



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa* Macchi Veronica

TESI DI LAUREA

ACTION OBSERVATION THERAPY E CONFRONTO TRA AZIONI:
EFFICACIA A CONFRONTO NELLA VALUTAZIONE DELL'ARTO
SUPERIORE TRAMITE ANALISI DEL MOVIMENTO IN UN GRUPPO DI
BAMBINI CON EMIPLEGIA CONGENITA

Action Observation Therapy and Confronto Tra Azioni: comparative effectiveness in
upper limb assessment through movement analysis in a group of children with
congenital hemiplegia

RELATORE:

Dott.ssa Mag. Fontana Silvia

LAUREANDA:

Marchetto Nicol

Anno accademico 2022-2023

INDICE

RIASSUNTO	
ABSTRACT	
INTRODUZIONE	1
Capitolo 1: LE PARALISI CEREBRALI INFANTILI	3
1.1 Definizione, dati ed eziologia.....	3
1.2 Diagnosi.....	3
1.3 Classificazione.....	4
1.4 Emiplegia congenita	4
Capitolo 2: L’ACTION OBSERVATION THERAPY	9
2.1 Basi neurofisiologiche.....	9
2.2 Trattamento riabilitativo.....	11
2.3 Risultati e scale di valutazione	12
Capitolo 3: IL CONFRONTO TRA AZIONI	15
3.1 Basi neuropsicologiche.....	15
3.2 Significato del confronto nel processo riabilitativo	16
3.3 Risultati	19
Capitolo 4: ANALOGIE E DIFFERENZE TRA AOT E CTA	20
4.1 Analogie	20
4.2 Differenze.....	20
Capitolo 5: MATERIALI E METODI	22
5.1 Campione.....	22
5.2 Valutazione clinica dei pazienti	23
5.3 Valutazione strumentale dell’arto superiore.....	26
5.4 Analisi dei dati.....	32
Capitolo 6: RISULTATI	35
6.1 Campione.....	35
6.2 Dati quantitativi.....	35
6.3 Dati qualitativi.....	40
Capitolo 7: DISCUSSIONE	44
7.1 Limiti dello studio	48
Capitolo 8: CONCLUSIONI	50
8.1 Sviluppi futuri.....	50
BIBLIOGRAFIA	51
ALLEGATI	

RIASSUNTO

INTRODUZIONE: Le recenti conoscenze emerse grazie alle neuroscienze hanno contribuito all'evoluzione della riabilitazione nell'ambito delle patologie neurologiche dell'età evolutiva e alla nascita di nuovi approcci. Tra questi l'*Action Observation Therapy* (AOT), basato sul concetto di *Observation to Imitate* (1), e il Confronto Tra Azioni (CTA), secondo cui l'uso del confronto consente di esplicitare e rendere cosciente il rapporto tra esercizio e azione concreta, portando alla riorganizzazione del comportamento e all'acquisizione di nuovi apprendimenti (2).

OBIETTIVO: Questa tesi si è posta l'obiettivo di comprendere se i bambini con emiplegia congenita sono consapevoli delle alterazioni nello svolgimento delle proprie azioni con l'arto superiore affetto e se l'applicazione di AOT e CTA in fase valutativa è in grado di condurre ad una modifica cinematica ed elettromiografica, ossia qualitativa, del movimento eseguito.

MATERIALI E METODI: La sperimentazione consisteva in un'analisi cinematica ed elettromiografica dell'arto superiore di 7 bambini con emiplegia congenita durante un'azione di *pointing*, eseguita prima e dopo una valutazione con AOT e una con CTA. La prima prevedeva la visione di un video dell'azione normale e un *pointing* con richiesta di replicare quanto osservato. La seconda prevedeva la visione di tre video (azione normale, azione attuale e azione con altro tipo di errori), l'individuazione dell'azione normale e di quella attuale con analisi delle differenze, il *pointing* con attenzione alle differenze emerse, l'aiuto manuale durante l'azione e l'ulteriore svolgimento del *pointing* con attenzione alle differenze e a quanto percepito durante l'aiuto manuale. Sono stati inoltre raccolti i dati cinematici ed elettromiografici di 6 bambini sani, così da avere i dati di riferimento fisiologici.

RISULTATI: Non si sono riscontrate differenze statisticamente significative nel *pointing* con l'AOT. Il CTA ha condotto ad una differenza statisticamente significativa in termini di durata del ciclo di movimento, indice di curvatura, percentuale di allungamento del braccio, flesso-estensione di spalla e gomito. Pur in mancanza di significatività statistica, si evidenzia come i bambini con emiplegia congenita possono avere difficoltà nel riconoscere correttamente l'azione normale e quella attuale.

CONCLUSIONI: I risultati ottenuti hanno fornito prova del fatto che rendere il paziente consapevole del proprio agire, indirizzandone l'attenzione verso le differenze colte tra l'azione fisiologica e la propria modalità di esecuzione, come proposto dal CTA, conduce ad una modifica qualitativamente superiore rispetto alla sola osservazione del gesto, come nell'AOT.

ABSTRACT

BACKGROUND: Recent knowledge emerging through neuroscience has contributed to the evolution of rehabilitation in the field of developmental neurological disorders and the emergence of new approaches. These include Action Observation Therapy (AOT), based on the concept of Observation to Imitate (1), and Confronto Tra Azioni (CTA), according to which the use of comparison allows the relationship between exercise and concrete action to be made explicit and conscious, leading to the reorganization of behavior and the acquisition of new learning (2).

OBJECTIVE: This dissertation set out to understand whether children with congenital hemiplegia are aware of alterations in the performance of their actions with the affected upper limb and whether the application of AOT and CTA at the evaluative stage is able to lead to kinematic and electromyographic, i.e., qualitative, modification of the performed movement.

MATERIALS AND METHODS: The trial consisted of kinematic and electromyographic analysis of the upper limb of 7 children with congenital hemiplegia during a pointing action, performed before and after one evaluation with AOT and one with CTA. The first involved viewing a video of the normal action and pointing with a request to replicate what was observed. The second involved watching three videos (normal action, current action, and action with other type of errors), recognizing the normal and current action with analysis of differences, pointing with attention to the differences that emerged, manual help during the action, and further pointing with attention to the differences and what was perceived during manual help. Kinematic and electromyographic data of 6 healthy children were also collected to have the physiological baseline data.

RESULTS: There were no statistically significant differences in pointing with AOT. CTA led to a statistically significant difference in movement cycle time, index of curvature, percentage of arm elongation, shoulder and elbow flexion-extension. Although lacking statistical significance, it is shown that children with congenital hemiplegia may have difficulty in correctly recognizing normal and current action.

CONCLUSIONS: The results obtained provided evidence that making the patient aware of his own action, directing his attention to the learned differences between the physiological action and his own mode of execution, as proposed by CTA, leads to a qualitatively higher modification than just observing the gesture, as in AOT.

INTRODUZIONE

Il percorso di studi e il tirocinio svolto mi hanno portato a sviluppare interesse verso le neuroscienze e la riabilitazione dell'età evolutiva, motivo per cui ho scelto di scrivere questa tesi.

Le recenti conoscenze emerse grazie alle neuroscienze hanno contribuito all'evoluzione della riabilitazione delle patologie neurologiche dell'età evolutiva. Si è assistito alla nascita di nuovi approcci, rivolti anche al trattamento delle Paralisi Cerebrali Infantili (PCI), tra cui l'*Action Observation Therapy* e il Confronto Tra Azioni.

L'*Action Observation Therapy* (AOT) è basato sul concetto dell'*Observation to Imitate*, ovvero sulla capacità di osservazione per l'imitazione di azioni al fine di ripristinare le strutture neurali coinvolte nell'esecuzione dell'azione stessa. Queste strutture corrispondono al sistema dei neuroni specchio, il quale gioca un ruolo nella comprensione dell'azione, nella codifica dell'intenzione, nell'imitazione ed è attivo in tutte le fasi dell'apprendimento osservativo (1). Negli ultimi anni l'AOT sta fornendo buoni risultati rispetto al trattamento dell'arto superiore di bambini affetti da emiplegia congenita (3) (4) (5). Questi riguardano però miglioramenti "quantitativi", si hanno meno risultati rispetto alla qualità del movimento.

Il Confronto Tra Azioni (CTA), paradigma riabilitativo nato dall'evoluzione della Teoria Neurocognitiva di Carlo Perfetti, ritiene che l'uso del processo mentale del confronto e il riferimento ricorrente alla realtà del malato in tutte le fasi del procedere riabilitativo consentano di esplicitare e di rendere cosciente il rapporto tra l'esercizio e l'azione concreta. La ricerca delle relazioni di somiglianza e differenza, attraverso il confronto, porta alla mutazione dell'organizzazione del comportamento del paziente e all'acquisizione di nuovi apprendimenti (2).

La presente tesi si è posta l'obiettivo di comprendere se i bambini con emiplegia congenita sono consapevoli delle alterazioni nello svolgimento delle proprie azioni con l'arto superiore affetto e se la valutazione del paziente con AOT e CTA è in grado di condurre ad una modifica cinematica ed elettromiografica, ossia qualitativa, del movimento eseguito. L'impiego di questi approcci riabilitativi in fase valutativa si propone di evidenziare la potenziale modificabilità del bambino con emiplegia congenita, in modo da definire l'Area di Sviluppo Prossimale all'interno della quale stabilire gli obiettivi riabilitativi e orientare il trattamento.

Considerando la presenza di un alterato *sense of agency* nei pazienti con PCI (6), l'ipotesi è che esplicitare i processi cognitivi tramite il CTA possa migliorare la consapevolezza del bambino rispetto

alle proprie alterazioni, andando così ad agire sulle rappresentazioni cerebrali e di conseguenza modificando la qualità della performance motoria.

Il capitolo Materiali e Metodi descrive il campione di pazienti, formato da 7 bambini con emiplegia congenita e 6 bambini sani, unitamente alla valutazione clinica mediante scale di valutazione e alla valutazione strumentale dell'arto superiore con l'applicazione di AOT e CTA effettuata presso il Laboratorio di Analisi del Movimento dell'UOC di Recupero e Rieducazione Funzionale dell'Ospedale Alto Vicentino di Santorso (VI). Sono inoltre esposte le modalità di analisi dei dati.

I Risultati comprendono i valori ottenuti dall'analisi statistica eseguita per valutare l'efficacia dell'applicazione di AOT, CTA e aiuto manuale della fisioterapista. Il medesimo capitolo riporta anche gli esiti dell'analisi statistica relativa al confronto tra AOT e CTA e al riconoscimento dell'azione normale e di quella attuale. Le risposte fornite dai bambini durante le due valutazioni sono state raccolte all'interno di tabelle.

I risultati ottenuti sono stati analizzati nel capitolo Discussione, con riferimento alla letteratura scientifica.

Capitolo 1: LE PARALISI CEREBRALI INFANTILI

1.1 Definizione, dati ed eziologia

Le Paralisi Cerebrali Infantili (PCI) sono “un gruppo di disturbi permanenti dello sviluppo del movimento e della postura, che causano una limitazione delle attività, attribuibili ad un danno permanente non progressivo che si è verificato nell’encefalo nel corso dello sviluppo cerebrale del feto, del neonato o del lattante. I disturbi motori delle PCI sono spesso accompagnati da disturbi sensitivi, sensoriali, percettivi, cognitivi, comunicativi, comportamentali, da epilessia e da problemi muscoloscheletrici secondari” (7). L’espressione “disturbo permanente” non indica una malattia, quanto più una condizione soggetta ad una possibile evoluzione funzionale, in termini di modifica delle manifestazioni cliniche nel corso del tempo. Nelle PCI sono infatti possibili, grazie al fenomeno della plasticità cerebrale, cambiamenti positivi o negativi, sia indotti che spontanei (8).

La paralisi cerebrale rappresenta la causa più frequente di disabilità infantile, con una prevalenza di 1 fino a 4 per mille (9). Il danno a carico del sistema nervoso centrale (SNC) risulta essere estremamente eterogeneo in termini di eziologia, tipo e gravità ed è attribuibile a cause pre-, peri- o post-natali (8). Sebbene determinati fattori identifichino i bambini più a rischio, la maggior parte di essi non sviluppa una paralisi cerebrale. Va inoltre considerato che spesso l’evento causante può non essere determinato e che circa il 50% dei bambini affetti da PCI sono nati a termine senza alcun fattore di rischio associato. Negli ultimi anni si sta riconoscendo alla genetica un ruolo sempre più determinante nel favorire lo sviluppo di PCI. Sono state infatti scoperte molteplici mutazioni genetiche connesse a questa condizione, ma non una specifica variante associata (9).

1.2 Diagnosi

La diagnosi presuppone la descrizione dello stato funzionale dell’individuo e dei suoi bisogni (8), basandosi su individuazione di eventuali fattori di rischio, esame obiettivo, valutazione del neurosviluppo e/o neuroimaging (9). Quest’ultimo, in modo particolare la RMN, risulta un valido strumento per la descrizione del quadro eziopatogenico. A fini diagnostici si considera il primo anno di vita come timing in cui avviene la lesione, definendolo come periodo di “mancata acquisizione”. Un danno che si manifesta oltre l’anno di vita comporta invece una “perdita della funzione” (8). Tipicamente la diagnosi avviene tra i 12 e i 24 mesi, momento in cui i segni clinici motori diventano evidenti (9).

1.3 Classificazione

Al fine di distinguere le diverse forme cliniche di PCI sono presenti in letteratura molteplici classificazioni: internazionali basate su dati epidemiologici, neuro-radiologiche basate sul neuroimaging, riabilitative basate su aspetti funzionali e prognostici. La classificazione internazionale del 2006 si pone l'obiettivo di riunire queste diverse classificazioni, individuando quattro fattori: anomalie motorie (natura e tipologia del disordine motorio, abilità funzionali motorie), disturbi associati (sensitivi, sensoriali/percettivi, cognitivi, comunicativi, comportamentali, epilessia, problemi muscoloscheletrici secondari), quadri anatomici e neuroradiologici, aspetti eziopatogenetici e timing. Molto in uso è la classificazione di Hagberg del 1975, la quale riconosce diverse forme cliniche a seconda del disturbo motorio e della distribuzione topografica del danno: forme spastiche (circa l'80%, suddivise in emiplegia, diplegia, tetraplegia), forme atassiche (atassia congenita semplice, diplegia atassica), forme discinetiche (coreoatetotica, discinetica). A scopo riabilitativo, con riferimento alle forme spastiche, si ricorre alla classificazione di Ferrari del 2005. Tale suddivisione pone in risalto le funzioni adattive motorie, quali postura, cammino e manipolazione. Accanto a queste è presente la Classificazione Internazionale del Funzionamento, della Disabilità e della Salute per Bambini e Adolescenti (ICF-CY) del 2007 (8). Nel presente studio si fa riferimento alla forma spastica emiplegica secondo la classificazione di Hagberg.

1.4 Emiplegia congenita

L'emiplegia congenita prevede una disabilità motoria unilaterale, ma il quadro clinico può comportare la presenza di segni neurologici bilateralmente. Rappresenta il quadro più diffuso e la forma destra è due volte più frequente di quella sinistra (10).

1.4.1 Eziopatogenesi

Gli studi epidemiologici e il neuroimaging hanno reso possibile l'individuazione di molti meccanismi lesivi responsabili degli aspetti clinici, tuttavia nel 30-40% dei casi non vengono individuati fattori di rischio o alterazioni al neuroimaging. Nei nati a termine la prevalenza di fattori di rischio prenatali è superiore rispetto a quella dei fattori perinatali, viceversa nei nati pretermine. Tra i fattori di rischio prenatale rientrano sanguinamento uterino, precedenti aborti e morti perinatali, malattie croniche in gravidanza, ritardo di crescita uterina e parti multipli. Tra i fattori di rischio perinatali si riscontrano distocie del parto, distress fetale acuto con sofferenza ipossico-ischemica e sepsi neonatali. In generale, gli studi convergono sul mettere in rilievo i disordini circolatori durante la gravidanza quali responsabili della patogenesi. Si segnalano anche sporadici casi di emiplegia ricorrente all'interno della stessa famiglia, facendo così ipotizzare un'origine genetica (10). All'interno dei meccanismi

patogenetici sono stati individuati tre gruppi principali di lesioni, suddivisi in relazione all'età gestazionale della manifestazione (10):

- Lesioni malformative (5-15% dei casi, tra le 16-24 settimane gestazionali (SG)): il processo patologico è dovuto ad anomalie della migrazione neurale, tra cui schizencefalia unilaterale, pachigiria, polimicrogria focale o diffusa e displasie corticali;
- Lesioni periventricolari monolaterali (40-50%, tra le 26-34 SG): il processo patogenetico è causato da alterazioni vascolari con ipo- o iperperfusione nell'area periventricolare, le quali conducono a leucomalacia periventricolare e atrofia;
- Lesioni corticosottocorticali (10-15%, tra le 32-36 SG): sono indotte da accidenti vascolari prevalentemente a livello dell'arteria cerebrale media nei nati a termine e della sostanza bianca sottocorticale nei pretermine. Si possono verificare lesioni anche dei nuclei della base e del talamo. Frequentemente si rileva un'ipotrofia del tronco ipsilaterale alla lesione.

1.4.2 Aspetti clinici

Lo sviluppo motorio globale del bambino emiplegico implica alterazioni qualitative più che quantitative. Il quadro clinico, oltre a potersi modificare nel corso della crescita, mostra una significativa variabilità di segni in base ad epoca di insorgenza, sede ed estensione della lesione (10).

I segni clinici comprendono (10):

- Riduzione della motilità: distalmente alla mano è presente una riduzione della motilità e della forza muscolare, con maggior coinvolgimento dell'estensione di polso e dita e dei movimenti fini intrinseci. Sono generalmente conservati movimenti e forza più prossimali;
- Riduzione della velocità dei movimenti;
- Anomalie del tono muscolare: nei bambini più piccoli l'emisoma affetto può essere ipotonico, mentre sopra i due anni sono preponderanti l'ipertono e la spasticità, i quali coinvolgono soprattutto bicipite, flessore lungo delle dita, pronatori e adduttore del pollice nel caso dell'arto superiore. La spasticità comporta un accorciamento persistente del muscolo, il quale conduce a contratture e deformità (es. polso flesso, pollice addotto). Rientra tra le anomalie del tono anche la distonia;
- Anomalie della postura: l'arto superiore viene abitualmente mantenuto con gomito, polso, dita flessi e spalla intraruotata;
- Modificazioni biomeccaniche del muscolo: a causa della spasticità viene impedito il normale allungamento-accorciamento muscolare, con riduzione del movimento articolare. Il muscolo

incombe in alterazioni delle proprietà elastiche, con diminuita estensibilità, aumento della resistenza ed instaurarsi di deformità con coinvolgimento connettivale e legamentoso;

- Alterazioni dell'accrescimento osseo;
- Deficit sensoriali: disordini di discriminazione tattile, stereognosia, riconoscimento delle dita;
- Movimenti speculari: interferiscono con le attività bimanuali, possono presentarsi sia nella mano plegica durante i movimenti di quella sana, che viceversa.

