



Università degli Studi di Padova
CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA
PRESIDENTE: *Ch.mo Prof. Raffaele De Caro*

TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE FUNZIONALE DELL'ARTO
SUPERIORE CON CONFRONTO FRA SCALE DI
VALUTAZIONE CLINICHE E MISURE
STRUMENTALI: STUDIO PILOTA SU BAMBINI
CON P.C.I. FORMA EMIPLEGICA SPASTICA**

RELATORE: Ft. Maria Grazia Lunardelli

Correlatore: Dott.ssa Elena Carraro

Correlatore: Ing. Davide Conte

LAUREANDA: Giulia Bongiorno

Anno Accademico 2014-2015



Università degli Studi di Padova
CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA
PRESIDENTE: *Ch.mo Prof. Raffaele De Caro*

TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE FUNZIONALE DELL'ARTO
SUPERIORE CON CONFRONTO FRA SCALE DI
VALUTAZIONE CLINICHE E MISURE
STRUMENTALI: STUDIO PILOTA SU BAMBINI
CON P.C.I. FORMA EMIPLEGICA SPASTICA**

RELATORE: Ft. Maria Grazia Lunardelli

Correlatore: Dott.ssa Elena Carraro

Correlatore: Ing. Davide Conte

LAUREANDA: Giulia Bongiorno

Anno Accademico 2014-2015

INDICE

ABSTRACT.....	p. 1
INTRODUZIONE.....	p. 2
CAPITOLO 1: VALUTAZIONE ARTO SUPERIORE.....	p. 4
1.1 Valutazione fisioterapica.....	p. 5
1.1.1 Osservazione e valutazione.....	p. 6
1.1.1.1 Le scale di valutazione.....	p. 8
1.2 Valutazione strumentale.....	p. 11
1.3 Revisione della letteratura.....	p. 13
CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI.....	p. 17
2.1 Popolazione.....	p. 17
2.2 Valutazione clinica.....	p. 18
2.2.1 La scala Melbourne.....	p. 19
2.3 Analisi strumentale dell'arto superiore.....	p. 20
2.3.1 Protocollo di valutazione.....	p. 21
CAPITOLO 3: RISULTATI.....	p. 26
3.1 Descrizione della popolazione.....	p. 26
3.2 Risultati clinici: scala Melbourne.....	p. 27
3.3 Risultati strumentali.....	p. 28
CAPITOLO 4: DISCUSSIONE.....	p. 31
4.1 Discussione.....	p. 31
4.2 Criticità.....	p. 34
CONCLUSIONI.....	p. 35
BIBLIOGRAFIA.....	p. 36
ALLEGATI.....	p. 42
RINGRAZIAMENTI.....	p. 47

ABSTRACT

INTRODUZIONE: Nella pratica clinica e nel mondo della fisioterapia sono molte le scale di valutazione di cui ci si avvale per lo studio dell'arto superiore. Negli ultimi anni sono state introdotte le tecniche strumentali di analisi del movimento già in uso per l'arto inferiore, allo scopo di ottenere valutazioni obiettive di cinematica articolare tridimensionale, parametri spazio-temporali, velocità e rettilineità della traiettoria seguita.

OBIETTIVO: L'obiettivo di questo studio è individuare e sperimentare una valutazione quantitativa strumentale per valutare task motori dell'arto superiore tipici della vita quotidiana tratti dalla scala di valutazione *Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function* su un campione di bambini con Paralisi Cerebrale Infantile (PCI) a forma emiplegica spastica, e di comparare i risultati ottenuti con la compilazione della stessa, e confrontarli con i risultati ottenuti da un campione di controllo composto da soggetti con sviluppo neuro-motorio normale della stessa età.

MATERIALI E METODI: 3 soggetti con PCI a forma emiparesi spastica (gruppo caso), e 2 con sviluppo neuro-motorio normale (gruppo controllo) hanno eseguito 6 task presenti nella Melbourne Assessment: "pointing anteriore", in "abduzione" e in "adduzione", "mano-bocca", "mano-gluteo", "fronte-nuca". Sono stati registrati e confrontati i parametri di velocità, fluidità, precisione e ampiezza.

RISULTATI: Sono stati riportati i risultati della somministrazione della scala di valutazione Melbourne nei tre bambini emiplegici. Sono stati inoltre riportati gli indici strumentali proposti dal protocollo per la valutazione quantitativa dei gesti. L'ultimo gesto, il "fronte-nuca", non è stato elaborato tramite la valutazione strumentale per la difficoltà di adattare il protocollo al task in questione.

CONCLUSIONE: Nell'analisi dei risultati strumentali è emerso che, come riscontrato in letteratura, il movimento con l'arto affetto è complessivamente più lento, meno fluido e la velocità di picco è più bassa e viene raggiunta prima nel pointing in abduzione e nel mano-bocca, più lentamente negli altri due task; la fase di aggiustamento è maggiore sia in termini di tempo, sia come lunghezza delle oscillazioni. A livello articolare si sono evidenziati, nei gesti effettuati con l'arto plegico, una maggiore flessione anteriore, rotazione ed inclinazione controlaterale di tronco, con aumento di abduzione, flessione ed intrarotazione di spalla (come strategia di compenso per il deficit in supinazione e di estensione di gomito) e della flessione del polso.

INTRODUZIONE

Nella pratica clinica e nel mondo della fisioterapia sono molte le scale di valutazione di cui ci si avvale per lo studio dell'arto superiore, per indagarne moduli e combinazioni motorie.

I metodi clinici in uso per valutare il movimento dell'arto superiore nei bambini con Paralisi Cerebrale Infantile non consentono ancora un'analisi dettagliata della cinematica articolare e delle attività muscolari presenti durante i movimenti tipici delle attività della vita quotidiana. Attraverso l'esame obiettivo e le scale di valutazione è possibile raccogliere, infatti, informazioni sulla funzione, la destrezza, il controllo motorio, il tono muscolare e la presenza di contratture fisse o dinamiche, ma non misure quantitative del movimento.

Negli ultimi anni, allo scopo di ottenere valutazioni obiettive del movimento dell'arto superiore, sono state introdotte le tecniche di analisi del movimento già in uso per l'arto inferiore.

Avere la possibilità di monitorare qualitativamente e soprattutto quantitativamente il movimento del paziente porterebbe ad una più precisa misura degli effetti prodotti da una determinata tecnica farmacologica, chirurgica, riabilitativa, di evidenziare l'efficacia dell'uso di ortesi o di valutare quanto essa sia più adeguata per lo specifico paziente.

Tali tecniche di valutazione strumentale, pur con tutte le limitazioni metodologiche della modellizzazione dovute alla complessità del movimento delle articolazioni dell'arto superiore, sono in grado di fornire dati di cinematica articolare tridimensionale (3D), parametri spazio-temporali, velocità e rettilineità della traiettoria seguita.

L'obiettivo di questo studio è individuare e sperimentare una valutazione quantitativa strumentale di task motori dell'arto superiore tipici della vita quotidiana tratti dalla scala di valutazione Melbourne (*Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function*) su un campione di bambini con Paralisi Cerebrale Infantile (PCI) a forma emiplegica spastica, e di comparare i risultati ottenuti con la compilazione della stessa.

Verranno acquisiti i dati di cinematica di un campione di controllo composto da soggetti con sviluppo neuro-motorio normale della stessa età, che verranno poi confrontati con i risultati del gruppo sperimentale.

CAPITOLO 1: VALUTAZIONE DELL'ARTO SUPERIORE

Lo sviluppo delle competenze motorie e percettive sempre più raffinate e complesse degli arti superiori e della mano è di fondamentale importanza per giocare, toccare, esplorare, indicare, carezzare, e per compiere le attività della vita quotidiana come alimentarsi, lavarsi, vestirsi, disegnare, scrivere.

Un'approfondita conoscenza dello sviluppo del controllo degli arti superiori nel bambino normale è essenziale per comprendere i problemi funzionali del bambino con PCI e per impostare un adeguato intervento abilitativo.

Nel bambino con PCI l'acquisizione delle funzioni-base degli arti superiori e della mano, quali l'avvicinamento (reaching), la prensione e il rilasciamento, sono spesso ritardati nel tempo, disturbati, limitati o, nei casi con compromissione più severa, del tutto assenti.

Il ritardo o la limitazione nelle acquisizioni di base condiziona o preclude, a sua volta, l'acquisizione di più complesse e mature abilità manipolative, come la maggior differenziazione dei movimenti intrinseci e/o la coordinazione asimmetrica degli arti superiori, indispensabili per più fini e precise attività di gioco o di vita quotidiana.

Anche la qualità del gesto viene compromessa: anche nei quadri con compromissione più lieve, esso rimane spesso impacciato, lento e scarsamente efficiente nell'esecuzione di compiti fini e complessi.

Il bambino con Paralisi Cerebrale Infantile presenta, inoltre, difficoltà nel graduare i movimenti dell'arto superiore, sia effettuando movimenti di ampiezza, velocità e forza inadeguata al compito, sia coordinando male i vari segmenti dell'arto e non controllandone i movimenti intermedi.

Spesso, per superare tali difficoltà, il bambino impara a "bloccare" una o più articolazioni in modo da facilitare l'uso dell'arto superiore [18].

1.1 VALUTAZIONE FISIOTERAPICA

Per impostare un adeguato intervento abilitativo è necessario effettuare prima di tutto un'attenta e prolungata osservazione/valutazione della funzionalità degli arti superiori.

Tale valutazione andrà ripetuta nel tempo per registrare eventuali variazioni nelle prestazioni degli arti superiori, per meglio definire la prognosi funzionale e per adeguare conseguentemente il programma terapeutico.

Nei bambini con emiparesi possiamo osservare deficit motori di diversa entità dell'arto superiore paretico e, in relazione soprattutto al suo utilizzo in funzione ausiliaria, differenti livelli di funzionalità, sia nel gioco sia nelle attività di vita quotidiana.

L'attività funzionale del bambino con emiparesi è condizionata da problemi di controllo posturale, da difficoltà nell'utilizzo bilaterale degli arti superiori e nella prensione, dalla presenza di reazioni associate e contratture e deformità, da eventuali disturbi percettivi e dalla coordinazione oculo-manuale.

Le difficoltà nell'utilizzo bilaterale degli arti superiori possono essere legate a vari fattori quali alcune condotte d'avvicinamento condizionate dall'atteggiamento più o meno prepotente dell'arto superiore paretico in flessione, con adduzione dell'omero e pronazione dell'avambraccio, polso flesso e deviato ulnarmente, dalla presenza di reazioni associate, disturbi percettivi, contratture e deformità.

Nei bambini con deficit motorio più grave le condotte d'avvicinamento all'oggetto sono prevalentemente asimmetriche ed attuate in modo più veloce ed efficace con l'arto superiore "sano".

In questi bambini vi può essere una mancanza più o meno rilevante di esperienze di utilizzo bilaterale dei due arti superiori, quali ad esempio il portare le mani in bocca per esplorarle, il raggiungimento simmetrico, con avvicinamento parabolico degli oggetti.

La mano viene portata sull'oggetto, utilizzando una sinergia in flessione e adduzione del gomito, avambraccio pronato, polso deviato ulnarmente [18].

1.1.1 OSSERVAZIONE E VALUTAZIONE

L'osservazione e la valutazione sono fondamentali per capire gli obiettivi del progetto riabilitativo: un'adeguata osservazione e valutazione dà gli elementi corretti e coerenti per impostare gli obiettivi di trattamento.

Ciò che concerne al fisioterapista è il cogliere le strategie e le competenze che il bambino mette in atto per rispondere a una richiesta dell'ambiente.

La valutazione funzionale è qualitativa e quantitativa: per ogni funzione esaminata dovrà essere analizzato “che cosa fa il bambino”, cioè il livello di acquisizioni raggiunto in relazione all'età (valutazione quantitativa), e “come il bambino agisce”, cioè la qualità della motilità spontanea, delle strategie e delle sequenze esecutive (valutazione qualitativa).

Non è una registrazione sterile di dati, ma un'osservazione dinamica delle competenze posturo-motorie del bambino, per osservare in quali situazioni il bambino è in grado di adattarsi e di rispondere al meglio alle richieste sia posturali, che di movimento (strategie).

La valutazione è basata sulle ipotesi che sono state effettuate durante una prima osservazione del movimento spontaneo del bambino, che permette di correlare il segno e il suo significato.

A livello della valutazione della funzione motoria andiamo ad osservare:

- competenza/capacità di iniziativa motoria (capacità del bambino di utilizzare i moduli motori per la relazione, l'esplorazione, la conoscenza);
- il tipo di organizzazione posturo-cinetica (presenza di: moduli motori, combinazioni, sequenze, sinergie, sincinesie, controllo simultaneo, controllo sequenziale, reazione antigravitaria);
- la competenza percettiva
- la costruzione delle strategie funzionali e l'uso spontaneo di queste strategie.

È importante eseguire anche un attento esame clinico distrettuale comprensivo di valutazione cinesiologica, valutazione della spasticità, valutazione delle limitazioni e delle deformità articolari e valutazione delle deformazioni dello

scheletro [16].

Valutazione quantitativa

Nell'osservazione del comportamento del bambino (avvalendosi della videoregistrazione) l'analisi di "cosa fa il bambino" deve considerare:

- le condotte di afferramento;
- l'organizzazione progressiva delle attività prassiche.

La prima intende la presenza di movimenti prossimali direzionati verso l'oggetto (pointing), di movimento di raggiungimento (reaching), di movimenti di afferramento (grasping), di movimenti di rilascio (releasing).

La seconda indaga la presenza di schemi di base (sollevare, spostare, battere, trasportare, ruotare, lanciare, spingere, tirare,...); la conoscenza del nucleo funzionale degli oggetti e cioè la loro identificazione in base all'uso; la presenza di attività mono-bimanuali con oggetti, con l'uso di gesti imitativi o referenziali, e in attività in autonomia.

