

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

Corso di Laurea Magistrale di Ingegneria Biomedica

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria



ANALISI QUANTITATIVA DELLE PRASSIE  
GRAFO-MOTORIE IN BAMBINI CON DISTURBI  
SPECIFICI DELL'APPRENDIMENTO.

Relatore: Prof.ssa Manuela Galli

Correlatore: Dott. Giorgio Albertini

Tesi di Laurea Magistrale di:

Barbara Giuppani Matr. 823445

Anno Accademico 2014-2015

# Indice

<b>Sommario</b>	<b>9</b>
<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>1 I Disturbi Specifici di Apprendimento e di Coordinazione</b>	
<b>Motoria</b>	<b>8</b>
1.1 I Disturbi Specifici di Apprendimento . . . . .	8
1.2 Il Disturbo della Coordinazione Motoria . . . . .	10
1.3 La Disgrafia . . . . .	14
1.4 La Dislessia . . . . .	17
<b>2 Stato dell'Arte</b>	<b>21</b>
2.1 Metodi di Valutazione del Gesto Grafico Qualitativi . . . . .	22
2.2 Approccio Quantitativo . . . . .	28
2.3 Valutazione dei Movimenti Fini . . . . .	31
<b>3 Materiali e Metodi</b>	<b>40</b>
3.1 Soggetti . . . . .	40
3.2 Task . . . . .	41
3.3 Strumentazione . . . . .	42
3.3.1 Laboratorio . . . . .	42
3.3.2 Sistema Optoelettronico . . . . .	42
3.3.3 I Marker . . . . .	43
3.4 Protocollo di Acquisizione . . . . .	44
3.4.1 Posizionamento dei marker . . . . .	45

3.4.2	Ricostruzione della traccia della punta . . . . .	48
3.5	Elaborazione dei Dati . . . . .	52
3.5.1	Software . . . . .	52
3.5.2	Parametri relativi al cerchio, alla croce e al quadrato	53
3.5.3	Report . . . . .	60
3.5.4	Analisi Statistica . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Risultati</b>	<b>62</b>
4.1	Task cerchio . . . . .	62
4.2	Task croce . . . . .	68
4.3	Task quadrato . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>81</b>
<b>A</b>	<b>REPORT</b>	<b>87</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>91</b>

# Elenco delle figure

1.1	Definizione dei DSA data dall'associazione AGIAD[52]. . . . .	9
1.2	Differenti tipologie di disprassia. . . . .	12
1.3	Scrittura di un bambino normale (A) messa a confronto con il testo scritto da un bambino con goffaggine e disgrafia (B). . . . .	15
1.4	Scrittura di un bambino dislessico che scambia la lettera "b" con la lettera "d ". . . . .	17
2.1	Criteri di valutazione di alcune prove grafiche nel test di DenverII. . . . .	23
2.2	Figure geometriche utilizzate nel test di Laretta Bender. . . . .	24
2.3	Modulo del test di Wartegg che racchiude otto riquadri, numerati da 1 a 8, disposti orizzontalmente su due file parallele di 4 e divisi tra loro da un ampio bordo nero. . . . .	25
2.4	Alcuni parametri rilevabili tramite l'utilizzo di una tavoletta grafica. . . . .	29

2.5	La configurazione (A) è quella durante la fase statica, alla quale i soggetti non prendono parte: la penna viene appoggiata sul tavolo per 5 secondi in cui viene calcolata la distanza tra il marker sul cappuccio e la punta della penna. Nella configurazione dinamica (B) viene acquisito il movimento della penna durante il gesto grafico e per ogni frame si determina il vettore che giace sul segmento che congiunge il marker sul cappuccio della penna e il marker posto lateralmente alla penna. La stima della posizione della punta della penna viene ricavata dalle coordinate del vettore “penna” e dalla distanza tra cappuccio e punta, con un piccolo errore angolare. . . . .	31
2.6	Task grafico di collegamento di due target circolari di tre grandezze differenti. . . . .	35
2.7	Percorso grafico a forma di fiore per l’analisi degli aspetti cinematici nel disegno. . . . .	37
2.8	Tasks grafici e parametri calcolati. . . . .	38
3.1	Laboratorio di analisi del movimento dell’istituto IRCCS San Raffaele Pisana di Roma. . . . .	42
3.2	Telecamera optoelettronica ad infrarosso. . . . .	43
3.3	Acquisizione statica a sinistra e acquisizione dinamica a destra. . . . .	44
3.4	Posizionamento dei markers durante l’acquisizione statica. . . . .	45
3.5	Protocollo del posizionamento dei marker durante l’acquisizione dinamica. . . . .	47
3.6	Sistemi di riferimento definiti durante l’acquisizione statica: $[i, j, k]$ = sistema di riferimento assoluto del laboratorio; $[x, y, z]$ = sistema di riferimento locale della penna; $[F1toF4, F1toF2, n]$ = sistema di riferimento locale del foglio. . . . .	49
3.7	Sistemi di riferimento definiti durante l’acquisizione dinamica: $[i, j, k]$ = sistema di riferimento assoluto del laboratorio; $[x, y, z]$ = sistema di riferimento locale della penna; $[xs, ys, zs]$ = sistema di riferimento locale del foglio . . . . .	51

3.8	Traccia della punta della penna lungo l'asse $z_s$ , vengono indicati il punto d'appoggio e il punto di stacco finale. . . .	52
3.9	Parametri spaziali analizzati per il cerchio. . . . .	54
3.10	Cerchio aperto (A) cerchio con incrocio (B) cerchio chiuso (C).	55
3.11	Parametri spaziali analizzati per la croce. . . . .	55
3.12	Parametri spaziali analizzati per il quadrato. . . . .	57
3.13	Visualizzazione tridimensionale del soggetto durante l'acquisizione. Sono stati evidenziati gli angoli considerati nell'analisi del movimento dell'arto utilizzato. $A_s$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione della spalla; $A_g$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione del gomito; $A_p$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione del polso. . . . .	59

## Elenco delle tabelle

4.1	Parametri spazio temporali e indice di accuratezza del cerchio relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	64
4.2	Parametri spazio temporali e indice di accuratezza del cerchio. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC.	64
4.3	Percentuale dei soggetti in cui il diametro verticale è maggiore di quello orizzontale ( $D1/D2 > 1$ ) e percentuale in cui il diametro orizzontale è maggiore di quello verticale ( $D1/D2 < 1$ ).	65
4.4	Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del cerchio relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	66
4.5	Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del cerchio. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC. . . . .	66
4.6	Valutazione della chiusura del cerchio. Per ogni gruppo sono indicate le percentuali dei soggetti che chiudono il cerchio in modo esatto (cerchio chiuso), non chiudono il cerchio (cerchio aperto) e incrociano il tratto iniziale con quello finale (incrocio). . . . .	67

4.7	Parametri del task cerchio che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC. . . . .	67
4.8	Percentuale dei soggetti in cui il tratto verticale è maggiore di quello orizzontale ( $L1/L2 > 1$ ) e percentuale in cui il diametro orizzontale è maggiore di quello verticale ( $L1/L2 < 1$ ). . . . .	68
4.9	Parametri spazio temporali e indice di accuratezza della croce relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	69
4.10	Parametri spazio temporali e indice di accuratezza della croce. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC. . . . .	69
4.11	Angoli delle articolazioni del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task della croce relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	71
4.12	Angoli delle articolazioni del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task della croce. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi ( $p < 0,05$ ). . . . .	71
4.13	Percentuale dei soggetti che iniziano a disegnare con il tratto verticale e con il tratto orizzontale nei gruppi analizzati. . . . .	72
4.14	Parametri del task croce che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC. . . . .	72
4.15	Parametri spazio temporali del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	74

4.16	Parametri spazio temporali del quadrato dei quattro gruppi analizzati. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC. . . . .	74
4.17	Percentuale dei soggetti in cui l'altezza massima è maggiore della larghezza massima ( $Alt-max/Largh-max > 1$ ) e percentuale in cui il l'altezza massima è minore della larghezza massima ( $Alt-max/Largh-max < 1$ ). . . . .	75
4.18	Velocità e indici di accuratezza del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	76
4.19	Velocità e indici di accuratezza del quadrato nei vari gruppi. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC. . . . .	76
4.20	Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. . . . .	78
4.21	Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del quadrato. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (*) indica i parametri significativi con $p < 0,05$ rispetto al GC. . . . .	78
4.22	Percentuale dei soggetti che iniziano a disegnare con il lato sinistro, destro, superiore o inferiore. (*) $p < 0,05$ . . . . .	79
4.23	Differenze statisticamente significative tra il gruppo disgrafia e dislessia nel task quadrato ( $p < 0,05$ ). . . . .	79
4.24	Parametri del task quadrato che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC. . . . .	80

## Sommario

Nella valutazione delle abilità cognitive e motorie vengono comunemente utilizzati dei test nei quali viene chiesto ai soggetti di scrivere un testo o disegnare alcune semplici figure. Questi gesti grafo-motori vengono denominati movimenti fini e prevedono la coordinazione di piccoli movimenti muscolari a livello delle dita e della mano, rappresentano quindi l'integrazione tra task motorio e task cognitivo. Tali movimenti possono caratterizzare la natura di molteplici patologie che comportano disturbi a livello cognitivo e a livello motorio, dando un valido aiuto in fase decisionale per la scelta di una riabilitazione adeguata. Queste analisi, inoltre, permettono ai clinici di misurare il livello della maturazione percettivo-motoria in quanto un gesto grafico poco accurato si può considerare come la manifestazione di un disturbo mentale e comportamentale. Attualmente, nella pratica clinica, la maggior parte di queste valutazioni si basa sull'osservazione del risultato del gesto grafico e quindi su criteri qualitativi, oppure sull'utilizzo di una tavoletta grafica, che permette solamente l'analisi di alcuni elementi relativi alla traccia e non della postura del soggetto durante il gesto grafico.

Questo lavoro di tesi è nato dall'esigenza di analizzare con una valutazione quantitativa ed esaustiva l'esecuzione di un task motorio che coinvolge sia aspetti cognitivi sia aspetti motori dei bambini con disturbi specifici dell'apprendimento (DSA) e disturbi della coordinazione motoria (DCM). Inoltre, vi è da sottolineare che è la prima volta che il gesto grafico viene valutato quantitativamente in soggetti dislessici. DSA è l'acronimo di Disturbi Specifici di Apprendimento; in essi sono comprese la dislessia, la disgrafia, la disortografia e la discalculia. Questi disturbi possono presentarsi isolati, ma più spesso sono presenti contemporaneamente. Vengono definiti "specifici" perchè interessano uno specifico dominio di abilità in modo significativo ma circoscritto, lasciando intatto il funzionamento intellettivo generale, in soggetti con QI (Quoziente Intellettivo) uguale o superiore alla media. Il criterio principale, necessario per poter formulare la diagnosi di

DSA, è quello della “discrepanza” tra abilità nel dominio specifico interessato – deficitarie in relazione alle attese per età o classe frequentata – e l’intelligenza generale – adeguata per l’età cronologica. Possibili indicatori di rischio di DSA sono rappresentati dalle difficoltà nelle competenze comunicativo-linguistiche, motorio-prassiche, uditive e visuo-spaziali in età prescolare, soprattutto in presenza di un’anamnesi familiare positiva. Ricontrabili già dai genitori o dagli insegnanti della scuola dell’infanzia e del primo anno della scuola primaria, se persistenti vanno segnalati per un approfondimento ai servizi sanitari.

A livello motorio-prassico questi bambini sono caratterizzati spesso da una manualità fine difficoltosa accompagnata da un comportamento cosiddetto ‘goffo’ nello svolgere le attività quotidiane, come ad esempio il vestirsi o allacciarsi le scarpe. Ne consegue che la scrittura di questi soggetti risulta frequentemente quasi o completamente illeggibile con un’impaginazione confusa del testo e di altri elementi (grafici, figure ecc.). In vari studi nonostante l’ipotesi di lentezza avanzata dagli studiosi è emerso che questi bambini disegnano e scrivono molto velocemente e in maniera poco accurata. Da questi risultati si può dedurre che questi soggetti hanno una difficoltà nel pianificare i movimenti e deficit percettivo-motori.

In questo studio, sono stati analizzati 58 soggetti, suddivisi in cinque sottogruppi per disturbo specifico rilevato, di età compresa tra i 6 e i 14 anni. I cinque sottogruppi considerati sono stati formati rispettivamente da soggetti: disgrafici, dislessici, con più disturbi specifici contemporaneamente, con DSA e DCM contemporaneamente e un quinto gruppo formato dai dislessici e i disgrafici insieme. Tali soggetti sono stati confrontati con 13 bambini con un normale sviluppo mentale e motorio di età compresa tra i 6 e i 12 anni. Inoltre, è stato condotto un confronto tra il gruppo dei disgrafici e quello dei dislessici per poter al meglio caratterizzare i due disturbi.

Nel set-up sperimentale è stato chiesto ai soggetti l’esecuzione di tre tipologie di task differenti che riguardavano il disegno di tre semplici figure geometriche: un cerchio, una croce ed un quadrato. La scelta del tipo di test è stata determinata dai test clinici che normalmente vengono proposti.

Per l'acquisizione del movimento del soggetto è stato utilizzato un sistema optoelettronico (SMART D BTS, IT). Tale sistema ha permesso l'acquisizione delle coordinate tridimensionali dei marker posizionati in particolari punti di repere del soggetto e sulla penna, questo ha consentito di rilevare il loro movimento, così da ricostruire la traccia del disegno ed anche il movimento dell'arto superiore e del capo del soggetto durante il gesto grafico. Ogni prova è composta da due fasi: un'acquisizione statica ed un'acquisizione dinamica. Nella prima fase sono stati acquisiti i marker posti secondo un determinato modello sulla penna e sul foglio. Durante questa fase viene determinata la posizione della punta della penna rispetto al sistema di riferimento locale della penna stessa, costruito mediante i marker posti sul suo cappuccio. Nella seconda fase i marker sono stati posizionati sulla testa, sulle spalle e sul braccio dominante del soggetto in modo tale da acquisire il suo movimento durante il gesto ed è stata ricostruita la traccia del disegno mediante le informazioni provenienti dalla prima fase sulla posizione della punta della penna. Le acquisizioni della statica e della dinamica sono state caricate in un software dedicato, SMART Analyzer (BTS IT), insieme alle informazioni personali del paziente. Mediante questo software è stato sviluppato un protocollo ad hoc per ognuno dei tre task motori, al fine di caratterizzare le grandezze specifiche di interesse relative al controllo motorio nei soggetti e di calcolare parametri d'interesse relativi alla figura considerata.

Il risultato ottenuto per ogni task motorio è contenuto in un Report composto da tre pagine, nelle quali vengono indicate le caratteristiche dimensionali, identificate per caratterizzare le diverse strategie impiegate nel disegno e per valutare la correttezza esecutiva, le caratteristiche cinematiche, che sono state valutate per caratterizzare il meccanismo di controllo durante il movimento, i parametri del movimento della testa e dell'arto superiore dominante. Per correlare la traccia del disegno ottenuto e la strategia posturale utilizzata, è stata realizzata l'analisi dei movimenti del braccio superiore per valutare le possibili differenze negli angoli articolari tra i due gruppi in analisi. Inoltre per caratterizzare il livello di attenzione del soggetto durante l'esecuzione della prova è stata fatta l'analisi del

movimento della testa rispetto al foglio.

Per verificare la significatività e l'attendibilità dei risultati ottenuti e per individuare eventuali differenze significative nei parametri analizzati tra i due gruppi sono stati effettuati vari test statistici.

Generalmente a livello motorio grossolano la caratteristica peculiare dei soggetti con disturbi della coordinazione motoria è la loro goffaggine e lentezza esecutiva. Durante il movimento analizzato in questo lavoro di tesi il comportamento di questi bambini è totalmente diverso, infatti essi si muovono più velocemente rispetto al gruppo di controllo. Questo risultato è emerso in maniera molto evidente anche nel gruppo Dislessia in cui, vista la velocità di esecuzione, risulta compromessa l'accuratezza del disegno del quadrato. Si ipotizza quindi che, per il gesto grafico, il disturbo coinvolga aspetti cognitivi, come ad esempio la minor attenzione nel movimento stesso oppure il minor interesse al raggiungimento di un risultato corretto e non sembra causato da disturbi a livello biomeccanico e motorio.

Concludendo, il metodo di analisi utilizzato ha permesso di valutare e caratterizzare quantitativamente i disturbi nel gesto grafico di bambini con DSA e DCM in modo più completo. In futuro, questa metodologia potrebbe dare un valido aiuto nella caratterizzazione dei movimenti fini di altre patologie che comportano disturbi cognitivi e motori e potrebbe anche essere integrata con altri tipi di analisi come quella dell'EEG per l'individuazione di marcatori precoci di rischio di disturbi specifici del linguaggio e dell'apprendimento in età neonatale.

## Abstract

When analysing cognitive and motor skills, one common practice is conducting tests where patients are asked to write a text or draw simple figures. These graphic and motor gestures are called fine movements and they entail the coordination of small muscle movements of the hand and the fingers. For this reason, they constitute an integration between motor tasks and cognitive skills. The study of these movements may reveal the existence of various dysfunctions connected with motor and cognitive diseases. These studies allow clinicians to measure the perceptual/motor progress. Indeed, an inaccurate graphic gesture may be considered as a sign of a mental and behavioural disturbance. At this time, in clinical practice, most evaluations are based on the observation of graphical gesture results, and therefore on qualitative criteria. On the contrary, this thesis was created to give a complete and quantitative evaluation of the execution of a motor task which involved both cognitive and motor features of children with Specific Learning Disorders (SLD) and Developmental Coordination Disorder (DCD). Moreover, we must emphasize that it is the first time that the graphic gesture is evaluated quantitatively in dyslexic subjects

SLD stands for Specific Learning Disorders that including dyslexia, dysgraphia, dyscalculia and the dysorthography. These disorders can occur isolated, but often occur together. They are called "specific" because they significantly affect a specific domain of skill but in a limited way, leaving intact the general intellectual functioning in individuals with IQ (Intelligence Quotient) equal to or above average.

Possible risk indicators for SLD, preschool, are represented by the difficulties in communicative language skills, motor-praxic, auditory and visual-spatial, especially in the presence of a positive family history.

As for motor-praxic aspects these children are characterized by difficulties in fine movements accompanied by a so-called behavior 'clumsy' in carrying out daily activities, such as getting dressed or tie his shoes. It

follows that the writing of these subjects is often nearly or completely unreadable with a confusing layout of the text and other elements (graphics, figures and so on.).

In various studies, despite the hypotheses of slowness it showed that these children draw and write very quickly and inaccurately. From these results it can be deduced that these persons have a difficulty in planning the movements and perceptual-motor deficits.

In this study, 58 subjects were analyzed, divided into five subgroups for specific disorder detected, aged between 6 and 14 years. The five subgroups considered were formed respectively by subjects with: dysgraphia, dyslexia, with more specific disorders simultaneously, with DSA and DCM simultaneously and a fifth group formed by dyslexic and the dysgraphic together. These subjects were compared with 13 children with normal mental and motor development, aged between 6 and 12 years. The experimental set-up requires the execution of three different types of tasks that involved the drawing of three simple geometric shapes: a circle, a cross and a square. Choosing the type of test it was determined by clinical tests that are normally offered.

Every test was made up of two phases: a static acquisition and a dynamic one. In the first phase, markers were placed on the pen and on the page according to a specific pattern, then they were acquired. During this phase, the position of the tip of the pen is determined according to a local pen reference system, realised with markers located on its cap. During the second phase, markers were placed on the head, on the dominant arm and on the shoulders of the patient in order to acquire his movement while performing the gesture. The sketch was re-enacted thanks to the information on the position of the tip of the pen provided by the first phase. Then, the data collected both from the static and the dynamic acquisition, alongside with personal information concerning the patient, were uploaded into a specific software, SMART Analyzer (BTS IT). Through this software, it was possible to develop one ad hoc protocol for each of the three motor tasks, in order to characterize the specific size of interest related to the motor control of the subjects and to calculate parameters of interest

related to the considered figure. The result achieved for each motor task is included in a three-page report in which it is specified: dimensional features, identified in order to characterize the various strategies employed for the drawing and to evaluate the executive accuracy; kinematic features, evaluated in order to characterize the control working during movements, and movement features. To correlate the drawing track obtained and the postural strategy used, it was carried out the analysis of the movements of the upper arm to evaluate possible differences in joint angles between the analyzed groups. Furthermore, a study on the head movement, in relation to the page, was carried out, in order to examine the attention level of the subject during the execution of the text.

A series of statistical tests were performed for the purpose of verifying the significance and the reliability of the obtained results and for identifying possible significant differences between the two groups in the analysed parameters.

Generally, in gross motor movements, the peculiar characteristic of patients with disorders of motor coordination is their clumsiness and the slowness. During the movement analyzed in this thesis the behavior of these children is totally different, in fact they are moving faster than the control group. This result is also shown in the Dyslexia group in which, having regard to the execution speed, is compromised the accuracy of drawing the square. It is assumed that, for the graphic gesture, the disorder involving cognitive aspects, such as the least attention in the movement itself or the lesser interest to the achievement of a correct result and does not seem to be caused by disorders in level It is assumed that, for the graphic gesture, the disorder involving cognitive aspects, such as the least attention in the movement itself or the lesser interest to the achievement of a correct result and does not seem to be caused by biomechanical and motor disorders.

In conclusion, the method of analysis has allowed us to evaluate the graphic gesture more completely and quantitatively characterize the disorders in children with SLD and DCD. In the future, this methodology could give a valuable aid in the characterization of the fine movements of other diseases involving cognitive disorders and could also be integrated with

other types of analysis such as the EEG for the detection of early markers of risk of specific disorders in language and in learning.

