



BTS EMGs



Laboratorio di Biometria e Posturologia Clinica Digitalizzata -AO S.Croce e Carle di Cuneo-
SSD di RRF

Prof.Schiffer R.
Fisiatra

- sonde elettromiografiche FREEEMG
- sensore inerziale G-SENSOR

- Le sonde FREEEMG consentono di effettuare, in modo assolutamente non invasivo, una valutazione funzionale *dinamica* dello stato di attivazione delle catene muscolari, fornendo indicazioni riguardo il *momento*, la *durata* e l'*entità* dell'attivazione muscolare durante l'esecuzione di un movimento

- G-SENSOR è invece un sensore inerziale che consente di effettuare una valutazione *cinematica* del movimento. Fornisce quindi i valori di *accelerazione* e *velocità* caratteristici dello *specifico task motorio* eseguito ed i riferimenti *temporali* che consentono di suddividere il movimento in differenti *sottofasi* all'interno delle quali viene analizzato il *comportamento muscolare*.

Software EMG–Analyzer

- **un elettromiografo wireless FREEEMG 1000** equipaggiato con 4 o 8 sonde per l'analisi dell'attività muscolare (Figura 1a).



- **un sensore inerziale G-SENSOR** per l'analisi cinematica del cammino (Figura 1b).



1 Preparazione del soggetto

- » **Protocollo di acquisizione:** Esistono diverse opzioni del Protocollo di acquisizione a seconda di quante sonde elettromiografiche si hanno a disposizione e su quali muscoli si intende posizionarle.
- La scelta dei muscoli da analizzare è assolutamente libera sulla base della specifica necessità clinica. Se si dispone di 4 o 8 sonde elettromiografiche, è possibile distribuirle equamente su entrambi gli arti (2 per lato se si hanno 4 sonde o 4 per lato se si hanno 8 sonde), oppure posizionarle tutte su un singolo arto (4 o 8 sonde tutte sul lato destro o tutte sul lato sinistro).

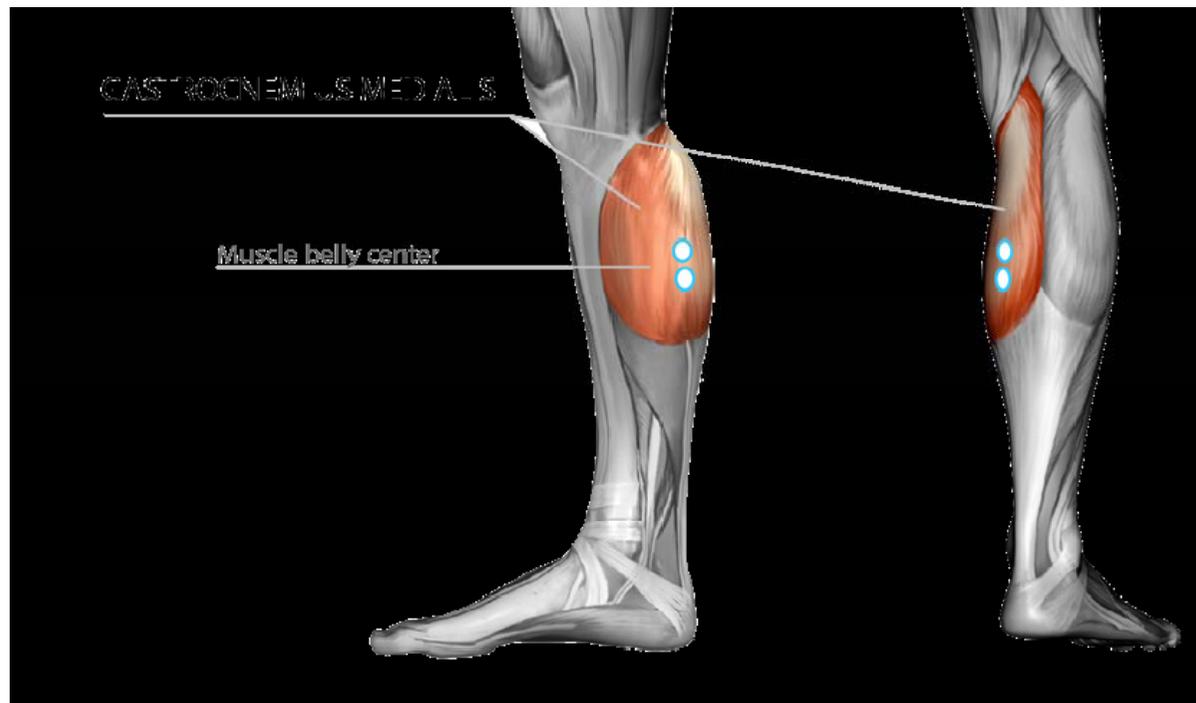
Applicazione dei sensori indossabili



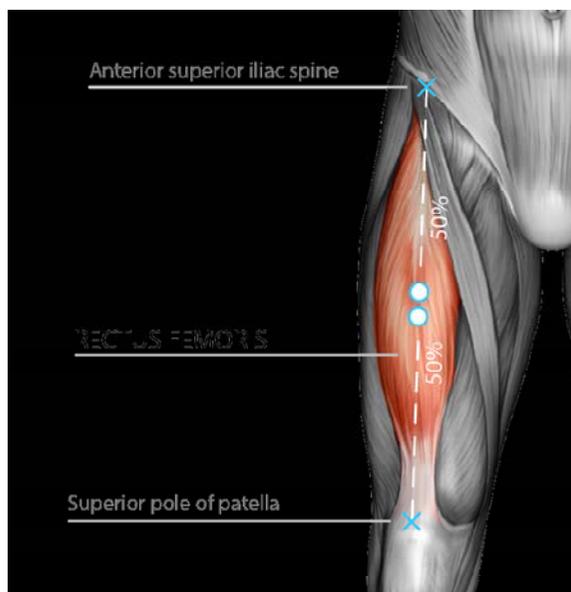
- Tibiale anteriore (Figura 3a): gli elettrodi devono essere posizionati sul ventre muscolare longitudinalmente seguendo la direzione delle fibre muscolari e a circa 1/3 prossimale della linea che congiunge la testa della fibula con il malleolo mediale. Per individuare bene il ventre muscolare, chiedere al paziente di dorsi-flettere la caviglia.



