° e 75° percentile di ogni indice.

Le analisi statistiche sono state effettuate secondo tre criteri (Figura 9):

- Sull'intero segnale nelle due condizioni (paired);
- Su stesse porzioni di segnale nelle due condizioni (paired);
- Su tutte le porzioni dello stesso task (unpaired).

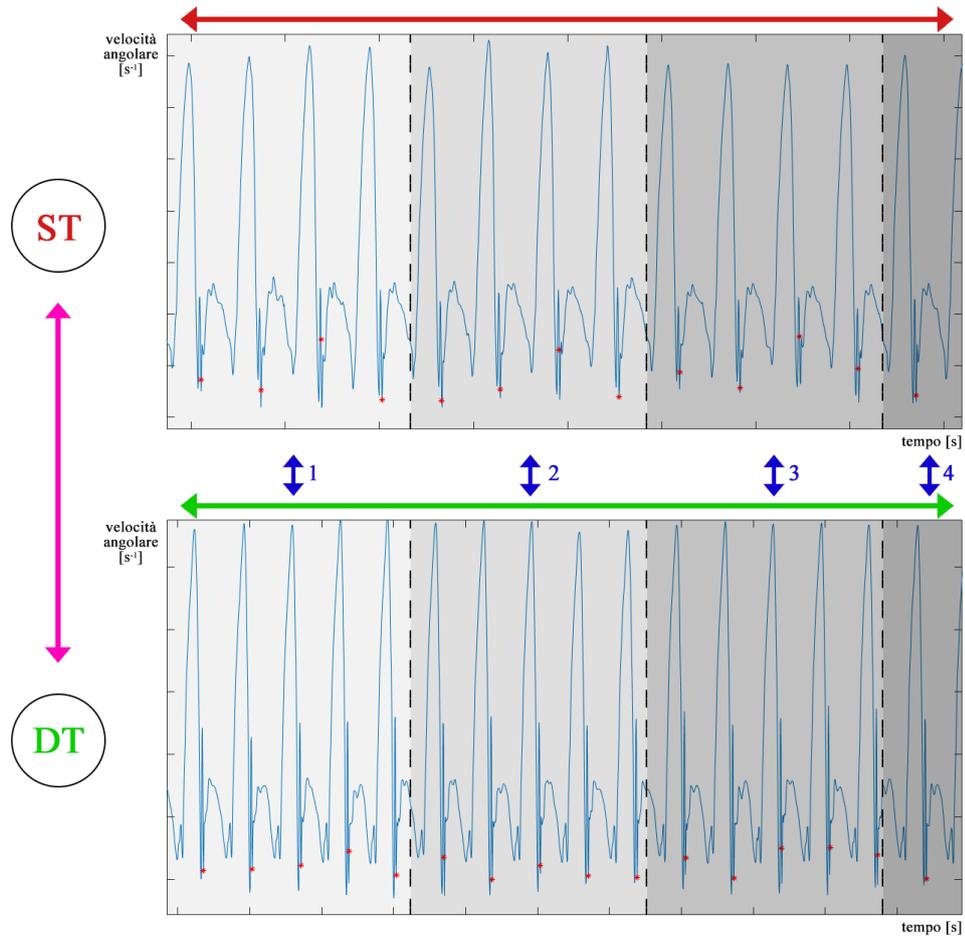


Figura 9: rappresentazioni delle analisi statistiche svolte: confronto tra le condizioni ST e DT su tutto il segnale (rosa); confronto tra stesse finestre di task diversi (blu); confronto tra tutte le finestre di un solo task: ST (rosso) e DT (verde).

Per le analisi statistiche che comprendevano più di due classi è stata eseguita un'analisi multcompare (test statistico post-hoc con correzione Tukey-Kramer [11]).

Il segnale è stato suddiviso in più porzioni seguendo diversi principi (spazio, tempo e numero di passi) in relazione alla grandezza da analizzare.

Numero di passi:

La suddivisione del segnale è avvenuta secondo due criteri:

- Finestre di 50 m, per un totale di 5 finestre per soggetto;
- Finestre di 30 s, per un totale di finestre che varia da soggetto a soggetto.

