

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

---

XXV CICLO DELLA SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN  
INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

SVILUPPO DI STRUMENTI PER L'ANALISI  
DELLA SCRITTURA E APPLICAZIONI

---

SSD ING-INF/06 Bioingegneria Elettronica ed Informatica

**Dottoranda**

MARIANGELA GENNA

**Direttore della Scuola**

CHIAR.MO PROF. WALTER UKOVICH

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

**Supervisore**

CHIAR.MO PROF. AGOSTINO ACCARDO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

---

ANNO ACCADEMICO 2011-2012



Mariangela Genna: *Sviluppo di strumenti per l'analisi della scrittura e applicazioni,*

Febbraio 2013.

e-mail:

[mariangelagenna@libero.it](mailto:mariangelagenna@libero.it)



*Ad me ipsum.*



*Un uomo di genio è insopportabile, se non ha almeno altre due qualità:  
gratitudine e purezza.*

Friedrich Wilhelm Nietzsche  
-Al di là del bene e del male-





# Sommario

---

Le funzioni fine-motorie sono la base per il rapido conseguimento della piena autonomia strumentale, in particolare il disegno e la scrittura a mano, sono fondamentali per le prestazioni scolastiche e lo sviluppo umano generale. Una varietà di condizioni neurologiche e psichiatriche dell'infanzia e dell'adolescenza potrebbe compromettere il normale sviluppo delle abilità motorie.

La ricerca nel settore, soprattutto nel nostro Paese, manca di un sistema di riferimento per la determinazione precoce dei disturbi dell'apprendimento, necessario, inoltre, per una valutazione opportuna del trattamento riabilitativo.

A tale scopo, le attività di ricerca svolte dall'Autore nel corso del dottorato hanno inizialmente riguardato lo studio dell'apprendimento in un campione di soggetti a sviluppo tipico, madrelingua italiana e destrimani.

Per raggiungere quest'obiettivo sono stati sviluppati algoritmi di elaborazione che permettessero l'analisi delle caratteristiche dinamiche del movimento, da acquisizioni di prove di scrittura eseguite su tavoletta grafica digitale.

Una volta definiti i test e i parametri cinematici più informativi per l'analisi dello sviluppo, quali velocità, grado di automazione, arrangiamento spaziale e tempi di pianificazione motoria, sono stati determinati i relativi valori di riferimento per ogni fascia d'età.

A questo punto, creato tale sistema di riferimento, è stato possibile fare ulteriori studi su campioni con caratteristiche diverse.

Si è avuta l'occasione di analizzare le prestazioni di un gruppo di studenti in cui è stato sperimentato, durante gli anni delle scuole primarie, un metodo di insegnamento ideato nella prima metà del Novecento da Ida Terzi, insegnante elementare all'istituto per ciechi di Reggio Emilia. Il metodo è utilizzato per migliorare la percezione e l'integrazione dello schema corporeo, per organizzare l'orientamento e la rappresentazione mentale dello spazio, facilitando la coerenza percettiva e il passaggio da un utilizzo inconscio a un uso consapevole del corpo in movimento.

Confrontando le performance cinematiche di tale campione con un gruppo di controllo, sono state osservate diverse strategie nell'esecuzione delle prove di scrittura proposte, inoltre, grazie allo sviluppo di strumenti per l'analisi della qualità del prodotto scritto, è

stato possibile distinguere una migliore accuratezza nel gruppo in cui è stato adottato il Metodo Terzi.

# Ringraziamenti

---

Desidero innanzitutto ringraziare il mio supervisore, il Prof. Accardo, che mi ha concesso la preziosa opportunità di quest'ulteriore crescita accademica, seguendomi in questi anni con grande professionalità.

Approfitto per ringraziare tutti i professionisti che hanno contribuito alla mia ricerca, mettendo a disposizione le loro preziose competenze.

Vorrei esprimere la mia più sincera gratitudine a tutti i miei colleghi, a partire dai più "anziani", Monica e Francesco, che stimo infinitamente e che sono stati per me un grande punto di riferimento durante questo percorso, per finire con i più "giovani", Elisa e Milos, che eleggendomi "Capo Ufficio", me ne hanno fatte passare di tutti i colori, anche se penso che ne abbiano anche subito abbastanza; di tutti loro conservo un ricordo piacevole e un'amicizia preziosa.

Non posso non ringraziare i miei vicini di ufficio Marco, Mario e Mauro che hanno sopportato tanto i miei sfoghi e che sono stati sempre pronti per una pausa caffè.

Ringrazio tutti gli amici "triestini", ma anche quelli sparsi per l'Italia e per il mondo, in quanto rappresentano parte della persona che sono oggi.

Un grazie anche ai miei nuovi colleghi che mi hanno accolto con affetto e sono riusciti a starmi vicini negli ultimi step di questo lungo percorso.

Ai Doctors of Philosophy di famiglia, Valeria e Daniele, un grazie per aver condiviso quest'esperienza e per i vostri preziosi consigli, ma soprattutto per avermi regalato la gioia di diventare zia.

Un affettuoso grazie a Rosanna e Ferdinando che mi hanno tirato su nei momenti difficili e mi hanno sempre rivolto un pensiero, offrendomi una seconda famiglia.

Ringrazio infinitamente Vincenzo per tutto quello che mi ha dato e continua a darmi, senza di lui probabilmente non sarei stata in grado di raggiungere questo traguardo.

Un grazie inquantificabile ai miei genitori e a mio fratello, le persone che amo di più al mondo e che mi mostrano sempre la loro stima, spero di non deludervi mai.

In questi momenti non posso non ricordare i miei nonni, ai quali avrei voluto dare tante soddisfazioni, spero che in qualche modo siano fieri di me.



# Indice

---

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>SVILUPPO DI STRUMENTI PER L'ANALISI DELLA SCRITTURA</b>	<b>5</b>
<b>1 Stato dell'arte</b>	<b>7</b>
1.1 La scrittura: un'abilità complessa	7
1.2 L'apprendimento della scrittura a mano	9
1.2.1 Aspetti fonologici, lessicali e ortografici	10
1.2.2 Aspetti visuo-percettivi della scrittura: dai fonemi ai grafemi	11
1.2.3 Aspetti visuo-spaziali: convenzioni per la disposizione del testo	13
1.2.4 Aspetti di programmazione ed esecuzione motoria	13
1.2.5 Disturbi specifici dell'apprendimento: la disgrafia	16
1.3 La valutazione della grafia	18
1.3.1 Approccio digitale	18
1.3.2 Approccio manuale	25
<b>2 Strumenti di analisi</b>	<b>31</b>
2.1 L'approccio digitale: sviluppo di algoritmi per la valutazione delle caratteristiche cinematiche della grafia	32
2.1.1 Tavole grafiche	33
2.1.2 Software di acquisizione	34
2.1.3 Descrizione del software per l'analisi della grafia	35
2.1.3.1 Software di interfaccia grafica	35
2.1.3.2 Software di elaborazione automatizzato	41
2.1.3.3 Software per l'estrazione dei parametri del profilo di velocità dello stroke	45
2.2 L'approccio manuale: introduzione di nuovi strumenti per una valutazione oggettiva della qualità della grafia	53
2.2.1 Scala di valutazione	53
2.2.2 Individuazione della metodologia per il calcolo del punteggio di qualità	59
2.2.3 Applicazione del metodo AHP per la determinazione dei pesi	63
<b>APPLICAZIONI</b>	<b>71</b>
<b>3 Studio di soggetti a sviluppo tipico in fase di apprendimento</b>	<b>73</b>
3.1 Analisi delle performance cinematiche	73

3.1.1	Introduzione	73
3.1.2	Materiali e metodi	74
3.1.2.1	Partecipanti	74
3.1.2.2	Test e procedura di acquisizione	74
3.1.2.3	Elaborazione e analisi statistica	75
3.1.3	Risultati	76
3.1.3.1	Differenze tra le classi	76
3.1.3.2	Differenze di genere	84
3.1.4	Discussione	85
3.1.5	Conclusioni	88
3.2	Analisi del profilo di velocità dello stroke	88
3.2.1	Introduzione	88
3.2.2	Materiali e metodi	89
3.2.3	Risultati e discussione	90
3.2.3.1	Test LE e UNO	90
3.2.3.2	Test A e F	91
3.2.4	Conclusioni	92
<b>4</b>	<b>Il Metodo Terzi nell'apprendimento della grafia</b>	<b>93</b>
4.1	Introduzione al Metodo Terzi	93
4.2	Materiali e metodi	95
4.3	Risultati e discussione	97
4.3.1	Differenze tra i due metodi	97
4.3.1.1	Acquisizione 2011	97
4.3.1.2	Acquisizione 2012	108
4.3.2	Differenze tra le due acquisizioni	116
4.3.2.1	Classe sperimentale	116
4.3.2.2	Gruppo di controllo	121
4.4	Conclusioni	126
4.4.1	Differenze tra i due metodi	126
4.4.2	Differenze tra le due acquisizioni	128
	<b>Conclusioni</b>	<b>129</b>
	<b>Allegato I</b>	<b>133</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>135</b>
	<b>Pubblicazioni</b>	<b>145</b>

# Introduzione

---

La scrittura è un mezzo di comunicazione, un codice basato su regole e convenzioni definite dalla cultura di appartenenza, ma anche un'espressione d'identità soggettiva e una traccia per la memoria.

Pur tenendo conto dell'uso sempre più diffuso della moderna tecnologia, si deve riflettere sul fatto che, in ambito scolastico, la scrittura manuale è richiesta ancora oggi in modo quasi esclusivo.

La scrittura a mano è il risultato dell'integrazione e della sinergia di diverse reti neurali, un processo in cui fattori linguistici e psicomotori interagiscono unitamente alle loro interconnessioni con le aree sensoriali (percezione visiva e uditiva) e propriocettive.

Le competenze richieste nel processo di scrittura si acquisiscono con lo sviluppo fisico e cognitivo già dalla prima infanzia e migliorano con l'apprendimento nel corso del ciclo di studi primario. In fase di apprendimento, il passaggio dalla produzione di lettere in stampatello (spazialmente separate tra loro e caratterizzate da pochi tratti distintivi) a quelle del corsivo (che richiedono la gestione di un sistema grafico fluido, fatto di movimenti curvilinei continui per realizzare le singole lettere e per congiungerle tra loro nelle parole), rappresenta un momento particolarmente critico per i bambini. Lo sviluppo della fase calligrafica si raggiunge attorno ai 10–11 anni, epoca in cui il tratto grafico diventa più fluente, la procedura esecutiva si è automatizzata e la forma delle singole lettere e i loro legami si stabilizzano assumendo specifiche caratteristiche individuali.

L'abilità grafo-motoria, necessaria per la realizzazione a mano delle lettere, appare come l'aspetto meno approfondito con sistematicità nella ricerca, soprattutto nel nostro Paese, nonostante una scarsa capacità nel tracciare i grafemi sulla carta sia un frequente motivo di difficoltà o ritardo nell'acquisizione del linguaggio scritto.

Per tale motivo, lo scopo delle attività di ricerca svolte durante questi anni nel *Laboratorio di Analisi dei Segnali Biomedici dell'Università degli studi di Trieste*, nell'ambito di diverse collaborazioni con l'*I.R.C.C.S. Burlo Garofolo* di Trieste, con l'*Azienda U.L.S.S. n. 7* di Pieve di Soligo e alcune scuole elementari della provincia di Milano, è stato quello di descrivere l'evoluzione con l'apprendimento e lo sviluppo delle abilità grafo-motorie richieste nel corsivo, fornendo un sistema di riferimento per la valutazione della grafia.

L'elaborato di tesi è suddiviso in due parti: la prima inizia con una panoramica della letteratura e l'individuazione delle lacune nella ricerca sulla scrittura, per finire con il descrivere gli strumenti implementati; la seconda parte è costituita da due capitoli, che descrivono i risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite con i metodi di analisi sviluppati, applicati su campioni con caratteristiche specifiche.

Il primo capitolo fa un focus sullo stato dell'arte; parte dalla descrizione delle fasi d'apprendimento della scrittura, con particolare attenzione a quelli che sono gli aspetti grafo-motori, e descrive le linee di ricerca in tale ambito sia in Italia che all'estero.

Nel Capitolo 2 sono descritti gli strumenti di analisi sviluppati allo scopo di fronteggiare l'esigenza di rendere quanto più completa possibile la valutazione della grafia, riguardo sia gli aspetti grafici (approccio manuale) sia quelli motori (approccio digitale).

L'approccio *digitale* si avvale dell'uso di tavolette grafiche per l'acquisizione dei dati, i quali sono stati elaborati grazie allo sviluppo di algoritmi implementati dall'autore in ambiente MATLAB (The MathWorks, Inc.).

Per l'analisi *manuale* è stata creata una scala di valutazione, derivata dall'analisi di una cospicua mole di dati teorici ed empirici presenti in letteratura e dall'esperienza maturata nella routine clinica di psicologi dell'età infantile, logopedisti e neuropsicomotricisti. Tale strumento è stato reso quanto più oggettivo possibile grazie ad accorgimenti matematici e all'utilizzo di uno dei più conosciuti metodi di analisi decisionale multicriterio, l'Analytic Hierarchy Process.

Lo scopo del lavoro descritto nel Capitolo 3 è di colmare, almeno per l'Italia, la mancanza di dati normativi sui processi caratteristici di una scrittura leggibile. A tale scopo, in collaborazione con la S.C. di Neuropsichiatria Infantile dell'I.R.C.S.S. Burlo Garofolo sono stati innanzitutto implementati dei test di scrittura e somministrati tramite l'uso di tavolette grafiche digitali a un campione di 218 soggetti, frequentanti scuole elementari e medie di Trieste, a sviluppo tipico, destrimani e madrelingua italiana. Sono state analizzate inoltre eventuali differenze di genere nella fase di sviluppo.

Al fine di aggiungere un ulteriore livello di dettaglio allo studio dell'apprendimento intrapreso, ci si è spinti all'analisi modellistica dell'elemento costituente la scrittura (stroke), utilizzando uno strumento di analisi sviluppato allo scopo di implementare e migliorare uno dei più performanti algoritmi descritti in letteratura per la modellizzazione dei profili di velocità dello stroke.



Nell'ultimo capitolo è stato analizzato un metodo di insegnamento alternativo a quello utilizzato nelle scuole primarie italiane, il metodo spazio-temporale ideato da Ida Terzi. Per questa valutazione sono stati sfruttati i metodi implementati sia per l'approccio di analisi manuale sia per quello digitale (descritti nel Capitolo 2), in modo da avere un quadro completo degli aspetti grafo-motori delle scritture analizzate. Per questo studio è stato utilizzato un campione di 20 soggetti a sviluppo tipico, destrimani e madrelingua italiana, in cui viene sperimentato il metodo Terzi, e un gruppo di controllo, con caratteristiche analoghe, in cui viene adottato il metodo di insegnamento tradizionale.



**Parte I**  
**Sviluppo di strumenti per l'analisi  
della scrittura**



# 1 Stato dell'arte

---

## 1.1 La scrittura: un'abilità complessa

La scrittura, così come il calcolo, è una delle abilità mentali superiori che in termini evolutivi si è sviluppata recentemente (le prime testimonianze delle civiltà con documenti scritti risalgono a centinaia di milioni di anni dopo la comparsa dell'uomo sulla terra) ed è una competenza complessa che implica l'integrazione e la sinergia di diverse reti neurali. Il processo della scrittura coinvolge sia il sistema linguistico, sia il sistema motorio unitamente alle loro interconnessioni con le aree sensoriali (percezione visiva e uditiva) e propriocettive.

Un tale tipo d'analisi ha richiesto all'uomo uno sforzo d'astrazione durato migliaia di anni, che ha portato a una graduale evoluzione del concetto di scrittura: a partire dalle più antiche forme fonetico-sillabiche (in cui i segni rappresentavano le sillabe senza, tuttavia, sostituire del tutto i pittogrammi), si è giunti, attraverso vari passaggi intermedi, all'avvento dei segni alfabetici.

Si ha dunque la seguente principale classificazione:

- scritture *logografiche*, che usano segni per la notazione di parole;
- scritture *sillabiche*, dove i segni indicano sillabe;
- scritture *alfabetiche*, dove ogni fonema è scritto con le lettere di un alfabeto.

La *scrittura* è una complessa abilità cognitiva che permette la trasformazione in forma grafemica del linguaggio (parlato o pensato) e comprende diversi aspetti e specifiche operazioni, in ognuna delle quali sono coinvolte componenti differenti in relazione alla funzione svolta: dall'analisi della composizione fonetica della parola alla conversione dei fonemi nelle forme grafiche corrispondenti (grafemi) [1].

Si distingue: la scrittura sotto dettatura, la scrittura spontanea e la copia. Questa distinzione tra i vari aspetti e le specifiche componenti coinvolte è fondamentale per un'analisi differenziale del disturbo di scrittura e per la pianificazione dell'intervento riabilitativo.

La *scrittura spontanea* è l'abilità che richiede l'attivazione di tutte le componenti del processo di scrittura e comprende anche componenti della produzione verbale (le quali dovranno essere esaminate nell'ambito della valutazione del linguaggio espressivo) quali:

- la pianificazione comunicativa,
- la competenza argomentativa,
- il recupero lessicale e sintattico

e le componenti comuni al processo di scrittura sotto dettatura (in questo processo specifico la componente principale è a livello di percezione uditiva, fig. 1), ossia:

- l'analisi fonemica (discriminazione fonemica),
- l'associazione fonema-grafema,
- il recupero della forma ortografica

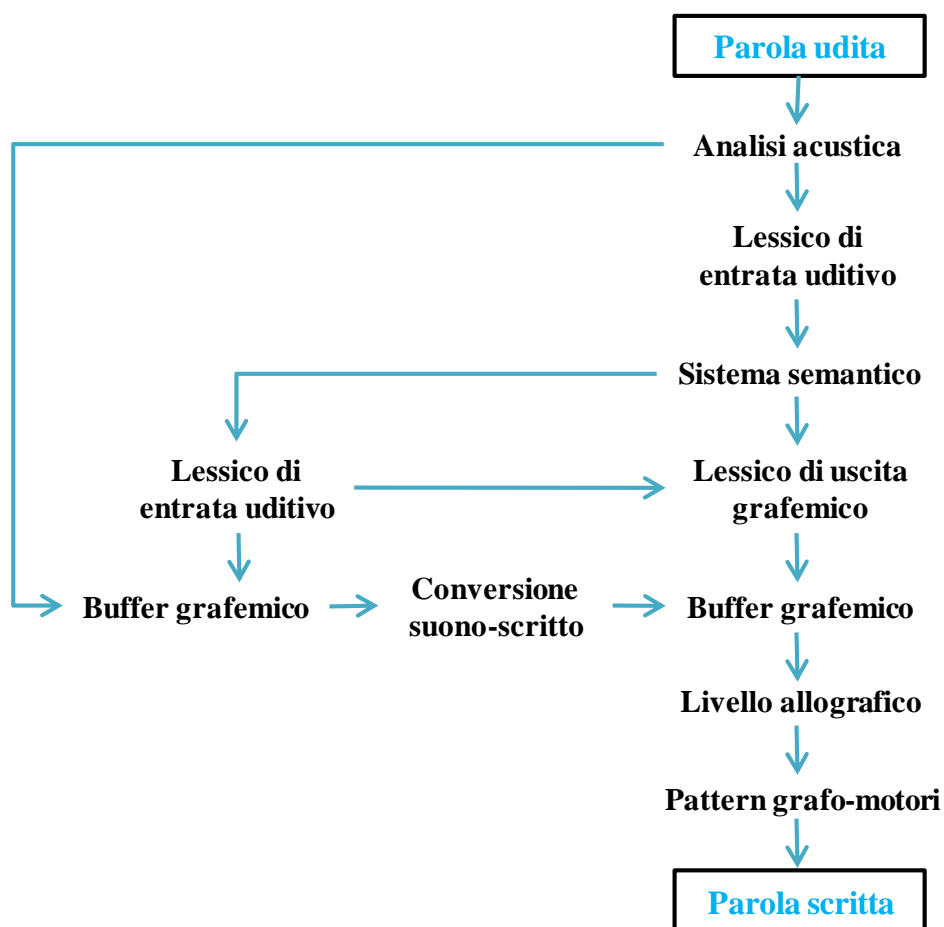


Figura 1: Modello a due vie del processo di scrittura [2].

ed infine le componenti effettrici legate alla produzione grafica, comuni anche al processo di copia:

- la componente visiva (discriminazione visiva),
- la componente prassica (analisi spaziale e pianificazione costruttiva).

Il *processo di copia* è un processo a sé, legato alla trasposizione grafema/grafema; è considerato una prassi visuo-costruttiva, inscindibile dalle componenti di discriminazione percettivo-visiva e di progettazione e pianificazione dell'atto motorio fine, necessarie per produrre le singole parti che compongono il modello, nel rispetto dei suoi vari rapporti spaziali. Alcuni autori escludono questo processo dalla scrittura e valutano in modo specifico esclusivamente la scrittura sotto dettatura e la scrittura spontanea, analizzando le componenti effettrici di recupero dei pattern grafo-motori e di efficienza neuromotoria, soffermandosi soprattutto sulla velocità di esecuzione [3].

È questo comunque il costrutto teorico che ha permesso di organizzare una prima classificazione delle differenti forme di dislessia e disortografia acquisita [4].

## **1.2 L'apprendimento della scrittura a mano**

La capacità di scrittura è il risultato dell'apprendimento nel primo ciclo primario di studi, ma l'evoluzione delle capacità grafiche è il frutto di competenze che si sviluppano dalla prima infanzia: intorno ai 20 mesi il bambino è in grado di tracciare le prime forme chiuse grazie all'acquisita capacità di rotazione del polso. Nella seconda infanzia si sviluppa il disegno e a 5 anni il bambino entra spontaneamente nella fase pre-calligrafica in cui riconosce i segni della scrittura e inizia ad attribuire un valore sonoro alle diverse forme grafiche. Lo sviluppo della fase calligrafica procede dai 7 ai 10–11 anni, epoca in cui il tratto grafico diventa più fluente, la procedura esecutiva si è automatizzata e la forma delle singole lettere e i loro legami si stabilizzano assumendo specifiche caratteristiche individuali [5].

In tale lavoro di tesi ci si sofferma sull'analisi della scrittura intesa non come capacità comunicativa (writing), ma come realizzazione grafica tramite movimenti della mano (handwriting).

In alcuni casi in letteratura le componenti effettrici, coinvolte nella realizzazione grafica a mano della scrittura, non sono considerate parte del vero e proprio processo di scrittura. Il motivo è legato al fatto che la scrittura può essere realizzata con effettori diversi dalla mano: in ambito patologico, è possibile utilizzare i movimenti del piede o scegliere i grafemi da una tastiera, con un gesto del capo o con un qualsiasi movimento del corpo, con uno sguardo o, ancora, mediante comandi vocali.

Pur tenendo conto dell'uso sempre più diffuso della moderna tecnologia, si deve riflettere sul fatto che, in ambito scolastico, la scrittura manuale è richiesta ancora in modo quasi esclusivo.

### 1.2.1 Aspetti fonologici, lessicali e ortografici

La possibilità di tradurre i singoli fonemi nei corrispondenti grafemi presuppone che il bambino sappia compiere un'analisi fonologica dello stimolo verbale; ciò significa che egli deve essere in grado di scomporre una parola (costituita da un flusso continuo di suoni linguistici) nei fonemi che la compongono, ordinati nel tempo.

La capacità di scrivere comprende, dunque, la gestione di un sistema di operazioni incentrate sulla struttura fonologica del linguaggio orale (in particolare analisi, segmentazione e sintesi fonemica) cui si va ad aggiungere, nel tempo, una sempre maggior padronanza delle regole ortografiche (che specificano l'esatta trascrizione di parole per le quali non è possibile applicare le regole fonologiche, come per i gruppi "gn", "gh", "gl", "sc"), delle conoscenze lessicali, grammaticali e sintattiche (ad esempio nel riconoscimento di parole omofone non omografe, come "l'ago" e "lago").

Queste abilità e conoscenze permettono al principiante di operare, un po' alla volta, con unità linguistiche di complessità e ampiezza via via crescente: lettere, sillabe, parole, frasi. La scrittura richiede, dunque, la coordinazione di una serie di operazioni che si evolvono e si perfezionano durante il processo evolutivo.

È tipico incontrare inizialmente nella scrittura del bambino alcune categorie d'errori: a livello fonologico egli compie sostituzioni di lettere fra loro fonologicamente simili (di solito confonde /f/ /v/, suoni sordi o sonori /p/ /b/ e /t/ /d/, labiali /b/ /p/, oppure dentali /d/ /t/), fatica a mantenere in memoria l'intera sequenza di fonemi da produrre (e da ciò derivano frequenti omissioni di lettere), compie numerosi errori ortografici e lessicali (utilizzando in prevalenza il sistema di conversione fonema-grafema, insufficiente per parole che richiedono una specificità ortografica e lessicale, che lo porta a scrivere, ad esempio, "quocere" e "celo"). Frequenti sono pure gli errori che producono l'assimilazione di due parole (per lo più un articolo, una preposizione o una congiunzione semplice unite alla parola che segue, come in "lasera" o "nelcielo"), l'eliminazione dell'apostrofo ("dellorologio", "lagnello", "lerba") o lo sdoppiamento di un'unica parola in unità separate, che possono anche acquisire un significato diverso rispetto al termine originale (come "prima vera").



## 1.2.2 Aspetti visuo-percettivi della scrittura: dai fonemi ai grafemi

Una volta compreso il legame esistente tra il linguaggio orale e la scrittura, il bambino si trova ad affrontare il problema di memorizzare la corrispondenza tra ciascun fonema e il segno grafico che lo rappresenta. A complicare questo compito, in Italia come in gran parte dell'Europa, è consuetudine insegnare già nelle prime classi due modelli di scrittura e, quindi, quattro sistemi grafici mediante i quali possono essere rappresentate le lettere dell'alfabeto: *stampatello maiuscolo e minuscolo, corsivo maiuscolo e minuscolo* (fig. 2).

Stampatello minuscolo

a b c d e f g h i l m n o p q r s t u v z

Stampatello maiuscolo

A B C D E F G H I L M N O P Q R S T U V Z

Corsivo minuscolo

a b c d e f g h i l m n o p q r s t u v z

Corsivo maiuscolo

A B C D E F G H I L M N O P Q R S T U V Z

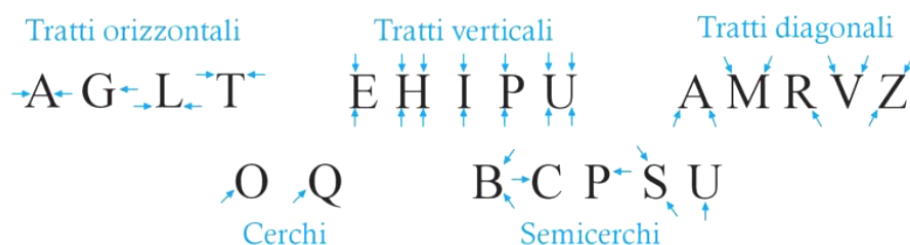
**Figura 2: Rappresentazione delle lettere dell'alfabeto secondo quattro sistemi grafici.**

Per ciascun fonema si hanno così ben quattro forme alternative, dette allografi, con cui esso può essere rappresentato nei diversi sistemi grafici. Pertanto, l'alunno deve imparare le caratteristiche visive che contraddistinguono il singolo grafema nei diversi sistemi e iniziare a padroneggiare le corrispondenze che permettono di trascrivere le lettere da un sistema grafico all'altro.

Lo sviluppo di adeguate abilità visuo-percettive costituisce un prerequisito essenziale per consentire al bambino di affrontare questi compiti. Generalmente rientrano in questa categoria un certo numero di abilità specifiche: tra queste, sono particolarmente coinvolte nell'apprendimento della scrittura la discriminazione visiva (l'abilità di discriminare una configurazione visiva da un'altra), il completamento visivo (l'abilità di percepire una configurazione intera quando ne viene mostrata solo una parte) e la percezione dei rapporti spaziali. I bambini che mostrano una maturazione non adeguata di queste abilità possono trovarsi ad affrontare varie difficoltà nel formare accuratamente le lettere, e la

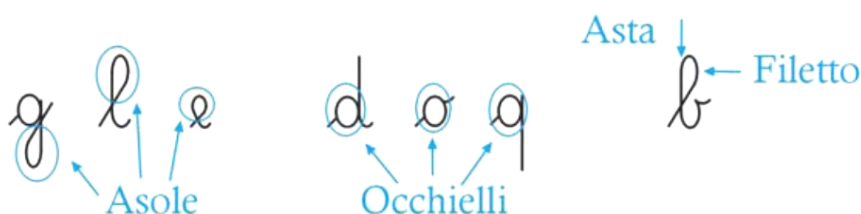
leggibilità della loro scrittura può perciò essere compromessa. Ad esempio, se un bambino non è in grado di discriminare accuratamente la lettera “b” dalla lettera “d” scritte in stampatello minuscolo, non sarà in grado di riprodurre queste stesse lettere in modo affidabile a richiesta, mentre se ha delle difficoltà nel gestire il completamento visivo, può scrivere la lettera “o” con uno spazio sulla sommità (rendendola molto simile a una “u”) e percepirla, al contrario, come chiusa.

Lo stampatello maiuscolo è il sistema appreso con maggiore facilità dai bambini, e per questo è spesso proposto loro come primo modello di scrittura. Nello stampatello maiuscolo le lettere sono spazialmente ben separate le une dalle altre e hanno pochi tratti distintivi, semplici e discreti: barre verticali, orizzontali e diagonali, cerchi e semicerchi (fig. 3).



**Figura 3: Tratti distintivi delle lettere dell’alfabeto, secondo lo stampatello maiuscolo.**

Questi tratti sono relativamente più facili da ricordare e riprodurre rispetto alle aste, ai filetti, agli occhielli e alle asole, costituenti le lettere del corsivo (fig. 4).



**Figura 4: Tratti distintivi delle lettere dell’alfabeto secondo il corsivo.**

Nel corsivo, inoltre, le lettere non sono separate all’interno delle parole: esse sono legate le une alle altre mediante tratti la cui posizione e direzione cambiano in base alle caratteristiche grafiche delle lettere stesse. A causa di tali differenze, per il bambino passare dall’apprendimento dello stampatello a quello del corsivo può rivelarsi un compito non facile [6].

### 1.2.3 Aspetti visuo-spaziali: convenzioni per la disposizione del testo

Esistono in tutte le lingue delle convenzioni che governano in tal senso il sistema di scrittura e che riguardano, in generale:

- la dimensione e le proporzioni delle lettere all'interno di uno stesso modello grafico e rispetto agli altri;
- gli spazi che queste occupano rispetto alla linea di scrittura;
- le distanze tra lettere e tra parole;
- le zone all'interno della pagina che possono essere occupate o meno dalla scrittura.

Per quanto riguarda le dimensioni relative dei grafemi nei nostri modelli grafici, si possono raggruppare le lettere in base alle loro proporzioni.

Nelle minuscole del corsivo e dello stampatello si individuano tre famiglie principali all'interno delle quali i tratti delle lettere hanno dimensioni simili (fig. 5).



**Figura 5: Classificazione delle lettere, in stampatello minuscolo e in corsivo minuscolo: a) medie, b) ascendenti, c) discendenti.**

La percezione delle relazioni spaziali tra lo scrivente e il prodotto scritto, tra le lettere e le parole all'interno dello spazio del foglio o dell'orientamento degli stimoli esterni (ad esempio l'inclinazione dei tratti) sono possibili grazie alle nostre *abilità visuo-spaziali*.

Per stimare questi aspetti spaziali dell'esperienza visiva è necessario individuare dei precisi riferimenti nello spazio grafico, collocare i segni grafici individuando dei riferimenti topologici (alto/basso, sopra/sotto, davanti/dietro, sinistra/destra), rispettare le convenzioni sulla posizione delle singole lettere e valutarne l'orientamento.

### 1.2.4 Aspetti di programmazione ed esecuzione motoria

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 [7].

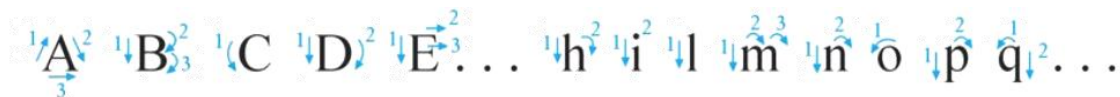
Fra le *abilità motorie* richieste dalla grafia, occorre considerare la regolazione del tono muscolare (equilibrio e controlli posturali di capo – tronco – spalle – avambraccio - polso - dita e regolazione della forza nella presa dello strumento grafico), le coordinazioni cinetiche (l'aspetto cinetico del controllo motorio dell'arto superiore) e la motricità fine (dissociazione dei movimenti, controllo segmentario, coordinazione oculo-manuale).

Il movimento di scrittura richiede una precisa combinazione dei movimenti di tutte le parti dell'arto superiore e la loro fine coordinazione permette l'esecuzione della traccia da sinistra verso destra e il concatenamento dei movimenti tipici della scrittura corsiva.

In realtà non si riescono a identificare movimenti “corretti” e “non corretti” per tracciare una lettera, ma si può affermare solamente che un movimento è adeguato quando appare essenziale per la produzione di una scrittura *efficiente, scorrevole e leggibile*. Un giudizio chiaro può essere fornito esclusivamente quando sono presenti vincoli forti, dettati dalla direzione d'avanzamento della scrittura e dalla necessità di limitarne i tempi d'esecuzione.

Il movimento dipende quindi sia dalla forma del grafema in sé, sia dal percorso, possibilmente il più breve, con cui s'intende legarlo al successivo procedendo da sinistra verso destra.

Esistono numerosi schemi per lo stampatello maiuscolo e minuscolo (fig. 6) che mostrano quale dovrebbe essere la direzione ottimale del gesto nel tracciare le lettere, ma meno per il corsivo a causa delle difficoltà citate.

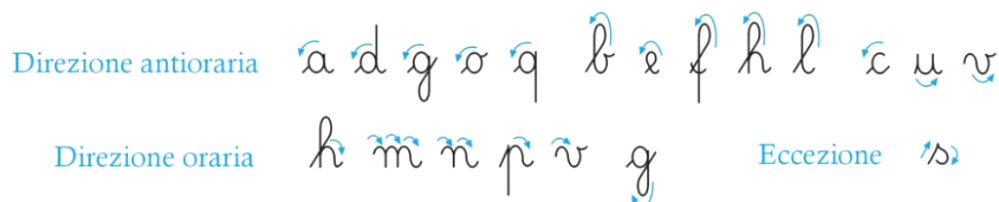


**Figura 6: Esempificazione dell'ordine e della direzionalità nei movimenti necessari per la realizzazione efficiente di alcuni caratteri in stampatello maiuscolo e minuscolo.**

Analizzando la letteratura riguardante il corsivo minuscolo, si possono ricavare schematicamente tre regole necessarie e sufficienti a produrre un movimento fluido per la realizzazione di un grafema:

1) Occhielli, asole ascendenti e tratti curvilinei che hanno la convessità rivolta verso l'alto, devono essere prodotti con un movimento rotatorio antiorario.

Tratti curvilinei che hanno la convessità rivolta verso il basso e asole discendenti devono invece essere prodotti con un movimento rotatorio orario. Fa eccezione la lettera "s", che non appartiene a nessuna delle categorie elencate (fig. 7).



**Figura 7: Esempificazione dei tratti nel corsivo da eseguire con movimenti rotatori orari o con movimenti rotatori antiorari, inclusa l'eccezione costituita dalla lettera "s".**

2) Le aste verticali devono essere tracciate con un movimento che procede dall'alto verso il basso (fig. 8).



**Figura 8: Esempificazione dei tratti da eseguire con movimenti diretti dall'alto verso il basso.**

3) I tratti orizzontali devono essere prodotti nella medesima direzione di progressione della scrittura, dunque da sinistra verso destra (fig. 9).



**Figura 9: Esempificazione dei tratti da eseguire con movimenti diretti da sinistra verso destra.**

La scrittura per il suo svolgimento richiede quindi un'adeguata programmazione e un'esecuzione coordinata di sequenze motorie integre che si realizzano sotto precisi vincoli temporali e spaziali [8, 9].

E' un'abilità che funziona al meglio quando diventa *automatizzata* [10], cioè quando lo scrittore è in grado di eseguire gli *atti motori* richiesti come un'unità o come una sequenza integrata [11]. Ogni atto motorio è caratterizzato da numerosi fattori quali l'intensità (forte vs. piano), il tempo (rapido vs. lento), la tipologia (flessione, rotazione,

...), la direzione (avanti, alto, ...) e altri ancora. Questi elementi costituiscono, insieme, lo *schema motorio*.

Con molta pratica la capacità si affina e i movimenti necessari a produrre i grafemi richiedono un'attenzione conscia sempre più limitata e ciò permette alla persona di concentrare più facilmente la propria attenzione sugli aspetti contenutistici della scrittura. L'automaticità ha tuttavia un costo: un comportamento motorio errato o non efficiente, una volta acquisito e divenuto stabile, è molto difficile da correggere o eliminare.

Le componenti sensoriali che contribuiscono in modo fondamentale alla realizzazione del movimento coinvolgono sia il sistema cinestesico, sia quello visivo. Questi sistemi hanno il ruolo di monitorare il movimento dell'arto durante la scrittura e di confrontarlo con la sequenza di movimenti registrata in memoria. Il feedback che ne deriva informa il cervello sulla precisa localizzazione e sul movimento delle varie parti del corpo nello spazio: se il confronto tra l'informazione trasmessa dagli impulsi afferenti e la configurazione desiderata, prevista dal piano motorio immagazzinato nella memoria della persona, rileva una discrepanza, comandi motori adeguati intervengono a correggere il movimento in atto [12].