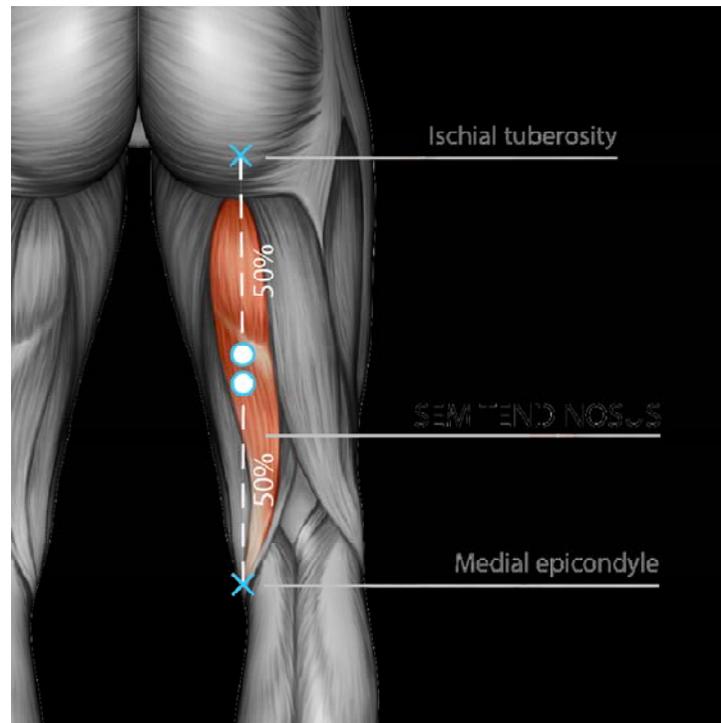
- Gastrocnemio mediale (Figura 3b): gli elettrodi devono essere posizionati sul ventre muscolare in posizione mediale seguendo la direzione delle fibre muscolari. Per individuare bene il ventre muscolare, chiedere al paziente di andare sulle punte dei piedi.



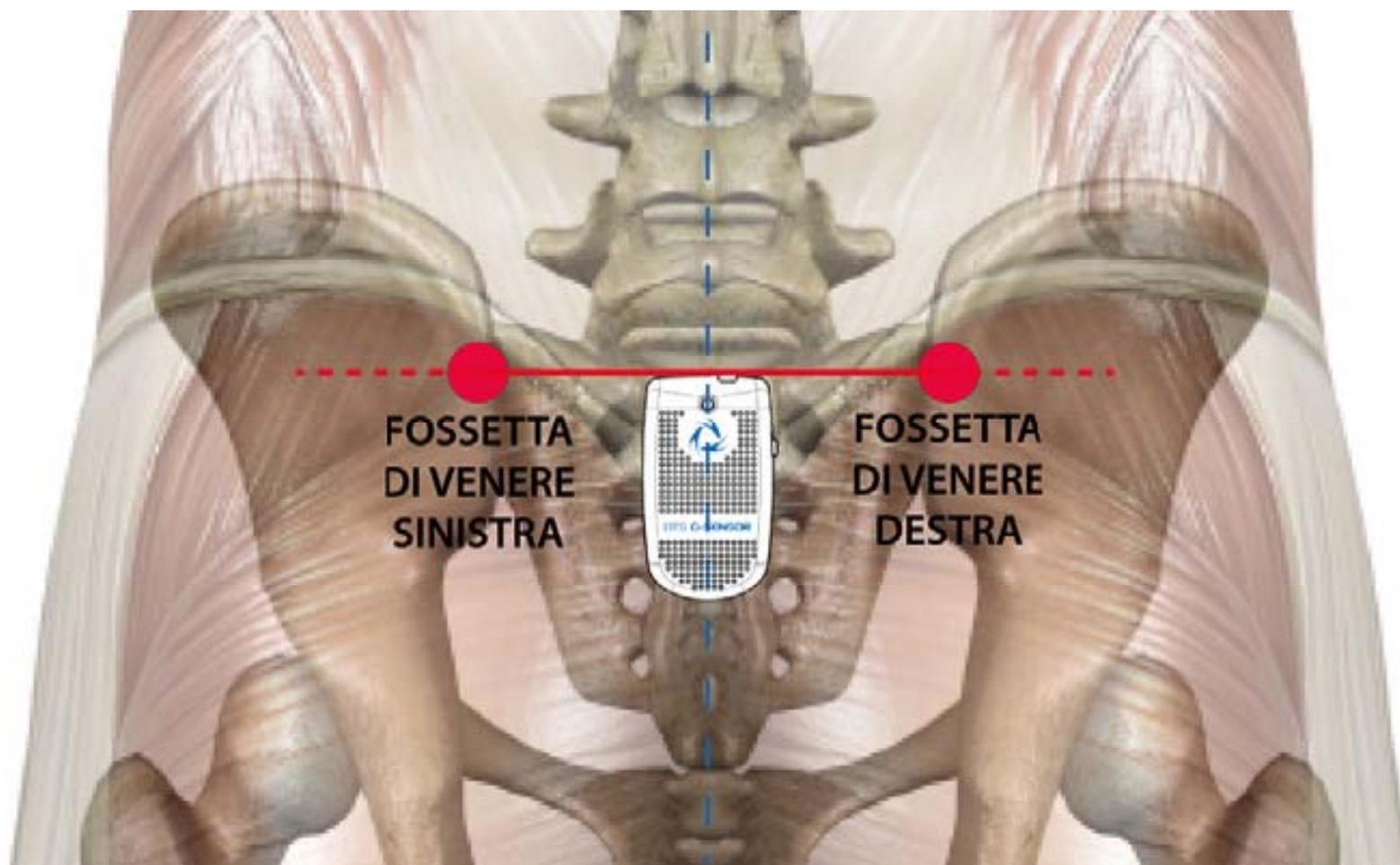
- Retto femorale (Figura 4a): gli elettrodi devono essere posizionati a metà della linea che va dalla spina iliaca antero-superiore alla parte superiore della patella, lungo la direzione delle fibre muscolari. Per individuare bene il ventre muscolare, chiedere al paziente di estendere il ginocchio contro resistenza mantenendo l'anca parzialmente in flessione.