Indici di stabilità e variabilità:

Il segnale di accelerazione del CoM durante il cammino è stato suddiviso in base al numero di passi necessario per raggiungere una stabilità della misura del 20%; tale numero di passi è specifico per ogni indice [4]; in Tabella 2 sono indicati tutti i valori relativi a ciascun indice.

Variability/Stability measures	Threshold 20%
SD	59
CV	59
NI	97
IV	91
PSD1	52
PSD2	106
HR AP	26
HR ML	30
HR V	29
IH AP	141
IH ML	141
IH V	127

Tabella 2: numero di passi necessario per raggiungere una stabilità del 20% per i vari indici di stabilità e variabilità.

L'analisi statistica è stata svolta considerando un numero di finestre uguale per tutti i soggetti.

Capitolo 4

Risultati

4.1 Confronto tra indici calcolati sull'intero segnale nelle due condizioni: ST e DT.

L'analisi statistica ha mostrato che n-STRIDE, t-TASK, v-TASK e CAD sono statisticamente significativi (p-value < 0.0127).

n-STRIDE e t-TASK mostrano valori maggiori in condizioni di DT rispetto al ST; v-TASK e CAD hanno comportamento opposto (Grafico 1).

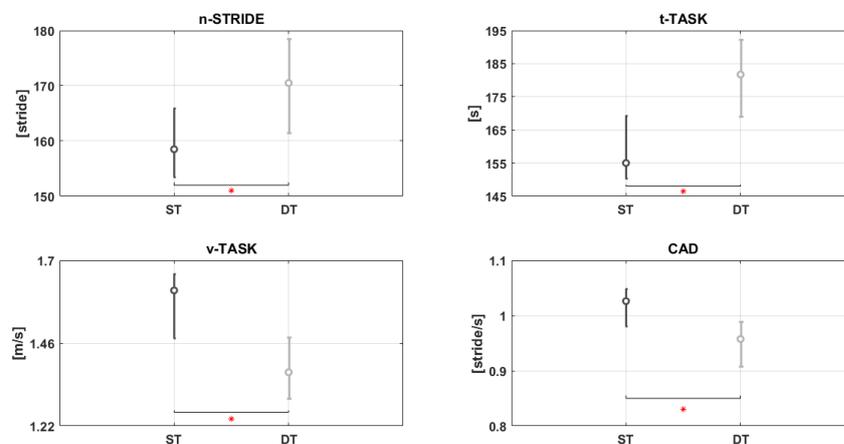


Grafico 1: risultati degli indici di performance (mediana, 25° e 75° percentile, significatività statistica (*)) calcolati sull'intero segnale. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT.

Le analisi statistiche effettuate sugli indici di variabilità e stabilità nelle due condizioni (ST e DT) non hanno mostrato significatività statistiche.

In generale gli indici di variabilità hanno valori maggiori calcolati in condizioni di DT rispetto a quelli calcolati in ST (Grafico 2).

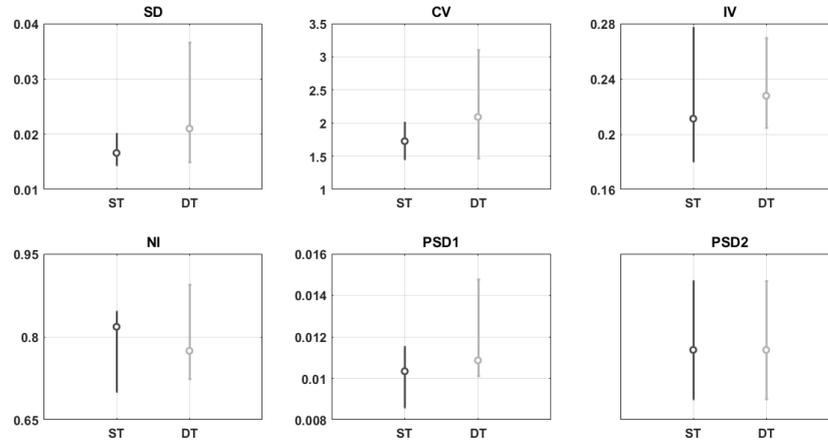


Grafico 2: risultati degli indici di variabilità (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) calcolati sull'intero segnale. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT.