Difficoltà nell'integrare informazioni sensoriali e motorie, nell'implementare il piano motorio o nel recupero delle sequenze motorie necessarie alla formazione della lettera [13] appaiono ben visibili nel prodotto scritto: i tratti sono tremolanti, imprecisi o addirittura frammentati per l'interruzione del movimento regolare della mano; l'ordine di esecuzione dei grafemi è sovvertito o compaiono delle perseverazioni; il gesto non si arresta quando dovrebbe e alcuni tratti vengono esageratamente allungati o interrotti troppo presto. Quando la difficoltà è da imputarsi principalmente a un feedback cinestesico non ottimale, il bambino può manifestare uno scarso controllo della pressione che esercita con la penna sulla carta (tratto pesante o eccessivamente leggero) e può stare con il volto troppo vicino al foglio, tentando di guidare la mano esclusivamente attraverso il feedback visivo; ciò costituisce un processo indubbiamente più lento [14].

### **1.2.5 Disturbi specifici dell'apprendimento: la disgrafia**

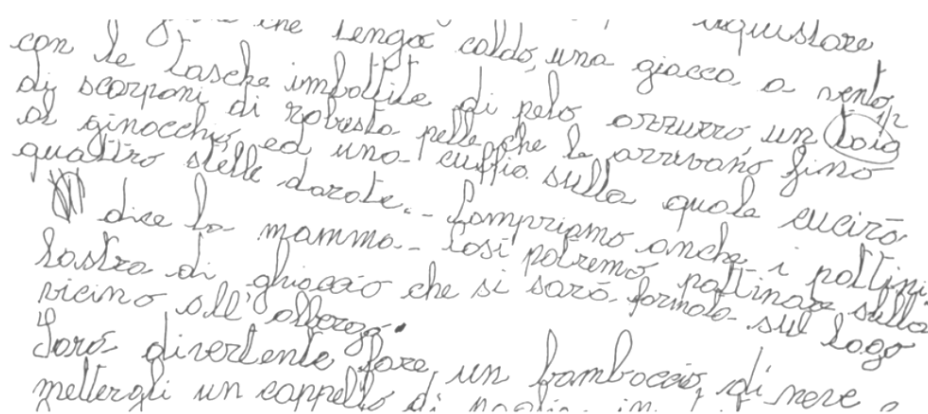
I disturbi del linguaggio scritto sono oggetto di studio recente nella neuropsicologia clinica e, nonostante il contributo di grandi autori ormai classici [15, 16] sono molte le questioni ancora aperte e in discussione, sia nella ricerca, sia nella clinica.

Nel gennaio 2007 sono state pubblicate le linee guida della Consensus Conference per i DSA (assenza di patologie neurologiche e/o danni sensoriali), dove, in relazione al “*Disturbo della Scrittura*”, si afferma che gli aspetti generalmente condivisi riguardano la sua suddivisione in due componenti, una di natura linguistica (deficit nei processi di cifratura o compitazione: *Disortografia*) e una di natura motoria (deficit nei processi di realizzazione grafica: *Disgrafia*) [17].

Come per la lettura, anche nel caso della scrittura, è consigliato somministrare prove standardizzate: per la disortografia è condiviso il *parametro di valutazione della correttezza*, costituito dal numero di errori e dalla relativa distribuzione percentile (al di sotto del 5° centile), mentre per la disgrafia, i principali parametri di valutazione riguardano la *fluenza* (- 2 deviazioni standard dalla media per l'età) e *l'analisi qualitativa* delle caratteristiche del segno grafico.

Nel caso di una disgrafia pura si possono riscontrare:

- *Difficoltà visuo-spaziali*: si osservano problemi nell'orientare e collocare le lettere nello spazio (fig. 10), nel dare loro le giuste dimensioni e proporzioni e, in generale, a rispettare le convenzioni riguardanti la disposizione del testo scritto all'interno di spazi delimitati. Le attività di recupero perciò dovrebbero essere dirette al miglioramento della consapevolezza nell'utilizzo dello spazio grafico.



**Figura 10: Esempio di scrittura spazialmente disorganizzata.**

- *Difficoltà posturali e motorie*: la scrittura è lenta, impacciata, tremolante e il tratto ha una pressione variabile. Il bambino fatica a mantenere una postura corretta, usa prensioni alternative problematiche, non tiene fermo il foglio con la mano che non scrive. Non sempre queste difficoltà sono risolvibili né è sempre possibile o opportuno intervenire su di esse.

- *Automatizzazione di strategie inappropriate*: le lettere sono eseguite secondo una direzione non funzionale (o addirittura opposta) a quella di progressione della scrittura, i collegamenti tra grafemi appaiono difficoltosi, sono presenti deformazioni che rendono alcune lettere illeggibili. Una buona impostazione dei movimenti implicati nella scrittura può contribuire sensibilmente a prevenire difficoltà in quest'ambito. In presenza di errori consolidati, un intervento di recupero deve mirare a un graduale riapprendimento dei movimenti adeguati.
- *Difficoltà di pianificazione e di recupero degli schemi motori*: queste comportano confusione tra lettere graficamente simili (es., m/n, i/e, e/l, ecc.) e, di conseguenza, frequenti autocorrezioni. Le difficoltà in quest'area possono anche dipendere da un'eccessiva velocità nell'esecuzione quando ancora il bambino non ha acquisito le competenze adeguate nella pianificazione dei movimenti di formazione delle lettere e della sequenza dei grafemi che compongono la parola. In questi casi è opportuno predisporre attività di discriminazione dei gesti associati alla formazione delle lettere.
- *Difficoltà nel controllo motorio durante l'esecuzione del movimento*: sono presenti dismetrie (errori di misurazione nell'esecuzione delle traiettorie) e perseverazioni motorie (mancata inibizione di un'azione per produrne una successiva, in altre parole il bambino non riesce a fermare in tempo la penna per passare alla lettera seguente). L'incapacità di controllare la scrittura può dipendere da problemi nell'utilizzo delle informazioni visive disponibili per dirigere la traiettoria del movimento, o da difficoltà attentive o da un'eccessiva impulsività nello scrivere. Secondo il caso specifico, può essere utile rivedere le modalità di collegamento tra le lettere, proporre degli esercizi mirati quali unire i punti di un percorso, rallentare il ritmo di scrittura, migliorare l'attenzione [18].

## **1.3 La valutazione della grafia**

### **1.3.1 Approccio digitale**

Negli ultimi 20 anni, la ricerca sulla scrittura ha dato importanti contributi per la comprensione del controllo fine-motorio, dello sviluppo motorio e cognitivo e dei disturbi del movimento [19]. In particolare, l'analisi delle performance nelle prove di scrittura e disegno è stata utilizzata per mettere in luce: i deficit neurologici che compromettono i movimenti della mano [20, 21, 22, 23], gli effetti dell'alcol e delle droghe [24, 25], i



problemi psichiatrici quali la schizofrenia e la depressione [26, 27, 28], così come i disturbi specifici dell'apprendimento [29, 30, 31, 32, 33].

I ricercatori hanno identificato sia indici statici (come vedremo nel paragrafo successivo) sia dinamici dell'efficienza della scrittura a mano: in particolare, l'analisi della leggibilità dello scritto, che considera le caratteristiche statiche della grafia come lo spazio compreso tra lettere e parole, la forma del grafema, il grado di fluttuazione, etc., è risultata essere limitata in quanto solo uno studio delle caratteristiche dinamiche del processo di scrittura fornisce informazioni sui meccanismi di controllo motorio.

Per questa ragione 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. Questo tipo di analisi caratterizza il processo di scrittura [34, 35], studiando 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). Degli studi dimostrano che alcuni dei parametri cinematici sono particolarmente promettenti per discriminare una scrittura normale da una disgrafia [36]. Durata, lunghezze, velocità e numero di stroke o componenti, sono i tipici parametri cinematici della grafia che forniscono informazioni sullo sviluppo delle capacità motorie della mano.

Mergl et al. nel 1999 [37] osservarono che la bradicinesia (disturbo neurologico che provoca un rallentamento motorio) può essere quantificata attraverso la durata media dello stroke, e la micrografia per mezzo della lunghezza media dello stroke, mentre i coefficienti di variazione dei parametri cinematici, come la velocità di picco, possono essere usati come indice di regolarità; il loro studio dimostrò inoltre che i pazienti depressi scrivevano più lentamente rispetto al gruppo di controllo.

Rosenblum et al. 2006 [38] rilevarono differenze significative tra un gruppo di disgrafici e un gruppo di controllo nel numero di segmenti necessari per tracciare ogni singola lettera, così come nel numero di cambi di direzione. Osservarono che queste variabili forniscono informazioni sulla fluency della scrittura del bambino (numero di segmenti usati) e sull'abilità di pianificare ed eseguire un compito in maniera efficiente e accurata (come rilevato dal numero di cambi di direzione). I risultati dimostrarono che un più alto numero di segmenti per lettera, così come cambi di direzione multipli, sono caratteristici di una tecnica di scrittura inefficiente, spesso associata a una scrittura poco leggibile.

La revisione della letteratura sull'analisi della grafia nei bambini a sviluppo tipico, mostra una difficoltà evidente nel generalizzare i risultati ottenuti in diversi Paesi a causa delle differenze linguistiche, culturali e di insegnamento. Ci sono inoltre poche analisi riguardo l'evoluzione della scrittura a mano dovuta allo sviluppo, alla maturazione e all'apprendimento [39, 40, 41].

La mancanza di dati normativi sui processi tipici della scrittura è una realtà del nostro Paese che impedisce una più profonda comprensione dei disturbi della grafia, necessaria per fare opportune valutazioni diagnostico-terapeutiche durante le fasi di sviluppo.

L'uso di tavolette digitali è stato sfruttato anche in altri ambiti della ricerca, per esempio nell'analisi modellistica degli elementi costituenti la scrittura, intesa come traccia composta da tratti semplici sovrapposti (stroke) [42, 43]. Nelle teorie di controllo motorio, gli stroke sono considerati come le primitive a partire dalle quali sono pianificati ed eseguiti i movimenti complessi [44, 45, 46]. L'analisi modellistica fornisce un ulteriore livello di dettaglio rispetto a quanto visto negli studi descritti precedentemente e trova applicazioni in ulteriori settori.

Nelle scienze forensi, uno studio dettagliato dei pattern di ogni singolo stroke, focalizzando l'attenzione su piccole variazioni, spesso costituisce la motivazione di una decisione circa l'autenticità di una firma o di un documento [47].

In robotica antropomorfa, la sovrapposizione dei tratti della scrittura viene sfruttata per esplorare i principi biomeccanici utilizzati dagli esseri umani per la produzione dei movimenti, e applicata nel controllo di un braccio meccanico [48].

Recentemente, stroke sintetici sono stati proposti per applicazioni di sicurezza informatica [49].

Molti di questi esempi enfatizzano il bisogno di studiare le proprietà di base dei singoli stroke per un'analisi realistica e per la comprensione di come il sistema di controllo motorio esegue movimenti complessi. La chiave di questa intera metodologia è capire quindi la genesi degli stroke, dal momento che questo riflette alcune delle proprietà fondamentali del sistema neuromuscolare di uno scrittore, così come alcune delle strategie di base usate dal sistema di controllo motorio per la produzione di questi movimenti semplici.

Tra queste caratteristiche di base, la più importante è l'invarianza della forma del profilo di velocità dell'estremità dell'attuatore di un soggetto che esegue uno stroke rapido, comprovata su una vasta gamma di estensioni del movimento e di velocità [50] [51]. La

sua forma a campana asimmetrica è considerata una proprietà fondamentale che riflette l'attività sinergica di un gran numero di reti neuromotorie [52]. Molti studi sono stati condotti a partire da questa prospettiva con lo scopo di modellare i vari processi coinvolti nella produzione di singoli stroke. Questi modelli possono essere classificati in varie categorie.

Modelli di reti neurali [53] sono stati sviluppati per studiare le costanti che caratterizzano i movimenti del braccio e l'invarianza della velocità, considerati come il prodotto di una proprietà intrinseca dell'equazione differenziale della rete che descrive la dinamica del sistema. Altri approcci, come i modelli dinamici, per capire la formazione di traiettoria, si concentrano sulle caratteristiche inerziali ed elastiche dei muscoli [54] o sulle variazioni dei punti di equilibrio [55].

Questi modelli in genere forniscono, direttamente o indirettamente, un'espressione analitica che descrive il profilo di velocità. Tuttavia, non tutti i modelli possono essere utilizzati in applicazioni pratiche come quelle sopra menzionate. Ad esempio, le reti neurali sono preferibili per la simulazione dei meccanismi di apprendimento e i modelli analitici per lo studio delle competenze di base. Alcuni modelli richiedono troppi parametri e non sono di uso pratico, anche se potrebbero essere essenziali, dal punto di vista delle neuroscienze, per lo sviluppo di teorie sul comportamento motorio umano.

Tra questi diversi modelli e approcci computazionali, è stato constatato che la Teoria Cinematica di Plamondon [56] risulta avere successo nel riprodurre le diverse costanti osservate negli stroke rapidi [57]. Fino ad ora, sono state sviluppate solo poche applicazioni basate su questa teoria, o ispirate da essa. Ciò è dovuto principalmente alla mancanza di uno strumento software robusto ed efficiente (un sistema di estrazione di parametri) che possa adattarsi con precisione a qualsiasi profilo di velocità dello stroke, con un errore di ricostruzione minimo.

Secondo tale teoria, i movimenti semplici possono essere descritti nel dominio della velocità come la risposta all'azione sinergica di un sistema neuromuscolare antagonista e di uno agonista.

Dal punto di vista cinematico, la realizzazione di ogni singolo *stroke* avviene controllando la velocità della punta della penna mediante l'attivazione sincronizzata delle due reti neuromuscolari per mezzo di due comandi,  $D_1$  e  $D_2$ , all'istante  $t_0$ .

Il modello funziona come un generatore di velocità e il sistema nervoso centrale controlla le due componenti, curvilinea (mm/s) e angolare (rad/s), di questo vettore. La velocità

istantanea  $v_i$  della punta della penna, è la somma delle velocità vettoriali di tutti gli stroke realizzati fino all'istante  $t$  (1.1):

$$\vec{v}(t) = \sum_{i=1}^n \vec{v}_i(t - t_{0i}) \quad (1.1)$$

con  $t_{0i}$  istante iniziale dell' $i$ -esimo stroke.

Ogni sistema neuromuscolare reagisce a un comando in ingresso  $D_1U_0(t-t_0)$ , per l'agonista, o  $D_2U_0(t-t_0)$ , per l'antagonista, con una risposta impulsiva che può essere descritta da una funzione log-normale del tipo  $\Lambda(t; t_0; \mu_i; \sigma_i^2)$ . Questa funzione è caratterizzata da tre parametri: il tempo di attivazione  $t_0$ , il tempo di ritardo  $\mu_i$  e il tempo di risposta  $\sigma_i$  della rete neuromuscolare.

L'uscita del sistema agonista (o antagonista) è pertanto la convoluzione di  $D_1U_0(t-t_0)$  (o  $D_2U_0(t-t_0)$ ), con una risposta impulsiva log-normale.

Il modulo della velocità curvilinea risultante di un singolo movimento è dato dalla sottrazione della risposta impulsiva della rete antagonista con quella della rete agonista ed è chiamata risposta Delta lognormale (1.2; 1.3):

$$|\vec{v}| = D_1 \Lambda(t; t_0; \mu_1; \sigma_1^2) - D_2 \Lambda(t; t_0; \mu_2; \sigma_2^2) \quad (1.2)$$

Dove

$$\Lambda(t; t_0; \mu_i; \sigma_i^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}(t - t_0)} e^{-\frac{1}{2\sigma_i^2}(\ln(t-t_0)-\mu_i)^2} \quad (1.3)$$

L'equazione (1.2) è definita *legge delta-lognormale*. Questa legge costituisce la base del modello vettoriale delta-lognormale, un modello di generazione del movimento che descrive i movimenti bidimensionali individuali.

Oltre ai sette parametri della funzione lognormale ( $D_1, t_0, \mu_1, \sigma_1^2, D_2, \mu_2, \sigma_2^2$ ), ogni vettore velocità è inoltre caratterizzato da altri tre parametri statici che riflettono a livello globale le proprietà geometriche dei muscoli e delle articolazioni usati nell'esecuzione di un particolare movimento: il punto di applicazione  $P_0$ , la direzione iniziale  $\Theta_0$  e la curvatura complessiva  $C_0$ . La curvatura è considerata positiva se il movimento avviene in senso orario, negativa nell'altro caso.

La direzione angolare del vettore velocità può essere dedotta dalla relazione che lega la velocità angolare con quella curvilinea (1.4).

$$\Theta(t) = \Theta_0 + C_0 \int_{t_0}^t V(\tau) d\tau \quad (1.4)$$

L'i-esimo stroke, quindi, è rappresentato nel dominio dello spazio da un percorso curvilineo di lunghezza  $D_{1(i)}-D_{2(i)}$  con curvatura costante  $C_{0(i)}$  e nel dominio della velocità da un vettore velocità che ha inizio al tempo  $t_{0i}$  nel punto  $C_{0(i)}$  con direzione iniziale  $\Theta_{0(i)}$ . La precisione temporale e spaziale per raggiungere un punto (target) è proporzionale al rapporto dei comandi agonisti e antagonisti ( $D_1/D_2$ ) in ingresso (fig. 11).

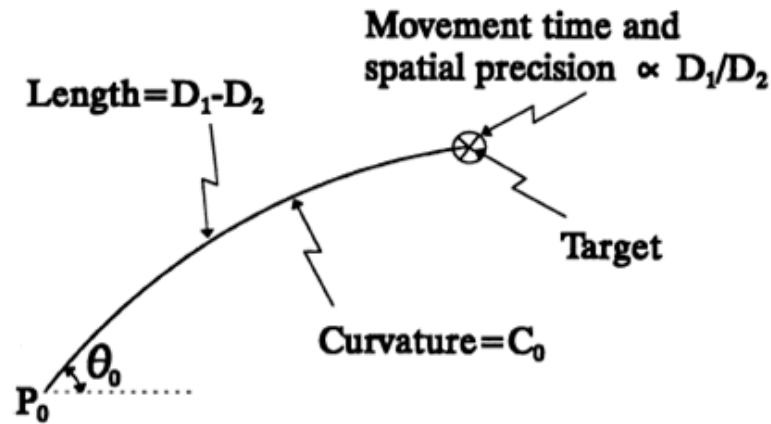


Figura 11: Stroke.

Il modello vettoriale delta lognormale considera solo il singolo stroke come un vettore che si muove lungo una traiettoria circolare con un profilo di velocità lognormale.

I movimenti *complessi* non sono altro che il risultato della sovrapposizione temporale di due o più vettori. Il vettore risultante della velocità curvilinea istantanea ha come modulo la somma dei moduli dei singoli vettori che descrivono lo stroke

$$|\vec{v}(t)| = \left| \sum_{i=1}^n \vec{v}_{(i)}(t) \right| \quad (1.5)$$

e come direzione

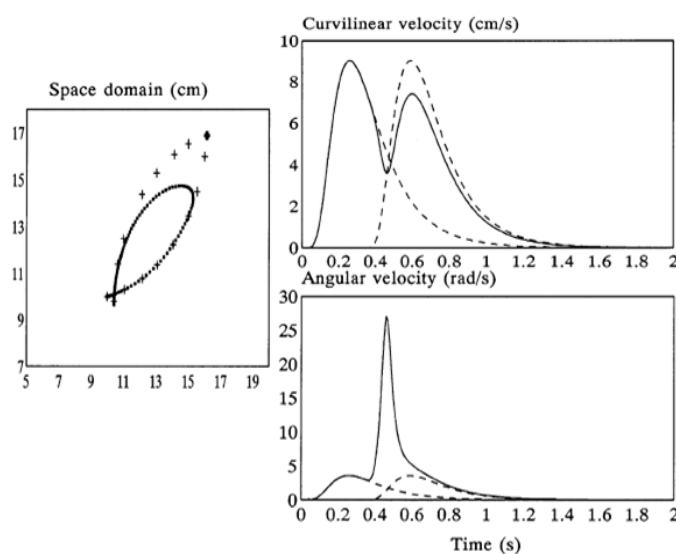
$$\Theta(t) = \arctan \left( \frac{\sum_{i=1}^n \vec{v}_{(i)}(t) \sin(\Theta_{(i)}(t))}{\sum_{i=1}^n \vec{v}_{(i)}(t) \cos(\Theta_{(i)}(t))} \right) \quad (1.6)$$

L'espressione analitica della velocità angolare può essere ottenuta derivando l'equazione (1.6). Il modello di Plamondon non spiega l'origine, la forma e le proprietà del segnale

velocità angolare, ma mostra solo come questo emerge da un processo di sommissione vettoriale e non è controllato in modo indipendente.

La figura 12 mostra la simulazione di un movimento a due stroke.

Le crocette, nel dominio dello spazio, mostrano il tratto nascosto di ogni singolo stroke nel caso in cui questi vengano considerati separatamente; i puntini, invece, visualizzano la traiettoria risultante generata dalla sovrapposizione temporale dei due movimenti. Nei due grafici a destra sono mostrati i profili della velocità curvilinea e angolare per i singoli stroke a forma di campana (linea tratteggiata) e quello del risultato dell'intero movimento (linea continua).



**Figura 12: Simulazione della sovrapposizione di due stroke (traiettoria, velocità curvilinea e angolare).**

Come si vede dai tracciati, la forma della velocità angolare è strettamente correlata alla discontinuità angolare tra due stroke successivi, oltre che alla loro sovrapposizione temporale nel profilo della velocità curvilinea. Si nota inoltre la somiglianza della forma dei due segnali (curve tratteggiate) a causa della semplice relazione che intercorre tra velocità curvilinea e angolare nel caso in cui la curvatura sia costante (1.7):

$$C_{\Theta(i)} = \frac{V_{\Theta(i)}(t)}{V_{(i)}(t)} \quad (1.7)$$

Si osserva ancora nella figura 12 il massimo della velocità angolare coincide con il minimo della velocità curvilinea; questo spiegherebbe lo spostamento di fase tra questi due segnali, osservato nei movimenti reali.

Per i movimenti complessi (più di due stroke), la relazione tra velocità angolare e curvilinea diventa più complessa e la curvatura non è necessariamente costante lungo la traiettoria, ma è funzione del tempo.

### 1.3.2 Approccio manuale

L'approccio manuale di analisi della grafia si basa sull'utilizzo di check-list e scale di valutazione che indagano sugli aspetti qualitativi, posturali e di prensione, che vengono rilevati durante l'esecuzione del compito o, a posteriori, mediante un'analisi visiva dello scritto.

La maggior parte delle scale di valutazione sviluppate all'estero negli ultimi 30 anni si basa su criteri di *leggibilità* che, dopo vari tentativi ed errori, si è cercato di definire in maniera quanto più oggettiva. Di seguito verrà fatto un excursus cronologico di quelle che sono state le scale di valutazione sviluppate e i relativi pregi e difetti [58].

1) *Transparent Overlays Methods* [59, 60]: il campione viene stampato e sovrapposto in trasparenza a uno stampato standard in modo che ogni qualvolta le lettere del campione vanno fuori dai bordi dello stampato standard viene considerato un errore. Studi successivi hanno trovato che questo metodo manca della sensibilità alle variazioni dovute allo stile personale.

2) La *scala di Rubin and Henderson* [61] è stata sviluppata per dare la possibilità agli insegnanti di identificare i bambini con difficoltà di scrittura. Usa sei criteri, ognuno valutato con un punteggio da 1 a 4:

1. Leggibilità
2. Accuratezza nella produzione della lettera
3. Dimensione della lettera
4. Pendenza della lettera
5. Spazio tra le lettere
6. Spazio tra le parole

I bambini dovevano scrivere 57 parole in un foglio senza righe in 5 minuti. La velocità della scrittura era calcolata con il numero di lettere per minuto.

3) *Zivani and Elkins* [62] svilupparono una scala di valutazione per bambini tra 7 e 14 anni, valutando la formazione delle lettere, la loro dimensione, la loro spaziatura (tra lettere e parole) e la loro rettilineità (deviazione dalla linea orizzontale) tramite la sovrapposizione di una carta millimetrata trasparente sul campione di scrittura.

4) *Children Handwriting Evaluation Scale (CHES)* è stata sviluppata da Phelps et al. [63] 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. 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 segnavano il punto che raggiungevano 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.

Una scala simile fu sviluppata per lo stampatello per i bambini della prima e della seconda elementare [64]. L'uso del foglio bianco è stato criticato successivamente da altri ricercatori.

5) *Concise Evaluation Scale For Children's Handwriting – BHK* [65] è stato sviluppato come uno strumento di screening per esaminare la leggibilità e la velocità dei bambini disgrafici.

Le prime 5 frasi da trascrivere sono composte da una parola di una sillaba e le successive frasi sono progressivamente più complesse. La valutazione avviene confrontando il testo con uno standard secondo 13 criteri. La velocità è calcolata in base al numero di lettere scritte in 5 minuti.

1. Dimensione delle lettere troppo grande per l'età del bambino
2. Allargamento sul margine sinistro
3. Allineamento errato della parola o della lettera
4. Spaziatura insufficiente tra le parole
5. Collegamenti tra le lettere con tratti acuti
6. Irregolarità nelle giunzioni tra lettere
7. Collisione delle lettere
8. Dimensione delle lettere inconsistente
9. Altezza relativa dei vari tipi di lettere errata
10. Distorsione delle lettere
11. Forme ambigue delle lettere
12. Correzioni della forma delle lettere



### 13. Traccia della scrittura instabile

Queste caratteristiche hanno un punteggio su scala ordinale da 0 a 5. Un bambino è considerato disgrafico se supera i 28 punti. Questa attualmente risulta essere la scala più utilizzata.

6) *Diagnosis and Remediation of Handwriting Problems* (DRHP) è una scala di valutazione divisa in tre parti, per individuare una delle tre possibili cause delle difficoltà di scrittura [66].

1. Caratteristiche come spaziatura e forma delle lettere inadeguate, che sono correlate a errato insegnamento o apprendimento delle regole di scrittura.
2. Errori di performance, come inconsistenza della dimensione e della pendenza delle lettere, inclinazione delle parole sul rigo, che possono manifestarsi da una perdita di controllo percettivo-motorio.
3. Postura e modo di scrivere inefficienti. Questa parte della valutazione riguarda l'osservazione diretta dello scrittore, ma non è formalmente codificata.

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

7) Hebrew Handwriting Evaluation (HHE) è uno strumento di valutazione introdotto da Parush, S., Erez, N., & Yochman, A., nel 1996 e aggiornato nel 1999 con una seconda versione. I bambini dovevano svolgere tre compiti:

1. Copiare le lettere dell'alfabeto ebraico (in ordine atipico in modo da evitare una possibile influenza della familiarità dell'ordine sul copiato).
2. Copiare una breve storia di 30 parole su un foglio a righe.
3. Scrivere da dettato una breve storia di 30 parole su un foglio a righe.

Lo strumento valuta quattro fattori: velocità di scrittura, qualità di scrittura, fattori ergonomici ed errori di scrittura. La velocità è misurata dal numero di lettere scritto in un minuto. La qualità di scrittura è testata lungo due dimensioni, forma e organizzazione spaziale delle lettere, ognuna delle quali è suddivisa in un certo numero di item (scala di valutazione da 1 a 4). Il punteggio totale per ognuna delle due dimensioni è la somma dei rispetti item. I fattori ergonomici (pressione, presa della penna, consistenza della presa, postura, posizione del foglio) sono valutati con una scala da 1 a 4 (1 indica buone performance e 4 performance scarse). Gli errori di scrittura sono contati per ogni esercizio.

Per quanto riguarda la ricerca in Italia, esiste un atteggiamento comune alla base dei lavori italiani che si sono occupati delle componenti effettrici nella scrittura: sono finalizzati principalmente alla valutazione e al recupero della disgrafia. Allo stesso tempo, tuttavia, non forniscono, o lo fanno solo in modo generico, una descrizione del percorso evolutivo normale della scrittura come capacità grafo-motoria che si affina nell'arco dello sviluppo. È naturale rilevare un certo grado di errori o imprecisioni nella scrittura dei bambini agli inizi dell'apprendimento (in particolare quando devono affrontare i complessi movimenti richiesti nella produzione del corsivo), ma non si sa ancora definire chiaramente qual è il limite (quantitativo e qualitativo) oltre il quale si è autorizzati ad affermare che non si sta osservando più una difficoltà fisiologica, bensì un disturbo degno di nota.

Un primo testo individuato, che inquadra l'argomento ed espone delle proposte concrete per diagnosi e intervento, è quello di Pratelli [67]. Il lavoro si articola in quattro sezioni: una prima parte di definizione e descrizione del problema, una seconda che presenta delle metodologie per la valutazione delle abilità di base coinvolte nella realizzazione della scrittura a mano, una terza parte che propone degli itinerari per il recupero graduale e tempestivo delle difficoltà individuate e, infine, l'ultima sezione dedicata alla discussione sui metodi di prevenzione di queste difficoltà.

La valutazione delle abilità di base ha lo scopo di chiarire se ci si trova di fronte ad una vera disgrafia o, piuttosto, a un ritardo nei pre-requisiti necessari, individuando, allo stesso tempo, le competenze sfruttabili nel bambino per la progettazione di un itinerario di recupero specifico. Le abilità di base che andrebbero osservate sono dunque: percezione, organizzazione spaziale, organizzazione temporale, integrazione spaziotemporale, orientamento destra-sinistra, conoscenza dello schema corporeo e sua rappresentazione, coordinazione motoria, dominanza laterale, memoria e attenzione.

Per quanto riguarda le attività di recupero, il programma d'intervento è articolato in una parte propedeutica iniziale, che riguarda il perseguimento delle competenze di base, e in una parte specifica successiva che riguarda la sequenza d'attività per l'impostazione dei grafemi e della scrittura in stampato maiuscolo e in corsivo.

Quanto proposto non è però ancora sufficientemente esaustivo: si nota ad esempio, una certa vaghezza nella definizione dei criteri che permettono di giudicare il prodotto scritto, i quali contengono una terminologia ancora troppo generica per consentire una valutazione obiettiva della grafia.

Un altro appunto è rivolto al tipo di percorsi di recupero proposti una volta che il problema di grafia sia stato riconosciuto. Ciò che l'autrice presenta come interventi più specifici, sono esercizi tradizionali per la realizzazione di lettere, con un'attenzione in più rivolta alla direzione del gesto per la costruzione del singolo grafema.

Riguardo a quest'ultimo aspetto, risultano più specifiche le osservazioni di Biancardi [68] su modalità e obiettivi di una corretta riabilitazione del bambino che presenta una disgrafia. Una riabilitazione adeguata deve procedere attraverso l'allenamento e il perfezionamento del gesto di scrittura verso l'automatizzazione dei due movimenti necessari allo scrivere: i movimenti di iscrizione e i movimenti di progressione.

Inoltre, gli autori sottolineano che l'esperienza clinica e riabilitativa dimostra la sensibilità delle produzioni disgrafiche a vari elementi del contesto: la calligrafia risulta, cioè, sensibile al grado d'affaticamento dello scrivente, agli strumenti utilizzati (la penna e la superficie di scrittura, che può essere un foglio a righe, a quadretti o completamente bianco) e alla situazione di scrittura stessa.

Ulteriori contributi alla definizione degli aspetti (sia comportamentali che di esecuzione grafica) che devono essere mantenuti sotto controllo, derivano da due griglie di osservazione simili, fornite rispettivamente da Tressoldi e Cornoldi (1991) e da Giovanardi Rossi e Malaguti (1994).

Tressoldi e Cornoldi [4] definiscono la loro check-list un mezzo di approfondimento diagnostico, utilizzabile con i soggetti con bassi punteggi alle prove di dettato, qualora s'intenda promuovere un intervento basato su un approccio di tipo "prestazionale" o "comportamentale" o si desideri valutare l'efficacia di interventi basati su approcci diversi (neuropsicologici, ecc.). Poiché a ogni aspetto indicato nella lista corrisponde un comportamento problematico, l'obiettivo dell'intervento sarà la riduzione del numero dei comportamenti rilevati. L'elenco consta di trentacinque variabili che riguardano l'aspetto delle lettere, l'assetto globale della scrittura prodotta, postura, idiosincrasie nella prensione della penna, caratteristiche del gesto di scrittura.

Giovanardi Rossi e Malaguti [69] presentano la loro griglia d'osservazione incentrata su produzione grafica e atteggiamenti posturali tipici, specificando un elemento importante: una volta accertato un problema reale nella grafia è necessario eseguire un'analisi della scrittura che permetta di stabilire se si tratta di apprendimenti errati del simbolismo grafico o di problemi dovuti alla mancanza di grafomotricità. In entrambi i casi andranno ricercate le cause specifiche e verrà valutata la possibilità di un intervento riabilitativo.

Da quanto detto, appare chiaro che gli strumenti disponibili rappresentano degli spunti per indagini più approfondite, in quanto mancano spesso di parametri oggettivi di confronto (dati normativi sulla prestazione di bambini appartenenti a diverse fasce di età) e pertanto non consentono una valutazione oggettiva dell'abilità di scrittura.

Uno dei più recenti strumenti introdotti è il test per la valutazione delle difficoltà grafo-motorie e posturali DGM-P, sviluppato da Borean Michela, Paciulli Giulia, Bravar Laura e Zoia Stefania nel 2012 [70]. 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 nel corsivo appreso a scuola di una semplice frase proposta in script 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 o l'inefficienza 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 sempre 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 anche 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.

Anche quest'ultima recente proposta manca comunque di informazioni inerenti al processo di realizzazione e di un'opportuna ponderazione delle variabili oggetto di valutazione.

## 2 Strumenti di analisi

---

Nel campo della valutazione delle disabilità grafo-motorie la ricerca italiana è carente, in quanto non esiste una modalità d'analisi sistematica che permetta di verificare l'efficienza dei processi motori richiesti nella produzione della scrittura.

Il *Laboratorio di Analisi dei Segnali Biomedici* dell'*Università degli studi di Trieste*, nell'ambito di diverse collaborazioni con l'*I.R.C.C.S. Burlo Garofolo*, con l'*Azienda U.L.S.S. n. 7* di Pieve di Soligo e alcune scuole elementari della provincia di Milano, sta svolgendo un'attività di ricerca volta a descrivere l'evoluzione della scrittura in corsivo nella fase di apprendimento.

Come anticipato nel Capitolo 1, esistono due approcci diversi per fronteggiare l'esigenza di rendere quanto più oggettiva possibile la valutazione della grafia.

La modalità di analisi *manuale* utilizza griglie osservative per la valutazione clinica degli aspetti grafo-motori e delle caratteristiche posturali coinvolte nell'attività di scrittura. È uno strumento derivato dall'analisi di una cospicua mole di dati teorici ed empirici presenti in letteratura e dall'esperienza maturata nella routine clinica di psicologi dell'età infantile, logopedisti e neuropsicomotricisti.

L'altro approccio, di tipo *digitale*, si avvale per la raccolta di dati dell'uso di una *tavoletta grafica*, che rappresenta un ausilio nella definizione e nella diagnosi delle disgrafie in ambito clinico, nonché nella valutazione di metodi per il recupero del processo grafo-motorio.

Queste due tipologie di analisi, proprio per la loro diversità, perseguono il più delle volte obiettivi distinti, fornendo risultati non sempre facili da confrontare. Entrambe le valutazioni sono risultate spesso necessarie per avere un quadro completo delle caratteristiche del prodotto scritto e per questo motivo nel corso della mia attività di ricerca ho cercato di sviluppare strumenti che potessero migliorare ciascuno dei due approcci valutativi.

## 2.1 L'approccio digitale: sviluppo di algoritmi per la valutazione delle caratteristiche cinematiche della grafia

Il primo metodo pioneristico che ha consentito di avviare la raccolta di informazioni dinamiche sulla scrittura è stato quello della videoregistrazione della stessa. Questo ha rivolto l'interesse degli studiosi verso lo studio comparativo dei movimenti realizzati da scrittori più o meno efficienti.

È proprio utilizzando la videoregistrazione che Freeman (1921) [71] ha fornito, in uno dei suoi studi, dei dati specifici sulle differenze esistenti tra scrittori abili e scrittori con difficoltà di scrittura. Filmando la mano di bambini che scrivevano la frase "*A quick brown fox jumps over the lazy dog*", esaminando in una fase successiva i cambiamenti di velocità nel movimento di scrittura e la posizione della punta della penna sui tratti delle lettere a ogni venticinquesimo di secondo, ha determinato la velocità di scrittura come distanza percorsa dalla punta della penna in ogni successiva unità di tempo.

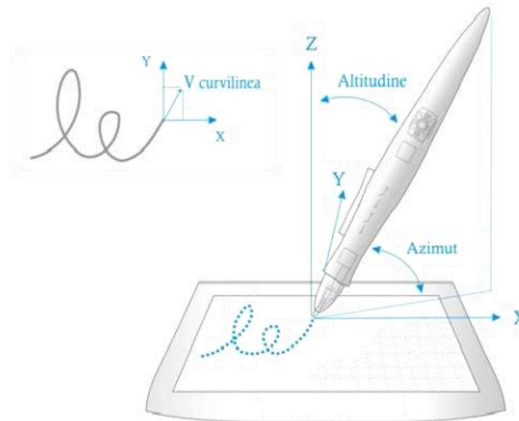
I risultati ottenuti da questo studio hanno stabilito che, in condizioni di massima efficienza, la scrittura di una parola consiste in una successione di tratti (stroke) abbastanza distinti, ciascuno separato dal precedente da una piccola pausa. Tali pause si collocano nei punti in cui il cambiamento della direzione del movimento è marcato.