# Introduzione

Negli ultimi anni sono stati sviluppati vari test per valutare le abilità cognitive e motorie nei bambini e, in molti di questi, sono presenti delle prove grafiche che richiedono la scrittura di testo o il disegno di figure semplici. Questi movimenti fini caratterizzano diverse tipologie di disturbi, sia a livello cognitivo che a livello motorio, e la loro valutazione è un efficace strumento di sostegno per la scelta del trattamento riabilitativo più adeguato per il paziente. L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è stato la caratterizzazione quantitativa delle prassie grafo-motorie in soggetti con disturbi specifici dell'apprendimento (DSA) e disturbi della coordinazione motoria (DCM) mediante l'utilizzo di un sistema optoelettronico. Nella pratica clinica vengono utilizzati diversi test relativi al gesto grafico, scrittura e disegno, per caratterizzare la natura di molteplici patologie che comportano disturbi a livello cognitivo e motorio. La maggior parte delle valutazioni in questi test clinici utilizza metodi qualitativi che si basano sull'osservazione visiva e su punteggi soggettivi che presentano una dipendenza inter e intraoperatore. In altri studi, per ovviare a questo limite, si è utilizzata una tavoletta grafica che permette la valutazione quantitativa della traccia, ma non l'analisi della postura del soggetto durante il gesto grafico. Alla luce di questo, l'obiettivo di questo studio si è focalizzato sulla realizzazione di una metodologia di analisi che riesca a valutare quantitativamente il prodotto del gesto grafico, in questo caso del disegno, il movimento dell'arto superiore e della testa, permettendo di valutare quindi la postura dei soggetti analizzati. La scelta di questo setup sperimentale permette perciò di associare alla valutazione cognitiva del disegno una valutazione motoria durante il gesto grafico.

Le prove sperimentali sono state condotte nel laboratorio di analisi del movimento dell'istituto IRCCS San Raffaele Pisana di Roma. Durante le acquisizioni è stato chiesto ai bambini di disegnare tre semplici figure geometriche: un cerchio, una croce ed un quadrato. Nella valutazione i soggetti sono stati raggruppati per patologia: dislessia, disgrafia, DSA misti e DSA con DCM. Inoltre è stato considerato un quinto gruppo formato dai pazienti disgrafici e dislessici insieme per poter meglio identificare eventuali analogie comportamentali. Per valutare eventuali differenze tra i vari gruppi di bambini con il gruppo di controllo (GC) e tra il gruppo di disgrafici e quello di dislessici sono stati confrontati i parametri calcolati relativamente alle dimensioni del disegno, alla sua accuratezza e alla cinematica nell'esecuzione del disegno. Inoltre, vengono confrontati i parametri del movimento dell'arto superiore e della testa dei soggetti, mediante un'analisi statistica. Il presente lavoro di tesi si articola nei cinque capitoli seguenti:

**Capitolo 1 - I Disturbi Specifici di Apprendimento e di Coordinazione Motoria :** definizione teorica dei disturbi specifici dell'apprendimento e della coordinazione motoria, eziologia, caratteristiche ed epidemiologia degli stessi.

**Capitolo 2 - Stato dell'arte :** vengono riportati le metodologie di analisi del gesto grafico attualmente in uso nella pratica clinica e i test clinici con cui si caratterizzano le patologie che comportano disturbi motori o cognitivi.

**Capitolo 3 - Materiali e Metodi :** viene riportata in dettaglio l'analisi vera e propria che è stata svolta, in termini di materiali utilizzati, quindi tutto ciò che rientra nella strumentazione di laboratorio, software e metodi adottati.

**Capitolo 4 - Risultati:** vengono riportati i valori di mediana, 25° e 75° percentile dei parametri scelti per la caratterizzazione e viene fornito il risultato dell'analisi statistica indicando quali parametri sono significativamente diversi tra i gruppi analizzati e il GC e tra i pazienti disgrafici e quelli dislessici.

**Capitolo 5 - Conclusioni:** capitolo conclusivo che riassume brevemente il lavoro svolto ed i risultati ottenuti, con un'interpretazione degli stessi

e alcuni spunti per i possibili sviluppi futuri.

# Capitolo 1

## I Disturbi Specifici di Apprendimento e di Coordinazione Motoria

### 1.1 I Disturbi Specifici di Apprendimento

#### Definizione e caratteristiche principali

Donald Hammill nel 1990 definisce le “Learning Disability” (LD) come un gruppo eterogeneo di disturbi di apprendimento, manifestati da significative difficoltà nell’acquisizione e nell’uso di abilità di ascolto, espressione orale, lettura, ragionamento e matematica, presumibilmente dovuti a disfunzioni del sistema nervoso centrale. Possono coesistere con la LD problemi nei comportamenti di autoregolazione, nella percezione sociale e nell’interazione sociale, ma non costituiscono di per sé una LD. Le Learning Disabilities possono verificarsi in concomitanza di altri fattori di handicap o di influenze estrinseche (culturali, d’istruzione, ecc.), ma non sono il risultato di quelle condizioni o influenze.[3]

Il termine “Disturbo Specifico dell’Apprendimento” (DSA) fa riferimento invece ad una precisa categoria diagnostica dal punto di vista clinico e scientifico, identificata da precisi criteri oggettivi e valutabili. Tale termine va distinto dalla più generica espressione “difficoltà di apprendimento” che

include tipologie molto diverse di difficoltà che si possono manifestare nell'ambito scolastico. Questa differenza viene ben definita nella prima parte del documento elaborato dalla Consensus Conference<sup>1</sup> nel 2009 che indica come principale caratteristica di questo disturbo la «specificità», come si può anche notare in Figura 1.1. Ciò significa che il DSA è, in modo significativo e circoscritto, relativo ad uno specifico dominio di abilità, mentre rimane intatto il funzionamento intellettuale generale. In questo senso, il principale criterio necessario per stabilire la diagnosi di DSA è quello della “discrepanza” tra abilità nel dominio specifico interessato (deficitaria in rapporto alle attese per l'età e/o la classe frequentata) e l'intelligenza generale (adeguata per l'età cronologica).[4]



Figura 1.1: Definizione dei DSA data dall'associazione AGIAD[52].

Dal 2010 la Legge 170/2010 garantisce e tutela il diritto allo studio degli studenti con DSA, e riconosce: “...*la dislessia, la disgrafia, la disortografia e la discalculia come disturbi specifici di apprendimento(DSA) che*

<sup>1</sup>È una metodologia per rispondere a quesiti relativi all'efficacia, ai rischi e alle applicazioni cliniche di interventi biomedici o di sanità pubblica, oggetto di specifiche controversie nella pratica clinica, orientandone anche la ricerca futura. Si realizza attraverso la produzione di rapporti di valutazione della letteratura scientifica, discussi da una “Giuria” composta da professionisti sanitari e da altre figure professionali e sociali.

*si manifestano in presenza di capacità cognitive adeguate, in assenza di patologie neurologiche e di deficit sensoriali, ma possono costituire una limitazione importante per alcune attività della vita quotidiana.”[1]*

Nei paesi anglosassoni si include inoltre il Disturbo della Coordinazione Motoria (DCM) tra i DSA.<sup>2</sup>

## Dati epidemiologici

Anche se le difficoltà di apprendimento scolastico riguardano il 10-20% della popolazione in età scolare, la prevalenza dei disturbi specifici di apprendimento (dislessia, disgrafia, disortografia e discalculia) viene posta dalla maggioranza degli autori tra il 2 ed il 5%.

Di seguito ci focalizzeremo solo su alcuni di questi disturbi di nostro interesse, in particolare: il Disturbo della Coordinazione Motoria, la Disgrafia e la Dislessia.

## 1.2 Il Disturbo della Coordinazione Motoria

Il disturbo della coordinazione motoria (DCM) spesso si manifesta in corrispondenza con altri DSA e per questo ci interessa approfondirne alcuni aspetti principali.

### Definizione

Con il termine DCM in generale ci si riferisce a bambini con un'intelligenza normale, senza evidenti patologie neurologiche ma con una coordinazione motoria ridotta. I problemi motori dei bambini con DCM sono spesso abbastanza gravi da determinare un'alterazione delle attività quotidiane sia a casa sia a scuola.

---

<sup>2</sup>I riferimenti internazionali utilizzati nella definizione e classificazione dei DSA sono: ICD-10 (F81 Disturbi evolutivi specifici delle abilità scolastiche); DSM IV TR (315 Disturbi dell'apprendimento).[2]

## Caratteristiche

Le prestazioni di questi soggetti nelle attività che richiedono coordinazione motoria sono sostanzialmente inferiori rispetto a quanto previsto in base all'età cronologica del soggetto e alla valutazione psicometrica della sua intelligenza. Questo disturbo può manifestarsi perciò con un notevole ritardo nel raggiungimento delle tappe motorie fondamentali (per es. camminare, gattonare, star seduti), col far cadere gli oggetti, con goffaggine, con scadenti prestazioni sportive o con calligrafia deficitaria. Le varie manifestazioni cliniche che possono essere tra loro variamente associate e modificarsi nel corso dello sviluppo, sono costituite da:

- Goffaggine: caratterizzata da movimenti impacciati, alterati nelle sequenze temporali, maldestri e poco o affatto efficaci;
- Posture inadeguate, dipendenti da scarsa consapevolezza del proprio corpo, le quali interferiscono sia sul mantenimento di un buon equilibrio sia sulla coordinazione del movimento;
- Confusione della lateralità con difficoltà ad orientarsi nello spazio e di trovare il proprio posto in una situazione nuova;
- Problemi di consapevolezza del tempo con difficoltà nel rispettare gli orari e nel ricordare i compiti nella giornata;
- Ipersensibilità al contatto fisico e problemi a portare vestiti in modo confortevole;
- Problemi nell'eseguire attività fisiche come correre, prendere ed usare attrezzi, tenere la penna e scrivere;
- Ridotto sviluppo delle capacità di organizzazione, con conseguenti evidenti difficoltà nell'eseguire attività che richiedono sequenze precise;
- Facile stancabilità;
- Scarsissima consapevolezza dei pericoli;

- Comportamenti fobici, compulsivi ed immaturi.

A seconda delle caratteristiche che si manifestano vengono distinte:

- 1) la Sindrome del bambino goffo o goffaggine (Rosano e Galletti 1980)<sup>3</sup>;
- 2) la Disprassia evolutiva.

Nella goffaggine è alterata la motilità primaria non in termini di forza e tono muscolare, ma in termini di velocità e di destrezza. Le abilità motorie sono imprecise piuttosto che grossolanamente compromesse e l'esame neurologico non mostra significative anomalie.

L'aspetto caratterizzante della disprassia è la non corretta esecuzione di una sequenza motoria che, risulta alterata nei requisiti spaziali e temporali e spesso associata a movimenti non richiesti con la conseguenza che l'attività motoria, anche se eseguita con rapidità ed in modo apparentemente abile, può essere del tutto inefficace e scorretta.[53] Come si può vedere in Figura 1.2 esistono diversi tipi di disprassia che può colpire diverse aree motorie.



Figura 1.2: Differenti tipologie di disprassia.

In particolare nel bambino in età scolare la disprassia si manifesta con:

- difficoltà in matematica;

<sup>3</sup>Il termine è stato usato anche prima del 1980, ma con il significato generico di male organizzazione motoria. Anche attualmente viene usato quasi sempre come termine generico

- disgrafia;
- incapacità di elaborare delle storie con una struttura base;
- difficoltà di apprendimento;
- rallentamento eccessivo nell'esecuzione di un compito, per esempio copiare dalla lavagna o scrivere sotto dettatura.

### Aspetti eziologici

Ad oggi le cause della disprassia non sono ben accertate, ma tra le ipotesi si pensa che le cause possano essere:

- Ereditarie;
- Legate alla gravidanza;
- Legate al parto (pre-termine o post-termine);
- Congenite (gene FOXP2 nel caso di disprassia verbale).

Nel 50% dei casi è stato rilevato che si sono avuti problemi durante la gravidanza o il parto, quali anche lievi anossie perinatali.<sup>4</sup>

Per quanto riguarda le cause di tipo patologico la disprassia può essere legata a sindromi genetiche come la sindrome di Down, a condizioni di ritardo mentale, ad autismo, Sindrome di Asperger a problemi neurologici come la paralisi, oppure può insorgere dopo un problema fisico quale un trauma cranico conseguente, per esempio, ad una caduta.

### Dati epidemiologici

Colpisce in genere la popolazione infantile, in particolare il 3-6% dei bambini in età evolutiva (tra 5 e 11 anni), e si verifica maggiormente nei maschi rispetto alle femmine.[54]

---

<sup>4</sup>Dunn et al.,1986; Gubbay,1985

## Comorbilità

Diversi studi mostrano un'elevata presenza di problematiche motorie in tutti i disturbi dello sviluppo <sup>5</sup> e la comorbilità varia dal 23.9% al 33.7% a seconda dei diversi disturbi, con picchi più alti nella dislessia, la cui comorbilità varia dal 33 all'87% a seconda degli studi<sup>6</sup>.

La disprassia è associata spesso a problemi di linguaggio, di percezione e di elaborazione del pensiero. Il linguaggio può essere semplificato nella struttura sintattico-grammaticale ed alterato negli aspetti articolatori, la percezione inadeguata nell'integrare le informazioni periferiche e nel correlarle all'azione e il pensiero scarsamente organizzato nei vari contenuti.[53]

## 1.3 La Disgrafia

### Definizione

La Disgrafia è il disturbo che coinvolge gli aspetti esecutivi e motori della grafia, di cui è compromessa la comprensibilità.

### Caratteristiche

Il soggetto disgrafico incontra difficoltà nello scrivere in modo fluido, veloce ed efficace e la sua scrittura, come si può notare in Figura 1.3, appare fluttuante e distorta, sia in termini di grandezza che in termini di configurazione spaziale. Inoltre in questi soggetti è possibile osservare una pressione troppo marcata o troppo debole sul foglio, associata ad una prensione della penna poco funzionale.

Secondo l'associazione AGIAD<sup>7</sup> si può porre diagnosi di disgrafia a partire dalla seconda/terza classe della scuola primaria.[52]

---

<sup>5</sup>Pieters et al., 2013

<sup>6</sup>Miyahara, 1997; Kaplan et al., 1998

<sup>7</sup>Associazione Genitori, Insegnanti e amici della Dislessia

Kua rauter:  
 Det er en jerdunge.  
 Jenta klapper den vete kalven.  
 Mor skjærer brød til frokost.  
 Han brukte sykkel til kirken.  
 Røyken begynte å lukte vondt.

A

Oppgave 3.  
 Kua rauter:  
 Det er en jerdunge.  
 Jenta klapper den vete kalven.  
 Mor skjærer brød til frokost.  
 Han ~~brukte~~ brukte sykkel til kirken.  
 Røyken begynte å lukte ~~vondt~~ vondt.

B

Figura 1.3: Scrittura di un bambino normale (A) messa a confronto con il testo scritto da un bambino con goffaggine e disgrafia (B).

## Tipologie

Esistono vari criteri di classificazione della disgrafia che diversificano il disturbo in base a come si presenta la scrittura: secondo il criterio di Ajuriaguerra, che risale agli anni sessanta, la disgrafia può essere:

- Disgrafia rigida;
- Disgrafia rilassata;
- Disgrafia impulsiva;
- Disgrafia maldestra;
- Disgrafia lenta e precisa.

Oggi si suole suddividere i soggetti disgrafici in base alle difficoltà riscontrate:

1. i soggetti con disturbi di organizzazione dello spazio;

2. i soggetti con difficoltà posturali (scrivono in maniera rigida, impugnando male la penna e calcando molto);
3. i soggetti con difficoltà di controllo motorio.

### Aspetti eziologici

Attualmente non siamo ancora in grado di identificare con certezza la causa o le cause della disgrafia. Sono state fatte varie ipotesi ed esiste in materia un dibattito ancora aperto. L'ipotesi che riscuote maggior credito da parte degli esperti è che la disgrafia sia una disfunzione del meccanismo cerebrale che consente di passare dai concetti mentali, al suono e al simbolo (dal fonema al grafema)

Con buona probabilità esistono differenti cause per differenti aspetti del disturbo della "Brutta scrittura ". Essa può dipendere:

- da un deficit di coordinazione motoria: che rende difficoltosi movimenti tesi ad un determinato fine;
- da una "lateralizzazione incompleta ", cioè quel processo che coordina mano-occhio e che consente movimenti sincronizzati tra la visione e realizzazione grafica, come quelli di scrittura;
- da difficoltà di orientamento spazio-temporale;
- da un disturbo da deficit di attenzione caratterizzato da un livello di attenzione insufficiente;
- da un precoce apprendimento della scrittura, quando il bambino non aveva maturato completamente tutti i processi specifici che sovrintendono a tale apprendimento;
- può essere espressione di un disagio più profondo di natura affettiva.

Alcuni studiosi hanno individuato una causa genetica dovuta al cromosoma 6 ma tale teoria è ancora da dimostrare.[54]

## Comorbilità

Oltre che nella scrittura il bambino disgrafico può avere difficoltà e ritardi rispetto alla sua età anche nella quotidianità. Le cause sono da ricondursi alla ridotta capacità visuo-motoria e alle ridotte capacità di organizzazione spazio-tempo. Di conseguenza al bambino disgrafico riescono difficili anche semplici operazioni come: allacciarsi le scarpe, vestirsi, tagliare la carne, mangiare con coordinazione, orientarsi nel tempo e nello spazio e leggere l'ora.

## 1.4 La Dislessia

### Definizione

La dislessia è un disturbo di natura neurofisiologica che si manifesta con difficoltà nel decifrare i segni linguistici e nella trasformazione del fonema (suono) in grafema (segno). La sua specificità è data dall'interessamento di un particolare dominio di abilità (lettura-scrittura) mantenendo inalterato il funzionamento intellettuale.

### Caratteristiche

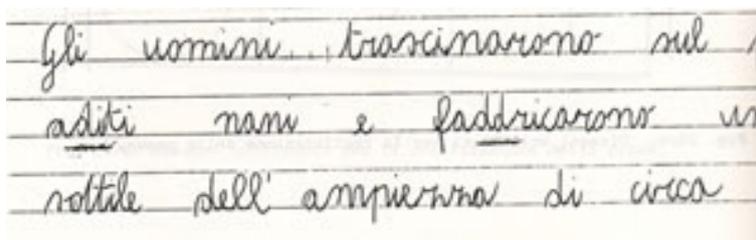


Figura 1.4: Scrittura di un bambino dislessico che scambia la lettera "b" con la lettera "d".

I sintomi con cui si manifesta il disturbo sono molteplici poichè ogni dislessico ha delle proprie caratteristiche con sintomi diversi e più o meno gravi. In generale:

- Ritardo nell'automatizzazione della lettura e scrittura: ad esempio compiere inversioni di lettere durante la scrittura, quali 'on 'al posto di 'no 'o confusione di lettere come 'd 'al posto di 'b '(vedi Figura 1.4);
- Frequenti errori ortografici (soprattutto in dettato);
- Difficoltà nella divisione in sillabe delle parole;
- Scarsa comprensione del testo dovuta non a deficit cognitivi, ma alla difficoltà di lettura. I dislessici, infatti comprendono meglio un testo letto da altri che da se stessi;
- Difficoltà ad imparare tabelline o le lettere dell'alfabeto;
- Confusione nei rapporti spazio temporali come destra-sinistra, nella lettura dell'orologio ecc..;
- Lentezza nell'esecuzione dei compiti in classe;
- Distrazione, mancanza di interesse e di partecipazione in classe: l'alunno è in difficoltà per cui spesso è assente, distratto, stanco e non partecipa durante la lezione;
- Disagio nello svolgere esercizi alla lavagna o leggere ad alta voce;
- Disorganizzazione, dovuta alla mancata automatizzazione degli schemi mentali. [54]

### Aspetti eziologici

Per i disturbi specifici di apprendimento sono stati descritti principalmente due fattori, genetici ed acquisiti. Essi possono manifestarsi da soli o in concomitanza ed essere tra loro correlati.

- Fattori genetici: (disturbo della migrazione dei neuroni, ectopia delle circonvoluzioni cerebrali). Riguardo agli aspetti genetici esistono tre filoni di ricerche convergenti: studi di gemelli dislessici, studi di

famiglie dislessiche e studi genetici molecolari, che indicano come la dislessia o almeno qualcuna delle sue forme sia ereditaria. È stato riportato che il rischio di dislessia per i parenti di primo grado si colloca fra il 35 e il 45%. I gemelli monozigoti concordano al 84%, i dizigoti al 50%. È stata dimostrata una associazione genetica fra i disturbi di lettura e i cromosomi 1,2,6,13,14,15 e in particolare sono stati trovati collegamenti fra il cromosoma 6 e la consapevolezza fonologica e fra il cromosoma 15 e la lettura di singoli fonemi [5, 6, 7, 9]. Allo stato attuale, con gli studi di associazione genetica, si può soltanto affermare che esistono alcune aree di interesse per la dislessia, diffuse in tutte le regioni del genoma umano. Nessuna di queste osservazioni può essere considerata definitiva e sono necessari ulteriori studi.

- Fattori acquisiti: una sofferenza cerebrale precoce rallenta la velocità di maturazione, come avviene nei neonati pretermine di basso peso e nei neonati a termine con asfissia, provocando un ritardo dei processi di apprendimento e dello sviluppo delle abilità di lettura. Molto spesso queste difficoltà si evidenziano come disabilità neuropsicologiche specifiche (deficit di attenzione, disturbi linguistici, disturbi di memoria, alterazione delle competenze spazio-temporali, impaccio motorio) [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] o possono trovarsi nell'ambito di una sfumata sindrome piramidale o atassica. Disturbi della memoria a breve termine come singolo esito di un grave trauma cranico, arresto cardiorespiratorio, episodio di stato di male o un'ernia tentoriale da idrocefalo, sono stati segnalati come possibili cause di dislessia. Un focolaio epilettico nella regione temporo-occipitale inferiore sinistra è stato quasi sempre associato ad un disturbo della memoria verbale. Lesioni di varia natura o ritardo di maturazione del giro angolare che collega l'area associativa uditiva con quella associativa visiva provocano alessia<sup>8</sup> con agrafia, come pure lesioni della sostanza bianca peri-ventricolare del lobo occipitale sinistro provoca-

---

<sup>8</sup>Alessia è il termine che, in neuropsicologia, indica un disordine patologico della sfera sensoriale, consistente nella perdita delle competenze cognitive che permettono la lettura.

no alessia senza agrafia. Tutte queste forme lesionali non sono molto frequenti in età evolutiva.[23]

### **Dati epidemiologici**

Ad oggi interessa il 3-4% della popolazione studentesca della scuola primaria e secondaria di primo grado.[54]

# Capitolo 2

## Stato dell'Arte

### Introduzione

Fin dai primi anni del '900 si è sentita la necessità di definire la qualità della scrittura attraverso una metodologia condivisibile con altri esaminatori. La valutazione del materiale manoscritto si fondava sul concetto di leggibilità. Il testo da esaminare veniva paragonato ad esempi di scrittura precedentemente ordinati dal “più leggibile” al “meno leggibile”. Queste prime scale di valutazione qualitativa della scrittura vengono definite scale globali-olistiche<sup>1</sup>. Un approccio più recente utilizza invece parametri pre-determinati e ben definiti, come la grandezza dei caratteri o la spaziatura tra le lettere, attraverso cui viene analizzato il testo scritto. Quest'ultimo approccio caratterizza le scale analitiche,<sup>2</sup> tra cui il “The concise assessment method for children handwriting”.