Valutazione qualitativa

La valutazione qualitativa delle abilità manipolatorie e prassiche può essere condotta analizzando alcuni parametri durante l'osservazione del comportamento spontaneo del bambino in attività di gioco e di autonomia, e quindi già nel corso della prima valutazione clinica. I parametri clinici suggeriti da Largo [29] sono i seguenti:

- fluenza: delicatezza e armonia dei movimenti delle braccia, delle mani e delle dita;
- efficienza: economia e rapidità dell'attività motoria nel completare un compito;
- adattabilità: grado di adattamento dell'attività motoria a condizioni ambientali diverse;
- movimenti associati: presenza di movimenti sincinetici e/o speculari omo e ipsilaterali.

I parametri di valutazione proposti dal GIPCI (Gruppo Italiano Paralisi Cerebrali Infantili) sono:

- caratteristiche spazio-temporali delle sequenze (raggiungimento, afferramento, rilasciamento, coordinazione digitale);
- cooperazione degli arti in attività bimanuali (prevalenza o esclusione di un arto, movimenti associati);
- movimenti involontari (distonie, ipercinesie);
- integrazione percettivo-motoria;
- variabilità/stereotipia e fluidità/rigidità delle sequenze;
- capacità di adattamento, di anticipazione e di apprendimento;
- efficacia ed efficienza dell'azione;
- realazione fra controllo della postura e abilità manipolatorie. [15]

1.1.2 LE SCALE DI VALUTAZIONE

Nella valutazione del bambino, accanto agli strumenti descrittivi, vengono utilizzati strumenti standardizzati o metodiche strumentali al fine di rendere più obiettiva, quantificabile e confrontabile nel tempo e tra gli osservatori la valutazione stessa [44].

Per la valutazione dell'arto superiore sono presenti in letteratura numerose scale. Nella revisione del 2011 di Wagner e Davids [48] sono state elencate ben 21 scale di valutazione dell'arto superiore per le PCI, di cui 12 specifiche per questa patologia.

Gli strumenti di valutazione disponibili, attualmente, per i bambini con emiplegia analizzano i seguenti aspetti:

- strumenti che valutano l'entità dei segni lesionali (impairment) e quindi della spasticità del braccio e avambraccio (scala Ashworth) e delle eventuali limitazioni articolari (valutazione goniometrica del ROM) della spalla, del gomito, del polso e delle dita;

- strumenti che valutano la disabilità nelle attività di prensione e manipolazione.

Gli strumenti di valutazione funzionale della prensione e della manipolazione per i bambini con Paralisi Cerebrale più noti sono la *Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function*, la *Quality of Upper Extremity Skill Test (QUEST)*, la *BESTA* e la *Assisting hand Assessment (AHA)* [19].

Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function

La valutazione Melbourne [25] consiste in 16 items che includono: raggiungere, afferrare, rilasciare, manipolare. Essa è stata validata per i bambini con PCI dai 5 ai 15 anni.

La performance del bambino viene videoregistrata per assegnare il successivo punteggio, da 0 a 3 o 4 punti, usando criteri quali l'ampiezza del movimento, la presenza di movimenti associati, l'accuratezza, l'efficienza, la fluenza delle sequenze e il livello di competenza in relazione all'età.

I criteri di punteggio e le prove hanno l'obiettivo di rappresentare le più importanti componenti della funzione dell'arto superiore.

Quality of Upper Extremity Skill Test

Lo scopo della scala QUEST [11] è misurare sia i componenti della funzionalità della mano (aspetto quantitativo), sia la qualità del movimento (aspetto qualitativo). Essa misura in bambini da 18 mesi a 8 anni la qualità dei movimenti degli arti superiori secondo criteri funzionali e valuta 4 dimensioni: i movimenti dissociati (19 item), la prensione (6 item), il sostegno del carico (5 item) e le reazioni paracadute (3 item): a ciascun item viene data una risposta positiva se il bambino è in grado di eseguire la prova o negativa in caso contrario: il punteggio totale fornisce il livello di abilità funzionale acquisito.

Besta

La scala Besta [14] è uno strumento per la valutazione dell'uso spontaneo dell'arto superiore in attività di gioco o di autonomia per i bambini dai 6 mesi ai

12 anni. È stata validata nel 2003 e considera due aspetti diversi dell'attività di prensione e manipolazione:

- la valutazione della presa della mano su richiesta con materiale standard (dadi di 1,5-3,5 cm), con uno score che va da 0 a 3 (0 = presa assente; 1 = grasping, 2 = presa pluridigitale-trigitale-palmare; 3 = presa a pinza in opposizione del pollice);
- la valutazione dell'uso spontaneo con materiale di gioco che implica la bimanualità, standard per fasce d'età, e l'uso spontaneo della mano in attività prassiche (con proposte di attività di autonomia di alimentazione, pulizia, abbigliamento): la codificazione per la valutazione della qualità della performance si attua con uno score da 0 a 3.

Assisting Hand Assessment

L'AHA [28] misura l'efficienza con cui un bambino tra i 18 mesi e i 5 anni con deficit unilaterale usa la mano paretica in attività bimanuali. Essa consiste di 22 item di attività di gioco, le cui performance vengono osservate e valutate secondo un punteggio da 0 a 4 in relazione alla qualità dell'uso della mano.

1.2 VALUTAZIONE STRUMENTALE

La ripresa video fornisce informazioni qualitative e bidimensionali della cinematica, ma non è in grado di fornire alcuna informazione riguardo la dinamica del movimento. Proprio da queste limitazioni deriva la necessità di introdurre una valutazione strumentale in grado di fornire al clinico informazioni qualitative e quantitative (tridimensionali), relative alla cinematica, alla dinamica ed alla attivazione muscolare del movimento.

Queste acquisizioni permettono un'immediata documentazione del quadro funzionale (profilo di disabilità), la verifica dei vantaggi e limiti delle ortesi (tutori, splint, ecc.) e degli interventi chirurgici e farmacologici (tossina botulinica, antispastici, antidistonici).

Le caratteristiche richieste dalla strumentazione contenuta in un laboratorio di valutazione computerizzata del movimento sono:

- Tridimensionalità (3D);
- Non invasività;
- Possibilità di fornire informazioni quantitative con elevata precisione;
- Possibilità di effettuare una analisi integrata multifattoriale, ovvero di acquisire contemporaneamente dati relativi alla cinematica (per esempio le traiettorie del movimento) alla dinamica ed all'attivazione muscolare (elettromiografia o EMG).
- Facile utilizzo
- Costi adeguati

Per l'acquisizione vengono utilizzati sistemi optoelettrici e sistemi di ripresa video.

I sistemi optoelettronici sono in grado di misurare le coordinate tridimensionali di markers, elementi di materiale fotofrangente che vengono apposti, tramite semplice biadesivo, sul corpo del soggetto in particolari punti di repere. I markers sono illuminati ad intervalli regolari da ciascuna telecamera da una

sorgente a luce in prossimità dell'infrarosso ed il riflesso ripreso dalla telecamera coassiale alla sorgente di luce. Lavorando le telecamere nell'ambito dell'infrarosso, il sistema è assolutamente non invasivo.

E' importante precisare che l'apparecchiatura misura le coordinate tridimensionali (X, Y, Z) dei markers apposti sul corpo del soggetto.

Note le coordinate tridimensionali dei markers è possibile calcolare traiettorie e grandezze angolari (e quindi determinare angoli di flessione-estensione, abduzione e extra-intra rotazione delle principali articolazioni), velocità, accelerazioni e conoscere in dettaglio la cinematica del movimento del segmento corporeo sul quale sono stati posizionati i markers.

Con la ripresa video del paziente, il clinico ha la possibilità di osservare qualitativamente il gesto motorio del bambino, e avere delle informazioni dettagliate multifattoriali relative al movimento che si sta analizzando dai grafici relativi alla cinematica alla dinamica e alla elettromiografia. L'analisi della ripresa video è molto importante anche da un punto di vista didattico (è più semplice capire un grafico relativo alla cinematica dell'articolazione se osservo il movimento reale del paziente).

A seguito di una elaborazione dei dati acquisiti, si passa alla rappresentazione del corpo del soggetto mediante una rappresentazione a stick (ovvero a segmenti). È importante precisare che dalle prove di valutazione cinematica computerizzata si possono ottenere 3 diverse informazioni:

- dati di cinematica: angoli di flessione-estensione, abduzione e extra/intra-rotazione delle principali articolazioni (tronco, spalla, gomito, polso);
- dati di dinamica: tramite le pedane di forza sotto la seduta del soggetto;
- dati elettromiografici: attivazione e disattivazione muscolare.

1.3 REVISIONE DELLA LETTERATURA

È stata effettuata una ricerca sul motore di ricerca “Pub Med”, utilizzando le parole chiave “Upper limb”, “3D motion analysis”, “Cerebral palsy”, “Children”, “Hemiparetic”. Sono stati trovati 137 articoli, pubblicati in lingua inglese, di cui 40 sono stati selezionati: sono stati scelti gli articoli degli ultimi 10 anni in cui venisse valutata, tramite rilevazione computerizzata di movimento attraverso markers, la motricità dell’arto superiore in bambini con emiparesi affetti da PCI. Negli studi sono stati indagati i valori angolari delle articolazioni di tronco, spalla, gomito e polso, e valori spazio-temporali quali durata, velocità, tempo di decelerazione, traiettoria e fluidità del movimento.

Degli studi selezionati, 3 studiavano il movimento normale dell’arto superiori in bambini con sviluppo normale [5, 49, 7], 8 analizzavano il movimento di bambini affetti da Paralisi Cerebrale Infantile [27, 37, 40, 27, 45, 42, 20, 24] e 17 comparavano il movimento normale con il movimento patologico nei bambini [6, 43, 17, 12, 31, 30, 37, 5, 46, 4, 3, 26, 9, 41, 22].

Il numero di soggetti reclutati varia molto da studio a studio, da un minimo di 7 [37] ad un massimo di 107 [3], ma l’età è generalmente compresa fra i 5 e i 18 anni (ad eccezione di [27, 49, 7]).

Task

I gesti che sono stati oggetti di studio per una valutazione cinematica strumentale sono molti ed eterogenei.

Molti studi si concentrano su task presenti all’interno della Melbourne Assessment, in particolare sui movimenti di raggiungimento anteriore e laterale, il movimento portare la mano alla bocca, il portare la mano alla testa, il toccare il gluteo, il toccare la spalla controlaterale e il supinare-pronare l’avambraccio [37, 31, 30, 6, 21, 36, 27, 35, 49, 37, 7, 45, 4, 22, 23].

Alcuni autori, invece, hanno studiato gesti più complessi, quali la prensione [9, 46], il prendere una palla in una posizione standardizzata [40, 12, 46] o una palla

in movimento [43], il movimento degli arti superiori durante la deambulazione [41, 3,], lo schiacciare un bottone [6, 42], l'aprire la porta [26], il simulare il gesto del bere [5, 17, 26].

Un articolo, in particolare, si è focalizzato sulla creazione dell'Arm Profile Score (APS), analogamente al Gait Profile Score: questo vorrebbe fornire al clinico, con un unico punteggio, una modalità facilitata d'interpretazione dei dati di cinematica degli angoli dell'arto superiore [23].

Il movimento patologico

Gli studi hanno segnalato maggiore durata globale del movimento dell'arto superiore, maggiore tempo di decelerazione prima del contatto, diminuita velocità di esecuzione, minore fluidità e ridotta rettilinearità di traiettoria per i bambini emiplegici rispetto ai coetanei con sviluppo tipico. È stato dimostrato inoltre, che durante i movimenti di raggiungimento, i bambini con emiplegia usino meno l'estensione del gomito e la supinazione dell'avambraccio a fronte di un aumento dei movimenti del tronco e della rotazione esterna della spalla [22], abbiano limitazioni significative nell'elevazione dell'omero durante la flessione della spalla, con aumentati tilt e protrazione della scapola, e una maggiore abduzione e rotazione interna del braccio con flessione del polso nella posizione di partenza [4].

A causa dell'iperattività muscolare e alla difficoltà ad aprire la mano per afferrare, estendere il polso e a supinare l'avambraccio [17], per compensare la mancanza di ROM a disposizione delle articolazioni distali i bambini emiplegici spesso integrano gradi di libertà aggiuntivi alle articolazioni prossimali (spalla e gomito).

Durante il gesto di raggiungimento, i bambini con emiplegia mostrano tempistiche maggiori di raggiungimento della velocità massima della mano, una velocità più alta al momento del contatto con l'oggetto rispetto ai soggetti sani ed una minore velocità angolare massima al gomito.

Stennbergen e Meulenbroek [46] hanno esaminato gli effetti della distanza del target sulle caratteristiche spazio-temporali e sugli angoli articolari, evidenziando

che, all'aumentare della distanza dell'oggetto, la durata del movimento aumenta, la velocità massima della mano è più alta e viene raggiunta prima dal soggetto.

Cinematica articolare

Ad oggi, pochi studi distinguono il movimento dell'articolazione scapolo-toracica da quello della gleno-omeroale [4, 22]. Gli autori concordano sul fatto che la scapola, già nella posizione di partenza dei vari tasks, sia maggiormente protratta (5° - 15°), in tilt anteriore (5°) e ruotata medialmente (5°) nei bambini con emiplegia rispetto ai bambini con sviluppo normale. Durante il raggiungimento laterale, invece, la scapola mostra un aumento di 4° in rotazione laterale.