È stato inoltre osservato che la velocità nei tratti più lunghi è maggiore di quella nei tratti brevi e, solitamente, la velocità in un dato tratto aumenta gradualmente dall'inizio verso la fine oppure rimane abbastanza regolare e costante. I risultati trovati da Freeman sono rimasti per decenni un interessante prodotto di ricerca senza una ricaduta diretta significativa, forse perché il metodo utilizzato per le rilevazioni è sembrato troppo laborioso e dispendioso.

Negli anni '80-'90, grazie allo sviluppo della tecnologia informatica, la videoregistrazione è stata sostituita da una tecnica relativamente semplice ed estremamente efficace, basata sulla registrazione dei movimenti della punta della penna lungo il foglio, per mezzo di una tavoletta grafica controllata da un computer (fig. 13).

Il campionamento dei dati avviene con una notevole risoluzione spaziale e a un'elevata frequenza, pertanto è possibile rilevare le caratteristiche spaziali e temporali della penna in movimento al fine di derivare, in ogni punto della traccia, informazioni precise su geometria e dinamiche dei movimenti di scrittura: velocità, durata, accelerazione, ampiezza, curvatura e pressione. Tale strumento consente quindi di monitorare la scrittura

in tempo reale e di immagazzinare tali informazioni in un formato disponibile per compiere delle analisi a posteriori.



**Figura 13: Alcuni parametri rilevabili con l'uso di tavolette grafiche.**

### 2.1.1 Tavolette grafiche

Per le acquisizioni dei dati utilizzati negli studi descritti nei capitoli successivi sono state utilizzate due tavolette della Wacom normalmente in commercio, la tavoletta Intuos 2, di proprietà della *S.C. Di Neuropsichiatria Infantile dell'IRCCS Burlo Garofolo*, e la tavoletta Intuos 3, di proprietà del *Laboratorio di Analisi dei Segnali Biomedici dell'Università degli Studi di Trieste*.

Le dimensioni della tavoletta Intuos 2 sono: 456 mm di larghezza, 361 mm di altezza e 14 mm di spessore, mentre l'area attiva, sulla quale possono essere eseguite le registrazioni, è di 304,8 x 240,6 mm, in altre parole ha le dimensioni di un A4 allargato. La frequenza di acquisizione è di 100Hz, i livelli di pressione rilevati sono 1024, la risoluzione è di 2540 dpi e la precisione ha uno scarto di 0,25 dpi.

La seconda tavoletta, Intuos 3, ha delle specifiche più prestanti della prima. Le dimensioni della tavoletta sono: 439,5 mm di larghezza, 340 mm di altezza e 14 mm di spessore, mentre l'area attiva, sulla quale possono essere effettuate le registrazioni, è di 304,8 x 230,6 mm, ovvero ha le dimensioni di un A4 allargato. La frequenza di acquisizione è di 200Hz, i livelli di pressione rilevati sono 1024 e la risoluzione è di 5080 dpi.

Le prove di scrittura sono state fatte con l'uso di una penna a cartucce sostituibili che lascia sul foglio la traccia di una biro (*Intuos Ink pen*) e in questo modo è stato inoltre possibile salvare i test in formato cartaceo. Per lo scrittore risulterebbe poco ecologico

l'uso della penna grafica standard, dotata di una punta in materiale plastico che non lascia traccia sul foglio.

La tecnologia sviluppata da Wacom, basata sulla risonanza elettromagnetica, permette alla penna di non avere batterie o cavi di collegamento: le onde elettromagnetiche, inviate alla penna, sono successivamente riflesse per un controllo continuo della penna. Nella fase attiva una griglia di fili, disposti sotto la superficie della tavoletta, passa da uno stato di trasmissione a uno di ricezione; questo accade circa ogni venti millisecondi. Così facendo è indotta un'oscillazione nel circuito magnetico risonante posto nelle vicinanze della punta della penna fornendo energia al dispositivo; la stessa circuiteria è utilizzata per la trasmissione dalla penna alla tavoletta.

Un chip posto all'interno della penna fornisce indicazioni relative alla pressione e all'inclinazione della penna; queste informazioni vengono inviate al modulatore che si occupa della trasmissione alla tavoletta. Quest'ultima determina la posizione della punta della penna e invia tutti i dati al computer. Essendo sprovvisto di vincoli e batterie, il dispositivo risulta avere lo stesso peso di una penna normale, di circa quaranta grammi.

### 2.1.2 Software di acquisizione

Per l'acquisizione delle informazioni è stato utilizzato un programma (fig. 14), *Sypress*, tratto dal S.D.K. (Software Development Kit) realizzato da LCS/Telegraphics [72] e ottimizzato per gli scopi della ricerca presso il *Laboratorio di Strumentazione Biomedica* dell'Università degli studi di Trieste.

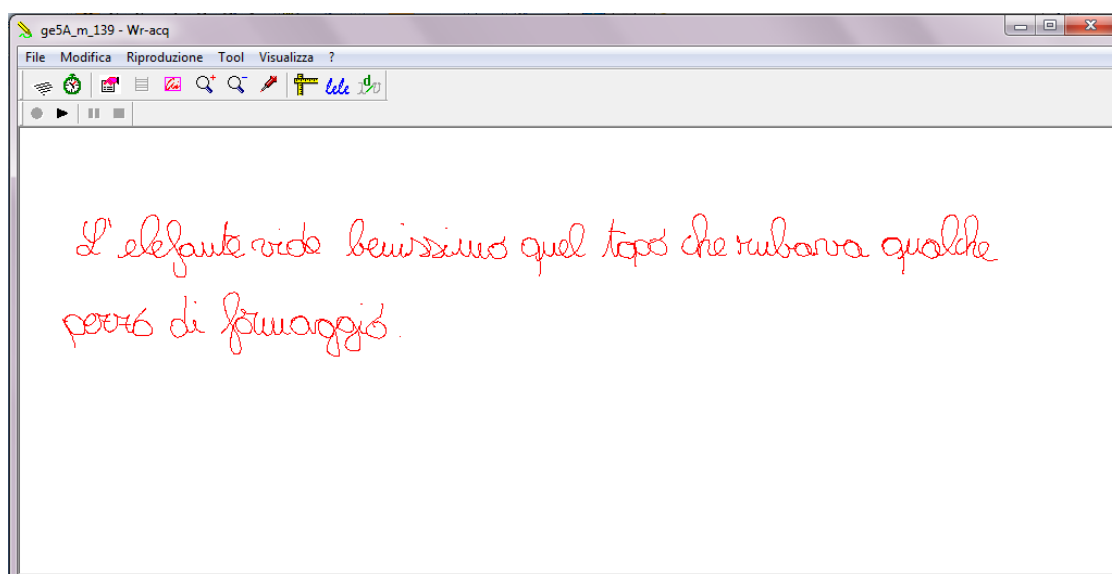


Figura 14: Interfaccia del software di acquisizione.



Poiché tale software salva i file in un formato dedicato (\*.asl) è stato necessario trasformare ciascun file in formato Matlab (\*.m) al fine di poterli elaborare tramite il programma di analisi che è stato sviluppato nel corso degli ultimi anni, sotto la supervisione del Prof. Accardo.

### 2.1.3 Descrizione del software per l'analisi della grafia

Il software per le elaborazioni è stato concepito in due versioni, una user-friendly e una automatizzata, usate distintamente a seconda delle esigenze.

La *versione user-friendly* utilizza il tool GUI (Graphical User Interface) di Matlab e permette, su una singola acquisizione, di osservare determinati grafici e dati, a seconda delle scelte dell'utente.

La *versione automatizzata* contiene essenzialmente le stesse funzioni di elaborazione, ma, a differenza della precedente, permette di analizzare una maggiore mole di dati, processando più acquisizioni allo stesso tempo.

I metodi illustrati sono stati oggetto di pubblicazione e presentati al Secondo Convegno Nazionale di Bioingegneria tenutosi a Torino nel 2010 [I] e alla X Giornata di Studio Bioingegneria organizzata dall'Università di Catania nel 2011 [II].

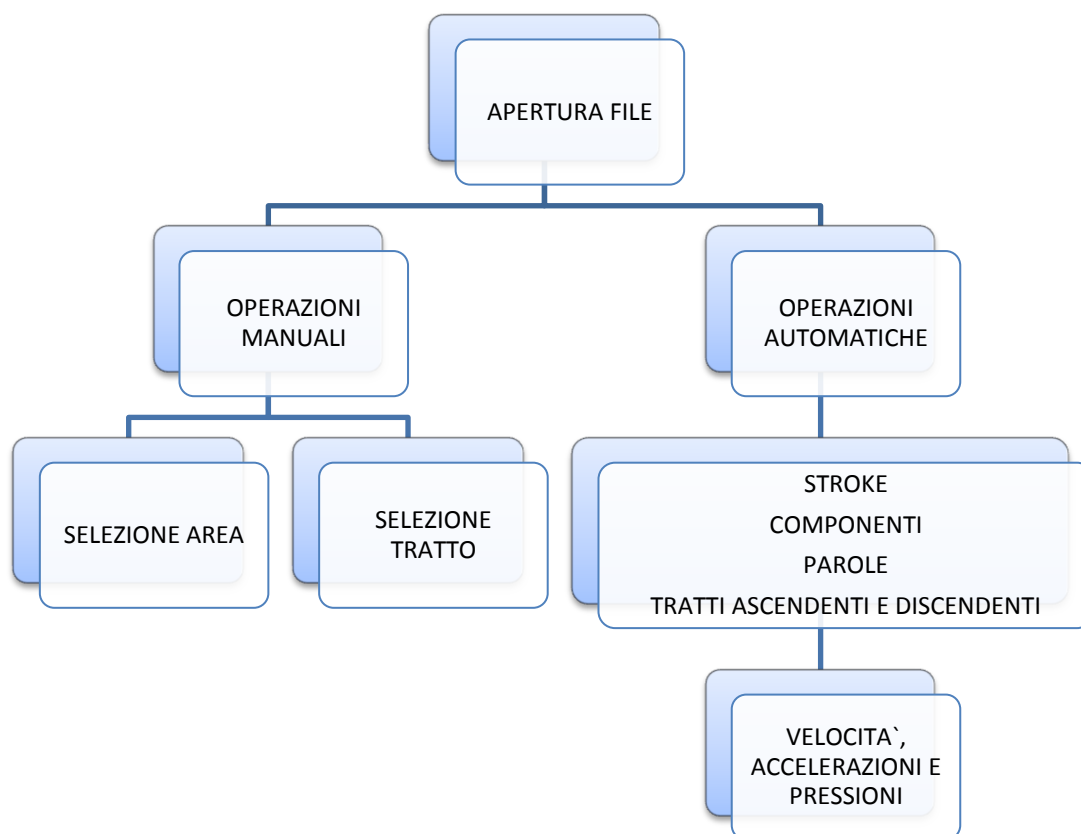
È stata inoltre estesa la versione automatizzata con una routine che permette l'estrazione dei parametri caratteristici del profilo di velocità del stroke. Tale funzione, descritta nel paragrafo 2.1.3.3, si basa su un algoritmo di fitting del profilo di velocità dello stroke proposto da Plamondon, il cui modulo di stima iniziale dei parametri è stato perfezionato e presentato in occasione di due convegni internazionali [IX, X].

#### 2.1.3.1 Software di interfaccia grafica

Una GUI è un'interfaccia utente costruita con oggetti grafici come pulsanti, sliders, campi di testo e menu. Se l'interfaccia è ben strutturata, il suo utilizzo da parte di un utente risulta essere molto intuitivo.

Il software esistente si basa su quanto descritto nei capitoli precedenti. Questo strumento, infatti, è stato progettato per indagare su aspetti dinamici della scrittura che altrimenti non sarebbe possibile cogliere.

Di seguito (fig. 15) è mostrato un diagramma a blocchi che illustra le principali funzioni messe a disposizione dell'utente.



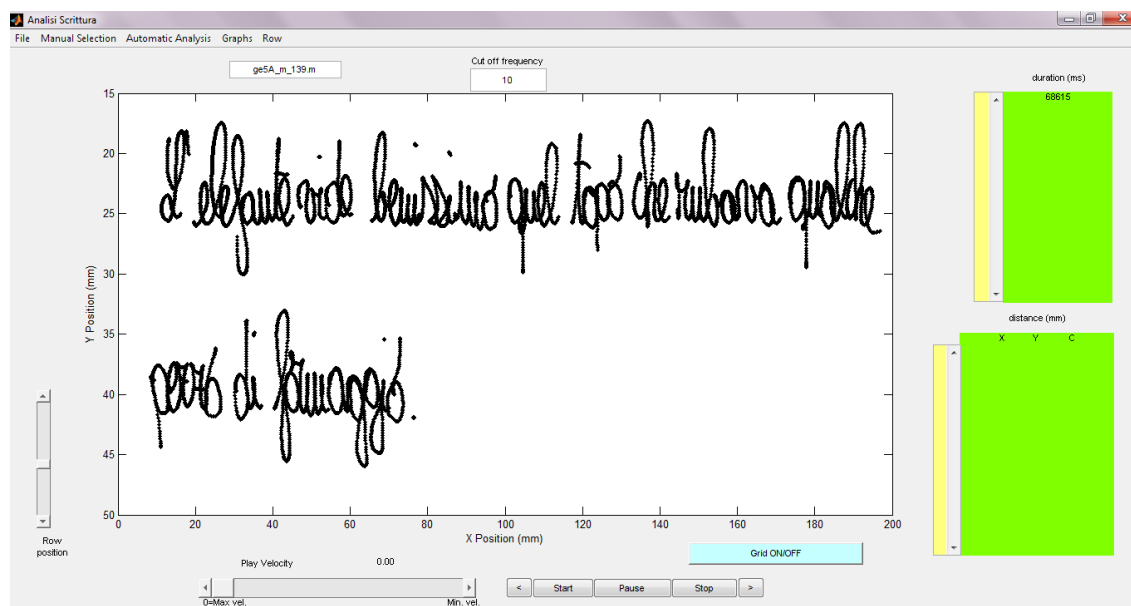
**Figura 15: Diagramma a blocchi del software d'analisi preesistente.**

La schermata principale, con cui l'utente si trova a interagire, è anche quella che gli consente di effettuare tutte le operazioni di analisi.

La figura 16 mostra la schermata iniziale all'*apertura del file* dati contenente i campioni prodotti dalla tavoletta digitale.

Dopo aver caricato un file, sono consentite tutte le *operazioni manuali* e le *operazioni automatiche* che il software è in grado di eseguire.

Le *operazioni manuali* permettono di osservare l'esecuzione dell'intero tracciato tramite la funzione di *riproduzione del testo*, ma anche di selezionare e di rivedere una zona ben precisa del tracciato. Rappresenta una funzione molto utile nei casi in cui si desideri analizzare solamente alcune parti del testo di particolare interesse clinico, senza che sia necessario rivedere l'intera riproduzione dello scritto.



**Figura 16: Schermata iniziale dopo aver caricato un file.**

Le *operazioni automatiche* offrono la possibilità di visualizzare stroke, componenti, parole e tratti ascendenti e discendenti con le relative informazioni.

Per quanto riguarda la *visualizzazione degli stroke* (fig. 17) sono presenti, inoltre, tre pulsanti che generano rispettivamente gli istogrammi della velocità e dell'accelerazione, delle durate e delle distanze.

Scegliendo *Visualizza Componenti* dal menu *Operazioni Automatiche* si apre una finestra (fig. 18) nella quale compare il tracciato completo e dei rettangoli rossi che delimitano le componenti, ovvero i tratti compresi tra due staccate successive. Le componenti sono individuate determinando quali sono i punti che hanno distanza temporale maggiore di 30ms.

Analogamente, cliccando su *Visualizza Parole*, vengono visualizzate le parole delimitate da rettangoli rossi, individuate tramite un algoritmo creato ad hoc e descritto nel prossimo paragrafo (fig. 19).

I tratti ascendenti e discendenti, riconosciuti tramite il segno della velocità calcolata lungo y, sono rispettivamente illustrati in rosso e in nero, attivando l'apposita finestra di visualizzazione (fig. 20).

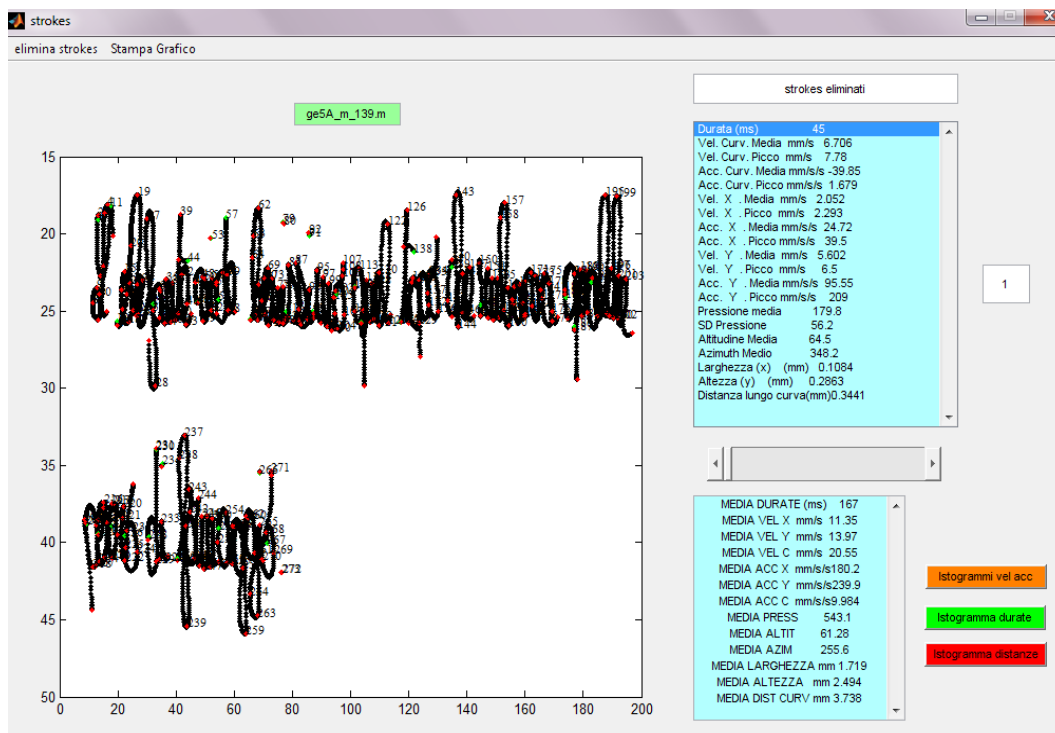


Figura 17: Visualizzazione stroke.

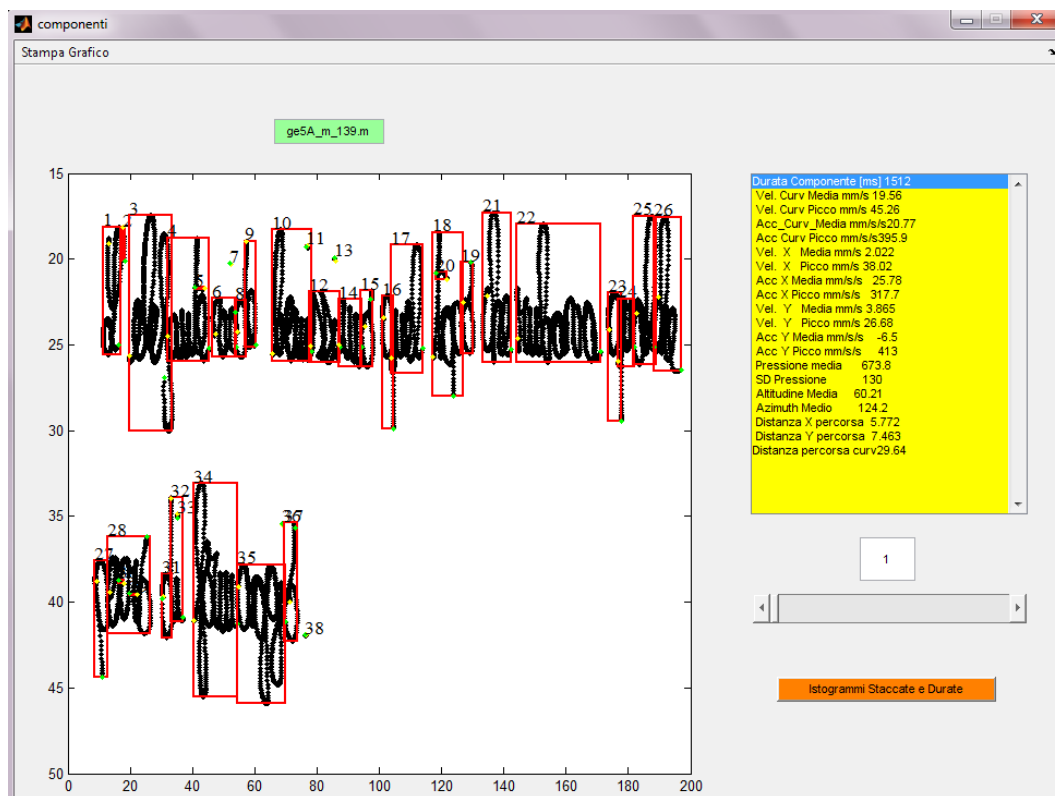


Figura 18: Visualizzazione componenti.

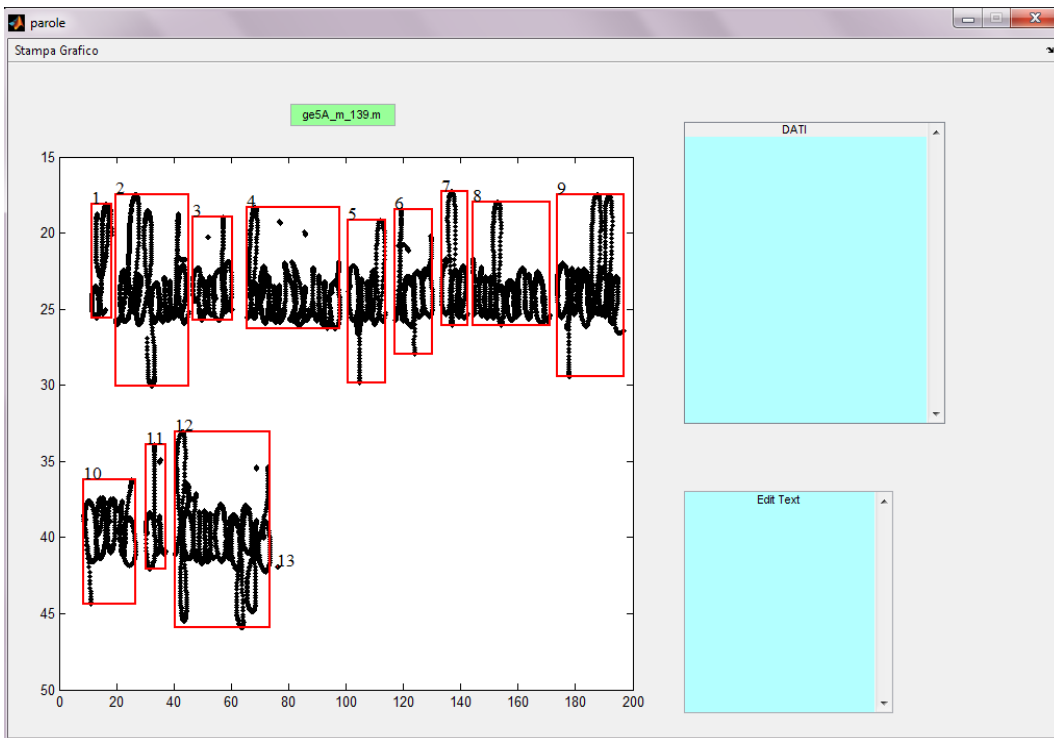


Figura 19: Visualizzazione parole.

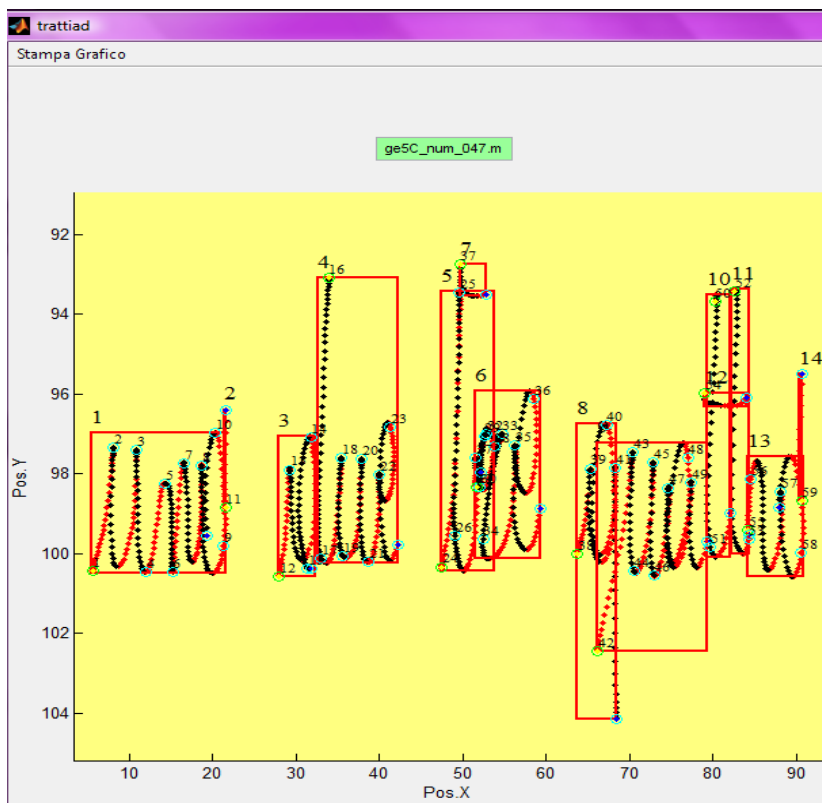


Figura 20: Visualizza tratti ascendenti (rosso) e discendenti (nero).

Per ogni stroke, componente, parola e tratto ascendente/discendente sono determinate e visualizzate le seguenti informazioni:

- Durata (ms)
- Velocità curvilinea media (mm/s) e DS
- Velocità curvilinea di picco (mm/s)
- Accelerazione curvilinea media (mm/s/s) e DS
- Accelerazione curvilinea di picco (mm/s/s)
- Velocità media e DS rispetto all'asse X (mm/s)
- Velocità di picco rispetto all'asse X (mm/s)
- Accelerazione media e DS rispetto all'asse X (mm/s/s.)
- Accelerazione di picco rispetto all'asse X (mm/s/s)
- Velocità media e DS rispetto all'asse Y (mm/s)
- Velocità di picco rispetto all'asse Y (mm/s)
- Accelerazione media e DS rispetto all'asse Y (mm/s/s.)
- Accelerazione di picco rispetto all'asse Y (mm/s/s)
- Pressione media (0-1023)
- Deviazione standard della pressione
- Altitudine media e DS (°)
- Azimuth medio e DS (°)
- Lunghezza secondo l'asse X (mm)
- Altezza secondo l'asse Y (mm)
- Distanza lungo la curva (mm)

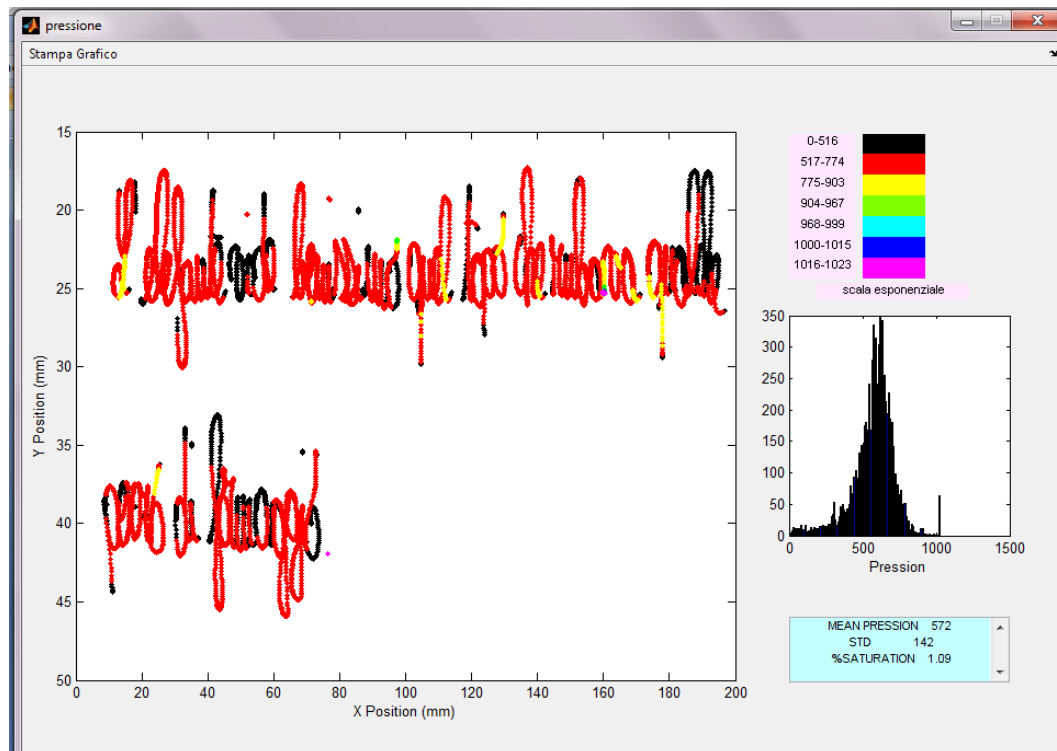
La velocità e l'accelerazione lungo gli assi X e Y sono ricavate derivando rispettivamente una e due volte il profilo di posizione lungo gli assi X e Y, tra campioni successivi.

I segnali di velocità e accelerazione sono successivamente filtrati con un filtro passa-basso di Butterworth del secondo ordine per eliminare le componenti in alta frequenza che non appartengono al segnale utile.

È possibile scegliere nella schermata principale fra tre frequenze di taglio: 5, 10 e 15 Hz.

La pressione è messa in evidenza visualizzando il tracciato completo in una gradazione di sette possibili colori (fig. 21), che identificano intervalli di uguale ampiezza, in una scala

di valori che vanno da 0 a 1023. Nella medesima schermata sono tracciati inoltre il relativo istogramma della pressione, il suo valore medio e la deviazione standard.



**Figura 21: Visualizzazione del tracciato in scala colori della pressione.**

Altri parametri sono l'azimuth e l'altitudine, ovvero gli angoli, espressi in gradi, che la penna forma rispetto alla tavoletta secondo un sistema di riferimento sferico, centrato nel punto di contatto della penna. Per convenzione lo zero dell'altitudine corrisponde col piano del foglio ed il valore massimo ( $90^\circ$ ) con la posizione verticale della penna, mentre lo zero dell'azimuth è posto al centro della parte superiore del foglio e l'angolo cresce spostandosi in senso orario.

### 2.1.3.2 Software di elaborazione automatizzato

Per permettere l'elaborazione di un intero campione di acquisizioni in tempi brevi è stato implementato un ulteriore software che calcola i parametri precedentemente descritti per tutti i test di ogni soggetto e li salva in una cartella creata appositamente.

Tale software è composto da due blocchi principali:

1. Main per l'apertura dei file d'interesse;
2. Elaborazione dei test di scrittura e salvataggio dei risultati.

La prima parte consente di caricare in maniera automatizzata l'elenco dei dati relativi a ciascun test di scrittura acquisito, utilizzando la funzione `XLSREAD` di Matlab. La funzione prende i dati identificativi di ogni soggetto (ad esempio: codice scuola, codice classe, lateralità, sesso, tavoletta grafica utilizzata,...) da un foglio Excel, dove sono elencati tutti i soggetti facenti parte di un campione specifico, e li salva in un'apposita matrice. I dati sono quindi utilizzati nel programma dalla funzione `elaborazione_scrittura.m`, che permette di estrarre i parametri ed eventualmente di visualizzare i grafici di tutti i parametri per ciascun test eseguito dal soggetto.

La procedura `elaborazione_scrittura.m`, serve a calcolare i parametri per stroke, componenti, parole, tratti ascendenti e discendenti in tutti i test di scrittura e visualizza i grafici a essi relativi.

Poiché ciascun test è realizzato mediante la sequenza di tratti scritti separati da staccate, la procedura identifica innanzitutto le componenti: se un intervallo temporale tra una traccia e la successiva è maggiore di 30 ms, questo rappresenta una staccata tra due componenti distinte. A questo punto si hanno gli estremi iniziale e finale di ciascuna componente che sono salvati rispettivamente nelle variabili `incomp` e `fincomp`.

Segue un loop principale in cui sono calcolati:

- il numero totale delle componenti di un test che viene salvato nella variabile `nrcomp`;

e quindi per ciascuna componente:

- la posizione, la velocità e l'accelerazione lungo X, Y e la curva. Dapprima le posizioni X e Y sono filtrate con un filtro passa-basso di Butterworth del secondo ordine (per le buone prestazioni riscontrate in letteratura) con una frequenza di taglio pari a 20Hz. Per determinare il percorso lungo la curva si è deciso di non interpolare le posizioni lungo X e lungo Y separatamente, ma si è calcolato lo spostamento complessivo, sommando la posizione in tutti gli istanti all'interno degli estremi di ciascuna componente, che è poi stato filtrato. Si calcolano le velocità e le accelerazioni come derivate rispettivamente del segnale di posizione e di quello di velocità sempre lungo X, Y e la curva. Infine si filtrano utilizzando un filtro passa-basso di Butterworth del secondo ordine con una frequenza di taglio pari a 10 Hz, poiché, nonostante nei bambini sia più adatta una frequenza di 5 Hz, questa comporta una perdita eccessiva di informazione nel segnale di velocità, utilizzato in seguito per individuare i tratti ascendenti e discendenti.



Questi calcoli sono svolti dalla funzione *filtra\_deriva.m*, che è richiamata all'interno di *elaborazione\_scrittura.m*.

Gli indici di inizio e fine degli stroke, ovvero i punti in cui l'accelerazione curvilinea è nulla, sono salvati nelle variabili *ini\_stroke* e *fin\_stroke*.

- il numero dei passaggi per lo zero della velocità e dell'accelerazione, *zero crossing*.
- la curvatura e la velocità angolare in due modalità distinte (richiamando la funzione *curvatura\_corretta.m*):

1. Si trova il cerchio osculatore calcolando i coefficienti a, b e c dell'equazione della circonferenza che passa per tre punti del tracciato. Viene risolto un sistema a tre equazioni e tre incognite con il metodo di Kramer. Viene creata le matrici dei determinanti con tutti i punti del tracciato e quindi si ricavano a, b e c.

Si trova  $R = \frac{\sqrt{(a^2+b^2-4c)}}{2}$ , imponendo  $R=1000$  se il radicando risulta essere un numero negativo. È infine calcolata la curvatura (*kurv0*) come l'inverso del raggio ( $1/R$ ).

2. Alternativamente viene calcolata la curvatura (*kurv1*) attraverso la relazione:

$$k = \frac{\partial\Phi}{\partial s} = \frac{\partial\Phi/\partial t}{\partial s/\partial t} = \frac{\partial\Phi/\partial t}{\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2}} = \frac{\partial\Phi/\partial t}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} = \frac{x'y'' - y'x''}{(x'^2 + y'^2)^{3/2}}$$

dove:  $x'=vpxf$ ;  $y'=vpyf$ ;  $x''=apxf$ ;  $y''=apyf$ .

- gli indici di inizio e fine dei tratti ascendenti e discendenti, individuati tramite le variazioni di segno della velocità lungo Y: quando questa è negativa il tratto risulta discendente, mentre quando è positiva il tratto risulta ascendente. Gli indici sono inseriti nelle variabili *inizasc*, *fineasc*, *inizdisc*, *finedisc*.

Per ogni tratto ascendente o discendente identificato (sempre all'interno di una componente): valor medio, deviazione standard e valore di picco delle relative velocità lungo X, Y e la curva, i cui valori vengono salvati nei vettori *velo\_ca* e *velo\_cd*; valore medio e deviazione standard delle relative pressioni e percentuale dei punti in cui la

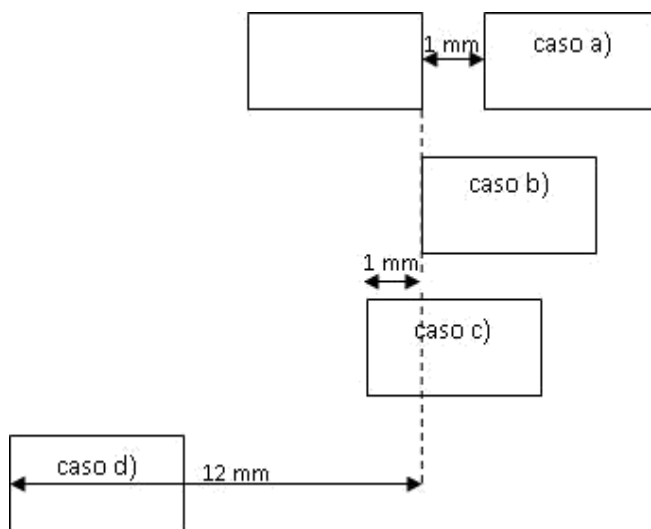
pressione risulta saturata (quando supera il valore massimo pari a 1023), tali valori sono salvati nell'array *press\_cad*.