- Semitendinoso (Figura 4b): gli elettrodi devono essere posizionati a metà della linea tra la tuberosità ischiatica e l'epicondilo mediale della tibia. Per individuare bene il ventre muscolare, chiedere al paziente di flettere il ginocchio contro resistenza.



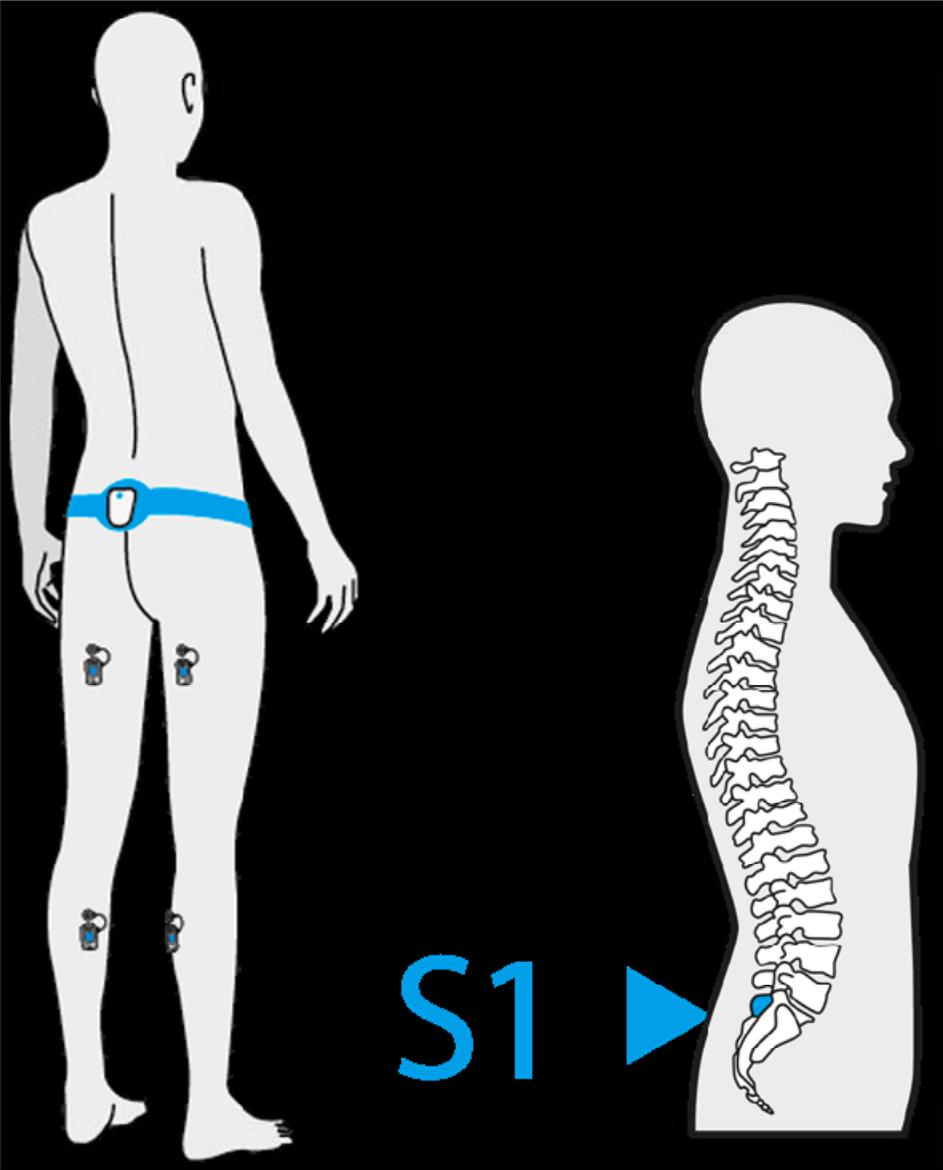
- Il sensore inerziale G-SENSOR deve essere posizionato sulla colonna vertebrale a livello delle vertebre S1-S2, al di sotto della linea che congiunge le due fossette di Venere (Figura 5). Il sensore G-SENSOR deve essere totalmente solidale col bacino, per questo si suggerisce di stringere bene la cintura. Inoltre, è molto importante che il sensore sia allineato all'asse del rachide e che la parte superiore del sensore sia al tempo stesso parallela alla linea congiungente le due fossette.