Si è visto, inoltre, che l'alterazione del comportamento cinematico del braccio durante il raggiungimento dell'oggetto sia connessa anche a movimenti atipici del tronco (entro i 10°), sia sul piano frontale (raggiungimento anteriore) che su quello sagittale e assiale (raggiungimento laterale e raggiungimento con la mano della spalla opposta) [5, 3, 41, 40, 46, 22], che entrano in gioco quando il ROM delle articolazioni è insufficiente per portare a termine il compito (come un blocco in flessione del gomito [17]), o quando lo sforzo richiesto supera la capacità di fissazione del tronco: anche per la cinematica del tronco è stato creato il Trunk Profile Score [20].

Nei task di portare la mano alla bocca e di portare la mano alla testa [31] è stata verificata una riduzione dell'estensione del gomito (tra i 9° e i 21°), della flessione della spalla (tra i 5° e i 13°), una supinazione ridotta (tra i 26° e i 28°), una incrementata flessione (14° secondo Mackey e Stenbergen [31, 46]) e rotazione (19° secondo Ricken [40]) del tronco per entrambi i gesti, e un incremento dell'elevazione della spalla (21°) durante il solo gesto di portare l'oggetto alla bocca.

Nel task di raggiungimento, invece, fra lato non affetto del soggetto emiplegico e lato non dominante del soggetto con sviluppo neuromuscolare normale, Stenbergen e Meulenbroek [46] hanno evidenziato una differenza significativa per l'estensione di gomito (10°), senza però trovare differenze significative nei

movimenti di spalla e di tronco. Coluccini [9] ha trovato una ridotta abduzione e flessione a livello di spalla e un'augmentata flessione e deviazione ulnare a livello del gomito, ma le differenze rimanevano al di sotto dei 10°.

Gli studi presenti in letteratura non sono omogenei in termini di protocolli (e relativo numero di markers), movimenti analizzati (funzionali e non funzionali) e patologie (PCI, atassia, Parkinson, ictus nell'adulto): nonostante si siano fatti molti progressi in questo campo, ad oggi rimane una mancanza di consenso su quale sia il protocollo più affidabile e clinicamente più efficace per una valutazione sistematica dell'arto superiore.

CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI

La sperimentazione oggetto di questo studio è stata effettuata presso l'IRCCS "E. Medea" – Ass. La Nostra Famiglia di Conegliano e prevedeva il reclutamento di pazienti affetti da PCI a tipo emiparesi spastica e di soggetti a sviluppo normotipico; tali soggetti sono stati valutati in task motori dell'arto superiore tipici della vita quotidiana tratti dalla scala di valutazione Melbourne (*Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function*) con un protocollo di valutazione quantitativo strumentale.

2.1 POPOLAZIONE

Tre pazienti affetti da Paralisi Cerebrale Infantile (PCI) a forma emiparesi spastica (2 femmine e 1 maschio) sono stati reclutati come volontari per lo studio; i pazienti erano tutti presi in carico presso l'IRCCS "E. Medea" – Ass. La Nostra Famiglia di Conegliano (gruppo studio). I criteri di inclusione sono stati:

- età compresa fra i 5 e i 12 anni
- diagnosi di PCI a forma di emiparesi spastica confermata dall'anamnesi, dalla valutazione clinico-strumentale e dal neuroimaging;
- abilità cognitive nella norma o border line o lieve disabilità intellettiva;
- abilità di eseguire movimenti di avvicinamento e di prensione con l'arto affetto in attività della vita quotidiana;
- capacità di stare in posizione seduta in autonomia.
- compliance nella partecipazione allo studio;
- capacità di seguire le istruzioni ricevute.

I criteri di esclusione sono stati:

- interventi chirurgici all'arto superiore;
- iniezione di tossina botulinica nei 6 mesi precedenti al test;
- disfunzioni cognitive, visive o uditive sufficienti a limitare la performance del task sperimentale.

Due soggetti sani (gruppo controllo), con sviluppo psicomotorio normale (1 femmine e 1 maschio) di pari età sono stati reclutati come volontari per il gruppo controllo. I criteri di inclusione per il gruppo dei sani erano:

- età compresa tra i 5 e i 12 anni;
- non patologia ortopedica, neurologica o metabolica in atto e/o pregressa;
- livello cognitivo nella norma.

2.2 VALUTAZIONE CLINICA

A tutti i soggetti sono state prese le misure antropometriche (peso ed altezza) oltrechè la lunghezza dell'arto superiore (Tabella I); i soggetti sono stati valutati con scale di valutazione internazionalmente validate, nello specifico con:

- esame goniometrico dell'articolazione passiva degli arti superiori (Risultati, Tabella I - *Articolazione*);
- esame del tono muscolare degli arti superiori secondo la Modified Ashworth Scale (MAS [2]) (Risultati, Tabella II - *Tono*);
- esame della forza muscolare degli arti superiori secondo la scala del Medical Research Council (MRC, [34]) (Risultati, Tabella III - *Forza*);
- scala Besta [14];
- scala Melbourne [25];

I soggetti del gruppo studio sono stati classificati secondo MACS (Manual Ability Classification System [13]) e GMCFS (Gross Motor Function Classification System [33]) (Tabella II – *Scale di valutazione*)

DATI POPOLAZIONE							
	AS - Drinking	AS - Pointing	Altezza	Peso	Età	Diagnosi	Esiti
1 – M.	49 cm	58 cm	136 cm	33,5 kg	12	PCI	Emi. SN
2 – L.	36 cm	43 cm	105,3 cm	19,1 kg	5	PCI	Emi. SN
3 – G.	46 cm	53,5 cm	127,3 cm	29,5 kg	8	PCI	Emi DX
4 – T.	59 cm	70 cm	159,6 cm	52,3 kg	12	TDC	/
5 – A.	48 cm	56,5 cm	137,8 cm	40,1 kg	9	TDC	/

Tabella I: Lunghezza arto superiore, altezza, peso, età, diagnosi, esiti patologia.

SCALE DI VALUTAZIONE					
	GMFCS	MACS	Besta		
			Presca	Gioco	Prassie
1 – M.	1	1	8/12	12/12	12/12
2 – L.	1	2	8/12	9/12	9/12
3 – G.	1	2	8/12	7/12	8/12
4 – T.	/	/	12/12	12/12	12/12
5 – A.	/	/	12/12	12/12	12/12

Tabella II: Scale di valutazione.

2.2.1 LA SCALA DI VALUTAZIONE MELBOURNE

È stata somministrata la scala Melbourne, i cui item sono:

1. raggiungere davanti
2. raggiungere in avanti e in alto
3. raggiungere lateralmente e in alto
4. presa di un pastello
5. disegnare
6. rilascio di un pastello
7. presa di una pallina
8. rilascio di una pallina
9. manipolazione
10. indicare
11. portare una spazzola dalla fronte alla nuca
12. mani sul sedere
13. pronazione/supinazione
14. trasferimento
15. raggiungere la spalla opposta
16. mano alla bocca e giù

Nella valutazione dei vari gesti, sono stati dati i punteggi secondo i seguenti sub-item:

- ampiezza: punteggio da 0 a 3 (0-4 sono per il gesto 11) che corrisponde al ROM di tronco, spalla, gomito e polso, considerando punteggio massimo per i valori

“normali” per il movimento specifico e l'impossibilità di completare la performance a causa delle limitazioni;

- precisione: punteggio da 0 a 3 (0-4 solo nel gesto 10), in il punteggio più alto è “centramento del target al primo contatto” e 0 è “non centramento del target”;

- fluenza: punteggio da 0 a 3, in cui 3 è “movimento fluente e coordinato” e 0 è “impossibilità di eseguire il gesto a causa dell'eccessivo tremore”;

- velocità: punteggio da 0 a 2, in cui il punteggio più alto viene dato per “velocità normale”, 1 per “velocità eccessivamente alta o bassa” e lo 0 per “impossibilità di effettuare il gesto”.

Il punteggio finale è dato dalla percentuale a cui corrisponde la somma dei punteggi assegnati alle prove del bambino dal terapeuta rispetto al totale (122).

2.3 ANALISI STRUMENTALE DELL'ARTO SUPERIORE

La valutazione strumentale dell'arto superiore si è svolta presso il Laboratorio dell'analisi della Postura e del Movimento “F. Fabbri” dell'IRCCS “E. Medea – Ass. *La Nostra Famiglia*” di Conegliano e prevedeva l'esecuzione e quindi l'analisi di 6 task emulativi di alcuni gesti della vita quotidiana, ripresi dalla scala Melbourne.

E' stata eseguita un'analisi del movimento tridimensionale dell'arto superiore con un sistema optoelettronico a 9 telecamere a raggi infrarossi per la lettura dei markers foto riflettenti (Sistema Smart DX, BTS, Milano) e 2 telecamere video, una frontale e una laterale. 25 markers sono stati posizionati sui punti di reperi a livello di volto, torace, arto superiore del bambino, sul target e sul tavolo posto davanti al soggetto, secondo protocollo RAB implementato [36, 35, 32, 8, 39, 1].

2.3.1 PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE

In questo studio è stato utilizzato il protocollo per l'arto superiore *Modified Rab*, fornito da BTS (Milano) adeguatamente adattato alle necessità dello studio. Il lavoro di Rab [36] e Petuskey [35] ha introdotto la tecnica di analisi cinematica basata sui marker che ha poi ispirato questo protocollo implementato. Il calcolo di alcuni parametri cinematici rilevanti sono basati sul lavoro di Menegoni [32], Cimolin [8], Rigoldi [39], Aprile [1].

Preparazione del soggetto

Sono stati posizionati 25 markers foto riflettenti (Fig. 1-2), più precisamente:

- Testa: un marker a livello del nasion e 2 markers sul processo zigomatico destro e sinistro dell'osso frontale. Per il task mano-bocca, un marker è stato posizionato sul mento del soggetto, al di sotto del labbro inferiore, necessario per la sola acquisizione della statica.
- Tronco: un marker a livello dell'angolo fra manubrio e corpo dello sterno, e sull'acromion di destra e di sinistra. Per aumentare la precisione dell'analisi dei movimenti del tronco, sono stati aggiunti due markers a livello della settima vertebra cervicale e della sesta dorsale.
- Avambraccio: un marker sul condilo laterale dell'omero, uno sul processo stiloideo del radio e uno sul processo stiloideo dell'ulna. È stato aggiunto in questo studio un marker sull'inserzione del deltoide, per aumentare la precisione della valutazione cinematica dell'omero.
- Mano: un marker è posizionato fra l'estremità distale del secondo e del terzo metacarpale. Un altro marker è stato applicato sulla superficie ungueale del dito indice.
- Oggetto: un marker sul target o sull'oggetto da raggiungere e toccare.
- Piano: tre markers sono stati posizionati sul piano su cui il target giace, assicurandosi che questi non siano fra loro allineati (questo permette un'identificazione corretta del piano dell'oggetto).

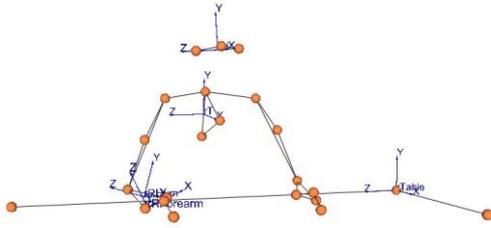


Fig. 1

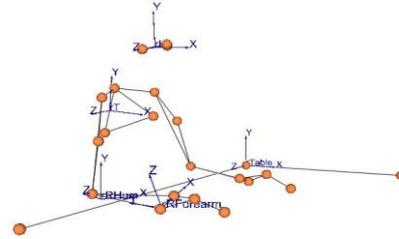


Fig. 2

Parametri cinematici valutati

- Ciclo di Movimento (MC, Movement Cycle Time) – secondi: durata del movimento dall'inizio della fase di andata alla fine della fase di ritorno.
- Fase di Andata (GP, Going Phase) - %MC: fase di movimento verso il target espressa in percentuale del ciclo di movimento.
- Fase di Aggiustamento (AP, Adjusting Phase) - %MC: fase di movimento finalizzato alla precisa localizzazione del target, espressa come percentuale del ciclo di movimento.
- Fase di Aggiustamento 2 (AP2, Adjusting Phase 2) - %MC: come sopra, ma solo fino al raggiungimento del target
- Fase di Ritorno (RP, Returning Phase) - %MC: fase di movimento verso la posizione di riposo, espressa come percentuale del ciclo di movimento.
- Indice di Curvatura (IC, Index of Curvature): rappresenta la rettilinearità della traiettoria durante la fase di andata. Un $IC = 1$ rappresenta la traiettoria perfettamente rettilinea.
- Jerk Medio (AJ, Average Jerk) metri per secondi al cubo: misura la "morbidezza" del movimento. L'indice AJ diminuisce all'aumentare della "morbidezza".
- Numero di Unità di Movimento (NMU, Number of Movement Units): indica il numero di correzioni della traiettoria attuate dal soggetto. Un $NMU = 2$ indica un movimento senza correzioni sia nella fase di andata che nella fase di ritorno.
- Velocità Media del Movimento (MMV, Mean Movement Velocity) – metri per secondi: indica la velocità media del marker posizionato sull'unghia del dito durante la fase di andata. L'aumento della MMV generalmente indica un miglioramento della performance.

- Velocità di Picco (PV, Peak Velocity) – metri per secondi: velocità massima raggiunta durante la fase di andata.
- Simmetria (SK, Skewness) - %MC: il tempo di PV espresso come percentuale del tempo di andata. Misura la simmetria del profilo di velocità.
- Oscillazioni di Aggiustamento (AS, Adjusting Sway) – millimetri: movimenti di aggiustamento per il raggiungimento del target. Minore è l'AS, maggiore è la precisione del movimento.
- Oscillazione di aggiustamento fino al target – (AS2 Adjusting Sway 2) – millimetri come sopra, ma solo fino al raggiungimento del target.
- Allungamento del Braccio (AE, Arm Elongation) - %: contributo relativo del braccio nel raggiungimento del target. È calcolato con la differenza fra l'avanzamento della mano e della spalla insieme e la movimento in avanti solo della mano.
- Flessione Anteriore del Tronco (TF, Trunk Forward Inclination) - %: contributo relativo del tronco nel raggiungimento del target espresso nel rapporto percentuale fra l'anteriorizzazione dello sterno e l'avanzamento della mano.
- ROM di tronco, spalla, gomito e polso sul piano frontale, sagittale e trasversale.