- gli estremi di inizio e fine delle parole che sono salvati in *inipar* e *finepar*. Questi valori saranno poi utilizzati dal programma per disegnare i rettangoli rossi che delimitano parole distinte.

Si distinguono i casi in cui i test sono costituiti da più di una componente dai casi in cui la parola è composta da un'unica componente e quindi coincide con questa. Nel primo caso, due componenti contigue si considerano facenti parte di una stessa parola se la seguente operazione logica risulta vera:

$$((x_{min}-disx_{max})<1 \ \&\& \ (disx_{max}-x_{max})<12)$$

dove *xmin* è il valore minimo della posizione lungo *x* (l'estremo sinistro) della componente successiva all'*i*-esima e *disxmax* è il valore massimo della posizione lungo *x* (l'estremo destro) dell'*i*-esima componente. La funzione logica risulta vera nei casi a), b) e c) (fig. 22), cioè se la distanza tra la componente successiva e la precedente è inferiore a 1mm o se la successiva non precede la precedente per più di 12 mm.



**Figura 22: Casi contemplati nel programma per il riconoscimento delle parole.**

La figura va interpretata immaginando la componente illustrata nei vari casi (a, b, c, d) posta sullo stesso rigo della prima (il primo rettangolo). Si ricorda che il programma fa il controllo sempre tra le ultime due componenti man mano che scorre nel tempo tutte le componenti del test. Si può evitare il controllo sulle ordinate in quanto i test analizzati non prevedono che vengano scritte in due istanti di tempo successivi parole su ordinate distinte e su ascisse che soddisfano i criteri di appartenenza a una medesima parola.

Sempre all'interno del loop principale si ha il salvataggio, all'interno dell'array *dati\_c*, dei parametri calcolati per ciascuna componente individuata nel test cioè: durata; lunghezza lungo X, Y e la curva; media, deviazione standard e valore massimo di velocità e accelerazioni lungo X, Y e la curva; media e deviazione standard delle pressioni, altitudini e azimuth; percentuali dei punti con pressione saturata.

Dopo il loop principale il programma calcola il numero degli stroke e il numero delle parole.

Per ogni stroke vengono salvati in *dati\_s* i seguenti valori: durata; percorso lungo X, Y e la curva; media, deviazione standard e valore massimo di velocità e accelerazioni lungo X, Y e la curva; media e deviazione standard delle pressioni, altitudini e azimuth; percentuali dei punti con pressione saturata.

Per ogni parola, distinguendo sempre i casi in cui questa sia composta da una sola componente oppure da più componenti, sono calcolati e poi salvati in *dati\_p*: durata della traccia (*TTpgEP*); lunghezza della traccia (*SPpgEP*); durata totale delle staccate (*TTpsEP*); percorso delle staccate, considerando quello minimo percorribile in aria (*SPpsEP*). Nell'array *velo\_p* vengono salvati il valor medio, la deviazione standard e il valore di picco delle velocità di ogni parola lungo X, Y e la curva all'interno; gli stessi valori vengono distinti all'interno di ogni singola parola per tratti ascendenti e discendenti e in seguito salvati negli array *velo\_pa* (per i tratti ascendenti) e *velo\_pd* (per i tratti discendenti). Sono inoltre salvati (nell'array *press\_pad*) per ogni parola, media e deviazione standard della pressione e la percentuale dei punti in cui essa risulta saturata per tratti ascendenti e discendenti.

Tra parole successive sono calcolati la durata (*TTpsTP*) e il percorso delle staccate (*SPpsTP*) e salvati in *dati\_pl*.

La procedura permette inoltre la visualizzazione dei grafici, alcuni già visti nella versione user-friendly e altri relativi ai diversi parametri calcolati.

### 2.1.3.3 Software per l'estrazione dei parametri del profilo di velocità dello stroke

Molti metodi sono stati proposti negli anni per estrarre i parametri del profilo di velocità di un singolo stroke. È stato fatto un confronto tra 26 funzioni ed è stato dimostrato che la Delta Lognormale (§1.3.1) è la più performante delle funzioni in grado di ricostruire un profilo di velocità di uno stroke con il minimo errore [73].

Il funzionamento degli estrattori deterministici della Delta Lognormale è schematizzato in fig. 23.

Per prima cosa, da un tipico profilo di velocità  $v(t)$ , l'algoritmo stima i parametri lognormali dell'agonista, considerando  $v(t)$  come un profilo singolo. I valori stimati dei sette parametri serviranno come start point per l'ottimizzazione del calcolo.

In un secondo momento verrà valutata la risposta dell'antagonista sottraendo al profilo totale quello dell'agonista. In ogni caso la stima iniziale dei valori proposta da Plamondon rappresenta solo una possibile soluzione perché dipende fortemente dalle specifiche condizioni sperimentali di raccolta dei dati.

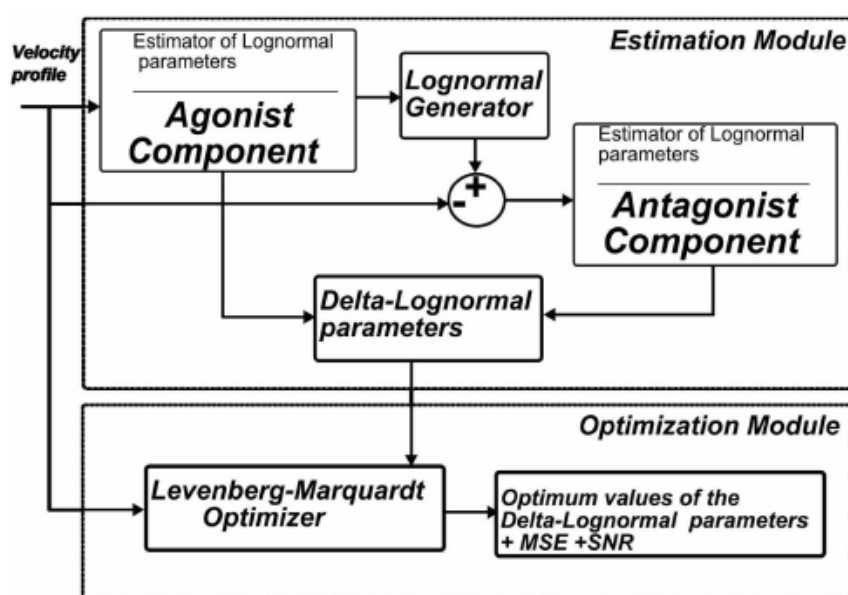


Figura 23: Schematizzazione del sistema di estrazione della Delta Lognormale.

Partendo da queste soluzioni iniziali l'estrattore cerca i valori ottimizzati dei parametri utilizzando la tecnica della regressione quadratica media non lineare proposta da Levenberg-Marquardt. In questo modo si minimizza la distanza tra il profilo di velocità reale e quello stimato con il modello Delta Lognormale utilizzando un gradiente ponderato tra i metodi di Gauss e di Newton.

Come altri algoritmi di minimizzazione numerica, l'algoritmo di Levenberg-Marquardt [74] è una procedura iterativa. Per avviare una minimizzazione, l'utente deve fornire un'ipotesi iniziale per ogni parametro vettoriale. Nei casi con un solo minimo funzionerà benissimo, mentre nei casi con più minimi l'algoritmo converge solo se il dato iniziale è già in qualche modo vicino alla soluzione finale.

Alla fine del processo si ottengono sia i valori ottimali dei sette parametri che l'errore quadratico medio (MSE in  $\text{cm}^2/\text{s}^2$ ) tra il profilo di velocità originale e quello ricostruito.

La parte critica di questa ottimizzazione è il processo di stima dei valori iniziali: una stima approssimativa non garantisce precisione nel fitting.

L'algoritmo XZERO [75] propone una stima originale dei valori iniziali sfruttando la relazione analitica esistente tra tre tempi che caratterizzano un profilo Delta Lognormale che, come visto, si delinea con quattro parametri:  $\Lambda(t; t_0, \mu_i, \sigma_i)$ .

Quest'algoritmo si chiama XZERO perché fa riferimento ai tempi in cui la derivata prima e la derivata seconda del profilo di velocità si annullano.

La stima dei parametri lognormali si effettua unendo la condizione di zero crossing del profilo di velocità ai valori analitici ottenuti dal modello Delta Lognormale.

Considerando  $v(t; t_0, \mu_i, \sigma_i^2)$  una funzione lognormale pesata in D e shiftata di  $t_0$ :

$$v(t-t_0) = D\Lambda(t; t_0, \mu_i, \sigma_i^2) = D \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i(t-t_0)} e^{-\frac{1}{2\sigma_i^2}(\ln(t-t_0)-\mu_i)^2} \quad \text{con } t_0 < t$$

$$v(t-t_0) = D\Lambda(t; t_0, \mu_i, \sigma_i^2) = 0 \quad \text{altrove}$$

Ponendo  $k = \frac{\ln(t-t_0)-\mu}{\sigma} \rightarrow \frac{dk}{dt} = \frac{1}{\sigma(t-t_0)}$

La derivata del primo ordine è quindi:

$$\frac{d}{dt} \frac{D}{\sigma(t-t_0)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{k^2}{2}} = \frac{v(t-t_0)}{\sigma(t-t_0)} (\sigma + k)$$

$$(\sigma + k) = 0 \rightarrow k = \frac{\ln(t-t_0)-\mu}{\sigma} = -\sigma \rightarrow t_m = t_0 + e^{\mu-\sigma^2} \quad (2.1)$$

Lo zero crossing della derivata prima di  $v(t-t_0)$  definisce  $t_m$  come il tempo massimo mentre lo zero crossing della derivata seconda di  $v(t-t_0)$  definisce  $t_{inf1}$  e  $t_{inf2}$ .

Calcolando la derivata seconda in modo analogo si ottiene lo zero ricavando le due soluzioni dell'equazione  $k^2+3k\sigma+2\sigma^2-1=0$ .

Ponendo:

$$\alpha_1 = e^{-a_1} < 1; \text{ con } a_1 = \sigma \frac{\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4}}{2}$$

$$\alpha_2 = e^{-a_2} > 1; \text{ con } a_2 = \sigma \frac{\sigma - \sqrt{\sigma^2 + 4}}{2} \quad (2.2)$$

si definisce

$$t_{inf1} = t_0 + \alpha_1 e^{\mu - \sigma^2} \quad (2.3)$$

$$t_{inf2} = t_0 + \alpha_2 e^{\mu - \sigma^2} \quad (2.4)$$

con  $t_{inf1} < t_m < t_{inf2}$

Questi indici temporali sono calcolati partendo da un profilo di velocità e considerando il tempo in cui vi è il massimo della velocità ( $t_m$ ) e i tempi in cui si hanno rispettivamente il massimo e il minimo dell'accelerazione ( $t_{inf1}$ ,  $t_{inf2}$ ).

Utilizzando la 2.1, 2.3 e la 2.4,  $t_0$ ,  $D$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  si possono ricavare come funzioni di  $t_m$ ,  $t_{inf1}$ ,  $t_{inf2}$ .

Il parametro  $\sigma$  può essere stimato risolvendo un'equazione non lineare considerando un intervallo  $I$  che ricopre il 99.97 % della superficie sottesa della curva lognormale:

$$I = [e^{\mu - 3\sigma}, e^{\mu + 3\sigma}] = [t_{min}, t_{max}]$$

Dove  $t_{min}$ ,  $t_{max}$  sono i punti estremi dell'intervallo, come stimato da profilo lognormale usando soglie empiriche (ad esempio il tempo in cui la velocità raggiunge l'1% del massimo).

$$F(\sigma) = \frac{t_{max} - t_{min}}{2 \sinh(3\sigma)} [e^{-\sigma^2} - e^{-3\sigma}] - (t_m - t_{min}) \quad (2.5)$$

Da cui si ottiene il valore stimato di  $\sigma$  ossia  $\sigma_{sti}$  che servirà per ottenere gli altri parametri.

Per stimare  $\mu$  si considera:

$$\mu_{sti} = \sigma_{sti} + \ln \left( \frac{t_{inf2} - t_{inf1}}{\alpha_2 - \alpha_1} \right) \quad (2.6)$$

con  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  ricavati come in (2.2 e 2.3).

Per ottenere  $t_{0sti}$  e  $D_1$ :

$$t_{0sti} = t_m - e^{\mu_{sti} - \sigma_{sti}^2} \quad (2.7)$$

$$D_1 = v_m \sigma_{sti} \sqrt{2\pi} e^{\mu_{sti} - \frac{\sigma_{sti}^2}{2}} \quad (2.8)$$

La stima dei parametri lognormali del sistema agonista è effettuata sfruttando il metodo appena descritto, dato che un profilo di velocità Delta Lognormale è definito come:

$$v(t-t_0) = v_1(t-t_0) - v_2(t-t_0)$$

dove  $v_1(t-t_0)$  e  $v_2(t-t_0)$  rappresentano rispettivamente il sistema agonista e antagonista.

Quindi, usando la (2.5) e la (2.8), i quattro parametri dell'agonista ( $t$ ;  $t_0$ ,  $\mu_i$ ,  $\sigma_i$ ) sono stimati considerando il picco principale del profilo di velocità come una singola funzione lognormale:

$$v(t-t_0) \approx v_1(t-t_0) \quad \text{con } t_{inf1} < t < t_{inf2}$$

I parametri dell'antagonista, invece, sono ricavati calcolando:  $v_2(t-t_0) = v(t-t_0) - v_1(t-t_0)$ .

Gli indici temporali della risultante funzione lognormale del sistema antagonista sono ottenuti come:

$$t_{m2} = t_0 + e^{\mu_2 - \sigma_2^2} \quad (2.9)$$

$$t_{inf12} = t_0 + e^{\mu_2 - \sigma_2^2} e^{-a_1} \quad (2.10)$$

$$t_{inf22} = t_0 + e^{\mu_2 - \sigma_2^2} e^{-a_2} \quad (2.11)$$

La seguente funzione è utilizzata per stimare  $\sigma_2$ :

$$\frac{t_{inf22} - t_0}{t_{inf12} - t_0} = \frac{e^{\mu_2 - \sigma_2^2} e^{-a_2}}{e^{\mu_2 - \sigma_2^2} e^{-a_1}} = e^{a_1 - a_2}$$

Ponendo  $B = a_1 - a_2 = \ln \left( \frac{t_{inf22} - t_0}{t_{inf12} - t_0} \right)$

$$t_{inf12} < t_{inf22} \rightarrow 1 < \frac{t_{inf22} - t_0}{t_{inf12} - t_0} \rightarrow 0 < B = \ln \left( \frac{t_{inf22} - t_0}{t_{inf12} - t_0} \right)$$

$$a_1 - a_2 - B = \sigma_2 \frac{\sigma_2 + \sqrt{\sigma_2^2 + 4}}{2} - \sigma_2 \frac{\sigma_2 - \sqrt{\sigma_2^2 + 4}}{2} - B = 0$$

$$\sigma_2^2(\sigma_2^2 + 4) = B^2$$

Risolvendo il polinomio del secondo ordine si ottiene:

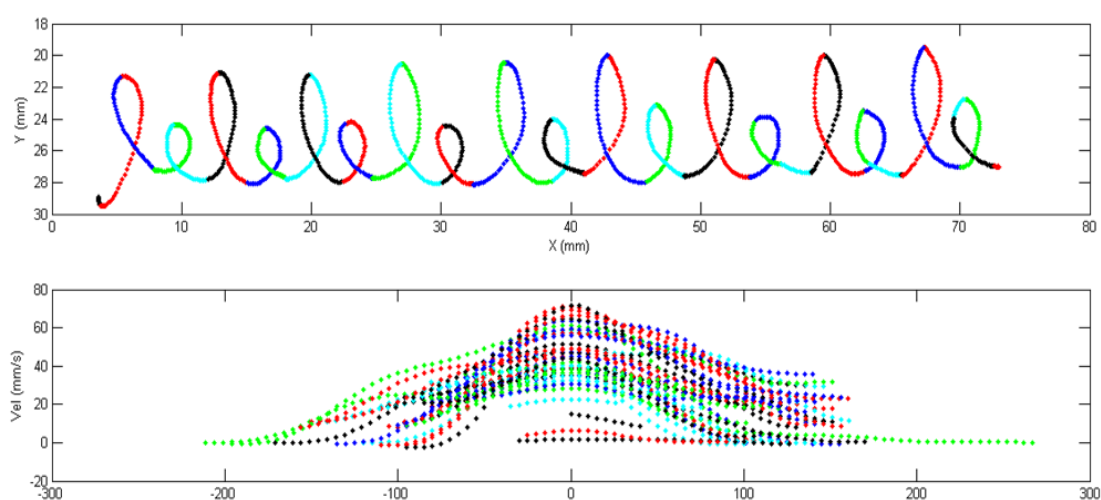
$$\sigma_{2sti} = \sqrt{\sqrt{B^2 + 4} - 2} \quad (2.12)$$

con  $B = \ln \left( \frac{t_{inf22} - t_0}{t_{inf12} - t_0} \right)$

I parametri  $\mu_{2sti}$  e  $D_2$  sono calcolati come per il sistema agonista nelle (2.6) e (2.8).

Il modello di Plamondon descrive il profilo di velocità di ogni singolo stroke come una curva dall'andamento lognormale. Ovviamente nella pratica questo non è sempre vero

perché ogni stroke è determinato dalla posizione all'interno della parola (inizio o fine) e dal livello di scolarizzazione del tester. Come si può vedere in figg. 24, 25 la rappresentazione a colori permette un facile riconoscimento degli stroke. Una situazione particolare si può evidenziare proprio nel primo stroke del tracciato (breve tratto di colore nero) dovuto a un errato comando motorio a inizio della scrittura. Questo breve stroke genererà un profilo di velocità molto lento e sicuramente non di tipo lognormale (quindi non interpretabile con il modello della Delta Lognormale). Analizzando l'intero tracciato si è resa evidente la possibilità di eliminare dallo studio quegli stroke molto piccoli i cui profili di velocità non danno reale contributo alla scrittura.

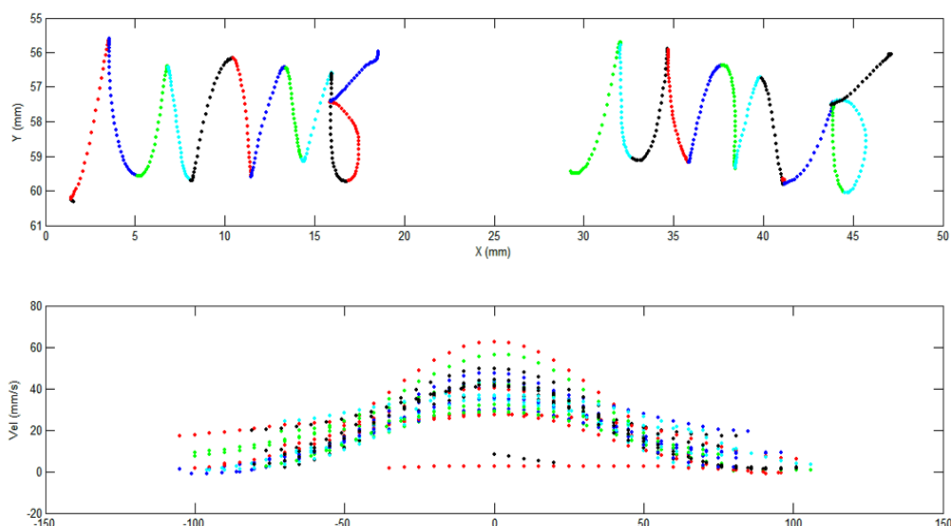


**Figura 24: Test LE e relativi profili di velocità lognormali degli stroke.**

In realtà questa operazione elimina soltanto i profili in cui la velocità ha un massimo di 1.5 m/s (soglia definita in maniera empirica) quindi permette di approssimare molto bene lo scritto acquisito.

I profili di velocità sono evidentemente a campana asimmetrica tranne che per piccoli stroke (incertezze) che si possono notare all'inizio, ma anche tra uno stroke e l'altro.



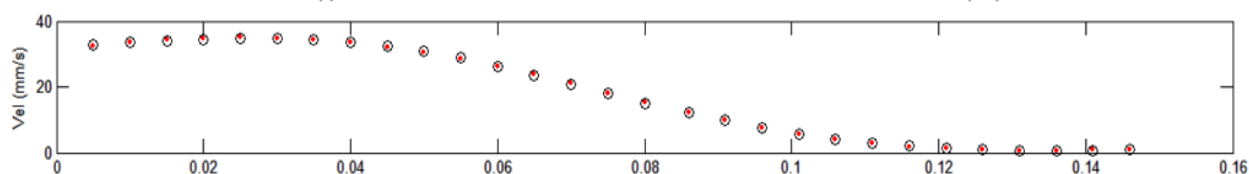


**Figura 25: Test UNO e relativi profili di velocità lognormali degli stroke.**

La procedura implementata in *bestfitPLA\_XZERObis.m* permetteva inizialmente di processare i campioni con il modello Delta Lognormale proposto da Plamondon, ma per ottenere una soluzione ottimale degli start point, nonostante numerosi tentativi di fitting, non è stato possibile stimare con accuratezza gli istanti di inizio e fine del movimento così come previsto dal modello prima descritto (2.7).

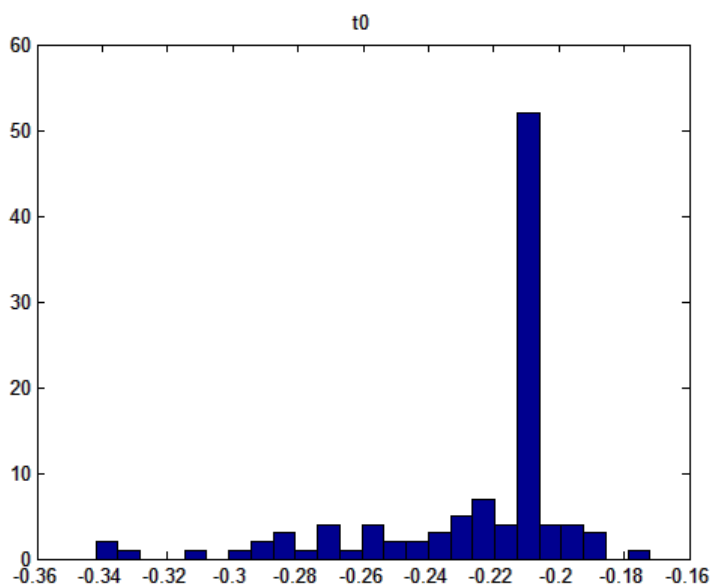
Si è deciso di adottare la scelta di non ricavare  $t_0$  ma di fissarlo pari a  $t_0 = t_{min} - 0.22$  s, ossia considerare l'istante di inizio dello stroke ritardato di 220 ms rispetto al comando, riprendendo delle ipotesi fatte in studi precedenti a questo (questa è la novità introdotta che ci ha permesso di ottenere maggiori performance nella procedura di fitting).

I profili di velocità del tratto acquisito non sono sempre interamente di tipo lognormale probabilmente a causa di un'eventuale sovrapposizione di stroke adiacenti o per naturale asimmetria (fig. 26). In questi casi viene effettuata un'operazione sul profilo che oggettivamente ne ricostruisce il tratto mancante (discendente o ascendente) per stimare il  $t_{min}$ .



**Figura 26: Profilo di velocità con solo tratto discendente, in casi come questo la stima di  $t_0$  viene effettuata con ricostruzione della curva a lognormale.**

La variazione di  $t_0$ , in questi casi, rispetto agli stroke con un esatto profilo di tipo lognormale, è al massimo pari a 30 ms in modulo (fig. 27).



**Figura 27: Istogramma  $t_0$ , la maggior parte dei valori è raggruppata intorno a -0.22 s.**

Utilizzando l'algoritmo XZERO (2.6, 2.8, 2.12) si ricavano successivamente i valori di  $D_1, \sigma_{1sti}, \mu_{1sti}$ .

Una volta calcolato il profilo di velocità del sistema agonista con la legge Delta Lognormale si può ottenere, in modo analogo, quello del sistema antagonista partendo sempre dalla derivata prima e seconda del profilo di velocità antagonista tra due punti di minimo.

I parametri  $D_1, \mu_1, \sigma_1, D_2, \mu_2, \sigma_2, sqrt(errq)$  e  $t_0$  sono ottenuti in Matlab tramite l'applicazione del comando *fitype* sulla legge Delta Lognormale ottenuta.

Dopo aver constatato che l'utilizzo di una delta-lognormale è in realtà un espediente per ottenere maggiori performance nel fitting, che non fornisce però risultati realistici per i contributi del sistema agonista e antagonista, è stata creata una versione che approssima il profilo di velocità con una sola funzione Lognormale. La procedura è esattamente analoga a quella appena descritta, ma si ferma allo step di stima dei parametri della componente agonista, procedendo quindi al fitting con una singola lognormale.

Nel prossimo capitolo (§3.2) saranno mostrati i risultati ottenuti dal programma appena descritto, applicandolo sui profili di velocità dello stroke osservati su un campione costituito da più di 200 soggetti.

## **2.2 L'approccio manuale: introduzione di nuovi strumenti per una valutazione oggettiva della qualità della grafia**

L'approccio osservativo di valutazione del processo di scrittura si basa, come visto nel precedente capitolo, su scale di valutazione e check-list che riportano gli aspetti estetici della grafia, nonché gli atteggiamenti posturali e prassici dello scrivente. Tali osservazioni possono essere fatte in parte durante l'esecuzione del compito e in parte a posteriori, individuando le caratteristiche del prodotto scritto.

Misurare la qualità del corsivo non è così banale come può sembrare, perché a ogni grafema corrisponde una specifica sequenza grafo motoria che va riportata opportunamente nello spazio grafico, rispettando i rapporti metrici e controllando i punti di inizio, fine o aggancio con l'allografo successivo.

Molto spesso in ambito sanitario, durante le normali attività, viene combinata l'evidenza empirica con l'esperienza soggettiva, soprattutto quando non esistono protocolli standardizzati. Pertanto è indispensabile utilizzare metodologie che migliorino la comunicazione tra ricerca e pratica clinica.

Questo è stato l'input che ci ha spinti a realizzare uno strumento di valutazione delle componenti effettrici coinvolte nel processo di realizzazione del corsivo, basandoci sia su griglie osservative utilizzate nella pratica clinica da logopedisti e neuropsimotricisti, sia sulle scale di valutazione validate più utilizzate in letteratura.

### **2.2.1 Scala di valutazione**

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito della preziosa collaborazione con la Dott.ssa Iolanda Perrone, logopedista specialista del Metodo Terzi dell'USLL7 di Pieve di Soligo, e due insegnanti, Paola Ceschia e Carmela Mandarinò, della scuola primaria Don Milani di Cernusco sul Naviglio, che sperimentano il Metodo Terzi nell'insegnamento della scrittura e della matematica. I risultati di tale esperienza verranno descritti nel Capitolo 4, adesso saranno riportati gli strumenti di analisi sviluppati.

Al fine di realizzare uno strumento che analizzasse le componenti effettrici, ci si è basati sui modelli usati in letteratura, in particolare quello a due vie citato nel Capitolo 1 [2], integrandolo con quelle che sono le fondamenta su cui si basa il Metodo ideato da Ida Terzi. Il metodo spazio temporale fu ideato nella prima metà del Novecento da Ida Terzi, insegnante elementare all'istituto per ciechi di Reggio Emilia, con lo scopo di sviluppare nei suoi alunni la percezione del corpo in movimento nello spazio affinché potessero

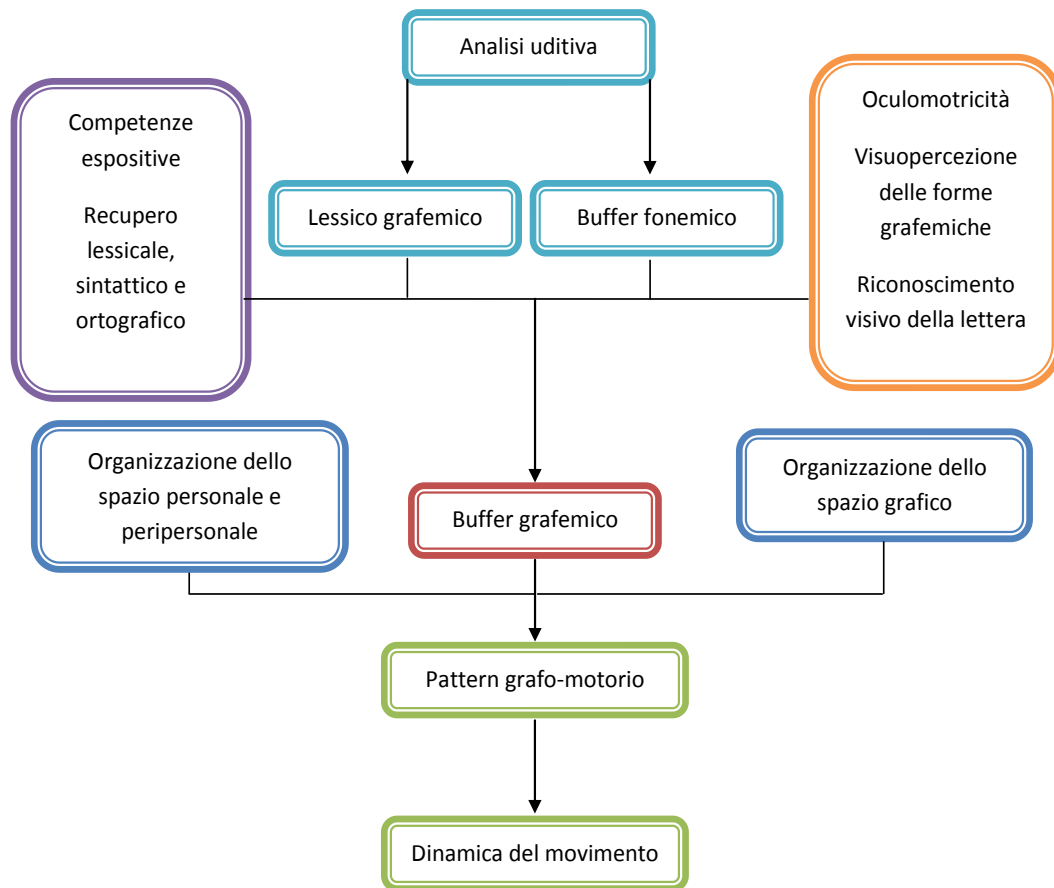
integrare le informazioni provenienti dal mondo esterno con quelle provenienti dal loro corpo, facilitando la coerenza percettiva e il passaggio da un utilizzo inconscio a un uso consapevole del corpo in movimento.

La tecnica aiuta l'individuo a integrare le informazioni provenienti dagli spazi in cui egli si muove: lo *spazio personale*, costituito dall'idea che la persona ha del proprio corpo; lo *spazio peripersonale*, quello più vicino al corpo, che si usa per manipolare gli oggetti; lo *spazio extra-personale*.

Il Metodo è stato valorizzato dalle nuove acquisizioni nelle neuroscienze, che sottolineano l'importanza del sistema motorio come strumento di conoscenza. La tecnica Terzi si avvale dell'apporto di diverse teorie: l'*embodied cognition*, che pone l'accento sul ruolo del corpo nella formazione dei processi cognitivi e sociali; il *costruttivismo*, per il quale la conoscenza della realtà è il frutto di un'elaborazione personale basata sulle esperienze; e il modello di funzionamento cerebrale elaborato dalla *teoria dei neuroni a specchio*, che ritiene che i neuroni si attivino non solo quando compiamo un'azione, ma anche quando si osservano i movimenti fatti da altri.

Il *modello neuromotorio di realizzazione della scrittura* implementato, riportato in figura 28, contempla l'area in viola, delle competenze espositive, coinvolta nel processo di produzione spontanea di un testo, l'area in azzurro, di analisi e individuazione del fonema, attivata dalla scrittura sotto dettatura e l'area arancione, della visuopercezione, innescata dai compiti di copia di un testo. Le aree sottostanti rappresentano i blocchi coinvolti nella parte vera e propria di realizzazione, ossia il buffer grafemico (in rosso), in cui avviene il recupero dell'allografo da riprodurre; il pattern grafo-motorio (in verde), in cui si individua la sequenza dei movimenti necessari alla realizzazione del grafema; la dinamica del movimento (in verde), in cui si attivano le componenti efferenti. La realizzazione non può avvenire prescindendo dall'organizzazione dello spazio personale, peripersonale ed extrapersonale (in blu).

La scala di valutazione realizzata contempla la parte terminale del modello, soffermandosi soprattutto: sulla definizione della postura e dell'impugnatura, sul collocamento spaziale degli elementi scritti e sulla loro sequenzialità e dinamica.



**Figura 28: Modello neuromotorio di realizzazione della scrittura.**

I parametri (item o deficit o criteri) da valutare sono stati espressi sotto forma di errori e collegati alle aree (o livelli) considerate nel modello, alcune delle quali sono state inoltre dettagliate in sub livelli. Ad ogni item viene associato un *punteggio*, calcolato rapportando il numero di errori conteggiati sul massimo numero di errori che può essere commesso, in relazione a quanto effettivamente scritto da ogni singolo soggetto (tab. 1).

In questo modo, ogni punteggio assume un valore adimensionale tra 0 (assenza di errori) e 1 (numero massimo di errori). Anche per postura e impugnatura si è cercato di ottenere un punteggio normalizzato, adattando e ampliando una check-list ideata dalla Dott.ssa Perrone (Allegato I).

Queste operazioni di normalizzazione, non solo permettono di ottenere valori slegati da unità di misura differenti, ma consentono soprattutto di compiere la valutazione su punteggi che esprimono la percentuale di errore rispetto a quanto effettivamente scritto, al contrario di quanto previsto nelle scale di valutazione sviluppate ad oggi (§1.3.2).

Questo è una prima forte novità introdotta nell'implementazione di tale strumento.

**Tabella 1: Scala di valutazione.**

LIVELLO	SUBLIVELLO	DEFICIT (criteri)	CALCOLO PUNTEGGIO
<b>ORGANIZZAZIONE DELLO SPAZIO PERSONALE E PERIPERSONALE</b>	<b>Postura</b>	<b>1. Postura inefficiente</b>	Check list Prensione/Postura
	<b>Impugnatura</b>	<b>2. Impugnatura inefficiente</b>	Check list Prensione/Postura
<b>ORGANIZZAZIONE DELLO SPAZIO EXTRAPERSONALE</b>	<b>Spazio grafico del foglio</b>	<b>3. Variabilità dell’allineamento sinistro</b> (sempre errore quando c'è la fuoriuscita dal margine; per il primo rigo errore quando rientra più di 5 mm (>5mm) dal margine; per le righe successive accettare una tolleranza di più o meno 2 mm dalla posizione iniziale del primo rigo)	Rapporto tra il numero di righe con allineamento errato dal margine sinistro e numero totale di righe scritte.
		<b>4. Margine destro non rispettato</b> (sempre errore quando c'è la fuoriuscita $\geq 0.3$ cm dal margine destro; errore quando l'andata a capo viene fatta con uno spazio residuo a disposizione $\geq 3$ cm)	Rapporto tra il numero di righe in cui non è stato rispettato il margine dx e il numero totale di righe scritte.
		<b>5. Spazi irregolari tra righe</b> (salta righe o si posiziona in punti errati o non rispetta le indicazioni di organizzazione spaziale date dall'insegnante/terapista)	Rapporto tra il numero di posizionamenti sulla riga errata e il numero totale di righe scritte.
	<b>Spazio grafico della riga</b>	<b>6. Spazi irregolari tra parole</b> (è troppo poco quando è inferiore a 5mm (<0.5 cm) ed è eccessivo quando è maggiore uguale a 15 mm ( $\geq 1.5$ cm).	Rapporto tra il numero di spazi irregolari e il numero totale di spazi tra parole.
		<b>7. Collisione tra lettere</b> (errore quando due lettere successive collassano o si sovrappongono)	Rapporto tra il numero di errori di collisione e il numero totale di lettere eseguite.
		<b>8. Fluttuazioni sulla riga</b> (numero delle lettere che si discostano più di 1 mm (>1mm)dalla riga di base, al di sopra o al di sotto)	Rapporto tra il numero di lettere fluttuanti e il numero totale di lettere eseguite.
		<b>9. Variazione massima di calibro</b> (si prende l'altezza del corpo centrale della lettera più grande di tutta la frase e si sottrae l'altezza di riferimento (per la riga in questione: 2a 5mm; 3a 3mm e dalla 4a in poi 3 mm) del corpo centrale, poi si prende l'altezza del corpo centrale della lettera più piccola di tutta la frase e si sottrae dall'altezza di riferimento (per la riga in questione: 2a 5mm; 3a 3mm e dalla 4a in poi 3 mm) del corpo centrale. Infine si segna il valore più grande in valore assoluto tra queste due sottrazioni)	Rapporto tra la massima variazione misurata e l'altezza di riferimento (per la riga in questione: 2a 5mm; 3a 3mm e dalla 4a in poi 3 mm) del corpo centrale.