**FOSSETTA
DI VENERE
SINISTRA**

**FOSSETTA
DI VENERE
DESTRA**

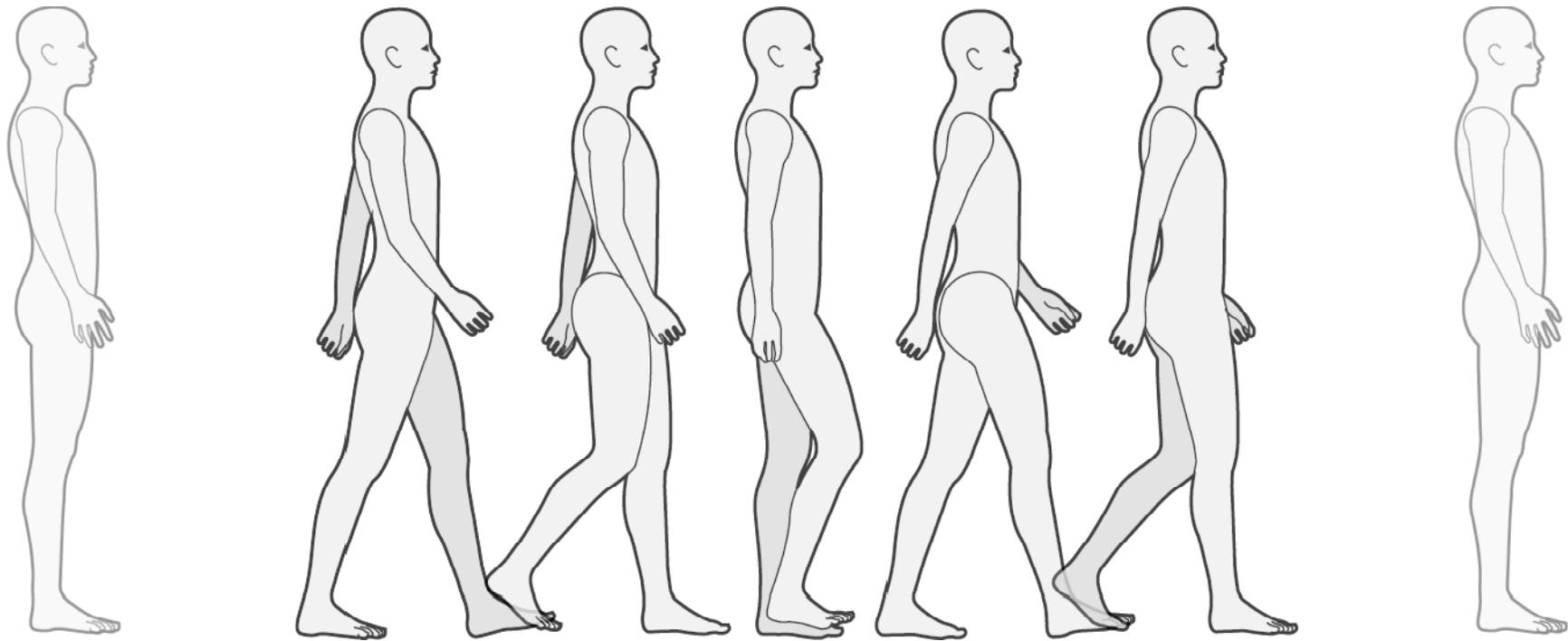




2 Fase di acquisizione

» studio del cammino.

- Con il paziente in posizione ortostatica, si dà l'avvio all'acquisizione ma si invita il paziente a rimanere fermo in tale posizione per consentire la stabilizzazione del G-SENSOR. Solo al termine della fase di stabilizzazione il paziente può iniziare a camminare seguendo una traiettoria quanto più rettilinea possibile di circa 7-10 metri a velocità naturale. Alla fine del percorso, il paziente deve fermarsi senza ruotare (Figura 5) e l'utente può dare stop all'acquisizione.



- **Raccomandazioni:** È importante sottolineare che il primo e l'ultimo passo di ogni arto sono automaticamente eliminati dall'algoritmo al fine di non considerare i passi alterati dall'accelerazione iniziale in partenza e dalla decelerazione finale al termine del percorso. Per questo, al fine di ottenere un report clinico affidabile, è necessario che nella stessa prova il paziente esegua almeno 5 passi per lato. Si ricorda che il ciclo del passo è definito come quell'intervallo che intercorre tra due appoggi consecutivi dello stesso piede a terra.

3 Fase di elaborazione

- Una volta caricate le prove da elaborare, si ricorda di selezionare l'opzione “Fascia di normalità” per avere il confronto con il gruppo di controllo sano

4 Fase di refertazione

- Il report clinico finale viene generato automaticamente e riporta i parametri clinici che permettono di valutare il pattern deambulatorio del paziente, sia dal punto di vista cinematico sia da quello dell'attivazione muscolare.

- **L'INDICE GLOBALE di SIMMETRIA (GSI)** (Figura 8) permette di valutare in modo sintetico se il ciclo del passo dell'arto destro e il ciclo del passo dell'arto sinistro sono simmetrici. Una volta quantificato l'INDICE di SIMMETRIA (SI), descritto al punto successivo, assegnando un peso diverso all'eventuale differenza tra fase di appoggio destra e sinistra (peso = 0.6) e tra fase di volo destra e sinistra (peso = 0.4), viene di conseguenza calcolato l'indice GSI. Un valore di GSI nell'intervallo $75 \div 100$ è indicativo di un elevato grado di simmetria, in quanto sia fase di appoggio destra e sinistra che fase di volo destra e sinistra risultano essere rispettivamente molto simili tra loro.

- Un valore di GSI nell'intervallo $75 \div 100$ è indicativo di un elevato grado di simmetria, in quanto sia fase di appoggio destra e sinistra che fase di volo destra e sinistra risultano essere rispettivamente molto simili tra loro.