Per quanto riguarda gli indici di stabilità: HR in direzione ML, e IH in tutte le direzioni hanno valori maggiori in condizione DT rispetto al ST. Comportamento opposto è emerso per HR in AP e V (Grafici 3 e 4).

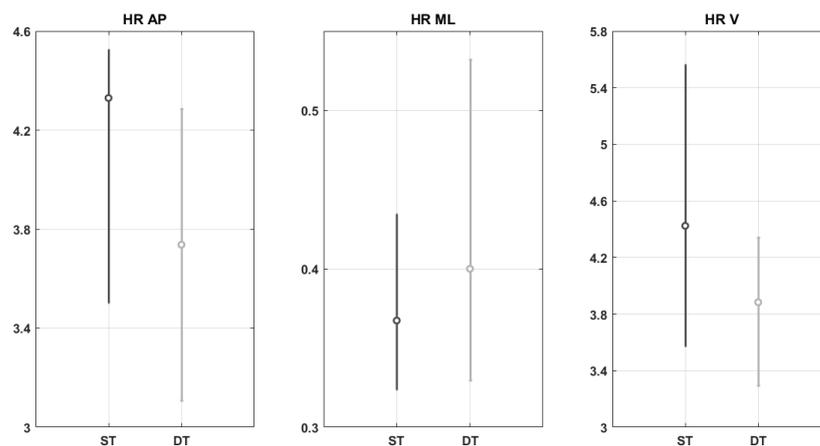


Grafico 3: risultati dell'HR (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) calcolato sull'intero segnale lungo i tre assi. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT.

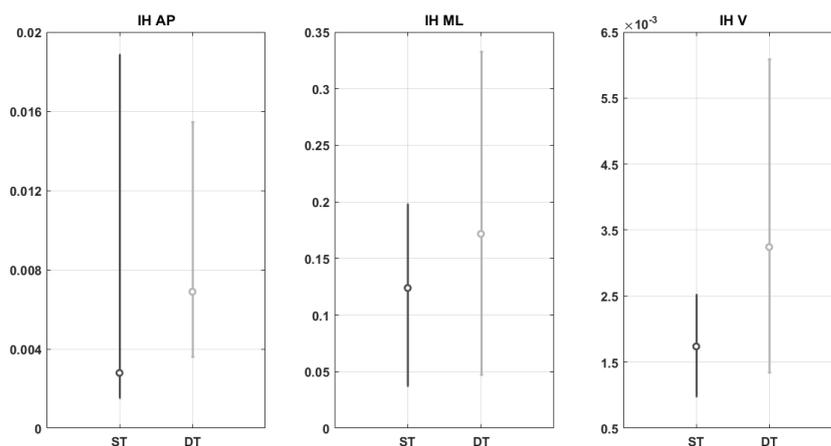


Grafico 4: risultati dell'IH (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) calcolati sull'intero segnale lungo i tre assi. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT.

P-value e mediana (25° e 75° percentile) di tutti gli indici sono riportati nelle Tabelle 3, 4, 5, 6, 7, 8, presenti nell'Appendice A.

4.2 Confronto tra indici calcolati su porzioni di segnale.

4.2.1 n-STRIDE: suddivisione in finestre da 50 m.

Le analisi statistiche effettuate sulle stesse finestre di task diversi hanno mostrato significatività statistica per tutte le finestre eccetto la prima; inoltre sono stati riscontrati valori maggiori in DT rispetto a quelli calcolati in ST.

Nel confronto tra tutte le finestre di un solo task, non è stata riscontrata alcuna significatività. Inoltre si è notato un trend crescente per tutte le finestre nella condizione DT (Grafico 5).

Nel grafico 5 sono riportati i risultati relativi alle analisi statistiche effettuate: in grigio scuro sono rappresentate le finestre del ST, mentre in grigio chiaro quelle del DT. La significatività tra finestre di uno stesso task è espressa in alto

tramite un asterisco, mentre in basso è mostrata la significatività statistica tra stessa finestra di task diversi.