Secondo la letteratura l'epoca delle manifestazioni patologiche iniziali riguarda i primi 7-8 mesi di vita, ma soprattutto nel nato a termine i segni clinici possono rimanere silenti fino al termine del primo anno (10).

1.4.3 Disordini funzionali dell'arto superiore

Ai fini della tesi si è deciso di descrivere i disordini funzionali che possono interessare l'arto superiore del bambino con emiplegia congenita. Questo tipo di disordini può però essere presente anche all'arto inferiore. Osservando il comportamento motorio spontaneo del bambino con emiplegia si possono individuare diversi aspetti (10):

- La pianificazione dell'azione risulta asimmetrica, con l'esclusione di informazioni esterne ed interne relative all'emisoma plegico. Il bambino privilegia l'emisoma e l'emisoma sani;
- Le strategie che guidano la sequenza del pattern di movimento sono ripetitive, scarsamente variabili anche in caso di insuccesso e rivolte all'emisoma sano;
- Il repertorio di schemi è povero e poco modulato, privilegiando la rapidità di un risultato funzionale indipendentemente dalla sua efficienza;
- Il bambino mette in atto compensi spontanei scorretti al fine di risolvere un problema funzionale, penalizzando gli aspetti qualitativi del movimento;
- Si assiste ad uno scarso adattamento anticipatorio della mano e delle dita rispetto alle caratteristiche dell'oggetto, causato da un ridotto monitoraggio visivo, propriocettivo e tattile durante le sequenze e come *feedback*.

Il deficit funzionale dell'arto superiore affetto, in modo particolare della mano, è un elemento determinante della disabilità nelle attività della vita quotidiana (ADL) e varia in relazione alla sede e al tipo di forma clinica. Nei primi anni di vita la funzionalità della mano evolve positivamente grazie all'acquisizione dell'abilità di modulare il tipo di prensione e alla necessità di usare entrambe le mani nelle ADL. Dopo i 5-6 anni permane però la tendenza all'utilizzo dell'arto sano nelle attività bimanuali, in quanto la mano plegica ostacolerebbe il risultato funzionale. Si verifica infatti una

specializzazione dell'arto sano e una progressiva diminuzione dell'uso di quello plegico, anche in presenza di competenze motorie di prensione e manipolazione da parte di quest'ultimo (fenomeno del *learned non-use*). Durante l'adolescenza si può manifestare un miglioramento della qualità della prensione, ma non dell'uso spontaneo dell'arto plegico (10).

1.4.4 Obiettivi del trattamento riabilitativo

Nei primi anni di vita del bambino con emiplegia congenita l'intervento riabilitativo deve mirare al miglioramento funzionale dell'emisoma plegico, sostenendo la riorganizzazione funzionale, l'attività prassica in compiti bimanuali e l'integrazione dell'emisoma plegico in posture e schemi locomotori. In età scolare il trattamento deve essere invece indirizzato all'acquisizione di abilità concordate con il bambino stesso, in relazione all'emergere di specifici problemi (10).

Gli obiettivi per l'arto superiore del bambino con emiplegia congenita, da considerarsi prioritari nei primi anni di vita fino all'età scolare, sono (10):

- Sostenere le afferenze sensoriali e l'esplorazione percettiva dell'emisoma plegico per evitarne l'esclusione dall'attività prassica e la costruzione di uno schema corporeo asimmetrico;
- Prevenire lo strutturarsi di compensi non funzionali o riduttivi rispetto alle potenzialità;
- Promuovere le attività bimanuali utilizzando proposte e materiali che implicino necessariamente l'uso di entrambe le mani;
- Favorire e guidare l'orientamento e l'anticipazione della posizione di mano e dita in relazione alle caratteristiche dell'oggetto e la sua esplorazione;
- Ampliare il repertorio di pattern degli arti superiori proponendo attività in contesti diversificati e con vari materiali;
- Prevenire deformità e retrazioni con l'uso di eventuali ausili e/o interventi farmacologici (es. tossina botulinica);
- Trasferire in ambito familiare e scolastico proposte di gioco, attività prassiche e di autonomia che incoraggino l'utilizzo di ambedue le mani e limitino l'apprendimento del non-uso.

Il progetto riabilitativo deve includere anche obiettivi rivolti all'arto inferiore, per favorire corretti schemi di spostamento, la simmetrizzazione nelle posture e nel controllo delle sequenze prelocomotorie e del cammino, l'estensione del repertorio di pattern anche agli arti inferiori. Un'ulteriore priorità è quella di fornire sostegno e supporto psicologico alla famiglia, informandola su caratteristiche della patologia, prognosi, obiettivi e modalità di intervento (10).

1.4.5 Approcci riabilitativi

Tra gli approcci riabilitativi per il trattamento dell'arto superiore nell'emiplegia congenita rientrano il metodo Bobath (11) e la riabilitazione neurocognitiva (metodo Perfetti-Puccini) (12).

Nuove proposte presenti in letteratura per la riabilitazione dell'arto plegico includono la *Constraint Induced Movement Therapy* (CIMT), l'*Hand-Arm Bimanual Intensive Therapy* (HABIT) e l'*Action Observation Therapy* (AOT). La CIMT mira al superamento del fenomeno del *learned non-use* (non-uso appreso) attraverso la pratica intensiva e mirata con l'arto superiore più colpito, mentre l'altro è soggetto a contenzione (13). Un incremento nell'uso dell'arto maggiormente affetto induce l'espansione dell'area corticale controlaterale che ne controlla il movimento, conducendo ad un aumento dell'utilizzo di questo nelle attività (14). L'HABIT si basa sull'esecuzione di attività funzionali bimanuali di complessità crescente (15), promuovendo l'attività dell'arto affetto verso il livello di quello sano e migliorando così l'utilizzo e la coordinazione degli arti superiori nelle ADL (16). Infine, l'AOT fondata sulla scoperta del sistema dei neuroni specchio, grazie ai quali l'osservazione di azioni eseguite da altri attiva nell'osservatore le stesse strutture neurali responsabili dell'effettiva esecuzione di quelle stesse azioni (1). Un ulteriore approccio riabilitativo è rappresentato dal Confronto Tra Azioni (CTA), nuovo paradigma evoluto dalla Teoria Neurocognitiva, il quale ritiene essenziale il riferimento costante alla realtà del malato attraverso il confronto, processo mentale fondamentale per la conoscenza, la consapevolezza e l'apprendimento. L'ipotesi è che la ricerca di analogie e differenze provochi la modificazione dell'organizzazione del sistema e conduca verso nuovi apprendimenti (17). Questi due ultimi approcci riabilitativi verranno descritti in modo più approfondito nei capitoli successivi, in quanto proposti durante la sperimentazione oggetto di studio.

Capitolo 2: L'ACTION OBSERVATION THERAPY

L'*Action Observation Therapy* (o *Action Observation Treatment*, AOT) è un recente approccio riabilitativo rappresentante un valido modello di medicina traslazionale nel campo della neuroriabilitazione. Questa strategia rieducativa si fonda sul paradigma dell'*Observation to Imitate*, ovvero sull'uso della capacità di osservazione per imitare azioni osservate al fine di ripristinare le strutture neurali normalmente coinvolte nell'esecuzione di queste. L'AOT si basa su studi neurofisiologici che dimostrano come l'osservazione di un'azione svolta da un altro soggetto attivi nell'osservatore le stesse strutture neurali responsabili dell'esecuzione delle medesime azioni. Le aree cerebrali interessate corrispondono al sistema dei neuroni specchio, il quale si è dimostrato avere un ruolo nella comprensione dell'azione, nella codifica dell'intenzione e nell'imitazione. Il sistema dei neuroni specchio è attivo in tutte le fasi dell'apprendimento osservativo di compiti motori complessi, dall'osservazione del modello fino all'esecuzione dell'azione (1).

2.1 Basi neurofisiologiche

L'AOT si basa sulla scoperta di Rizzolatti et al del sistema dei neuroni specchio, i quali si attivano sia durante l'esecuzione di un'azione compiuta con diversi effettori biologici (come ad esempio la bocca, la mano o il piede), sia durante l'osservazione di un altro individuo che esegue la stessa o una simile azione. I neuroni specchio possiedono un ruolo in una serie di funzioni cognitive, dal riconoscimento dell'azione all'interazione sociale. In letteratura sono presenti numerosi studi a supporto della loro funzione nell'osservazione, nell'imitazione e nell'apprendimento, e di conseguenza dell'uso dell'AOT nella pratica clinica (1).

All'interno di specifiche regioni dei lobi frontali e parietali è stata confermata l'esistenza di un meccanismo di osservazione-esecuzione dell'azione. Tramite l'uso della stimolazione magnetica transcranica applicata alla corteccia motoria della mano, si è constatato come l'eccitabilità di questa regione aumenti nel momento in cui l'individuo osserva azioni coinvolgenti la mano stessa. Esperimenti effettuati con l'uso del neuroimaging hanno dimostrato che durante l'osservazione di azioni eseguite con diversi effettori si assiste ad un aumento del segnale all'interno di regioni cerebrali attive anche durante l'esecuzione delle medesime azioni. Molteplici ricerche hanno confermato che l'osservazione di azioni recluta diverse sezioni della corteccia premotoria e parietale attraverso un'organizzazione somatotopica simile a quella valida per l'esecuzione dell'azione presente all'interno della corteccia motoria primaria. Inoltre, si è visto che l'attivazione delle aree

frontoparietali durante l'osservazione è superiore se l'azione è familiare per il soggetto e fa parte del suo repertorio motorio (1).

Le evidenze suggeriscono come l'imitazione sia particolarmente sviluppata nell'essere umano e come essa implichi l'osservazione motoria, l'immagine motoria e l'esecuzione. In uno studio con lo scopo di indagare se l'imitazione può essere basata su un meccanismo che abbina in modo diretto l'azione osservata e una rappresentazione motoria interna dell'azione, si è confermata l'attivazione della corteccia frontale inferiore sinistra (*pars opercularis* e parte della regione di Broca) e della regione più rostrale del lobo parietale posteriore, ossia di regioni appartenenti al sistema dei neuroni specchio, sia durante il movimento di un dito sia durante l'osservazione dello stesso movimento effettuato da un altro individuo. Oltre a ciò, si è dimostrato il coinvolgimento dell'area di Broca nell'imitazione, soprattutto di azioni orali e del parlato (1).

Uno studio che si proponeva di indagare il ruolo dei neuroni specchio nell'apprendimento per imitazione ha permesso di individuare come il circuito alla base di questo processo sia formato dal lobulo parietale inferiore, dal giro frontale inferiore e dalla corteccia premotoria. Durante l'apprendimento per imitazione, le azioni osservate vengono scomposte in atti motori elementari responsabili dell'attivazione delle corrispondenti rappresentazioni motorie nel lobo parietale inferiore, nella corteccia premotoria e nella *pars opercularis* del giro frontale inferiore. Queste rappresentazioni motorie vengono poi ricombinate per adattarsi al modello osservato all'interno delle aree del sistema dei neuroni specchio, con un ruolo anche dell'area 46 (1).

L'applicazione dell'AOT permette anche il recupero della capacità di codificare le intenzioni di coloro che eseguono le azioni osservate e di interagire socialmente e con l'ambiente. Per esempio, osservare una mano che afferra un oggetto permette all'osservatore di rendersi conto che lo scopo dell'agente è impossessarsi dell'oggetto. Grazie ad uno studio in cui i partecipanti osservavano una stessa azione inserita in due contesti diversi e ad una parte di essi era richiesto di dichiarare le intenzioni dell'attore, si è infatti dimostrata l'attivazione di regioni cerebrali appartenenti al sistema dei neuroni specchio in entrambi i gruppi e come il cervello sia in grado di estrarre automaticamente le intenzioni di un'azione osservata, di elaborarne gli aspetti motori e il contesto in cui viene svolta (1).

2.2 Trattamento riabilitativo

Durante ogni seduta riabilitativa è richiesto al soggetto di osservare con attenzione un'azione della vita quotidiana tramite video, la quale comporta l'uso di un oggetto, e successivamente di eseguirla (1).

Un esempio è il protocollo realizzato da Buccino et al (1), che prevede la selezione di 15-20 azioni della vita quotidiana uni- e bimanuali appartenenti al repertorio motorio della persona, tra le quali rientrano afferrare e spostare un oggetto sul piano orizzontale e verticale, manipolare un cubo con entrambe le mani, giocare con due macchinine o con i Lego. Le azioni vengono proposte in ordine di complessità in un periodo di 3-4 settimane per 5 giorni a settimana. Ogni sessione di trattamento ha una durata di circa mezz'ora e per ognuna di queste viene individuata una sola azione, la quale è suddivisa in 3 o 4 atti motori. Ciascun atto motorio viene osservato per 3 minuti (fase osservativa) dal soggetto seduto di fronte allo schermo di un computer, così facendo la durata totale di ogni azione presentata varia dai 9 ai 12 minuti. L'azione a video viene svolta sia da un attore che da un'attrice e mostrata da diverse prospettive. L'obiettivo di questa fase è il ripristino delle strutture neurali solitamente reclutate durante l'esecuzione della medesima azione, come se il paziente la stesse compiendo. Ulteriori scopi sono la riacquisizione (o l'acquisizione, come nel caso del bambino) della capacità di comprendere l'intenzione di colui che sta eseguendo l'azione osservata e l'abilità di interagire socialmente e con l'ambiente. Dopo la fase osservativa è richiesto di imitare per 2 minuti ogni atto motorio (fase esecutiva), eseguendolo al meglio delle proprie abilità e utilizzando gli stessi oggetti. La durata della fase esecutiva è di circa 6-8 minuti. Il terapeuta ha il ruolo di spiegare il compito (ossia osservare attentamente il video prestando attenzione ai dettagli dell'azione), di motivare la persona e di informarla che il focus del trattamento è l'osservazione dell'azione e non la sua esecuzione.

Simile è il protocollo *Upper Limb-Children Action-Observation Training* (UP-CAT) di Sgandurra et al (18), che propone 15 serie di azioni della vita quotidiana suddivise ognuna in 3 parti in sequenza con complessità crescente. Le prime 8 serie (24 sottoparti) comprendono azioni unimanuali, quali ad esempio togliere il coperchio da un contenitore, estrarre le caramelle colorate, metterle in un bicchiere e versarci dell'acqua, oppure prendere una moneta e inserirla nel salvadanaio attraverso la fessura. Le altre 7 serie (21 sottoparti) includono azioni bimanuali, tra cui bagnare e strizzare un panno e inserirlo nella lavatrice giocattolo, e decorare una cornice con pezzi di mosaico. Le azioni, semplificate per i bambini con disabilità più grave, sono proposte tramite video della durata di 3 minuti in cui vengono inquadrati solo la mano e il braccio dell'attore dalla prima prospettiva. Successivamente

all'osservazione, il bambino esegue l'azione per 3 minuti con l'arto plegico (o con entrambi gli arti) come mostrato nel video, utilizzando gli stessi oggetti. La durata di ogni sessione è di 60 minuti per 15 giorni lavorativi consecutivi, per un totale di 15 ore di trattamento. Il setting e le indicazioni fornite sono simili a quelle presentate da Buccino et al.

2.3 Risultati e scale di valutazione

L'AOT risulta essere un approccio vantaggioso nella riabilitazione delle funzioni motorie di pazienti adulti affetti da patologie neurologiche, quali ictus ischemico o emorragico cronico (a più di 6 mesi dall'evento acuto) e Parkinson, e di bambini con PCI (1). Il sistema dei neuroni specchio è infatti completamente sviluppato e funzionante già nell'età della scuola primaria (19). L'AOT ha mostrato risultati positivi anche nel trattamento di pazienti ortopedici sottoposti a chirurgia di anca e ginocchio, e nella riabilitazione logopedica (1).

Gli studi riguardanti l'applicazione del protocollo di Buccino et al (19) (20), tra cui il primo presente in letteratura inerente l'utilizzo dell'AOT nella riabilitazione di bambini affetti da PCI (19), dimostrano come questo approccio possa rivestire un ruolo nel trattamento fisioterapico dell'arto superiore di soggetti in età scolare con paralisi cerebrale uni- e bilaterale. L'utilizzo della risonanza magnetica funzionale in uno di questi studi (20) ha permesso di individuare un'attivazione superiore all'interno di un circuito parieto-premotorio coinvolto nell'interazione mano-oggetto nel gruppo sperimentale rispetto ai casi controllo. I risultati suggeriscono che il target cerebrale sia quindi un'area motoria della mano coinvolta nell'elaborazione e nell'esecuzione di azioni, sostenendo così l'ipotesi che questa metodica contribuisca a riorganizzare i circuiti cerebrali lesi piuttosto che attivarne di supplementari o vicarianti. Inoltre, lo studio di Kim et al (21) dimostra come il funzionamento degli arti superiori nei casi di emi-, di- o tetraplegia migliori significativamente nelle funzioni corporee, nell'attività e nella partecipazione secondo la Classificazione Internazionale del Funzionamento, della Disabilità e della Salute (ICF) grazie alla pratica con AOT. L'attuazione del protocollo UP-CAT di Sgandurra et al (22), oltre a confermare l'efficacia dell'AOT nella riabilitazione dell'arto superiore di bambini con emiplegia, dimostra come i risultati siano persistenti nel tempo (dopo 6 mesi dal termine delle sedute). In contrasto con quanto finora riportato è lo studio di Kirkpatrick et al (23), in cui l'impiego domiciliare dell'AOT non mostra significativi miglioramenti nella funzione dell'arto plegico rispetto alla sola fase esecutiva senza fase osservativa. Sono però da considerare differenze di setting, durata e applicazione tra i due studi. Un recente studio di Quadrelli et al (24), in seguito al trattamento con AOT, evidenzia un'aumentata desincronizzazione del ritmo μ , utilizzato quale indice di modulazione della corteccia sensomotoria, negli elettrodi elettroencefalografici applicati sulle

corrispondenti aree di rappresentazione della mano. Ciò indica come questa metodica sia in grado di guidare la riorganizzazione delle aree sensomotorie nei bambini con plegia uni- e bilaterale, influenzando così il recupero motorio dell'arto superiore. Nel primo studio relativo alla sola diplegia (25), l'AOT applicata a domicilio non aggiunge nuovi risultati rispetto a quelli già conseguiti grazie alla fisioterapia convenzionale. Uno studio successivo con diplegici (26) prova invece come ne diminuisca la spasticità degli arti inferiori, migliorandone la funzione grosso-motoria e l'equilibrio. Considerazioni aggiuntive emerse dalla letteratura suggeriscono che sono sufficienti sessioni della durata di 30 minuti (27) e che la pratica dal vivo è più efficace di quella con l'uso di video nel migliorare l'accelerazione e la funzione dell'arto superiore, in quanto nell'osservazione dal vivo è coinvolta una percezione visiva tridimensionale (28).