Entrambe le metodologie presentano alcune limitazioni: le scale olistiche necessitano di tempi lunghi di valutazione e si prestano poco al confronto tra esaminatori; le scale analitiche, seppur meno legate ad un giudizio soggettivo, risultano poco omogenee nell'individuazione delle caratteristiche qualitative della scrittura e metodologicamente molto dissimili tra loro; ulteriormente non permettono di ritenere un'impressione globale del manoscritto. Nessuna scala inoltre permette un'analisi in tempo reale

---

<sup>1</sup>(Ayres, 1912; Freeman, 1959).

<sup>2</sup>(De Ajuriaguerra et al. 1979; Alston, 1983; Hamstra-Bletz, de Bie de Binker, 1987; Larsen Hammil, 1989; Reisman, 1993; Amundson, 1995).

del processo di scrittura e tanto meno delle componenti dinamiche ad esso correlate.

In conclusione, nonostante l'introduzione di metodi più sofisticati, precisi ed oggettivi, quali l'analisi cinematica mediata dalle tavolette di scrittura [44], e in uno studio anche dal sistema optoelettronico [39], le scale di valutazione restano lo strumento più accessibile ed utilizzato nella pratica clinica per definire la qualità di un testo scritto a mano.[24]

## 2.1 Metodi di Valutazione del Gesto Grafico Qualitativi

Come è già stato sottolineato questa categoria di test è quella ancora più largamente utilizzata nella pratica clinica. Di seguito ne analizzeremo alcuni esempi.

### Test di Denver

Il test di Denver sullo sviluppo del bambino (DDST) [41], nella sua prima versione pubblicata nel 1967, è stato il primo screening test di supporto all'individuazione di potenziali problemi di sviluppo nei bambini.

Questo test prevede differenti tipologie di prove raggruppate in quattro aree principali di valutazione:

- Personale-sociale;
- Funzionalità motoria fine;
- Linguistica;
- Funzionalità motoria grossolana

Il risultato del paziente nelle varie attività viene poi confrontato con la percentuale dei coetanei che hanno superato la prova e si stabilisce se vi è il rischio o meno di un eventuale ritardo.

In questo test sono previste diverse prove grafiche nell'area di valutazione dei movimenti fini, ed in particolare si richiede di:

- scarabocchiare;
- disegnare una linea verticale;
- copiare un cerchio;
- disegnare una persona<sup>3</sup>;
- copiare una croce;
- copiare un quadrato.

L'esecuzione dei disegni viene valutata qualitativamente secondo alcuni criteri che è possibile osservare in Figura 2.1.

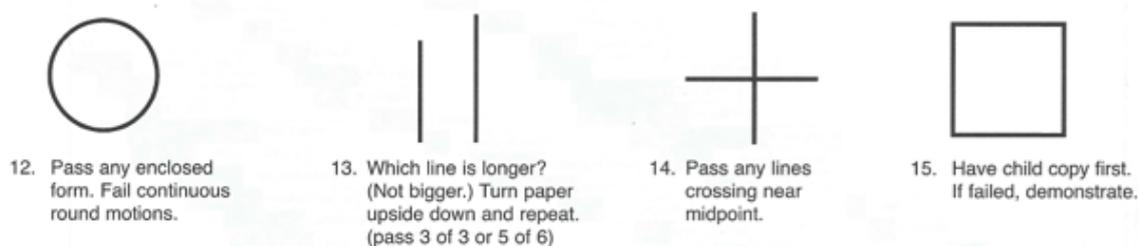


Figura 2.1: Criteri di valutazione di alcune prove grafiche nel test di DenverII.

### Test di Santucci-Pêcheux

Nel test di Santucci-Pêcheux (1969) viene richiesto al bambino di riprodurre cinque disegni geometrici per poter analizzare le capacità di comprensione-esecuzione di figure semplici.

Questo test deriva da quello di Bender<sup>4</sup> per la valutazione delle alterazioni del SNC<sup>5</sup> negli adulti. Gli autori, orientati prevalentemente all'esame

<sup>3</sup>Test della Figura Umana (TFU): sviluppato da Goodenough nel 1926, è un test di efficienza intellettuale che si può utilizzare dai 3 ai 15 anni[55].

<sup>4</sup>Lauretta Bender, 1938.

<sup>5</sup>Sistema Nervoso Centrale.

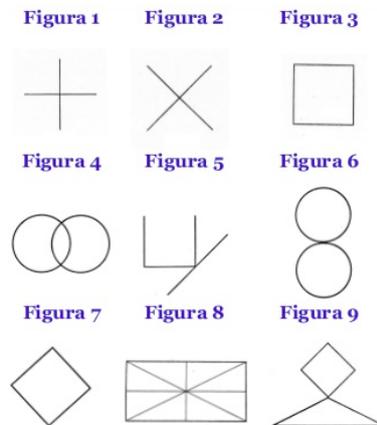


Figura 2.2: Figure geometriche utilizzate nel test di Laretta Bender.

psicologico nell'età evolutiva, hanno proposto di utilizzare solo 5 figure tra quelle proposte dalla Bender (Figura 2.2), proprio per rendere più maneggevole lo strumento ed aumentare la capacità di discriminare il livello grafo-percettivo raggiunto dal bambino. Questa è stata la conclusione di un'attenta analisi statistica delle riproduzioni di 580 bambini che ha portato gli autori ad elaborare delle categorie valutative per determinare l'età del soggetto attraverso l'individuazione di errori caratteristici per quella stessa età.

### Test di Wartegg

La tecnica diagnostica di Wartegg (Wartegg-Zeichentest), conosciuta anche come WZT, è adatta a cogliere la struttura della personalità nell'aspetto globale e dinamico, cioè di sviluppo, di crescita e di qualità delle risorse psicologiche che ogni persona possiede.

Il test di Wartegg è un test grafico proiettivo, semistrutturato, costituito da un modulo che racchiude otto riquadri, come si vede in Figura 2.3. In ciascun riquadro sono raffigurati differenti segni grafici che il soggetto viene invitato ad utilizzare come spunto per realizzare otto disegni di senso compiuto.

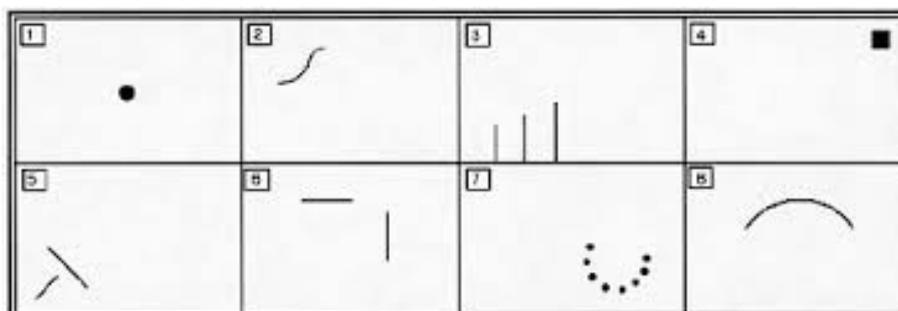


Figura 2.3: Modulo del test di Wartegg che racchiude otto riquadri, numerati da 1 a 8, disposti orizzontalmente su due file parallele di 4 e divisi tra loro da un ampio bordo nero.

### Children Handwriting Evaluation Scale (CHES)

Questa scala è stata sviluppata per offrire ai clinici e agli insegnanti un sistema di misura della qualità e della fluency del corsivo tra la terza elementare e la terza media [30]. I bambini dovevano leggere una storia di 197 lettere e poi copiarla nel modo in cui scrivevano usualmente su un foglio bianco. Per misurare la velocità di scrittura gli esaminatori segnano il punto che raggiungono dopo due minuti. Il punteggio assegnato va da 1 a 5 e valuta i seguenti criteri: forma delle lettere, inclinazione, ritmo, spaziatura e aspetto generale.[31]

Una scala simile fu sviluppata per lo stampatello per i bambini della prima e della seconda elementare. L'uso del foglio bianco è stato criticato successivamente da altri ricercatori.

### Concise Evaluation Scale For Children's Handwriting BHK

La scala BHK, presentata per la prima volta in Olanda nel 1987 dal Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo dell'Università di Leida, risulta essere un'elaborazione sintetica della scala per le Disgrafie di Ajuriaguerra. Essa è basata in parte su considerazione teoriche<sup>6</sup> ed in parte ancora su

<sup>6</sup>(Taylor, 1981; Van den Linden 1983).

un'analisi delle diverse tipologie grafiche in età evolutiva, eseguita da esperti in materia<sup>7</sup> .

La BHK è una scala di valutazione che prevede la copia su foglio bianco da parte del bambino di un testo standard, di difficoltà gradualmente crescente, in un tempo predefinito di 5 minuti. La velocità è determinata dal numero di grafemi prodotti.

In particolare i 13 parametri di valutazione utilizzati sono:

1. Aspetti spaziali globali:

- Dimensione della scrittura;
- Espansione del margine sinistro;
- Lettere o parole mal allineate;
- Spazio insufficiente tra le parole;

2. Collegamenti fra lettere:

- Curve nei collegamenti;
- Irregolarità nei collegamenti;
- Pause nella traccia/assenza dei collegamenti;
- Collisioni di lettere;

3. Altezza delle lettere maiuscole e minuscole:

- Altezza assoluta fuori standard;
- Altezza relativa non coerente;

4. Alterazione dei grafemi:

- Deformazioni;
- Forme ambigue;
- Correzioni di forma;

---

<sup>7</sup>(Hamstra-Bletz e Blote, 1990-1993).

- Instabilità nella traccia.

Il punteggio totale ottenuto dal bambino lo localizza all'interno di 3 possibili fasce:

1. [0-21] Normale;
2. [21-28] Ambiguo/Borderline;
3. [ $>28$ ] Disgrafico [56].

### **Diagnosis and Remediation of Handwriting Problems (DRHP)**

La DRHP è una scala di valutazione utilizzata per individuare tre possibili cause delle difficoltà di scrittura [32]:

1. L'errato insegnamento o apprendimento delle regole di scrittura può causare, ad esempio, un'inadeguata spaziatura o una distorsione della forma delle lettere.
2. La perdita di controllo percettivo-motorio può generare errori di performance, come inconsistenza della dimensione e della pendenza delle lettere.
3. Postura e modo di scrivere inefficienti.

La novità di questa scala è la combinazione di una valutazione derivante dall'osservazione e un'analisi del prodotto scritto.

### **Test per la valutazione delle difficoltà grafo-motorie e posturali DGM-P**

Uno dei più recenti strumenti per la valutazione delle difficoltà grafo-motorie e posturali è il test DGM-P [33]. Il DGM-P test consente di ottenere in tempi relativamente brevi una valutazione accurata della scrittura di bambini segnalati per una grafia eccessivamente lenta e/o illeggibile che, permetta di confrontare il livello della loro prestazione con la performance tipica di bambini di pari età ed esperienza in tale apprendimento. Il test

richiede di eseguire in successione due trascrizioni in corsivo di una semplice frase secondo differenti consegne che si focalizzano sull'accuratezza oppure sulla rapidità della grafia.

L'analisi si basa sulla quantificazione di 12 variabili che caratterizzano l'efficienza dello scritto consentendo di ricavare informazioni rispetto a tre aree di interesse: l'efficienza nell'apprendimento del movimento di scrittura in corsivo; la velocità di esecuzione del compito (valutata in base al numero di lettere al minuto); la leggibilità dello scritto. Infine, il DGM prevede che l'operatore, nel fare il bilancio della performance, possa osservare e considerare per ciascun bambino l'eventuale presenza di abitudini di postura del corpo e prensione della penna poco funzionali alla produzione di una scrittura fluida e ben organizzata.[33]

### Variabilità inter/intra-operatore

Esistono molti altri test in cui il punteggio sulla qualità del gesto grafico è dato in base alla correttezza del disegno o alla leggibilità del testo scritto, ma questo tipo di valutazione qualitativa ha una forte dipendenza sia dall'esperienza dell'esaminatore (variabilità interoperatore) sia dalle condizioni del set-up sperimentale (variabilità intraoperatore) e, proprio per questi motivi, si ha la necessità di cercare metodi di valutazione che diano dei punteggi quantitativi e che riescano a caratterizzare in modo più completo e oggettivo il disturbo analizzato.

## 2.2 Approccio Quantitativo

Il primo metodo pionieristico che ha consentito di avviare la raccolta di informazioni dinamiche sulla scrittura è stato quello della videoregistrazione della stessa [27]. Questo ha rivolto l'interesse degli studiosi verso l'analisi comparativa dei movimenti realizzati da scrittori più o meno efficienti.

## Valutazione con la tavoletta grafica

Ormai già da 20 anni le tavolette grafiche di registrazione si sono affermate come strumento affidabile e oggettivo nella diagnostica del disturbo di scrittura, permettendo di costituire dei piccoli laboratori di analisi del movimento. Queste metodiche risentono poco delle differenze interindividuali e dell'esperienza di chi le usa.

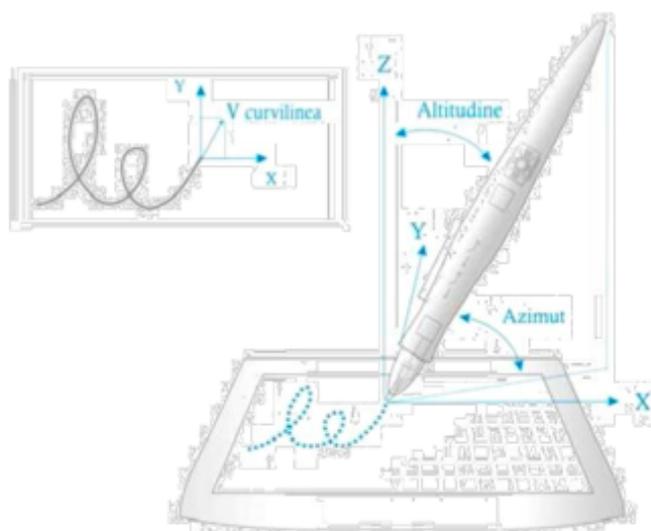


Figura 2.4: Alcuni parametri rilevabili tramite l'utilizzo di una tavoletta grafica.

Tramite la tavoletta grafica, mostrata in Figura 2.4, è possibile registrare la scrittura<sup>8</sup> tracciata da una penna wireless e le traiettorie al di sopra del foglio, scomponendole nei suoi elementi cinematici essenziali: picchi di velocità, accelerazione, pressione esercitata sul foglio, tempo di tracciatura, tempi di reazione, tempi necessari alla pianificazione del movimento, etc. Queste caratteristiche permettono di distinguere uno scrittore abile da un disgrafico.

Molti studi recenti sono stati condotti a partire da acquisizioni della grafia mediante l'uso di tavolette grafiche digitali che permettono un'analisi cinematica oggettiva della scrittura [25] [26]. In questo modo il processo

<sup>8</sup>Frequenza di acquisizione di 170Hz

di scrittura viene caratterizzato analizzando i singoli elementi costituenti delle parole (come una singola lettera), le componenti (traccia compresa tra due staccate della penna dal foglio) e gli stroke (segmento della traccia delimitato da due successivi punti di minimo della velocità curvilinea).

Questa tecnologia, mediata da software dedicati e da programmi di analisi dei dati come Matlab, promette di essere il futuro nella valutazione neuropsicologica dell'atto e del gesto motorio e consente di raccogliere informazioni non soltanto relative al prodotto finito, ma anche sulle strategie usate per produrlo.[24]

Purtroppo un'analisi basata solo sull'utilizzo della tavoletta grafica comporta dei limiti e, in particolare, senza l'utilizzo di un sistema optoelettronico, risulta impossibile valutare il movimento del corpo e della penna staccata dal foglio nello spazio 3D. Inoltre, il comfort di scrittura risulta limitato dal fatto che non si possa spostare il foglio che risulta vincolato alla tavoletta.

### **Valutazione con il sistema optoelettronico**

In un recente studio è stato utilizzato un sistema optoelettronico per l'analisi della traccia grafica relativa al gesto della scrittura che permette di visualizzare all'interno di un predefinito volume di acquisizione le coordinate 3D di oggetti o persone in movimento individuati da delle telecamere a infrarossi (almeno due) tramite l'utilizzo di marker catarifrangenti apposti in particolari punti di repere [28].

Il posizionamento dei marker avviene secondo un protocollo predefinito e, volendo rilevare i movimenti di una penna, in questo caso, sono stati utilizzati tre marker nella fase statica di acquisizione e due in quella dinamica, posizionati sulla penna come in Figura 2.5. Inoltre, per poter permettere al soggetto di compiere l'atto di scrittura nel modo più naturale possibile, nella fase dinamica di acquisizione del gesto grafico, sono stati apposti due marker anche negli angoli del foglio così da poter individuare un sistema ad esso solidale, come si vede in Figura 2.5B. In questo modo non è più

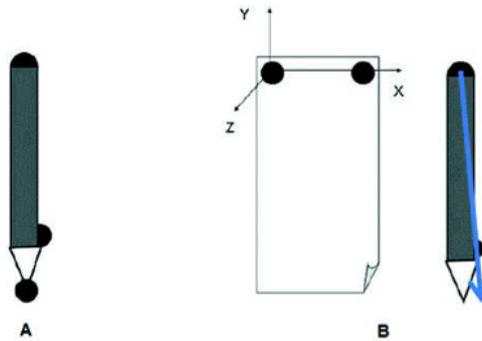


Figura 2.5: La configurazione (A) è quella durante la fase statica, alla quale i soggetti non prendono parte: la penna viene appoggiata sul tavolo per 5 secondi in cui viene calcolata la distanza tra il marker sul cappuccio e la punta della penna. Nella configurazione dinamica (B) viene acquisito il movimento della penna durante il gesto grafico e per ogni frame si determina il vettore che giace sul segmento che congiunge il marker sul cappuccio della penna e il marker posto lateralmente alla penna. La stima della posizione della punta della penna viene ricavata dalle coordinate del vettore “penna” e dalla distanza tra cappuccio e punta, con un piccolo errore angolare.

necessario ancorare il foglio alla tavoletta e il soggetto può compiere il gesto grafico in totale libertà, senza modificare i parametri della traccia stessa.

Questo set-up sperimentale è in grado, oltre che di produrre la valutazione quantitativa del disegno, di quantificare la cinematica del gesto grafico, sia nella fase di appoggio che di stacco della punta dal foglio.

## 2.3 Valutazione dei Movimenti Fini

Numerosi studi che indagano le capacità motorie e cognitive di un soggetto utilizzano test per la valutazione dei movimenti fini come il disegno o la scrittura. Questi gesti grafici permettono di valutare il livello di maturazione percettivo-motorio di un soggetto, in quanto, spesso un disturbo mentale e comportamentale è accompagnato ad una scarsa accuratezza nella scrittura o nel disegno.

## La scrittura

I grafemi costituenti la scrittura sono il risultato di atti motori molto rapidi e precisi, caratterizzati da frequenti cambi di direzione e da un'organizzazione sequenziale nel tempo. La mano sostiene e guida lo strumento di scrittura sul foglio, ma questa, per avanzare lungo il foglio, necessita della contemporanea collaborazione di polso, braccio e spalla. Ogni singolo tratto della penna rappresenta la traccia visibile di un movimento programmato. [29]

## Studi recenti

Tra i primi studi che sono stati condotti si ricorda quello di Maeland (1992) in cui sono stati valutati 19 bambini goffi, 22 disgrafici e 18 "normali", ai quali è stato chiesto di scrivere sotto dettatura 6 frasi. All'esecuzione è stato assegnato un punteggio da 1 a 7 (massimo) a seconda dell'accuratezza e della leggibilità.[34]

Dai risultati è emerso che i bambini disgrafici e con deficit motori hanno ottenuto punteggi inferiori rispetto alla normalità di riferimento. Inoltre, dalla valutazione della correlazione di questo test con altri è emersa una buona correlazione solo con il test sull'integrazione visuo-motoria che si conferma un aspetto fondamentale nel determinare l'accuratezza del gesto grafico. Ovviamente i limiti di questo approccio restano quelli che abbiamo già citato in precedenza per qualsiasi metodo qualitativo di valutazione della scrittura.

In studi più recenti, si sono analizzati il prodotto e il processo della scrittura per caratterizzare il disturbo nello sviluppo della coordinazione (DCD), facendo un confronto con bambini sani [45]. Ai soggetti è chiesto di copiare tre tasks di scrittura su una tavoletta elettronica: scrivere il proprio nome, scrivere l'alfabeto e copiare un paragrafo. Mediante l'utilizzo della tavoletta elettronica, è stato possibile analizzare i parametri cinematici che interessano l'esecuzione del disegno. Sono stati considerati i seguenti parametri: il tempo in cui la penna poggia sul foglio, il tempo di stacco del-

la penna, l'altezza e la larghezza di ogni tratto, l'inclinazione della penna e la pressione sul foglio. Le caratteristiche dinamiche della scrittura possono fornire un'indicazione di quello che sta dietro alle difficoltà nei movimenti fini. Per quanto riguarda il risultato della scrittura le caratteristiche sono state analizzate dallo stesso valutatore in tutte le prove, che ha giudicato la leggibilità globale, l'organizzazione degli spazi e il numero di correzioni o di errori, contando infine il numero di lettere scritte nel primo minuto. Per l'altezza e la larghezza del tratto, calcolate grazie al calcolo delle coordinate della traccia scritta mediante la tavoletta elettronica, non sono state trovate differenze, anche se esse indicano il livello di maturità senso-motoria del soggetto. Per quello che riguarda il tempo di esecuzione, è stato riscontrato un maggior tempo sia con la penna sul foglio sia di stacco della penna, che porta ad avere un minor numero di lettere scritte. La combinazione di un lungo tempo di stacco e il maggior numero di lettere cancellate o soprascritte ha messo in evidenza il deficit nell'abilità di mantenere in memoria la formazione delle lettere e anche il deficit nel formarsi della lettera in modo sequenziale all'interno di un modello organizzato nel tempo e nello spazio. I bambini affetti da DCD hanno un deficit in entrambi i fattori richiesti per una scrittura funzionale: velocità e leggibilità. Sembra, infatti, che questi bambini scrivano complessivamente più lentamente applicando minor pressione sul foglio, investendo più energia per riscrivere o cancellare.