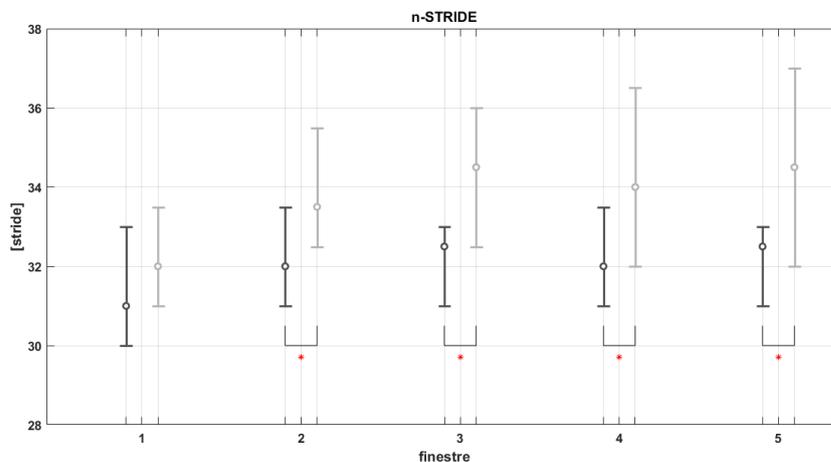


Grafico 5: risultati del n-STRIDE (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) per le 5 finestre di 50 m. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT. In alto è indicata la significatività tra finestre di uno stesso task, in basso quella tra stesse finestre di task diversi.

4.2.2 n-STRIDE: suddivisione in finestre da 30 s.

Le analisi condotte hanno rilevato la significatività di tutte le finestre di task diversi; sono stati osservati valori minori in DT che in ST.

Nel confronto tra tutte le finestre di uno stesso task, solo nel DT la prima finestra è risultata significativa rispetto alla quinta. Sia per ST che per DT si può notare che dopo una crescita dell'indice nella prima e nella seconda finestra, la misura si stabilizza (Grafico 6).

Nel grafico 6 sono riportati i risultati relativi alle analisi statistiche effettuate: in grigio scuro sono rappresentate le finestre del ST, mentre in grigio chiaro quelle del DT. La significatività tra finestre di uno stesso task è espressa in alto tramite un asterisco, mentre in basso è mostrata la significatività statistica tra

stessa finestra di task diversi: la stanghetta rossa indica la finestra significativa, quella blu è la finestra rispetto alla quale è stata riscontrata significatività.

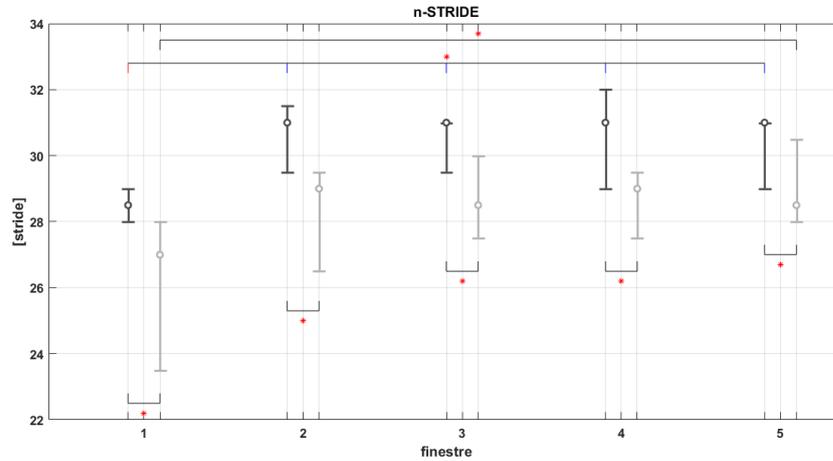


Grafico 6: risultati del n-STRIDE (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) per le 5 finestre di 30 s. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT. In alto è indicata la significatività tra finestre di uno stesso task, in basso quella tra finestre di task diversi.

4.2.3 Indici di variabilità.

Per quanto concerne l'analisi effettuata su stesse finestre di diversi task non è stata riscontrata alcuna significatività. SD e PSD1 presentano valori maggiori in DT rispetto a quelli ottenuti in ST.