Considerando la presenza di deficit nella pianificazione motoria nelle PCI unilaterali, si è indagata anche la possibilità di integrare l'AOT ad altri approcci riabilitativi, quali la CIMT. L'aggiunta dell'AOT, pur non mostrando un generale effetto aggiuntivo alla CIMT nel potenziare la funzione dell'arto plegico, conduce a risultati più proficui nei casi di esigua funzionalità motoria ed ampia presenza di movimenti speculari (29). Indagando invece i potenziali effetti nella combinazione con la CIMT modificata (mCIMT) sulla cinematica dell'arto superiore plegico, si evince come l'aggiunta di AOT influisca principalmente riducendo la durata del task richiesto (nel caso in esame un raggiungimento verso l'alto), ma con pochi benefici sul pattern di movimento. Nel complesso l'AOT ha un effetto aggiuntivo alla mCIMT molto limitato e non si dimostra efficace nell'aumentare il repertorio motorio dei bambini con emiplegia quando combinata ad un approccio come questo (30). Un ulteriore studio (31) propone invece la combinazione con la *whole-body vibration* (WBV), tecnica che consiste nell'esecuzione di una serie di movimenti in stazione eretta su una pedana vibrante. I risultati suggeriscono miglioramenti in funzionalità e forza degli arti inferiori, funzione grosso-motoria, equilibrio e deambulazione.

Negli ultimi anni si è iniziato a proporre l'AOT in un setting di teleriabilitazione, prendendo in esame il ruolo che questa può ricoprire nel caso di difficoltà nel raggiungere i centri riabilitativi, condizioni lavorative dei *caregivers* che rendono impossibile l'accompagnamento alle sedute, ma anche considerando l'emergenza sanitaria da Covid-19 (32). Un esempio è il protocollo di Sgandurra implementato per un contesto teleriabilitativo (Tele-UPCAT) (33), il quale si dimostra essere uno strumento valido per la riabilitazione di bambini e adolescenti con PCI unilaterale (34). Il trattamento domiciliare con AOT associato invece all'interazione tra soggetti con emiplegia è in grado di incrementare la funzione motoria della mano deficitaria. L'interazione con un coetaneo più abile

aumenta infatti le possibilità di miglioramento (35). Le evidenze riportano inoltre come la teleriabilitazione con questo tipo di approccio possa essere applicata su larga scala (32).

Al fine di quantificare i risultati raggiunti vengono utilizzate diverse scale di valutazione tra cui la *Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function* (MUUL) (19) (20) (22) (24) (32), o la sua versione modificata *Melbourne Assessment 2* (MA2) (23) (29) (34), e l'*Assisting Hand Assessment* (AHA) (20) (22) (23) (24) (29) (32) (34). Alcuni studi, oltre all'uso di scale di valutazione, quantificano i miglioramenti ottenuti con l'*ABILHAND-Kids Questionnaire* (22) (23) (27) (29) (34).

Capitolo 3: IL CONFRONTO TRA AZIONI

Il Confronto Tra Azioni (CTA) rappresenta il paradigma riabilitativo sviluppatosi tra il 2010 e il 2014 dall'evoluzione della Teoria Neurocognitiva proposta da Carlo Perfetti, a seguito della constatazione che l'Esercizio Terapeutico Conoscitivo (ETC) non sempre implicasse il trasferimento delle competenze apprese e il seguente raggiungimento di una completa autonomia organizzativa da parte del paziente all'esterno del contesto terapeutico. L'esercizio neurocognitivo, infatti, nonostante presentasse già la struttura dell'azione, risultava essere difficilmente o solo parzialmente paragonabile alla realtà tangibile del malato. La nuova proposta neurocognitiva ritiene che l'uso del processo mentale del confronto e il riferimento ricorrente alla realtà del malato in tutte le fasi del procedere riabilitativo (osservazione, esercizio, valutazione finale) consentano di esplicitare e di rendere cosciente il rapporto esistente tra il mondo dell'esercizio e quello dell'azione concreta. L'ipotesi è che la ricerca delle relazioni di somiglianza e differenza, attraverso il confronto, porti alla mutazione dell'organizzazione del comportamento del soggetto e quindi all'acquisizione di nuovi apprendimenti (2).

3.1 Basi neuropsicologiche

La Teoria Neurocognitiva ritiene che la qualità del recupero, spontaneo e guidato, sia correlata alla qualità dell'attivazione dei processi cognitivi (attenzione, percezione, memoria, rappresentazione, confronto, linguaggio), la quale consente di riorganizzare la struttura neurale e la modifica del comportamento motorio del paziente. Più precisamente, il confronto è un processo mentale che l'uomo sfrutta costantemente di fronte ad ogni azione che implichi di scegliere, discriminare o riconoscere un elemento. Esso risulta infatti essere importante per la conoscenza, l'apprendimento e l'acquisizione della consapevolezza. La messa in atto del confronto prevede, oltre all'esistenza di almeno due variabili, l'emergere di relazioni di somiglianza e differenza tra di esse (36).

A sostegno di ciò risulta fondamentale il contributo fornito dalla psicopedagogia e dalla psicologia cognitiva. Bateson (citato da Perfetti et al, (2)) afferma che "per produrre notizia di una differenza, cioè informazione, occorrono due entità, reali o immaginarie, tali che la differenza tra di esse possa essere immanente alla loro relazione reciproca". Feuerstein (citato da Perfetti et al, (2)) sostiene che affinché un'esperienza possa identificarsi in un'esperienza di apprendimento è necessaria l'attivazione di un insieme di processi cognitivi, tra i quali rientra il confronto, il quale permette di organizzare e integrare informazioni distinte in un unico sistema di pensiero coordinato e significativo. Secondo l'autore, il bambino va educato a mettere in atto operazioni di confronto, così

facendo egli sarà in grado di fornire un significato all'esperienza vissuta attraverso la definizione, la categorizzazione e il raggruppamento delle informazioni. Difficoltà di apprendimento deriverebbero quindi dall'incapacità di attuare confronti tra diversi contesti. Gentner (citata da Perfetti et al, (2)) asserisce che il confronto sia importante per la consapevolezza, la conoscenza e l'apprendimento, inteso come trasferimento ad altri contesti delle conoscenze acquisite. Per l'autrice questo processo mentale necessita di un allineamento strutturale, che a sua volta prevede l'esistenza di rappresentazioni strutturate da confrontare. Berthoz (citato da Perfetti et al, (2)) intende il confronto come un elemento che permette di facilitare altri processi cognitivi utili all'apprendimento, quali inferenza e astrazione. In età evolutiva, la capacità di astrarre e compiere confronti spontanei è un aspetto cognitivo proporzionale al grado di maturazione del bambino. Gentner (citata da Perfetti et al, (2)) sostiene che queste competenze possono essere incrementate anche precocemente mediante l'educazione al e attraverso il confronto.

3.2 Significato del confronto nel processo riabilitativo

Il confronto assume un ruolo differente a seconda delle diverse fasi riabilitative, quali osservazione, esercizio e valutazione finale.

3.2.1 Osservazione

Osservare significa *ritenere*, ossia annotare ciò che accade durante l'osservazione di un evento, e *interpretare*, ossia comprendere, dare significato a quanto osservato, in modo da elaborare dati utili al processo riabilitativo (36). "L'osservazione è valida solo se condotta per individuare e risolvere problemi, se aiuta a far comprendere le lacune del nostro sapere" (Perfetti citato da Argüelles et al, (36)).

L'osservazione è la fase durante la quale il riabilitatore neurocognitivo osserva le azioni del paziente (spontanee, su richiesta, riportate), le sue intenzioni, il suo modo di porre attenzione e di ragionare sul corpo e sull'azione, le parole che usa per parlare di questi (e quelle che non usa), e cerca di comprendere se egli è in grado di evocare rappresentazioni del corpo e delle azioni prelesionali e quali caratteristiche abbiano tali rappresentazioni (36). Così facendo il fisioterapista arriva a identificare il Profilo del malato, ovvero l'insieme delle alterazioni dei processi cognitivi che spiegano il comportamento motorio patologico osservato. Sulla base di questo il riabilitatore individua l'azione da modificare, il tema e formula gli esercizi utili al raggiungimento del cambiamento previsto (36). L'azione da modificare corrisponde all'azione che si intende riabilitare e che rientra nell'Area di Sviluppo Prossimale (2), intesa da Vygotskij (citato da Argüelles et al, (36)) quale distanza tra il livello di sviluppo attuale del bambino e il livello di sviluppo potenziale al quale

egli può accedere con l'aiuto dell'adulto o di un suo pari con maggiori capacità. Il tema è invece l'argomento principale di cui si parla con il paziente durante lo svolgersi dell'esercizio e di cui lo si rende consapevole (36).

In fase di osservazione il confronto ha lo scopo di rendere il malato consapevole del proprio comportamento attuale e della possibilità di modifica (2). La consapevolezza della modalità attuale con cui l'azione viene compiuta è il presupposto necessario per operare confronti con altre azioni e per apprendere migliori modalità di esecuzione (36). La modificazione di parte dell'azione attuale in fase osservativa, ossia dell'azione patologica compiuta dal paziente, in seguito ad operazioni di confronto, rappresenta un elemento predittivo positivo ai fini del recupero (2). Per migliorare il grado di consapevolezza del paziente il riabilitatore può utilizzare diverse situazioni di confronto (36):

- Confronto tra azione attuale e stessa azione compiuta prima della lesione (azione prelesionale immaginata);
- Confronto tra azione attuale e stessa azione osservata su terza persona (azione normale);
- Confronto tra più azioni osservate su terza persona (una corretta, ossia l'azione normale, una simile a quella del malato e una con altri tipi di errori);
- Confronto tra azione compiuta con l'arto sano (o migliore) e stessa azione compiuta con l'arto plegico;
- Confronto tra azioni attuali compiute dal soggetto e opinioni espresse dal terapeuta rispetto a quanto osservato.

Nel momento in cui il paziente, grazie all'aiuto del terapeuta che utilizza lo strumento del confronto, considera e paragona i diversi aspetti delle sue azioni, diviene consapevole del proprio comportamento e si assiste di conseguenza ad un maggior grado di modificazione dell'azione attuale (36).

3.2.2 Esercizio

L'esercizio neurocognitivo è una "procedura pedagogica programmata al fine di raggiungere determinate modificazioni nel paziente" (36). In funzione dell'apprendimento e sulla base del Profilo, il riabilitatore definisce gli aspetti essenziali dell'esercizio, i quali sono in relazione con l'azione scelta da modificare (36):

- Tema: argomento principale dell'esercizio da sviluppare con il malato, costituito dalla parte del corpo (o delle relazioni tra le parti del corpo) coinvolta/e nell'azione e dal significato informativo che questa/e rivestono per l'azione da recuperare;

- **Contenuti:** ciò che si vuole insegnare al paziente rispetto all'azione da recuperare, ossia le componenti dell'azione individuate nel Profilo e che risultano deficitarie. Comprendono il superamento degli elementi dello Specifico Motorio (definito da Perfetti quale "insieme delle specificità motorie alterate nel comportamento del soggetto neuroleso", citato da Argüelles et al, (36)), il recupero dei processi cognitivi interessati, la costruzione e l'integrazione delle informazioni essenziali alla soluzione del compito conoscitivo;
- **Modalità:** soluzioni e strategie didattiche adottate con lo scopo di favorire l'acquisizione dei contenuti e la modificazione dell'azione attuale scelta. Includono grado dell'esercizio, posizione del malato, sussidio, modalità informative necessarie a risolvere il problema conoscitivo, facilitazioni (manuali, cognitive, rappresentative), domanda dell'esercizio, istruzioni verbali, strumenti neurocognitivi (quali ad esempio immagine motoria, anticipazione, confronto).

In fase di esercizio il paziente è portato a risolvere un problema conoscitivo attraverso l'attivazione di determinati processi cognitivi, per giungere poi all'individuazione e alla presa di coscienza del tema e delle connessioni di somiglianza e differenza presenti sia nell'esercizio sia nell'azione attuale da modificare (2). Le connessioni sono gli elementi che legano l'esercizio e l'azione prelesionale (o l'azione normale nel caso del bambino con PCI). La ricerca delle connessioni e l'integrazione di queste nell'organizzazione dell'azione attuale permettono la modifica di quest'ultima (36). Durante l'esecuzione dell'esercizio, nel caso dell'adulto, è richiesto al malato di confrontare l'esercizio con l'immagine dell'azione prelesionale a cui esso fa riferimento, suggerendogli di farsi aiutare dal ricordo e dall'immagine di una situazione passata. Questo permette al soggetto di convergere più facilmente l'attenzione alle parti del corpo interessate, alla loro relazione e all'integrazione delle informazioni previste, in modo che l'esercizio assuma per lui un significato concreto (2).

3.2.3 Valutazione finale

La fase di valutazione finale è il momento in cui il tema e le connessioni vengono integrati in funzione dell'azione da modificare e il paziente sperimenta concretamente l'azione grazie all'aiuto del riabilitatore, il quale lo guida attraverso il linguaggio. Ai fini dell'apprendimento la somiglianza è ciò che permette il riconoscimento e corrisponde all'elemento familiare tra le due variabili, mentre la differenza rappresenta invece l'elemento di novità, ossia ciò che conduce ad una conoscenza nuova. Per permettere al malato di acquisire ulteriore consapevolezza rispetto allo svolgimento dell'azione attuale, anche la valutazione finale viene sottoposta ad un confronto. È infatti importante che il terapeuta accerti che quanto riferito dal soggetto in prima persona equivalga ad un'effettiva modifica del suo comportamento e che egli sia in grado di estendere quanto appreso al di fuori del contesto

riabilitativo (2). Il paziente va educato a non confinare allo spazio della palestra quanto appreso in esercizio, ma a sperimentare autonomamente modificazioni, miglioramenti e difficoltà nella vita quotidiana (36).

La guida al confronto attraverso il linguaggio del fisioterapista, sia esso di tipo interrogativo o descrittivo, è necessaria in ogni fase del processo riabilitativo, poiché è inverosimile che il malato possa giungere alla modifica delle proprie azioni attraverso confronti spontanei. Inoltre, è fondamentale che il terapeuta osservi che tipo di operazioni mentali mette in atto il soggetto durante i tentativi di confronto: cosa e dove guarda nell'osservazione su terza persona, come ragiona, quali parole usa nel descrivere quanto osservato, il livello di consapevolezza raggiunto e rispetto a cosa (parte del corpo e/o modalità informativa), come e dove si modifica in seguito al confronto. Il confronto più proficuo si realizza nel momento in cui il malato considera e confronta parallelamente gli aspetti cognitivi, fenomenologici e sensoriali delle proprie azioni (36).

3.3 Risultati

A causa della difficoltà nello standardizzare la valutazione e il trattamento, la letteratura non offre *trial* clinici riguardanti l'applicazione del CTA. Molteplici *case report* sono però riportati all'interno della rivista *Riabilitazione Neurocognitiva* del Centro Studi di Riabilitazione Neurocognitiva (Santorso, VI) e nei libri *La Teoria Neurocognitiva secondo il Confronto Tra Azioni* (36) e *La riabilitazione neurocognitiva nel mondo del bambino* (12).

Capitolo 4: ANALOGIE E DIFFERENZE TRA AOT E CTA

4.1 Analogie

L'AOT e il CTA mirano entrambi al recupero dell'azione, intesa quale insieme di diversi atti motori organizzati in una catena, che portano al raggiungimento di un'intenzione motoria specifica (37).

Nell'AOT è richiesto al soggetto di osservare e imitare azioni significative della vita quotidiana, familiari rispetto all'età del bambino (19) e che rientrano nel suo repertorio motorio (1). Similmente, nel CTA, l'azione da modificare scelta rientra in quella che viene definita Area di Sviluppo Prossimale. Esiste infatti un parallelismo tra l'adulto-educatore, figura che facilita il bambino e ne consente lo sviluppo della conoscenza, e il riabilitatore, il quale guida il malato nel processo di recupero. L'individuazione di quest'area permette al terapeuta di proporre al paziente, sia esso adulto che bambino, problemi conoscitivi proporzionati alle sue capacità. Il malato è così guidato verso la costruzione di adeguate ipotesi percettive, ossia ad ipotizzare anticipatamente a quali informazioni fare riferimento per la risoluzione del compito, che verificherà successivamente attraverso l'esercizio (36).

Nell'AOT il paziente osserva l'azione su terza persona (1). Parallelamente, nel CTA uno dei possibili confronti che possono essere messi in atto prevede l'osservazione, da parte del malato, di diverse azioni svolte dal riabilitatore (36).

4.2 Differenze

L'AOT è fondato sull'apprendimento per imitazione (1), mentre nel CTA è il processo cognitivo del confronto che risulta utile all'apprendimento (2) (36).

Finalità dell'AOT è il recupero della funzione motoria (1). La Teoria Neurocognitiva, alla base del CTA, afferma invece che l'azione rappresenta un atto di conoscenza e che la complessità dell'agire umano racchiude in sé aspetti anche sensitivi e cognitivi, oltre che fenomenologici, compresenti e parte integrante di ogni azione, i quali non possono essere trascurati o separati tra loro nel recupero del paziente (36).

Il target dell'AOT è il sistema dei neuroni specchio, mirando alla riorganizzazione delle rappresentazioni motorie centrali delle azioni (1). Nei bambini l'osservazione sembra suscitare una propensione a preservare la competenza nell'esecuzione del compito, selezionando i movimenti che ne garantiscono il risultato, a prescindere dalla somiglianza cinematica con il modello osservato. L'ipotesi è che i bambini sfruttino la proprietà dei neuroni specchio di attivare una rappresentazione

dell'obiettivo piuttosto che una rappresentazione diretta e dettagliata di ogni sottocomponente del movimento, enfatizzando così l'esecuzione dell'azione nel suo complesso (22). Risulta quindi più corretto parlare di emulazione, ossia di “capacità di ottenere lo stesso risultato attraverso una performance differente”, anziché di imitazione, intesa come “capacità di copiare la performance come tale” (38). Il CTA considera la rappresentazione dell'azione, quale atto complesso, globale ed esteso che prevede la presenza contemporanea di più modalità informative, un numero più ampio di relazioni corporee e di interazioni del corpo con il mondo. Nel paziente adulto viene indagata la capacità di immaginare il proprio corpo all'interno del vissuto prelesionale (rappresentazione dell'azione prelesionale), analizzando di quale tipo di rappresentazione si tratta, i suoi contenuti e l'utilità di questa nel modificare il comportamento patologico. Affinché la rappresentazione dell'azione sia completa essa deve contemplare componenti sensoriali, cognitive e fenomenologiche, deve contenere il corpo e la sua modificabilità, l'intenzione e il risultato dell'azione (36).