	<p><b>10. Dimensione errata della lettera</b> (quando le parti della lettera non hanno la giusta misura rispetto ai riferimenti esistenti o in proporzione al corpo centrale della lettera).</p> <p><b>Nella valutazione della lettera misurare le altezze assolute delle singole parti senza fare riferimento ai margini per includere i casi di fluttuazione.</b></p> <p><b>-in 1a e 2a:</b>          Nel caso di <b>lettere medie</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 4 mm o maggiore di 5 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti senza corpo centrale (l, t)</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 9 mm o maggiore di 12 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti o discendenti con corpo centrale (b, h, d, q, p, g...)</b> è sempre errore quando il corpo centrale è minore di 4 mm e/o la parte ascendente/discendente è minore di 5 mm o quando il corpo centrale è maggiore di 5 mm e/o la parte ascendente/discendente è maggiore di 7 mm.          Nel caso della <b>"f"</b> è sempre errore quando la parte superiore è minore di 9 mm e/o la parte discendente è minore di 5 mm o quando la parte superiore è maggiore di 12 mm e/o la parte discendente è maggiore di 7 mm.</p> <p><b>- in 3a:</b>          Nel caso di <b>lettere medie</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 2 mm o maggiore di 3 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti senza corpo centrale (l, t)</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 8 mm o maggiore di 10 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti o discendenti con corpo centrale (b, h, d, q, p, g...)</b> è sempre errore quando il corpo centrale è minore di 2 mm e/o la parte ascendente/discendente è minore di 5 mm o quando il corpo centrale è maggiore di 3 mm e/o la parte ascendente/discendente è maggiore di 8mm.          Nel caso della <b>"f"</b> è sempre errore quando la parte superiore è minore di 8 mm e/o la parte discendente è minore di 5 mm o quando la parte superiore è maggiore di 10 mm e/o la parte discendente è maggiore di 8 mm.</p> <p><b>- dalla 4a in poi:</b>          Nel caso di <b>lettere medie</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 2 mm o maggiore di 4 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti senza corpo centrale (l, t)</b> è sempre errore quando l'altezza totale della lettera è minore di 5 mm o maggiore di 8 mm.          Nel caso di <b>lettere ascendenti o discendenti con corpo centrale (b, h, d, q, p, g...)</b></p>	<p>Rapporto tra il numero di lettere di dimensione errata e il numero totale di lettere eseguite.</p>
--	--	---

		<p>è sempre errore quando il corpo centrale è minore di 2 mm e/o la parte ascendente/discendente è minore di 5 mm o quando il corpo centrale è maggiore di 4 mm e/o la parte ascendente/discendente è maggiore di 8mm.                  Quando il corpo centrale è = 2 mm, la parte discendente può essere <math>\geq 4</math> mm.                  Nel caso della "f" è sempre errore quando la parte superiore è minore di 5 mm e/o la parte discendente è minore di 5 mm o quando la parte superiore è maggiore di 8 mm e/o la parte discendente è maggiore di 7 mm.</p>	
<p><b>BUFFER GRAFEMICO</b> (recupero della forma del grafema)</p>	<p><b>Recupero allografico</b></p>	<p><b>11. Confusione tra lettere simili da un punto di vista visuo-spaziale</b></p>	<p>Rapporto tra il numero di di lettere confuse e il numero totale di lettere eseguite.</p>
		<p><b>12. Confusione sul tipo di carattere</b> (maiuscolo / minuscolo e/o stampato/ corsivo)                  Usa un tipo di carattere diverso da quello richiesto dal compito.</p>	<p>Rapporto tra il numero di scambi di carattere delle lettere e il numero totale di lettere eseguite.</p>
<p><b>PATTERN GRAFO-MOTORIO</b></p>		<p><b>13. Schema grafo-motorio errato:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• punto di avvio errato</li> <li>• sequenza errata dei tratti della lettera</li> <li>• direzionalità sbagliata</li> <li>• punto di uscita errato (<b>da valutare quando è la lettera finale della parola, in caso contrario va valutato nell'item 15</b>)</li> <li>• parti mancanti (es. tratti finali -gambette- delle "n" o "i" o della "m", puntino della "i", trattino orizzontale della "t" o della "z") o aggiunte inusuali allo schema grafico della lettera</li> </ul>	<p>Rapporto tra il numero di di lettere con schema grafo-motorio errato e il numero totale di lettere eseguite.</p>
		<p><b>14. Dismetrie nell'esecuzione delle traiettoria della lettera</b> (errore quando per l'esecuzione imperfetta della traiettoria del movimento si determina eccessiva o mancata chiusura delle punte o delle asole superiori e/o inferiori, gambette slegate dal corpo centrale)</p>	<p>Rapporto tra il numero di lettere che presentano tali tipi di errori e il numero totale di lettere eseguite.</p>
		<p><b>15. Inesatta legatura tra le lettere</b> (giunzione errata o tratti che nella giunzione si sovrappongono in modo imperfetto (tratti "doppi") o giunzione mancante)</p>	<p>Rapporto tra il numero di errori di giunzione e il numero di giunzioni totali</p>
		<p><b>16. Autocorrezioni e ritocature del grafema tracciato</b> (errore quando si ripassa sul segno già tracciato per modificarlo/correggerlo)</p>	<p>Rapporto tra il numero tot di autocorrezioni/ritocature e il numero totale di lettere eseguite.</p>



### 2.2.2 Individuazione della metodologia per il calcolo del punteggio di qualità

L'elemento in assoluto più innovativo dello strumento di valutazione implementato consiste nell'andare ad associare uno specifico *peso* al singolo deficit. Questo consentirà di discriminare quanto un parametro compromette la qualità della grafia rispetto a ogni altro.

Lo scopo finale è quindi quello di arrivare a un punteggio totale, come avveniva per le preesistenti scale di valutazione, ma stavolta questo è l'espressione sintetica dei contributi ponderati dei punteggi dei singoli parametri. Ciò consentirà di individuare opportunamente i soggetti che mostrano delle difficoltà in relazione all'andamento medio del gruppo.

Per di più la decisione finale spesso dipende dagli interventi di più professionalità differenti, a partire dalle insegnanti, che sono spesso le prime a individuare le difficoltà del bambino, per finire ai logopedisti, neuropsicomotricisti, psicologi dell'età evolutiva, interessati alla fase diagnostico-riabilitativa.

Data l'eterogeneità delle professionalità coinvolte, sarebbe opportuno ricorrere a metodi di analisi multicriteri (Multiple Criteria Decision Analysis - MCDA) [76], i quali costituiscono uno strumento metodologico nei processi di aiuto alla decisione. Tale analisi, infatti, si propone come un valido supporto nella fase di organizzazione e sintesi di informazioni complesse e spesso di diversa natura.

Le applicazioni di questo tipo di approccio sono numerosissime. Nessun metodo di analisi multicriterio, inoltre, può essere considerato adeguato ad ogni situazione decisionale; per tale motivo, nella scelta del metodo più appropriato, sono stati prima analizzati altri metodi presenti in letteratura.

Esistono diverse categorie di metodi che intendono tenere conto di criteri di valutazione differenti [77]:

- Metodi compensatori, che cercano di sintetizzare le diverse misure in un'unica misura sintetica; tra questi, i metodi basati sul concetto di utilità, come la somma e il prodotto pesato e il metodo AHP.
- Metodi parzialmente compensatori, che ammettono la non compatibilità tra certe alternative; si ricordano i metodi basati sul concetto di surclassamento (ELECTRE).

- Metodi che utilizzano il concetto di ideale, come il metodo TOPSIS.

Da questa prima classificazione si evince immediatamente, dato il nostro obiettivo, che la prima categoria di metodi è quella in cui ricercare il metodo adatto alla nostra analisi.

Partendo dalla somma pesata, questa è un metodo additivo nella forma:

$$S_i = \sum_j w_j \cdot a_{i,j}$$

in cui per ogni alternativa  $i$ -esima, si assegna a ogni criterio  $j$ -esimo un valore  $a_{i,j}$  ponderato con il relativo peso  $w_j$ . Nel metodo della somma pesata, i criteri devono essere indipendenti e gli indicatori di tipo quantitativo. Questo metodo, non molto differente rispetto a quello del prodotto pesato (che per tal motivo non viene mostrato), è di facile applicazione e sembra prestarsi molto al nostro studio.

Tra gli altri metodi compensatori, l'AHP, sviluppato da Thomas Lorie Saaty verso la fine degli anni 70 [78], è diffuso a livello internazionale grazie alla sua semplicità applicativa. Esso consente prevalentemente di assegnare una priorità ad una serie di alternative decisionali (soggetti, nel nostro caso) o di mettere in relazione criteri caratterizzati da valutazioni qualitative e quantitative e quindi non direttamente confrontabili, combinando scale multidimensionali di misure in una singola scala di priorità.

Esso è fondato su un approccio analitico e sintetico che facilita la comunicazione tra gli attori interessati nel processo decisionale: è caratterizzato dalla scomposizione dei problemi complessi secondo una struttura gerarchica che, sebbene organizzata ed ancora complessa, permette di esaminare il problema globale attraverso le parti che lo costituiscono, con l'assegnazione di una misura e la valutazione dell'impatto che ciascuna parte ha sull'intero sistema.

Tale metodo si articola secondo tre fasi principali:

### *1. Costruzione della gerarchia*

Il processo di costruzione gerarchico è una modalità analitica in cui gli elementi costituenti il problema decisionale sono raggruppati in insiemi omogenei e organizzati in livelli diversi. L'obiettivo principale della decisione si trova al vertice della gerarchia, i criteri, i sub-criteri e le alternative di decisione sono collocati nei vari livelli di questa gerarchia.

### *2. Identificazione delle priorità*

Per stabilire le priorità tra i vari elementi di ciascun livello della gerarchia si utilizza la tecnica del *confronto a coppie*. In base a questo metodo, gli elementi di un livello vengono confrontati a due a due, in modo da stabilire quale di essi è più importante rispetto a ogni elemento posto al livello superiore. I criteri vengono confrontati tra loro in riferimento all'obiettivo generale, i sottocriteri in riferimento al relativo criterio e infine le alternative rispetto ai sottocriteri. Da questo confronto si può stabilire il grado di importanza di un elemento rispetto a un altro, entrambi appartenenti allo stesso livello.

Il risultato del confronto è il coefficiente di dominanza  $a_{ij}$ , che rappresenta una stima della “dominanza” del primo elemento (i) rispetto al secondo (j).

I coefficienti di dominanza definiscono una matrice quadrata, reciproca e positiva detta matrice dei confronti a coppie:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Tutti gli elementi della diagonale valgono 1 e gli elementi esterni alla diagonale sono, a due a due, reciproci.

Considerando, quindi, le suddette proprietà, sarà necessario compilare, attraverso valutazioni, solo metà della matrice (gli indicatori al di sopra della diagonale principale).

Per individuare l'ordine di priorità tra gli elementi di ogni matrice si determina l'autovettore principale della matrice:

$$A \cdot x = \lambda_{max} \cdot x$$

dove,

A è la matrice dei confronti a coppie;

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  è l'autovettore;

$\lambda_{max}$  è l'autovalore massimo.

L'autovettore principale si rapporta, poi, all'unità, ottenendo il vettore della priorità, ovvero il vettore normalizzato che esprime per righe la priorità tra gli elementi oggetto dei confronti a coppie.

Il vettore delle priorità esprime le priorità locali degli elementi rispetto all'elemento posto al livello superiore; per ottenere le priorità globali, cioè un ordinamento globale delle alternative rispetto all'obiettivo finale, si procede per aggregazione e confronto dei criteri

posti ai livelli superiori. L'ordinamento globale quindi si ottiene mediante la somma pesata dei vettori delle priorità locali, o meglio eseguendo la somma pesata tra i punteggi attribuiti a ciascuna alternativa (dati dal confronto a coppie tra le alternative rispetto ciascun criterio o sottocriterio) e i pesi attribuiti ai criteri e ai sottocriteri (dati dai confronti a coppie tra i criteri rispetto l'obiettivo).

I pesi globali rappresentano il risultato finale della valutazione: un'alternativa sarà tanto più preferibile quanto maggiore è il suo peso globale.

### 3. Verifica della consistenza

Il calcolo dell'autovalore principale è un passo indispensabile per la verifica della coerenza interna della matrice, ossia della sua attendibilità, in quanto, nella maggioranza dei casi, è difficile mantenere una coerenza di giudizio in tutti i confronti a coppie. Quindi per loro natura i giudizi espressi dal decisore possono essere strutturalmente non consistenti e non rispettare, così, le proprietà di reciprocità e di transitività.

Ricordiamo che secondo il principio di transitività si ha:

$$\text{se } A > B \text{ e } B > C \Rightarrow A >> C$$

La verifica della consistenza consiste nel determinare il grado di incoerenza ritenuto tollerabile attraverso il calcolo di un indice, detto *indice di consistenza*:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

dove n è il rango della matrice.

L'indice di consistenza CI viene confrontato con l'indice RI (Random Index) ottenendo il *rapporto di consistenza* CR (Consistency Ratio).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

I valori dell'indice RI vengono ottenuti effettuando la media dei valori di CI di numerose matrici reciproche dello stesso ordine, i cui coefficienti vengono generati in modo casuale da un calcolatore:

Per controllare il livello di consistenza del giudizio, si stabilisce un valore limite dell'indice: secondo Saaty un valore di  $CR \leq 0.1$  è considerato ammissibile. Quando il valore di CI della matrice compilata dall'esperto supera una soglia pari al 10% del valore di RI, la deviazione dalla condizione di consistenza perfetta è ritenuta inaccettabile.

I giudizi non possono, infatti, avere una coerenza talmente bassa da apparire come casuali, ma non si deve neppure forzare il confronto a coppie assegnando i giudizi stessi in modo che i valori forniscano valutazioni consistenti. È, invece, opportuno, una volta verificata l'incoerenza delle formulazioni, ricercare le cause che hanno determinato la presenza di inconsistenza, ed eventualmente operare per ridurle.

Dopo aver descritto i principali metodi compensatori, si è scelto per l'individuazione del punteggio globale il metodo della somma pesata, non solo per la sua semplicità di utilizzo, ma anche perché l'AHP non sarebbe opportuno nella determinazione di tale punteggio, in quanto ci troveremmo a confrontare a coppie le varie acquisizioni di scrittura dei singoli soggetti per ogni parametro.

L'AHP, però, è la soluzione ottimale per determinare i pesi relativi ai diversi criteri, stabilendo come obiettivo l'individuazione del criterio che più compromette la qualità della grafia.

In questo modo si costruisce uno strumento di valutazione tale che:

- ogni parametro, essendo normalizzato, può assumere un valore tra 0 e 1;
- ogni peso è determinato in modo che la loro somma totale è pari a 1;
- di conseguenza il punteggio totale può assumere un valore minimo pari a 0 e un valore massimo pari a 1.

### **2.2.3 Applicazione del metodo AHP per la determinazione dei pesi**

Nel nostro lavoro sono stati intervistati dieci esperti del settore della scrittura, scelti in modo da avere un gruppo quanto più eterogeneo:

- un'esperta in scienze della formazione;
- un ingegnere;
- tre insegnanti;
- due psicomotriciste;
- tre logopediste.

È stata predisposta una matrice, fornendo le regole di compilazione ai diversi esperti, i quali separatamente esprimevano il proprio giudizio nei confronti a coppie dei vari parametri.

Per l'assegnazione dei livelli di importanza si è proceduto come segue: fissato il parametro *i*-esimo (elemento di riga), si eseguono i confronti a coppie con ogni parametro *j*-esimo (elemento di colonna), attribuendo a ciascun confronto (coppia *i, j*) i punteggi riportati in tabella 2 (tabella semantica di Saaty).

**Tabella 2: Tabella semantica di Saaty.**

PUNTEGGIO ASSOCIATO	DEFINIZIONE
1/5	il criterio sulla riga <i>i</i> compromette <i>molto meno</i> del criterio sulla colonna <i>j</i> la qualità della scrittura
1/3	il criterio sulla riga <i>i</i> compromette <i>meno</i> del criterio sulla colonna <i>j</i> la qualità della scrittura
1	il criterio sulla riga <i>i</i> compromette <i>allo stesso modo</i> del criterio sulla colonna <i>j</i> la qualità della scrittura
3	il criterio sulla riga <i>i</i> compromette <i>più</i> del criterio sulla colonna <i>j</i> la qualità della scrittura
5	il criterio sulla riga <i>i</i> compromette <i>molto più</i> del criterio sulla colonna <i>j</i> la qualità della scrittura

Durante la compilazione della tabella, si è ricordato ad ogni esperto di porsi la seguente domanda: “*Quanto il criterio *i*-esimo compromette la qualità della scrittura rispetto al criterio *j*-esimo?*”.

Il risultato del confronto definisce una matrice quadrata, reciproca e positiva, in cui ogni elemento rappresenta una stima del “peso” di un criterio rispetto ad un altro.

Di seguito è riportato un esempio di matrice dei confronti a coppie, compilata rispetto ai 16 criteri considerati nella scala di valutazione sviluppata (§2.2.1):

**Tabella 3: Esempio di matrice dei confronti a coppie.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		3.00	1.00	3.00	0.33	0.33	0.20	1.00	0.20	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.33	0.33
2			5.00	5.00	1.00	3.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	0.33	1.00	1.00	0.33
3				1.00	1.00	3.00	0.20	0.20	0.33	0.33	0.20	1.00	0.33	0.33	1.00	1.00
4					1.00	1.00	0.20	0.33	0.33	0.20	0.20	0.33	0.20	0.20	0.20	0.33
5						3.00	0.33	0.33	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
6							0.20	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.20	1.00
7								5.00	3.00	1.00	1.00	5.00	1.00	3.00	1.00	5.00
8									3.00	1.00	3.00	5.00	1.00	1.00	3.00	1.00
9										3.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1.00	0.33
10											3.00	5.00	1.00	1.00	3.00	3.00
11												5.00	5.00	3.00	1.00	1.00
12													1.00	3.00	1.00	3.00
13														5.00	1.00	3.00
14															1.00	1.00
15																5.00
16																

Quando nell'applicazione del metodo AHP si interpellano una pluralità di esperti, come nel nostro caso, è necessario aggregare le informazioni ottenute. Dai confronti a coppie, si è ottenuto un totale di dieci matrici, una per ogni esperto.

Il passo successivo, quindi, è stato l'aggregazione tramite *media geometrica pesata* dei giudizi individuali, partendo dal presupposto che i decisori abbiano la medesima importanza (stesso peso pari a 0.1).

In generale, dati i pesi dei decisori  $p_k$  e considerato il punteggio  $x(i,j)_k$  assegnato dal decisore  $k$  per ogni confronto tra il parametro  $i$ -esimo (elemento di riga) e il parametro  $j$ -esimo (elemento di colonna), si calcola la media geometrica pesata sugli  $n$  decisori:

$$\prod_{k=1}^n [(x_{i,j})_k]^{p_k}$$

Si ottiene in tal modo la matrice di sintesi (anch'essa reciproca), i cui valori saranno usati per la determinazione dei pesi globali.

**Tabella 4: Matrice di sintesi.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		0.851	2.141	1.809	0.803	0.582	0.322	0.683	0.586	0.582	0.422	0.422	0.324	0.422	0.425	0.495
2			2.253	1.809	1.246	0.719	0.418	0.577	1.061	0.440	0.415	0.492	0.418	0.612	0.549	0.467
3				1.000	0.582	0.553	0.260	0.260	0.378	0.260	0.274	0.381	0.276	0.260	0.324	0.378
4					0.689	0.525	0.288	0.319	0.339	0.260	0.260	0.274	0.276	0.260	0.306	0.339
5						0.725	0.395	0.549	0.577	0.322	0.288	0.322	0.306	0.322	0.306	0.356
6							0.359	0.683	0.612	0.356	0.378	0.375	0.339	0.303	0.339	0.359
7								3.470	2.534	1.933	1.311	1.633	0.950	1.552	1.246	2.271
8									1.052	0.683	0.649	0.492	0.359	0.467	0.444	0.725
9										1.000	0.499	0.683	0.359	0.467	0.381	0.375
10											0.763	1.390	0.582	1.116	0.719	0.649
11												2.108	0.950	1.321	1.321	1.719
12													0.467	0.582	0.467	1.175
13														1.719	1.390	2.019
14															1.116	1.301
15																1.528
16																

Una volta calcolata la matrice di sintesi, per la determinazione dei pesi locali dei parametri qualitativi e per ottenere, infine, una scala di priorità, è stato utilizzato come supporto al processo decisionale un software specifico.

Nel nostro lavoro, è stato utilizzato il software *SuperDecisions*, sviluppato da William J. Adams della Embry Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida, il quale ha lavorato con Rozann W. Saaty [79]; Thomas Saaty è stato co developer di tale programma.

Questo software permette di implementare modelli gerarchici decisionali, come l’AHP, in accordo con la teoria di Saaty [78].

SuperDecisions è un tool molto intuitivo, permette la costruzione di una rete AHP in poco tempo, fornendo all’utente la possibilità di creare dei “cluster” (gruppi), all’interno dei quali possono essere inseriti dei nodi, che a loro volta sono costituiti dagli indici.

Il primo passo è stato la costruzione della struttura gerarchica, definendo quello che è l’obiettivo di analisi (nodo obiettivo) e i criteri di valutazione.

L’analisi svolta nel presente lavoro, come detto prima, non ha lo scopo di effettuare una scelta tra le varie alternative (acquisizioni dei soggetti), ma quello di ricercare il criterio (parametro qualitativo) che più compromette la qualità della grafia. Per questo motivo la nostra struttura gerarchica (fig. 29) si ferma alla definizione dei criteri di valutazione, definiti all’interno di uno stesso gruppo di elementi.

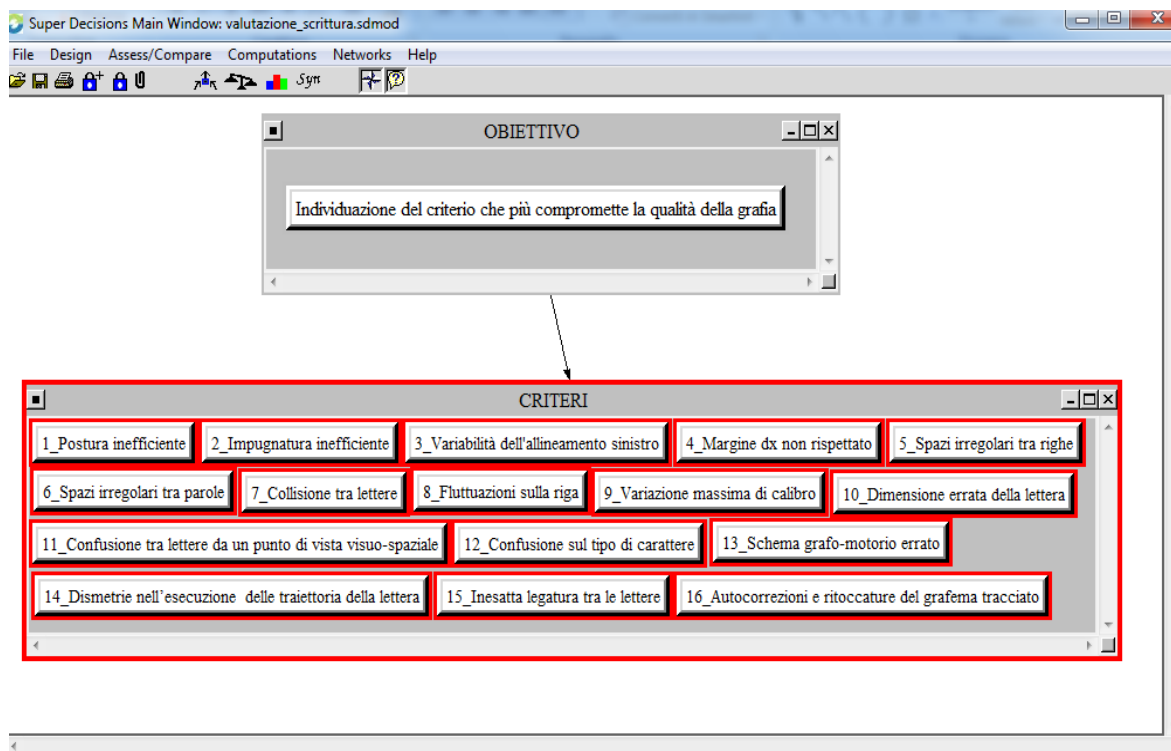


Figura 29: Definizione della struttura gerarchica.

Il collegamento dei nodi appartenenti al gruppo “criteri” con il nodo “obiettivo” è evidenziato in rosso.

Una volta strutturato il problema in forma gerarchica, si passa all’identificazione dei pesi da attribuire ai criteri per mezzo dei confronti a coppie tra gli elementi dello stesso livello gerarchico rispetto agli elementi del livello superiore (obiettivo).



Il software contiene una serie di opzioni per la generazione della matrice dei confronti a coppie. Nel nostro caso, come già visto, i confronti tra i criteri sono stati effettuati su matrici predisposte su Excel. I valori inseriti nella maschera del programma (fig. 30) rappresentano la media geometrica dei giudizi espressi dai dieci decisori, ossia quelli mostrati nella matrice di sintesi (tab. 4).

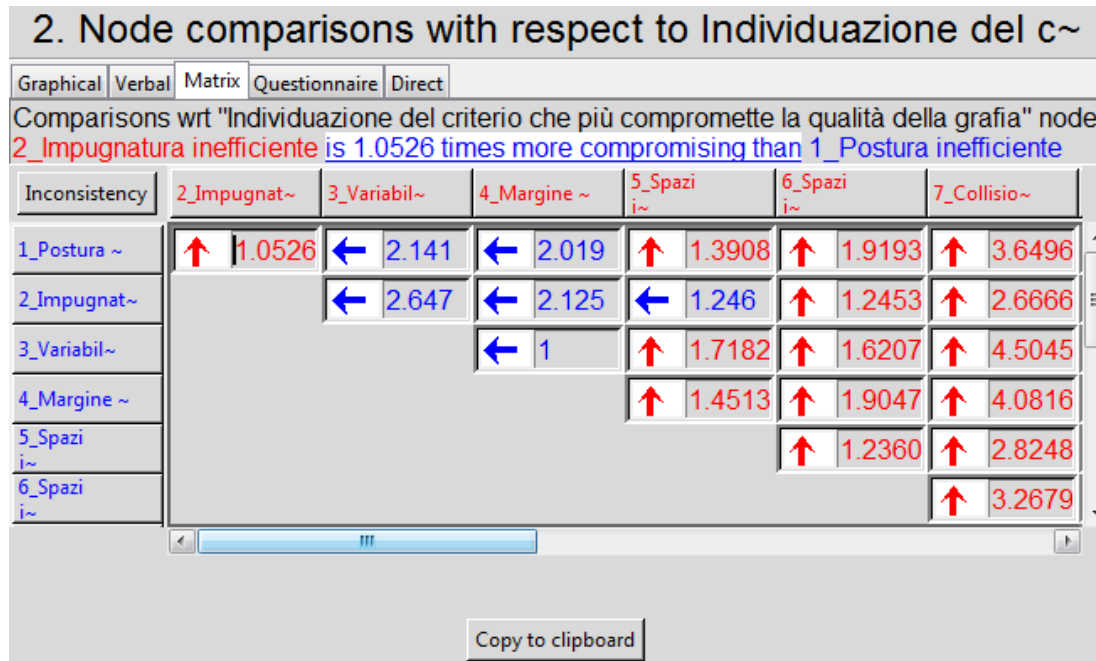


Figura 30: Maschera sw Super Decisions per l'inserimento della matrice di sintesi.

Il software SuperDecisions, oltre che nella classica forma matriciale, offre varie interfacce grafiche per il confronto a coppie dei parametri:

1. *Modalità grafica* (fig. 31)
2. *Modalità verbale*
3. *Modalità questionario* (fig. 32)

La matrice di sintesi viene infine elaborata dal software tramite l'algoritmo di calcolo previsto dal metodo AHP.

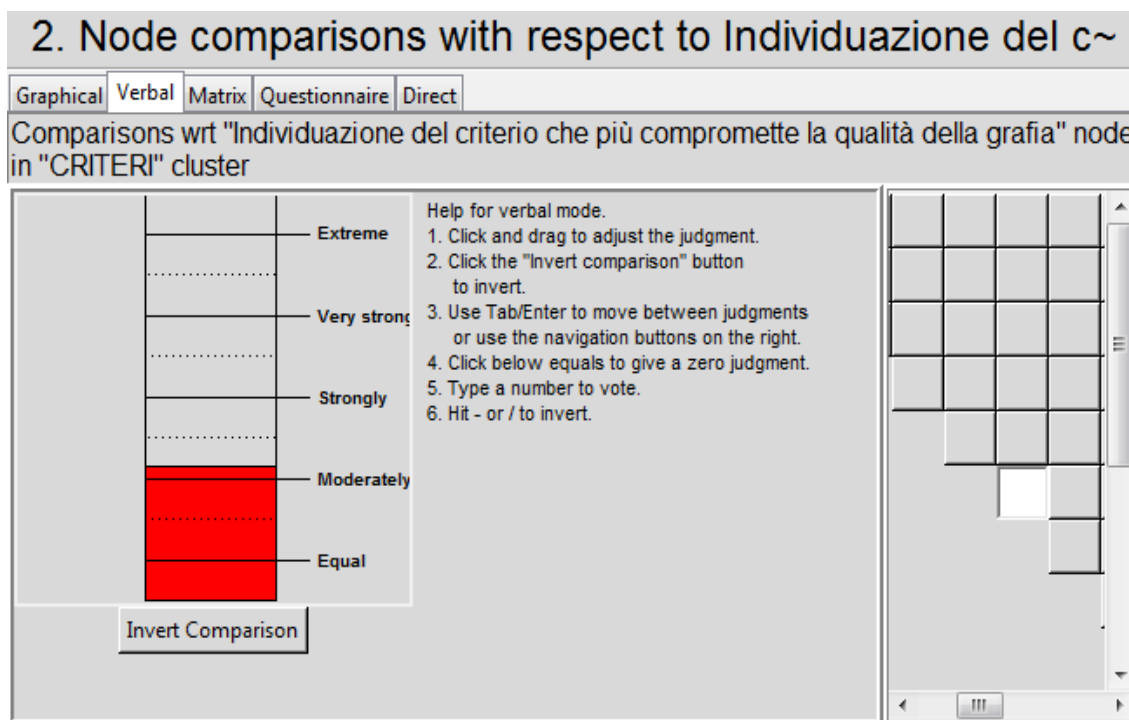


Figura 31: Interfaccia di inserimento dei confronti a coppie in modalità verbale.

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "Individuazione del criterio che più compromette la qualità della grafia" node in "CRITERI" cluster

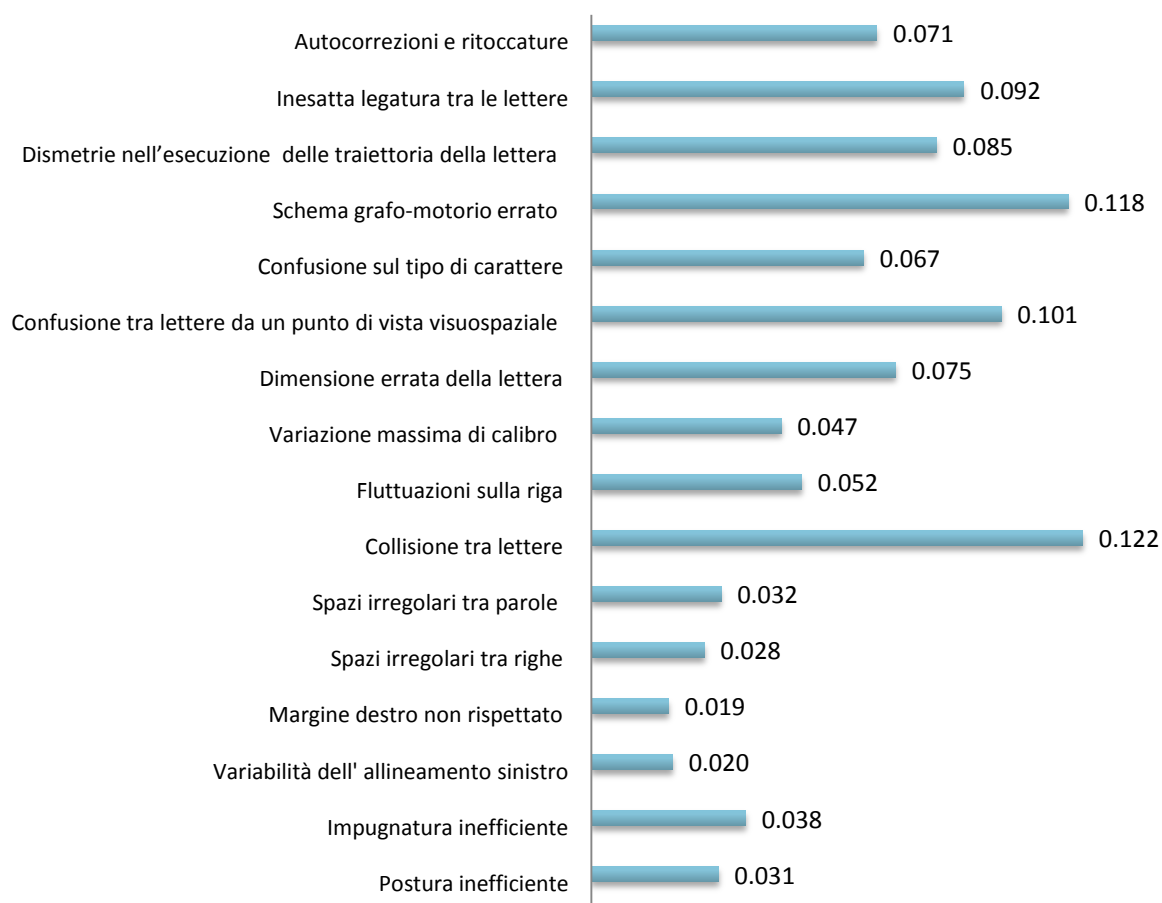
1.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2_Impugnatura i~
2.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3_Variabilità d~
3.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4_Margine dx no~
4.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5_Spazi irregol~
5.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	6_Spazi irregol~
6.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	7_Collisione tr~
7.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	8_Fluttuazioni ~
8.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	9_Variazione ma~
9.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	10_Dimensione e~
10.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	11_Confusione t~
11.	1_Postura ineff~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12_Confusione s~

Figura 32: Interfaccia di inserimento dei confronti a coppie in modalità questionario.

I risultati, ossia i pesi finali di ciascun parametro, sono riportati di seguito in forma tabellare (tab. 5) e grafica (figg. 33, 34).

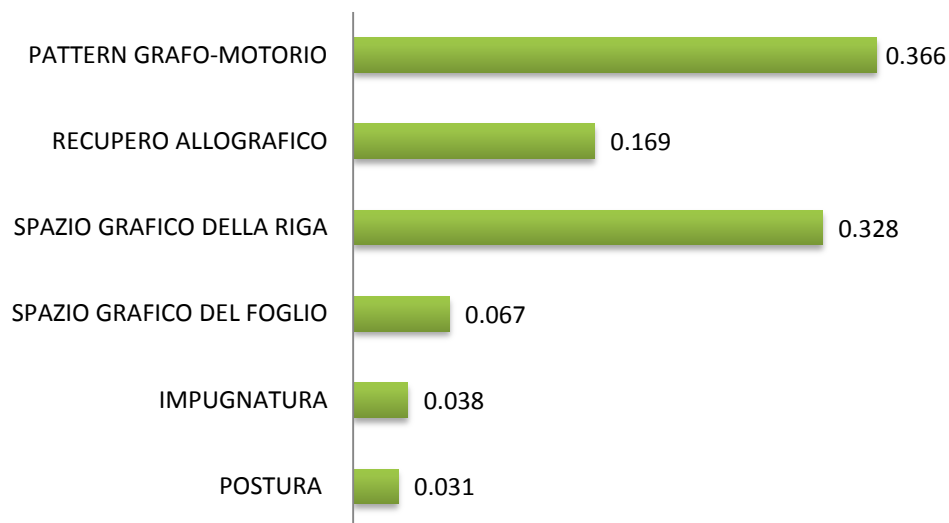
**Tabella 5: Risultati del calcolo dei pesi di ogni criterio tramite metodo AHP.**

<b>CRITERI</b>	<b>PESI GLOBALI</b>
Postura inefficiente	0.031
Impugnatura inefficiente	0.038
Variabilità dell' allineamento sinistro	0.020
Margine destro non rispettato	0.019
Spazi irregolari tra righe	0.028
Spazi irregolari tra parole	0.032
Collisione tra lettere	0.122
Fluttuazioni sulla riga	0.052
Variazione massima di calibro	0.047
Dimensione errata della lettera	0.075
Confusione tra lettere da un punto di vista visuospatiale	0.101
Confusione sul tipo di carattere	0.067
Schema grafo-motorio errato	0.118
Dismetrie nell'esecuzione della traiettoria della lettera	0.085
Inesatta legatura tra le lettere	0.092
Autocorrezioni ritocature	0.071



**Figura 33: Distribuzione dei pesi dei singoli parametri.**

Come si può notare (fig. 33), i criteri che più compromettono la qualità della grafia risultano essere: *Collisioni tra lettere e Schema grafo-motorio errato*.



**Figura 34: Distribuzione dei pesi delle aree di appartenenza dei parametri.**

Le aree di maggiore importanza risultano (fig. 34) quella legata allo *spazio grafico della riga* e quella del *pattern grafo motorio*.

Un ultimo step essenziale per la validazione dei risultati ottenuti è la verifica della consistenza. Il valore dell'Inconsistency Ratio, pari a 0.017, garantisce sulla congruenza dei giudizi raccolti e utilizzati per l'analisi, in quanto risulta essere molto inferiore al valore limite di 0.1 stabilito da Saaty.

Gli strumenti sviluppati e la metodologia illustrata saranno oggetto di pubblicazione, attualmente in fase di preparazione [III].