Nel 2010, utilizzando l'analisi computerizzata del movimento, è stato condotto uno studio per la caratterizzazione del controllo motorio nella scrittura di bambini con disturbi della coordinazione motoria e disgrafia [35]. Ai bambini è stato chiesto di imparare a scrivere 6 nuovi caratteri, di cui 3 semplici e 3 complessi, su una tavoletta digitale. Rispetto al gruppo di controllo il raggiungimento dell'obiettivo di automatizzazione del movimento di scrittura del nuovo carattere è risultato marcatamente più lento nei bambini disgrafici e con DCD<sup>9</sup> che, raggiungono velocità superiori nella scrittura dei caratteri semplici, ma, velocità e pressioni inferiori nella scrittura dei caratteri più complessi. Richiamando le teorie del controllo

---

<sup>9</sup>Developmental Coordination Disorder

neuromotorio è stato determinato che i bambini con DCD hanno difficoltà nello svolgere movimenti in anello chiuso e aperto richiesti per una scrittura fluente.

Nel 2013 è stato svolto un confronto tra bambini della prima e seconda elementare, disgrafici e non. I soggetti hanno svolto quattro test di trascrizione, su tavoletta grafica, di differente difficoltà [36]. I dati acquisiti includono misure dirette, come la forza assiale alla punta della penna, e parametri derivati, come la velocità, la durata delle pause, il numero di picchi di velocità e i tempi di stacco dal foglio.

Il risultato più significativo è stato che nei bambini disgrafici risultano incrementati i tempi di pausa tra ogni tratto e le variazioni di direzione della velocità. Sono state osservate anche notevoli differenze tra i bambini di due classi differenti, specialmente tra i soggetti “normali”. I parametri estratti e osservati in questo studio permettono di differenziare e caratterizzare ulteriormente i problemi di scrittura originati da deficit del controllo motorio fine.

Oggigiorno la valutazione della grafia ha molto rilievo a livello internazionale e, per questo, è facile trovare studi che valutano la scrittura in diversi alfabeti da quello latino, come quello arabo in uno studio del 2013 [46], o anche di adulti con disturbi della coordinazione motoria [47].

## **Il disegno**

Il disegno, soprattutto in età infantile, oltre che rappresentare il livello di maturazione percettivo-motoria del soggetto è anche un'espressione profondamente legata alle sue esperienze e alle difficoltà che risultano difficilmente descrivibili verbalmente. Esistono molti studi in psicologia che analizzano i disegni dei bambini, come ad esempio quello della famiglia, e danno possibili interpretazioni di questi disegni legate allo stato emotivo e alle esperienze traumatiche vissute dal bambino.

## Studi recenti

Nel 2003 è stato svolto uno studio su 32 bambini di prima elementare con disturbi della coordinazione motoria e dell'apprendimento, tramite l'analisi cinematica dei movimenti fini [48]. Ai soggetti è stato chiesto di unire due cerchi di tre diverse grandezze (0.22mm, 0.44mm, 0.88mm) come quelli in Figura 2.6, che rappresentano tre livelli di difficoltà (inversamente proporzionale alla grandezza del cerchio).

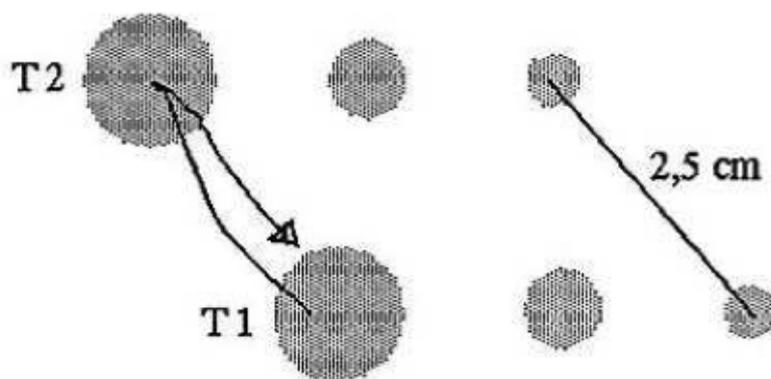


Figura 2.6: Task grafico di collegamento di due target circolari di tre grandezze differenti.

Il tratto di unione può essere singolo o doppio (andata e ritorno) e, cambiando il livello di difficoltà è stato possibile valutare il trade-off tra la velocità d'esecuzione e l'accuratezza del movimento.

La percentuale di successo è risultata minore al crescere della difficoltà in entrambe i gruppi, ed in particolare i bambini con DCD-LD<sup>10</sup> hanno riscontrato maggiori difficoltà nel caso in cui sia stato richiesto il tratto doppio.

Come parametro di accuratezza è stata utilizzata l'area tra il tratto tracciato dal soggetto e quello ideale/lineare. L'area è risultata maggiore nei soggetti con DCD-LD che quindi hanno evidenziato minore accuratezza nello svolgere il task, soprattutto con il doppio tratto.

<sup>10</sup>Developmental Coordination Disorder - Learning Disabilities

Nonostante l'ipotesi iniziale di "lentezza" di Smith-Engelsman, i bambini DCD-LD hanno tracciato i collegamenti a velocità maggiore rispetto al gruppo di controllo ma con minor precisione. Infatti in questi soggetti non sono stati monitorati i submovimenti correttivi necessari per completare accuratamente il gesto e rallentare il movimento in direzione del target, concludendo con un punto di area maggiore. Sembra che abbiano una minor abilità nel predire le conseguenze del loro stesso movimento e che l'inaccuratezza spaziale, ovvero l'insuccesso nel raggiungere il target, sia una conseguenza data dal deficit nella pianificazione del movimento stesso. Emerge la difficoltà nel costruire una rappresentazione interna del movimento a partire dalla rappresentazione esterna, per cui questi bambini hanno un deficit nel predire la forza necessaria al controllo e risultano, alla fine, più veloci.

Da questo studio si è concluso che i soggetti con DCD/LD si affidano maggiormente ai feedback durante l'esecuzione del movimento e trovano maggiori difficoltà con strategia ad anello aperto.[37]

Nel 2006 l'abilità nel disegno è stata indagata in bambini affetti sia da un disturbo da deficit d'attenzione ed iperattività sia da disturbi della coordinazione e dello sviluppo (ADHD-DCD) [49]. In questo studio sono stati valutati, inoltre, gli effetti del metilfenidato sulle capacità motorie dei soggetti. Le caratteristiche valutate sono: la destrezza manuale, l'abilità nella scrittura e l'esecuzione di un tratto a forma di fiore come quello in Figura 2.7, su una tavoletta grafica.

Nel test del disegno a forma di fiore è stato chiesto ai bambini di disegnare il più accuratamente possibile all'interno delle due linee che delimitano il percorso, ed è stato valutato il tempo totale di attuazione, il numero di inversioni della velocità, il valore medio della velocità di esecuzione, la pressione della punta della penna sul foglio e l'accuratezza, misurata calcolando il numero di attraversamenti del bordo con la penna.

Dai test è emerso che i bambini con ADHD-DCD hanno ottenuto un punteggio più basso relativamente alla destrezza manuale rispetto al gruppo di controllo. Per quanto riguarda la scrittura, la qualità dell'esecuzione

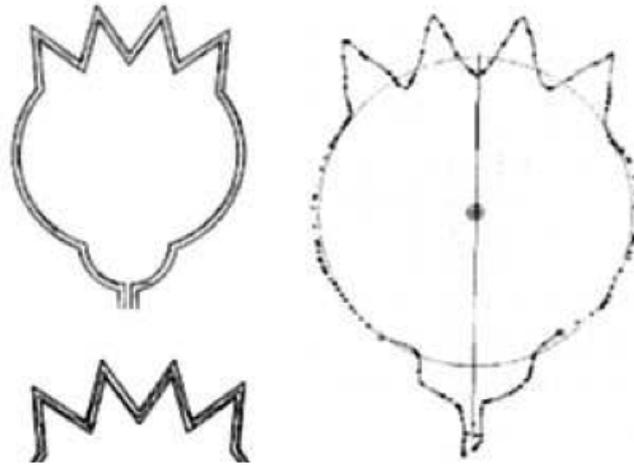


Figura 2.7: Percorso grafico a forma di fiore per l'analisi degli aspetti cinematici nel disegno.

risulta minore, ma la velocità del movimento non presenta differenze significative tra i due gruppi. Infine nel test del disegno del fiore i soggetti con ADHD-DCD sono risultati più veloci e più fluenti nell'esecuzione del disegno ma l'accuratezza risulta inferiore. Emerge che i disturbi inducono questi soggetti ad utilizzare strategie differenti nel movimento fine per completare la traccia del fiore, come era stato riscontrato anche nello studio precedente.

In un recente studio è stato utilizzato un sistema optoelettronico per la valutazione quantitativa dei disegni creati da bambini con difficoltà nell'apprendimento (LD - Learning Disabilities) [39]. I bambini sono stati invitati a copiare alcune figure semplici (un cerchio, un quadrato e una croce), comunemente utilizzati nel test clinico DDST [41] e a copiare una molla orientata verso l'alto e una verso il basso. Nella Figura 2.8 è possibile vedere i parametri valutati per la definizione della qualità e dell'accuratezza dei disegni.

Per valutare l'accuratezza nel disegno del cerchio è stata misurata l'eccentricità, ovvero il rapporto tra il diametro orizzontale ( $dm1$ ) e il diametro verticale ( $dm2$ ). Quanto più il valore si avvicina a 1 tanto più il cerchio

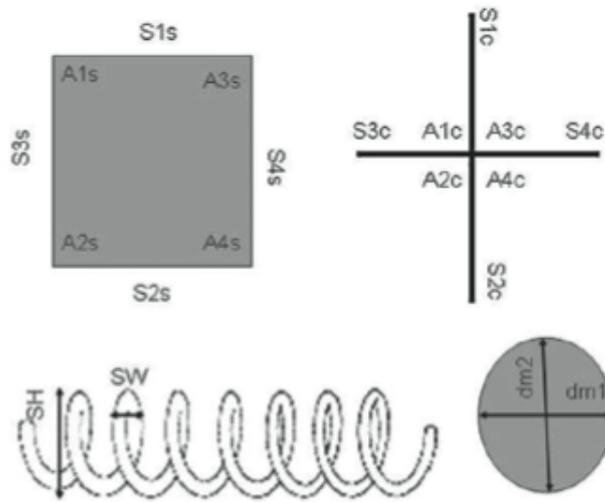


Figura 2.8: Tasks grafici e parametri calcolati.

disegnato si avvicinerà ad un cerchio ideale. Considerando il quadrato, per valutare qualora la figura si presenti come un parallelogramma irregolare sono state considerate le misure dei lati ( $S1s$ ,  $S2s$ ,  $S3s$  e  $S4s$ ) e con queste è stata calcolata la differenza tra le misure delle lunghezze dei lati opposti. Queste differenze vengono sommate trovando l'errore commesso nel disegno:

$$s - \xi = |S1 - S2| + |S3 - S4| \quad (2.1)$$

Per valutare qualora gli angoli ai vertici del quadrato siano acuti o ottusi sono state valutate le ampiezze degli angoli ( $A1s$ ,  $A2s$ ,  $A3s$  e  $A4s$ ) ai quattro vertici e l'errore relativo ad essi, che idealmente dovrebbero essere pari a  $90^\circ$ :

$$a - \xi = (|90 - A1s| + |90 - A2s| + |90 - A3s| + |90 - A4s|) \quad (2.2)$$

Per valutare la correttezza nel disegno della croce, sono state calcolate le lunghezze del tratto superiore, inferiore, sinistro e destro ( $S1c$ ,  $S2c$ ,  $S3c$

e S4c), e le ampiezze dei quattro angoli al centro (A1c, A2c, A3c e A4c). Con questi parametri sono stati calcolati, come per il quadrato, gli errori commessi relativamente alle lunghezza dei tratti ( $s - \xi$ ) e relativamente all'ampiezza degli angoli ( $a - \xi$ ), in modo da valutare la simmetria e la perpendicolarità della croce. Infine nelle spirali sono state calcolate l'altezza (SH) e la larghezza (SW).

I risultati hanno dimostrato che nel task del cerchio non è stata trovata una differenza statisticamente significativa tra l'eccentricità della figura disegnata dai soggetti LD rispetto quella del disegno dei soggetti normali. Per il quadrato invece è stata trovata una differenza significativa nella lunghezza del lato sinistro, che è risultato più corto nel disegno dei bambini con LD, e nell'angolo A2s, che è risultato maggiormente ottuso. Inoltre l'errore angolare si è dimostrato maggiore nei disegno dei bambini LD. Nel test della croce tutti i bracci sono stati disegnati dai bambini con LD con una lunghezza minore rispetto il gruppo di controllo, ed un errore angolare maggiore anche in questo caso. Infine, la molla è stata disegnata dai soggetti patologici con un'altezza inferiore rispetto al disegno dei bambini sani. Questo ha dimostrato che i bambini con difficoltà nell'apprendimento disegnano la figura complessivamente più piccola e con minor accuratezza. Tali difficoltà potrebbero essere attribuite ai deficit percettivo motori, ai disturbi della coordinazione e della orientazione spaziale, tipici aspetti di questa patologia.

# Capitolo 3

## Materiali e Metodi

Come visto nel capitolo 2, l'analisi del gesto grafico è comunemente utilizzata in ambito clinico per la valutazione di aspetti cognitivi e motori in bambini con diversi disturbi o patologie. La maggior parte degli studi fatti nell'ambito dell'analisi della scrittura e del disegno hanno utilizzato un metodo qualitativo, in cui si valuta il disegno fatto sulla carta con una comunissima penna, mentre un numero più ridotto ha utilizzato un metodo quantitativo, tramite l'utilizzo di una tavoletta grafica, che permette di calcolare i parametri della traccia del movimento della penna in uno spazio bidimensionale. Infine in un unico studio si è utilizzato un sistema optoelettronico, che ha permesso un'analisi tridimensionale del movimento della penna, ma senza considerare la cinematica dell'arto superiore e della testa durante il disegno. A partire da quanto presente in letteratura, lo scopo di questa tesi è analizzare con una valutazione quantitativa ed esaustiva l'esecuzione del gesto grafico dei bambini con DSA e DCM, valutando non solo la correttezza del disegno, ma anche gli aspetti della cinematica dell'esecuzione della traccia, il movimento dell'arto superiore e del capo.

### 3.1 Soggetti

I soggetti analizzati in questo studio sono stati suddivisi in cinque gruppi:

1. 58 soggetti (35 maschi 23 femmine) tra i 6 e i 14 anni divisi in quattro gruppi per disturbo specifico rilevato:
  - (a) 11 soggetti disgrafici compongono il gruppo DISGRAFIA;
  - (b) 14 soggetti dislessici compongono il gruppo DISLESSIA;
  - (c) 18 soggetti con più disturbi specifici dell'apprendimento contemporaneamente compongono il gruppo DSA;
  - (d) 15 soggetti con DSA in concomitanza al disturbo della coordinazione motoria compongono il gruppo DSA+DCM.
  
2. Il gruppo di controllo (GC) è costituito da 13 soggetti sani (8 Maschi e 5 Femmine), di età compresa tra i 6 e i 12 anni.

Inoltre è stato considerato un sesto gruppo 'DISGRAFIA+DISLESSIA' composto dai pazienti disgrafici (11) e dislessici (14) per poter meglio evidenziare eventuali analogie tra i due gruppi.

Tutti i partecipanti e i loro tutori legali sono stati informati sul protocollo ed hanno dato il consenso alle condizioni delle prove ed al trattamento dei dati personali.

## 3.2 Task

Dopo aver fatto accomodare il soggetto su una sedia davanti ad un tavolo con il foglio sul quale è stata stampata la figura da copiare, è stata data la penna e l'istruzione di copiare con la mano dominante la figura rappresentata (cerchio, croce e quadrato). L'esecuzione della figura è stata dimostrata solo nel caso di un errore del bambino. Per ogni soggetto si ottengono tre acquisizioni differenti, una per ogni figura disegnata.

## 3.3 Strumentazione

### 3.3.1 Laboratorio

Le acquisizioni sono state condotte nel laboratorio di analisi del movimento dell'istituto IRCCS San Raffaele Pisana di Roma (Figura 3.1). Il laboratorio è fornito di un sistema ELITE (BTS, IT) a 12 telecamere optoelettroniche, due piattaforme dinamometriche (Kistler, CH), un sistema per l'elettromiografia e un sistema SMART D (BTS, IT) a sei telecamere.



Figura 3.1: Laboratorio di analisi del movimento dell'istituto IRCCS San Raffaele Pisana di Roma.

### 3.3.2 Sistema Optoelettronico

Per l'acquisizione del movimento del soggetto viene utilizzato un sistema optoelettronico (SMART D BTS, IT). Tale sistema permette l'acquisizione delle coordinate tridimensionali dei marker posizionati sul soggetto e sulla penna (vedi il paragrafo 3.4), con una frequenza di campionamento di 200Hz. Il sistema è composto da sei telecamere ad infrarosso come quella in Figura 3.2. Le telecamere sono state posizionate davanti e lateralmente al tavolo in maniera tale da acquisire l'intero volume all'interno del quale il soggetto si muove. E' necessario che almeno due telecamere acquisiscano

ogni marker per poter identificare le sue coordinate nello spazio tridimensionale, per cui le sei telecamere devono essere disposte in modo da circondare il volume da acquisire.

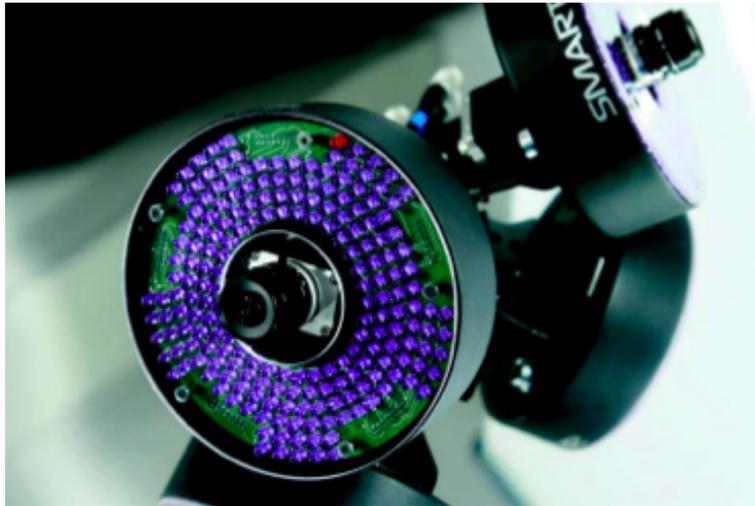


Figura 3.2: Telecamera optoelettronica ad infrarosso.

Il volume di lavoro viene calibrato prima di ogni acquisizione e deve essere sufficientemente piccolo (circa  $0.6 \times 0.4 \times 0.6$  m) in modo da avere un'acquisizione del movimento della penna e degli arti superiori con un'elevata accuratezza. La calibrazione viene considerata accettabile se la media dell'errore nel calcolo della differenza tra la misura acquisita dal sistema e la distanza reale dei due marker fissati agli estremi di una barra rigida alla distanza di 150mm, è all'interno di 0.20 mm (Deviazione standard: 0.20 mm)

### 3.3.3 I Marker

I marker utilizzati sono di tipo passivo, monosferici. Sono oggetti composti da un supporto di plastica e ricoperti da un materiale catarifrangente che riflette la luce nell'intorno di lunghezze d'onda specifiche (780-820 nm). Affinchè i marker risaltino rispetto allo sfondo, i raggi infrarossi emessi ad intervalli regolari dalla corona circolare di LED, posta coassialmente all'obiettivo della telecamera (vedi Figura 3.2), devono colpire la superficie del

marker che dovrà riflettere la luce verso quest'ultimo. Ogni marker viene identificato come un cluster, e per ognuno di questi il sistema calcola la posizione del centroide. Una volta effettuata la localizzazione il sistema optoelettronico è in grado di determinare istante per istante le coordinate 3D di ogni marker, permettendo il calcolo di grandezze articolari, velocità e accelerazioni che caratterizzano la cinematica del movimento dei segmenti di interesse. I Marker vengono applicati mediante dischetti biadesivi, secondo specifici protocolli di posizionamento sul soggetto, sul foglio e sulla penna (vedi capitolo successivo 3.4.1).

### 3.4 Protocollo di Acquisizione

La prova è costituita da due fasi: un' acquisizione statica (vedi Figura 3.3 a sinistra), nella quale vengono acquisiti i marker posizionati sulla penna e sul foglio, ed un' acquisizione dinamica (vedi Figura 3.3 a destra), nella quale vengono applicati marker anche sul soggetto in movimento, sulla penna senza il marker sulla punta e su due vertici del foglio. Durante la prima fase è calcolata la posizione della punta della penna, durante la seconda viene eseguito il test e vengono e calcolati i parametri spazio-temporali e cinematici per la caratterizzazione del movimento dell'arto superiore, della testa e del gesto grafico.



Figura 3.3: Acquisizione statica a sinistra e acquisizione dinamica a destra.

### 3.4.1 Posizionamento dei marker

#### Statica

Prima dell'acquisizione del movimento è necessaria una prova statica. In questa fase è necessario posizionare almeno 4 marker sul cappuccio della penna, i quali sono fissati utilizzando delle astine lunghe circa 50 mm. In Figura 3.4 si può vedere lo specifico protocollo di posizionamento dei marker sulla penna e sul foglio durante la statica.

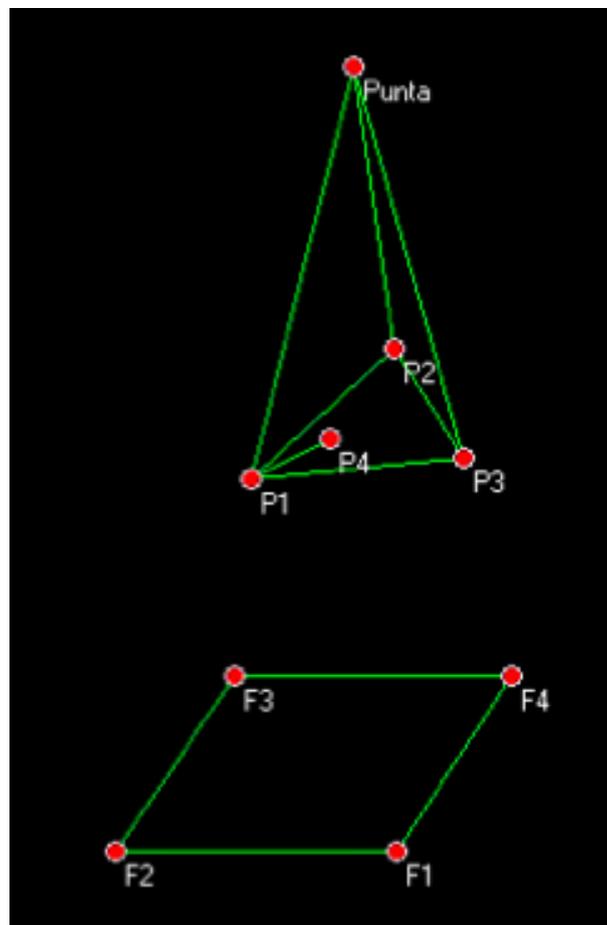


Figura 3.4: Posizionamento dei markers durante l'acquisizione statica.