Nel CTA le azioni vengono osservate e valutate, oltre che dal riabilitatore, anche dal punto di vista della prima persona, ossia del paziente stesso. Il riabilitatore neurocognitivo osserva le azioni nella loro complessità, indagando ciò che si può osservare visivamente (osservazione in terza persona), sia ciò che si può comprendere riguardo all'organizzazione dell'azione da parte del paziente (osservazione in prima persona), in termini di costruzione dell'informazione, consapevolezza, rappresentazione dell'azione e intenzionalità; successivamente ne individua le relazioni esistenti (36). Diversamente, l'AOT non prevede l'osservazione e la valutazione di quanto riferito dal paziente.

Nel corso della fase di imitazione dell'AOT è previsto che il paziente esegua i diversi atti motori osservati al meglio delle sue possibilità, dopo essere stato informato che il focus del trattamento è l'osservazione dell'azione e non la sua esecuzione (1). Il CTA pone l'attenzione anche a come viene svolta qualitativamente l'azione da parte del paziente, non solo allo scopo (36).

Infine, l'AOT può essere proposto in un contesto di teleriabilitazione (32) (33) (34) (35). Contrariamente il CTA necessita la presenza costante del terapeuta per guidare la qualità dell'attivazione dei processi cognitivi da parte del malato. Inoltre, risulta inverosimile che quest'ultimo sia in grado di mettere in atto in ogni situazione confronti spontanei che conducano alla modifica delle proprie azioni (36).

Capitolo 5: MATERIALI E METODI

Il presente studio si è posto l'obiettivo di comprendere se i bambini con emiplegia congenita sono consapevoli delle alterazioni nello svolgimento delle proprie azioni con l'arto superiore affetto e se esistono delle differenze di movimento dal punto di vista qualitativo, eseguendo una valutazione con AOT e CTA e confrontando quindi i due approcci. L'ipotesi è che esplicitare i processi cognitivi tramite il CTA possa migliorare la consapevolezza del bambino rispetto alle proprie alterazioni, andando così ad agire sulle rappresentazioni cerebrali e di conseguenza modificando la qualità della performance motoria. La sperimentazione, effettuata presso il Laboratorio di Analisi del Movimento dell'UOC di Recupero e Rieducazione Funzionale dell'Ospedale Alto Vicentino di Santorso (VI), consisteva in un'analisi cinematica ed elettromiografica dell'arto superiore plegico di bambini affetti da emiplegia congenita durante un'azione di *pointing*, eseguita prima e dopo una valutazione con AOT e una con CTA. Sono stati inoltre acquisiti i dati cinematici ed elettromiografici dell'arto superiore di bambini a sviluppo normotipico, così da avere i dati di riferimento fisiologici.

5.1 Campione

Sono stati segnalati e contattati 10 soggetti affetti da PCI, di entrambi i sessi, in carico presso l'UOS di Neuropsichiatria Infantile di Schio (VI) e l'UOS di Neuropsichiatria Infantile di Thiene (VI), i quali rispondevano a specifici criteri di inclusione ed esclusione. I criteri di inclusione comprendevano:

- PCI unilaterale confermata al neuroimaging;
- Età compresa tra i 6 e i 17 anni;
- Capacità di comprensione e attenzione sufficienti.

Tra i criteri di esclusione:

- Criteri di inclusione non soddisfatti;
- Deficit cognitivi, visivi e uditivi sufficienti a limitare lo svolgimento delle valutazioni;
- Epilessia non controllata da terapia;
- Chirurgia ortopedica all'arto superiore e/o iniezioni di tossina botulinica nei sei mesi precedenti.

Tra i 10 soggetti individuati ne sono stati reclutati 7, di cui 4 maschi e 3 femmine (Tabella 1), previa firma del consenso alla partecipazione da parte di un genitore. I motivi di esclusione sono stati il rifiuto del genitore, il rifiuto del bambino e l'indisponibilità alla partecipazione a causa di altre indagini cliniche in corso (Figura 1).

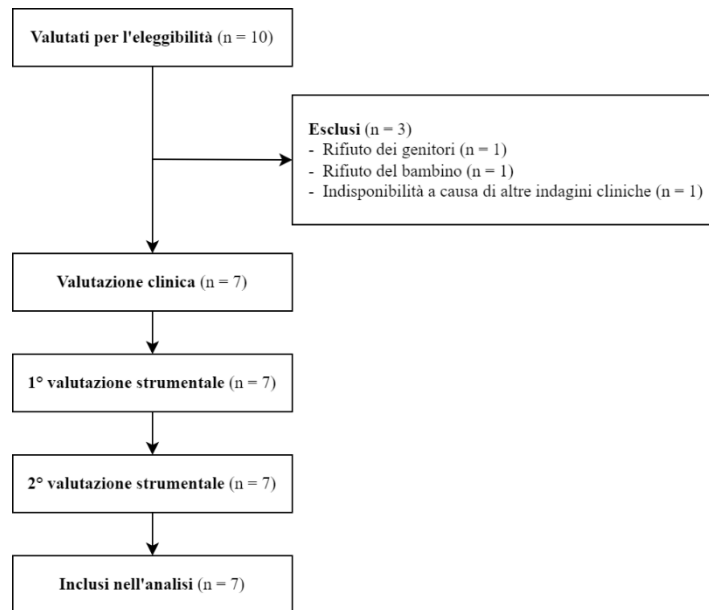


Figura 1 - Flowchart dello studio

Per il gruppo di sani, necessario alla raccolta dei dati fisiologici, sono stati reclutati 6 soggetti, di cui 3 maschi e 3 femmine (Tabella 2), previa firma del consenso alla partecipazione da parte di un genitore. I soggetti sani rispondevano ai seguenti criteri di inclusione:

- Età compresa tra i 6 e i 17 anni;
- Capacità di comprensione e attenzione sufficienti.

Tra i criteri di esclusione:

- Criteri di inclusione non soddisfatti;
- Deficit cognitivi, visivi e uditivi sufficienti a limitare lo svolgimento della valutazione;
- Patologie ortopediche agli arti superiori, neurologiche o metaboliche in atto e/o nei 6 mesi precedenti.

5.2 Valutazione clinica dei pazienti

I pazienti sono stati classificati secondo il *Manual Ability Classification System* (MACS) e il *Gross Motor Function Classification System* (GMFCS). L'arto superiore plegico è stato valutato mediante la *Modified Ashworth Scale* (MAS).

ID	Sesso	Settimane gestazionali	Età (al momento della 1° valutazione)	PCI secondo Hagberg	Reperti radiologici	Patologie associate (codice ICD-10)	MACS	GMFCS	MAS (spalla flex-est/abd-add, gomito, polso)
					Leucomalacia periventricolare con formazioni cistiche periventricolari a corona di rosario (come frontale e cella media dx in sede parietale posteriore sn). Iperintensità seq. a TR lungo della sostanza bianca sottocorticale. Approfonditi i solchi corticali bilaterali in sede fronto-temporale.				
P1	F	32 + 5	12 anni, 6 mesi	Emiplegia destra		F81.9 F98.8	II	II	1 - 1+ 1 2
					Asimmetria cranica con ipoplasia emicranio sn per ampia area porencefalica da esito ischemico in sede fronto-parieto-temporale sn (territorio arteria cerebrale media). Striato il ventricolo omolaterale. Ipofrofia del crus cerebri sn.				
P2	M	40	14 anni, 1 mese	Emiplegia destra		F70 F98.8	III	I	0 - 0 1+ 0
					Polimicrografia fronto-temporo-parietale dx, ectasia e asimmetria volumetrica da trazione dei ventricoli laterali, shift verso dx della linea mediana. Due areole gliotiche contigue zona estremo anteriore della capsula interna dx.				
P3	F	40 + 5	14 anni, 10 mesi	Emiplegia sinistra		H90.3 F98.8	II	I	1 - 0 1 1

Tabella 1 - Dati anamnestici e valutazione clinica dei pazienti

ID	Sesso	Settimane gestazionali	Età (al momento della 1° valutazione)	PCI secondo Hagberg	Reperti radiologici	Patologie associate (codice ICD-10)	MACS	GMFCS	MAS (spalla flex-est/abd-add, gomito, polso)
P4	F	40	13 anni, 7 mesi	Emiplegia destra	In sede parietale sn cavità porencefalica (15 mm) in comunicazione con il ventricolo adiacente, che appare moderatamente dilatato.	-	I	I	0 - 0 0 1+
P5	M	40	10 anni, 3 mesi	Emiplegia destra	Area iperintensa nelle seq. a TR lungo e ipointensa del TR breve da esito ischemico nella zona della capsula interna a sn fino al tetto ventricolare a livello della regione parietale.	-	III	II	1 - 0 1 2
P6	M	40	15 anni, 10 mesi	Emiplegia destra	Area cicatriziale (10 mm) in sede encefalica paraventricolare media sn, con netta attrazione della cella media.	-	I	I	1 - 1 1 1
P7	M	28	13 anni, 3 mesi	Emiplegia destra	-	F70	III	II	1 - 1+ 1+ 2

Tabella 1 - Dati anamnestici e valutazione clinica dei pazienti

ID	Sesso	Età (al momento della valutazione)	Mano Dominante
S1	F	14 anni, 5 mesi	Destra
S2	M	10 anni, 4 mesi	Destra
S3	F	14 anni, 10 mesi	Destra
S4	F	13 anni, 1 mese	Sinistra
S5	M	12 anni, 1 mese	Destra
S6	M	13 anni, 6 mesi	Destra

Tabella 2 - Dati anamnestici dei soggetti sani

5.3 Valutazione strumentale dell'arto superiore

5.3.1 Protocollo di valutazione

La valutazione strumentale dell'arto superiore è stata eseguita mediante l'utilizzo del protocollo *Modified Rab*, che consente di studiare la cinematica degli arti superiori durante l'esecuzione di compiti significativi, unitamente all'attività elettrica prodotta dai muscoli di interesse. L'implementazione di questo protocollo è stata ispirata dal lavoro di Rab (39) e Petuskey (40), i quali hanno introdotto la tecnica di analisi cinematica basata sui marker. Nello specifico, in questo studio, si è scelto di valutare l'azione di *pointing* attraverso la versione del protocollo definita *Rab Pointing*. L'azione di *pointing* prevedeva di indicare con il dito indice il naso di un cane raffigurato in un'immagine (Figura 2).



Figura 2 - Immagine utilizzata per il pointing

5.3.2 Preparazione del soggetto

Ogni soggetto partecipante allo studio, sia paziente che sano, è stato posto seduto senza appoggio posteriore con anche, ginocchia, caviglie a 90°, tronco verticale, palmo di entrambe le mani appoggiato su un tavolo posto davanti e gomiti a circa 90°. Sono stati posizionati 20 marker adesivi fotoriflettenti (BTS Bioengineering Corp, Milano), di cui 16 sul corpo, per la valutazione dei parametri cinematici (Figura 3):

- Testa: un marker a livello del nasion e uno sul processo zigomatico dell'osso frontale (destra e sinistra);
- Tronco: un marker a livello dell'incisura giugulare e uno sull'acromion (destra e sinistra);
- Avambraccio: un marker sull'olecrano, uno sul processo stiloideo del radio e uno sul processo stiloideo dell'ulna (destra e sinistra);
- Mano: un marker tra il secondo e il terzo metacarpo e uno sulla superficie ungueale dell'indice (destra e sinistra);
- Target: un marker al di sopra del target (naso di un cane raffigurato in un'immagine);
- Piano: tre marker ai vertici del tavolo, assicurandosi che questi non siano tra loro allineati, così da permettere una corretta identificazione del piano del target.

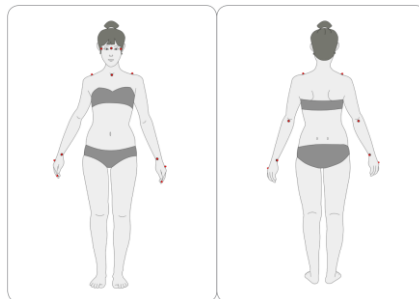


Figura 3 - Vista frontale e posteriore dei marker da posizionare sul paziente secondo il protocollo Modified Rab

Per la raccolta dei dati cinematici sono state utilizzate 6 videocamere a raggi infrarossi BTS SMART DX, ad una frequenza di campionamento di 100 Hz.

L'attività elettrica muscolare è stata registrata mediante un sistema a 5 elettrodi BTS Free EMG 1000 ad una frequenza di 1000 Hz (BTS Bioengineering Corp, Milano). Gli elettrodi bipolari monouso, con sensore circolare in Ag/AgCl (modello Kendall H93SG, Cardinal Health, USA), dimensioni 42 x 24 mm e distanza inter-elettrodo di 20 mm, sono stati posizionati in accordo con le raccomandazioni SENIAM (41), dopo aver deterso la cute con soluzione alcolica. I muscoli presi in esame sono stati:

- Trapezio superiore:
 - Posizione: a metà lungo la linea tra l'acromion e il processo spinoso di C7;
 - Orientamento: lungo la linea che collega l'acromion a C7.
- Deltoide anteriore:
 - Posizione: un dito distalmente e anteriormente rispetto all'acromion;
 - Orientamento: lungo la linea che congiunge l'acromion e il pollice.
- Bicipite brachiale:
 - Posizione: lungo la linea tra il punto mediale dell'acromion e la fossa cubitale, a circa $\frac{1}{3}$ della distanza tra questi due punti a partire dalla fossa cubitale;
 - Orientamento: lungo la linea tra il punto mediale dell'acromion e la fossa cubitale.
- Tricipite brachiale:
 - Posizione: a metà della linea che collega la cresta posteriore dell'acromion e l'olecrano, due dita in direzione mediale;
 - Orientamento: parallelamente alla linea congiungente la cresta posteriore dell'acromion e l'olecrano.

5.3.3 Valutazione dei pazienti

Valutazione con AOT

Durante la prima valutazione dei pazienti, in seguito alla fase di preparazione, è stato posizionato il target sul tavolo di fronte al soggetto sulla linea mediana, ad una distanza pari all'80% della lunghezza del suo arto superiore. Si è poi proseguito con l'acquisizione dei dati, la quale prevedeva due fasi:

- *Static task* (Figura 4): posizionamento di un marker al di sopra del target e richiesta al paziente di mantenere la posizione seduta per 3-5 secondi con palmi in appoggio sul tavolo, gomiti a circa 90°, tronco verticale e sguardo orizzontale, così da permettere al sistema la corretta registrazione della posizione di partenza del soggetto;
- *Pointing task* (Figura 5): rimozione del marker al di sopra del target e richiesta al bambino di toccare il target con il dito indice in modo alternato, iniziando con la mano destra. È stato sottolineato al soggetto di tornare in posizione di partenza con entrambe le mani sul tavolo prima di iniziare la ripetizione successiva. Così facendo il paziente ha eseguito il gesto 4 volte per arto, per un totale di 8 ripetizioni. Successivamente gli è stato chiesto di toccare il target solo con l'indice della mano plegica per 4 volte, ricordandogli di tornare con la mano appoggiata sul tavolo prima dell'esecuzione della ripetizione seguente.

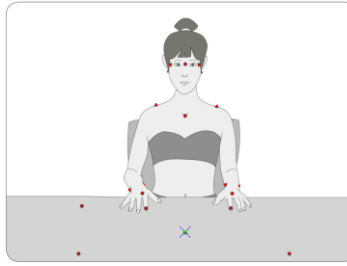


Figura 4 - Static task della versione Rab Pointing del protocollo Modified Rab

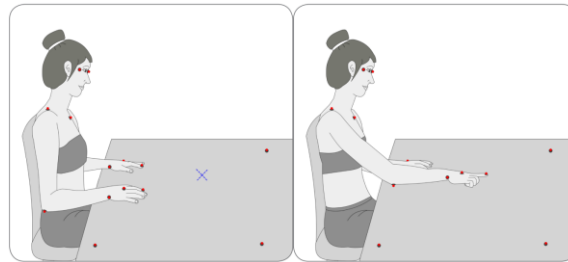


Figura 5 - Pointing task della versione Rab Pointing del protocollo Modified Rab

Dopo l'acquisizione dei dati come suddetto, è stato mostrato al bambino il video, della durata di 1.30 minuti, di un soggetto sano che compie per 4 volte la medesima azione di *pointing* dalla prospettiva frontale e laterale, con l'arto corrispondente a quello plegico del paziente (a specchio nel caso della prospettiva frontale) (Figura 6). Lo schermo da cui è stato mostrato il video era posizionato sul tavolo davanti al paziente e misurava 15.6 pollici. È stato detto al bambino di guardare con attenzione tutto ciò che avrebbe visto perché poi gli sarebbe stato chiesto di eseguire quanto osservato. Dopo la visione del video è stata eseguita un'ulteriore acquisizione, chiedendogli di toccare il target con l'indice della mano plegica per 4 volte, specificando di eseguire l'azione nello stesso modo in cui aveva visto fare dal soggetto nel video.



Figura 6 - Azione osservata dai pazienti durante valutazione con AOT

Valutazione con CTA

La seconda valutazione è stata effettuata tra le due e le tre settimane successive alla prima e ha previsto l'esecuzione analoga di quanto svolto durante quest'ultima, sempre fornendo precise indicazioni: fase di preparazione, posizionamento del target, esecuzione di *static task* e *pointing task*.

Sono state poi mostrate a video tre azioni di *pointing* svolte da un soggetto sano, dalla prospettiva frontale (a specchio) e laterale, le quali erano così suddivise:

- Azione normale: azione svolta fisiologicamente dal soggetto sano (Figura 7);
- Azione attuale: azione con le stesse alterazioni osservate nel paziente in esame (esempio in Figura 8);
- Azione con altro tipo di errori: azione con alterazioni diverse rispetto a quelle del paziente (Figura 9).

I video sono stati mostrati dallo stesso schermo da cui è stato fatto osservare il video della valutazione precedente, posizionato alla medesima distanza, ma il soggetto era differente, così da evitare l'influenzarsi delle due prove. È stato detto al bambino di osservare con attenzione tutto ciò che avrebbe visto perché poi gli sarebbero state poste alcune domande. Dopo la visione dei video si è proseguito con specifiche domande (Figura 10). In caso di risposta errata si riproponeva la visione dei video, per un massimo di due volte, con lo scopo di arrivare al riconoscimento dell'azione normale, di quella attuale e delle differenze presenti tra esse (almeno una). Nel caso in cui le individuava correttamente si passava a:

- Verifica 1 con acquisizione dei dati: richiesta di indicare il naso del cane per 4 volte solo con l'indice della mano plegica, esplicitando di fare attenzione alle differenze emerse;
- Aiuto manuale: richiesta di indicare il naso del cane per 4 volte solo con l'indice della mano plegica facendosi guidare manualmente dalla terapeuta, specificando di sentire a livello corporeo le differenze prima dette;
- Verifica 2 con acquisizione dei dati: richiesta di indicare il naso del cane per 4 volte solo con l'indice della mano plegica, esplicitando di fare attenzione alle differenze emerse e percepite durante l'aiuto manuale.