# **Parte II**

## **Applicazioni**



# 3 Studio di soggetti a sviluppo tipico in fase di apprendimento

---

## 3.1 Analisi delle performance cinematiche

### 3.1.1 Introduzione

La scrittura a mano è il risultato di un processo in cui fattori linguistici, psicomotori e biomeccanici interagiscono con lo sviluppo fisico e cognitivo e con l'apprendimento. Le tavolette digitali, registrando la scrittura in tempo reale, permettono l'analisi cinematica della traccia scritta: gli algoritmi implementati descritti nel §2.1.3 permettono di analizzare parametri come lunghezza, durata e velocità delle componenti (traccia compresa tra due staccate) e stroke (traccia tra due minimi della velocità curvilinea). L'obiettivo del lavoro descritto nel paragrafo 3.1 è di colmare, almeno per l'Italia, la mancanza di dati normativi sui processi caratteristici di una scrittura leggibile (§1.3.1). A tale scopo, in collaborazione con la S.C. di Neuropsichiatria Infantile dell'I.R.C.S.S. Burlo Garofolo sono stati innanzitutto implementati dei test di scrittura e somministrati tramite l'uso di tavolette grafiche digitali a un campione di 325 soggetti frequentanti scuole elementari e medie di Trieste. Dapprima sono stati fatti degli studi preliminari sul campione, estraendo un gruppo di 15 studenti per ogni classe [IV, V], poi, si è esteso lo studio trasversale a tutti gli studenti a sviluppo tipico, destrimani e madrelingua italiana, per un totale di 218 soggetti [VII]. L'analisi ha mostrato molti cambiamenti nei valori dei parametri considerati con la scolarità, dimostrando che alcuni di questi sono utili per studiare lo sviluppo dell'apprendimento della scrittura e i loro valori possono essere utilizzati come riferimento per valutare campioni con caratteristiche diverse. Sono state analizzate inoltre eventuali differenze di genere nella fase di sviluppo, trovando che le femmine mostrano performance migliori nei primi anni di scuola e che tale gap viene colmato dopo la 4<sup>a</sup> elementare [VI].

Questi risultati e l'importanza che tale sistema di riferimento può avere nella procedura clinica, sia nella fase diagnostica che nel monitoraggio del trattamento riabilitativo per i disturbi tipici dell'apprendimento, quale la disgrafia, sono stati presentati nel 2011 alla Conferenza AIRIPA [VIII].

### 3.1.2 Materiali e metodi

#### 3.1.2.1 Partecipanti

In Italia, i bambini apprendono il corsivo entro il secondo anno della scuola primaria, secondo il metodo tradizionale di copia del grafema osservato, in cui l'attenzione è posta sugli aspetti visuo-spaziali della forma della lettera e sui movimenti necessari per la riproduzione della stessa. Per questa ragione le acquisizioni delle grafie sono state fatte a partire dalla seconda elementare e, per avere un gruppo cospicuo di alunni per ogni fascia di età, sono state prese in considerazione tre o quattro sezioni per ciascun anno scolastico.

La distribuzione dei 218 soggetti e della rispettive età nelle sette classi considerate è di: 34 in seconda elementare (12 maschi e 22 femmine; media =  $7.9 \pm 0.4$  anni); 23 in terza elementare (10 maschi e 13 femmine; media =  $9.0 \pm 0.4$  anni); 32 in quarta elementare (13 maschi e 19 femmine; media =  $10.0 \pm 0.3$  anni); 42 in quinta elementare (22 maschi e 20 femmine; media =  $10.9 \pm 0.4$  anni); 32 in prima media (14 maschi e 18 femmine; media =  $11.9 \pm 0.4$  anni); 34 in seconda media (14 maschi e 20 femmine; media =  $13.1 \pm 0.6$  anni); 21 in terza media (6 maschi e 15 femmine; media =  $14.0 \pm 0.4$  anni).

Prima di iniziare le prove, è stato ottenuto il consenso informato scritto da parte dei genitori. In questo studio l'assenza di anomalie neurologiche e la distribuzione normale delle funzioni neuropsicologiche sono state assunte tramite il giudizio degli insegnanti basato sull'andamento scolastico degli alunni.

#### 3.1.2.2 Test e procedura di acquisizione

Al fine di analizzare una possibile dipendenza dei parametri considerati dalle competenze linguistiche, sono state proposte le seguenti prove di scrittura:

- scrittura rapida in corsivo di sequenze di lettere (test LE e UNO) e di numeri (test NUM) della durata di 60 secondi, in cui è importante che venga detto all'alunno di essere il più veloce possibile, purché la scrittura risultante sia leggibile (fig. 35).
- trascrizione in corsivo, ripetuta due volte sulla base di differenti istruzioni (più accurata –test A- e più veloce possibile ma leggibile –test F-), di una frase presentata in stampatello minuscolo: “*L’elefante vide benissimo quel topo che rubava qualche pezzo di formaggio*”, pensata in modo da contenere tutte le lettere dell’alfabeto italiano.





**Figura 35: Prove di velocità di scrittura.**

Per le acquisizioni sono stati utilizzati i metodi descritti nel capitolo precedente (§2.1.1; §2.1.2). L'alunno si sottopone ai test di scrittura su un foglio di quaderno con le righe relative alla classe di appartenenza, utilizzando la penna ad inchiostro in dotazione con la tavoletta. I soggetti hanno svolto le prove nelle stesse condizioni ambientali della propria classe, assumendo la loro postura abituale e la propria prensione caratteristica.

### **3.1.2.3 Elaborazione e analisi statistica**

I numerosi parametri calcolati con il software di elaborazione implementato (§2.1.3.2), sono stati selezionati e categorizzati, in modo simile ad altri studi [80], in domini legati alle caratteristiche motorie e visuo-spaziali della scrittura.

Dal momento che, uno degli obiettivi di apprendimento della scrittura è quello di produrre rapidamente lettere leggibili, è stato misurato il raggiungimento di tale obiettivo attraverso il numero totale di lettere nelle prove a tempo fisso (UNO e NUM) e la durata totale nelle prove con un numero fisso di lettere (frase trascrizione).

Abbiamo considerato il prodotto scritto come il risultato della combinazione delle seguenti features.

1. *Velocità*: questa caratteristica è la più descritta in letteratura [81, 82], sono stati misurati per questo parametro il suo valore medio e di picco nella direzione orizzontale, verticale e curvilinea.
2. *Arrangiamento spaziale*: questo aspetto rappresenta la lunghezza curvilinea necessaria per la realizzazione di una lettera, rilevata attraverso il numero di lettere per cm; un aumento di questo parametro indica che il soggetto è in grado di scrivere più lettere nell'unità di spazio. Anche la lunghezza dello stroke o della componente potrebbe essere associata a questo dominio.

3. *Automatizzazione*: questa caratteristica rappresenta l'inverso del grado di frammentazione, misurato con il numero di stroke per lettera. In letteratura [83, 38, 84], lo zero crossing della velocità e dell'accelerazione lungo la direzione verticale è spesso usato per valutare il livello di automazione, ma in questo studio per questo parametro non è stato osservato nessun trend al variare del livello di sviluppo, maturazione e apprendimento raggiunto dal soggetto. Perciò abbiamo ritenuto più opportuno per questo dominio introdurre un nuovo parametro, il numero di stroke/lettera, che tenesse conto della direzione di realizzazione della traccia scritta (dato che lo stroke è un elemento della traccia) e non della sola dimensione verticale (come lo zero crossing).

4. *Tempo di pianificazione motoria*: è stato misurato con il tempo medio "in aria" e il tempo medio "su carta" (durata media della componente), che rappresenta il tempo di realizzazione della traccia [38]. Ci si aspetta che la riduzione di questi due tempi consenta allo studente di riprodurre un maggior numero di componenti al secondo. Anche la durata della stroke o il numero di stroke al secondo potrebbero essere usati per caratterizzare il tempo di pianificazione motoria.

Per studiare l'influenza della scolarità e della maturazione nella cinematica, sono stati calcolati i valori medi di ciascun parametro nei soggetti appartenenti alla stessa classe.

Al fine di identificare i parametri più rappresentativi per ciascun test, è stata utilizzata la stepwise regression con forward selection. In questo modo ciascuna variabile è stata inclusa in un modello multilineare solo se era statisticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

Per valutare eventuali differenze tra le sette classi considerate, è stata effettuata un'analisi PCA sui parametri normalizzati (Z-score) selezionati dalla stepwise regression. I risultati della PCA saranno discussi in termini di punteggi delle componenti principali e mostrati sottoforma di loading plot, in cui le variabili originali sono incluse in un nuovo sistema avente le prime due componenti principali come assi.

Infine, per valutare l'andamento dei parametri principali, per ciascuno di essi è stata valutata la significatività della differenza tra coppie di classi mediante il test di Wilcoxon per campioni indipendenti.

### 3.1.3 Risultati

#### 3.1.3.1 Differenze tra le classi

Per riconoscere i parametri che meglio rispecchiano l'andamento del livello di apprendimento tra le classi, è stata effettuata un'analisi di regressione stepwise. La

stepwise regression è un algoritmo ampiamente usato e fu proposto per la prima volta da Efroymson (1960) [85]. Si tratta di una procedura automatica di statistica usata nei casi in cui vi è un gran numero di potenziali variabili esplicative e nessuna teoria di fondo su cui basare la selezione. In ogni fase della procedura viene aggiunta una nuova variabile e viene eseguito un test per verificare se alcune variabili possono essere cancellate senza sensibilmente aumentare la somma dei quadrati residui (RSS). La procedura termina quando la misura è (localmente) massimizzata o quando il miglioramento disponibile scende sotto un certo valore critico.

La tabella 6 mostra i parametri individuati per ciascun compito unitamente ai corrispondenti p value (un parametro viene aggiunto al modello stepwise se ha un p value inferiore a una tolleranza di ingresso pari a 0.05).

Si è scelto di non mostrare i dati relativi al test LE, in quanto mostrano spesso un risultato contrastante con gli altri test, probabilmente dovuto alla difficoltà di esecuzione motoria intrinseca del test. Questa prova richiede, infatti, a differenza di qualsiasi altro compito di scrittura proposto nella routine, di non sollevare mai la penna dal foglio; ciò va contro l'obiettivo che ci si è posti in questo studio ossia quello di creare un contesto di analisi quanto più ecologico possibile per il soggetto. L'esercizio è stato somministrato per il semplice fatto che è stato spesso proposto in Italia tra le batterie di prove maggiormente diffuse, ma i risultati ottenuti dimostrano che il test è spesso inadeguato o comunque meno preferibile, rispetto alle altre prove di velocità proposte, per monitorare l'evoluzione delle performance cinematiche con lo sviluppo e l'apprendimento.

Il comportamento con la scolarità per ogni parametro identificato è riportato nelle figure 36, 37, 38 e in tabella 7. In particolare, i parametri mostrati nella figura 36 e nella tabella 7 sono calcolati sull'intera traccia scritta.

Il *numero di lettere* realizzate nei compiti a tempo fisso, utilizzato per valutare il prodotto scritto, presenta trend e valori simili a quelli di uno studio precedente [3] condotto su un campione di 1.734 bambini italiani frequentanti la scuola primaria (tabella 7) e considerato ad oggi l'unico riferimento per l'Italia. Le differenze osservate potrebbero essere attribuite alle differenti dimensioni dei due campioni (218 vs 1.734 soggetti).

**Tabella 6: Parametri identificati tramite la stepwise regression.**

Test UNO		Test NUM	
Parametro	p-value	Parametro	p-value
Durata media staccata	< 0.01	Nr di lettere	< 0.01
Nr di stroke/s	< 0.0001	Lunghezza media componente	< 0.0001
Nr di stroke/lettera	<< 0.0001	Nr di stroke/lettera	< 0.001
Nr lettere/cm	< 0.01	Vy media stroke	< 0.001
Lunghezza media stroke	<< 0.0001	Lunghezza media stroke	<< 0.0001

Test A		Test F	
Parametro	p-value	Parametro	p-value
Durata tot test	< 0.01	Nr di stroke/s	< 0.001
Lunghezza tot test	< 0.05	Lunghezza tot test	< 0.0001
Nr di stroke/lettera	< 0.0001	Nr di stroke/lettera	<< 0.0001
Lunghezza media componente	< 0.02	Lunghezza media componente	< 0.003
Lunghezza media stroke	<< 0.0001	Lunghezza media stroke	<< 0.0001
Vy di picco stroke	< 0.0001	Vy di picco stroke	< 0.0001
		Vx di picco stroke	< 0.005

**Tabella 7: Media  $\pm 1SD$  del numero di lettere calcolato nel nostro studio (a) e nello studio condotto da Tressoldi e Cornoldi (b) nella scuola primaria.**

Classi	Nr di lettere (a)		Nr di lettere (b)	
	UNO	NUM	UNO	NUM
2 <sup>a</sup> el	55 $\pm$ 8	56 $\pm$ 10	63 $\pm$ 10	68 $\pm$ 14
3 <sup>a</sup> el	71 $\pm$ 12	78 $\pm$ 12	72 $\pm$ 13	81 $\pm$ 15
4 <sup>a</sup> el	78 $\pm$ 12	89 $\pm$ 16	85 $\pm$ 11	96 $\pm$ 14
5 <sup>a</sup> el	82 $\pm$ 11	97 $\pm$ 14	93 $\pm$ 15	107 $\pm$ 22
1 <sup>a</sup> m	94 $\pm$ 20	116 $\pm$ 23	/	/
2 <sup>a</sup> m	91 $\pm$ 13	108 $\pm$ 17	/	/
3 <sup>a</sup> m	101 $\pm$ 22	126 $\pm$ 24	/	/

Come si può osservare in tabella 7, il numero di lettere cresce fino alla quinta elementare in entrambi gli studi e tale trend continua fino in terza media, come osservato nel nostro studio tra coppie di classi ( $p\text{-value} < 0.02$ ), tranne che tra prima media e seconda e terza media.

Il *numero di stroke/lettera* diminuisce con la scolarità (fig. 36) e mostra trend simili in tutti i test, con più bassi valori nei test NUM e F. Per ogni test, le differenze tra le classi sono risultate:

- a. Significative ( $p\text{-value} < 0.05$ ), eccetto tra quarta e quinta elementare e tra prima e seconda media, nei test UNO e NUM

- b. Significant (p-value<0.05), eccetto tra terza e quarta elementare e tra prima e seconda media, nel test A
- c. Significant (p-value<0.05), eccetto tra prima e seconda media, nel test F

Il numero di stroke/s aumenta significativamente (p-value<0.05) fino in quinta elementare in tutti i test e poi satura, tranne nel test UNO per la terza media, dove i valori si riducono (p<0.03) ritornando simili a quelli misurati in seconda elementare. I valori più bassi sono stati riscontrati nel test A.

In tutti i test, il numero di lettere/cm cresce fino in terza media e in particolare:

- a. Nel test UNO, i gap significativi si osservano tra seconda e terza elementare (p-value<0.001), quarta e quinta elementare (p-value<0.02), seconda e terza media (p-value<0.01)
- b. Nel test NUM l'aumento è sempre significativo (p-value<0.02), tranne che tra prima e seconda media
- c. Nei test A e F il salto è evidente (p-value<0.03) solo tra seconda e terza elementare e tra seconda e terza media

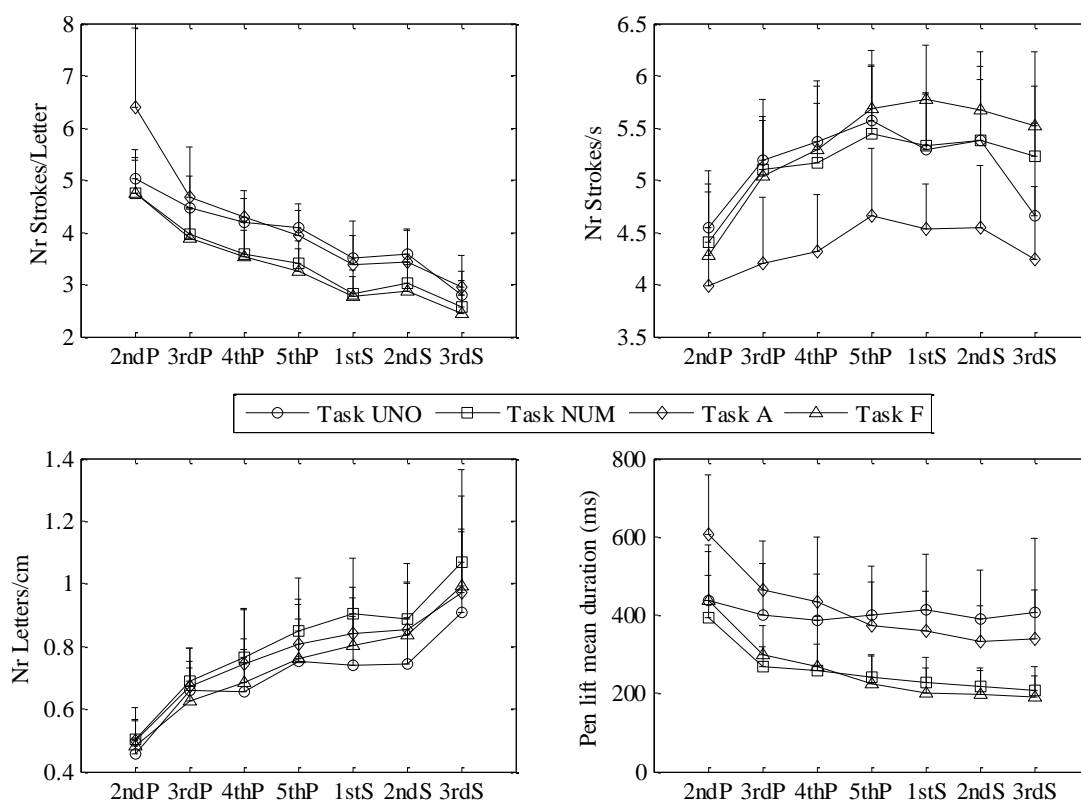


Figura 36: Numero di stroke/lettera, numero di stroke/s, numero di lettere/cm e durata media della staccata (ms) in tutti i test.

La durata media della staccata (fig. 36, in basso a destra) ha un andamento simile in tutti i test tranne che nel test UNO, in cui rimane circa costante. Negli altri test invece è stata osservata una diminuzione significativa ( $p\text{-value}<0.05$ ) fino in quinta elementare, mentre nelle classi successive rimane circa costante. I valori più bassi sono stati rilevati per i test NUM e F.

In figura 37 sono illustrate la durata e la lunghezza calcolate nell'intera traccia, ma anche il loro valor medio nello stroke e nella componente.

La *durata totale* della prova (calcolata solo nei test A e F e non nei compiti a tempo fisso, per ovvi motivi) diminuisce significativamente ( $p\text{-value}<0.003$ ) fino in prima media e poi rimane circa costante. Si osservano, come ci si aspettava, valori più bassi per il test F.

Nei test UNO e NUM (compiti a tempo fisso) la *lunghezza totale* della traccia aumenta (ma mai significativamente) a causa di un incremento della velocità. Al contrario, nei test A e F (test di trascrizione di una frase e quindi con numero di lettere fisso) la *lunghezza totale* della traccia diminuisce a causa di un incremento del numero di lettere/cm, ma significativamente ( $p\text{-value}<0.03$  in entrambe le prove) solo tra seconda e terza elementare e tra seconda e terza media.

La *durata e la lunghezza media della componente (ms)* diminuiscono in tutte le prove come segue:

- a. Nel test UNO sono significativamente più basse solo in terza media ( $p\text{-value}<0.05$ )
- b. Nei test NUM, A e F i più alti valori si osservano in seconda elementare; i valori calcolati nella scuola media sono significativamente inferiori rispetto a quelli delle elementari

La *durata media dello stroke (ms)* presenta un evidente gap tra seconda e terza elementare (è ovviamente simmetrico rispetto al trend del numero di stroke/s).

La *lunghezza media dello stroke (mm)* diminuisce progressivamente in tutti i test, significativamente solo tra seconda e terza elementare ( $p\text{-value}<0.001$ ) e, più in generale, tra elementari e medie.

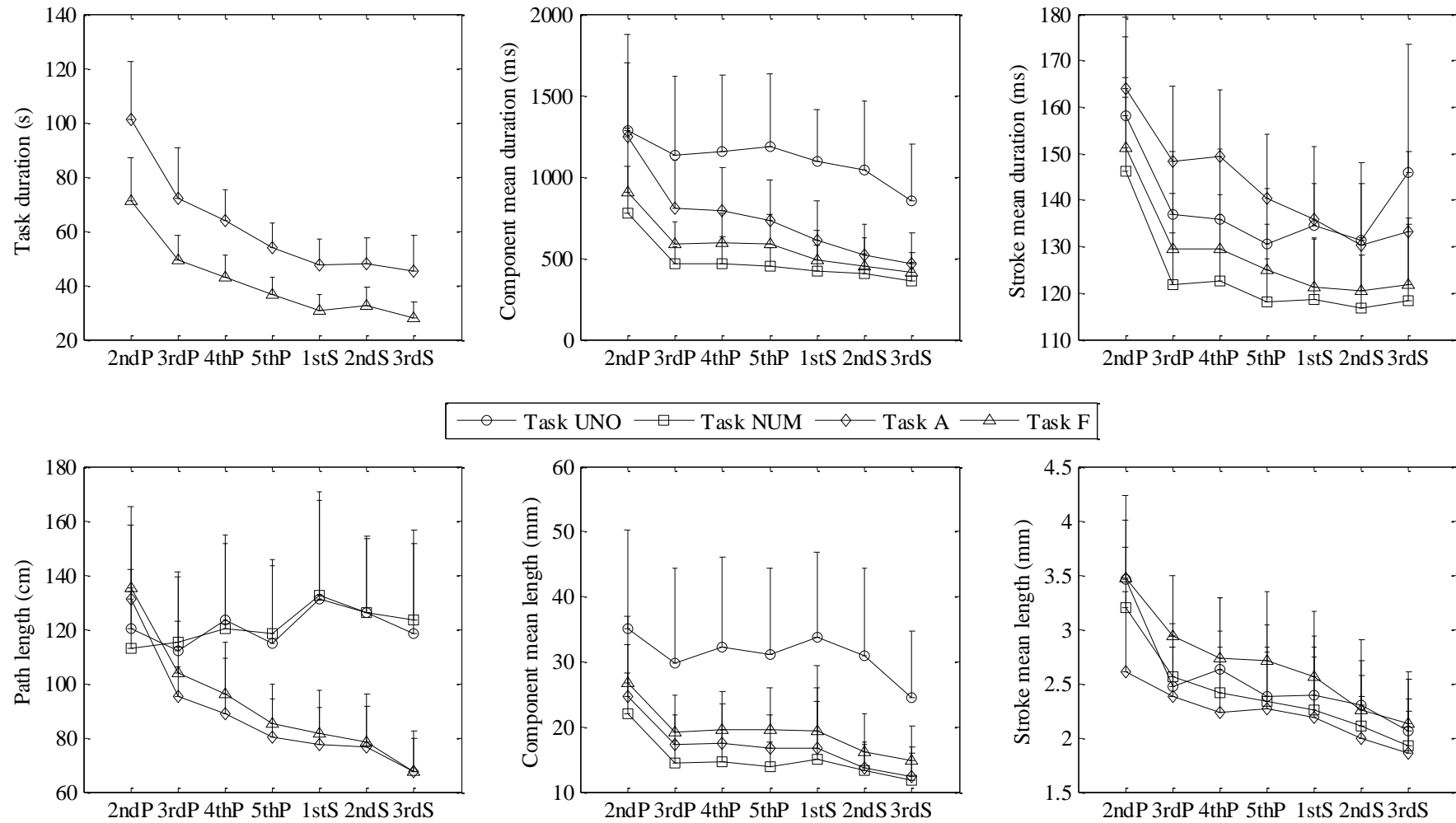
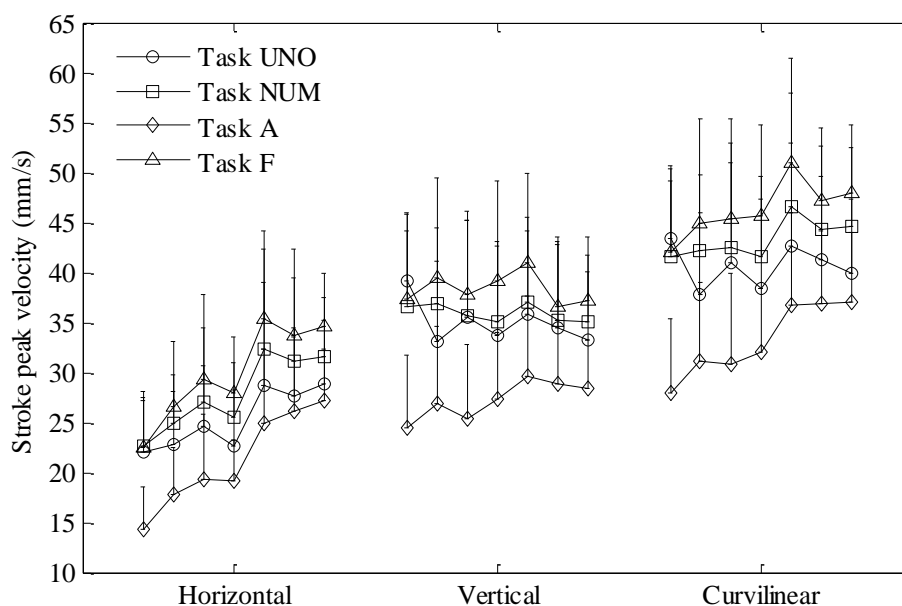


Figura 37: Durata e lunghezza calcolate nell'intero tracciato e mediate nella componente e nello stroke.

Dato che le velocità calcolate nello stroke sono simili a quelle osservate per la componente e per l'intero tracciato, verranno considerate come rappresentative per questo dominio.

In figura 38 sono illustrate le velocità di picco dello stroke lungo la direzione orizzontale e verticale e lungo la curva. In tutti i test, la *velocità orizzontale di picco dello stroke* cresce tra le scuole primarie e secondarie, mostrando un gap significativo ( $p\text{-value}<0.03$ ). Per quanto riguarda la *velocità di picco lungo y dello stroke*, nei test UNO, NUM e F non sono state osservate differenze significative, mentre nel test A la seconda elementare mostra valori più bassi rispetto a quelli registrati nelle medie ( $p<0.01$ ).



**Figura 38: Velocità di picco dello stroke lungo la direzione orizzontale e verticale e lungo la curva.**

Per la *velocità di picco curvilinea dello stroke* nei test UNO e NUM non ci sono differenze significative; al contrario nei test A e F è possibile osservare un salto significativo tra elementari e medie (in A test  $p<0.02$ ; in F test  $p<0.05$ ).

L'analisi delle componenti principali (PCA), effettuata utilizzando i parametri selezionati in tabella 6, mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata pari al 64% nel test UNO, all'88% nei test NUM e A, al 78% per il test F.

La figura 39 mostra, per ciascuna prova, i pesi delle variabili calcolate in ogni classe rispetto alle prime due componenti della PCA: in tutte le situazioni la seconda elementare è ben distinguibile, mentre le altre classi sono progressivamente più sovrapposte.



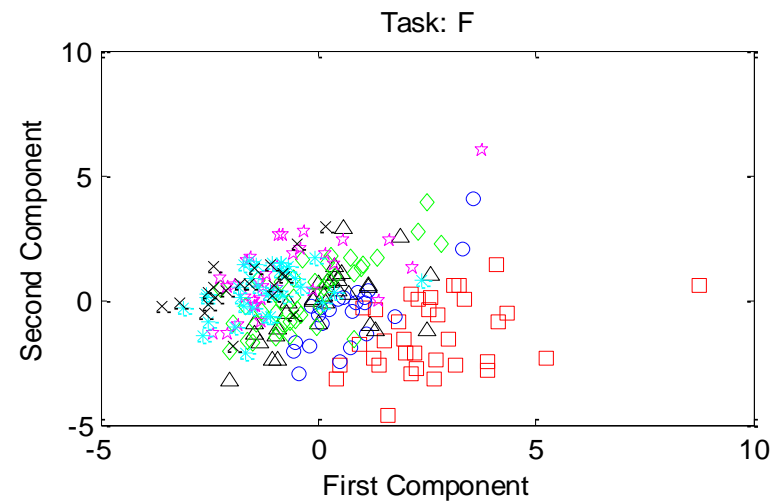
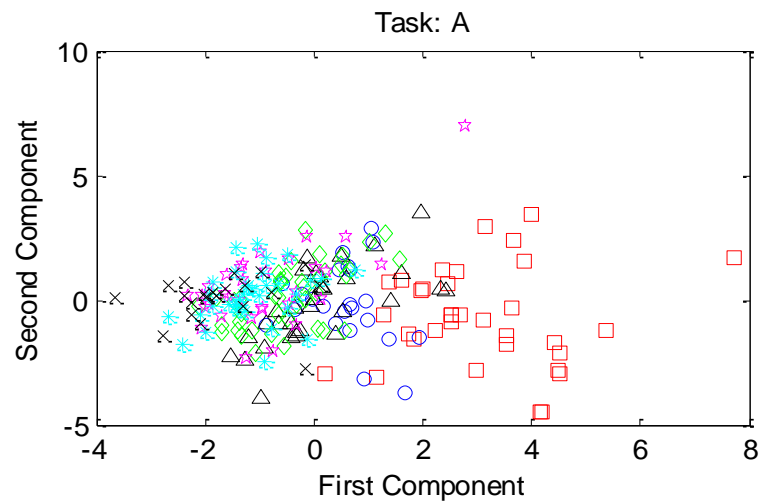
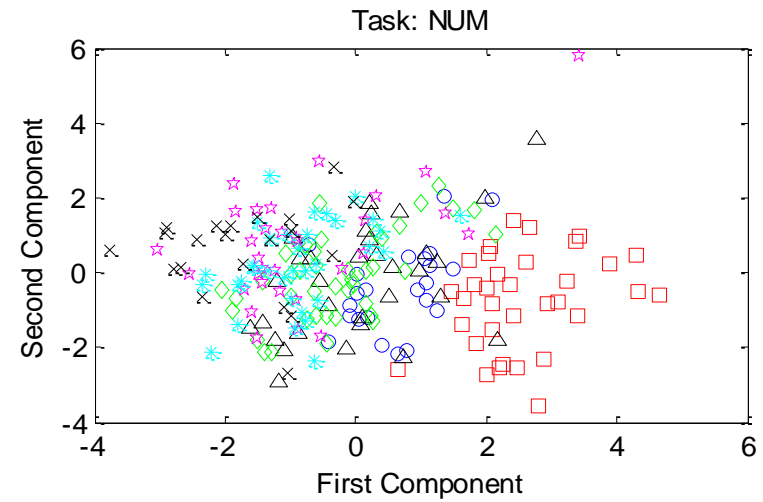
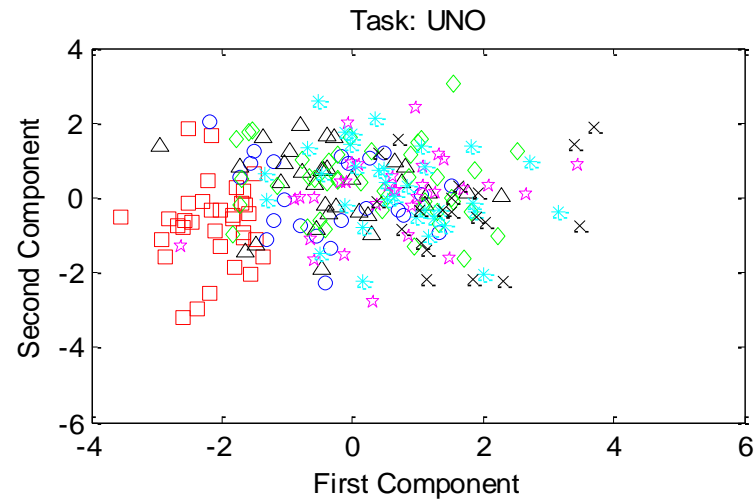
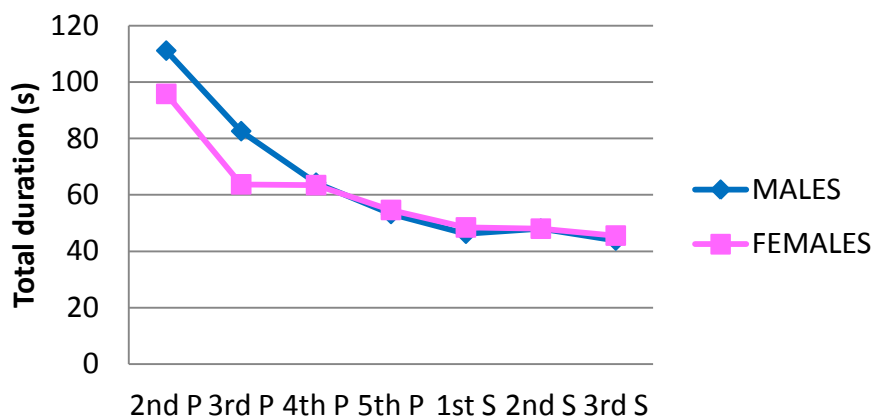


Figura 39: Loading PCA plot ottenuto nei quattro test usando i parametri selezionati dalla stepwise regression. Quadrato rosso: 2<sup>a</sup> el.; Cerchio blu: 3<sup>a</sup> el.; Triangolo nero: 4<sup>a</sup> el.; Rombi verdi: 5<sup>a</sup> el.; Stella magenta: 1<sup>a</sup> m.; Asterisco ciano: 2<sup>a</sup> m.; Crocetta nera: 3<sup>a</sup> m..

### 3.1.3.2 Differenze di genere

Differenze significative tra i due generi sono state osservate nella trascrizione della frase in modalità accurata (test A) e veloce (test F). Come detto nei risultati mostrati in precedenza, le velocità calcolate nella componente sono analoghe a quelle calcolate nello stroke, quindi verranno prese in considerazione solo quest'ultime.

Nelle prime classi delle elementari le femmine eseguono il compito in un tempo inferiore a quello dei compagni maschi, soprattutto nella copia accurata (fig. 40).



**Figura 40: Durata totale calcolata nel test A.**

In entrambe le prove, dopo la quarta elementare, i valori di questo parametro calcolati per entrambi i sessi convergono.

Nel test A, la lunghezza curvilinea media dello stroke in seconda e in terza elementare ( $p < 0.02$ ), la velocità curvilinea media e di picco nello stroke e la velocità lungo y mediata nello stroke in seconda elementare ( $p < 0.04$ ), sono significativamente più elevate nelle femmine (tab. 8).

Per quanto riguarda il test F, per le femmine si sono osservati valori significativamente più alti ( $p < 0.04$ ) in seconda elementare per: la lunghezza totale della traccia, le velocità medie e di picco lungo la curva e lungo y e la lunghezza dello stroke (tab. 8).

**Tabella 8: Parametri calcolati per le prove A e F che presentano differenze significative tra i due generi.**

<b>FEMALES</b>				
Grades	<i>Total length of track (mm)</i>		<i>Curvilinear length of the stroke (mm)</i>	
	A task	F task	A task	F task
2 <sup>nd</sup> P	1365.4±267.6	1425.7±323.4	2.8±0.7	3.7±0.7
3 <sup>rd</sup> P	978.5±105.8	1085.1±224.5	2.6±0.3	3.1±0.6
4 <sup>th</sup> P	858.1±167.6	893.8±161.3	2.2±0.5	2.6±0.5
5 <sup>th</sup> P	788.0±110.3	839.4±109.5	2.3±0.5	2.7±0.4
1 <sup>st</sup> S	794.4±133.3	824.1±139.9	2.2±0.5	2.5±0.6
2 <sup>nd</sup> S	764.4±151.2	788.4±204.4	1.9±0.4	2.2±0.5
3 <sup>rd</sup> S	678.3±108.0	700.0±140.0	1.9±0.4	2.2±0.5
<i>Curvilinear mean velocity of the stroke (mm/s) Vertical mean velocity of the stroke (mm/s)</i>				
Grades	A task	F task	A task	F task
2 <sup>nd</sup> P	18.7±4.4	28.4±5.7	14.6±3.8	21.9±4.7
3 <sup>rd</sup> P	22.4±5.3	32.4±9.0	16.5±4.5	23.5±7.0
4 <sup>th</sup> P	20.3±5.8	30.7±7.9	14.0±3.7	20.5±4.8
5 <sup>th</sup> P	20.2±4.7	29.8±5.7	14.6±3.8	20.9±4.8
1 <sup>st</sup> S	25.0±6.8	37.0±7.1	16.1±4.0	22.9±4.6
2 <sup>nd</sup> S	26.6±6.8	35.0±6.2	16.0±3.9	20.6±3.8
3 <sup>rd</sup> S	25.0±5.0	34.8±5.7	15.4±2.9	21.0±4.0
<b>MALES</b>				
Grades	<i>Total length of track (mm)</i>		<i>Curvilinear length of the stroke (mm)</i>	
	A task	F task	A task	F task
2 <sup>nd</sup> P	1213.1±264.5	1219.6±202.2	2.3±0.8	3.1±0.7
3 <sup>rd</sup> P	915.4±115.3	974.1±121.7	2.1±0.5	2.7±0.4
4 <sup>th</sup> P	934.5±244.7	1054.6±202.4	2.3±0.7	2.9±0.6
5 <sup>th</sup> P	816.1±163.6	862.7±174.2	2.3±0.6	2.7±0.8
1 <sup>st</sup> S	744.9±145.9	801.0±185.0	2.2±0.6	2.6±0.7
2 <sup>nd</sup> S	767.5±157.9	778.2±140.9	2.1±0.3	2.3±0.4
3 <sup>rd</sup> S	660.1±175.1	607.9±165.7	1.8±0.4	1.9±0.5
<i>Curvilinear mean velocity of the stroke (mm/s) Vertical mean velocity of the stroke (mm/s)</i>				
Grades	A task	F task	A task	F task
2 <sup>nd</sup> P	15.8±4.9	24.1±6.0	12.1±4.0	18.5±4.6
3 <sup>rd</sup> P	17.8±4.6	27.7±4.4	12.9±3.5	20.2±3.4
4 <sup>th</sup> P	20.3±6.1	31.6±5.6	14.5±4.7	22.3±4.6
5 <sup>th</sup> P	21.7±4.1	32.5±7.5	15.6±3.7	22.6±6.4
1 <sup>st</sup> S	25.3±7.1	35.7±9.1	17.0±4.9	23.2±5.7
2 <sup>nd</sup> S	24.3±4.0	31.8±4.2	16.2±3.3	20.3±3.8
3 <sup>rd</sup> S	29.5±6.4	35.5±4.3	16.4±1.8	19.3±2.5

### 3.1.4 Discussione

Le tavolette digitali sono state usate frequentemente come strumento di ricerca negli ultimi anni [33, 86] per avere delle misure quantitative del processo dinamico coinvolto nella scrittura. Tuttavia l'analisi automatizzata dei dati non può essere fatta a prescindere dagli aspetti linguistici della scrittura. È per questo motivo che si è ritenuto indispensabile condurre uno studio specifico per la lingua italiana, a partire dai risultati rilevati in precedenti studi scientifici e integrandoli con nuove interessanti findings sulle diverse

caratteristiche del processo. Le relazioni trovate tra alcuni parametri e la scolarità riflettono l'influenza che lo sviluppo motorio e cognitivo e il livello di apprendimento raggiunto hanno sugli *handwriting skills*.