INDICE GLOBALE DI SIMMETRIA

GSI (%) = 96.5

Valori di normalità

$75 < GSI < 100$

- **L'INDICE di SIMMETRIA (SI)** rappresenta la differenza tra il valore espresso in termini % della fase di appoggio dell'arto destro e quello dell'arto sinistro. Ovviamente, essendo questa differenza espressa in termini percentuali, essa è la medesima che c'è anche tra le due fasi di volo destra e sinistra, in quanto la somma della fase di appoggio e della fase di volo sia dell'arto destro che dell'arto sinistro è pari al 100%. A titolo di esempio, si considerino i valori delle sole fasi di appoggio destra e sinistra riportati nella seconda pagina del report: se la fase di appoggio dell'arto destro è il 61.5% del ciclo del passo, mentre la fase di appoggio dell'arto sinistro è del 59.3%, la differenza tra le due sarà uguale a 2.2, che è appunto il valore dell'indice SI. Una buona simmetria tra i due arti è mantenuta fin tanto che questa differenza è minore di 3.6, valore più alto di deviazione standard ritenuto normale per la fase di volo. Idealmente, se l'indice di simmetria fosse pari a 0, le fasi di appoggio destra e sinistra sarebbero identiche, così come anche le due fasi di volo.

- Una buona simmetria tra i due arti è mantenuta fin tanto che questa differenza è minore di 3.6, valore più alto di deviazione standard ritenuto normale per la fase di volo. Idealmente, se l'indice di simmetria fosse pari a 0, le fasi di appoggio destra e sinistra sarebbero identiche, così come anche le due fasi di volo.

INDICE DI SIMMETRIA

Valori di normalità

SI (%) =

2.2

$SI < 3.6$

- **L'INDICE di QUALITÀ DEL CICLO DEL PASSO**, a differenza degli indici di simmetria che mettono a confronto arto destro e sinistro, esprime una caratteristica del singolo arto. Esso valuta la capacità del soggetto di suddividere in modo corretto ed equilibrato il proprio ciclo del passo destro e sinistro. Per tale motivo esiste un valore per ciascun arto. Idealmente il valore dell'indice pari a 100 è raggiunto quando la fase di appoggio e la fase di volo per il singolo arto rappresentano esattamente il 60% e il 40% dell'intero ciclo del passo.

INDICE DI QUALITÀ DEL CICLO DEL PASSO

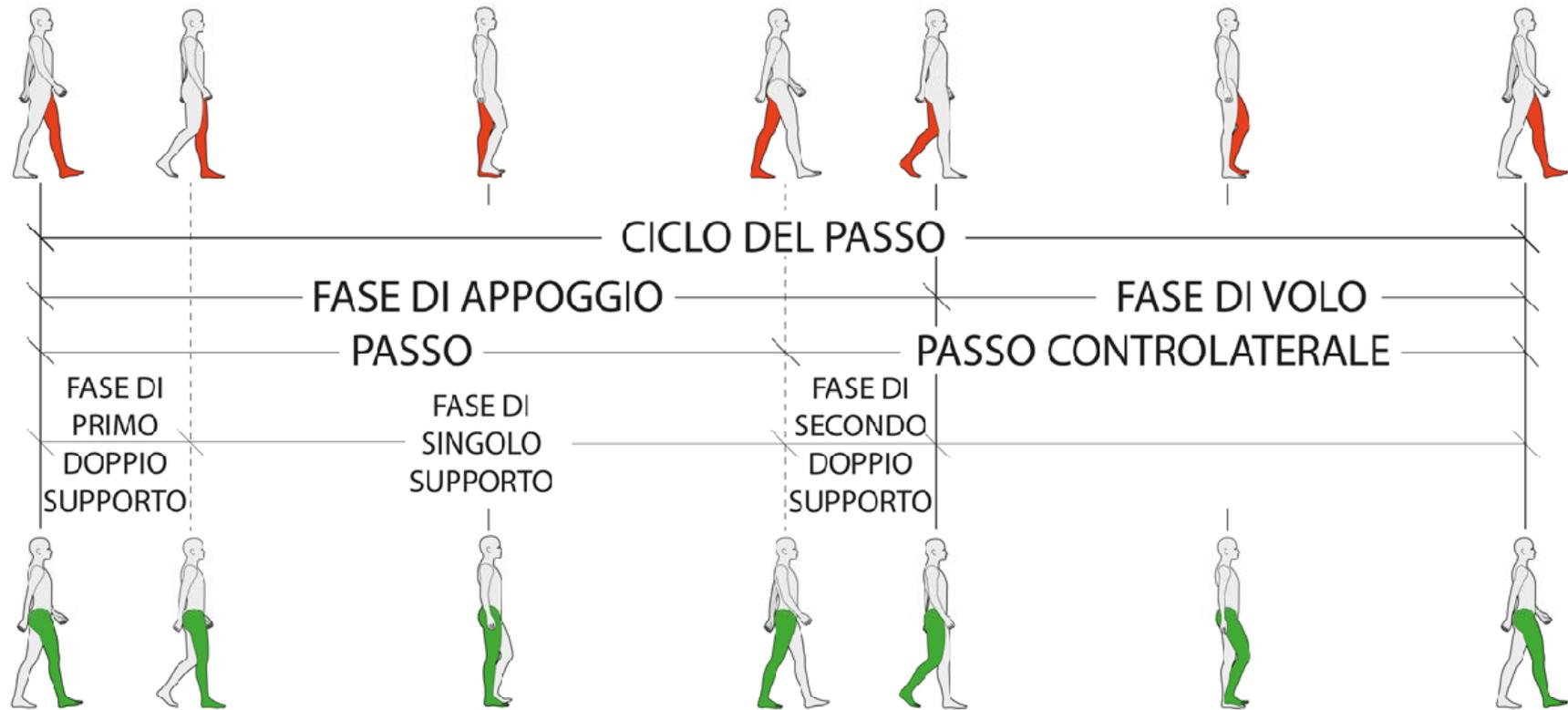
Arto destro (%): 96.9

Arto sinistro (%): 95.7

Valori di normalità

90 - 100

fasi del ciclo del passo (Figura 11).