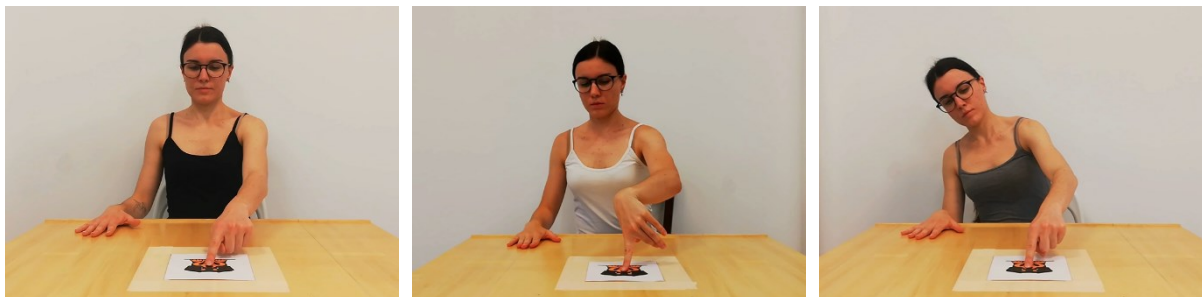


Figure 7, 8, 9 - Esempio di azione normale, azione attuale e azione con altro tipo di errori osservate dai pazienti durante valutazione con CTA

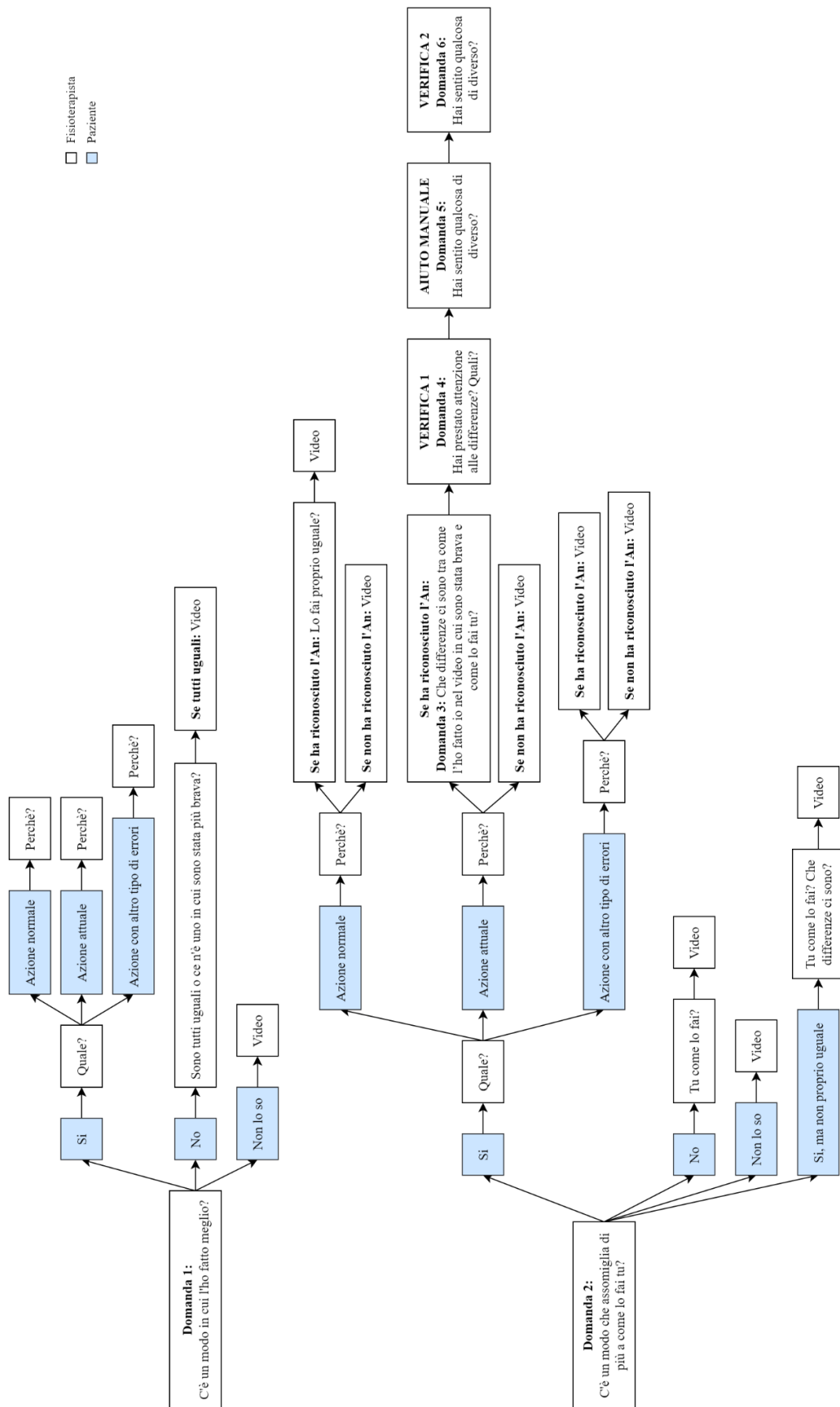


Figura 10 - Flowchart valutazione con CTA

5.3.4 Valutazione dei soggetti sani

Parimenti a quanto svolto dai pazienti, dopo la fase di preparazione, è stato posizionato il target sul tavolo di fronte al soggetto sulla linea mediana, ad una distanza pari all'80% della lunghezza dell'arto superiore. Si è poi proseguito con l'acquisizione dei dati mediante l'esecuzione di *static task* e *pointing task* fornendo specifiche indicazioni. Nella fase di *pointing task* è stato chiesto ai sani di:

- Toccare il target con il dito indice in modo alternato per un totale di 8 ripetizioni (4 volte per arto), iniziando con la mano destra;
- Toccare il target con il dito indice della mano destra per 4 volte;
- Toccare il target con il dito indice della mano sinistra per 4 volte.

Come sottolineato ai pazienti, è stato indicato ai soggetti sani di tornare con la mano appoggiata sul tavolo prima di eseguire la ripetizione successiva. Successivamente sono state mostrate a video tre azioni di *pointing* svolte dallo stesso soggetto sano rappresentato nei video osservati dai pazienti durante la seconda valutazione. Le azioni a video sono state eseguite con l'arto corrispondente a quello non dominante del bambino in esame e presentate dalla prospettiva frontale (a specchio) e laterale, così suddivise:

- Azione normale: azione svolta fisiologicamente dal soggetto sano, la quale in questo caso corrisponde all'azione attuale;
- Due azioni con diversi tipi di errori.

Il setting predisposto per l'osservazione dei video è stato il medesimo proposto durante le valutazioni dei pazienti, sottolineando al soggetto di osservare con attenzione tutto ciò che avrebbe visto perché poi gli sarebbero state poste alcune domande. Queste ultime corrispondevano alle domande 1 e 2 (Figura 10) rivolte ai pazienti.

5.4 Analisi dei dati

5.4.1 Analisi ed elaborazione dei dati in laboratorio

I dati cinematici analogici ricavati dalle acquisizioni sono stati sincronizzati tra loro e archiviati attraverso il software BTS SMART capture versione 1.10.470.0 (BTS Bioengineering Corp, Milano) ed esportati in un archivio .tdf per la successiva elaborazione. Per processare e analizzare i dati relativi alla cinematica è stato utilizzato il software BTS SMART analyzer. L'analisi dell'attività elettromiografica è stata effettuata mediante il software BTS SMART analyzer versione 1.10.470.0 (BTS Bioengineering Corp, Milano). I segnali sono stati pre-processati con l'utilizzo di un filtro Butterworth passa alto con frequenza di taglio a 20 Hz e un filtro Butterworth passa basso a 450 Hz.

5.4.2 Dati quantitativi

Si è scelto di analizzare i dati raccolti durante l'azione di *pointing* con l'arto plegico per i pazienti, escludendo le acquisizioni con i due arti alternati, e quelli raccolti durante il *pointing* con l'arto non dominante per i soggetti sani, escludendo le acquisizioni con i due arti alternati e con il solo arto dominante. Tra tutti i parametri cinematici acquisiti tramite l'analisi del movimento si è scelto di selezionare (Allegato 1):

- Durata ciclo del movimento (*Movement Cycle Time, MC*) - secondi: durata del movimento dall'inizio della fase di andata alla fine della fase di ritorno;
- Indice di curvatura (*Index of Curvature, IC*): rettilineità del movimento durante la fase di andata. Un IC uguale a 1 indica un movimento perfettamente rettilineo;
- Velocità media di movimento (*Mean Movement Velocity, MMV*) - metri al secondo: velocità media del marker posizionato sull'indice durante la fase di movimento. L'aumento della MMV indica generalmente un miglioramento della performance;
- Oscillazione di aggiustamento (*Adjusting Sway, AS*) - millimetri: movimenti di aggiustamento effettuati per raggiungere il target. L'AS diminuisce con l'aumentare della precisione del movimento;
- Allungamento del braccio (*Arm Elongation, AE*) - %: contributo del braccio al raggiungimento del target, calcolato come la differenza tra il movimento in avanti di mano e spalla e il movimento in avanti della sola mano;
- Flessione anteriore del tronco (*Trunk Forward Inclination, TF*) - %: contributo del tronco nel raggiungimento del target, espresso come rapporto percentuale tra lo spostamento in avanti dello sterno e l'avanzamento della mano;
- *Range of motion* (ROM) in flesso-estensione della spalla (FES) - gradi;
- ROM in abduzione-adduzione della spalla (AAS) - gradi;
- ROM in flesso-estensione del gomito (FEG) - gradi.

La variabile oscillazione di aggiustamento del soggetto P5, rilevata durante la seconda valutazione, è stata esclusa dall'analisi statistica in quanto presentava valori anomali causati da problemi di *flickering* durante l'acquisizione. I parametri di pazienti e sani sono stati raccolti all'interno di una tabella Excel e analizzati mediante il software R ver. 4.3.1. È stata eseguita un'analisi descrittiva delle variabili, riportando minimo, massimo, mediana e media. Attraverso lo *Shapiro-Wilk normality test* si è verificata la distribuzione delle variabili relative ai pazienti, riportando W e p-value (Allegato 2). Nel caso di distribuzione normale, per analizzare singolarmente l'efficacia di AOT, CTA e aiuto

manuale, si è proceduto utilizzando il *Paired t-test*, accoppiando tra loro le variabili pre- e post-valutazione (t0-t1 per l'AOT, T0-T1 per il CTA, T1-T2 per l'aiuto manuale). Media, deviazione standard e p-value sono stati poi trascritti all'interno di una tabella. Nel caso di variabili con distribuzione non normale si è proceduto con l'analisi statistica tramite il *Wilcoxon's signed rank test*, riportando il p-value. Prima dell'esecuzione dei test si è decisa l'ipotesi alternativa a seconda che ci si aspettasse un aumento (differenza < 0) o una diminuzione (differenza > 0) della media delle diverse variabili, sulla base di quella dei soggetti sani. Per confrontare l'efficacia di AOT e CTA sono state inizialmente calcolate le differenze tra prima e dopo l'applicazione del singolo approccio, verificandone la distribuzione attraverso lo *Shapiro-Wilk normality test* e riportando W e p-value (Allegato 2). Come eseguito precedentemente si è proceduto con il *Paired t-test* nel caso di distribuzione normale, riportando media, deviazione standard e p-value, e con il *Wilcoxon's signed rank test* nel caso di distribuzione non normale, riportando il p-value. Così come per l'analisi dei singoli approcci, è stata scelta l'ipotesi alternativa a seconda che ci si aspettasse un aumento, una diminuzione o una generale modifica delle variabili (*two-sided*), sulla base della media dei dati dei soggetti sani. Per l'analisi dei dati inerenti al riconoscimento dell'azione normale e di quella attuale da parte di pazienti e sani è stato impiegato il *Fisher's exact test*, riportando il p-value.

5.4.3 Dati qualitativi

Le risposte fornite da ogni bambino durante le due valutazioni sono state raccolte all'interno di tabelle così suddivise: attenzione del paziente durante valutazione con AOT, differenze individuate dai pazienti e con aiuto della terapeuta durante valutazione con CTA, attenzione alle differenze durante l'esecuzione del *pointing* dopo confronto, percezione della modifica durante aiuto manuale e successiva esecuzione del *pointing*. Si è deciso di riportare sia i dati di quanto detto verbalmente sia di quanto mimato, al fine di individuare a quali distretti e aspetti dell'azione è rivolta, o riesce ad essere rivolta, l'attenzione del paziente e se questa può modificarne la successiva esecuzione e percezione. Rispetto ai grafici ottenuti dall'attività elettromiografica si è scelto di valutare visivamente il timing di attivazione dei muscoli in esame tra la fase di andata e quella di ritorno del *pointing*, comparando l'andamento delle curve dei sani con quelle dei pazienti e studiando l'evoluzione di questi ultimi pre- e post-valutazioni.

Capitolo 6: RISULTATI

6.1 Campione

È stata eseguita un'analisi descrittiva del campione di pazienti e soggetti sani, sotto riportata.

Variabile		Pazienti	Sani
Sesso	Maschi	4	3
	Femmine	3	3
Età	Min	10	10
	Max	15	14
	Mediana	13	13
	Media	13	12.67

Tabella 3 - Statistica descrittiva del campione

6.2 Dati quantitativi

In accordo con la letteratura (42), rispetto al gruppo di coetanei con sviluppo tipico, il gruppo di bambini emiplegici ha presentato mediamente maggiore durata del ciclo di movimento, velocità esecutiva inferiore, ridotta rettilinearità e fluidità della traiettoria, minore estensione del gomito con aumento dei movimenti del tronco, tra cui un'eccessiva flessione, nelle azioni di *reaching*.

6.2.1 Valutazione con AOT

La seguente tabella riporta media, deviazione standard, ipotesi alternativa e p-value dei test statistici realizzati tra le variabili prima e dopo la valutazione con AOT. Nessun test ha presentato significatività statistica.

Variabile	Media	Deviazione standard	Ipotesi alternativa	p-value
t0 MC	2.998571	0.8672644	Differenza > 0	0.913
t1 MC	3.277143	0.6218980		
t0 MC	2.998571	0.8672644	Differenza < 0	0.0869
t1 MC	3.277143	0.6218980		
t0 IC	1.271429	0.08896227	Differenza > 0	0.227
t1 IC	1.242857	0.09050125		
t0 MMV	-	-	Differenza < 0	0.925
t1 MMV	-	-		
t0 MMV	-	-	Differenza > 0	0.102
t1 MMV	-	-		
t0 AS	18.68571	7.385443	Differenza > 0	0.484
t1 AS	18.58571	6.130097		
t0 AE	53.04714	18.03301	Differenza < 0	0.437
t1 AE	53.41000	15.84240		
t0 TF	34.37000	17.86046	Differenza > 0	0.361
t1 TF	33.35571	15.17708		

t0 FES	57.30143	14.32167	Differenza < 0	0.688
t1 FES	55.79714	13.16089		
t0 FES	57.30143	14.32167	Differenza > 0	0.312
t1 FES	55.79714	13.16089		
t0 AAS	12.29857	6.585569	Differenza > 0	0.61
t1 AAS	12.67143	6.672889		
t0 FEG	-	-	Differenza < 0	0.344
t1 FEG	-	-		

Tabella 4 - Risultati statistica AOT

6.2.2 Valutazione con CTA

La tabella successiva riunisce media, deviazione standard, ipotesi alternativa e p-value dei test statistici effettuati tra le variabili pre- e post-confronto tra i video.

Variabile	Media	Deviazione standard	Ipotesi alternativa	p-value
T0 MC	3.081429	0.7764112	Differenza > 0	0.976
T1 MC	3.497143	1.0771059		
T0 MC	3.081429	0.7764112	Differenza < 0	0.0245
T1 MC	3.497143	1.0771059		
T0 IC	1.371429	0.1217140	Differenza > 0	0.0157
T1 IC	1.175714	0.1750102		
T0 MMV	0.2685714	0.05550633	Differenza < 0	0.788
T1 MMV	0.2514286	0.07646973		
T0 MMV	0.2685714	0.05550633	Differenza > 0	0.212
T1 MMV	0.2514286	0.07646973		
T0 AS	15.86667	5.010256	Differenza > 0	0.865
T1 AS	23.03333	12.161195		
T0 AE	53.73714	21.79507	Differenza < 0	0.0309
T1 AE	57.51429	20.08421		
T0 TF	34.15571	21.92518	Differenza > 0	0.103
T1 TF	30.59286	20.02833		
T0 FES	60.43143	12.31720	Differenza < 0	0.991
T1 FES	53.92286	10.24627		
T0 FES	60.43143	12.31720	Differenza > 0	0.00882
T1 FES	53.92286	10.24627		
T0 AAS	11.81429	5.081003	Differenza > 0	0.385
T1 AAS	11.24857	5.966812		
T0 FEG	36.34571	11.291454	Differenza < 0	0.00195
T1 FEG	42.39429	9.402393		

Tabella 5 - Risultati statistica CTA

L'analisi statistica della durata del ciclo di movimento (MC), dell'indice di curvatura (IC), della percentuale di allungamento del braccio (AE), della flessione-estensione di spalla (FES) e gomito (FEG) ha riscontrato una differenza statisticamente significativa tra prima e dopo.

Sono stati poi eseguiti i test tra le variabili pre- e post-aiuto manuale, il cui esito è riportato di seguito.