Per quel che riguarda l'analisi svolta su tutte le finestre di uno stesso task, non è stato possibile eseguire questo tipo di analisi per NI, IV e PSD2, giacché presentano solo una finestra. Tra gli altri tre indici (SD, CV, PSD1) è stata rilevata significatività statistica per le due finestre di SD nella condizione DT (p-value = 0.0129) e per le due finestre di CV sia nella condizione ST (p-value = 0.0458) che DT (p-value = 0.0143) (Grafico 7).

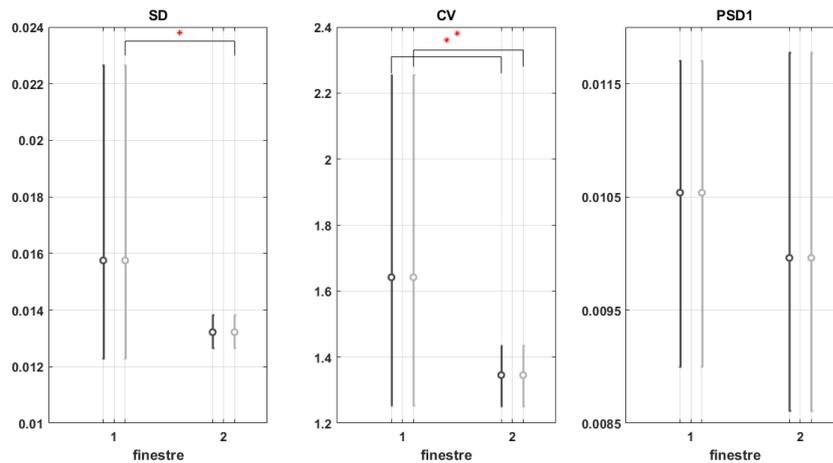


Grafico 7: risultati di SD, CV e PSD1 (mediana, 25°, 75°, significatività statistica (*)) per le 2 finestre. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT. In alto è indicata la significatività tra finestre, in basso quella tra task.

4.2.4 Indici di stabilità.

Sia per l'analisi svolta su stesse finestre di diversi task, sia per quella svolta su tutte le finestre di un solo task, non è stata riscontrata nessuna significatività statistica. La seconda analisi è stata eseguita solo per HR, dal momento che l'IH presenta solo una finestra.

L'HR ha mostrato un trend decrescente lungo le direzioni ML e V sia per ST che per DT (grafico 8).

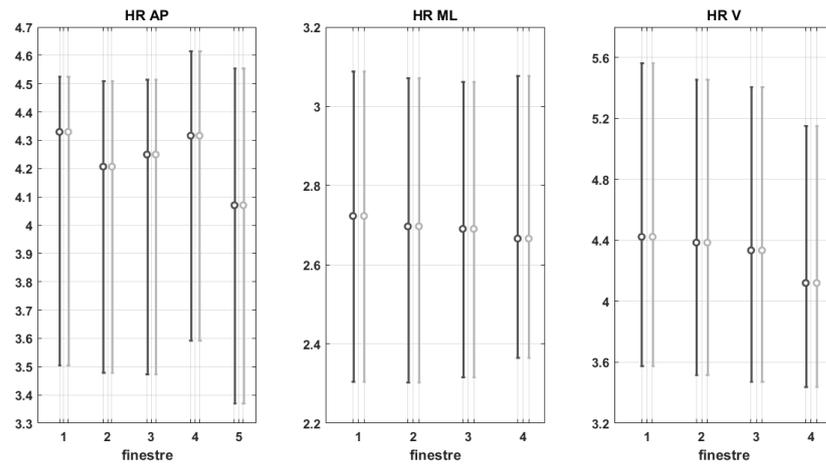


Grafico 8: risultati dell'HR (mediana, 25°, 75° percentile, significatività statistica (*)) per le 5 finestre lungo AP e per le 4 finestre lungo ML e V. Grigio scuro ST e grigio chiaro DT. In alto è indicata la significatività tra finestre, in basso quella tra task.

I valori di p-value e mediana (25° e 75° percentile) sono riportati nelle Tabelle 9, 10, 11, 12, presenti nell'Appendice A.

Capitolo 5

Discussioni

Tramite la metodologia del DT è possibile determinare in che modo due diverse attività – motoria e cognitiva – interagiscono tra di loro.