I marker P1, P2 e P3, posizionati sul tappo, consentono di definire il sistema di riferimento della penna, mentre il quarto marker (P4) viene posizionato per rendere riconoscibile all'operatore il marker P1, nella fase di

etichettatura. Mentre P2 e P3 si individuano di conseguenza. Viene applicato un marker anche sulla punta della penna (PenTip) che permette di conoscere la posizione della punta rispetto al sistema di riferimento della penna, consentendo di ricostruire la traccia della punta della penna nello spazio durante il movimento (vedi paragrafo 3.4.2). Vengono infine applicati quattro marker ai quattro vertici del foglio durante l'acquisizione della statica. Come si vede in Figura 3.4 i marker sul foglio sono etichettati come F1, F2, F3 e F4 e sono disposti in senso orario a partire dal vertice in alto a sinistra, considerando il punto di vista del soggetto. Grazie al posizionamento di quest'ultimi, è possibile definire il piano del foglio, le sue dimensioni e il suo sistema di riferimento locale.

## Dinamica

Successivamente alla prova statica si esegue l'acquisizione del movimento durante il test. In Figura 3.5 è possibile vedere il protocollo per il posizionamento dei marker sulla penna, sul foglio e sul soggetto nello spazio tridimensionale: si tolgono alcuni marker, in particolare quello sulla punta della penna e sui due vertici inferiori del foglio (F3 e F4), per permettere al soggetto di disegnare. Mentre sul cappuccio è necessario mantenere la stessa configurazione di posizionamento dei marker.

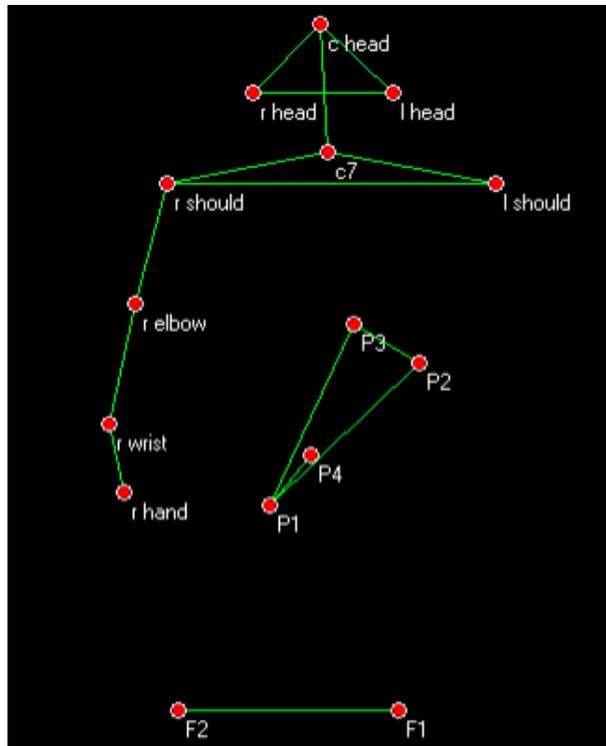


Figura 3.5: Protocollo del posizionamento dei marker durante l'acquisizione dinamica.

Per valutare i movimenti dell'arto superiore e della testa vengono applicati i marker in particolari punti di repere che permettono di ricostruire un modello del soggetto come in Figura 3.5. Ogni segmento è identificato da due marker, mentre la testa e le spalle sono individuati da tre mar-

ker. I marker vengono applicati direttamente sulla pelle del soggetto nelle seguenti posizioni:

- Tre marker sulla testa: uno centrale (c Head) e due laterali (l head e r head) su un supporto rigido solidale con la testa del soggetto;
- Tre marker sulla spalle: uno sulla vertebra C7 (c7) e due su acromion (l should e r should);
- Un marker per ciascun gomito: epicondilo laterale (l elbow e r elbow);
- Un marker per ciascun polso: condilo ulnare (l wrist e r wrist);
- Un marker per ciascuna mano: terzo metacarpo (l hand e r hand).

### 3.4.2 Ricostruzione della traccia della punta

L'analisi dei dati e la ricostruzione numerica sono stati fatti mediante SMART Analyzer (BTS, IT). La penna viene considerata come un corpo rigido, conoscendo le coordinate dei marker applicati su di essa è possibile ricostruire la sua posizione nello spazio, definendo la posizione tridimensionale del sistema di riferimento relativo. Questo permette di ricavare la posizione della punta della penna a partire dal sistema di riferimento sul tappo. L'identificazione dei centroidi dei marker posti sul cappuccio (P1, P2 e P3) permette di costruire un sistema di riferimento locale (SDRL) per la penna che matematicamente è definito dalla matrice di orientazione T (matrice di rototraslazione):

$$T = \begin{pmatrix} i_x & j_x & k_x & o_x \\ i_y & j_y & k_y & o_y \\ i_z & j_z & k_z & o_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Dove [i,j,k] sono i tre vettori unitari ortonormali costruiti secondo i tre centroidi acquisiti P1, P2 e P3. Mentre [o] è il vettore dell'origine del

sistema di riferimento locale della penna. Questa matrice di rototraslazione definisce l'orientamento e la posizione del sistema di riferimento locale rispetto il sistema di riferimento del laboratorio. Si è scelto il punto P1 come origine del sistema di riferimento locale. È importante definire un sistema di riferimento locale della penna equivalente in entrambe le fasi di acquisizione, statica e dinamica. I tre vettori unitari x, y e z sono orientati come si vede nella Figura 3.6.

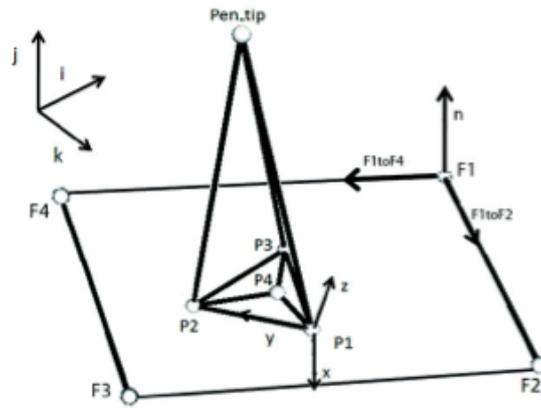


Figura 3.6: Sistemi di riferimento definiti durante l'acquisizione statica:  $[i, j, k]$  = sistema di riferimento assoluto del laboratorio;  $[x, y, z]$  = sistema di riferimento locale della penna;  $[F1toF4, F1toF2, n]$  = sistema di riferimento locale del foglio.

Durante l'acquisizione statica viene calcolata la posizione tridimensionale della punta della penna (Pen-Tip) rispetto il SDRL, con il seguente prodotto matriciale:

$$Tip - Local = \begin{pmatrix} i_x & j_x & k_x & o_x \\ i_y & j_y & k_y & o_y \\ i_z & j_z & k_z & o_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} * Pen - Tip \quad (3.2)$$

Dove Pen-Tip è un vettore di coordinate della punta espresse rispetto al sistema di riferimento assoluto, espresso nella seguente forma:

$$Pen - Tip = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Dove l'ultimo uno è stato aggiunto per il prodotto matriciale. Il vettore Tip-Local (che parte da P1 e punta in direzione del marker della punta) è salvato in memoria e utilizzato nella ricostruzione del movimento durante la successiva acquisizione della dinamica. Durante l'acquisizione della statica è necessario anche definire il sistema di riferimento locale del foglio e calcolare la sua dimensione. Vengono acquisite le quattro coordinate dei marker sul foglio (F1, F2, F3 e F4). L'origine del sistema di riferimento locale definito per il foglio è F1. Come si vede in Figura 3.6 il piano del foglio è identificato dal vettore normale  $n$ , definito come prodotto vettoriale dei vettori  $F1toF4$  e  $F1toF2$ . Il vettore normale viene ridotto a vettore unitario e salvato in memoria, sarà quindi utilizzato successivamente nella fase di acquisizione della dinamica per identificare la superficie di disegno.

La prova dinamica è composta da un serie di frame, e per ognuno dei quali viene ricostruito il sistema di riferimento locale della penna, ottenendo una matrice di orientazione  $T$  (vedi formula 3.2). Come si vede nella formula 3.4, utilizzando la matrice  $T$  è possibile ricalcolare le coordinate della posizione della punta rispetto al sistema di riferimento assoluto (Pen-Tip-recostr in Figura 3.7), per ogni frame dell'acquisizione, conoscendo il vettore Tip-Local, che rappresenta le coordinate della punta rispetto al sistema di riferimento locale (calcolato nella fase statica):

$$Pen - Tip - reconstr = \begin{pmatrix} i_x & j_x & k_x & o_x \\ i_y & j_y & k_y & o_y \\ i_z & j_z & k_z & o_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * Tip - Local \quad (3.4)$$

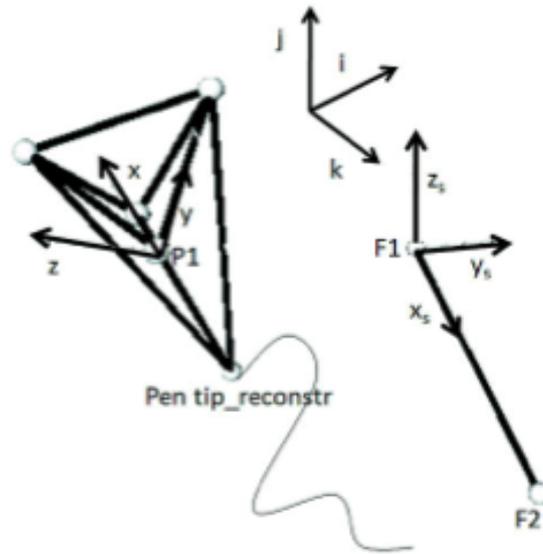


Figura 3.7: Sistemi di riferimento definiti durante l'acquisizione dinamica:  $[i, j, k]$  = sistema di riferimento assoluto del laboratorio;  $[x, y, z]$  = sistema di riferimento locale della penna;  $[x_s, y_s, z_s]$  = sistema di riferimento locale del foglio

Anche il SDRL del foglio deve essere ricostruito per ogni frame dell'acquisizione. L'asse  $x_s$  è definito dal vettore di direzione  $F1$ to $F2$ . L'asse  $z_s$  è definito dal vettore normale al foglio ( $n$ ) precedentemente calcolato. L'asse  $y_s$  si ottiene a partire dal prodotto vettoriale tra  $z_s$  e  $x_s$ . Il piano ( $x_s, y_s$ ) è il piano in cui verrà disegnata la figura. Le coordinate della posizione della punta (Pen-Tip-reconstr) rispetto al sistema di riferimento locale del foglio, quindi è permesso muovere il foglio senza modificare la ricostruzione della traccia. Come si vede in Figura 3.7 il sistema di riferimento locale del foglio è centrato in  $F1$  e definito da una matrice di rototraslazione (vedi equazione 3.1).

Per individuare la traccia sul foglio, separandola dalla traccia della punta in fase di alzata della penna, si utilizza un metodo semi automatico nel quale si visualizza come in Figura 3.8 la traccia sull'asse normale al foglio ( $z_s$ ) e si definiscono gli istanti temporali nei quali avvengono l'appoggio e lo stacco della punta della penna. In questo modo la traccia scritta è analizzata separatamente dal resto della traccia.

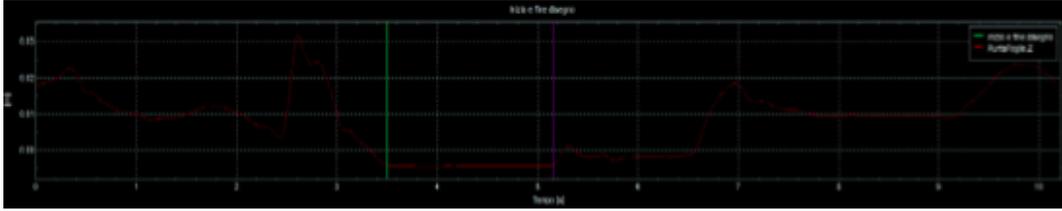


Figura 3.8: Traccia della punta della penna lungo l'asse  $z$ s, vengono indicati il punto d'appoggio e il punto di stacco finale.

## 3.5 Elaborazione dei Dati

### 3.5.1 Software

I dati acquisiti durante le fasi di statica e dinamica sono quindi le coordinate tridimensionali dei centroidi di ognuno dei marker che si trovano all'interno del volume. Per entrambe le acquisizioni, statica e dinamica, i dati relativi all'evoluzione nel tempo di queste coordinate sono stati caricati in un software dedicato, SMART Tracker (BTS IT), che permette di assegnare ad ogni marker, posto su un punto di repere, un'etichetta (label). Tale procedimento viene eseguito secondo un modello specifico di markerizzazione al termine del quale il software assegna automaticamente l'etichetta al marker anche degli altri frame dell'acquisizione (procedura di tracking del marcatore). Successivamente le acquisizioni della statica e della dinamica vengono caricate in un software, SMART Analyzer (BTS IT), insieme alle informazioni personali del paziente. Mediante questo software è stato sviluppato un protocollo ad hoc per ognuno dei tre task motori, al fine di caratterizzare le grandezze specifiche di interesse relative al controllo motorio durante il disegno nei soggetti con DSA e DCM. Le coordinate dei marker vengono interpolate e filtrate con un filtro passa-basso (Frequenza di taglio = 10Hz).

### 3.5.2 Parametri relativi al cerchio, alla croce e al quadrato

Per ogni task motorio sono stati definiti specifici parametri relativi alla figura e al movimento del soggetto. Per la caratterizzazione del disegno sono stati calcolati parametri dimensionali, sulla forma della figura e sull'accuratezza nel disegno, analizzando quanto la figura si avvicina a quella ideale rappresentata. Queste caratteristiche sono state valutate per individuare se i soggetti adottano diverse strategie nel disegno. Sono state valutate anche le caratteristiche cinematiche dell'esecuzione della traccia per caratterizzare il meccanismo di controllo durante il movimento. Per valutare il movimento del soggetto sono state valutate le ampiezza degli angoli articolari dell'arto superiore. Infine, si è valutato il movimento della testa per descrivere il comportamento del soggetto rispetto al foglio e rispetto alle spalle, utile per caratterizzarne il livello di attenzione durante l'esecuzione della prova.

#### Cerchio

##### *Parametri spazio-temporali*

Per la caratterizzazione della traccia del cerchio si sono calcolati la lunghezza della traccia ( $L_c$  [m]), il diametro verticale ( $D1$  [m]), definito come la distanza tra massimo e minimo valore lungo l'asse x, e il diametro orizzontale ( $D2$  [m]), definito come la distanza tra massimo e minimo valore lungo l'asse y, indicati in Figura 3.9.

Sono stati calcolati il tempo d'esecuzione ( $T_c$  [s]), i valori di velocità media ( $V\text{-Med-c}$  [m/s]), il valore del picco massimo della velocità ( $V\text{-Max-c}$  [m/s]). Inoltre si calcola l'accelerazione media ( $A\text{-Med}$  [m/s<sup>2</sup>]) e massima ( $A\text{-Max}$  [m/s<sup>2</sup>]).

##### *Indici di accuratezza*

Per caratterizzare l'accuratezza nel disegno del cerchio è stata misurata l'eccentricità come il rapporto tra il diametro verticale ( $D1$ ) e il diametro orizzontale ( $D2$ ). È stato calcolato quindi l'errore legato all'eccentricità,

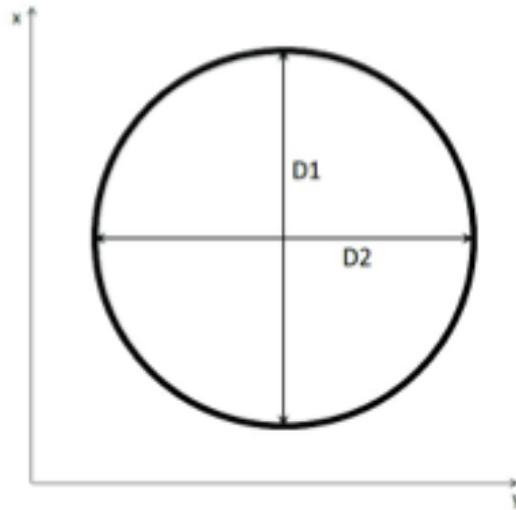


Figura 3.9: Parametri spaziali analizzati per il cerchio.

ovvero la tendenza del cerchio ad essere disegnato come un'ellisse, orientata verticalmente oppure orizzontalmente:

$$Errore_{ecc} = |1 - D1/D2| \quad (3.5)$$

L'errore può assumere valori tra 0 e 1: quanto più questo valore si avvicina allo zero tanto più il cerchio si avvicina all'idealità. Inoltre sono state calcolate le percentuali tra i soggetti che hanno ottenuto un valore del rapporto tra D1 e D2 maggiore di uno e i soggetti che hanno ottenuto un rapporto minore, per poter discriminare se l'errore d'eccentricità sia tendenzialmente in direzione verticale o orizzontale.

È stata valutata anche la qualità della chiusura della figura, definendone tre diverse modalità. Come si vede in Figura 3.10 alle tre modalità di chiusura viene assegnato un punteggio: alla mancata chiusura è stato assegnato un punteggio nullo, alla chiusura in cui il tratto finale incrocia il tratto iniziale è stato dato un punteggio pari a 1, infine alla chiusura esatta in cui il punto finale della traccia corrisponde al punto iniziale della traccia è stato assegnato un punteggio pari a 2.

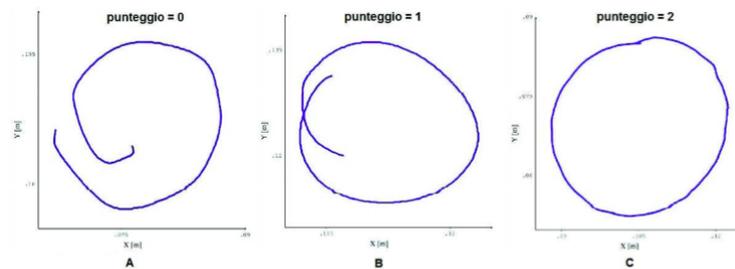


Figura 3.10: Cerchio aperto (A) cerchio con incrocio (B) cerchio chiuso (C).

### Croce

#### *Parametri spazio-temporali*

Per analizzare il disegno della croce è stata calcolata la lunghezza dei due tratti ( $L1c$  [m] e  $L2c$  [m]) e l'ampiezza dell'angolo del primo quadrante  $A1c$  [°] (vedi Figura 3.11)

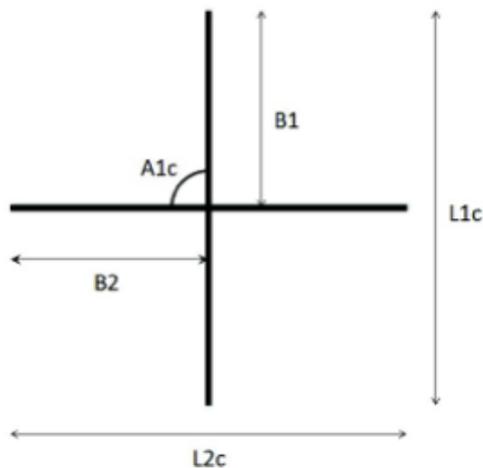


Figura 3.11: Parametri spaziali analizzati per la croce.

Si è calcolato anche il tempo di esecuzione dei due tratti ( $T1c$  [s] e  $T2c$  [s]), il valore della velocità media ( $V\text{-Med-cr}$  [m/s]) e del picco massimo di velocità ( $V\text{-Max-cr}$  [m/s]) per ognuno dei tratti. Inoltre è stato calcolato il tempo in cui la penna non appoggia sul foglio ( $\text{Tempo-Alz}$  [s]), tra il

primo tratto e il secondo tratto, e la quota massima di alzata (Quota-Max [mm]), ovvero il valore massimo della traccia della punta della penna lungo la direzione normale al foglio.

#### *Indici di accuratezza*

Si sono calcolati degli indici per caratterizzare l'accuratezza del disegno della croce. Si è calcolato il rapporto tra il tratto orizzontale L2c e il tratto verticale L1c e quindi si calcola l'errore che rappresenta la tendenza del disegno ad essere più allungato verticalmente oppure orizzontalmente con la seguente formula:

$$Errore - cr = |1 - L2c/L1c| \quad (3.6)$$

L'errore può assumere valori tra 0 e 1: quanto più questo valore si avvicina allo zero tanto più la croce è disegnata correttamente con i due tratti della stessa lunghezza. Inoltre sono state calcolate le percentuali tra i soggetti che hanno ottenuto un valore del rapporto tra L1 e L2 maggiore di uno e i soggetti che hanno ottenuto un rapporto minore, per poter discriminare se l'errore di accuratezza sia tendenzialmente in direzione verticale o orizzontale.

Infine, per individuare particolari regole nel disegno, si è osservato quale dei due tratti viene tracciato per primo, contando il numero di soggetti che hanno tracciato per primo il traccio verticale o il tratto orizzontale.

## **Quadrato**

#### *Parametri spazio-temporali*

In Figura 3.12 si possono vedere i parametri calcolati per la figura del quadrato. Oltre alle lunghezze dei lati (L1q [m], L2q [m], L3q [m] e L4q[m]), vengono calcolate le ampiezze dei quattro angoli ai vertici (A1q [°], A2q [°], A3q [°] e A4q [°]).