Fase di acquisizione

Il soggetto, a cui sono stati applicati i markers, viene posto seduto:

- su una sedia con la schiena in appoggio allo schienale e tronco eretto;
- con anca, ginocchio e caviglia flessi a 90°;
- avambraccio e palmo della mano di entrambi gli arti superiori appoggiati sul tavolino ad incavo posto davanti al bambino;
- angolo al gomito approssimativamente a 100°.

L'acquisizione prevede due fasi, una statica e una dinamica:

- 1) Nella “statica” viene chiesto al soggetto di sedere di fronte al tavolino, il più possibile con tronco eretto, gomiti approssimativamente a 100°, palmi appoggiati al tavolo. Questa posizione deve essere tenuta per 3-5 secondi per permettere al sistema la corretta registrazione della posizione di partenza del soggetto.

- 2) Nella “dinamica” avviene l’esecuzione dei task: sono stati valutati 6 tasks presenti nella scala Melbourne che rappresentano gesti della vita quotidiana.

Ogni Task è stato prima spiegato e dimostrato al soggetto dal terapeuta; ogni soggetto ha ripetuto 5 volte consecutive ciascun gesto, prima con l’arto non affetto e poi con quello affetto, rispettivamente con l’arto dominante e poi non dominante per i bambini sani.

Ogni prova inizia e termina nella posizione di partenza sud descritta. I Task eseguiti sono:

1- Raggiungimento in avanti

Dalla posizione di partenza, il bambino deve toccare col dito indice il target (un dischetto rigido di 7 cm di diametro e 0,5 cm di altezza) posto sul tavolino, posizionato di fronte a lui sulla linea mediana, ad una distanza pari all’80% della lunghezza del suo arto superiore (prendendo come riferimento la distanza fra acromion e estremo distale del secondo dito).

2- Raggiungimento laterale in abduzione

Un target (un dischetto rigido di 7 cm di diametro e 0,5 cm di altezza) è posizionato lateralmente, in una posizione che richieda 80° di abduzione sul piano orizzontale per raggiungere il target, ad una distanza pari all’80% della lunghezza dell’arto superiore del bambino (prendendo come riferimento la distanza fra acromion e estremo distale del secondo dito).

Dalla posizione di partenza, si richiede al bambino di toccare target e di tornare nella posizione iniziale.

3- Raggiungimento laterale in adduzione

Un bicchiere (di plastica rigida di diametro di 9 cm e altezza 9 cm, mentre per i bambini più piccoli di 7 cm di diametro e 10 cm) è posizionato lateralmente, in una posizione che richieda 50° di adduzione per raggiungere il target, ad una

distanza pari all'80% della lunghezza dell'arto superiore del bambino (prendendo come riferimento la distanza fra acromion e estremo distale del secondo dito).

Dalla posizione di partenza, si richiede al bambino di toccare target e di tornare nella posizione iniziale.

4- Portare la mano alla bocca

Un bicchiere (di plastica rigida di diametro di 9 cm e altezza 9 cm, mentre per i bambini più piccoli di 7 cm di diametro e 10 cm) è posizionato sul tavolino, sulla linea mediana, ad una distanza pari all'80% della lunghezza dell'arto superiore (prendendo come riferimento la distanza fra acromion ed estremità distale del terzo metacarpo).

Dalla posizione di partenza, il bambino deve prendere il bicchiere, portarlo alla bocca e tornare alla posizione iniziale.

5- Portare la mano al gluteo

Per questo task è stato utilizzato uno sgabello (privo dello schienale) che concedesse sempre la posizione di partenza sud descritta.

Dalla posizione di partenza, il bambino deve raggiungere con il palmo della mano il gluteo omolaterale e tornare alla posizione iniziale.

6- Accarezzarsi la testa dalla fronte alla nuca

Dalla posizione di partenza, il bambino deve portare la mano alla fronte, simulare il gesto di accarezzarsi (col palmo della mano) fino alla nuca e tornare alla posizione di partenza.

Quest'ultimo task non è stato elaborato, poichè differisce dagli altri nel protocollo di elaborazione: per questa ragione, in questo studio, non verrà preso in considerazione nei risultati.

CAPITOLO 3: RISULTATI

3.1 DESCRIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Di tutti i soggetti sono stati valutati articularità (Tabella I, *Articularità*), tono (Tabella II, *Tono*) e forza (Tabella III, *Forza*) di cui di seguito se ne riportano i risultati.

ARTICOLARITA' GRUPPO CASO							
		1 - M.		2 - L.		3 - G.	
		dx	sn	dx	sn	dx	sn
Spalla	EST-FL	50°-0-170°	50°-0-170°	50°-0-170°	50°-0-170°	45°-0-150°	50°-0-170°
	ABD-ADD	170°-0-75°	160°-0-70°	170°-0-75°	160°-0-75°	160°-0-70°	170°-0-75°
	ABD-ADD Or.	45°-0-135°	40°-0-135°	45°-0-135°	45°-0-135°	20°-0-135°	45°-0-135°
	ER-IR	60°-0-110°	40°-0-110°	80°-0-110°	80°-0-110°	80°-0-110°	80°-0-110°
Braccio	EST-FL	20°-0-60°	15°-0-55°	20°-0-80°	15°-0-70°	15°-0-50°	20°-0-80°
	ABD-ADD	80°-0-10°	80°-0-10°	80°-0-10°	70°-0-10°	50°-0-10°	80°-0-10°
	ER-IR	50°-0-110°	30°-0-110°	60°-0-110°	50°-0-110°	50°-0-110°	60°-0-110°
Gomito	EST-FL	5°-0-145°	5°-0-140°	10°-0-150°	10°-0-150°	0°-0-150°	5°-0-150°
	PR-SUP	85°-0-90°	85°-0-85°	85°-0-90°	80°-0-90°	85°-0-90°	85°-0-90°
Polso	EST-FL	80°-0-80°	75°-0-75°	85°-0-85°	80°-0-85°	60°-0-90°	85°-0-85°
	D. ULN-RAD	45°-0-10°	45°-0-5°	45°-0-15°	45°-0-15°	45°-0-15°	45°-0-15°

Tabella Ia: Articularità Gruppo Caso.

ARTICOLARITA' GRUPPO CONTROLLO					
		4 - T.		5 - A.	
		dx	sn	dx	sn
Spalla	EST-FL	50°-0-170°	50°-0-170°	55°-0-170°	55°-0-170°
	ABD-ADD	170°-0-75°	170°-0-75°	170°-0-75°	170°-0-75°
	ABD-ADD Or.	45°-0-135°	45°-0-135°	50°-0-140°	50°-0-140°
	ER-IR	80°-0-110°	80°-0-110°	85°-0-110°	85°-0-110°
Braccio	EST-FL	20°-0-80°	20°-0-80°	20°-0-80°	20°-0-80°
	ABD-ADD	80°-0-10°	80°-0-10°	80°-0-10°	80°-0-10°
	ER-IR	60°-0-110°	60°-0-110°	60°-0-110°	60°-0-110°
Gomito	EST-FL	5°-0-150°	5°-0-150°	5°-0-150°	5°-0-150°
	PR-SUP	85°-0-90°	85°-0-90°	85°-0-90°	85°-0-90°
Polso	EST-FL	85°-0-85°	85°-0-85°	85°-0-85°	85°-0-85°
	D. ULN-RAD	45°-0-15°	45°-0-15°	45°-0-15°	45°-0-15°

Tabella Ib: Articularità Gruppo Controllo.

TONO											
		1 - M.		2 - L.		3 - G.		4 - T.		5 - A.	
		dx	sn	dx	sn	dx	sn	dx	sn	dx	sn
Spalla	EST-FL	0 - 0	1 - 0	0 - 0	0 - 0	1 - 2	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
	ABD-ADD	0 - 0	0 - 0	0 - 0	1 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
	ABD-ADD Or.	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	1 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
	ER-IR	0 - 0	2 - 2	0 - 0	1 + 0	2 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
Gomito	EST-FL	0 - 0	1 - 0	0 - 0	0 - 1+	0 - 3	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
	PR-SUP	0 - 0	0 - 1	0 - 0	0 - 1+	0 - 1	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
Polso	EST-FL	0 - 0	1 - 0	0 - 0	0 - 1-	3 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
	D. ULN-RAD	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 1	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0

Tabella II: Tono.

FORZA											
		1 - M.		2 - L.		3 - G.		4 - T.		5 - A.	
		dx	sn								
Spalla	EST-FL	5-5	5-5	5-5	5-5	4-4	4-4	5-5	5-5	5-5	5-5
	ABD-ADD	5-5	4-5	5-5	4-4	3-4	4-4	5-5	5-5	5-5	5-5
	ABD-ADD Or.	5-5	4-5	5-5	4-5	4-5	4-5	5-5	5-5	5-5	5-5
	ER-IR	5-5	4-4	5-5	4-5	3-5	4-5	5-5	5-5	5-5	5-5
Gomito	EST-FL	5-5	5-5	5-5	4-5	3-4	4-4	5-5	5-5	5-5	5-5
	PR-SUP	5-5	4-4	5-5	4-3	5-4	5-4	5-5	5-5	5-5	5-5
Polso	EST-FL	5-5	5-5	4-4	4-4	4-4	4-4	5-5	5-5	5-5	5-5
	D. ULN-RAD	5-5	4-4	5-5	5-5	4-4	4-4	5-5	5-5	5-5	5-5

Tabella III: Forza.

3.2 RISULTATI CLINICI

Nella tabella sottostante sono riportati i risultati della somministrazione della scala Melbourne. I risultati ottenuti sono 92,62% per il soggetto 1, 78,68% per il soggetto 2 e 75,41% per il soggetto 3.

	1-M.	2-L.	3-G.
ITEM 1: Ragg. in avanti			
1.1	3	2	3
1.2	3	3	3
1.3	3	2	3
ITEM 2: Ragg. avanti in elevazione			
2.1	3	2	2
2.2	3	3	3
2.3	3	2	3
ITEM 3: Ragg. in laterale in elevazione			
3.1	3	2	2
3.2	3	3	2
3.3	3	2	3
ITEM 4: Presa matita	4	4	2
ITEM 5: Presa per disegnare	2	2	2
ITEM 6: Rilascio matita			
6.1	2	2	2
6.2	2	2	2
6.3	3	2	3
ITEM 7: Presa pillola	3	2	1
ITEM 8: Rilascio pillola			
8.1	3	2	2
8.2	3	3	2
8.3	3	4	3
ITEM 9: Manipolazione cubo			
9.1	3	3	2
9.2	2	2	2
ITEM 10: Pointing			
10.1	4	4	3
10.2	4	3	3
10.3	4	3	3
10.4	4	4	3

	1-M.	2-L.	3-G.
ITEM 11: Fronte nuca			
11.1	4	3	3
11.2	4	2	2
ITEM 12: Toccare i glutei			
12.1	3	2	2
12.2	3	2	2
ITEM 13: Prono-supinazione	4	3	3
ITEM 14: Trasferimento mano-mano	3	2	2
ITEM 15: Ragg. Spalla opposta			
15.1	3	3	3
15.2	3	2	3
15.3	3	3	3
ITEM 16: Mano-bocca			
16.1	2	3	3
16.2	3	3	3
16.3	3	3	2
16.4	2	2	2
TOT	113/122 92,62%	96/122 78,68%	92/122 75,41%

3.3 RISULTATI STRUMENTALI

Sono stati riportati in tabella i risultati, gesto per gesto, ottenuti tramite la valutazione cinematica strumentale. Di ogni soggetto sono stati riportati i valori del lato plegico e del lato non affetto indifferentemente dal lato dell'emiplegia. Per ogni indice, inoltre, sono stati riportati i valori ottenuti dal gruppo di controllo in un unico valore medio.

I gesti elaborati sono 5: *pointing anteriore*, *pointing laterale in abduzione*, *pointing laterale in adduzione*, *mano-bocca*, *mano al gluteo*. L'ultimo gesto non è stato elaborato per la difficoltà di adattarne il protocollo.

Tramite i grafici dell'ampiezza di movimento, è inoltre possibile analizzare il movimento angolare delle diverse articolazioni (tronco, spalla, gomito e polso) nei tre piani dello spazio: in allegato sono riportati i 5 report relativi la cinematica articolare di ciascun paziente per il gesto del *pointing anteriore*.