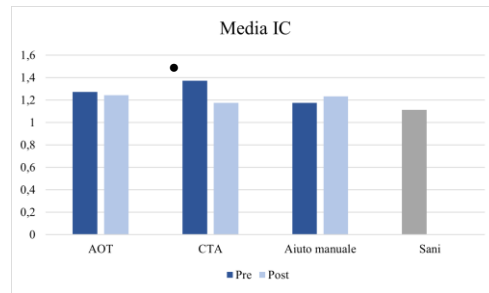
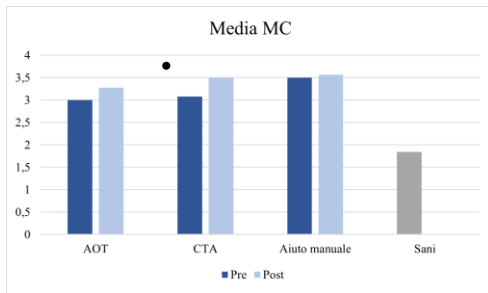
Variabile	Media	Deviazione standard	Ipotesi alternativa	p-value
T1 MC	3.497143	1.077106	Differenza > 0	0.803
T2 MC	3.567143	1.078946		
T1 MC	3.497143	1.077106	Differenza < 0	0.197
T2 MC	3.567143	1.078946		
T1 IC	1.175714	0.1750102	Differenza > 0	0.879
T2 IC	1.234286	0.1985663		
T1 MMV	0.2514286	0.07646973	Differenza < 0	0.773
T2 MMV	0.2442857	0.07044079		
T1 MMV	0.2514286	0.07646973	Differenza > 0	0.227
T2 MMV	0.2442857	0.07044079		
T1 AS	23.03333	12.16120	Differenza > 0	0.597
T2 AS	25.13333	14.52538		
T1 AE	57.51429	20.08421	Differenza < 0	0.292
T2 AE	58.67286	16.60739		
T1 TF	30.59286	20.02833	Differenza > 0	0.0953
T2 TF	27.35000	16.91184		
T1 FES	53.92286	10.24627	Differenza < 0	0.461
T2 FES	53.98286	10.57358		
T1 FES	53.92286	10.24627	Differenza > 0	0.539
T2 FES	53.98286	10.57358		
T1 AAS	11.24857	5.966812	Differenza > 0	0.972
T2 AAS	12.74714	6.203015		
T1 FEG	42.39429	9.402393	Differenza < 0	0.023
T2 FEG	47.20143	12.039931		

Tabella 6 - Risultati statistica aiuto manuale

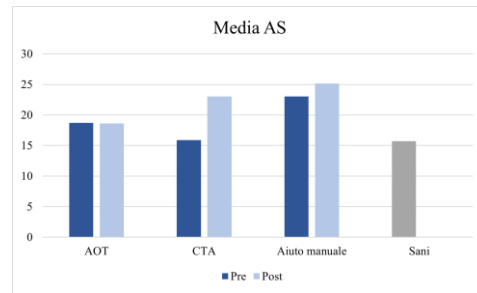
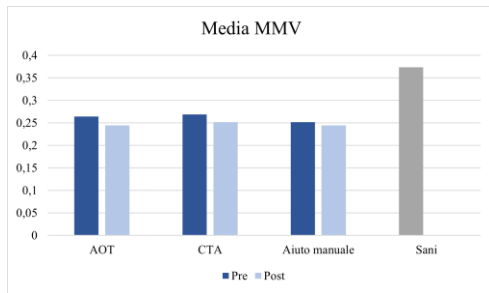
La flessione-estensione del gomito (FEG) ha presentato una differenza statisticamente significativa tra prima e dopo l'aiuto manuale.

6.2.3 Confronto tra AOT e CTA

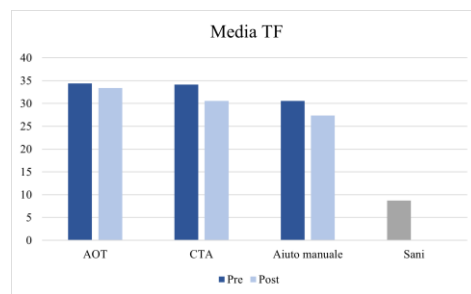
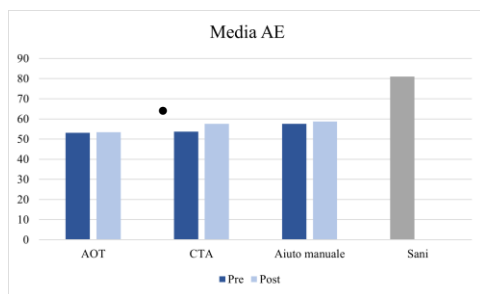
I grafici sottostanti permettono di comprendere l'andamento della media dei parametri pre- e post-valutazioni rispetto a quella dei soggetti sani, al di là della significatività statistica (indicata dal simbolo ●). Diversamente da quanto ci si aspettava inizialmente, la durata del ciclo di movimento (Grafico 1) e l'oscillazione di aggiustamento (Grafico 4) hanno subito un generale aumento post-AOT, confronto e aiuto manuale, mentre la velocità media di movimento è diminuita (Grafico 3). Nonostante la mancanza di significatività statistica, la flessione anteriore del tronco è diminuita maggiormente grazie all'applicazione del CTA (Grafico 6). La flessione-estensione della spalla ha subito una drastica riduzione post-CTA (Grafico 7).



Grafici 1 e 2 - Media pazienti e sani durata ciclo del movimento e indice di curvatura



Grafici 3 e 4 - Media pazienti e sani velocità media di movimento e oscillazione di aggiustamento



Grafici 5 e 6 - Media pazienti e sani allungamento del braccio e flessione anteriore del tronco

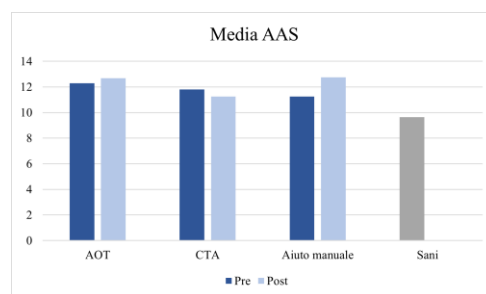
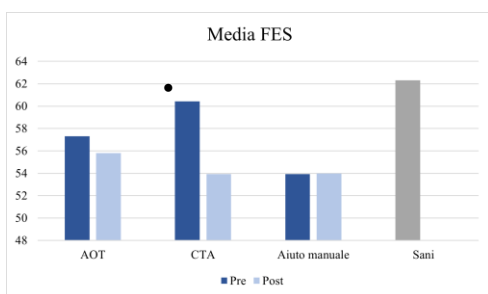


Grafico 7 e 8 - Media pazienti e sani ROM in flessione-estensione e abduzione-adduzione della spalla

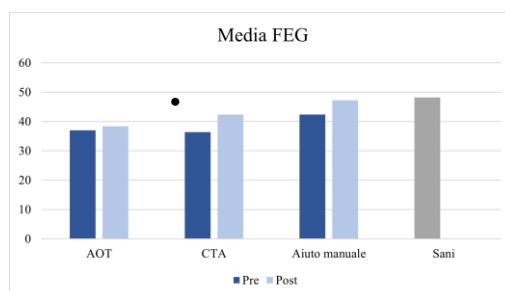


Grafico 9 - Media pazienti e sani ROM in flessione-estensione del gomito

I seguenti risultati si riferiscono all'analisi statistica svolta con lo scopo di mettere a confronto l'efficacia di AOT e CTA.

Variabile	Media	Deviazione standard	Ipotesi alternativa	p-value
Diff.t0t1 MC	-0.2785714	0.4777527	Two-sided	0.66
Diff.T0T1 MC	-0.4157143	0.4467608		
Diff.t0t1 MC	-0.2785714	0.4777527	Differenza < 0	0.67
Diff.T0T1 MC	-0.4157143	0.4467608		
Diff.t0t1 IC	0.02857143	0.0944155	Two-sided	0.0211
Diff.T0T1 IC	0.19571429	0.1853696		
Diff.t0t1 IC	0.02857143	0.0944155	Differenza < 0	0.0105
Diff.T0T1 IC	0.19571429	0.1853696		
Diff.t0t1 MMV	0.02000000	0.03829708	Two-sided	0.914
Diff.T0T1 MMV	0.01714286	0.05282496		
Diff.t0t1 MMV	0.02000000	0.03829708	Differenza > 0	0.457
Diff.T0T1 MMV	0.01714286	0.05282496		
Diff.t0t1 AS	0.100000	6.141118	Two-sided	0.319
Diff.T0T1 AS	-7.166667	14.147179		
Diff.t0t1 AS	0.100000	6.141118	Differenza < 0	0.84
Diff.T0T1 AS	-7.166667	14.147179		
Diff.t0t1 AE	-0.3628571	5.758402	Two-sided	0.302
Diff.T0T1 AE	-3.7771429	4.361830		
Diff.t0t1 AE	-0.3628571	5.758402	Differenza > 0	0.151
Diff.T0T1 AE	-3.7771429	4.361830		
Diff.t0t1 TF	1.014286	7.180025	Two-sided	0.563
Diff.T0T1 TF	3.562857	6.635407		
Diff.t0t1 TF	1.014286	7.180025	Differenza < 0	0.281
Diff.T0T1 TF	3.562857	6.635407		
Diff.t0t1 FES	-	-	Two-sided	0.219
Diff.T0T1 FES	-	-		
Diff.t0t1 FES	-	-	Differenza > 0	0.922
Diff.T0T1 FES	-	-		
Diff.t0t1 AAS	-0.3728571	3.386742	Two-sided	0.381
Diff.T0T1 AAS	0.5657143	4.896866		
Diff.t0t1 AAS	-0.3728571	3.386742	Differenza < 0	0.191
Diff.T0T1 AAS	0.5657143	4.896866		
Diff.t0t1 FEG	-1.358571	8.684546	Two-sided	0.198
Diff.T0T1 FEG	-6.048571	3.518899		
Diff.t0t1 FEG	-1.358571	8.684546	Differenza > 0	0.099
Diff.T0T1 FEG	-6.048571	3.518899		

Tabella 7 - Risultati sull'efficacia a confronto di AOT e CTA

L'indice di curvatura ha mostrato una differenza statisticamente significativa.

6.2.4 Riconoscimento azione normale e azione attuale

Le tabelle sottostanti descrivono i risultati inerenti al riconoscimento dell'azione normale e di quella attuale da parte dei pazienti, proposta durante la valutazione con CTA, e dei soggetti sani. Più precisamente, la prima tabella fa riferimento alla domanda "C'è un modo in cui l'ho fatto meglio?", mentre la seconda alla domanda "C'è un modo che assomiglia di più a come lo fai tu?". I risultati dei test non hanno presentato significatività statistica.

	Ricon. An = no	Ricon. An = sì	p-value
Emiplegia = no	0	6	0.462
Emiplegia = sì	2	5	

Tabella 8 - Riconoscimento dell'azione normale da parte di pazienti e soggetti sani

La totalità dei sani è stata in grado di riconoscere l'azione normale. Diversamente è avvenuto per i pazienti, tra i quali 2 su 7 non sono stati in grado di identificarla correttamente.

	Ricon. Aa = no	Ricon. Aa = sì	p-value
Emiplegia = no	0	6	0.0699
Emiplegia = sì	4	3	

Tabella 9 - Riconoscimento dell'azione attuale da parte di pazienti e soggetti sani

Analogamente a quanto accaduto per l'azione normale, tutti i sani hanno riconosciuto l'azione attuale, la quale invece non è stata individuata dalla prevalenza dei pazienti (4 su 7).

6.3 Dati qualitativi

6.3.1 Valutazione con AOT

Nella seguente tabella sono riportate le risposte dei pazienti alla domanda "Adesso che l'hai rifatto, hai cambiato qualcosa rispetto a prima per farlo uguale a Filippo? O hai fatto attenzione a qualcosa in particolare?", proposta dopo la visione del video.

ATTENZIONE VIDEO AOT								
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Velocità	No	Si, non specificato
P1							X	
P2			X					
P3						X		
P4	X	X			X	X		
P5								X
P6							X	
P7					X			
Tot	1	1	1	0	2	2	2	1

Tabella 10 - Attenzione dei pazienti durante l'osservazione del video

I risultati dimostrano come alcuni bambini con emiplegia congenita siano stati in grado di individuare spontaneamente delle differenze, ossia di mettere in atto un confronto, tra il proprio modo di eseguire l'azione e quanto osservato su terza persona durante la valutazione con AOT.

6.3.2 Valutazione con CTA

La tabella sottostante raccoglie le risposte alla domanda “Che differenze ci sono tra come l’ho fatto io nel video in cui sono stata brava, cioè il video dove ho la canotta nera, e come lo fai tu?”, rivolta successivamente alla visione dei video.

DIFFERENZE INDIVIDUATE							
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Velocità	Direzione arto
P1					X	X	
P2				X	X	X	
P3						X	X
P4	X	X		X	X		X
P5				X	X		
P6							X
P7					X		
Tot	1	1	0	3	5	3	3

Tabella 11 - Differenze individuate dai pazienti dopo l'osservazione dei video

Le risposte fornite dai pazienti provano come le differenze individuate da parte di questi ultimi fossero perlopiù riferite ai distretti distali dell'arto, quali polso, mano e dita. La successiva tabella riunisce invece le differenze riconosciute dai pazienti grazie al supporto verbale della terapeuta, la quale ha indirizzato l'attenzione di questi verso i distretti non ancora emersi, con domande adattate al singolo bambino.

DIFFERENZE INDIVIDUATE CON GUIDA VERBALE							
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Velocità	Direzione arto
P1	X	X	X				
P2	X		X				
P3	X		X				
P4			X				
P5	X	X	X				
P6		X					
P7	X		X	X			
Tot	5	3	6	1	0	0	0

Tabella 12 - Differenze individuate dai pazienti dopo l'osservazione dei video con guida verbale

Ciò che emerge è un'attenzione mirata ai distretti prossimali, ossia tronco, spalla e gomito. Si sottolinea come quest'ultimo non sia stato precedentemente nominato da nessun paziente. Alla domanda successiva all'esecuzione del *pointing* post-confronto, ovvero “Hai prestato attenzione alle differenze? Quali?”, i bambini hanno risposto come esposto nella seguente tabella.

ATTENZIONE ALLE DIFFERENZE INDIVIDUATE									
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Velocità	Direzione arto	No	Si, non specificato
P1									X
P2								X	
P3			X						
P4	X	X			X				
P5				X					
P6									X
P7				X					
Tot	1	1	1	2	1	0	0	1	2

Tabella 13 - Attenzione dei pazienti alle differenze individuate durante l'esecuzione del *pointing* dopo confronto

Ciò mette in evidenza come l'attenzione alle differenze precedentemente individuate sia stata difficilmente mantenuta durante il *pointing* successivo. La tabella posta sotto fa riferimento alle risposte dei pazienti alla domanda "Hai sentito qualcosa di diverso?", posta in seguito all'esecuzione del *pointing* svolto con aiuto manuale da parte della fisioterapista.

PERCEZIONE DELLA MODIFICA DURANTE AIUTO MANUALE								
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Fluidità	No	Si, non specificato
P1			X					
P2		X	X			X		
P3			X					
P4				X		X		
P5	X		X	X				
P6		X						
P7	X	X	X	X				
Tot	2	3	5	3	0	2	0	0

Tabella 14 - Percezione della modifica da parte dei pazienti durante aiuto manuale

I risultati suggeriscono come l'aiuto manuale abbia influito su quanto percepito dai pazienti a livello corporeo, soprattutto rispetto all'estensione del gomito. Come la tabella precedente anche la successiva comprende le risposte alla domanda "Hai sentito qualcosa di diverso?", ma raccolte in seguito all'esecuzione del *pointing* post-aiuto manuale.

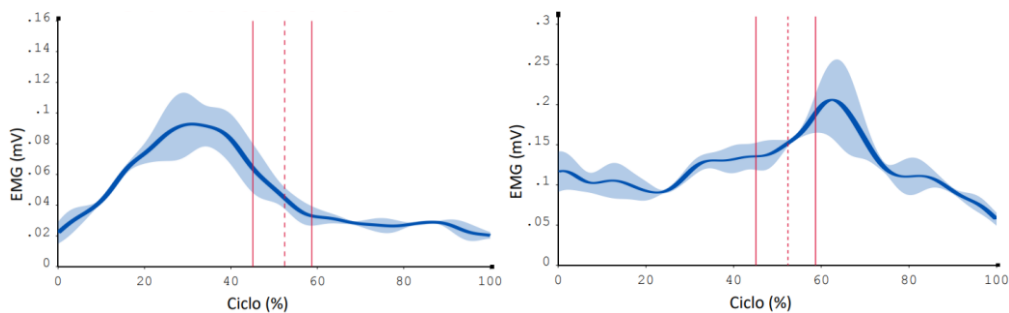
PERCEZIONE DELLA MODIFICA DOPO AIUTO MANUALE								
ID	Tronco	Spalla	Gomito	Polso	Mano/dita	Fluidità	No	Si, non specificato
P1							X	
P2								X
P3			X					
P4						X		
P5				X				
P6		X						
P7		X	X	X				
Tot	0	2	2	2	0	1	1	1

Tabella 15 - Percezione della modifica da parte dei pazienti dopo aiuto manuale

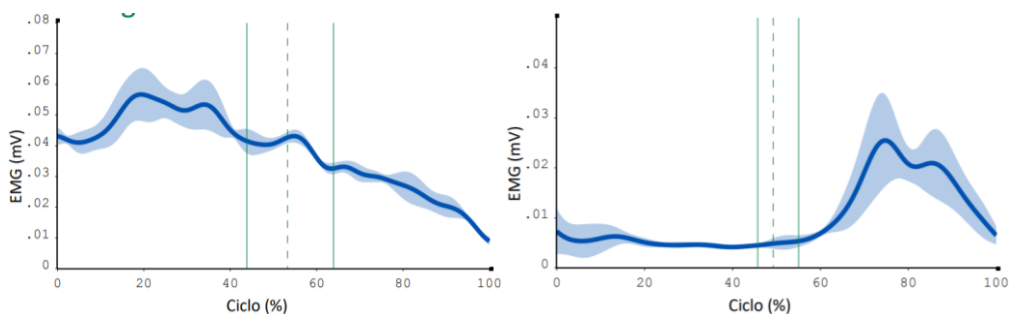
Confrontando quest'ultima tabella con la precedente è possibile osservare come la percezione della modifica nell'esecuzione del *pointing* con aiuto manuale non sia stata mantenuta nella successiva esecuzione, nonostante prima di questa il paziente sia stato invitato a prestare attenzione alle differenze riscontrate, esplicitando quali.

6.3.3 Elettromiografia di superficie

I grafici dell'EMG di superficie relativi ai soggetti sani mostrano tendenzialmente un andamento comune, con una maggiore attivazione del deltoide anteriore durante la fase di andata (esempio in Grafico 10) e una maggiore attivazione dei fasci discendenti del trapezio in fase di ritorno (esempio in Grafico 11). Dai grafici relativi ai pazienti si osserva come in 6 bambini su 7 l'attivazione del deltoide anteriore sia aumentata in fase di andata (esempio in Grafico 12) e quella del bicipite brachiale sia aumentata in fase di ritorno in 5 bambini su 7 (esempio in Grafico 13). Tramite osservazione dei grafici pre- e post-AOT e CTA non si riscontrano differenze rilevanti nell'andamento delle curve.



Grafici 10 e 11 - Deltoide anteriore e trapezio discendente dell'arto non dominante di S1



Grafici 12 e 13 - Deltoide anteriore e bicipite brachiale dell'arto paretico di P6

Capitolo 7: DISCUSSIONE

L'obiettivo dello studio era quello di comprendere se l'applicazione di AOT e CTA in fase valutativa è in grado di condurre ad una modifica cinematica ed elettromiografica, ossia qualitativa, del movimento eseguito e se i bambini con emiplegia congenita sono consapevoli delle alterazioni nello svolgimento delle proprie azioni con l'arto superiore affetto.