Per ognuno dei lati è stato calcolato il tempo d'esecuzione (T1q [s], T2q [s], T3q [s] e T4q [s]) il valore della velocità media (V1-Med-q [m/s], V2-Med-q [m/s], V3-Med-q [m/s] e V4-Med-q [m/s]) e il valore del picco

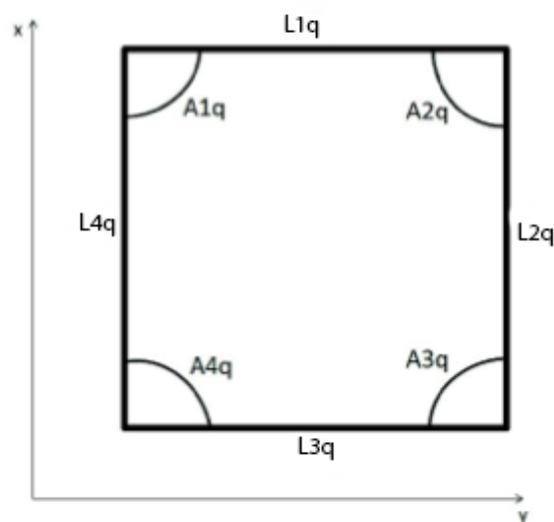


Figura 3.12: Parametri spaziali analizzati per il quadrato.

massimo della velocità (V1-Max-q [m/s], V2-Max-q [m/s], V3-Max-q [m/s] e V4-Max-q [m/s]). È stata calcolata anche l'altezza massima (Alt-Max [m]), come distanza tra il valore minimo e il valore massimo della traccia lungo l'asse x, e la larghezza massima (Largh-Max [m]), ottenuta calcolando la distanza tra il valore massimo e il valore minimo della traccia lungo l'asse y. *Indici di accuratezza*

Come per gli altri disegni, per valutare qualora la figura si presenti come un parallelepipedo posto in modo orizzontale o verticale, si è calcolato l'errore utilizzando il rapporto tra l'altezza massima e la larghezza massima, nel seguente modo:

$$Errore_q = |1 - (Alt_{Max}/Largh_{Max})| \quad (3.7)$$

Come per gli altri task sono state calcolate le percentuali tra i soggetti che hanno ottenuto un valore del rapporto tra l'altezza e la larghezza massima maggiore di uno e i soggetti che hanno ottenuto un rapporto minore, per poter discriminare se l'errore di accuratezza sia tendenzialmente in direzione verticale o orizzontale.

Inoltre si è analizzato l'errore che valuta quanto i lati opposti hanno lunghezza differente. Tale errore (Errore-lati [m]) è stato calcolato come nello studio di Galli et al. del 2011, sommando la differenza tra il lato superiore e il lato inferiore con la differenza tra il lato sinistro e il lato destro:

$$Errore_{lati} = |L1q - L2q| + |L3q - L4q| \quad (3.8)$$

Inoltre è stato calcolato l'indice di curvatura di ogni lato come il rapporto tra la lunghezza della traccia reale del lato disegnato e la distanza tra il punto iniziale e il punto finale della traccia stessa.

$$IC = |1 - Traccia/Distanza_{inizio-fine}| \quad (3.9)$$

L'indice viene normalizzato tra 0 e 1: quanto più questo indice si avvicina al valore nullo tanto più il lato è disegnato in modo rettilineo.

Infine, per individuare particolari regole nel disegno, si è osservato quale lato viene tracciato per primo, contando il numero di soggetti che hanno tracciato per primo il lato in alto, in basso, a sinistra o a destra.

### Caratterizzazione del movimento del braccio

Per ogni task richiesto ai soggetti vengono calcolate le ampiezze degli angoli delle articolazioni di spalla, gomito e polso, per caratterizzare i movimenti dell'arto superiore coinvolto nel movimento. In Figura 3.13 vengono rappresentati i marker applicati al soggetto nello spazio tridimensionale e vengono evidenziati gli angoli calcolati nel caso di un soggetto destrorso.

Facendo riferimento alla Figura 3.13, per l'articolazione della spalla viene considerato l'angolo (As) tra i punti lshould, rshould e relbow. Per l'articolazione del gomito viene considerato l'angolo (Ag) tra i punti rshould, relbow e rwrist. Infine per l'articolazione del polso viene considerato l'angolo (Ap) tra i punti relbow, rwrist e rhand. Per i task del cerchio e del quadrato per ogni angolo si calcola il valore minimo Ax-Min [°], il valore massimo Ax-Max [°] e il range di variazione Ax-ROM [°], calcolato co-

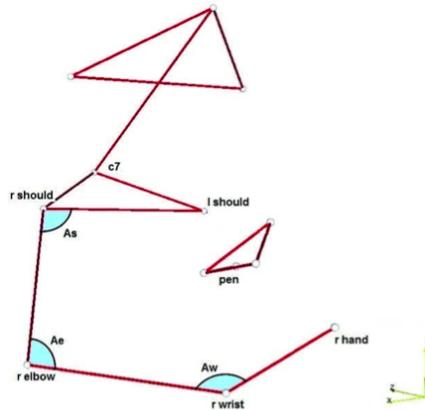


Figura 3.13: Visualizzazione tridimensionale del soggetto durante l'acquisizione. Sono stati evidenziati gli angoli considerati nell'analisi del movimento dell'arto utilizzato.  $A_s$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione della spalla;  $A_g$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione del gomito;  $A_p$ =Ampiezza dell'angolo dell'articolazione del polso.

me differenza tra valore massimo e minimo. Nel caso del task della croce invece vengono calcolati solo gli angoli del polso e del gomito separatamente per il tratto verticale  $A_{x1}$ -Max,Min,ROM e per il tratto orizzontale  $A_{x2}$ -Max,Min,ROM.

### Caratterizzazione del movimento della testa

Nella valutazione si sono considerati i movimenti della testa durante l'esecuzione della traccia. In particolare è importante valutare come si muove il bambino nei confronti del foglio, per valutare il livello di attenzione o quanto si avvicinano o si allontanano dal disegno. Si è trovata perciò la distanza tra il marker posto al centro del capo (chead) e il punto che identifica la proiezione sul foglio del marker stesso. Si è calcolato il valore massimo di questa distanza ( $D$  Testa Max [m]), il valore minimo ( $D$  Testa Min [m]) e il range di variazione ( $D$  Testa ROM [m]) come differenza tra i due valori.

### 3.5.3 Report

Il risultato ottenuto per ogni task motorio è contenuto in un Report composto da tre pagine (vedi Appendice 1, 2, 3):

Pagina 1: si visualizzano la traccia della penna sul foglio e la traccia della punta della penna durante lo stacco nel piano xy, il profilo della traccia lungo l'asse verticale, cosicchè si possa vedere il distacco della penna dal foglio. Inoltre si visualizzano i parametri spazio-temporali della traccia e gli indici di accuratezza.

Pagina 2: Vengono riportati i profili di variazione nel tempo degli angoli delle tre articolazioni coinvolte, ovvero polso, gomito e spalla, con i rispettivi valori massimi, minimi e il range di variazione. Inoltre si vedono i valori che riguardano il movimento della testa rispetto al foglio, indicando il valore massimo, il valore minimo e il range di variazione di questa distanza. Infine viene visualizzato il profilo della distanza testa-tavolo nel tempo, evidenziando il momento di inizio e di fine del disegno.

Pagina 3: Si visualizza la traccia complessiva della penna sul foglio e in fase di stacco nel piano xy.

### 3.5.4 Analisi Statistica

Per verificare la significatività e l'attendibilità dei risultati ottenuti ed individuare eventuali differenze significative nei parametri analizzati sono stati effettuati i seguenti test statistici. L'analisi statistica è stata svolta mediante il software dedicato SPSS Statistics.

Prima di procedere con l'analisi alle differenze, è stato effettuato il test di normalità di Kolmogorov-Smirnoff sui diversi parametri, per stabilire la natura della distribuzione statistica dei dati e determinare quali test statistici scegliere: se test parametrici o test non parametrici. Data la non elevata numerosità dei soggetti che compongono i due gruppi e dati i risultati ottenuti dal test di normalità, si è scelto di procedere ad un'analisi di tipo non parametrico.

Per ogni parametro valutato si sono calcolate le mediane e i percentili (25° e 75°). Il test statistico utilizzato è il test di Mann-Whitney. Questo

test è stato applicato sui parametri di ognuno dei tre task per confrontare i risultati dei soggetti dei vari gruppi patologici con il campione di soggetti sani e per confrontare il gruppo di disgrafici con quello dei dislessici. Il livello di significatività è stato fissato pari a 0,05. L'analisi si definisce significativa se tra i due gruppi considerati almeno una coppia di mediane è significativamente differente, ovvero dimostra un valore di  $p < 0,05$ . Nei risultati ottenuti sono state riscontrate delle differenze significative per tutti e tre i task analizzati.

Inoltre è stato utilizzato il test statistico di Kruskal-Wallis per verificare i risultati ottenuti e confrontare i vari gruppi tra loro.

# Capitolo 4

## Risultati

Di seguito si sono riportati i risultati ottenuti a seguito dell'analisi quantitativa dei dati dei soggetti sottoposti alle prove descritte nel capitolo precedente. I parametri si sono suddivisi a seconda del task motorio eseguito. Per ogni figura si sono riportati i parametri spazio temporali, gli indici di accuratezza, i range articolari del braccio ed infine i parametri relativi al movimento della testa. Per ogni parametro si è riportata la mediana, il 25° e il 75° percentile per ogni gruppo analizzato. Si indicano anche i risultati della statistica evidenziando quali sono i parametri significativamente diversi tra i vari gruppi e il GC e tra il gruppo DISGRAFIA e DISLESSIA.

### 4.1 Task cerchio

In Tabella 4.1 e in Tabella 4.2 sono riportati rispettivamente i parametri spazio-temporali calcolati durante il disegno del cerchio del GC e dei quattro gruppi principali (disgrafia, dislessia, dsa, dsa+dcm). Dall'analisi statistica emerge che nei gruppi DISLESSIA e DSA+DCM il tempo di esecuzione della figura  $T_c$  è minore rispetto al GC. Ne consegue che in questi due gruppi risultano significativamente maggiori la velocità e l'accelerazione media e nel gruppo DSA+DCM anche la velocità e l'accelerazione massima. Quest'ultimo parametro risulta sensibilmente maggiore anche nel gruppo DSA. Relativamente all'accuratezza del cerchio, l'errore che

considera il rapporto tra il diametro verticale e il diametro orizzontale non risulta significativamente differente in nessuno dei quattro gruppi anche se tendenzialmente si rilevano valori maggiori. Sempre per quanto riguarda l'accuratezza del disegno in Tabella 4.3 sono riportate le percentuali dei soggetti in cui si rileva il rapporto tra il diametro verticale  $D1$  e il diametro orizzontale  $D2$  maggiore e minore di uno. In particolare emerge che nel gruppo DISGRAFIA il diametro verticale risulta sempre maggiore di quello verticale.

	GC	
	mediana	75°
LC [m]	0,18	0,16 0,18
D1 [m]	0,05	0,04 0,05
D2[m]	0,05	0,05 0,05
Tc [s]	6,60	5,28 8,02
V-Med-c [m/s]	0,03	0,02 0,04
V-Max-c [m/s]	0,09	0,06 0,10
A-Med [m/s <sup>2</sup> ]	0,15	0,12 0,21
A-Max [m/s <sup>2</sup> ]	1,22	0,72 1,91
Errore-ecc [-]	0,06	0,03 0,11

Tabella 4.1: Parametri spazio temporali e indice di accuratezza del cerchio relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA		DISLESSIA		DSA		DSA + DCM	
	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°
LC [m]	0,17	0,14 0,19	0,16	0,15 0,18	0,18	0,15 0,22	0,17	0,12 0,18
D1 [m]	0,05	0,04 0,05	0,05	0,04 0,05	0,05	0,05 0,05	0,04	0,04 0,05
D2[m]	0,04	0,04 0,05	0,04	0,04 0,05	0,05	0,04 0,05	0,05	0,03 0,05
Tc [s]	5,11	4,04 9,44	3,79(*)	2,59 4,73	6,13	3,81 9,19	3,24(*)	2,17 3,74
V-Med-c [m/s]	0,03	0,02 0,04	0,04(*)	0,03 0,07	0,03	0,03 0,04	0,06(*)	0,03 0,06
V-Max-c [m/s]	0,10	0,07 0,21	0,11	0,06 0,14	0,10	0,08 0,23	0,13(*)	0,11 0,27
A-Med [m/s <sup>2</sup> ]	0,16	0,16 0,24	0,31(*)	0,14 0,43	0,22	0,20 0,25	0,30(*)	0,22 0,53
A-Max [m/s <sup>2</sup> ]	1,99	1,48 3,15	1,42	0,90 1,98	2,06(*)	1,56 3,92	2,73(*)	1,63 3,37
Errore-ecc [-]	0,11	0,03 0,22	0,18	0,12 0,24	0,11	0,06 0,20	0,19	0,07 0,31

Tabella 4.2: Parametri spazio temporali e indice di accuratezza del cerchio. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

	(D1/D2)<1	(D1/D2)>1
<b>DISGRAFIA</b>	0%	100%
<b>DISLESSIA</b>	63,63%	36,36%
<b>DSA</b>	50%	50%
<b>DSA+DCM</b>	30%	70%
<b>GC</b>	73%	27%

Tabella 4.3: Percentuale dei soggetti in cui il diametro verticale è maggiore di quello orizzontale ( $D1/D2 > 1$ ) e percentuale in cui il diametro orizzontale è maggiore di quello verticale ( $D1/D2 < 1$ ).

In Tabella 4.4 e in Tabella 4.5 è indicato rispettivamente il valore massimo (*Max*), minimo (*Min*) e il range di variazione (*ROM*) di ogni angolo calcolato durante il movimento delle articolazioni dell'arto superiore e della distanza misurata tra il marker centrale della testa e il foglio per il GC e per i quattro gruppi principali (disgrafia, dislessia, dsa, dsa+dcm). È emerso che nel gruppo DISGRAFIA il valore massimo dell'angolo della spalla As-Max risulta maggiore rispetto al GC.

	GC	
	mediana	75°
Ap-Max [°]	128,36	147,01
Ap-Min [°]	123,04	135,59
Ap-ROM [°]	9,69	13,63
Ag-Max [°]	93,66	105,19
Ag-Min [°]	87,65	94,11
Ag-ROM [°]	7,94	11,41
As-Max [°]	125,22	128,81
As-Min [°]	123,58	117,40
As-ROM [°]	3,23	4,69
D-Testa-Max [m]	0,37	0,47
D-Testa-Min [m]	0,31	0,35
D-Testa-ROM [m]	0,03	0,07

Tabella 4.4: Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del cerchio relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA			DISLESSIA			DSA			DSA+DCM		
	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°
Ap-Max [°]	130,40	126,11	133,40	117,91	104,79	134,05	128,96	116,01	140,43	130,88	121,12	138,17
Ap-Min [°]	121,65	118,08	123,01	111,65	98,64	122,72	120,21	106,04	125,92	122,22	113,40	127,73
Ap-ROM [°]	8,17	6,41	10,97	10,57	7,66	13,22	10,94	8,89	12,27	7,11	5,17	10,57
Ag-Max [°]	80,67	74,39	100,41	100,96	90,59	107,95	89,86	86,94	95,10	90,69	78,99	98,02
Ag-Min [°]	90,50	71,06	93,78	94,01	82,86	102,02	82,77	76,62	89,79	82,88	76,88	90,07
Ag-ROM [°]	6,82	4,05	7,71	4,54	3,43	8,10	6,14	4,38	10,82	5,81	5,24	7,93
As-Max [°]	140,03(*)	129,26	143,70	133,97	122,06	139,52	132,12	126,81	139,37	131,21	124,19	141,76
As-Min [°]	134,97	123,02	137,26	122,47	118,69	131,42	127,35	121,50	130,39	127,63	122,27	135,57
As-ROM [°]	3,90	3,77	5,06	4,71	3,34	8,72	3,77	3,31	5,81	3,31	2,14	4,38
D-Testa-Max [m]	0,36	0,34	0,37	0,31	0,28	0,42	0,34	0,32	0,38	0,36	0,32	0,38
D-Testa-Min [m]	0,26	0,24	0,34	0,29	0,23	0,38	0,28	0,24	0,35	0,32	0,25	0,34
D-Testa-ROM [m]	0,06	0,04	0,10	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,06	0,04	0,02	0,05

Tabella 4.5: Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del cerchio. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

Per la valutazione della chiusura del cerchio si è riportata la seguente Tabella 4.6. Non ci sono differenze statisticamente significative.

	APERTO(0)	INCROCIO(1)	CHIUSO(2)
DISGRAFIA	22,22%	55,56%	22,22%
DISLESSIA	8,34%	66,66%	25%
DSA	21,43%	71,43%	7,14%
DSA+DCM	18,18%	72,72%	9,1%
GC	27,28%	36,36%	36,36%

Tabella 4.6: Valutazione della chiusura del cerchio. Per ogni gruppo sono indicate le percentuali dei soggetti che chiudono il cerchio in modo esatto (cerchio chiuso), non chiudono il cerchio (cerchio aperto) e incrociano il tratto iniziale con quello finale (incrocio).

## Disgrafia Vs Dislessia

Non sono state rilevate differenze statisticamente significative tra il gruppo DISGRAFIA e DISLESSIA, sebbene quest'ultimo gruppo si fosse differenziato da quello di controllo (GC). Nonostante ciò tendenzialmente il tempo di esecuzione risulta inferiore nel gruppo DISLESSIA.

In Tabella 4.7 è riportata la media dei parametri statisticamente significativi rispetto al GC considerando il gruppo DISLESSIA+DISGRAFIA. Nel gruppo DISGRAFIA non erano emerse differenze statisticamente significative ma unendo i due gruppi risulta che il tempo di esecuzione  $T_c$  è minore rispetto al GC; l'accelerazione media risulta maggiore.

	DISGRAFIA+DISLESSIA mediana	GC mediana
$T_c$ [s]	4,10	6,6
A-Med [ $m/s^2$ ]	0,24	0,148

Tabella 4.7: Parametri del task cerchio che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC.

## 4.2 Task croce

In Tabella 4.9 e in Tabella 4.10 sono riportati rispettivamente i parametri spazio-temporali calcolati durante il disegno della croce del GC e dei quattro gruppi principali. Dall'analisi statistica risulta che l'ampiezza angolare del primo quadrante (A1c) risulta sensibilmente inferiore nel gruppo DISGRAFIA. Il tempo di esecuzione del tratto verticale T1c risulta significativamente inferiore nel gruppo DSA+DCM mentre il tempo di esecuzione del tratto orizzontale risulta inferiore nel gruppo DISLESSIA. Le velocità medie di esecuzione del tratto verticale V1-Med-c e orizzontale V2-Med-c risultano significativamente maggiori nel gruppo DSA+DCM mentre nel gruppo DISLESSIA risulta maggiore solo la velocità media di esecuzione del tratto verticale. Le velocità massime di esecuzione dei due tratti risultano significativamente maggiori in tutti i gruppi eccetto che nel gruppo DISGRAFIA, in cui risulta maggiore solo la velocità massima del tratto orizzontale. Il tempo di alzata Tempo-Alz risulta significativamente maggiore nei gruppi DSA e DSA+DCM.

Inoltre in Tabella 4.19 sono riportate le percentuali di soggetti che disegnano il tratto verticale L1 maggiore di quello orizzontale L2 e viceversa. Nel gruppo DISGRAFIA, come nel task cerchio, si rileva una percentuale maggiore di soggetti che disegna il tratto verticale maggiore a quello orizzontale.

	(L1/L2) > 1	(L1/L2) < 1
<b>DISGRAFIA</b>	20%	80%
<b>DISLESSIA</b>	66,67%	33,33%
<b>DSA</b>	57,15%	42,85%
<b>DSA+DCM</b>	75%	25%
<b>GC</b>	54%	46%

Tabella 4.8: Percentuale dei soggetti in cui il tratto verticale è maggiore di quello orizzontale ( $L1/L2 > 1$ ) e percentuale in cui il diametro orizzontale è maggiore di quello verticale ( $L1/L2 < 1$ ).

	GC	
	mediana	75°
L1c [m]	0,06	0,05
L2c [m]	0,06	0,05
A1c [°]	84,24	82,31
T1c [s]	2,53	1,92
T2c [s]	2,15	1,42
V1-Med-c [m/s]	0,02	0,02
V1-Max-c [m/s]	0,03	0,02
V2-Med-c [m/s]	0,03	0,02
V2-Max-c [m/s]	0,05	0,04
Quota-Max [mm]	21,40	13,59
Tempo-Alz [s]	1,16	0,93
Errore-CR [-]	0,09	0,06

Tabella 4.9: Parametri spazio temporali e indice di accuratezza della croce relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA		DISLESSIA		DSA		DSA+DCM	
	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°
L1c [m]	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06
L2c [m]	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05
A1c [°]	80,08(*)	66,82	84,62	77,91	92,21	81,87	79,26	84,48
T1c [s]	2,11	1,07	1,72	1,15	2,33	2,01	1,37	1,20(*)
T2c [s]	2,15	1,53	1,19(*)	0,86	1,76	1,84	1,45	1,29
V1-Med-c [m/s]	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,08(*)
V1-Max-c [m/s]	0,13	0,06	0,20	0,08(*)	0,15	0,10(*)	0,06	0,13
V2-Med-c [m/s]	0,04	0,02	0,05	0,03	0,06	0,04	0,03	0,05
V2-Max-c [m/s]	0,13(*)	0,08	0,23	0,14(*)	0,26	0,11(*)	0,07	0,18
Quota-Max [mm]	23,24	12,60	36,93	22,62	10,95	30,48	14,35	29,41
Tempo-Alz [s]	0,85	0,58	1,41	0,77	0,50	1,10	0,79(*)	0,54
Errore-CR [-]	0,10	0,03	0,14	0,06	0,13	0,13	0,08	0,23

Tabella 4.10: Parametri spazio temporali e indice di accuratezza della croce. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

In Tabella 4.11 e in Tabella 4.12, che rispettivamente si riferiscono al GC e ai quattro gruppi analizzati, è indicato il valore massimo (*Max*), minimo (*Min*) e il range di variazione (*ROM*) di ogni angolo calcolato durante il movimento delle articolazioni dell'arto superiore e della distanza misurata tra il marker centrale della testa e il foglio. Dall'analisi statistica emerge che Ap2-ROM risulta significativamente maggiore solo nel gruppo DISGRAFIA.