[Allegato I]

POINTING ANTERIORE							
	1 – M.		2 – L.		3 – G.		NORMALE
	PL. (sn)	SANO	PL. (sn)	SANO	PL (dx)	SANO	
MC	1.73 +- 0.11	1.66 +- 0.05	2.1 +- 0.21	1.65 +- 0.11	2.66 +- 0.46	1.48 +- 0.05	1.57 +- 0.06
GP	40.18 +- 4.68	37.69 +- 3.13	33.33 +- 4	30.08 +- 1.24	44.42 +- 4.41	27.79 +- 5.16	34.41 +- 0.53
AP	17.14 +- 1.12	10.33 +- 1.78	40.13 +- 7.08	40.77 +- 3.66	20.26 +- 5	44.12 +- 4.17	27.52 +- 0.94
AP2	9.27 +- 0.89	6.62 +- 1.85	15.66 +- 9.77	17.46 +- 9.38	11.33 +- 2.4	11.83 +- 7.17	11.3 +- 3.27
RP	42.68 +- 5.78	51.98 +- 2.31	26.54 +- 5.05	29.15 +- 2.62	35.32 +- 5.81	28.09 +- 3.43	38.06 +- 1.17
IC	1.41	1.18	0.88	0.86	1.12	0.94	0.9 +- 0.02
AJ	8.17 +- 0.68	4.64 +- 0.24	2.32 +- 0.46	2.93 +- 0.41	2.88 +- 0.47	4.14 +- 0.89	3.73 +- 0.21
NMU	2	2	2	2	2	2	2
MMV	0.38 +- .02	0.28 +- 0.02	0.21 +- 0.05	0.26 +- 0.06	0.19 +- 0.02	0.33 +- 0.05	0.34 +- 0.05
PV	0.59 +- 0.3	0.45 +- 0.04	0.27 +- 0.07	0.33 +- 0.07	0.31 +- 0.03	0.4 +- 0.04	1.83 +- 0.07
SK	29.85 +- 4.74	31.08 +- 2.77	48.52 +- 10.51	50.44 +- 10.52	34.58 +- 20.8	50.93 +- 6.89	35.46 +- 4.07
AS	53.7	14.9	51.5	48.4	58.1	57.5	27.7 +- 11.03
AS2	24.5	7.1	26.9	20	33.5	23.9	11.42 +- 5.23

MC = durata ciclo del movimento; GP = fase di andata; AP = fase di aggiustamento; AP2 = fase di aggiustamento fino a target; RP = fase di ritorno; IC = indice di curvatura; AJ = jerk medio; NMU = numero di unità di movimento; MMV = velocità media di movimento; PV = velocità di picco; SK = simmetria; AS = oscillazione di aggiustamento; AS2 = fase di aggiustamento fino al target; AE = allungamento del braccio; TF = piegamento in avanti del tronco.

POINTING IN ABDUZIONE							
	1 – M.		2 – L.		3 – G.		NORMALE
	PL. (sn)	SANO	PL. (sn)	SANO	PL (dx)	SANO	
MC	1.96 +- 0.26	2 +- 0.17	3.26 +- 0.43	2.51 +- 0.29	3.15 +- 0.5	2.02 +- 0.23	2.12 +- 0.12
GP	39.59 +- 1.8	42.48 +- 2.74	36.34 +- 9.28	31.42 +- 5.58	31.14 +- 3.75	29.34 +- 4.76	39.16 +- 7.6
AP	18.08 +- 3.25	12.83 +- 2.06	31.55 +- 3.57	40.09 +- 5.95	25.13 +- 5.23	34.92 +- 4.79	23.4 +- 8.1
AP2	11.9 +- 3.86	8.92 +- 1.92	15 +- 2.08	10.94 +- 2.59	12.77 +- 5.22	23.87 +- 8.97	14.65 +- 6.59
RP	42.33 +- 1.64	44.69 +- 2.55	32.1 +- 7.5	28.49 +- 2.85	43.73 +- 6.1	35.74 +- 2.45	37.40 +- 1.08
IC	1.32	1.12	0.97	0.86	0.89	0.95	0.95 +- 0.05
AJ	12.42 +- 1.86	7.95 +- 0.32	2.39 +- 0.47	3.51 +- 0.95	3.08 +- 1.19	6.87 +- 1	5.25 +- 0.89
NMU	2	2	2	2	2	2	2
MMV	0.71 +- 0.06	0.57 +- 0.07	0.3 +- 0.09	0.35 +- 0.06	0.36 +- 0.06	0.7 +- 0.05	0.52 +- 0.07
PV	1.12 +- 0.08	0.94 +- 0.06	0.49 +- 0.06	0.55 +- 0.08	0.55 +- 0.07	0.95 +- 0.06	0.76 +- 0.09
SK	37.74 +- 4.36	33.7 +- 4.47	42.05 +- 6.36	41 +- 10.09	35.38 +- 17.48	50.05 +- 3.25	46.21 +- 3.08
AS	48.5	48.2	39.9	39.4	69	103.8	54.62 +- 29.68
AS2	29.3	28.6	24.6	17.3	33.8	62.4	25.07 +- 14.67

MC = durata ciclo del movimento; GP = fase di andata; AP = fase di aggiustamento; AP2 = fase di aggiustamento fino a target; RP = fase di ritorno; IC = indice di curvatura; AJ = jerk medio; NMU = numero di unità di movimento; MMV = velocità media di movimento; PV = velocità di picco; SK = simmetria; AS = oscillazione di aggiustamento; AS2 = fase di aggiustamento fino al target.

POINTING IN ADDUZIONE							
	1 – M.		2 – L.		3 – G.		NORMALE
	PL. (sn)	SANO	PL. (sn)	SANO	PL (dx)	SANO	
MC	1.84 +- 0.11	1.75 +- 0.14	2.31 +- 0.29	1.7 +- 0.09	3.11 +- 0.13	1.58 +- 0.11	1.96 +- 0.15
GP	37.32 +- 1.99	43 +- 1.44	43.9 +- 3.52	31.53 +- 3.46	37.68 +- 9.55	39.88 +- 9.54	39.08 +- 1.31
AP	24.42 +- 1.03	12.37 +- 4.1	24.52 +- 4.52	33.03 +- 4.93	21.61 +- 2.34	21.64 +- 9.05	21.84 +- 7.24
AP2	19.7 +- 2.04	9 +- 4.29	10.68 +- 2.46	10.75 +- 2.65	11.13 +- 4.49	5.55 +- 0.35	11.29 +- 6.7
RP	38.26 +- 1.15	44.63 +- 3.21	31.58 +- 3.85	35.44 +- 4.85	40.71 +- 9.11	38.48 +- 5.6	39.07 +- 6.14
IC	1.2	1.22	1.11	0.92	1.12	0.89	0.99 +- 0.8
AJ	9.8 +- 0.92	9.22 +- 1.09	3.46 +- 0.77	5.23 +- 1.02	3.14 +- 0.56	6.06 +- 1.22	6.33 +- 1.11
NMU	2	2	2	2	2	2	2
MMV	0.59 +- 0.05	0.49 +- 0.04	0.32 +- 0.08	0.5 +- 0.06	0.34 +- 0.08	0.47 +- 0.11	0.56 +- 0.05
PV	0.87 +- 0.03	0.78 +- 0.05	0.44 +- 0.1	0.66 +- 0.06	0.51 +- 0.07	0.61 +- 0.13	0.86 +- 0.08
SK	34.9 +- 4.21	32.51 +- 2.23	45.47 +- 12.58	49.69 +- 6.14	38.22 +- 16.3	49.21 +- 13.82	39.38 +- 2.77
AS	70.2	33.7	46.4	61.8	62.8	43.3	35.15 +- 14.38
AS2	37.6	15.9	21.6	23.1	36.3	13.8	16.05 +- 8.36

MC = durata ciclo del movimento; GP = fase di andata; AP = fase di aggiustamento; AP2 = fase di aggiustamento fino a target; RP = fase di ritorno; IC = indice di curvatura; AJ = jerk medio; NMU = numero di unità di movimento; MMV = velocità media di movimento; PV = velocità di picco; SK = simmetria; AS = oscillazione di aggiustamento; AS2 = fase di aggiustamento fino al target.

MANO-BOCCA							
	1 - M.		2 - L.		3 - G.		
	PL. (sn)	SANO	PL. (sn)	SANO	PL. (dx)	SANO	NORMALE
MC	1.69 +- 0.1	1.79 +- 0.1	2.69 +- 0.68	2.37 +- 0.44	3.44 +- 1.77	1.61 +- 0.18	2.42 +- 0.3
GP	39.71 +- 3.4	41.38 +- 4.18	22.13 +- 2.68	18.75 +- 2.18	28.88 +- 6.75	34.78 +- 3.13	36.90 +- 2.08
AP	21.51 +- 3.86	17.79 +- 0.77	35.68 +- 12.36	52.55 +- 6.43	30.38 +- 8.6	30.19 +- 4.12	25.79 +- 3.4
AP2	10.84 +- 4.08	7.28 +- 0.82	21.71 +- 8.06	26.87 +- 10.42	18.14 +- 10.83	18.95 +- 6.74	12.67 +- 2.41
RP	38.77 +- 3.06	40.83 +- 3.71	42.2 +- 14.41	28.7 +- 4.9	40.74 +- 6.52	35.03 +- 2.85	37.3 +- 3.86
IC	0.81	0.89	0.8	0.86	0.73	0.96	0.89 +- 0.04
AJ	4.14 +- 0.34	3.92 +- 0.34	1.94 +- 0.46	2.53 +- 0.66	1.94 +- 0.44	4.04 +- 0.45	2.40 +- 0.42
NMU	2	2	2	2	2	2	2
MMV	0.41 +- 0.05	0.4 +- 0.04	0.27 +- 0.05	0.36 +- 0.05	0.22 +- 0.04	0.36 +- 0.04	0.35 +- 0.03
PV	0.54 +- 0.04	0.54 +- 0.06	0.33 +- 0.06	0.43 +- 0.07	0.3 +- 0.03	0.47 +- 0.06	0.47 +- 0.03
SK	43.62 +- 8.88	51.24 +- 12.14	55.76 +- 5.82	56.45 +- 8.19	48.14 +- 12.9	48.41 +- 6.34	41.15 +- 5.48
AS	59.5	44.3	64.4	131.8	107	69.2	59.42 +- 17.94
AS2	29.1	15.5	38.6	73.2	63.9	35.1	26.2 +- 8.72

MC = durata ciclo del movimento; GP = fase di andata; AP = fase di aggiustamento; AP2 = fase di aggiustamento fino a target; RP = fase di ritorno; IC = indice di curvatura; AJ = jerk medio; NMU = numero di unità di movimento; MMV = velocità media di movimento; PV = velocità di picco; SK = simmetria; AS = oscillazione di aggiustamento; AS2 = fase di aggiustamento fino al target.

MANO-GLUTEO							
	1 - M.		2 - L.		3 - G.		
	PL. (sn)	SANO	PL. (sn)	SANO	PL. (dx)	SANO	NORMALE
MC	1.95 +- 0.08	1.9 +- 0.1	3.37 +- 0.53	2.49 +- 0.31	3.9 +- 0.64	2.58 +- 0.3	2.74 +- 0.41
GP	33.82 +- 2.29	35.12 +- 1.59	33.74 +- 5.72	32.38 +- 2.35	35.64 +- 11.84	34.46 +- 4.85	35.69 +- 4.07
AP	16.67 +- 2.17	11.67 +- 2.81	25.56 +- 3.31	23.5 +- 5.58	30.21 +- 13.83	26.65 +- 6.44	25.27 +- 1.3
AP2	8.64 +- 1.42	5.38 +- 1.46	15.28 +- 3.16	13.23 +- 4.54	21.05 +- 11.38	16.2 +- 5.37	13.12 +- 0.99
RP	49.51 +- 2.61	53.21 +- 3.89	40.71 +- 7.38	44.13 +- 5.89	34.15 +- 5.5	38.89 +- 3.75	39.03 +- 4.47
IC	2.05	1.82	1.12	0.88	1.06	1.26	1.51 +- 0.25
AJ	21.54 +- 1.06	20.39 +- 0.47	3.52 +- 0.74	6.14 +- 0.68	4.45 +- 0.54	7.84 +- 1.69	10.43 +- 3.97
NMU	2	2	2	2	2	2	2
MMV	1.19 +- 0.11	1.18 +- 0.04	0.32 +- 0.1	0.46 +- 0.09	0.4 +- 0.09	0.57 +- 0.14	0.85 +- 0.17
PV	1.5 +- 0.11	1.51 +- 0.03	0.43 +- 0.11	0.62 +- 0.09	0.55 +- 0.04	0.88 +- 0.15	1.08 +- 0.2
SK	38.75 +- 2.65	44.4 +- 6.94	64.12 +- 8.48	51.71 +- 22.7	46.37 +- 16.39	33 +- 9.37	53.56 +- 3.31
AS	104.2	84.4	86.1	94.3	88	74	107 +- 6.87
AS2	52.2	41.1	45.3	44.5	46.8	34.3	52.22 +- 4.05

MC = durata ciclo del movimento; GP = fase di andata; AP = fase di aggiustamento; AP2 = fase di aggiustamento fino a target; RP = fase di ritorno; IC = indice di curvatura; AJ = jerk medio; NMU = numero di unità di movimento; MMV = velocità media di movimento; PV = velocità di picco; SK = simmetria; AS = oscillazione di aggiustamento; AS2 = fase di aggiustamento fino al target.

CAPITOLO 4: DISCUSSIONE

4.1 DISCUSSIONE

VALUTAZIONE CLINICA E STRUMENTALE A CONFRONTO

Analizzando gli indici risultanti dall'elaborazione dei dati acquisiti tramite valutazione cinematica strumentale è stato possibile individuare quali fra essi possano rappresentare al meglio i sub-item di fluidità, precisione e velocità richiesti nella Scala Melbourne, individuando:

- Fluidità: Simmetria (SK), Jerk Medio (AJ), Numero di Unità di Movimento (NMU);
- Precisione: Fase di Aggiustamento fino al target (AP2), Oscillazioni di Aggiustamento fino al target (AS2);
- Velocità: Indice di curvatura (IC), Velocità di Picco (PV), Velocità Media di Movimento (MMV).

Una significativa comparazione, però, fra i risultati clinici e i valori strumentali non è direttamente possibile a causa della mancanza di intervalli strumentali rappresentativi dei singoli punteggi dati secondo Melbourne. Da quanto emerso dallo studio, per fare questo bisognerebbe somministrare la valutazione clinica della scala Melbourne ad un campione numeroso e, contestualmente, sottoporre gli stessi alla valutazione strumentale: così facendo, si potrebbero individuare i valori limite fra le classi di punteggio, rendendo statisticamente valida la corrispondenza fra punteggio Melbourne e intervallo numerico strumentale.

SANO E PATOLOGICO A CONFRONTO

Grazie ai risultati strumentali è stato possibile analizzare in maniera dettagliata il movimento dei soggetti patologici, e di confrontarlo con quello dei soggetti sani.