Come ci si aspettava, in tutti i test, i soggetti aumentano la loro produzione dello scritto con l'età: infatti, nei test a tempo fisso, il numero di lettere aumenta e, nelle prove di trascrizione, la durata totale si riduce.

Nei compiti a tempo fisso, si poteva pensare di valutare la produzione dello scritto tramite la misura della lunghezza totale della traccia, ma, dato che quest'ultimo parametro dipende dalla grandezza di ogni grafema, è più corretto analizzare il numero di lettere.

Si è supposto che ogni esercizio di scrittura è il risultato della combinazione di quattro domini: *velocità, arrangiamento spaziale, automazione e tempo di pianificazione motoria*.

Il processo di *arrangiamento spaziale* è strettamente legato alla progressiva riduzione della dimensione del rigo, che si ha a partire dalla seconda elementare (secondo quanto previsto dalla didattica tradizionale) fino alla quarta elementare, ma in realtà continua fino in terza media, come mostrato dalla riduzione del numero di lettere/cm. Quest'ultimo fenomeno non è imposto dallo spazio grafico del rigo, ma da un processo di *arrangiamento spaziale* intrinseco allo sviluppo delle abilità di scrittura. D'altra parte, visto che tale parametro è legato a un conteggio manuale del numero di grafemi riprodotti, si potrebbe pensare di sfruttare parametri calcolati in automatico come la lunghezza di *stroke* e componenti, il primo effettivamente mostra un andamento esattamente inverso (e quindi correlato) al numero di lettere/cm, mentre il secondo dipende strettamente dal set di lettere e parole da riprodurre. Per l'*arrangiamento spaziale* si potrebbe quindi pensare di adottare la lunghezza dello *stroke* come misura automatizzata alternativa al numero di lettere/cm.

La progressiva riduzione del numero di *stroke*/lettera dalla seconda elementare alla terza media suggerisce un miglioramento continuo dell'*automatizzazione* (minore frammentazione). Alcuni ricercatori [83, 84] usano lo zero crossing della velocità e dell'accelerazione calcolato lungo la direzione verticale per valutare il livello di automatizzazione raggiunto dal soggetto, ma in questo studio non è stato osservato nessun cambiamento legato allo sviluppo dell'apprendimento del soggetto.

Per quanto riguarda il dominio della *velocità*, in tutti i test la velocità di picco dello *stroke* calcolata lungo x aumenta tra le classi e questo fenomeno potrebbe essere associato a un

incremento della velocità di trascinamento della penna. Al contrario, le velocità lungo la direzione verticale restano all'incirca costanti, suggerendo che le capacità motorie necessarie per la realizzazione della scrittura, si sviluppano soprattutto lungo la direzione orizzontale, che, d'altra parte, è quella prevalentemente coinvolta nello svolgimento di un compito scritto. È stato osservato un aumento della velocità curvilinea di picco solo nelle trascrizioni della frase, probabilmente perché la componente linguistica caratterizzante queste prove costituisce un elemento trainante.

Rueckriegel et al., 2008 [80], definiscono il dominio della velocità come la frequenza dello stroke e la media aritmetica della velocità di picco dello stroke. Tuttavia nel loro studio, a differenza dei nostri risultati, solo la frequenza dello stroke risulta correlata all'età, sia per i compiti ripetitivi che per la copia della frase tedesca "Der Ball rollt ins Tor". Questa differenza potrebbe essere associata alle diverse procedure utilizzate per l'esecuzione delle prove:

- contrariamente alle nostre procedure di acquisizione, i partecipanti usavano la penna in dotazione alla tavoletta che non lascia la traccia scritta (a differenza della nostra ad inchiostro), per evitare il controllo visivo della traccia;
- i fogli utilizzati per le prove sono bianchi (a differenza di quelli usati nel nostro studio che sono con le righe della classe di appartenenza del soggetto);

non riproducendo il normale ambiente scolastico.

Passando al dominio del *tempo di pianificazione motoria*, il numero di stroke/s, che aumenta nelle prime classi e poi satura durante gli ultimi anni (circa 4.5-5.5 stroke/sec), presenta un andamento esattamente inverso, per ovvi motivi, rispetto alla durata media dello stroke che diminuisce raggiungendo un limite inferiore (circa 120-140 ms); ciò suggerisce che lo sviluppo riguardante il tempo di pianificazione si completa in quinta elementare. Questo risultato, supportato anche dagli andamenti della durata media della componente (tempo medio su carta) e della durata media della staccata, conferma i risultati di molti studi condotti da Rosenblum [34, 38, 87]. Tuttavia la riduzione della durata media della componente osservata in tutti i test anche dopo la quinta elementare, suggerisce, seppur in maniera meno evidente, che un'ulteriore riduzione del tempo di pianificazione si ha fino in terza media.

In generale, i parametri selezionati in questo studio presentano andamenti, in funzione del grado di apprendimento, simili in tutti i test. Tuttavia quando è richiesta una maggiore

accuratezza nella trascrizione, si osserva una minore automatizzazione, una velocità ridotta e un maggior tempo di pianificazione motoria. Per quanto riguarda i test a tempo fisso, le competenze matematiche richieste nel test NUM migliorano le performance cinematiche rispetto a una prova meno ecologica quale la sequenza ripetitiva di UNO.

Per quanto riguarda le differenze di genere, similmente ad altri studi [88], si è osservato che nei primi anni di scuola le femmine sono più performanti, rispetto ai compagni dell'altro sesso, nella trascrizione delle frasi, in cui vengono richieste sia una maggiore accuratezza che una maggiore velocità di produzione.

Questo gap che si riduce progressivamente fino alla quarta elementare, potrebbe rappresentare un vantaggio per le femmine nella routine scolastica, ma i maschi sembrano colmarlo quando la pratica risulta più consolidata.

### **3.1.5 Conclusioni**

I dati ottenuti da questo studio trasversale indicano che molti dei parametri considerati rispecchiano l'evoluzione dell'apprendimento, suggerendo che i valori normativi sono specifici per ogni fascia d'età. Il trend di alcuni parametri sicuramente non può prescindere dalle caratteristiche del test somministrato. I risultati di questo studio permettono di identificare i parametri più informativi per ogni test in tutte le classi. La dimensione del campione ci ha permesso di fare uno studio dello sviluppo delle caratteristiche motorie della grafia con l'apprendimento, e le basse deviazioni standard permetteranno di considerare i valori medi dei parametri come riferimento per lo sviluppo di metodi diagnostici e riabilitativi, permettendo la quantificazione di deficit legati al movimento della mano in pazienti della stessa età (e possibilmente dello stesso sesso, almeno per i primi anni) con disturbi dell'apprendimento.

## **3.2 Analisi del profilo di velocità dello stroke**

### **3.2.1 Introduzione**

Al fine di aggiungere un ulteriore livello di dettaglio allo studio dell'apprendimento appena descritto, ci si è spinti all'analisi modellistica dell'elemento costituente la scrittura: lo stroke. Partendo da uno dei più performanti modelli descritti in letteratura (§ 1.3.1) è stata sviluppata un'applicazione che permettesse non solo l'implementazione di

tale modello, ma anche un miglioramento delle sue capacità di adattamento ai diversi profili di velocità dello stroke, con un errore di ricostruzione minimo (§ 2.1.3.3).

I risultati ottenuti, utilizzando questo strumento nell'analisi del campione di soggetti a sviluppo tipico, sono stati pubblicati e presentati in occasione di due convegni di respiro internazionale [IX, X].

### 3.2.2 Materiali e metodi

Dello stesso campione di soggetti descritto nel precedente paragrafo, sono stati utilizzati i test eseguiti da 205 soggetti destrimani, madrelingua italiana e a sviluppo tipico.

Gli strumenti di acquisizione sono analoghi e i test analizzati sono le due sequenze ripetitive (test LE e UNO) a tempo fisso (60 s) [IX] e i compiti di trascrizione della frase in modalità accurata (test A) e veloce (test F) [X].

Il software di analisi, descritto in maniera dettagliata nel paragrafo 2.1.3.3, permette l'individuazione dei pattern caratteristici del profilo di velocità dello stroke, tramite un processo di modellizzazione articolato in due step.

Il primo step, a partire da una stima del tempo  $t_0$  e dai tempi corrispondenti ai massimi e ai punti di flesso della velocità curvilinea, fa un fitting iterativo del profilo di velocità dell' $i$ -esimo stroke con una funzione Lognormale

$$v_i(t) = \frac{D_i}{\sigma_i(t - t_{0i})\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(t-t_{0i})-\mu_i]^2}{2\sigma_i^2}}$$

le cui variabili rappresentano:

- $D_i$  è l'ampiezza del comando di input;
- $t_{0i}$  è il tempo di occorrenza del comando di input rispetto all'istante iniziale dello stroke;
- $\mu_i$  è il ritardo in scala logaritmica del sistema di controllo, in particolare  $e^\mu$  rappresenta la mediana della risposta impulsiva lognormale;
- $\sigma_i$  è il tempo di risposta del sistema di controllo, espresso in scala logaritmica.

Il secondo step, a partire da queste stime iniziali, usa l'algoritmo di ottimizzazione non lineare di Levenberg–Marquardt [74] per convergere verso la soluzione ottima.

Al fine di analizzare eventuali variazioni di questi parametri con la scolarità, sono stati calcolati i valori medi e l'errore quadratico medio del fitting per ogni soggetto e poi mediati per tutti gli alunni appartenenti a ogni classe.

Le differenze tra le classi sono state valutate tramite il test non parametrico di Wilcoxon per campioni indipendenti [89], noto anche come test U di Mann-Whitney.

### 3.2.3 Risultati e discussione

La funzione Lognormale approssima bene più del 70% dei profili di velocità degli stroke, con un basso errore quadratico medio (circa 5-6% del valore medio della velocità dello stroke).

#### 3.2.3.1 Test LE e UNO

Tabella 9: Parametri calcolati nelle sette classi per il test LE.

Parameters- test LE						
Grades	D (mm)	$\mu$	$\sigma$	Vcm (mm/s)	$\sqrt{\text{err}}$ (mm/s)	Nr_Strokes
2ndP	5.57±1.05	-1.11±0.03	0.21±0.03	20.99±4.34	1.22±0.16	273±31
3rdP	5.53±0.91	-1.17±0.25	0.16±0.21	24.22±5.01	1.29±0.14	261±28
4thP	5.53±1.18	-1.12±0.03	0.22±0.03	22.07±4.27	1.29±0.15	277±26
5thP	5.29±0.89	-1.12±0.03	0.20±0.02	21.45±4.70	1.32±0.17	283±17
1stS	5.79±1.20	-1.13±0.03	0.22±0.03	23.54±4.72	1.30±0.17	285±28
2ndS	5.78±1.27	-1.13±0.04	0.21±0.03	23.74±6.16	1.34±0.15	285±23
3rdS	7.00±1.22	-1.12±0.03	0.23±0.03	27.69±4.21	1.37±0.17	268±43

Tabella 10: Parametri calcolati nelle sette classi per il test UNO.

Parameters- test UNO						
Grades	D (mm)	$\mu$	$\sigma$	Vcm (mm/s)	$\sqrt{\text{err}}$ (mm/s)	Nr_Strokes
2ndP	5.72±0.77	-1.18±0.03	0.17±0.01	27±4.90	1.53±0.11	275±34
3rdP	4.84±0.90	-1.21±0.04	0.17±0.02	25.29±5.75	1.38±0.16	311±35
4thP	5.17±0.95	-1.21±0.03	0.17±0.02	27.22±6.67	1.40±0.15	321±31
5thP	4.74±1.22	-1.23±0.03	0.17±0.02	25.59±6.30	1.35±0.18	333±33
1stS	5.58±1.05	-1.22±0.03	0.18±0.02	29.62±7.62	1.41±0.15	315±34
2ndS	5.56±1.29	-1.22±0.03	0.18±0.02	28.92±6.51	1.42±0.14	323±43
3rdS	6.64±1.68	-1.18±0.08	0.21±0.03	28.44±5.66	1.39±0.12	280±55



Il valore di  $t_0$  resta circa costante con la scolarità in entrambi i test (-0.23s nel test LE e -0.22 nel test UNO).

I valori di D aumentano con l'apprendimento e raggiungono valori significativamente più elevati in terza media per entrambi i test ( $p < 0.02$ ).

$\mu$  varia con la scolarità e non mostra un trend definito nel test UNO, al contrario nel test LE si mantiene più o meno costante, tranne in terza elementare dove tale ritardo risulta aumentare.

I valori di  $\sigma$  rimangono circa costanti nel test LE, mentre crescono con l'apprendimento nel test UNO, raggiungendo valori più elevati in terza media ( $p < 0.005$ ) [IX].

### 3.2.3.2 Test A e F

In entrambe le trascrizioni, i valori di  $t_0$  rimangono costanti con la scolarità (-0.22 s).

**Tabella 11: Parametri calcolati nelle sette classi per il test A.**

Parameters- test A					
Grades	D (mm)	$\mu$	$\sigma$	Vcm (mm/s)	Nr_Strokes
2ndP	4.6±0.9	-1.14±0.03	0.20±0.02	17.7±4.8	402±94
3rdP	4.6±0.9	-1.17±0.04	0.20±0.02	20.4±5.4	298±63
4thP	4.7±0.9	-1.17±0.04	0.20±0.03	20.3±5.9	272±32
5thP	4.7±0.7	-1.18±0.03	0.19±0.02	21.0±4.4	249±29
1stS	5.6±1.2	-1.18±0.02	0.20±0.02	25.1±6.8	212±36
2ndS	5.7±1.3	-1.19±0.02	0.20±0.02	25.7±5.8	216±39
3rdS	6.4±2.3	-1.17±0.03	0.22±0.04	26.3±5.7	189±42

**Tabella 12: Parametri calcolati nelle sette classi per il test F.**

Parameters- test F					
Grades	D (mm)	$\mu$	$\sigma$	Vcm (mm/s)	Nr_Strokes
2ndP	5.7±1.1	-1.18±0.03	0.18±0.02	26.9±6.1	300±54
3rdP	5.8±1.0	-1.21±0.02	0.19±0.02	30.4±7.6	245±36
4thP	6.1±0.9	-1.21±0.03	0.19±0.02	31.1±7.0	223±33
5thP	6.1±1.3	-1.21±0.03	0.19±0.02	31.2±6.7	203±25
1stS	7.3±1.3	-1.20±0.02	0.21±0.02	36.4±7.9	176±24
2ndS	6.9±1.2	-1.20±0.02	0.21±0.02	33.7±5.6	182±31
3rdS	7.9±1.9	-1.19±0.04	0.23±0.03	35.0±5.3	251±21

D, nelle due prove, cresce con la scolarità raggiungendo valori più elevati in terza media ( $p < 0,007$ ). Si osservano valori più alti nella trascrizione in cui è stato richiesto di scrivere più velocemente (test F).

$\mu$  presenta i valori più bassi in seconda elementare ( $p < 0,02$ ), dopo rimane approssimativamente costante con l'età (in entrambe le prove).  $\sigma$  è circa invariante nella prova A, tranne in terza media dove mostra i valori più alti ( $p < 0,05$ ), invece, nel test F, aumenta in modo significativo con l'istruzione fino all'ultima classe osservata ( $p < 0,005$ ). I valori di D e  $\sigma$  aumentano con scolarizzazione in entrambi i compiti seguendo il trend della velocità media ( $V_{cm}$ ) e della durata dello stroke [X].

### 3.2.4 Conclusioni

Lo studio e l'ottimizzazione del modello cinematico implementato hanno permesso di individuare e valutare dei parametri che potrebbero risultare utili per una migliore comprensione dell'organizzazione motoria. I valori dei parametri misurati, dopo le modifiche apportate all'algoritmo, sembrano avere un senso rispetto alle variabili del sistema neuromuscolare che rappresentano. L'approssimazione lognormale del profilo di velocità dello stroke risulta essere quindi una buona soluzione e potrebbe offrire interessanti opportunità per studi futuri sul controllo motorio, come ad esempio la creazione di un data base di parametri neuromuscolari o l'implementazione di strumenti per il riconoscimento o per la valutazione della grafia. I valori medi dei parametri considerati potrebbero essere sfruttati come riferimento nella diagnosi e nella valutazione di opportune terapie riabilitative per la disgrafia o comunque per altre patologie che compromettono i movimenti della mano.

# 4 Il Metodo Terzi nell'apprendimento della grafia

---

## 4.1 Introduzione al Metodo Terzi

Il metodo spazio temporale fu ideato nella prima metà del Novecento da Ida Terzi, insegnante elementare all'istituto per ciechi di Reggio Emilia, con lo scopo di sviluppare nei suoi alunni la percezione del corpo in movimento nello spazio, affinché potessero integrare le informazioni provenienti dal mondo esterno con le informazioni provenienti dal loro corpo, facilitando la coerenza percettiva e il passaggio da un utilizzo inconscio a un uso consapevole del corpo in movimento.

Nella sua metodologia riguardante l'organizzazione delle idee di tempo e di spazio, gli arti inferiori non hanno solo la funzione di apparati locomotori, ma anche di apparati sensoriali che permettono di acquisire la percezione e il concetto delle distanze e delle direzioni. Il metodo è utilizzato per migliorare la percezione e l'integrazione dello schema corporeo, per organizzare l'orientamento e la rappresentazione mentale dello spazio, esso agisce sull'organizzazione cerebrale, si serve del movimento del corpo per arrivare ad una rappresentazione mentale corretta di ciò che il corpo stesso ha compiuto. La tecnica aiuta l'individuo a integrare le informazioni provenienti dagli spazi in cui egli si muove:

- lo spazio personale, costituito dall'idea che la persona ha del proprio corpo;
- lo spazio peripersonale, più vicino al corpo, che si usa per manipolare gli oggetti;
- lo spazio extra-personale.

Il Metodo è stato valorizzato dalle nuove acquisizioni delle neuroscienze, che sottolineano l'importanza del sistema motorio come strumento di conoscenza. La tecnica Terzi si avvale dell'apporto di diverse teorie: l'*embodied cognition*, che pone l'accento sul ruolo del corpo nella formazione dei processi cognitivi e sociali; il *costruttivismo*, per il quale la conoscenza della realtà è il frutto di un'elaborazione personale basata sulle esperienze; e il modello di funzionamento cerebrale elaborato dalla *teoria dei neuroni a specchio* che ritiene che i neuroni si attivino non solo quando compiamo un'azione, ma anche quando si osservano i movimenti fatti da altri.

Il Metodo Terzi è un sistema di esercizi sensomotori che le persone devono eseguire in alcune fasi con gli occhi bendati, in modo da privilegiare diversi tipi di informazione: le informazioni che provengono dal corpo attraverso i muscoli, le informazioni vestibolari che riguardano l'equilibrio e il movimento nello spazio e le informazioni che derivano dall'aderenza di alcune parti del corpo con l'esterno (ad esempio i piedi che poggiano sul pavimento o le mani che toccano il tavolo). Dopo l'esecuzione di un esercizio viene richiesto all'individuo di ripeterlo a occhi aperti, senza benda, rifacendo i movimenti sul corpo del terapeuta o di rappresentarlo su una tavoletta. Dalla fedeltà della riesecuzione del movimento l'operatore comprende come la persona elabora le informazioni ricevute nella prima parte della prova. Tutti gli esercizi hanno anche una componente temporale, che facilita l'apprendimento: i movimenti sono eseguiti con un determinato ritmo e con sequenze ben precise.

Di seguito sono descritte le diverse aree di applicazione del metodo spazio temporale, esse sono principalmente l'area riabilitativa e l'area didattica: l'*area riabilitativa* comprende l'applicazione del metodo in pazienti affetti da particolari patologie e la cura dei disturbi di apprendimento, mentre nell'*area didattica* il metodo è utilizzato in bambini che non presentano problematiche particolari.

Il metodo Terzi, oltre a essere utilizzato nel caso di cecità congenita o acquisita, viene applicato in alcuni ospedali e centri di riabilitazione su bambini affetti da *patologie* dell'età evolutiva, paralisi cerebrali e cromosomopatie. Negli adulti è applicato in patologie neurologiche come morbo di Parkinson, ictus, sclerosi multipla e in caso di gravi cerebrolesioni.

Il metodo Terzi è utilizzato anche per aiutare bambini che soffrono di *disturbi dell'apprendimento*, come disprassia, disgrafia, disortografia, disturbi da deficit di attenzione. Le neuroscienze, infatti, hanno dimostrato che qualsiasi intervento sul linguaggio non deve focalizzarsi solo sull'aspetto finale della produzione, ma avere una particolare attenzione anche agli aspetti percettivi; attivando i processi di elaborazione consapevole dei dati percettivi propriocettivo-cinestesici, uditivi e visivi.

La tecnica *in ambito educativo*, in particolare nella scuola dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado, può essere utilizzata, anche in assenza di disturbi, come un valido strumento d'aiuto per l'apprendimento della scrittura, della lettura e dell'aritmetica. Per quanto riguarda l'aritmetica attraverso la manipolazione di striscioline di carta si favorisce la costruzione d'immagini visive giungendo alla rappresentazione

mentale della quantità, inoltre il passo viene utilizzato per misurare le distanze e per costruire una linea dei numeri, collocandoli dunque nello spazio e nel tempo [20]. In ambito didattico il metodo Terzi può essere anche utilizzato per l'insegnamento della grafia in corsivo. Il metodo ha l'obiettivo di favorire le costruzioni di rappresentazioni mentali delle lettere, e la successiva trasformazione nel corretto schema grafo motorio, attraverso l'analisi geometrica spazio-temporale di ogni simbolo alfabeto-grafico in corsivo, la sua costruzione deambulatoria a occhi bendati e la successiva riproduzione dell'immagine mentale della lettera sul muro con ampi movimenti del braccio. L'esclusione della vista nelle fasi di vissuto e rappresentazione è una facilitazione per il bambino perché attiva l'attenzione e riduce la complessità delle informazioni che deve elaborare. Passaggi successivi porteranno il bambino alla rappresentazione grafica delle lettere in schemi ellittici e nel quadretto. L'insegnamento delle lettere non segue l'ordine alfabetico, ma un ordine che le accomuna per analisi geometrico-spaziale e per movimenti che ne costituiscono lo schema grafico.

In questo lavoro di tesi s'intende confrontare il metodo d'insegnamento tradizionale della scrittura con il metodo Terzi, applicato quindi in ambito didattico, mediante un'analisi cinematica di alcuni test di scrittura.

Questo lavoro di ricerca è nato nell'ambito della preziosa collaborazione con la Dott.ssa Iolanda Perrone, logopedista specialista del Metodo Terzi nell'Azienda U.S.S.L. 7 di Pieve di Soligo, e due insegnanti della scuola primaria Don Milani di Cernusco sul Naviglio, Paola Ceschia e Carmela Mandarinò, che hanno sperimentato con pazienza e grande professionalità il metodo nella loro classe.

Alcuni dei risultati mostrati in questo capitolo sono stati inseriti in un lavoro preparato in occasione del prossimo convegno MEDICON [XI].

## **4.2 Materiali e metodi**

I metodi di acquisizione utilizzati sono sempre quelli descritti nel Capitolo 2. In questo studio, oltre l'approccio di analisi digitale, è stato utilizzato l'approccio manuale, i cui strumenti sono stati sviluppati proprio in occasione di tale ricerca, allo scopo di poter confrontare sia le performance cinematiche sia quelle qualitative.

I gruppi considerati sono due: un gruppo, di circa 20 soggetti facente parte della scuola Don Milani di Cernusco, in cui viene sperimentato in Metodo Terzi nella quotidianità

scolastica, e un gruppo, sempre di circa 20 soggetti, della vicina scuola elementare di Pioltello, in cui viene utilizzato il metodo tradizionale di insegnamento.

Ogni soggetto è riconosciuto da un codice alfanumerico, costituito da due lettere, che identificano la classe di appartenenza ('CE'=Cernusco;'PI'=Pioltello), e un ID numerico di due cifre (da 01 a 20 circa), che identifica univocamente un soggetto di un gruppo.

I dati analizzati in questa tesi sono stati raccolti nel mese di maggio 2011 e nel mese di dicembre 2012, seguendo lo sviluppo dell'apprendimento della scrittura dalla seconda elementare alla quarta elementare. Gli stessi allievi erano stati già coinvolti in una prima acquisizione svolta nel 2010, quando frequentavano la prima elementare, per i soli compiti di prescrizione [XI].

Non si è trattato di un test d'intelligenza o di personalità, poiché si era interessati a valutare l'evoluzione dell'apprendimento della grafia del singolo gruppo nella sua globalità e a cogliere eventuali differenze o particolarità nei due metodi.

Prima di iniziare le prove, è stato ottenuto il consenso informato scritto da parte dei genitori. In questo studio l'assenza di anomalie neurologiche e la distribuzione normale delle funzioni neuropsicologiche sono state assunte tramite il giudizio degli insegnanti basato sull'andamento scolastico degli alunni.

In entrambe le acquisizioni, i soggetti che hanno partecipato sono stati sottoposti a prove del tipo:

- *scrittura rapida di sequenze* ripetitive di lettere e di numeri in corsivo in ordine crescente;
- *trascrizione in corsivo*, ripetuta due volte, sulla base di differenti istruzioni (più accurata –test A- e più veloce possibile purché leggibile–test V-), di una frase presentata in stampatello maiuscolo: “*In pochi giorni il bruco diventò una bellissima farfalla che volazzava sui prati in cerca di margherite e qualche quadrifoglio*”, caratterizzata dal fatto di contenere tutte le lettere dell'alfabeto e racchiudere diverse regole fonologiche.

In questo lavoro di tesi, sono stati elaborati i dati relativi alle trascrizioni in corsivo.

La statistica è stata suddivisa in due blocchi principali: in una prima parte sono state valutate le differenze tra i due metodi di insegnamento, tramite il test statistico di Wilcoxon per campioni indipendenti (soglia di significatività fissata pari a 0.05). Per spiegare la varianza nei due gruppi riducendo il numero di variabili analizzate per ciascun

test, è stata utilizzata la stepwise regression con forward selection. In questo modo ciascuna variabile è stata inclusa in un modello multilineare solo se statisticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

Per valutare eventuali differenze tra i due gruppi considerati, è stata effettuata un'analisi PCA sia su tutti i parametri che su quelli selezionati dalla stepwise regression, entrambi normalizzati (Z-score). I risultati della PCA saranno discussi in termini di punteggi delle componenti principali e mostrati sottoforma di loading plot, in cui le variabili originali sono incluse in un nuovo sistema avente le prime due componenti principali come assi.

Una procedura analoga è stata seguita per analizzare le differenze tra le due acquisizioni; in questo caso però, in ogni gruppo (soggetti appartenenti alla stessa classe analizzati prima nel 2011 e poi nel 2012) la significatività è stata valutata tramite il test Wilcoxon per campioni accoppiati.

## 4.3 Risultati e discussione

### 4.3.1 Differenze tra i due metodi

#### 4.3.1.1 Acquisizione 2011

Partendo dai risultati ottenuti dalla statistica fatta sui parametri cinematici, iniziamo con il valutare le differenze significative ( $p < 0.05$ ) tra i due gruppi, emerse dall'applicazione del test di Wilcoxon per campioni indipendenti.

Dai risultati del test di Wilcoxon, risulta che entrambe le scuole impiegano, sostanzialmente, lo stesso *tempo* per effettuare le prove di trascrizione, sia nella modalità accurata (circa  $240 \pm 55$  s) che nella modalità veloce (circa  $200 \pm 50$  s). I tempi di realizzazione osservati nella trascrizione accurata sono maggiori, come prevedibile.

Per quanto riguarda la *lunghezza curvilinea totale* della traccia, risulta una differenza sostanziale ( $p = 0.007$ ) tra le due scuole nella prova eseguita in modalità veloce; in particolare, questo parametro è maggiore nella scuola di Cernusco (Metodo Terzi), con un valore pari a  $2820 \pm 252$  mm, rispetto al gruppo di controllo, in cui viene rilevato un valore pari a  $2498 \pm 349$  mm. È come se i bambini di Cernusco (Metodo Terzi), per ottenere maggiori prestazioni cinematiche, preferissero mantenere la penna giù per perdere meno tempo, usando movimenti meno spezzati.

Una differenza sostanziale tra le due scuole si osserva per la *velocità lungo la direzione orizzontale (x)* nella prova di scrittura accurata ( $p\text{-value}<0,03$ ), in cui il gruppo di Cernusco (Metodo Terzi) ha una velocità pari a  $7.82\pm 1.69$  mm/s, mentre quello di Pioltello pari a  $9.65\pm 2.73$  mm/s.

Lungo la componente verticale (y), in entrambe le prove di scrittura, non risulta una differenza di velocità tra le due scuole.

Le differenze riscontrate lungo la direzione di trascinamento, principalmente coinvolta nell'atto di scrittura (come già visto nello studio precedente mostrato nel Capitolo 3), vengono in qualche modo mascherate dall'invarianza della velocità riscontrata tra i due gruppi lungo la direzione verticale, infatti la *velocità curvilinea media di tutto il tracciato* risulta solo leggermente superiore in Pioltello, ma non significativamente, sia nella prova di scrittura accurata sia nella veloce.

Dal test di Wilcoxon risulta, inoltre, una sostanziale differenza tra le due scuole per quanto riguarda la *durata totale delle staccate* (tempo totale di distacco della penna dal foglio) in entrambe le prove di scrittura ( $p<0.03$ ), in maniera maggiormente significativa nella prova in modalità accurata ( $p=0.007$ ). Per il test A (trascrizione accurata) viene misurato un tempo totale in aria pari a  $72.53\pm 25.49$  s in Cernusco (Metodo Terzi) e a  $98.69\pm 29.69$  s in Pioltello, mentre nel test V (trascrizione veloce), come ci si aspettava, tali durate risultano inferiori e rispettivamente pari a  $66.40\pm 20.71$  s in Cernusco (Metodo Terzi) e a  $82.36\pm 24.50$  s in Pioltello (Metodo tradizionale). Ciò significa che gli alunni della scuola di Cernusco tendono a svolgere il compito staccando il meno possibile la penna dal foglio, come dimostrato dal numero di componenti (elementi di traccia compresa tra due staccate successive), che risulta significativamente inferiore ( $p<0.001$ ), in particolare circa la metà (circa  $60\pm 13$  vs  $120\pm 26$ ), di quello misurato in Pioltello.

I due gruppi, inoltre, si differenziano in maniera significativa per il *numero componenti normalizzato sul tempo, sullo spazio e sul numero delle lettere* ( $p<0.001$ ); in Pioltello risultano pari a circa il doppio (rispettivamente uguali a  $0.51\pm 0.12$  vs  $0.25\pm 0.07$ ;  $47.95\pm 12.42$  vs  $21.54\pm 4.64$ ;  $1.12\pm 0.23$  vs  $0.53\pm 0.11$ , nel test A, mentre nel test V si riscontrano valori leggermente superiori e di poco differenti a quelli appena riportati) e questa è una diretta conseguenza del fatto che il numero di componenti in Cernusco (Metodo Terzi) è circa la metà, mentre i valori di lunghezza, durata e numero di lettere non risultano molto diversi tra le due scuole.



Il *numero di lettere/cm* è un parametro che dà l'idea di quanto è grande la lettera; tale parametro risulta essere significativamente differente ( $p < 0.005$ ) tra le due scuole ( $0.37 \pm 0.04$  in Cernusco,  $0.43 \pm 0.05$  in Pioltello) nella prova di scrittura in modalità veloce, riprendendo il concetto espresso prima per la lunghezza totale della traccia scritta, secondo cui i bambini di Cernusco (Metodo Terzi), per guadagnare tempo nella prestazione veloce, tengono quanto più possibile la penna sul foglio, producendo una maggiore traccia.

Il *numero di stroke/lettera*, importante per misurare il grado di frammentazione (ovvero quanti elementi di traccia vengono utilizzati per fare una lettera), non risulta significativamente differente tra le due scuole, in entrambe le prove di scrittura. È circa pari a  $8 \pm 2$  nel test A e  $7 \pm 2$  nel test V, confermando i risultati ottenuti nello studio trasversale fatto nel precedente capitolo, in cui si trova che, laddove è richiesta maggiore accuratezza, il grado di frammentazione è maggiore.

Il *numero degli stroke*, la *pressione media*, la *percentuale di saturazione della pressione* e lo *zerocrossing della velocità lungo y* non mostrano differenze significative tra le due scuole, in entrambe le modalità di scrittura.

Dopo avere considerato i parametri calcolati sull'intero tracciato scendiamo a un maggiore livello di dettaglio, andando ad analizzare i vari elementi della traccia scritta.

Un primo parametro con p-value minore di 0.0001 è la *durata della staccata*, in entrambe le prove di scrittura, che risulta maggiore nelle prove eseguite dagli alunni della scuola di Cernusco (nel test A:  $1190 \pm 373$  vs  $757 \pm 216$  ms; nel test V:  $1061 \pm 374$  vs  $625 \pm 142$  ms). Questo avviene perché nella scuola di Pioltello vengono mediate anche le staccate brevi dovute alla maggiore spezzettatura della traccia, mentre in Cernusco (Metodo Terzi) probabilmente le staccate sono collegabili ai tempi di programmazione motoria, inoltre, l'affaticamento maggiore, dovuto alla produzione di una traccia più lunga, sicuramente necessita di maggiori tempi di recupero.

**Tabella 13: Risultati di durata e lunghezza della componente, in Cernusco (CE) e Pioltello (PI).**

		Durata componente (ms)		Lunghezza componente (mm)	
		media	sd	media	Sd
<b>TEST A</b>	CE	3045.14	1030.27	48.31	9.59
	PI	1221.56	413.64	23.54	12.80
<b>TEST V</b>	CE	2511.80	1093.79	49.69	10.48
	PI	1001.84	435.63	22.74	11.41

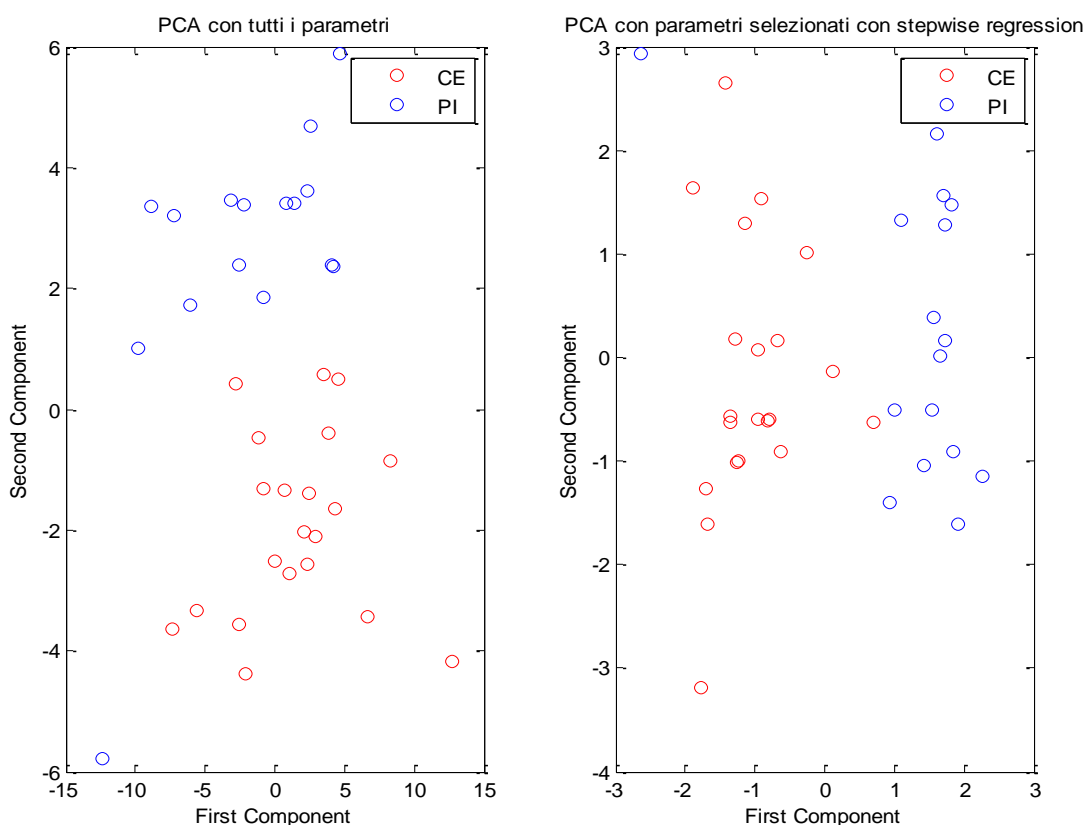
Come ci si aspettava dai risultati precedenti, la *durata* e la *lunghezza* della componente sono significativamente ( $p < 0.0001$ ) maggiori in Cernusco (Metodo Terzi) (tab. 13).