Con questo obiettivo, è stato analizzato il cammino di 16 giovani adulti sani, su un percorso all'aperto, rettilineo e lungo 250 m, in due condizioni: solo cammino (ST); effettuando, in aggiunta all'attività motoria, sottrazioni successive di 7 – partendo da un numero casuale – ad alta voce (DT). Sono stati acquisiti i segnali di accelerazione e velocità angolare e, dopo aver ottenuto, a partire da questi, indici di performance (numero di passi, cadence, velocità, tempo), di variabilità (SD, CV, IV, NI, PSD1, PSD2) e di stabilità (HR e IH lungo le tre direzioni AP, ML, V), nelle due condizioni (ST e DT), è stata eseguita un'analisi statistica tra i due task, al fine di valutare l'interazione tra attività cognitiva e cammino.

Tutti gli indici di performance hanno mostrato una significativa influenza dell'attività cognitiva sul cammino. In particolare v-TASK e CAD hanno riportato valori maggiori in ST rispetto a quelli del DT.

Tali risultati sono in accordo con lo studio di Emad Al-Yahya et al [1], nel quale è stata svolta una revisione della letteratura su studi che analizzano vari aspetti del cammino in ST e DT.

Al contrario, non sono emerse differenze statistiche per gli indici di variabilità.

Tale risultato è in disaccordo con quelli riportati nello studio di Emad Al Yahya et al [1], secondo cui la variabilità del tempo di stride è significativamente diversa nelle due condizioni. Tale differenza può essere dovuta alla diversa tipologia del task cognitivo scelto, dal momento che sono stati analizzati studi che prevedessero come attività secondaria “Mental tracking task, Verbal fluency task, Working memory task”.

Anche per gli indici di stabilità non sono emerse differenze significative tra i due task. Tutti gli indici, però, mostrano valori maggiori in DT rispetto al ST, fatta eccezione per HR calcolata lungo le direzioni antero-posteriore e verticale.

Nello studio di Jennifer S. Brach et al [5], al contrario, si osserva significatività statistica per HR lungo tutte le direzioni, che inoltre risulta essere minore in DT rispetto alla condizione di ST. Questa discrepanza potrebbe essere giustificata dalla netta differenza di lunghezza del percorso analizzato – 12.2 m nello studio [5] e 250 m nel presente lavoro – e di conseguenza, di numero di passi analizzato. È noto, infatti, che per raggiungere una stabilità del 20% della misura dell'indice HR occorrono più di 26 passi [4].

Capitolo 6

Conclusioni

La valutazione strumentale del cammino è solitamente svolta chiedendo ai soggetti semplicemente di camminare (ST). Tuttavia, nella vita quotidiana la locomozione richiede di adattarsi a obiettivi individuali e il coinvolgimento di attività cognitive. I paradigmi del Dual-Task (DT) rappresentano un metodo valido per stimare le influenze di task cognitivi sul cammino, in particolare utilizzando indici di variabilità e stabilità. L'obiettivo della tesi è di valutare come indici di performance, variabilità e stabilità cambiano durante il DT.

Con questo proposito, sono stati reclutati 16 soggetti, giovani adulti sani, ai quali è stato chiesto di camminare all'aperto lungo un percorso di 250 m, rettilineo e senza ostacoli in due condizioni: svolgendo solo il task motorio del cammino (ST); aggiungendo al precedente task un'attività cognitiva, cioè una sottrazione consecutiva di sette, ad alta voce, partendo da un numero casuale (DT).

Sono stati acquisiti i segnali di accelerazione e velocità angolare tramite tre sensori inerziali, posti sul tronco (a livello di L5) e sulle caviglie destra e sinistra. Da questi segnali sono stati calcolati indici di performance (numero di passi, cadence, velocità e tempo di esecuzione del test), indici di variabilità (SD, CV, IV, NI, PSD1, PSD2) e indici di stabilità (HR, IH lungo le tre direzioni AP, ML, V): in particolare, gli indici di performance e di variabilità

sono stati computati a partire dagli istanti di Heel-Strike del piede destro, ottenuti a loro volta dalla velocità angolare della caviglia destra, tramite il metodo Aminian [8]; mentre per gli indici di stabilità è stata utilizzata l'accelerazione del CoM.