La durata del ciclo di movimento (MC) è risultata superiore al gruppo di controllo in tutti i soggetti con PCI, in particolare nel soggetto 3 nel pointing anteriore, in adduzione, nel mano-bocca e nel mano-gluteo. Nel pointing anteriore è risultata superiore ai soggetti sani la fase di andata (GP), mentre

nell'abduzione, nel mano-bocca e nel mano-gluteo è superiore la fase di ritorno (RP).

Il jerk medio (AJ) e l'indice di curvatura (IC) sono stati ritenuti i valori che meglio rappresentassero la **fluidità** del movimento. È emerso che il primo è un risultato instabile, probabilmente perchè risente della velocità con la quale viene effettuato il movimento: i risultati ottenuti infatti, per due dei tre soggetti con PCI, non sono in linea con quelli attesi, motivo per il quale questo indice necessita di revisione. L'indice di curvatura, invece, è risultato di media superiore nei soggetti patologici rispetto a quelli sani, e superiore nel lato plegico rispetto a quello non affetto. Confrontando i valori numerici con le riprese video del pointing anteriore, ad esempio, si può notare infatti che i soggetti del gruppo sperimentale adottano un compenso di flessione-abduzione-intrarotazione di spalla per raggiungere il target, che fa compiere al dito una traiettoria circolare.

Per quanto riguarda la **precisione**, la fase di aggiustamento fino al target (AP2) è risultata superiore nei task di abduzione e di adduzione per tutti i soggetti, nel mano-bocca e nel mano-gluteo per i soggetti 2 e 3, così come sono superiori le oscillazioni di aggiustamento nel pointing anteriore e quello in adduzione, nel mano-bocca (molto evidenti nel soggetto 3).

Per quanto concerne la **velocità**, dai risultati è emerso che la velocità media del movimento (MMV) è generalmente inferiore in tutti i gesti per tutto il gruppo sperimentale (tranne nel soggetto 3 nel pointing in abduzione e nel soggetto 1 nel mano-bocca e nel mano-gluteo), specialmente nel lato plegico. Anche la velocità di picco (PV) è di media più bassa nei soggetti con PCI in particolare nel lato affetto (ad eccezione del soggetto 1 nel pointing in abduzione, quello in adduzione e nel mano-gluteo): tramite l'indice di simmetria (SK) si evince che, rispetto alla media dei due soggetti sani, il picco di velocità viene raggiunto più lentamente nei task nel pointing anteriore, nel pointing in adduzione e nel mano-bocca, più velocemente nel pointing in abduzione e nel mano-gluteo.

Tramite le curve rappresentanti le **cinematiche** articolari di tronco, spalla, gomito e polso è stato possibile valutare le alterazioni nel movimento del lato affetto dei soggetti con emiparesi.

Pointing anteriore: a livello di tronco si è visto che vi è una maggiore inclinazione e rotazione controlaterale, tilt anteriore e nei soggetti 2 e 3, mentre nel soggetto 1 vi era la sola inclinazione di tronco; in tutto il gruppo sperimentale vi è una maggiore abduzione, flessione e intrarotazione di spalla, una maggiore flessione di gomito nel soggetto 1, un' aumentata deviazione ulnare nei soggetti 1 e 2 e flessione palmare in tutti i soggetti, specialmente nel soggetto 3.

Pointing in abduzione: a livello di tronco vi è un maggior tilt anteriore ed rotazione omolaterale; vediamo una maggiore abduzione di spalla nei soggetti 2 e 3, deviazione ulnare nei soggetti 1 e 2 e flessione palmare nei soggetti 2 e 3.

Pointing in adduzione: a livello di tronco vediamo nei soggetti 2 e inclinazione e rotazione controlaterale; c'è un aumento dell'abduzione della spalla negli stessi soggetti abbinata a intrarotazione nel soggetto 2, e alla flessione nel soggetto 3; in quest'ultimo troviamo anche una maggiore flessione di gomito e di polso; mentre la deviazione ulnare è presente in tutti e 3 i casi.

Mano-bocca: nei soggetti 2 e 3 vediamo tilt anteriore di tronco, rotazione ed inclinazione controlaterale di tronco per il lato plegico; nel soggetto 1 vediamo riduzione dell'abduzione di spalla (aumentata invece nel soggetto 3), un lieve aumento della flessione e una riduzione dell'intrarotazione, come nel soggetto 3; in tutto il gesto viene mantenuta dal gruppo sperimentale un maggior grado di pronazione, deviazione ulnare e una maggiore flessione palmare (tranne nel soggetto 2).

Mano-gluteo: nei soggetti 1 e 3 vediamo una maggiore inclinazione controlaterale; una maggiore extrarotazione di spalla nel soggetto 3; una ridotta supinazione nei soggetti 2 e 3; e una maggiore flessione di polso per tutti e tre i soggetti.

Il fatto che il posizionamento nel target sia stato all'80% (distanza già utilizzata in letteratura) della lunghezza dell'arto superiore del soggetto esaminato ha

comportato dei valori angolari parzialmente diversi rispetto a quelli osservati nella scala Melbourne, ma la scelta di non utilizzare la distanza pari al 100% della lunghezza dell'arto è dovuta all'instabilità della modellizzazione dell'arto superiore per gradi articolari al gomito vicino allo 0.

4.2 CRITICITA'

Essendo questo uno studio pilota, i risultati sono iniziali e non permettono delle conclusioni definitive; nello specifico si segnalano come criticità:

- **Numerosità campionaria:** a questo studio hanno partecipato solo 5 soggetti, motivo per il quale non è possibile effettuare un'analisi statistica estendibile. È spunto di lavoro futuro la valutazione di un campione di soggetti sani più ampio per poter stilare delle curve di normalità con validità statistica, e ampliare la casistica del campione di soggetti affetti.
- **Eterogeneità dell'età** della popolazione: sono stati selezionati i soggetti perchè rappresentassero al meglio la fascia di età per cui è validata la Melbourne (5-15 anni). Questo, però, a causa della ridotta numerosità campionaria, rende difficile la comparazione statistica fra soggetti di età così diversa.
- **Protocollo:** il protocollo utilizzato non è ancora stato validato, ma è stato modificato dal protocollo "*Rab Modificato*" perchè rispondesse alle necessità del progetto. Questo ha fatto emergere errori e difficoltà nella modellizzazione (per questo il sesto gesto, il "*fronte-nuca*", non è stato analizzato), utili per le correzioni in vista del proseguimento del progetto.

CONCLUSIONI

Questo studio, pur nelle limitazioni sopra citate, ha posto le basi per un lavoro di approfondimento delle tematiche trattate. In particolare, la validazione di un protocollo specifico, la correzione delle criticità che sono sorte in questi mesi, e il reclutamento di un maggior numero di soggetti, potrà portare i risultati ottenuti alla validità statica.

Mentre il cammino è un gesto ripetibile e ciclico, per l'arto superiore, dato il grande repertorio di movimento disponibile, non esiste un atto analogo, ma il gesto esplorato deve essere contestualizzato secondo la ricerca che si vuole svolgere o l'obiettivo clinico che si sta perseguendo. In mancanza di un gesto ciclico con un inizio e una fine, quindi, è difficile procedere alla normalizzazione del movimento per rendere confrontabili le curve di soggetti diversi e per definire la validità intra- e inter-operatore del modello.

Nonostante il crescente interesse per l'analisi del movimento dell'arto superiore degli ultimi anni e la produzione di numerosi studi sulla misurazione oggettiva dell'attività degli arti superiori in bambini con emiplegia, non esiste ancora uno standard relativo alla configurazione dei markers da utilizzare, ai compiti motori da proporre, alle misure di outcome clinicamente più significative e all'impostazione del set-up clinico.

È auspicabile che venga individuato un protocollo di movimento (comprendente la scapola) composto da gesti funzionali e di rilevanza clinica che possa essere utilizzato nella routine come strumento di valutazione funzionale dell'arto superiore nei bambini con emiplegia, come lo è la "Gait Analysis" per l'arto inferiore: sarebbe molto interessante, poi, completare il protocollo anche con il più complesso movimento della mano e delle dita (presa, manipolazione), e la coordinazione oculo-manuale, il cui materiale in letteratura è ancora molto povero.

BIBLIOGRAFIA

1. Aprile I., Rabuffetti M., Padua L., Di Sipio E., Simbolotti C., Ferrarin M. (2014) “Kinematic analysis of the upper limb motor strategies in stroke patients as a tool towards advanced neurorehabilitation strategies: a preliminary study”, *BioMed Research International*, Vol. 2014, Article ID 636123.
2. Bohannon R.W., Smith M.B. (1987), “*Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity*”, *Physical Therapy*, Vol. 67(2), pp. 206-7.
3. Bonnefoy-Mazure A., Sagawa Y.Jr., Lascombes P., De Coulon G., Armand S. (2014), “*A descriptive analysis of the upper limb patterns during gait in individuals with cerebral palsy*”, *Research in Developmental Disabilities*, Vol. 35, pp.2756-2765.
4. Brochard S., Lempereur M., Mao L., Rémy-Néris O. (2012), “*The role of the scapulo-thoracic and gleno-humeral joints in upper-limb motion in children with hemiplegic cerebral palsy*”, *Clinical Biomechanics*, Vol. 27, pp. 652-660
5. Butler E.E., Ladd A.L., Louie S.A., LaMont L.E., Wong W., Rose J. (2010), “*Three-dimensional kinematics of the upper limb during a Reach and Grasp Cycle for children*”, *Gait & Posture*, Vol. 32, pp. 72-77.
6. Chang J.J., Wu T.I., Wu W.L., Su F.C. (2004), “*Kinematical measure for spastic reaching in children with cerebral palsy*”, *Clinical Biomechanics*, Vol. 20, pp. 381-388.
7. Chen W., Xiong C., Huang X., Sun R., Xiong Y. (2010), “*Kinematic analysis and dexterity evaluation of upper extremity in activities of daily living*”, *Gait & Posture*, Vol. 32, pp. 475-481.
8. Cimolin V., Beretta E., Piccinini L., Turconi A.C., Locatelli F., Galli M., Strazzer S. (2011). “*Constraint-induced movement therapy for children with hemiplegia after traumatic brain injury: a quantitative study*”, *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, Vol. 27, No. 3, pp. 177-187.

9. Coluccini M., Maini E.S., Martelloni C., Sgandurra G., Cioni G. (2006), *“Kinematic characterization of functional reach to grasp in normal and in motor disabled children”*, Gait & Posture, Vol. 25, pp. 493-501.
10. De Bruin M., Smeulders M.J.C., Kreulen M. (2012), *“Why is joint range of motion limited in patients with cerebral palsy?”*, The Journal of Hand Surgery, Vol. 38, pp.8-13.
11. DeMatteo C., Law M., Russell D., Pollock N., Rosenbaum P., Walter S. (1993), *“The reliability and validity of Quality of Upper Extremity Skills Test.”*, Physical and Occupational Therapy in Pediatrics, Vol. 13(2), pp. 1-18.
12. Domellof E., Rosblad B., Ronnqvist L. (2009), *“Impairment severity selectively affects the control of proximal and distal components of reaching movements in children with hemiplegic cerebral palsy”*, Developmental Medicine & Child Neurology, Vol. 51, pp. 807-816.
13. Eliasson A.C., Krumlinde-Sundholm L., Rösblad B., Beckung E., Arner M., Öhrvall A.M., Rosenbaum P. (2006), *“The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability”*, Developmental Medicine & Child Neurology, Vol. 7, pp 549-554.
14. Fedrizzi E., Magro G.A, Marchi A., Pagliano E., Rizzotto M.R. (2010), *Scala di valutazione dell’arto superiore Besta*, Fondazione Mariani.
15. Fedrizzi E. (2009), *“I disordini dello sviluppo motorio”*, Piccin, Padova.
16. Ferrari A., Bendetti M.G., Mori M., Alboresi S. (2016), *“L’arto superiore nella paralisi cerebrale infantile”*, Piccin, Padova.
17. Fitoussi F., Diop A., Maurel N., Laasel E.M., Ilharreborde B., Pennecot G.F. (2011), *“Upper limb motion analysis in children with hemiplegic cerebral palsy: proximal kinematic changes after distal botulinum toxin or surgical treatments”*, Journal of Children’s Orthopedics, 5, pp. 363-370
18. Giannoni P., Zerbino L. (2000), *“Fuori schema”*, Springer, Milano.