	GC	
	mediana	75°
Ap1-Max [°]	128,29	112,56
Ap1-Min [°]	125,07	108,72
Ap1-ROM [°]	3,61	3,23
Ap2-Max [°]	129,46	111,87
Ap2-Min [°]	127,42	105,77
Ap2-ROM [°]	4,53	1,88
Ag1-Max [°]	97,24	84,32
Ag1-Min [°]	88,01	74,95
Ag1-ROM [°]	6,87	3,11
Ag2-Max [°]	89,84	80,84
Ag2-Min [°]	85,01	78,82
Ag2-ROM [°]	2,65	1,35
D-Testa-Max [m]	0,40	0,34
D-Testa-Min [m]	0,28	0,23
D-Testa-ROM[m]	0,04	0,02

Tabella 4.11: Angoli delle articolazioni del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task della croce relativi al GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA			DISLESSIA			DSA			DSA+DCM		
	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°
Ap1-Max [°]	129,28	125,01	135,45	129,02	108,42	131,79	124,60	113,98	130,76	121,57	118,70	133,04
Ap1-Min [°]	124,95	122,45	128,58	119,55	104,73	125,62	119,78	109,21	127,41	117,42	115,58	125,68
Ap1-ROM [°]	4,93	3,52	8,62	5,29	2,79	8,19	5,52	4,29	7,74	2,41	1,85	9,24
Ap2-Max [°]	134,24	123,95	142,09	127,36	111,19	133,57	122,50	116,88	129,47	127,92	125,80	131,68
Ap2-Min [°]	126,98	113,91	130,76	124,08	106,09	124,77	117,13	112,37	127,178	120,95	114,65	128,53
Ap2-ROM [°]	10,73(*)	4,60	12,29	8,32	4,46	9,24	4,23	2,83	5,38	5,24	1,05	12,07
Ag1-Max [°]	94,68	81,69	100,88	99,84	88,94	105,63	98,77	87,65	102,96	92,28	70,43	105,29
Ag1-Min [°]	88,54	73,29	96,94	94,13	81,61	100,11	92,87	83,21	98,13	78,22	63,75	94,20
Ag1-ROM [°]	4,14	2,88	6,72	4,33	2,99	8,00	6,54	4,22	7,71	6,53	5,81	8,18
Ag2-Max [°]	94,05	83,80	98,65	99,61	88,32	103,47	95,89	89,09	102,95	91,24	85,35	104,33
Ag2-Min [°]	91,71	80,07	94,39	96,25	86,66	99,87	93,64	85,38	99,78	85,94	63,25	102,14
Ag2-ROM [°]	3,06	2,48	4,61	1,70	1,51	4,65	2,25	1,66	3,17	4,47	2,20	10,97
D-Testa-Max [m]	0,45	0,39	0,47	0,37	0,36	0,46	0,43	0,41	0,46	0,37	0,37	0,40
D-Testa-Min [m]	0,30	0,26	0,31	0,29	0,26	0,34	0,31	0,26	0,35	0,28	0,24	0,30
D-Testa-ROM[m]	0,05	0,03	0,10	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,06	0,06	0,02	0,08

Tabella 4.12: Angoli delle articolazioni del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task della croce. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi(p < 0,05).

In tabella 4.13 vengono indicate le percentuali dei soggetti che iniziano a disegnare con il tratto verticale e con il tratto orizzontale. In tutti i gruppi la percentuale maggiore inizia dal tratto verticale.

	<b>VERTICALE</b>	<b>ORIZZONTALE</b>
<b>DISGRAFIA</b>	80%	20%
<b>DISLESSIA</b>	83,33%	16,66%
<b>DSA</b>	100%	0%
<b>DSA+DCM</b>	100%	0%
<b>GC</b>	100%	0%

Tabella 4.13: Percentuale dei soggetti che iniziano a disegnare con il tratto verticale e con il tratto orizzontale nei gruppi analizzati.

## Disgrafia Vs Dislessia

In Tabella 4.14 è riportata la media dei risultati statisticamente significativi considerando il gruppo DISGRAFIA+DISLESSIA rispetto al GC. Dai risultati emerge che le velocità massime sono superiori rispetto al GC e anche la velocità media di esecuzione del tratto orizzontale. Inoltre, il tempo di alzata della penna risulta minore rispetto alla normalità.

	<b>DISGRAFIA+DISLESSIA</b> mediana	<b>GC</b> mediana
V1-Max-c [m/s]	0,10	0,05
V2-Med-c [m/s]	0,04	0,03
V2-Max-c [m/s]	0,13	0,05
Tempo-Alz [s]	0,77	1,16
Ap2-ROM [°]	8,92	4,53

Tabella 4.14: Parametri del task croce che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC.

In questo task non risultano differenze statisticamente significative tra il gruppo DISGRAFIA e DISLESSIA.

### 4.3 Task quadrato

In tabella 4.15 e in Tabella 4.16, rispettivamente per il GC e per i quattro gruppi analizzati, sono riportati i parametri spazio-temporali calcolati durante il disegno del quadrato. Dall'analisi statistica risulta che rispetto al GC la lunghezza del tratto superiore L1q è inferiore nel gruppo DISLESSIA e i tempi di esecuzione di tutti i lati eccetto quello destro risultano inferiori nel gruppo DSA+DCM mentre negli altri gruppi non si rilevano differenze statisticamente significative.

	GC	
	25°	75°
	mediana	75°
L1q [m]	0,046	0,04
L2q [m]	0,046	0,04
L3q [m]	0,046	0,05
L4q [m]	0,042	0,04
Alt-max-q [m]	0,049	0,05
Largh-Max-q [m]	0,0495	0,05
T1q [s]	2,04	1,46
T2q [s]	1,4525	1,31
T3q [s]	2,2775	1,68
T4q [s]	1,66	1,24

Tabella 4.15: Parametri spazio temporali del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA		DISLESSIA		DSA		DSA+DCM	
	25°	75°	25°	75°	25°	75°	25°	75°
	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°
L1q [m]	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06
L2q [m]	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06
L3q [m]	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
L4q [m]	0,05	0,01	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
Alt-max-q [m]	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,07
Largh-Max-q [m]	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,06	0,05	0,06
T1q [s]	1,44	1,01	1,22	0,82	2,05	2,28	1,07(*)	0,84
T2q [s]	1,96	1,55	1,19	0,53	1,73	2,34	1,23	1,49
T3q [s]	2,24	1,45	1,34	0,86	1,47	2,07	0,96(*)	1,76
T4q [s]	1,76	0,88	1,31	0,46	1,63	1,92	1,03(*)	1,14

Tabella 4.16: Parametri spazio temporali del quadrato dei quattro gruppi analizzati. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

In Tabella 4.18 e in Tabella 4.19 sono riportate le velocità e gli indici di accuratezza del quadrato per il GC e per i quattro gruppi principali. Dall'analisi statistica è emerso che:

- tutte le velocità medie e massime di esecuzione dei vari lati risultano maggiori rispetto al GC nel gruppo DSA+DCM;
- V3-Max-q risulta maggiore al GC nel gruppo DISGRAFIA e DISLESSIA;
- Ic2 e Ic3 risultano maggiori al GC nel gruppo DISGRAFIA;
- l'errore che considera il rapporto tra i lati opposti Errore-lati risulta maggiore nel gruppo DISLESSIA rispetto al GC.

In Tabella 4.17 sono riportate le percentuali dei soggetti per cui il rapporto tra l'altezza massima e la larghezza massima risulta minore di uno o maggiore di uno.

	(Alt-max/Largh-max) < 1	(Alt-max/Largh-max) > 1
DISGRAFIA	55,55%	44,45%
DISLESSIA	45,45%	55,55%
DSA	42,85%	57,15%
DSA+DCM	54,55%	45,45%
GC	50%	50%

Tabella 4.17: Percentuale dei soggetti in cui l'altezza massima è maggiore della larghezza massima ( $\text{Alt-max/Largh-max} > 1$ ) e percentuale in cui il l'altezza massima è minore della larghezza massima ( $\text{Alt-max/Largh-max} < 1$ ).

	GC	
	mediana	75°
V1-Med-q [m/s]	0,0275	0,02 0,04
V1-Max-q [m/s]	0,069	0,05 0,09
V2-Med-q [m/s]	0,0325	0,02 0,04
V2-Max-q [m/s]	0,058	0,05 0,07
V3-Med-q [m/s]	0,03	0,02 0,04
V3-Max-q [m/s]	0,052	0,04 0,07
V4-Med-q [m/s]	0,0225	0,02 0,03
V4-Max-q [m/s]	0,052	0,04 0,07
IC1 [-]	0,065	0,02 0,09
IC2 [-]	0,044	0,02 0,06
IC3 [-]	0,01	0,01 0,04
IC4 [-]	0,0805	0,03 0,09
Errore-lati [-]	0,006	0,00 0,01
Errore-q[-]	0,09	0,03 0,11

Tabella 4.18: Velocità e indici di accuratezza del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA		DISLESSIA		DSA		DSA+DCM	
	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°	mediana	75°
V1-Med-q [m/s]	0,03	0,03 0,05	0,02	0,02 0,03	0,03	0,02 0,05	0,06(*)	0,04 0,07
V1-Max-q [m/s]	0,08	0,06 0,20	0,06	0,05 0,08	0,09	0,05 0,12	0,12(*)	0,09 0,14
V2-Med-q [m/s]	0,03	0,02 0,03	0,03	0,02 0,11	0,03	0,02 0,04	0,05(*)	0,04 0,06
V2-Max-q [m/s]	0,10	0,05 0,11	0,08	0,06 0,19	0,09	0,06 0,16	0,12(*)	0,10 0,13
V3-Med-q [m/s]	0,03	0,02 0,07	0,04	0,03 0,09	0,04	0,03 0,06	0,05(*)	0,05 0,07
V3-Max-q [m/s]	0,07(*)	0,06 0,17	0,13(*)	0,07 0,15	0,08	0,05 0,12	0,11(*)	0,09 0,12
V4-Med-q [m/s]	0,02	0,02 0,04	0,03	0,02 0,07	0,04	0,03 0,04	0,05(*)	0,03 0,06
V4-Max-q [m/s]	0,07	0,06 0,10	0,07	0,05 0,13	0,08	0,07 0,13	0,13(*)	0,11 0,18
IC1 [-]	0,09	0,08 0,18	0,07	0,05 0,38	0,20	0,06 0,28	0,09	0,04 0,19
IC2 [-]	0,15(*)	0,06 0,20	0,09	0,03 0,25	0,09	0,02 0,35	0,05	0,02 0,06
IC3 [-]	0,12(*)	0,02 0,46	0,01	0,00 0,03	0,05	0,03 0,16	0,03	0,01 0,11
IC4 [-]	0,17	0,07 2,73	0,06	0,04 0,26	0,16	0,03 0,31	0,05	0,02 0,42
Errore-lati [-]	0,01	0,01 0,02	0,01(*)	0,01 0,02	0,01	0,01 0,02	0,01	0,01 0,02
Errore-q[-]	0,04	0,04 0,09	0,12	0,04 0,26	0,13	0,07 0,20	0,18	0,07 0,21

Tabella 4.19: Velocità e indici di accuratezza del quadrato nei vari gruppi. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

In Tabella 4.20 e in Tabella 4.21, rispettivamente per il GC e per i quattro gruppi analizzati, è indicato il valore massimo (*Max*), minimo (*Min*) e il range di variazione (*ROM*) di ogni angolo calcolato durante il movimento delle articolazioni dell'arto superiore e della distanza misurata tra il marker centrale della testa e il foglio. Nel gruppo DSA+DCM risulta in media maggiore il ROM della spalla As-ROM rispetto al GC.

	GC	
	mediana	75°
Ap-Max [°]	132,214	124,71
Ap-Min [°]	125,894	115,88
Ap-ROM [°]	9,598	6,99
Ag-Max [°]	97,322	91,77
Ag-Min [°]	88,212	76,99
Ag-ROM [°]	9,829	9,24
As-Max [°]	127,2655	120,66
As-Min [°]	118,191	115,14
As-ROM [°]	7,4675	6,55
D-Testa-Max [m]	0,329	0,26
D-Testa-Min [m]	0,2765	0,22
D-Testa-ROM[m]	0,0485	0,03

Tabella 4.20: Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del quadrato nel GC. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile.

	DISGRAFIA			DISLESSIA			DSA			DSA+DCM		
	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°	mediana	25°	75°
Ap-Max [°]	132,13	126,45	136,53	130,60	114,37	132,69	127,87	117,69	140,33	130,71	127,43	133,31
Ap-Min [°]	121,60	120,15	124,91	121,58	104,94	123,19	121,29	107,69	130,76	122,05	115,09	126,06
Ap-ROM [°]	11,93	7,22	15,15	9,02	7,05	12,41	8,69	6,67	12,39	9,19	4,47	12,34
Ag-Max [°]	98,99	89,82	99,47	105,35	93,55	111,18	97,57	89,62	105,95	94,14	75,13	112,51
Ag-Min [°]	87,24	78,04	89,92	95,06	84,52	102,51	84,40	75,37	98,90	82,74	64,43	95,48
Ag-ROM [°]	10,24	8,76	11,78	10,07	6,34	10,87	10,85	8,78	13,28	9,26	5,50	12,41
As-Max [°]	133,85	129,91	142,22	134,95	126,86	143,42	133,90	125,63	138,34	138,24	134,61	146,50
As-Min [°]	130,25	123,54	133,47	126,49	122,24	132,77	125,29	117,51	128,28	131,57	125,79	137,70
As-ROM [°]	8,75	6,37	9,80	6,88	3,94	10,65	9,41	6,72	13,22	7,80(*)	5,52	9,13
D-Testa-Max [m]	0,35	0,30	0,39	0,36	0,31	0,40	0,33	0,31	0,37	0,36	0,31	0,37
D-Testa-Min [m]	0,28	0,24	0,33	0,32	0,29	0,37	0,30	0,23	0,34	0,28	0,26	0,33
D-Testa-ROM[m]	0,06	0,02	0,07	0,03	0,02	0,05	0,05	0,02	0,10	0,03	0,03	0,07

Tabella 4.21: Angoli delle articolazioni della spalla As, del gomito Ag e del polso Ap e i parametri che descrivono il movimento della testa durante il task del quadrato. Viene indicata la media, il 25° e il 75° percentile. (\*) indica i parametri significativi con  $p < 0,05$  rispetto al GC.

In Tabella 4.22 vengono riportate le percentuali dei soggetti che iniziano con il lato superiore, inferiore, sinistro o destro. In tutti i gruppi la percentuale maggiore inizia a disegnare dal lato sinistro. Nel gruppo DSA però emerge una percentuale significativamente minore di soggetti che iniziano a disegnare dal lato sinistro rispetto agli altri gruppi.

	<b>SX</b>	<b>DX</b>	<b>SUPERIORE</b>	<b>INFERIORE</b>
<b>DISGRAFIA</b>	100%	0%	0%	0%
<b>DISLESSIA</b>	90,90%	0%	9,10%	0%
<b>DSA(*)</b>	64,28%	14,28%	21,42%	0%
<b>DSA+DCM</b>	81,81%	0%	9,09%	9,09%
<b>GC</b>	92%	0%	0%	8%

Tabella 4.22: Percentuale dei soggetti che iniziano a disegnare con il lato sinistro, destro, superiore o inferiore. (\*)  $p < 0,05$ .

## Disgrafia Vs Dislessia

In Tabella 4.23 sono riportate le differenze statisticamente significative tra il gruppo DISGRAFIA e DISLESSIA: Ic3 risulta significativamente maggiore nel gruppo DISGRAFIA.

	<b>DISGRAFIA</b> mediana	<b>DISLESSIA</b> mediana	<b>GC</b> mediana
IC3 [-]	0,12	0,01	0,01

Tabella 4.23: Differenze statisticamente significative tra il gruppo disgrafia e dislessia nel task quadrato ( $p < 0,05$ ).

In Tabella 4.24 è riportata la media dei risultati statisticamente significativi del gruppo DISGRAFIA+DISLESSIA rispetto al GC ed emerge che l'indice di curvatura Ic2 risulta maggiore al GC.

	<b>DISGRAFIA+DISLESSIA</b> mediana	<b>GC</b> mediana
IC2 [-]	0,11	0,044

Tabella 4.24: Parametri del task quadrato che considerando il gruppo dislessia e disgrafia insieme amplificano la significatività statistica dei dati ( $p < 0,05$ ) e confermano, per quanto riguarda questi parametri, un comportamento simile tra i due gruppi rispetto al GC.

# Capitolo 5

## Conclusioni

Nella valutazione delle abilità cognitive e motorie vengono comunemente utilizzati dei test nei quali viene chiesto ai soggetti di scrivere un testo o disegnare alcune semplici figure. Questi gesti grafo-motori vengono denominati movimenti fini e prevedono la coordinazione di piccoli movimenti muscolari a livello delle dita e della mano, rappresentano quindi l'integrazione tra task motorio e task cognitivo. Tali movimenti possono caratterizzare la natura di molteplici patologie che comportano disturbi a livello cognitivo e motorio, dando un valido aiuto in fase decisionale per la scelta di una riabilitazione adeguata. Queste analisi, inoltre, permettono ai clinici di misurare il livello della maturazione percettivo-motoria in quanto un gesto grafico poco accurato si può considerare come la manifestazione di un disturbo mentale e comportamentale.

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è stato la caratterizzazione quantitativa delle prassie grafo-motorie in soggetti con disturbi specifici dell'apprendimento (DSA) e disturbi della coordinazione motoria (DCM) mediante l'utilizzo di un sistema optoelettronico. La maggior parte delle valutazioni utilizzano metodi qualitativi che si basano sull'osservazione visiva e su punteggi soggettivi che presentano una dipendenza inter e intraoperatore. In altri studi, per ovviare a questo limite, si è utilizzata una tavoletta grafica che permette la valutazione quantitativa della traccia, ma non l'analisi della postura del soggetto durante il gesto grafico. Alla luce di

questo, l'obiettivo di questo studio si è focalizzato sulla realizzazione di una metodologia di analisi che riesca a valutare quantitativamente il prodotto del gesto grafico, in questo caso del disegno, il movimento dell'arto superiore e della testa, permettendo di valutare quindi la postura dei soggetti analizzati. Il sistema optoelettronico, rispetto al metodo visivo e all'utilizzo della tavoletta elettronica, permette di eliminare la soggettività nella valutazione e permette di valutare non solo le caratteristiche cinematiche della traccia, ma anche quelle del soggetto. La scelta di questo set-up sperimentale permette perciò di associare alla valutazione cognitiva del disegno una valutazione motoria durante il gesto grafico.

Nello studio è stato utilizzato un protocollo, precedentemente definito, di analisi dei tre task motori, ovvero il disegno di un cerchio, di una croce e di un quadrato. I movimenti sono stati acquisiti con un sistema optoelettronico e tramite un software dedicato all'analisi del movimento (SMART Analyzer, BTS IT) e all'estrazione di parametri quantitativi, in particolare sono stati calcolati i parametri spazio-temporali, gli indici di accuratezza del disegno e i parametri che descrivono i movimenti dell'arto superiore e della testa. Per ciascun parametro è stata calcolato il valore di mediana, 25° e 75° percentile. Si sono effettuati infatti test statistici per confrontare i gruppi dei soggetti patologici e il gruppo di controllo e per confrontare il gruppo dei disgrafici con quello dei dislessici. Inoltre, per la prima volta, in questa indagine sono stati valutati quantitativamente i disegni di bambini dislessici 'puri'.

Per quanto riguarda l'accuratezza nel disegnare la forma del cerchio non sono emerse differenze statisticamente significative nonostante valori tendenzialmente maggiori dell'errore che valuta il rapporto tra il diametro verticale e quello orizzontale. I tempi di esecuzione risultano quasi dimezzati rispetto al GC nei gruppi Dislessia e DSA+DCM e di conseguenza le velocità e le accelerazioni risultano significativamente maggiori in questi due gruppi. Inoltre è interessante che il 100% dei bambini disgrafici tende a disegnare un cerchio schiacciato verticalmente, cioè con il diametro verticale maggiore di quello orizzontale.

Nel task della croce l'angolo del I° quadrante è risultato significativa-

mente minore nel gruppo Disgrafia: il tratto verticale e quello orizzontale perciò non risultano perfettamente perpendicolari. Nel 100% dei casi del GC i pazienti iniziano a disegnare dal tratto verticale mentre nei gruppi Dislessia e Disgrafia si osserva anche una percentuale che inizia dal tratto orizzontale. Risultano dimezzati il tempo di esecuzione del tratto verticale nel gruppo DSA+DCM e quello del tratto orizzontale nel gruppo Dislessia e di conseguenza si rilevano velocità tendenzialmente maggiori in tutti e quattro i gruppi. Inoltre nei gruppi DSA e DSA+DCM si registrano valori minori del tempo di alzata tra il primo tratto e il secondo.

Nel task del quadrato si rileva che nel gruppo Disgrafia gli Indici di Curvatura IC del lato destro e di quello inferiore risultano maggiori rispetto al GC e l'errore che valuta il rapporto tra i lati opposti risulta maggiore rispetto alla normalità nel gruppo Dislessia in cui si registra anche L1q, la lunghezza del tratto superiore, minore rispetto al GC. Ciò significa che i disgrafici disegnano i lati più inclinati rispetto alla normalità mentre i dislessici tendono a disegnare i lati opposti di lunghezze diverse. Inoltre, in accordo con uno studio sulle regole grafiche del disegno [50], in tutti i gruppi la maggior parte dei soggetti inizia il disegno tracciando il tratto sinistro anche se nel gruppo DSA si registra una percentuale significativamente minore rispetto alla normalità di riferimento.

La minore accuratezza della traccia grafica nei bambini con DSA era emersa anche in altri studi nonostante valutassero un diverso tipo di disegno o di scrittura [39] [34]. Il disturbo riguarda la prepianificazione dell'immagine da rappresentare ed è stato evidenziato anche in vari studi sul gesto grafico di bambini con Sindrome di Down [51].

Per quanto riguarda i tempi di esecuzione è emerso che nel task del quadrato risultano tempi significativamente minori nell'esecuzione di tutti i lati eccetto quello destro nel gruppo DSA+DCM. Ne consegue che in questo gruppo le velocità di esecuzione di ogni lato risultano significativamente maggiori anche se tendenzialmente anche negli altri gruppi risultano maggiori rispetto al GC.

Questo aspetto presenta un'analogia con gli studi, già presentati nel capitolo 2, nei quali viene valutata la traccia del percorso a forma di fiore [49]

e il collegamento con un tratto grafico di due target [48]. Questa analogia porta a pensare che durante il task il controllo sia inferiore e che il risultato poco accurato nel task del quadrato dei bambini dislessici sia dovuto all'eccessiva velocità del disegno, oltre a un deficit della pianificazione del disegno. Inoltre, l'accelerazione media maggiore alla normalità nel task del cerchio, suggerisce che il movimento sia brusco ed improvviso come se il loro interesse fosse focalizzato principalmente sul portare a termine il disegno, piuttosto che sulla correttezza esecutiva. Questo aspetto potrebbe essere confermato anche dal fatto che nel gruppo Dislessia, durante il task della croce, la velocità di esecuzione del tratto orizzontale, che solitamente è il secondo ad essere tracciato, risulta maggiore rispetto alla normalità. Inoltre, anche i tempi di stacco minori tra un tratto e l'altro rispetto alla normalità supporterebbero questa ipotesi.