Le analisi statistiche condotte su tali indici hanno evidenziato che il DT influenza prevalentemente gli indici di performance (n-STRIDE, t-TASK, v-TASK, CAD) ed in grado minore gli indici di variabilità e stabilità (SD, CV). I risultati ottenuti sono in parte in disaccordo con lavori in letteratura [1,5]. Tali discrepanze possono essere dovute a scelte metodologiche diverse, quali: la scelta del task cognitivo e/o il numero di passi analizzati al fine di garantire la stabilità della misura.

Future ricerche saranno indirizzate a comprendere le interazioni tra l'attività cognitiva e motoria in altre popolazioni sia sane (anziani, bambini in età scolare) che patologiche (soggetti affetti da stroke cerebrale), al fine di ottenere un quadro più generale del controllo motorio, ponendo l'attenzione sulla scelta del task cognitivo più adatto al contesto. Inoltre, alla luce dei risultati ottenuti, saranno svolte analisi più dettagliate sugli indici di performance, includendo ad esempio parametri spazio-temporali del cammino.

Bibliografia

- [1] E. Al-Yahya et al., “Neuroscience and Biobehavioral Reviews”, Elsevier Neuroscience and Biobehavioral Reviews 35 (2011) 715-728
- [2] M. Woollacott et al., “Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research”, Elsevier Gait and Posture 16 (2002) 1-14
- [3] Dennis Hamacher et al., “Gait & Posture”, Elsevier Gait & Posture 44 (2016) 200-203
- [4] F. Riva et al., “Gait variability and stability measures: Minimum number of strides and within-session reliability”, Elsevier Computer in Biology and Medicine 50 (2014) 9-13
- [5] Jennifer S. Brach et al., “Validation of a Measure of Smoothness of Walking”, J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2011 January;66A(1):136–141
- [6] Elisa Fonti, “Analisi dei parametri spazio-temporali del passo durante i primi due mesi di cammino indipendente: uno studio longitudinale”, Tesi triennale
- [7] <http://www.apdm.com/category/opal/>
- [8] K. Aminian et al., “Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes”, Elsevier Journal of Biomechanics 35 (2002) 689-699

[9] Lilliefors, H. W. "On the Kolmogorov-Smirnov test for the exponential distribution with mean unknown." *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 64, 1969, pp. 387–389.

[10] W.H. Kruskal, W.A. Wallis, "Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis", *J. Am. Stat. Assoc.* 47 (1952) 583–621.

[11] Jaccard, J.; Becker, M. A.; Wood, G. (1984). "Pairwise multiple comparison procedures: A review". *Psychological Bulletin*. 96 (3): 589.

Appendice A

A.1 Confronto sull'intero segnale.

Di seguito sono riportati i valori dei p-value ottenuti dal confronto tra gli indici di performance (Tabella 3), di variabilità (Tabella 4) e di stabilità (Tabella 5) calcolati sull'intero segnale nelle due condizioni (ST e DT).

Indici di performance	p-value
n-STRIDE	0.0127
t-TASK	0.0012
v-TASK	0.0012
CAD	0.0067

Tabella 3: p-value dell'analisi statistica condotta sugli indici di performance.

Indici di variabilità	p-value
SD	0.0704
CV	0.0973
IV	0.5465
NI	0.8211
PSD1	0.0765
PSD2	0.0899

Tabella 4: p-value dell'analisi statistica condotta sugli indici di variabilità.

Indici di stabilità	p-value
HR_AP	0.0973
HR_ML	0.3089
HR_V	0.0765
IH_AP	0.1223
IH_ML	0.3271
IH_V	0.05

Tabella 5: p-value dell'analisi condotta sugli indici di stabilità.

In Tabella 6, 7 e 8 sono riportati i valori dei percentili (50°, 25°, 75°) rispettivamente degli indici di performance, di variabilità e di stabilità, calcolati sull'intero segnale nelle due condizioni (ST e DT).