19. GIPCI – Gruppo Italiano Paralisi Cerebrale Infantile (2007), *“La clinica della riabilitazione nel bambino con emiplegia: conoscenze teoriche ed esperienze rieducative”*, FrancoAngeli, Milano.
20. Heyrman L., Desloovere K., Molenaers G., Verheyden G., Klingels K., Monbaliu E., Feys H. (2012), *“Clinical characteristics of impaired trunk control in children with spastic cerebral palsy”*, Research in Developmental Disabilities, Vol. 34, pp. 327-334.
21. Jaspers E., Desloovere K., Bruyninckx H., Molenaers G., Klingels K., Feys H. (2009), *“Review of quantitative measurements of upper limb movements in hemiplegic cerebral palsy”*, Gait & Posture, Vol. 30, pp. 395-404.
22. Jaspers E., Desloovere K., Bruyninckx H., Klingels K., Molenaers G., Aertbelie E., Van Gestel L., Feys H. (2011), *“Three-dimensional upper limb movement characteristics in children with hemiplegic cerebral palsy and typically developing children”*, Research in Developmental Disabilities, Vol. 32, pp. 2283-2294.
23. Jaspers E., Feys H., Bruyninckx H., Klingels K., Molenaers G., Desloovere K. (2011), *“The Arm Profile Score: A new summary index to assess upper limb movement pathology”*, Gait & Posture, Vol. 34, pp. 227-233.
24. Jaspers E., Feys H., Bruyninckx H., Cutti A., Harlaar J., Molenaers G., Desloovere K. (2011), *“The reliability of upper limb kinematics in children with hemiplegic cerebral palsy”*, Gait & Posture, Vol. 22, pp. 568-575.
25. Johnson L.M., Randall M.J., Reddihough D.S., Oke L.E., Byrt T.A., Bach T.M. (1994), *“Development of a clinical assessment of quality of movement for unilateral upper-limb function”*, Developmental Medicine & Child Neurology, Vol 36(11), pp.965-73.
26. Klotz M.C.M., Van Drongelen S., Rettig O., Wenger P., Gantz S., Dreher T., Wolf S.I. (2014), *“Motion analysis of the upper extremity in children”*

- with unilateral cerebral palsy: An assessment of six daily tasks*”, Research in Developmental Disabilities, Vol. 35, pp. 2950-2957.
27. Kreulen M., M.J.C. Smeulders, H.E.J. Veeger, J.J. Hage (2006), “*Movement patterns of the upper extremity and trunk associated with impaired forearm rotation in patients with hemiplegic cerebral palsy compared to healthy controls*”, Gait & Posture, Vol. 25, pp. 485-492.
 28. Krumlinde-Sundholm L., Holmefur M., Kottorp A., Eliasson A.C (2007), “*The Assisting Hand Assessment: current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change*”, Developmental Medicine & Child Neurology, Vol. 49(4), pp. 259-64.
 29. Largo R.H., (1993), “*Catch-up growth during adolescence*”, Hormone Research, Vol. 39(3), pp. 41-8.
 30. Lempereur M., Brochard S., Mao L., Rémy-Néris O. (2012), “*Validity and reliability of shoulder kinematics in typically developing children and children with hemiplegic cerebral palsy*”, Journal of Biomechanics, Vol. 45, pp. 2028-2034.
 31. Mackey A.H., Walt S.E., Stott N.S. (2006), “*Deficits in Upper-Limb Task Performance in Children With Hemiplegic Cerebral Palsy as Defined by 3-Dimensional Kinematics*”, Archives of Physical Medicine Rehabilitation, Vol 87.
 32. Menegoni F., Milano E., Trotti C., Galli M., Bigoni M., Baudo S., Mauro A., 2009. “*Quantitative evaluation of functional limitation of upper limb movements in subjects affected by ataxia*”, European Journal of Neurology, Vol. 16, No. 2, pp. 232-239.
 33. Palisano R., Rosenbaum P., Walter S., Russell D., Wood E., Galuppi B., (1997), “*Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy*”, Developmental Medicine & Child Neurology, Vol. 39, pp. 214-223.
 34. Paternostro-Sluga T., Grim-Stieger M., Posch M., Schuhfried O., Vacariu G., Mittermaier C., Bittner C., Fialka-Moser V. (2008), “*Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified*

- scale for testing muscle strength in patients with radial palsy*”, Journal of Rehabilitation Medicine, Vol. 40(8), pp. 665-71.
35. Petuskey K., Bagley A., Abdala E., James M.A., Rab G. (2006), “*Upper extremity kinematics during functional activities: Three-dimensional studies in a normal pediatric population*”, Gait & Posture, Vol. 25, pp. 573-579.
 36. Rab G., Petuskey K., Bagley A. (2001), “*A method for determination of upper extremity kinematics*”, Gait & Posture, Vol. 15, pp. 113-119.
 37. Reid S., Elliott C., Alderson J., Lloyd D., Elliott B. (2010), “*Repeatability of upper limb kinematics for children with and without cerebral palsy*”, Gait & Posture, Vol. 32, pp. 10-17.
 38. Reyes-Guzmán A., Dimbwadyo-Terrer I., Trincado-Alonso F., Monasterio-Huelin F., Gil-Agudo A. (2014), “*Quantitative assessment based on kinematic measures of functional impairments during upper extremity movements: A review*”, Clinical Biomechanics, Vol. 29, pp. 719-727.
 39. Rigoldi C., Molteni E., Rozbaczylo C., Morante M., Albertini G., Bianchi A.M., Galli M. (2012), “*Movement analysis and EEG recordings in children with hemiplegic cerebral palsy*”, Experimental Brain Research, Vol. 223, No. 4, pp. 517-524.
 40. Ricken A.X.C., Bennett S.J., Savelsbergh G.J.P. (2005), “*Coordination of Reaching in Children with Spastic Hemiparetic Cerebral Palsy Under Different Task Demands*”, Motor Control, Vol. 9, pp. 357-371.
 41. Romkes J., Peetersb W., Oosterom A.M., Molenaar S., Bakels I., Brunner R. (2007), “*Evaluating upper body movements during gait in healthy children and children with diplegic cerebral palsy*”, Journal of Pediatric Orthopedics, Vol. 16, No 3, pp. 175-180.
 42. Rudisch J., Butler J., Izadi H., Zielinski I.M., Aarts P. (2016), “*Kinematic parameters of hand movement during a disparate bimanual movement task in children with unilateral Cerebral Palsy*”, Human Movement Science, Vol. 46, pp. 239-250.

43. Sekaran S.N., Reid S.L., Chin A.W., Ndiaye S., Licari M.K. (2011), “*Catch! Movement kinematics of two-handed catching in boys with Developmental Coordination Disorder*”, *Gait & Posture*, Vol. 36, pp. 27-32.
44. SINPIA (2002), “*Linee guida per la riabilitazione dei bambini affetti da paralisi cerebrale infantile*”.
45. Schneiberg S., McKinley P., Gisel E., Sveistrup H., Levin M.F. (2010), “*Reliability of kinematic measures of functional reaching in children with cerebral palsy*”, *Developmental Medicine & Child Neurology*, Vol. 52, pp. 167-173.
46. Steenbergen B., Meulenbroek R.G.J. (2006), “*Deviations in upper-limb function of the less-affected side in congenital hemiparesis*”, *Neuropsychologia*, Vol. 44, pp. 2296-2307.
47. Kang T., He J., Tillery S.I.H. (2005), “*Determining natural arm configuration along a reaching trajectory*”, *Exp Brain Res*, Vol. 167, pp. 352-361.
48. Wagner L.V., Davids J.R. (2011), “*Assessment Tools and Classification Systems Used For the Upper Extremity in Children With Cerebral Palsy*”, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, Vol. 470, pp. 1257-1271.
49. Van Andel C.J., Wolterbeek N., Doorenbosch C.A.M., Veeger D. (H.E.J.), Harlaar J. (2007), “*Complete 3D kinematics of upper extremity functional tasks*”, *Gait & Posture*, Vol. 27, pp. 120-127.