Molte di queste caratteristiche sono emerse anche in uno studio sull'analisi quantitativa del disegno in bambini con la Sindrome di Down, in cui sono stati valutati gli stessi task grafici (cerchio, croce e quadrato) [42]. In particolare, come nel nostro studio, sono stati rilevati tempi d'esecuzione minori e velocità maggiori rispetto alla normalità di riferimento che causavano a loro volta una scarsa accuratezza nel disegno. Nonostante potremmo pensare che questo comportamento sia dovuto a problematiche a livello biomeccanico, dall'analisi cinematica dell'arto superiore non sono state riscontrate differenze statisticamente significative.

Un ulteriore aspetto interessante è che i bambini che presentano anche disturbi della coordinazione motoria sono tra quelli che eseguono più velocemente i vari task grafici, in totale contrasto con il comportamento goffo e la lentezza esecutiva che li caratterizza nei movimenti grosso motori. Questa differenza era emersa anche in altri studi che analizzavano la traccia grafica in bambini con DCD-LD [48] e con SD [42].

Inoltre, vista l'analogia dei risultati con lo studio sul gesto grafico di bambini con disturbo dell'attenzione [49], si potrebbe pensare che il comportamento dei dislessici nel task del quadrato sia dovuto ad un disturbo dell'attenzione e quindi da un disturbo a livello cognitivo.

Oltretutto, è stato svolto un confronto con il GC di un gruppo formato

unendo i pazienti dislessici a quelli disgrafici ed è emerso che, a differenza di quanto avveniva nel singolo gruppo Disgrafia, i valori dei tempi di esecuzione, delle velocità e delle accelerazioni risultano in linea con ciò che accadeva nel gruppo Dislessia, con risultati statisticamente significativi nel task del cerchio e in quello della croce. Questo risultato confermerebbe ciò che è già stato rilevato in altri studi su bambini disgrafici in cui i soggetti tendono a disegnare con velocità maggiori [35] [36].

Per quanto riguarda il confronto che è stato svolto tra i soggetti disgrafici e quelli dislessici non è emerso nulla di particolare rilevanza e ciò, viste le differenze del gruppo Dislessia rispetto al GC, farebbe collocare il comportamento del gruppo Disgrafia a metà strada tra quello del GC e quello dei Dislessici.

Concludendo, per i gesti fini, sembra che il disturbo coinvolga piuttosto gli aspetti di tipo cognitivo, come ad esempio la minore attenzione nel movimento stesso e non sia causato da disturbi a livello biomeccanico e motorio. È possibile, infatti, associare il movimento veloce e la minor accuratezza emersa nei bambini con dislessia allo stesso tipo di comportamento che hanno i bambini affetti da deficit dell'attenzione (ADHD) durante il gesto grafico.

Questo metodo di analisi permette una caratterizzazione del gesto grafico più completa ed esaustiva. L'utilizzo del sistema optoelettronico permette sicuramente una valutazione più completa del movimento del soggetto, caratterizzando in modo quantitativo l'accuratezza della traccia e la cinematica dei movimenti stessi.

Il metodo presenta dei limiti, come ad esempio il fatto che non è possibile analizzare il movimento degli occhi rispetto al movimento della mano durante il disegno, valutando in modo più completo il livello di attenzione sulla figura da copiare o sul disegno del soggetto. Inoltre, il sistema non permette di valutare la pressione della punta nella penna sul foglio durante il disegno.

In futuro, questa metodologia potrebbe dare un valido aiuto nella caratterizzazione dei movimenti fini di altre patologie che comportano disturbi cognitivi e motori e potrebbe anche essere integrata con altri tipi di analisi

come quella dell'EEG per l'individuazione di marcatori precoci di rischio di disturbi specifici del linguaggio e dell'apprendimento in età neonatale [43].

# Appendice A

## REPORT

# IRCSS San Raffaele Pisana, Roma

## Analisi delle prassie grafomotorie: CERCHIO

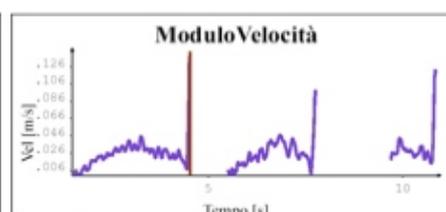
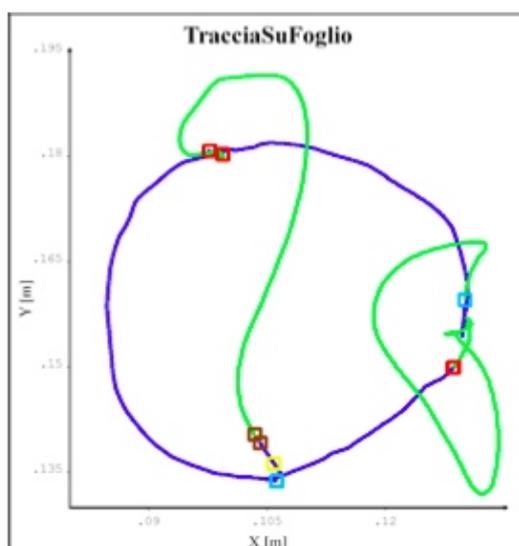
### Paziente

Last name	
First name	
Birthday	
Sex	
Pathology	

### Dettagli prova

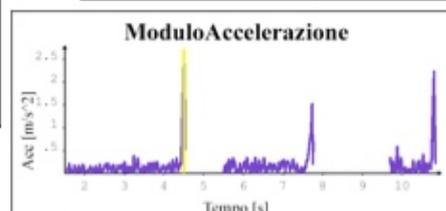
Date trial	
File name	Info
Prova	CERCHIO
Vers. Protocollo	AA_09 - 1.10.417
Data Protocollo	11/2013

### Analisi della traccia



### Velocità

VelocitàMedia [m/s]	0.026 ± .016
VelMax [m/s]	0.143
RitardoVelMax [s]	2.745
Time to Peak	0.307



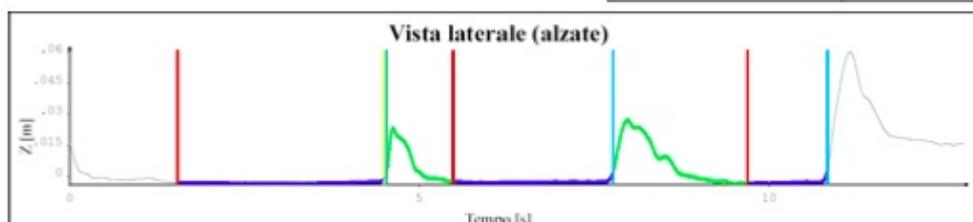
### Parametri Traccia

LunghezzaTraccia [m]	0.167
TempoDisegno.1.X [s]	8.94
Diam. Verticale [m]	0.048
Diam. Orizzontale [m]	0.046
Rapporto Diam. Vert/Orizz	1.056
Numero di alzate	2

- Alzate
- Punti Appoggio
- Punti Stacco
- Velocità Max

### Accelerazione

Acc.Media [m/s^2]	0.184 ± .279
AccMax [m/s^2]	2.726
Time To Peak Acc	0.304



# IRCSS San Raffaele Pisana, Roma

## Analisi delle prassie grafomotorie: CERCHIO

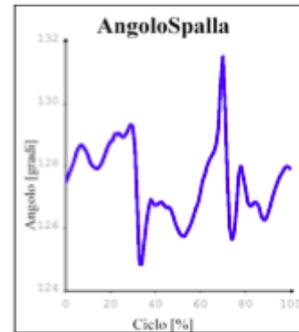
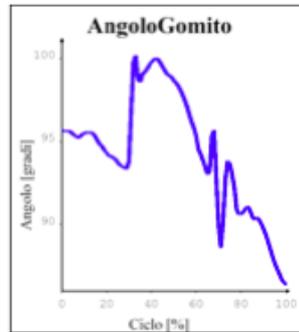
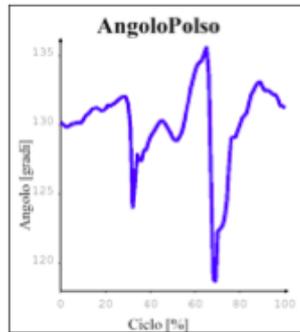
### Paziente

Last name	Cognome
First name	Nome
Birthday	
Sex	F
Pathology	

### Dettagli prova

Date trial	07/7/2012
File name	Info
Prova	CERCHIO

### Analisi degli angoli



### Angoli del polso

Massimo [gradi]	135.625
Minimo [gradi]	127.387
R. O. M. [gradi]	8.237

### Angoli del gomito

Massimo [gradi]	100.023
Minimo [gradi]	86.346
R. O. M. [gradi]	13.677

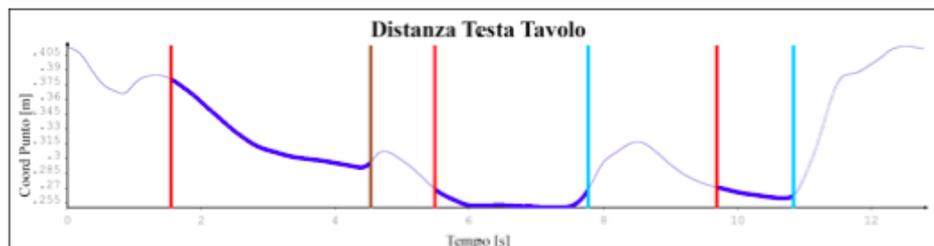
### Angoli della spalla

Massimo [gradi]	129.36
Minimo [gradi]	125.73
R. O. M. [gradi]	3.631

### Distanza testa-tavolo disegno

Media [m]	0.287 ± .029
Massima [m]	0.37
Minima [m]	0.25
ROM testa [m]	0.13
Dist Inizio [m]	0.381
Dist Fine [m]	0.297

- Traccia
- Alzate
- Punti Appoggio
- Punti Stacco
- Velocità Max

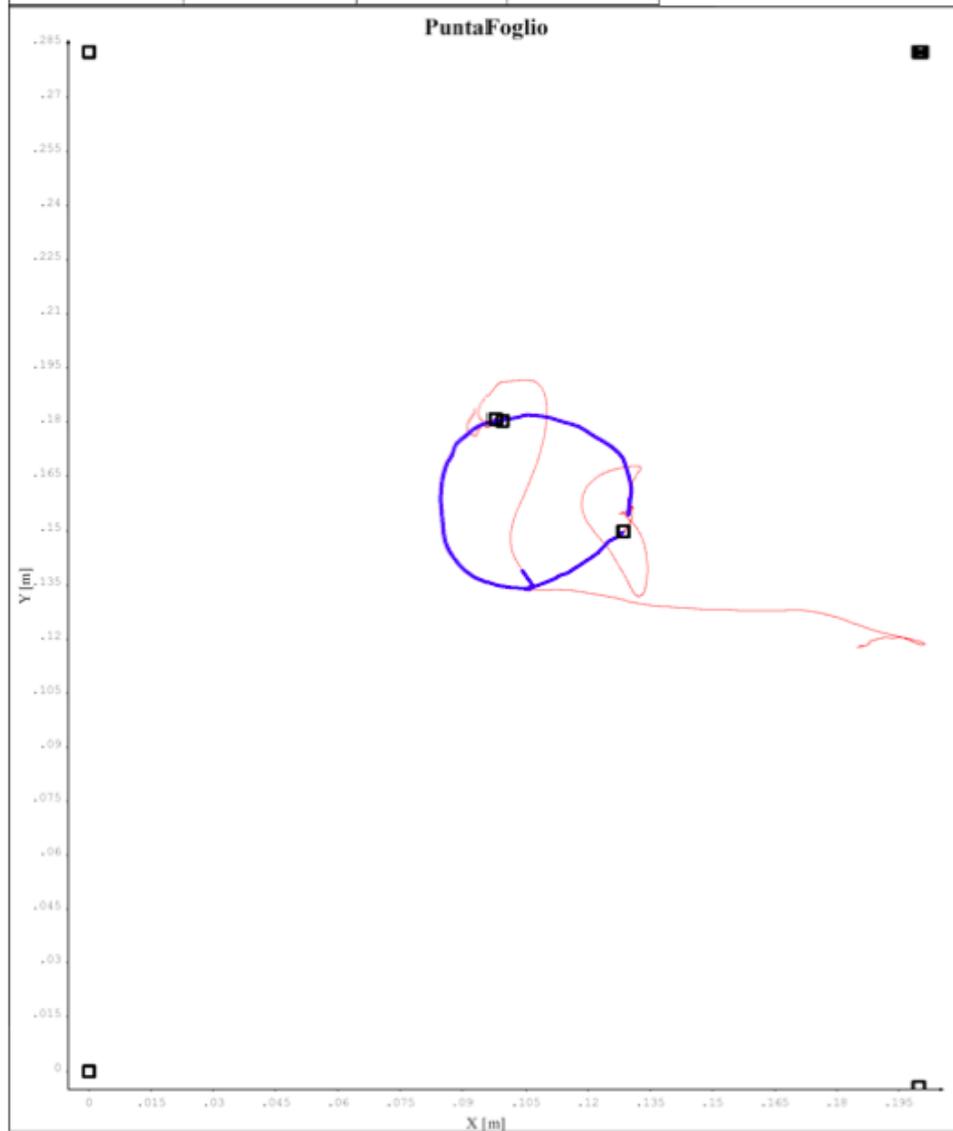


# IRCSS San Raffaele Pisana, Roma

## Analisi delle prassie grafomotorie: CERCHIO

Paziente		Dettagli prova	
Last name	Cognome	Date trial	07/7/2012
First name	Nome	File name	Info
Birthday		Prova	CERCHIO
Sex	F		

- Traccia su Foglio
- Punta in Volo
- Angoli Foglio
- Appoggi



# Bibliografia

- [1] «Nuove norme in materia di disturbi specifici di apprendimento in ambito scolastico.», Art.1, Legge 8 ottobre 2010 , n. 170, Gazzetta Ufficiale N. 244 del 18 Ottobre 2010.
- [2] Giulia Candiani et al., «Disturbi specifici dell'apprendimento.» , Sistema nazionale per le linee guida, Consensus Conference, 2011.
- [3] Donald D. Hammill, «A New Definition of Learning Disabilities.», 1981.
- [4] «Disturbi evolutivi specifici di apprendimento. Raccomandazioni per la pratica clinica definite con il metodo della Consensus Conference.» , Associazione Italiana Dislessia(AID), 2007.
- [5] Grigorenko EL et al. (1997), «Susceptibility loci for distinct components of developmental dyslexia on chromosomes 6 and 15.», Am J Hum Genet 60:27-39.
- [6] Cardon LR et al.,(1994), «Quantitative trait locus for reading disability on chromosome 6.» Science 265: 276-279.
- [7] Pennington BF (1995), «Genetics of learning disabilities.», J Child Neurol 10 (suppl 1) S69-S77 75.
- [8] Pennington BF et al. (1991), «Evidence for major gene transmission of developmental dyslexia.», JAMA 266:1527-1534.

- [9] Pennington BF et al. , Defries JC (1992) , «The external validity of age -versusIQ-discrepancy definitions of reading disability:lessons from a twin study.», J Learn Disabil 25:562-573.
- [10] Cornoldi C (1991), «I disturbi dell'apprendimento», Bologna, Il Mulino.
- [11] Cornoldi C et al. (1998), «Abilità visuospatiali.», Trento, Erickson.
- [12] De Negri M (1999), «Disturbi di apprendimento: nosografia e introduzione alla clinica.», Gior Neuropsich Età Evol 19: 19-27.
- [13] Fletcher JM et al. (1994), «Cognitive profiles of reading disabilities:comparisons of discrepancy and low achievement definitions.», J Educ Psychol 86: 6-23.
- [14] Harnadek MCS et al. (1994), «Principal identifying features of the syndrome of nonverbal learning disabilities in children.», J Learn Disabil 27:144-154.
- [15] Hynd GW et al.(1989), «Dislexia and neurodevelopmental pathology: relationship to cognition, intelligence and reading skill acquisition.», J Learn Disabil 22:204-216.
- [16] Levi G et al., (1999), «Disturbi di apprendimento non verbale in età evolutiva.», Gior Neuropsich Età Evol 19: 83-92.
- [17] Marcheschi M et al. (1999), «Disfunzioni neuropsicologiche dello sviluppo: premesse teoriche.», Gior Neuropsich Età Evol 19: 9-18.
- [18] Rourke BP (1989), «Nonverbal Learning Disabilities: The Syndrome and the Model New York.», Guilford.
- [19] Swanson HL (1998), «Memory subtypes in learning disabled readers.», Learn Disabil Q 11:342-357.
- [20] Togesen J et al. (1994), «Longitudinal studies of phonological processing and reading», J Learn Disabil 27: 276-286.

- [21] Wallach GP et al.,(1994), «Language Learning Disabilities in School-Age Children and Adolescents: Some principles and Applications.» Paramus, NJ: Prentice Hall.
- [22] Whitmore K et al.(1999), «A neurodevelopmental approach to specific Learning Disorders.», Mac Keith Press, London.
- [23] Brown JK et al.,(1999), «The neurological basis of learning disorders.», In: A neurodevelopmental approach to specific learning disorders. Clinics in developmental medicine. No. 145. Mac Keith Press, pp. 24-75.
- [24] Dr. Carlo Di Brina, «Valutare la Disgrafia Evolutiva:il profilo neuropsicologico alla base di una cattiva scrittura.», tesi di dottorato, Dipartimento di Scienze Neurologiche, Psichiatriche e Riabilitative dell'Età Evolutiva, "Sapienza" Università di Roma, 2009.
- [25] S. Rosenblum et al., «Using data visualization and signal processing to characterize the handwriting process.», Pediatric Rehabilitation, vol. 9, p. 404–417, 2006.
- [26] G. Van Galen et al., «On-line size control in handwriting demonstrates the continuous nature of motor programs.», Acta Psychologica (Amsterdam), vol. 100, pp. 195-216, 1998.
- [27] F. N. Freeman, «The Scientific Evidence on the Handwriting Movement.», Journal of Educational Psychology , vol. 12(5), pp. 253-270, 1921.
- [28] M.Galli et al., «A new approach for the quantitative evaluation of drawings in children with learning disabilities.» , 2011.
- [29] R. Sassoon, «Handwriting: a New Perspective.», Cheltenham: Stanley Thornes, 1990.
- [30] J. Phelps et al., «The children's handwriting scale: a new diagnostic tool.», Journal of educational research, vol. 79, pp. 46-50, 1985.

- [31] J. Phelps et al., «The children's handwriting evaluation scale for manuscript writing.», *Reading improvement*, vol. 25, pp. 247-255, 1988.
- [32] D. Stott et al., «Diagnosis and remediation of handwriting problems.», *Adapted physical activity quarterly*, vol. 4, pp. 137-147, 1987.
- [33] M. Borean et al., «Test DGM-P - Test per la valutazione delle difficoltà grafo-motorie e posturali della scrittura.», Erickson, 2012.
- [34] Maeland AF, «Handwriting and perceptual-motor skills in clumsy, dysgraphic, and "normal" children.», 1992.
- [35] Chang SH et al, «Characterization of motor control in handwriting difficulties in children with or without developmental coordination disorder.», 2010.
- [36] Chang SH et al., «Handwriting movement analyses comparing first and second graders with normal or dysgraphic characteristics.», 2013.
- [37] Smits-Engelsman BC et al., «Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: an underlying open-loop control deficit.», 2003.
- [38] Flapper BC et al., «Fine motor skills and effects of methylphenidate in children with attention deficit-hyperactivity disorder and developmental coordination disorder.», 2006.
- [39] Galli et al., «A new approach for the quantitative evaluation of drawings in children with learning disabilities.», 2011.
- [40] Galli, Manuela (2012). *Dispense del corso di Laboratorio di valutazione funzionale e di Analisi del movimento*.
- [41] Frankenburg, William K et al. (1992). «The Denver II: a major revision and restandardization of the Denver Developmental Screening Test.», In: *Pediatrics* 89.1, pp. 91-97.

- [42] Tesi di laurea magistrale di Alice Pasqualin, rel. Manuela Galli , «Caratterizzazione dei movimenti fini in soggetti con Sindrome di Down: analisi quantitativa delle prassie grafo-motorie.», 2013.
- [43] Tesi di laurea magistrale di Elena Rauseo, rel. Anna Maria Bianchi, «Tecniche di analisi del segnale EEG per l'individuazione di marcatori precoci di rischio di disturbi specifici del linguaggio e dell'apprendimento.», 2015.
- [44] Rosenblum et al., «Computerized temporal handwriting characteristics of proficient and non proficient handwriters.», 2003
- [45] Rosenblum et al, (2008). «Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder». In: *Human movement science* 27.2, pp. 200–214.
- [46] Rosenblum et al., «Handwriting features of children with Developmental Coordination Disorders.», 2013.
- [47] Rosenblum et al., «Handwriting measures as reflectors of executive functions among adults with DCD.», 2013.
- [48] Smits-Engelsman et al., (2003), «Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit». In: *Human Movement Science* 22.4, pp. 495–513.
- [49] Flapper et al., (2006), «Fine motor skills and effects of methylphenidate in children with attention-deficit-hyperactivity disorder and developmental coordination disorder». In: *Developmental Medicine Child Neurology* 48.03, pp. 165–169.
- [50] Khalid et al. (2010). «The use of graphic rules in grade one to help identify children at risk of handwriting difficulties». In: *Research in developmental disabilities* 31.6, pp. 1685–1693.

[51] Clements et al. (1994). «The drawings of children and young people with Down's syndrome: a case of delay or difference?» In: *British Journal of Educational Psychology* 64.3, pp. 441–452.

# Sitografia

- [52] <http://www.agiad.it>  
AGIAD-Associazione Genitori, Insegnanti e Amici della Dislessia.
- [53] <http://www.centroifi.it>
- [54] <http://www.medicina360.com/disgrafia.html>
- [55] <http://www.neuroscienze.net/public/pdfart/418.pdf>  
Francesca Romana Tramonti, «Il test della figura umana»,  
Neuroscienze, 2009.
- [56] <http://www.disgrafie.eu>  
Ricerca relativa all'applicazione delle scale D e BHK dell'Associazione  
Europea Disgrafie, novembre 2013.