- » il ciclo del passo, ovvero la sequenza che intercorre tra due appoggi successivi dello stesso piede al terreno, è diviso in due principali fasi: la fase di appoggio (costituisce circa il 60% del ciclo totale ed è caratterizzata dal contatto al suolo del piede ipsilaterale) e la fase di volo (costituisce circa il 40% del ciclo totale ed è caratterizzata dall'oscillazione dell'arto, quindi il piede ipsilaterale ormai svincolato dal terreno ed in volo è in preparazione per il successivo appoggio, mentre il piede controlaterale è a contatto col terreno). A sua volta, la fase di appoggio è suddivisa in 3 sottofasi: la fase di primo e di secondo doppio supporto (quando ambo i piedi sono in appoggio), e la fase di singolo supporto (quando un solo piede è appoggiato al terreno, mentre il controlaterale si trova nella sua fase di volo).
- In tabella è mostrata la fase di primo doppio supporto (ovvero quando il piede ipsilaterale è in posizione anteriore, mentre il piede controlaterale è in posizione posteriore e si trova nella sua fase di pre-oscillazione) (Figura 12).

- In tabella è mostrata la fase di primo doppio supporto (ovvero quando il piede ipsilaterale è in posizione anteriore, mentre il piede controlaterale è in posizione posteriore e si trova nella sua fase di pre-oscillazione) (Figura 12).

PARAMETRI TEMPORALI

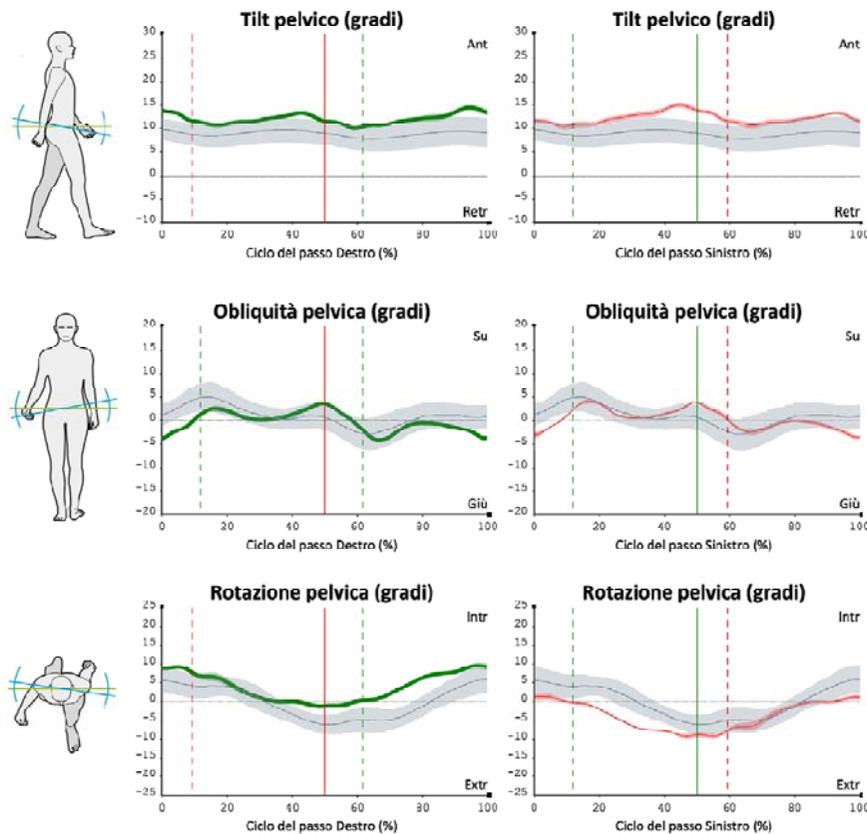
	DESTRO	SINISTRO	Normalità
FASE di APPOGGIO (% ciclo del passo):	61.5 ± .7	59.3 ± 2.4	59 ± 2
FASE di VOLO (% ciclo del passo):	38.5 ± .7	40.7 ± 2.4	40 ± 3.6
FASE SINGOLO SUPPORTO (% ciclo del passo):	40.7 ± 3.1	38.5 ± 1.5	38.9 ± 2.6
1a FASE DOPPIO SUPPORTO (% ciclo del passo):	9.2 ± 2.7	11.7 ± .2	10.3 ± 3.1
TEMPO del CICLO (s):	1.2 ± .02	1.19 ± .02	1.1 ± .09
TEMPO di APPOGGIO (s):	0.74 ± .01	0.71 ± .02	0.65 ± .07
TEMPO di VOLO (s):	0.46 ± .02	0.49 ± .03	0.44 ± .05
CADENZA (step/min) :	100.4 ± 1.4	114 ± 4.2	

- » Tutte le fasi sono espresse sia come percentuale del ciclo del passo che in termini assoluti di tempo, ovvero in secondi. Infatti, entrambe le informazioni sono importanti perché il paziente, sebbene possa avere una modifica dei propri parametri in termini di secondi, può comunque mantenere una buona distribuzione delle fasi in termini %.
- È inoltre riportata la cadenza del passo, ovvero il numero di passi o step eseguiti in un minuto. Il passo è da non confondere con il ciclo: esso rappresenta la sequenza che intercorre tra l'appoggio di un piede ed il successivo appoggio del piede controlaterale

CINEMATICA delle PELVI

sui tre piani anatomici (sagittale, frontale e trasversale)
(Figura 13).