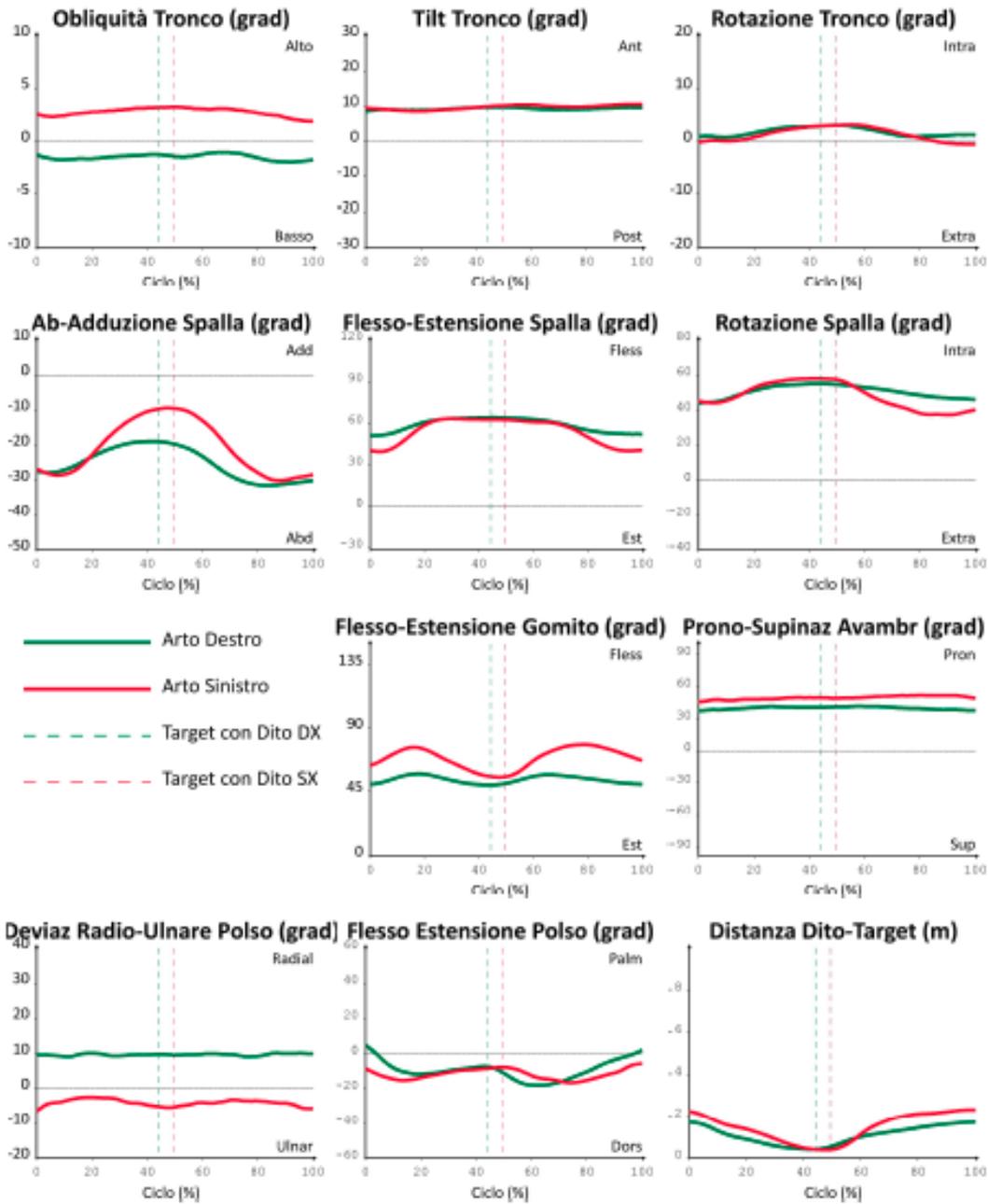
ALLEGATI: CINEMATICA

SOGGETTO 1

Piano Frontale

Piano Sagittale

Piano Trasversale

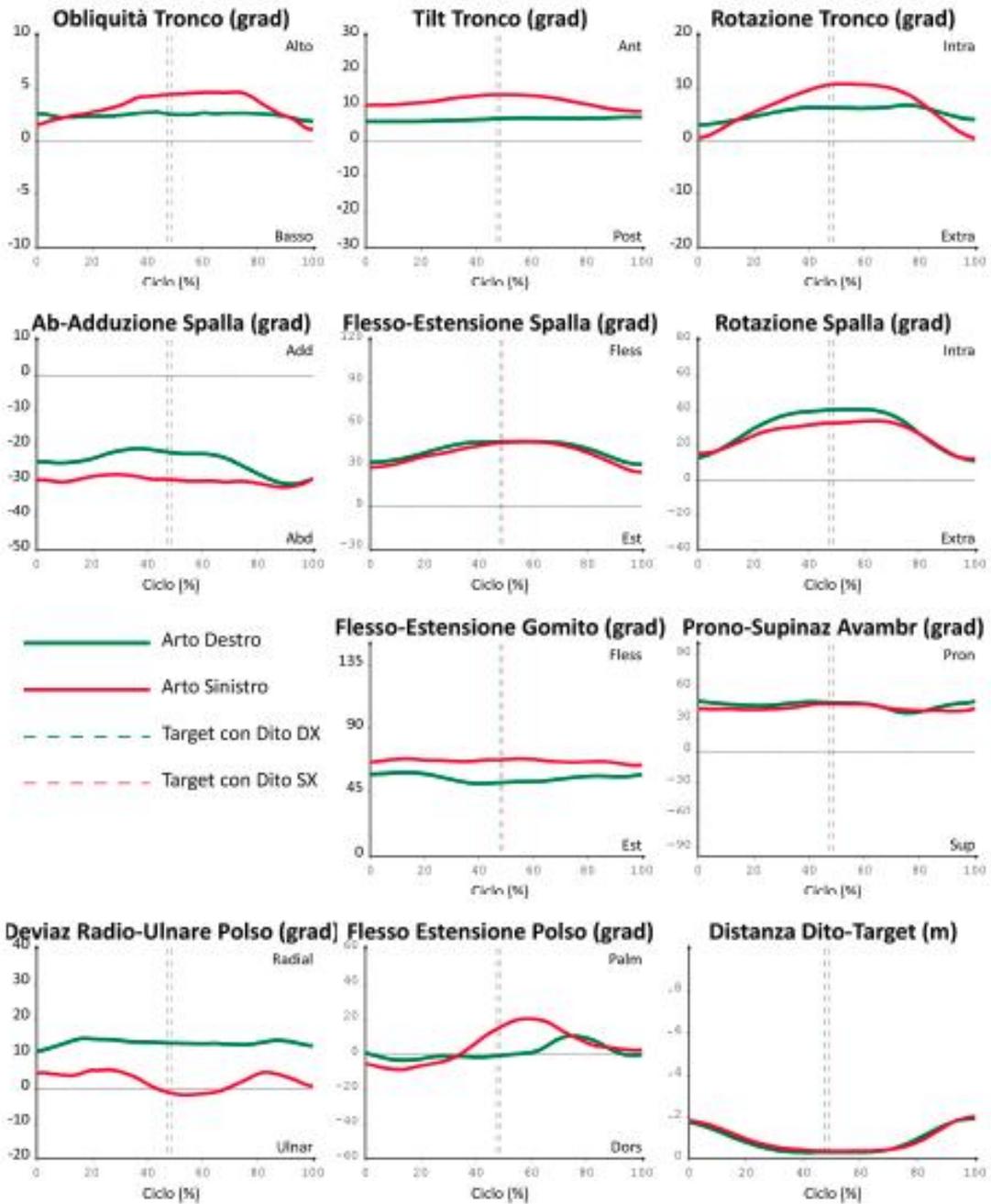


SOGGETTO 2

Piano Frontale

Piano Sagittale

Piano Trasversale

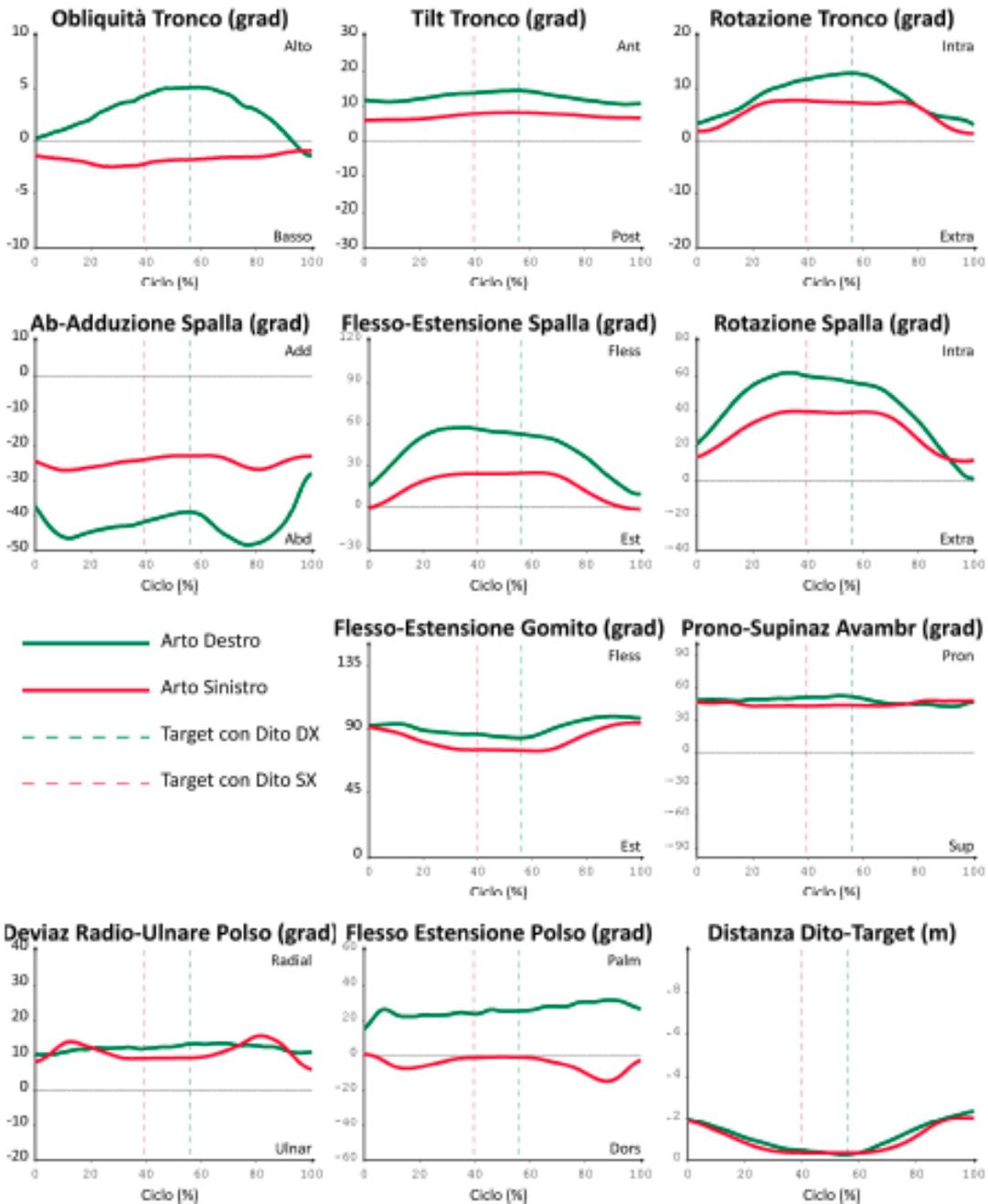


SOGGETTO 3

Piano Frontale

Piano Sagittale

Piano Trasversale

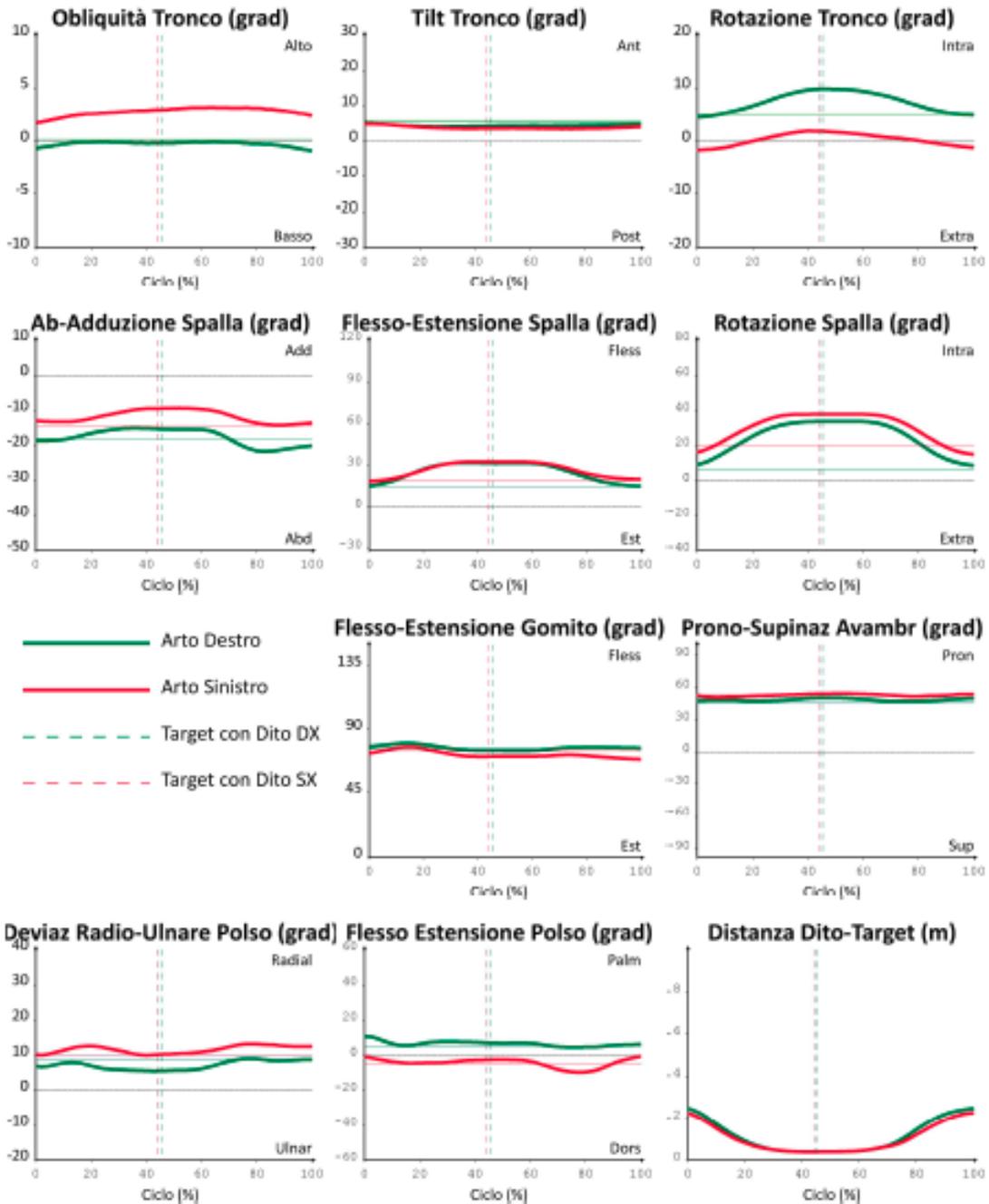


SOGGETTO 4

Piano Frontale

Piano Sagittale

Piano Trasversale

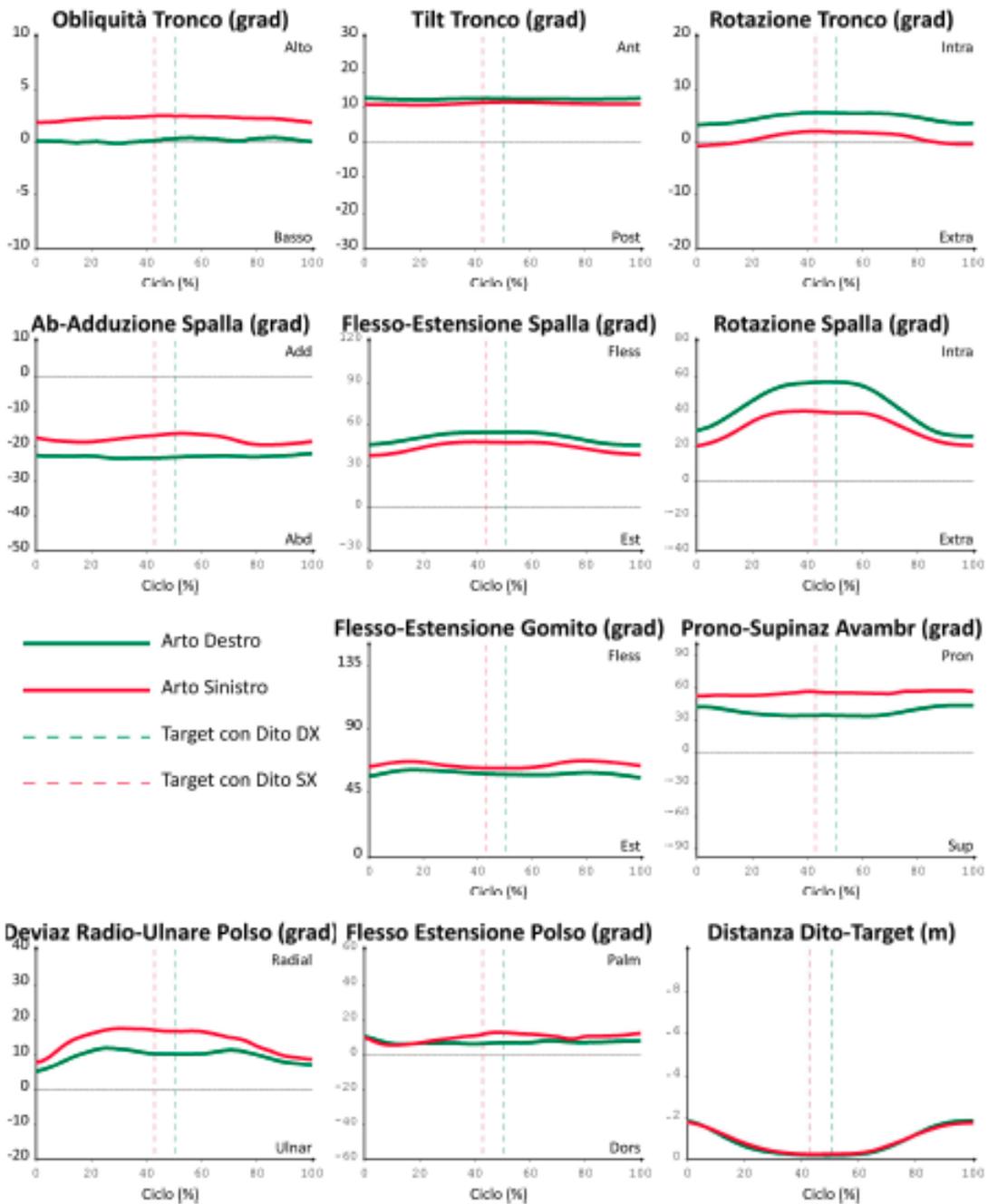


SOGGETTO 5

Piano Frontale

Piano Sagittale

Piano Trasversale



RINGRAZIAMENTI

Questa tesi è il coronamento di un percorso importante della mia vita: ritengo quindi opportuno ringraziare chi, in un modo o nell'altro, ha condiviso con me la strada fino a questa meta.

Per prima cosa, ringrazio coloro che hanno reso possibile la stesura di questa tesi. Grazie alla mia professoressa prima e Relatrice poi Maria Grazia Lunardelli, che mi ha trasmesso l'interesse per i bambini e il loro mondo, accompagnandomi dai banchi delle aule universitarie fino a qui.

Grazie ai miei Co-Relatori, la professoressa Elena Carraro e l'ingegnere Davide Conte, per avermi coinvolto, guidato e seguito in questi mesi di intenso lavoro.

Grazie alla mia famiglia, in particolare Davide e Fiorella, per le piccole, ma importanti cose di ogni giorno.

Grazie a mia mamma Tiziana: le difficoltà vissute hanno reso il nostro un legame profondo ed incondizionato. Che la sua forza mi sia sempre d'esempio.

Grazie a tutti i miei compagni di squadra dello Skating Club Comina, che con le loro battute e pettegolezzi sono riusciti, ad ogni allenamento, a farmi "staccare la spina" anche nei periodi più stressanti per lo studio.

Grazie ai compagni di corso e amici che hanno condiviso con me il percorso universitario e di vita che mi ha portato fino a qui.

E grazie a Federico, per farmi sentire libera, con lui, di cedere alle fragilità che agli altri celo: in questi mesi è stato al mio fianco nel superare qualunque ostacolo, e sono felice di aver compiuto insieme a lui questo importante passo.