Indici di performance		50° percentile	25° percentile	75° percentile
n-STRIDE	ST	158.5	153.5	166
	DT	170.5	161.5	178.5
t-TASK	ST	155	150.4	169.4
	DT	181.7	169.1	192.4
v-TASK	ST	1.61	1.48	1.66
	DT	1.38	1.30	1.48
CAD	ST	1.0262	0.9807	1.0490
	DT	0.9575	0.9074	0.9887

Tabella 6: percentili calcolati sugli indici di performance nelle due condizioni (ST e DT).

Indici di variabilità		50° percentile	25° percentile	75° percentile
SD	ST	0.0166	0.0144	0.0202
	DT	0.0210	0.0151	0.0366
CV	ST	1.7284	1.4580	2.0146
	DT	2.0933	1.4709	3.1062
IV	ST	0.2112	0.1808	0.2775
	DT	0.2278	0.2049	0.2699
NI	ST	0.8181	0.7009	0.8462

	DT	0.7747	0.7248	0.8951
PSD1	ST	0.0103	0.0086	0.0115
	DT	0.0109	0.0101	0.0148
PSD2	ST	0.0211	0.0175	0.0261
	DT	0.0267	0.0183	0.0479

Tabella 7: percentili calcolati sugli indici di variabilità nelle due condizioni (ST e DT).

Indici di stabilità		50° percentile	25° percentile	75° percentile
HR AP	ST	4.3295	3.5051	4.5259
	DT	3.7371	3.1080	4.2868
HR ML	ST	0.3673	0.3242	0.4344
	DT	0.4000	0.3298	0.5323
HR V	ST	4.4234	3.5784	5.5644
	DT	3.8834	3.2956	4.3431
IH AP	ST	0.0028	0.0015	0.0189
	DT	0.0069	0.0036	0.0155
IH ML	ST	0.1239	0.0379	0.1984
	DT	0.1717	0.0475	0.3331
IH V	ST	0.0017	0.0010	0.0025
	DT	0.0032	0.0014	0.0061

Tabella 8: percentili calcolati sugli indici di stabilità nelle due condizioni (ST e DT).

A.2 Confronto tra indici calcolati su porzioni di segnale.

In tabella 9 e 10 sono riportati i p-value relativi ai confronti statistici dell'indice di performance n-STRIDE calcolato su finestre di 50 m e 30 s nelle due condizioni: ST e DT.

Finestre di 50 m		p-value
n-STRIDE	I finestra	0.2232
	II finestra	0.0433
	III finestra	0.0085
	IV finestra	0.0120
	V finestra	0.0073

Tabella 9: p-value dell'analisi statistica condotta sulle porzioni di segnale di n-STRIDE, diviso in finestre di 50 m l'una.

Finestre di 30 s		p-value
n-STRIDE	I finestra	0.0051
	II finestra	0.0029
	III finestra	0.0051
	IV finestra	0.0139
	V finestra	0.0032

Tabella 10: p-value dell'analisi statistica condotta sulle porzioni di segnale di n-STRIDE, diviso in finestre di 30 s l'una.

In tabella 11 e 12 sono riportati i p-value ottenuti confrontando le finestre (date da una suddivisione basata su un numero di passi necessari a raggiungere una stabilità della misura dell'indice del 20% [4]) rispettivamente degli indici di variabilità e di stabilità nelle condizioni di ST e DT.

Indici di variabilità		p-value
SD	I finestra	0.05
	II finestra	0.5465
CV	I finestra	0.1871
	II finestra	0.9699
IV	I finestra	0.7063
NI	I finestra	0.3860
PSD1	I finestra	0.1416

	II finestra	0.2427
PSD2	I finestra	0.1416

Tabella 11: p-value dell'analisi condotta sulle porzioni di segnale degli indici di variabilità.

Indici di stabilità		p-value
HR AP	I finestra	0.0973
	II finestra	0.1871
	III finestra	0.1134
	IV finestra	0.05
	V finestra	0.2278
HR ML	I finestra	0.3089
	II finestra	0.4287
	III finestra	0.4739
	IV finestra	0.5718
HR V	I finestra	0.0765
	II finestra	0.1317
	III finestra	0.1521
	IV finestra	0.1223
IH AP	I finestra	0.1134
IH ML	I finestra	0.2
IH V	I finestra	0.05

Tabella 12: p-value dell'analisi condotta sulle porzioni di segnale degli indici di stabilità.