CINEMATICA DELLA PELVI



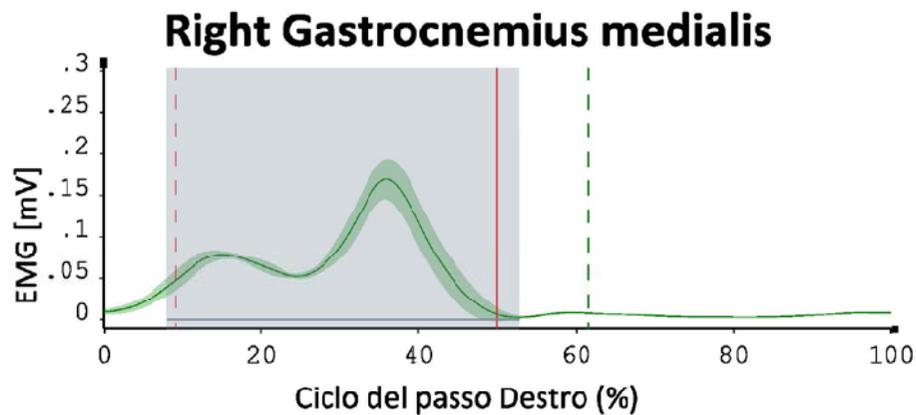
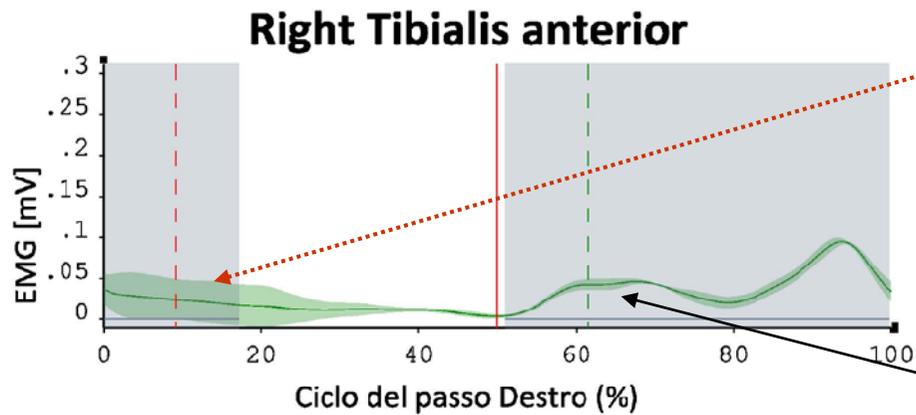
Il grafico verde rappresenta il movimento della pelvi durante il ciclo del passo destro, mentre il grafico rosso rappresenta il movimento della pelvi durante il ciclo del passo sinistro. Al fine di effettuare un confronto con l'andamento fisiologico che la pelvi dovrebbe avere in assenza di alterazioni del cammino, sono riportati in grigio i grafici relativi alla fascia di normalità.

- Sull'asse orizzontale è riportata la % del ciclo del passo (0% - 100%). Le linee verticali rappresentano tutti gli eventi temporali normalizzati rispetto al ciclo del passo preso in considerazione. In particolare, una linea continua identifica sempre l'appoggio di un piede, quella tratteggiata il distacco. A seconda del colore della linea continua o tratteggiata, l'evento si riferirà al piede destro o sinistro se è rispettivamente di colore verde o rosso.

- Sull'asse verticale è riportato il valore dell'angolo in gradi. La linea orizzontale dello zero divide il grafico in due parti, positiva e negativa, per distinguere i due opposti movimenti che la pelvi può eseguire su quel piano anatomico. Ad esempio, osservando il grafico relativo alla rotazione pelvica evidenziato nella Figura 13, per convenzione i valori positivi dell'angolo rappresentano il movimento di intra-rotazione, mentre i valori negativi identificano l'extra-rotazione. E' importante puntualizzare che la pelvi è un osso unico e quindi per poterne comprendere correttamente il movimento durante il ciclo del passo destro o sinistro senza commettere errori di interpretazione è necessario fissare l'attenzione su due precisi punti di repere appartenenti alla pelvi: la *spina iliaca antero superiore destra e sinistra*. Tornando al grafico del movimento di *intra-extrarotazione* evidenziato in Figura 13, se si prende in esame il ciclo del passo destro la posizione della pelvi verrà definita in intra o extrarotazione a seconda del movimento descritto dalla spina iliaca antero superiore destra. Analogamente se il ciclo del passo preso in esame è quello di sinistra, allora la posizione in intra o extrarotazione della pelvi verrà definita sulla base del movimento descritto dalla spina iliaca antero superiore sinistra.

ATTIVITÀ MUSCOLARE

- » L'**INVILUPPO** è un altro modo di rappresentare il segnale di attività elettrica muscolare rispetto a quello grezzo e mostra in maniera chiara il timing di attivazione muscolare, ovvero in quali fasi del ciclo del passo vi è l'accensione e lo spegnimento del muscolo investigato in quanto questo tipo di rappresentazione permette di evidenziarne più facilmente i picchi di attività.
 - » Sull'asse orizzontale è riportata la % del ciclo del passo, con i relativi eventi temporali di appoggio e distacco di ambo gli arti espressi in % rispetto al ciclo del passo, mentre sull'asse verticale sono riportati i valori dell'attività elettrica muscolare espressa in milliVolt.
- Le bande di colore azzurro-grigio identificano le aree in cui il muscolo dovrebbe essere attivo in caso di pattern di attivazione muscolare fisiologico. Se il muscolo ha quindi un corretto timing di attivazione, dovrebbe mostrare un picco di attività all'interno dell'area azzurro-grigio ed essere invece pressoché piatto al di fuori di essa. Ad esempio, si considerino gli involuppi dei due muscoli antagonisti dell'arto destro (Figura 14).