Contrariamente agli studi presenti in letteratura relativi all'impiego di AOT in bambini affetti da emiplegia congenita non in un contesto teleriabilitativo (19) (20) (21) (22) (24), non sono state ottenute differenze statisticamente significative tra prima e dopo l'applicazione dell'approccio (Tabella 4). Questa differenza potrebbe essere dovuta al fatto che il presente studio è progettato sulla base di una singola valutazione, mentre gli studi pubblicati propongono un ciclo di trattamento con possibilità di successivi *follow-up*. Ulteriore elemento da prendere in esame è come i *trial* clinici con AOT mirino all'incremento dell'uso dell'arto superiore plegico stimato tramite scale di valutazione e questionari, in quanto si sostiene che l'osservazione dell'azione elicitò una propensione nel preservare la competenza, portando il bambino a selezionare movimenti che garantiscano il risultato a prescindere dalla somiglianza cinematica con il modello osservato (22). Sgandurra et al ipotizzano che il bambino sfrutti le proprietà dei neuroni specchio per attivare una rappresentazione dell'obiettivo, enfatizzando così l'esecuzione dell'azione nel suo complesso (22). Come sostenuto da Ferrari (38), è perciò necessario differenziare l'emulazione, quale "capacità di ottenere lo stesso risultato attraverso una performance differente" e la "capacità di copiare la performance come tale", ossia l'imitazione. Scopo invece della presente tesi è quello di misurare la qualità di movimento dell'arto attraverso un'analisi cinematica ed elettromiografica. Un unico studio è ricorso all'analisi del movimento, prevedendo però la combinazione di AOT e mCIMT (30). È stato dimostrato come aggiungere l'AOT alla mCIMT comporti una riduzione di circa il 7-15% del tempo di movimento durante un'azione di raggiungimento verso l'alto, valore considerato irrisorio quanto a rilevanza clinica. L'accostamento dei due approcci ha inoltre mostrato un aumento nell'inclinazione anteriore della scapola durante un'azione di presa. Gli autori sostengono che questo compenso prossimale può essersi verificato a scapito di una presa migliore, la quale però non è stata oggetto di valutazione. Nel complesso i risultati suggeriscono un effetto aggiuntivo molto limitato dell'AOT quando combinato ad un programma come quello proposto dalla mCIMT (30), con un esiguo potenziale nel migliorare la cinematica dell'arto superiore.

La valutazione con CTA ha permesso di ottenere risultati statisticamente significativi a T1 nelle variabili MC, IC, AE, FES e FEG. La durata dell'intero ciclo di movimento (MC) ha mostrato un

aumento statisticamente significativo successivamente al confronto e non un calo come inizialmente supposto. La necessità di porre attenzione alle differenze rispetto all'azione normale può rappresentarne un valido motivo, così come per la velocità media di movimento (MMV) che, pur in assenza di significatività statistica, è diminuita anziché aumentare. Rispetto all'indice di curvatura (IC) si è verificata una diminuzione significativa del valore, indicando come la valutazione abbia comportato l'esecuzione di un movimento più rettilineo. La percentuale di allungamento del braccio (AE) e la flessione-estensione del gomito (FEG) hanno subito un aumento significativo, probabilmente perché questo è il distretto sul quale si è puntato principalmente nel momento in cui si è cercato di far individuare le differenze ai pazienti. È infatti da notare che, tra le differenze individuate con aiuto verbale della fisioterapista, solo un bambino non ha nominato tale distretto (Tabella 12). Anche nell'acquisizione conseguente all'aiuto manuale (T2) si è riscontrato un aumento statisticamente significativo nella flessione-estensione del gomito. Questi risultati indicano come sia stato utile per i bambini porre attenzione a livello di questa articolazione, in quanto ha permesso loro di costruire un'anticipazione che presentasse all'interno tale differenza, portando ad una modifica della rappresentazione dell'azione e della sua esecuzione in termini di estensione del gomito. Per quanto riguarda la flessione-estensione della spalla (FES), rispetto alla quale si presupponeva un aumento sulla base della media dei sani, si è assistito invece ad una riduzione significativa dei gradi articolari. È possibile che l'aumento nella flessione-estensione del gomito possa aver condotto ad un'ulteriore riduzione della necessità di usufruire della spalla da parte dei bambini emiplegici. Il mancato ottenimento della modifica aspettata può essere stato causato anche da un'inadeguata comprensione di quanto richiesto dalla terapeuta, si ipotizza infatti che aver chiesto ai bambini di mantenere il tronco "più fermo" possa aver inciso sulla FES. Si enfatizza perciò l'importanza degli esercizi valutativi, i quali permettono al paziente di percepire e anticipare il corretto movimento della spalla grazie alla costruzione di informazioni cinestesiche e non di ordine visivo-verbale.

Nel confronto statistico tra AOT e CTA l'indice di curvatura ha mostrato una differenza statisticamente significativa, indicando come il CTA abbia condotto verso una maggiore rettilinearità della traiettoria.

Diversamente dai sani, sebbene in assenza di significatività statistica, la maggior parte dei pazienti (4/7) non è stata in grado di riconoscere l'azione attuale (Tabella 9). Questo risultato può essere spiegato con quanto sostenuto da Ritterband-Rosenbaum et al (6), i quali hanno dimostrato che i bambini con diagnosi di PCI presentano un'alterazione del *sense of agency*, ossia della capacità di riconoscere di essere l'agente di un determinato movimento, la quale può essere un importante

problema funzionale e favorire la disabilità motoria. Essi possono avere difficoltà nel determinare se la rappresentazione visiva di un movimento corrisponde alla loro intenzione e a quanto effettivamente eseguito. Lo studio evidenzia infatti come questi bambini abbiano una ridotta capacità di determinare se il movimento di un oggetto è causato da loro stessi o da una fonte esterna, causando così un'alterazione della percezione dell'azione. Gli autori suggeriscono come ciò potrebbe essere legato ad una scarsa integrazione tra l'intenzione di movimento e le informazioni visive e propriocettive raccolte (6). Per questo possono essere proposti al paziente alcuni esercizi valutativi al fine di esaminarne il grado di alterazione nella costruzione delle informazioni visivo-somestesiche. Va inoltre sottolineato come un'accurata autoconsapevolezza e percezione di sé necessitino di un certo livello di capacità cognitive (Bouffard et al citato da Ritterband-Rosenbaum et al, (6)), non sempre massimale nei pazienti in esame (Tabella 1).

Differentemente da quanto sostenuto dal CTA, secondo cui la guida al confronto è sempre necessaria (36), alcuni bambini con emiplegia congenita (5/7) sono stati in grado di individuare spontaneamente delle differenze tra il proprio modo di eseguire l'azione e quanto osservato su terza persona durante la valutazione con AOT (Tabella 10). Rispetto ad un paziente adulto con lesione acquisita, il quale viene guidato al confronto con un'immagine prelesionale, e quindi a confrontare il prima e dopo una patologia, si può ipotizzare che i bambini con PCI siano predisposti a realizzare spontaneamente dei confronti tra la loro modalità di esecuzione e l'azione normale poiché quest'ultima viene osservata quotidianamente all'interno del contesto familiare, scolastico e sociale. Nonostante i risultati non abbiano presentato significatività statistica, si può affermare come ciò sia in linea con i risultati relativi al riconoscimento dell'azione normale, la quale è stata distinta correttamente dalla prevalenza dei pazienti (5/7) (Tabella 8). L'individuazione spontanea di alcune differenze durante la valutazione con AOT non è però corrisposta ad una modifica statisticamente significativa di alcuna variabile nell'acquisizione post-video (Tabella 4). Ciò è in accordo con quanto afferma il CTA, ossia che è inverosimile che il malato possa mettere in atto spontaneamente confronti utili a modificare la propria azione (36).

Le differenze riscontrate dai pazienti durante la valutazione con CTA (Tabella 11) hanno coinvolto soprattutto i distretti più distali dell'arto superiore, probabilmente perché i più agevolmente soggetti al controllo visivo.

L'aiuto verbale nel riscontro delle differenze (Tabella 12) si è invece concentrato maggiormente verso i distretti prossimali, quali tronco, spalla e gomito, poiché tra i meno considerati dai pazienti, con valori tendenzialmente minori alla scala Ashworth e soprattutto perché i marker dell'analisi del

movimento permettevano la raccolta di parametri cinematici relativi a questi. Inoltre, prima di iniziare la sperimentazione, si è ipotizzato potessero essere i più facilmente soggetti a modifica da parte dei bambini, anche sulla base dell'esperienza del tirocinio svolto in età evolutiva.

L'attenzione a tutte le differenze trovate è stata difficilmente mantenuta durante l'esecuzione del *pointing* post-confronto (Tabella 13). È da considerare che l'individuazione di una o più differenze a livello verbale attraverso un'operazione cognitiva di confronto non implica necessariamente l'integrazione di queste nella riprogrammazione dell'azione. Oltre a ciò, va sottolineato che si tratta di un'operazione complessa da eseguire se non sostenuta dall'esperienza ottenuta tramite gli esercizi, i quali permettono di sperimentare delle differenze anche da un punto vista percettivo.

I risultati derivati dalla domanda sulla percezione di modifica durante l'aiuto manuale hanno fatto emergere ciò che nella Tabella 14 è stato riunito sotto il termine "fluidità". Il paziente P2 ha riferito una sensazione di rigidità del gomito, tradottasi in una difficoltà della terapeuta nel condurre in allungamento l'arto. Precisare al bambino di mantenere l'arto morbido, lineare e non rigido ha permesso di arrivare al target, completando così il movimento di estensione. Il paziente P4 ha invece affermato che l'aiuto manuale gli ha permesso di percepire una sensazione di movimento "più semplice". Anche qui si evince come la guida della terapeuta, attraverso linguaggio e manualità, può condurre ad una modifica del paziente.

Quanto percepito durante l'aiuto manuale non sempre è stato preservato nella successiva esecuzione del *pointing*, specialmente per quanto concerne il gomito (Tabella 15), così come avvenuto post-confronto. Va tenuto presente che, rispetto ad un movimento attivo del paziente, l'aiuto manuale presuppone un sostegno dell'arto che viene così alleggerito, un contatto, una direzione e una distanza forniti dall'esterno.

Sia nell'esecuzione post-confronto che in quella post-aiuto manuale l'attenzione al gomito è stata quasi del tutto esclusa, nonostante la flessione-estensione di tale articolazione abbia mostrato un aumento statisticamente significativo in entrambi i casi. Questo indica un disaccordo tra la prima e la terza persona, ossia tra quanto riferito dal paziente e quanto osservato e valutato dall'esterno. Prima di eseguire un'azione è fondamentale che i risultati vengano previsti in termini di anticipazione percettiva, la quale è una simulazione interna delle conseguenze che possono venirsi a verificare, durante la quale è richiesto anche il ricorso alla memoria per il confronto con le informazioni precedentemente raccolte (43). È possibile che i pazienti non fossero coscienti della modifica a causa della mancanza di un'esperienza percettiva a supporto e per l'impossibilità di attingere ad

un'immagine prelesionale come avviene nell'adulto. Di conseguenza i bambini hanno modificato il modo di eseguire l'azione ma senza esserne consapevoli, in quanto i soggetti con emiplegia congenita possono presentare una difficoltà nell'anticipazione percettiva a causa della tendenza ad escludere le informazioni esterne ed interne derivanti dall'emisoma plegico (10). La percezione della modifica risulta essere quindi complessa se non accompagnata dall'esecuzione di esercizi valutativi volti alla presa di coscienza delle alterazioni percettive del comportamento motorio.

A conclusione, è da considerare che le informazioni raccolte con l'esecuzione vengono confrontate con quanto immaginato in termini di ipotesi percettiva. Qui interviene il *sense of agency* che, secondo il modello del comparatore d'azione di Blakemore (citato da Ferrari, (43)), si riferisce al circuito *feedforward*, basato sull'anticipazione percettiva dell'azione progettata e pianificata, la quale viene poi confrontata con le informazioni effettivamente raccolte (circuito *feedback*). Da un esperimento di Rosenbaum et al (citata da Ferrari, (43)) si è visto che nei bambini con sviluppo fisiologico il movimento è guidato da meccanismi anticipatori (*feedforward*). Al contrario, i soggetti con PCI impostano le proprie strategie sulla base di processi retroattivi (*feedback*), tramite i quali il movimento compiuto viene riadattato essenzialmente sulla base di informazioni visive. I pazienti in esame, ai fini della modifica, possono aver fatto affidamento sulla vista piuttosto che su quanto sentito a livello corporeo.

7.1 Limiti dello studio

Lo studio presenta i seguenti limiti:

- Dimensione ed eterogeneità del campione: la sperimentazione è stata effettuata con un campione di dimensione ridotta, con prevalenza di bambini con emiplegia destra e di soggetti sani destrimani. Ciò può aver influito sul livello di significatività statistica dei test;
- Assenza di un gruppo di controllo e possibile influenza tra AOT e CTA: i due approcci sono stati proposti allo stesso gruppo di pazienti. Va però considerato che, per ovviare a tale *bias*, le valutazioni sono state realizzate ad una distanza di 2-3 settimane ed è stata effettuata l'acquisizione dei dati tramite analisi del movimento prima di entrambe;
- Difficoltà nella standardizzazione del CTA: tale approccio è intrinsecamente poco predisposto all'essere standardizzato, in quanto presuppone un riferimento continuo alla realtà del singolo malato e non esercizi preimpostati;
- Trattamento fisioterapico in corso: per alcuni dei pazienti, nel periodo di svolgimento delle valutazioni, era in corso un ciclo di trattamento fisioterapico. Inoltre, è da sottolineare che due dei bambini in esame avevano già sperimentato sedute di trattamento per l'arto superiore con l'uso

del CTA. Ciò può aver influito sul grado di consapevolezza delle alterazioni, quindi sull'accuratezza delle risposte fornite e sulla capacità di modifica;

- Analisi del movimento: a differenza dell'arto inferiore per il quale è prevista l'analisi del cammino, ossia di un gesto ciclico e ripetibile, l'arto superiore possiede un grande repertorio di movimento disponibile ed è perciò complesso normalizzarlo per poter confrontare curve di diversi soggetti e definire la validità intra- e inter-operatore del modello (42).

Capitolo 8: CONCLUSIONI

I risultati ottenuti forniscono prova del fatto che rendere il paziente consapevole del proprio agire, indirizzandone l'attenzione verso le differenze colte tra l'azione fisiologica (azione normale) e la propria modalità di esecuzione (azione attuale), così come proposto dal CTA, conduce ad una modifica dell'azione qualitativamente superiore (in modo particolare per indice di curvatura, percentuale di allungamento del braccio e flesso-estensione del gomito) rispetto alla sola osservazione del gesto, come avviene nell'AOT. Il CTA rappresenta perciò un approccio utile nel trattamento riabilitativo dell'arto superiore di bambini con emiplegia congenita tra i 10 e i 15 anni.

Pur in mancanza di significatività statistica, si evidenzia come i bambini con emiplegia congenita possono presentare delle difficoltà nel riconoscere correttamente l'azione normale e l'azione attuale, rendendo così necessaria la guida al confronto da parte del fisioterapista. Aumentare il campione permetterebbe di verificare statisticamente tale risultato.

8.1 Sviluppi futuri

Un potenziale studio futuro potrebbe considerare di proporre un trattamento riabilitativo con AOT e CTA basato sui dati acquisiti durante l'analisi del movimento, creando dei protocolli da somministrare a due gruppi di bambini con emiplegia congenita e analizzando le modifiche a breve e a lungo termine per verificare, sempre tramite analisi del movimento, se vi sono differenze nell'efficacia post-trattamento e a distanza nel mantenimento delle modifiche.

Tra le opportunità future è auspicabile anche l'individuazione di un protocollo standardizzato che tenga conto della cinematica della scapola e dell'attivazione elettromiografica dei muscoli periscapolari durante l'analisi del movimento dell'arto superiore di soggetti con PCI. Oltre a ciò, sarebbe interessante analizzare la cinematica e l'attività muscolare dei due arti durante lo svolgimento di ulteriori gesti funzionali, tra i quali anche azioni bimanuali di presa e manipolazione, completando il protocollo con la valutazione della mano, delle dita e della coordinazione oculo-manuale.

BIBLIOGRAFIA

1. Buccino G. Action observation treatment: a novel tool in neurorehabilitation. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2014; 369(1644).
2. Perfetti C, Pantè F, Rizzello C, Zernitz M. Dall'esercizio terapeutico conoscitivo al confronto tra azioni. Quali implicazioni riabilitative? *Riabilitazione neurocognitiva.* 2014; 10(2): 151-73.
3. Alamer A, Melese H, Adugna B. Effectiveness of action observation training on upper limb motor function in children with hemiplegic cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trials. *Pediatric Health Med Ther.* 2020; 11: 335-46.
4. Abdelhaleem N, Taher S, Mahmoud M, Hendawy A, Hamed M, Mortada H, et al. Effect of action observation therapy on motor function in children with cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trials with meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2021; 35(1): 51-63.
5. Abbass ME, Ibrahim NM. Effectiveness of action observation therapy on upper extremity function in children with cerebral palsy: systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Rev.* 2021; 26(6): 428-38.
6. Ritterband-Rosenbaum A, Christensen MS, Kliim-Due M, Petersen LZ, Rasmussen B, Nielsen JB. Altered sense of agency in children with spastic cerebral palsy. *BMC Neurol.* 2011; 11: 150.
7. Rosebaum P, Paneth N, Leviton A, Goldstein M, Bax M, Damiano D, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl.* 2007; 109(8-14).
8. SIMFER, SINPIA. Raccomandazioni per la riabilitazione dei bambini affetti da paralisi cerebrale infantile. 2013.
9. Vova J. Cerebral palsy: an overview of etiology, types and comorbidities. *OBM Neurobiology.* 2022; 6(2): 120.
10. Fedrizzi E. I disordini dello sviluppo motorio. II ed.: Piccin; 2009. p. 249-69.
11. Te Velde A, Morgan C, Finch-Edmondson M, McNamara L, McNamara M, Paton M, et al. Neurodevelopmental therapy for cerebral palsy: a meta-analysis. *Pediatrics.* 2022; 149(6).
12. Puccini P, Berretta A, Breggi I, De Feo E, Frollano G, Mariancini I, et al. La riabilitazione neurocognitiva nel mondo del bambino. I ed.: ETS; 2021.
13. Chiu H, Ada L. Constraint-induced movement therapy improves upper limb activity and participation in hemiplegic cerebral palsy: a systematic review. *J Physiother.* 2016; 62(3): 130-137.
14. Hoare B, Wallen M, Thorley M, Jackman M, Carey L, Imms C. Constraint-induced movement therapy in children with unilateral cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019; 4(4).
15. Charles J, Gordon A. Development of hand-arm bimanual intensive training (HABIT) for improving bimanual coordination in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2006; 48(11): 931-6.