In questo caso, nella fase iniziale del ciclo del passo il muscolo Tibiale anteriore è attivo in quanto sta lavorando in modalità *eccentrica* al fine di evitare la caduta del piede a terra. Durante la fase di singolo supporto invece, quando avviene l'appoggio completo del piede, il muscolo Tibiale anteriore deve spegnersi perché è il muscolo Gastrocnemio che ora si attiva, inizialmente in maniera *eccentrica* per controllare il rotolamento in avanti della tibia sul piede e immediatamente dopo in modo *concentrico* per sviluppare la forza propulsiva necessaria a sollevare il piede da terra e permettere l'oscillazione dell'arto. Durante la fase di volo, è di nuovo il Tibiale anteriore che entra in azione per dorsiflettere la caviglia e consentire l'oscillazione dell'arto, evitando così il trascinarsi del piede a terra, mentre il muscolo Gastrocnemio rimane silente.

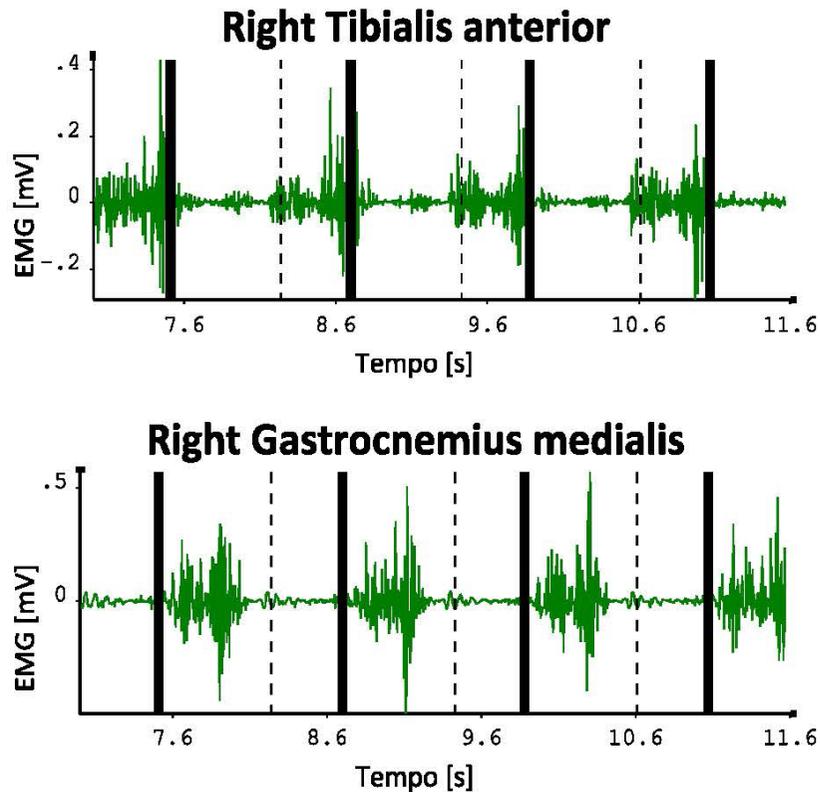
- **L'INDICE di COATTIVAZIONE** permette di quantificare la co-contrazione muscolare, ovvero l'attività simultanea dei due muscoli antagonisti che agiscono sulla medesima articolazione durante la fase di appoggio e di volo.

INDICE DI COATTIVAZIONE MUSCOLARE

	DESTRO	SINISTRO	<i>Normalità</i>
Fase di appoggio (%) :	31.5	33	< 30
Fase di volo (%) :	0	2.5	< 55

- Il calcolo di questo indice è ispirato ai lavori di Chow et al., (2012) e di Boudarham et al. (2016). Un INDICE di COATTIVAZIONE maggiore del suo riferimento di normalità può indicare la presenza di una co-contrazione eccessiva dei muscoli e, conseguentemente, una coordinazione muscolare mediocre o scarsa.

- è mostrata l'attività muscolare dei due muscoli antagonisti sotto forma di *segnale grezzo* filtrato, all'interno di una finestra temporale identificativa della fase centrale della prova, privata quindi dei primi e degli ultimi passi (Figura 16).



Sull'asse orizzontale c'è il *tempo*, con gli eventi di *appoggio* (*linee verticali continue nere*) e di *distacco del piede* (*linee verticali tratteggiate nere*), mentre sull'asse verticale è riportata l'*attività elettrica muscolare* espressa in *milliVolt*

Bibliografia

- » Freriks B., Hermens H.J., Merletti R., 1999. “SENIAM: European Recommendations for Surface Electromyography”. Roessingh Research and Development Publisher, vol. 8.
- » Robinson R.O., Herzog W., Nigg B.M., 1987. “Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry”. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* vol. 10, no. 4, pp. 172–176.
- » Błażkiewicz M., Wiszomirska I., Wit A., 2014. “Comparison of four methods of calculating the symmetry of spatial-temporal parameters of gait” *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 16, no. 1.
- » Chow J.W., Yablon S.A., Stokic D. S., 2012. “Coactivation of ankle muscles during stance phase of gait in patients with lower limb hypertonia after acquired brain injury”. *Clinical Neurophysiology*, vol. 123, no. 8, pp. 1599-1605.
- Boudarham J., Hameau S., Zory R., Hardy A., Bensmail D., Roche N., 2016. “Coactivation of Lower Limb Muscles during Gait in Patients with Multiple Sclerosis.” Derfuss T. editor, *PLoS ONE* vol. 11, no.6.