16. Alahmari K, Tedla J, Sangadala D, Mukherjee D, Reddy R, Bairapareddy K, et al. Effectiveness of Hand-Arm Bimanual Intensive Therapy on Hand Function among children with unilateral spastic cerebral palsy: a meta-analysis. *Eur Neurol.* 2020; 83(2): 131-7.
17. Perfetti C, Pieroni A. L'esercizio e la realtà. Una nuova proposta riabilitativa (prima parte). *Riabilitazione neurocognitiva.* 2011; 7(3): 183-207.
18. Sgandurra G, Ferrari A, Cossu G, Guzzetta A, Biagi L, Tosetti M, et al. Upper limb children action-observation training (UP-CAT): a randomised controlled trial in hemiplegic cerebral palsy. *BMC Neurol.* 2011; 11(80).
19. Buccino G, Arisi D, Gough P, Aprile D, Ferri C, Serotti L, et al. Improving upper limb motor functions through action observation treatment: a pilot study in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2012; 54(9): 822-8.
20. Buccino G, Molinaro A, Ambrosi C, Arisi D, Mascaro L, Pinardi C, et al. Action observation treatment improves upper limb motor functions in children with cerebral palsy: a combined clinical and brain imaging study. *Neural Plast.* 2018; 2018.
21. Kim JY, Kim JM, Ko EY. The effect of the action observation physical training on the upper extremity function in children with cerebral palsy. *J Exerc Rehabil.* 2014; 10(3): 176-83.
22. Sgandurra G, Ferrari A, Cossu G, Guzzetta A, Fogassi L, Cioni G. Randomized trial of observation and execution of upper extremity actions versus action alone in children with unilateral cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013; 27(9): 808-15.
23. Kirkpatrick E, Pearse J, James P, Basu A. Effect of parent-delivered action observation therapy on upper limb function in unilateral cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* 2016; 58(10): 1049-56.
24. Quadrelli E, Anzani A, Ferri M, Bolognini N, Maravita A, Zambonin F, et al. Electrophysiological correlates of action observation treatment in children with cerebral palsy: a pilot study. *Dev Neurobiol.* 2019; 79(11-12): 934-48.
25. Mahasup N, Sritipsukho P, Lekskulchai R, Hansakunachai T. Effects of mirror neurons stimulation on motor skill rehabilitation in children with cerebral palsy: a clinical trial. *J Med Assoc Thai.* 2012; 95(1): 166-172.
26. Jeong YA, Lee BH. Effect of action observation training on spasticity, gross motor function and balance in children with diplegia cerebral palsy. *Children.* 2020; 7(6): 64.
27. Kim DH. Comparison of short- and long-time action observation training (AOT) on upper limb function in children with cerebral palsy. *Physiother Pract Res.* 2020; 41(1): 53-8.
28. Kim DH, An DH, Yoo WG. Effects of live and video form action observation training on upper limb function in children with hemiparetic cerebral palsy. *Technol Health Care.* 2018; 26(3): 437-43.
29. Simon-Martinez C, Maillieux L, Hoskens J, Ortibus E, Jaspers E, Wenderoth N, et al. Randomized controlled trial combining constraint-induced movement therapy and action-observation training in unilateral cerebral palsy: clinical effects and influencing factors of treatment response. *Ther Adv Neurol Disord.* 2020; 13: 1-19.

30. Simon-Martinez C, Mailleux L, Jaspers E, Ortibus E, Desloovere K, Klingels K, et al. Effects of combining constraint-induced movement therapy and action-observation training on upper limb kinematics in children with unilateral cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2020; 10(1).
31. Jung Y, Chung EJ, Chun HL, Lee BH. Effects of whole-body vibration combined with action observation on gross motor function, balance and gait in children with spastic cerebral palsy. *J Exerc Rehabil.* 2020; 16(3): 249-57.
32. Molinaro A, Micheletti S, Pagani F, Garofalo G, Galli J, Rossi A, et al. Action observation treatment in a tele-rehabilitation setting: a pilot study in children with cerebral palsy. *Disabil Rehabil.* 2022; 44(7): 1107-12.
33. Sgandurra G, Cecchi F, Beani E, Mannari I, Maselli M, Falotico FP, et al. Tele-UPCAT: study protocol of a randomised controlled trial of a home-based tele-monitored upper limb children action observation training for participants with unilateral cerebral palsy. *BMJ Open.* 2018; 8(5).
34. Beani E, Menici V, Ferrari A, Cioni G, Sgandurra G. Feasibility of a home-based action observation training for children with unilateral cerebral palsy: an explorative study. *Front Neurol.* 2020; 11: 16.
35. Nuara A, Avanzini P, Rizzolatti G, Fabbri-Destro M. Efficacy of a home based platform for child-to-child interaction on hand motor function in unilater cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2019; 61(11): 1314-22.
36. Argüelles V, Cracchiolo M, De Patre D, Ferrer Davesa M, Nani C, Rigoni M, et al. La teoria neurocognitiva secondo il confronto tra azioni. I ed. Padova: Piccin; 2021.
37. Rizzolatti G, Sinigaglia C. The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nat Rev Neurosci.* 2010; 11(4): 264-74.
38. Ferrari A. A proposito di apprendimento per imitazione nei bambini affetti da paralisi cerebrale. *L'integrazione scolastica e sociale.* 2020; 19(4): 73-84.
39. Rab G, Petuskey K, Bagley A. A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait Posture.* 2002; 15(2): 113-9.
40. Petuskey K, Bagley A, Abdala E, James M, Rab G. Upper extremity kinematics during functional activities: three-dimensional studies in a normal pediatric population. *Gait Posture.* 2007; 25(4): 573-9.
41. Hermens H, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, et al. European recommendations for surface electromyography: Roessingh Research and Development; 1999.
42. Ferrari A, Benedetti M, Mori M, Alboresi S. L'arto superiore nella paralisi cerebrale infantile. *Aspetti clinici e possibilità terapeutiche.* Padova: Piccin-Nuova Libreria; 2015. p. 117-25.
43. Ferrari A. From movement to action: a new framework for cerebral palsy. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019; 55(6): 852-61.

ALLEGATI

ALLEGATO 1: PARAMETRI CINEMATICI

Valutazione con AOT

Tabella A - Parametri cinematici acquisiti prima dell'osservazione del video

ID	t0 MC (s)	t0 IC (-)	t0 MMV (m/s)	t0 AS (mm)	t0 AE (%)	t0 TF (%)	t0 FES (°)	t0 AAS (°)	t0 FEG (°)
P1	2.40	1.19	0.28	8.10	62.64	25.42	61.07	23.27	33.20
P2	3.24	1.27	0.22	13.30	33.97	60.21	39.50	4.12	28.50
P3	2.78	1.18	0.28	22.60	63.59	20.59	38.35	6.15	32.47
P4	2.60	1.35	0.30	17.50	49.13	32.41	60.07	12.25	31.52
P5	3.12	1.35	0.25	14.60	59.63	30.52	75.62	18.00	53.12
P6	2.10	1.18	0.33	28.50	76.86	13.88	55.30	11.10	52.22
P7	4.75	1.38	0.19	26.20	25.51	57.56	71.20	11.20	27.72

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella B - Parametri cinematici acquisiti dopo l'osservazione del video

ID	t1 MC (s)	t1 IC (-)	t1 MMV (m/s)	t1 AS (mm)	t1 AE (%)	t1 TF (%)	t1 FES (°)	t1 AAS (°)	t1 FEG (°)
P1	3.43	1.29	0.24	17.50	64.71	22.39	66.82	25.55	43.27
P2	3.18	1.22	0.24	17.30	35.88	57.41	38.54	6.36	27.78
P3	3.30	1.22	0.22	18.20	58.31	27.16	37.42	5.72	29.80
P4	3.25	1.40	0.25	9.60	55.42	30.52	61.97	11.20	43.37
P5	3.10	1.19	0.20	16.80	50.45	39.61	57.40	12.07	38.90
P6	2.28	1.11	0.36	30.20	77.26	11.70	57.15	15.85	55.17
P7	4.40	1.27	0.20	20.50	31.84	44.70	71.28	11.95	29.97

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Valutazione con CTA

Tabella C - Parametri cinematici acquisiti prima dell'osservazione dei video

ID	T0 MC (s)	T0 IC (-)	T0 MMV (m/s)	T0 AS (mm)	T0 AE (%)	T0 TF (%)	T0 FES (°)	T0 AAS (°)	T0 FEG (°)
P1	2.75	1.35	0.32	19.20	64.54	21.93	80.18	21.32	44.40
P2	3.32	1.54	0.23	15.40	27.43	65.39	44.90	8.50	29.05
P3	3.21	1.25	0.21	11.20	71.78	13.81	45.82	5.57	36.22
P4	3.34	1.46	0.24	19.70	60.05	25.94	64.47	13.57	35.20
P5	2.71	1.48	0.32	-	45.54	46.04	66.05	13.82	42.27
P6	1.85	1.24	0.34	8.70	81.77	9.18	57.85	9.42	50.90
P7	4.39	1.28	0.22	21.00	25.05	56.80	63.75	10.50	16.38

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella D - Parametri cinematici acquisiti dopo l'individuazione delle differenze

ID	T1 MC (s)	T1 IC (-)	T1 MMV (m/s)	T1 AS (mm)	T1 AE (%)	T1 TF (%)	T1 FES (°)	T1 AAS (°)	T1 FEG (°)
P1	3.03	1.32	0.25	4.80	64.57	20.91	72.40	19.72	50.10
P2	3.19	1.31	0.28	34.70	38.39	49.22	41.00	11.35	35.02
P3	3.36	1.05	0.21	27.30	71.84	11.70	46.27	2.78	40.67
P4	3.76	1.37	0.20	12.70	59.46	29.40	58.90	10.97	38.90
P5	3.22	0.90	0.37	-	52.60	39.58	55.72	7.45	44.70
P6	2.22	1.06	0.31	23.60	87.63	4.06	55.05	18.12	57.70
P7	5.70	1.22	0.14	35.10	28.11	59.28	48.12	8.35	29.67

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella E - Parametri cinematici acquisiti dopo aiuto manuale

ID	T2 MC (s)	T2 IC (-)	T2 MMV (m/s)	T2 AS (mm)	T2 AE (%)	T2 TF (%)	T2 FES (°)	T2 AAS (°)	T2 FEG (°)
P1	3.22	1.41	0.28	13.00	66.73	17.36	73.07	22.83	58.97
P2	3.23	1.41	0.25	34.30	42.67	46.05	40.85	11.52	40.67
P3	3.68	1.18	0.18	12.90	64.18	17.78	47.82	5.15	42.65
P4	4.05	1.21	0.20	49.70	57.33	29.49	59.80	10.02	35.15
P5	3.01	0.91	0.34	-	54.84	27.74	53.27	8.32	56.90
P6	2.16	1.08	0.31	24.10	87.56	2.34	56.52	19.27	62.65
P7	5.62	1.44	0.15	16.80	37.40	50.69	46.55	12.12	33.42

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Valutazione dei soggetti sani

Tabella F - Parametri cinematici acquisiti durante valutazione dei soggetti sani

ID	nd MC (s)	nd IC (-)	nd MMV (m/s)	nd AS (mm)	nd AE (%)	nd TF (%)	nd FES (°)	nd AAS (°)	nd FEG (°)
S1	1.82	1.15	0.36	17.50	98.40	0.58	65.87	11.22	58.60
S2	1.91	1.00	0.39	16.10	74.44	8.17	66.05	8.57	51.47
S3	1.98	1.12	0.32	16.50	77.59	5.39	44.32	4.05	42.38
S4	2.02	1.16	0.32	18.00	58.92	29.63	49.22	3.35	42.03
S5	1.69	1.21	0.42	11.90	79.42	8.56	94.55	21.67	57.85
S6	1.65	1.04	0.43	14.10	97.33	0	53.75	8.92	36.80

nd, mano non dominante; MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

ALLEGATO 2: STATISTICA

Valutazione con AOT

Tabella G - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità dei parametri cinematici acquisiti prima dell'osservazione del video

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
t0 MC	2.10	4.75	2.78	2.999	0.86797	0.1782
t0 IC	1.180	1.380	1.270	1.271	0.83157	0.08281
t0 MMV	0.1900	0.3300	0.2800	0.2643	0.97222	0.914
t0 AS	8.10	28.50	17.50	18.69	0.96263	0.841
t0 AE	25.51	76.86	59.63	53.05	0.94231	0.6596
t0 TF	13.88	60.21	30.52	34.37	0.88075	0.2298
t0 FES	38.35	75.62	60.07	57.30	0.91972	0.4673
t0 AAS	4.120	23.270	11.200	12.299	0.9455	0.6887
t0 FEG	27.72	53.12	32.47	36.96	0.75629	0.01476

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella H - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità dei parametri cinematici acquisiti dopo l'osservazione del video

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
t1 MC	2.280	4.400	3.250	3.277	0.891	0.2799
t1 IC	1.110	1.400	1.220	1.243	0.96758	0.8805
t1 MMV	0.2000	0.3600	0.2400	0.2443	0.77047	0.02066
t1 AS	9.60	30.20	17.50	18.59	0.87979	0.2255
t1 AE	31.84	77.26	55.42	53.41	0.96633	0.8708
t1 TF	11.70	57.41	30.52	33.36	0.99053	0.9942
t1 FES	37.42	71.28	57.40	55.80	0.88622	0.2555
t1 AAS	5.72	25.55	11.95	12.67	0.88247	0.2376
t1 FEG	27.78	55.17	38.90	38.32	0.90455	0.3594

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Valutazione con CTA

Tabella I - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità dei parametri cinematici acquisiti prima dell'osservazione dei video

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
T0 MC	1.850	4.390	3.210	3.081	0.95039	0.7332
T0 IC	1.240	1.540	1.3500	1.371	0.89487	0.301
T0 MMV	0.2100	0.3400	0.2400	0.2686	0.83188	0.08336
T0 AS	8.70	21.00	17.30	15.87	0.90027	0.3755
T0 AE	25.05	81.77	60.05	53.74	0.92923	0.5444
T0 TF	9.18	65.39	25.94	34.16	0.91792	0.4534
T0 FES	44.90	80.18	63.75	60.43	0.92692	0.5251
T0 AAS	5.57	21.32	10.50	11.81	0.93144	0.5632
T0 FEG	16.38	50.90	36.22	36.35	0.9642	0.8539

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella J - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità dei parametri cinematici acquisiti dopo l'individuazione delle differenze

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
T1 MC	2.220	5.700	3.220	3.497	0.83688	0.09291
T1 IC	0.900	1.370	1.220	1.176	0.91453	0.4282
T1 MMV	0.1400	0.3700	0.2500	0.2514	0.99162	0.9958
T1 AS	4.80	35.10	25.45	23.03	0.91306	0.4568
T1 AE	28.11	87.63	59.46	57.51	0.98851	0.9901
T1 TF	4.06	59.28	29.40	30.59	0.97379	0.9244
T1 FES	41.00	72.40	55.05	53.92	0.9502	0.7315
T1 AAS	2.78	19.72	10.97	11.25	0.94553	0.6889
T1 FEG	29.67	57.70	40.67	42.39	0.98466	0.979

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella K - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità dei parametri cinematici acquisiti dopo l'aiuto manuale della terapeuta

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
T2 MC	2.160	5.620	3.230	3.567	0.92077	0.4754
T2 IC	0.910	1.440	1.210	1.234	0.90499	0.3622
T2 MMV	0.1500	0.3400	0.2500	0.2443	0.96017	0.8202
T2 AS	12.90	49.70	20.45	25.13	0.869410	0.2239
T2 AE	37.40	87.56	57.33	58.67	0.96029	0.8212
T2 TF	2.34	50.69	27.74	27.35	0.95457	0.771
T2 FES	40.85	73.07	53.27	53.98	0.95567	0.7809
T2 AAS	5.15	22.83	11.52	12.75	0.92723	0.5276
T2 FEG	33.42	62.65	42.65	47.20	0.88358	0.2428

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Confronto AOT e CTA

Tabella L - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità delle differenze tra i parametri cinematici acquisiti prima e dopo l'osservazione del video

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
Diff.t0t1 MC	-1.0300	0.3500	-0.1800	-0.2786	0.96777	0.882
Diff.t0t1 IC	-0.10000	0.16000	0.05000	0.02857	0.95507	0.7755
Diff.t0t1 MMV	-0.030	0.060	0.040	0.020	0.83574	0.09065
Diff.t0t1 AS	-9.40	7.90	-1.70	0.10	0.94854	0.7164
Diff.t0t1 AE	-6.3300	9.1800	-1.9100	-0.3629	0.90333	0.3516
Diff.t0t1 TF	-9.090	12.860	2.180	1.014	0.90321	0.3509
Diff.t0t1 FES	-5.750	8.220	-0.080	1.504	0.73257	0.008314
Diff.t0t1 AAS	-4.7500	5.9300	-0.7500	-0.3729	0.93943	0.6336
Diff.t0t1 FEG	-11.850	14.220	-2.250	-1.359	0.93983	0.6372

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Tabella M - Minimo, massimo, mediana, media e test di normalità delle differenze tra i parametri cinematici acquisiti prima dell'osservazione dei video e dopo l'individuazione delle differenze

Variabile	Min	Max	Mediana	Media	W	p-value
Diff.T0T1 MC	-1.3100	0.1300	-0.3700	-0.4157	0.87921	0.223
Diff.T0T1 IC	0.0300	0.5800	0.1800	0.1957	0.81433	0.0566
Diff.T0T1 MMV	-0.05000	0.08000	0.03000	0.01714	0.90378	0.3545
Diff.T0T1 AS	-19.300	14.400	-14.500	-7.167	0.79598	0.05406
Diff.T0T1 AE	-10.960	0.590	-3.060	-3.777	0.90172	0.3415
Diff.T0T1 TF	-3.460	16.170	2.110	3.563	0.9117	0.4078
Diff.T0T1 FES	-0.450	15.630	5.570	6.509	0.97526	0.9335
Diff.T0T1 AAS	-8.7000	6.3700	2.1500	0.5657	0.87816	0.2184
Diff.T0T1 FEG	-13.290	-2.430	-5.700	-6.049	0.84445	0.1093

MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.

Valutazione dei soggetti sani

Tabella N - Minimo, massimo, mediana e media dei parametri cinematici acquisiti

Variabile	Min	Max	Mediana	Media
nd MC	1.650	2.020	1.865	1.845
nd IC	1.000	1.210	1.135	1.113
nd MMV	0.3200	0.4300	0.3750	0.3733
nd AS	11.90	18.00	16.30	15.68
nd AE	58.92	98.40	78.50	81.02
nd TF	0.000	29.630	6.780	8.722
nd FES	44.32	94.55	59.81	62.29
nd AAS	3.350	21.670	8.745	9.630
nd FEG	36.80	58.60	46.92	48.19

nd, mano non dominante; MC, durata ciclo del movimento; IC, indice di curvatura; MMC, velocità media di movimento; AS, oscillazione di aggiustamento; AE, allungamento del braccio; TF, flessione anteriore del tronco; FES, flesso-estensione della spalla; AAS, abduzione-adduzione della spalla; FEG, flesso-estensione del gomito.