Se osserviamo i valori delle *velocità nelle componenti* (tab. 14) notiamo anche qui delle differenze tra le due scuole ( $p < 0.005$ ), maggiormente significative per il test A ( $p < 0.0005$ ).

La velocità risulta maggiore in tutte le direzioni nelle prove di scrittura effettuate dagli alunni della scuola di Pioltello (Metodo tradizionale). Non si osservano differenze significative nei parametri calcolati nello stroke.

**Tabella 14: Risultati delle velocità calcolate nella componente, in Cernusco (CE) e Pioltello (PI).**

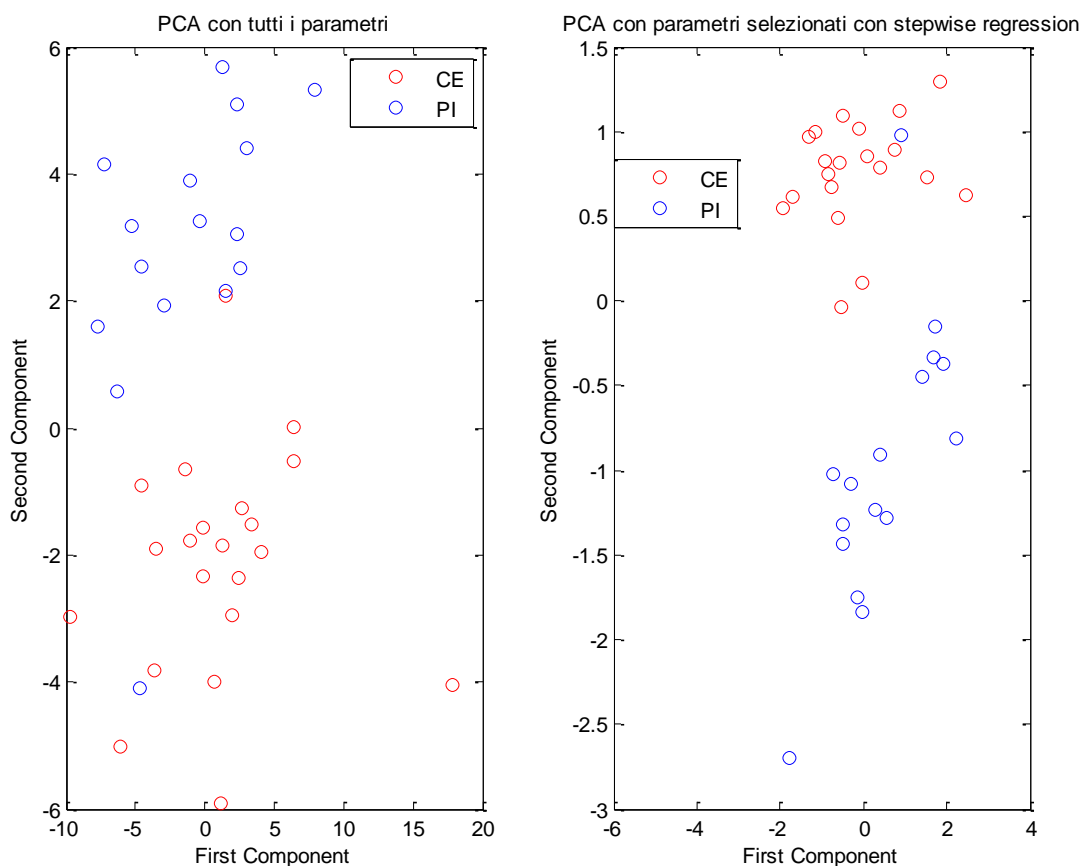
		Velocità curvilinea(mm/s)		Velocità orizzontale(mm/s)		Velocità verticale(mm/s)	
		Media	sd	Media	sd	media	sd
<b>TEST A</b>	CE	15.20	3.19	8.32	1.84	9.99	2.45
	PI	20.22	3.92	11.27	2.28	13.61	2.86
<b>TEST V</b>	CE	19.92	4.47	11.14	2.67	13.08	3.16
	PI	24.18	3.61	13.66	2.19	16.06	2.60



**Figura 41: Loading PCA plot ottenuto nel test A, usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo (scuola di Pioltello).**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Numero componenti, Pressione media, Durata media andata a capo, Velocità verticale media del tratto discendente, Velocità verticale di picco del tratto ascendente, Larghezza media della componente*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 67% e, nel secondo, pari al 65%.

La figura 41 mostra, per il test A, i pesi delle variabili calcolate in ogni classe rispetto alle prime due componenti della PCA: in entrambe le situazioni i due gruppi sono ben distinguibili.



**Figura 42: Loading PCA plot ottenuto nel test V, usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo.**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Numero di componenti/m, Velocità curvilinea media della componente, Velocità verticale di picco dello stroke*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 68% e, nel secondo, pari al 97%.

La figura 42 mostra il loading plot per il test V rispetto alle prime due componenti della PCA: in entrambe le situazioni i due gruppi sono ben distinguibili, e maggiormente in questa prova rispetto alla precedente (fig. 41).

Sintetizzando i principali risultati osservati per l'analisi cinematica, la durata totale del compito risulta uguale per i due gruppi, nonostante ci siano grandi differenze andando ad osservare alcuni parametri, ciò è dovuto alle diverse strategie messe in atto dai due gruppi. Il gruppo in cui è stato utilizzato il Metodo Terzi impiega un maggior tempo nella scrittura e un minor tempo con la penna staccata dal foglio rispetto al gruppo di controllo di Pioltello; ci si aspetterebbe quindi un prodotto scritto di migliore qualità da parte degli alunni della classe di Cernusco (Metodo Terzi). Per avere conferma di ciò è bene riportare i risultati dell'analisi dei parametri qualitativi.

Per quanto riguarda l'analisi qualitativa delle grafie, utilizzando i metodi descritti nel §2.2 si sono ottenuti i punteggi totali di qualità di ciascun soggetto, non perdendo comunque traccia dei punteggi parziali di area e dei relativi sottocriteri.

Si ricorda, per una giusta interpretazione dei dati che punteggi totali vicini allo zero, indicano un basso numero di errori, al contrario punteggi prossimi all'1.

Per quanto riguarda i punteggi di area e dei relativi sottocriteri, va fatto riferimento al relativo peso, che rappresenta quindi il punteggio pesato massimo di riferimento (dato che il punteggio puro va da 0 a 1 e viene poi ponderato con il relativo peso, il punteggio ponderato massimo possibile è pari al peso stesso del criterio a cui si riferisce).

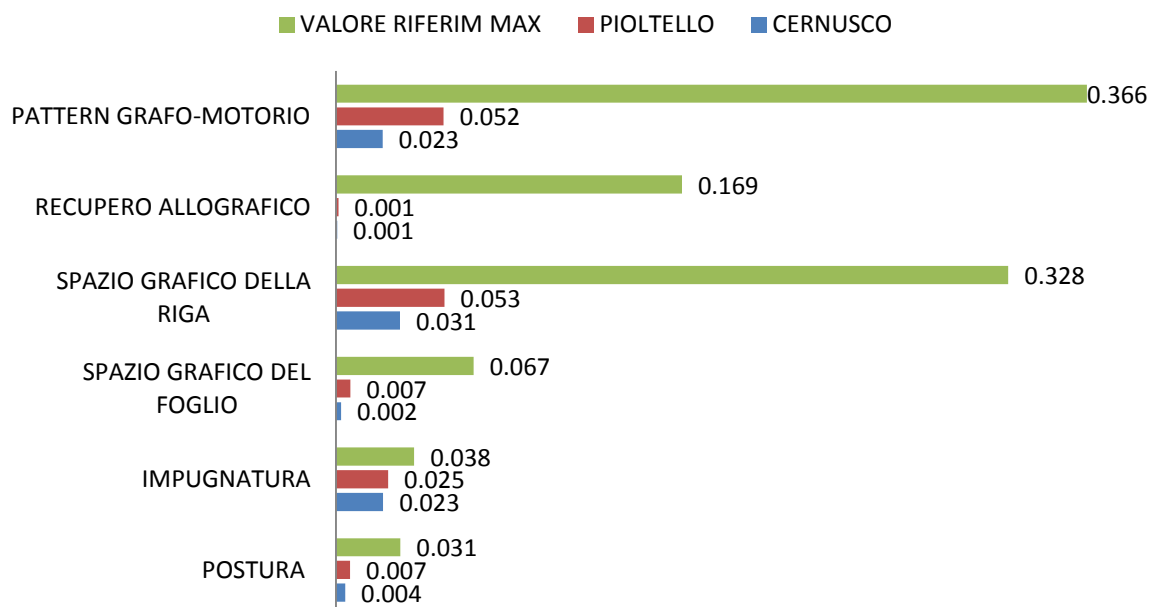
È stato calcolato il valor medio e la deviazione standard (come fatto per i parametri cinematici) dei punteggi pesati totali, di area e dei singoli criteri per entrambi i gruppi, in ciascun test.

Si riportano, in ogni figura, i pesi relativi ai vari punteggi (valori massimi di riferimento), in modo da poter confrontare più facilmente i risultati che verranno mostrati di seguito.

Iniziamo con l'analizzare i punteggi calcolati per il test di trascrizione in modalità accurata.

Partendo dal *punteggio totale di qualità*, viene rilevata una differenza sostanziale ( $p < 0.0001$ ) tra i due gruppi; in particolare la classe di Cernusco (Metodo Terzi) ha un valore pari a  $0.08 \pm 0.02$ , mentre il gruppo di controllo ha un valore pari a  $0.14 \pm 0.03$ . Questo risultato conferma l'ipotesi di una migliore prestazione qualitativa da parte dei bambini in cui viene adottato il Metodo Terzi.

Entrando più nel dettaglio, vediamo quali sono le aree per le quali le due scuole si differenziano.

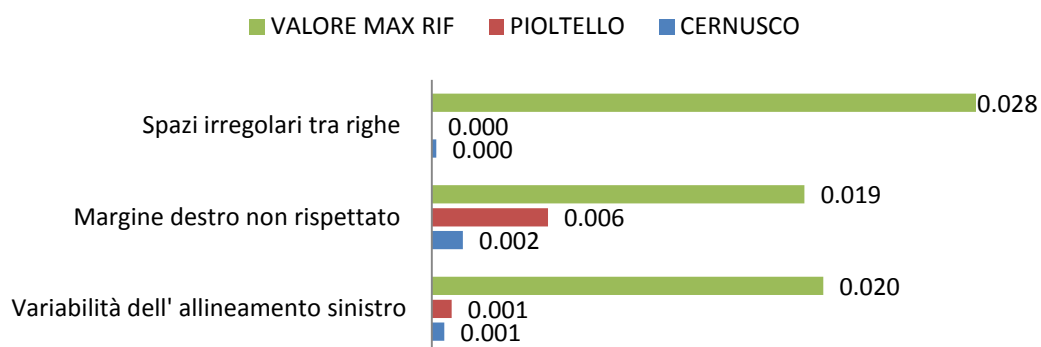


**Figura 43: Punteggi medi per aree calcolati per il test A in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

Per tutte le aree si osserva, dalla figura 43, che Pioltello (gruppo di controllo) totalizza punteggi maggiori, commettendo quindi maggiori errori.

Andiamo a vedere in quali aree si riscontrano differenze significative.

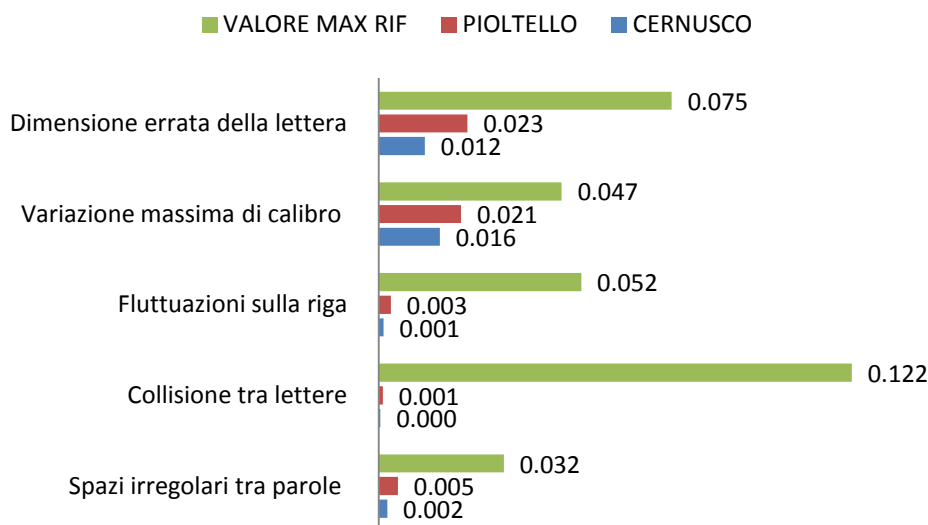
Si osserva un p-value minore di 0.005 per lo *spazio grafico del foglio* (fig. 43), andiamo a vedere nel dettaglio i criteri appartenenti a quest'area (fig. 44).



**Figura 44: Criteri dell'area "Spazio grafico del foglio", nel test A, in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

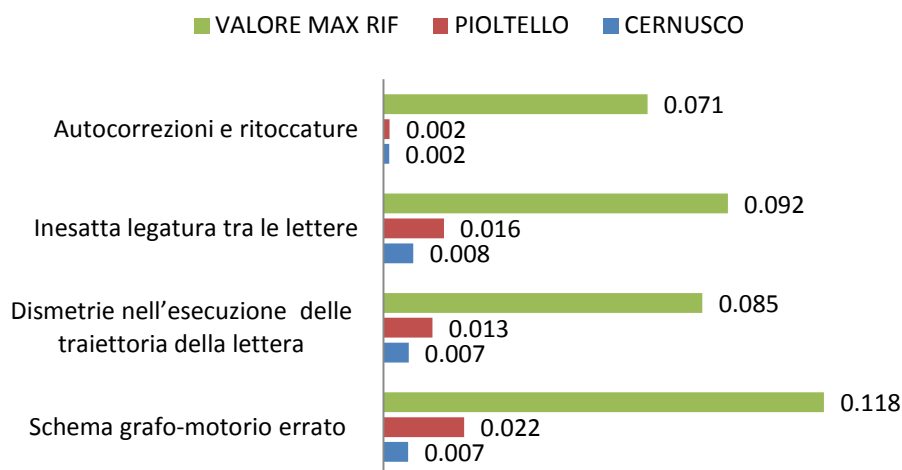
Il numero medio di errori negli item illustrati in fig. 44 è sempre maggiore per Pioltello, ma le differenze risultano significative solo per il *margine destro non rispettato*.

L'altra area in cui sono state osservate differenze significative ( $p < 0.0005$ ) è lo *spazio grafico della riga* (fig. 43), andiamo a vedere i singoli criteri di appartenenza (fig. 45).



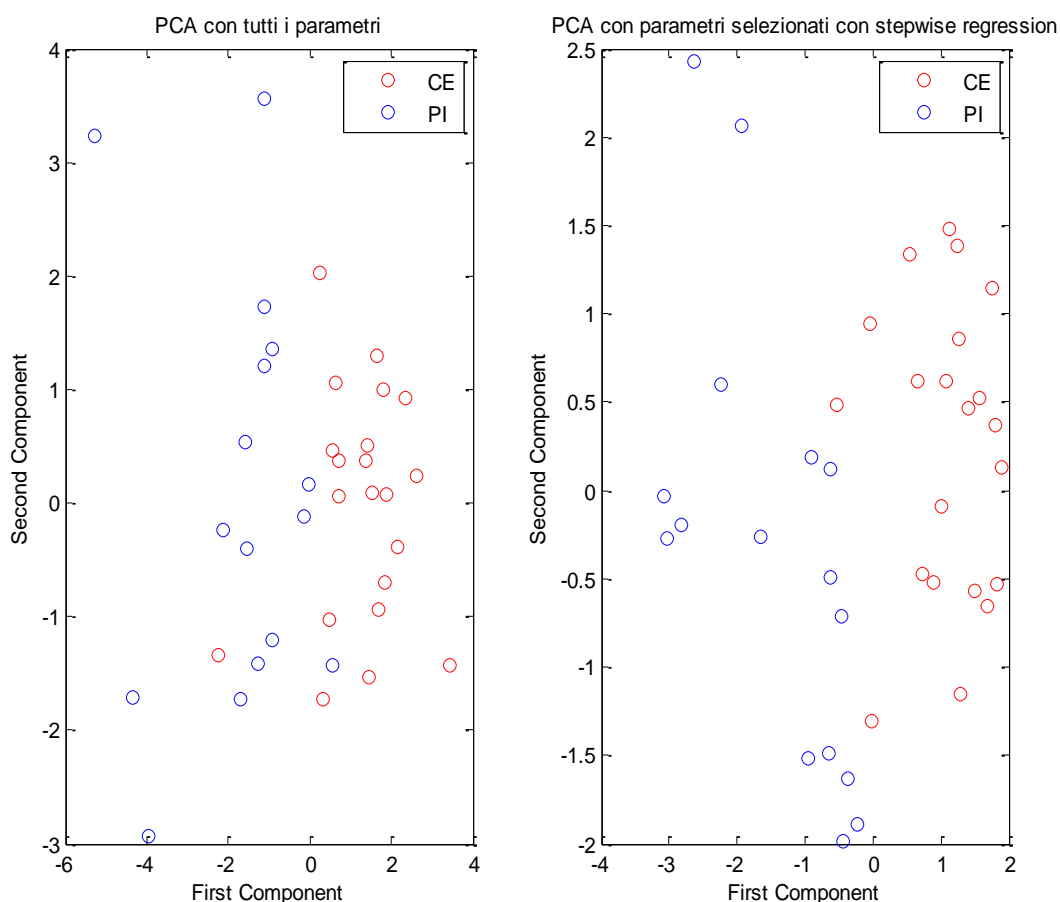
**Figura 45: Criteri dell'area "Spazio grafico della riga", nel test A in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

Le due differenze significative rilevate in quest'area sono legate alla *variazione massima di calibro* ( $p < 0.05$ ) e alla *dimensione errata della lettera* ( $p < 0.001$ ); come si può osservare da fig. 45 è sempre il gruppo di controllo ad avere un maggior numero di errori. Analizziamo nel dettaglio (fig. 46) l'ultima area per la quale sono state individuate differenze significative ( $p < 0.0001$ ) per il test A, il *pattern grafomotorio* (fig.43).



**Figura 46: Criteri dell'area "Pattern grafomotorio", nel test A in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

Per *schema grafo motorio errato, dismetrie nell'esecuzione delle traiettoria della lettera, inesatta legatura tra le lettere*, Pioltello (gruppo di controllo) risulta avere un punteggio di errori significativamente ( $p < 0.05$ ) maggiore (e quindi peggiore).

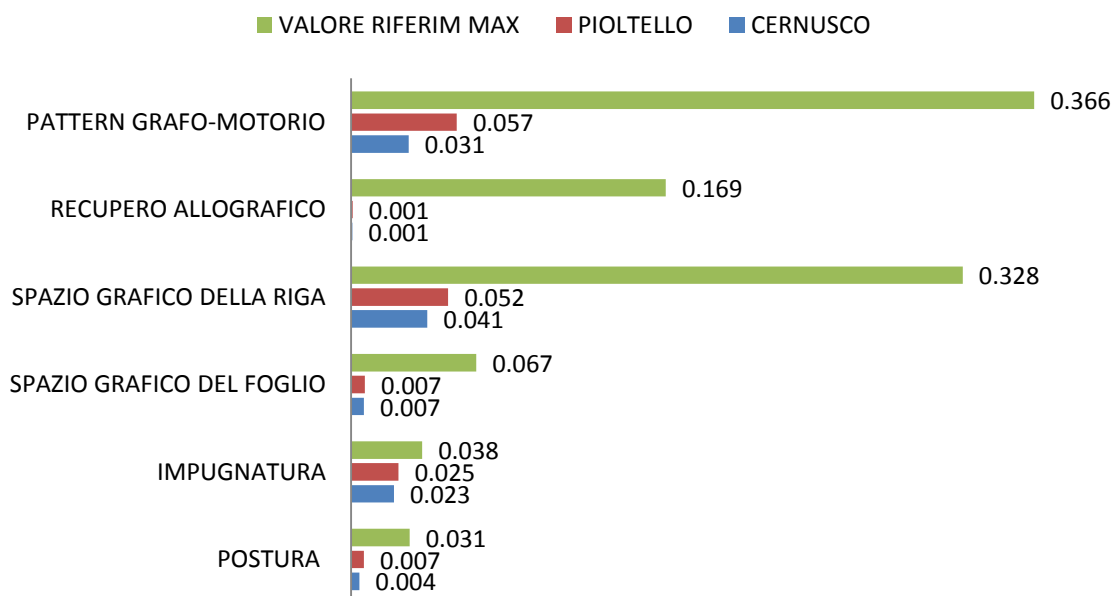


**Figura 47: Loading PCA plot ottenuto nel test A, usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo (scuola di Pioltello).**

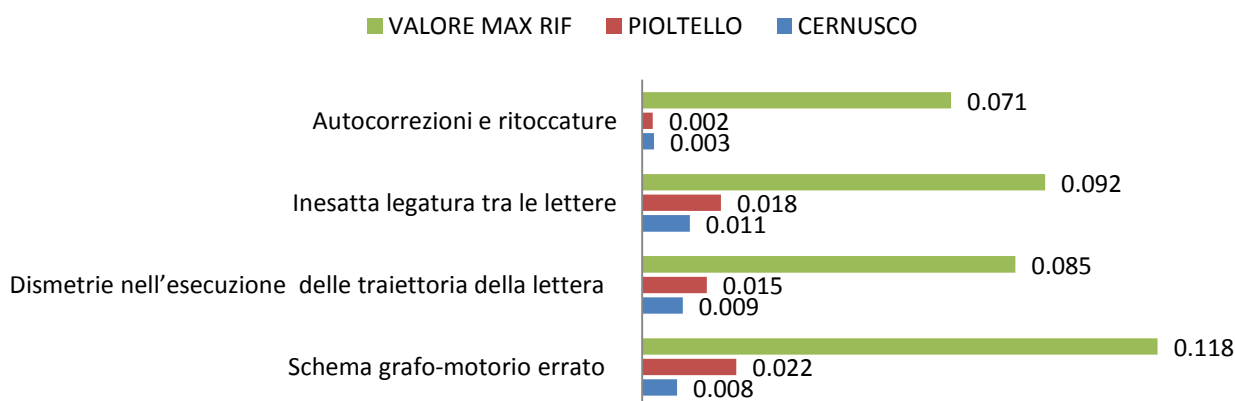
L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri dei singoli criteri qualitativi e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Postura inefficiente, Margine destro non rispettato, Dimensione errata della lettera, Confusione tra lettere simili, Schema grafo motorio errato, Dismetrie*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 37% e, nel secondo, pari al 57%.

La figura 47 mostra, per il test A, i pesi delle variabili calcolate in entrambi i gruppi e rispetto alle prime due componenti della PCA: i due gruppi risultano più distinguibili nel grafico a destra.

Adesso andiamo ad analizzare i punteggi ottenuti nelle due classi per il test di trascrizione veloce (test V). Il gruppo di bambini di Pioltello (Metodo tradizionale) anche in questa prova mostra un punteggio totale ( $0.14 \pm 0.03$ ) significativamente ( $p < 0.0001$ ) maggiore (e quindi peggiore) di quello della classe di Cernusco ( $0.11 \pm 0.03$ ). Rispetto al test A, il gruppo di controllo ottiene all'incirca lo stesso punteggio totale, mentre il gruppo che usa il metodo Terzi totalizza un numero leggermente superiore di errori, quindi quest'ultimo distingue meglio quanto richiesto dalle due prove.



**Figura 48: Punteggi medi per aree calcolati per il test V in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**



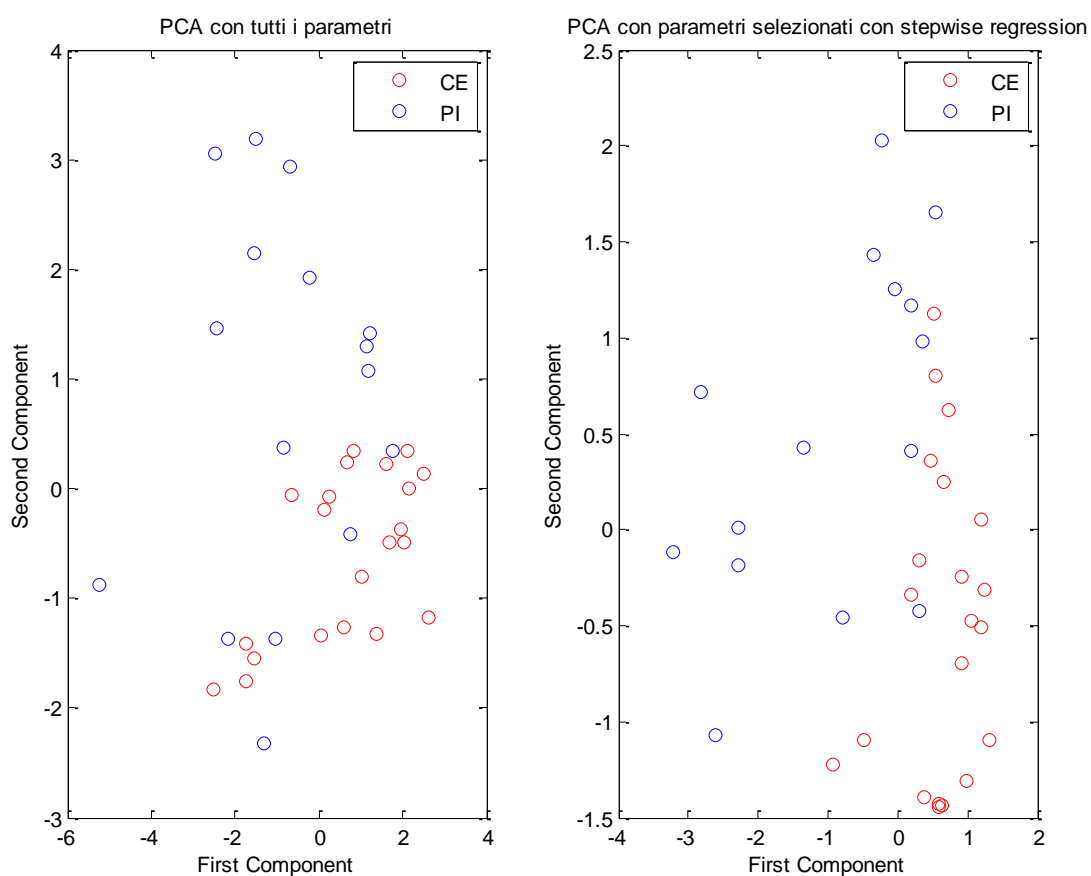
**Figura 49: Criteri dell'area "Pattern grafomotorio", nel test V in Cernusco-Metodo Terzi-(blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**



Andando nel dettaglio dei punteggi per area, si individuano differenze significative ( $p < 0.0005$ ) solo per il *pattern grafomotorio*.

Le differenze riscontrate in quest'area (fig. 49) riguardano: lo *schema grafo motorio errato* ( $p < 0.001$ ), le *dismetrie nell'esecuzione delle lettera* ( $p < 0.01$ ) e l'*inesatta legatura tra le lettere* ( $p < 0.05$ ).

Dopo aver confrontato le due scuole per ogni singolo parametro qualitativo, con il test di Wilcoxon, è stata successivamente effettuata l'analisi delle componenti principali (PCA), considerando prima tutti i parametri di qualità e poi solo una parte, selezionati tramite la stepwise regression.



**Figura 50: Loading PCA plot ottenuto nel test V, usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo (scuola di Pioltello).**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Postura inefficiente, Spazi irregolari tra parole, Schema grafomotorio errato, Dismetrie*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 34% e, nel secondo, pari al 64%. La figura 50 mostra, per il test V, i pesi delle variabili calcolate in

entrambi i gruppi e rispetto alle prime due componenti della PCA: i due gruppi risultano più distinguibili nel grafico a destra.

#### 4.3.1.2 Acquisizione 2012

La stessa analisi statistica dei dati è stata fatta per le acquisizioni delle grafie di dicembre 2012. In tale acquisizione i soggetti frequentano la quarta elementare.

Per quanto riguarda l'analisi dei parametri cinematici, dato il maggior numero di differenze significative rilevato dal test di Wilcoxon rispetto all'acquisizione 2011, i dati verranno inseriti in tabelle.

Per commentare i risultati del test A si farà riferimento alla tabella 15, per le medie e le deviazioni standard dei diversi parametri calcolati per la scuola di Cernusco-Metodo Terzi-(CE) e la scuola di Pioltello (PI), e alla tabella 16 per individuare i p-value, dati dal confronto di ogni parametro tra le due scuole (in rosso vengono mostrati quelli inferiori a 0.05). Analogamente per il test V si farà riferimento rispettivamente alla tabella 17, per medie e deviazioni standard, e alla tabella 18, per i p-value.

Si può osservare che, a differenza della prima acquisizione, la *durata totale* (durtot) di entrambe le prove è significativamente maggiore nella classe di Cernusco (Metodo Terzi). Per quanto riguarda la *lunghezza curvilinea totale del compito* (Lc tot), risulta una differenza sostanziale tra le due scuole in entrambe le prove di scrittura.

La *velocità curvilinea mediata su tutto il tracciato* (Vcm) risulta, inoltre, significativamente inferiore in Cernusco (Metodo Terzi). Si osservano valori più elevati, come ci si aspetta, nel test V. Stesso discorso vale per le velocità calcolate lungo la direzione orizzontale (Vxm) e verticale (Vym).

Il test di Wilcoxon, diversamente dall'acquisizione del 2011, non rileva alcuna differenza tra le due scuole per quanto riguarda la *durata totale delle staccate* (durtotstac), in entrambe le prove di scrittura. Il *numero delle componenti* (#comp), invece, sembra essere un parametro cinematico per il quale le due scuole continuano a differenziarsi, e risulta sempre circa il doppio, come per la prima acquisizione, nella scuola di Pioltello, sia nel test A che nel test V. Un discorso analogo può essere fatto per i relativi valori normalizzati per unità di spazio, di tempo e per lettera (#comp/m; #comp/m; #comp/lett). Si riscontrano valori significativamente più alti nella classe di Cernusco (diversamente dalla prima acquisizione in cui non sono state osservate delle differenze) sia per il *numero di stroke* (#stroke), sia per la *pressione media* (Pressm).

**Tabella 15: Parametri cinematici calcolati nel test A nell'acquisizione 2012, per Cernusco-Metodo Terzi-(CE) e Pioltello-Metodo tradizionale-(PI).**

	durtot (s)		Lc tot (mm)		Vcm (mm/s)		Vxm (mm/s)		Vym (mm/s)		durtotstac (s)		#comp		#stroke		Pressm		
	media	sd	Media	sd	media	Sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	
<b>PARAMETRI CALCOLATI SUL TRACCIATO</b>	CE	216.66	48.29	1722.66	396.07	12.73	3.00	6.08	1.50	9.27	2.47	76.63	18.17	58.29	13.53	743.86	191.02	631.43	150.53
	PI	160.85	20.38	1466.05	200.12	17.57	4.21	9.28	2.48	12.33	2.98	75.47	14.60	111.45	21.60	548.50	55.24	509.38	109.46
	stacm		#comp/s		#comp/m		#comp/#lett		#stroke/s		#stroke/m		#stroke/#lett		#lett/cm		ZCVy		
	media	sd	Media	sd	media	Sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	
CE	1280.39	330.39	0.28	0.09	35.44	11.74	0.53	0.12	3.42	0.28	441.34	116.87	6.72	1.69	0.66	0.11	761.67	134.29	
PI	653.96	166.56	0.70	0.16	77.37	18.70	1.03	0.20	3.43	0.32	382.62	74.46	5.08	0.50	0.75	0.10	693.60	63.16	
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLA COMPONENTE</b>	dur comp (ms)		Lc comp(mm)		Vcm (mm/s)		Vxm (mm/s)		Vym (mm/s)		Vcp (mm/s)		Vxp (mm/s)		Vyp (mm/s)		Pressm comp		
	media	sd	Media	sd	media	Sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	
CE	2505.34	755.65	31.06	10.15	11.86	3.11	6.55	1.98	7.49	2.16	30.50	7.78	20.58	5.12	25.39	7.02	577.49	139.92	
PI	817.16	313.86	13.83	4.38	17.57	4.17	10.11	2.70	11.47	2.63	34.46	6.11	24.85	4.83	28.88	5.69	464.26	102.05	
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLO STROKE</b>	dur str (ms)		Lc str (mm)		Vcm str(mm/s)		Vxm str(mm/s)		Vym str(mm/s)		Vcp str(mm/s)		Vxp str(mm/s)		Vyp str(mm/s)		Pressm str		
	media	sd	media	sd	media	Sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	
CE	188.63	12.15	1.69	0.48	11.40	2.66	5.67	1.40	8.10	2.13	18.31	4.55	10.47	2.70	15.03	4.25	608.62	143.65	
PI	155.30	13.98	1.77	0.36	15.96	3.93	8.91	2.42	10.96	2.72	23.85	5.28	15.69	3.92	19.60	4.72	461.30	95.23	

**Tabella 16: P-value dei confronti tra Cernusco (Metodo Terzi) e Pioltello per i parametri cinematici calcolati nel test A nell'acquisizione 2012.**

<b>PARAMETRI CALCOLATI SUL TRACCIATO</b>	durtot (ms)	Lc tot (mm)	Vcm (mm/s)	Vxm (mm/s)	Vym (mm/s)	durtotstac (ms)	#comp	#stroke	Pressm
	1.64E-04	8.76E-03	2.74E-04	6.96E-05	1.83E-03	8.86E-01	6.25E-07	2.74E-04	7.51E-03
	stacm	#comp/s	#comp/m	#comp/#lett	#stroke/s	#stroke/m	#stroke/#lett	#lett/cm	ZCVy
	2.97E-07	1.48E-07	5.89E-07	5.13E-07	9.69E-01	1.27E-01	3.89E-04	1.37E-02	1.30E-01
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLA COMPONENTE</b>	dur comp (ms)	Lc comp(mm)	Vcm (mm/s)	Vxm (mm/s)	Vym (mm/s)	Vcp (mm/s)	Vxp (mm/s)	Vyp (mm/s)	Pressm comp
	1.48E-07	5.89E-07	4.47E-05	1.07E-04	1.41E-05	6.99E-02	5.47E-03	1.21E-01	1.27E-02
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLO STROKE</b>	dur str (ms)	Lc str (mm)	Vcm str(mm/s)	Vxm str(mm/s)	Vym str(mm/s)	Vcp str(mm/s)	Vxp str(mm/s)	Vyp str(mm/s)	Pressm str
	5.15E-07	4.26E-01	2.48E-04	2.84E-05	1.67E-03	2.82E-03	7.77E-05	5.05E-03	4.98E-04

**Tabella 17: Parametri cinematici calcolati nel test V nell'acquisizione 2012, per Cernusco-Metodo Terzi-(CE) e Pioltello-Metodo tradizionale-(PI).**

		durtot (ms)		Lc tot (mm)		Vcm (mm/s)		Vxm (mm/s)		Vym (mm/s)		durtotstac (ms)		#comp		#stroke		Pressm	
		media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd
<b>PARAMETRI CALCOLATI SUL TRACCIATO</b>	<b>CE</b>	139.28	31.75	1792.48	423.53	20.13	4.91	9.95	2.56	14.76	3.81	47.29	13.06	54.29	13.46	528.38	82.78	642.06	165.03
	<b>PI</b>	100.02	13.27	1536.73	233.99	26.72	4.86	14.75	3.19	18.11	3.07	42.08	10.21	110.90	24.17	436.65	38.30	512.98	78.49
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLA COMPONENTE</b>		stacm		#comp/s		#comp/m		#comp/#lett		#stroke/s		#stroke/m		#stroke/#lett		#lett/cm		ZCVy	
		media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd
	<b>CE</b>	836.51	242.29	0.41	0.13	31.58	10.60	0.49	0.13	3.86	0.40	302.45	52.77	4.79	0.80	0.64	0.12	658.95	95.36
	<b>PI</b>	360.23	75.16	1.12	0.24	74.33	21.69	1.03	0.22	4.41	0.43	290.40	53.23	4.04	0.36	0.72	0.10	645.65	59.02
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLO STROKE</b>		dur comp (ms)		Lc comp(mm)		Vcm (mm/s)		Vxm (mm/s)		Vym (mm/s)		Vcp (mm/s)		Vxp (mm/s)		Vyp (mm/s)		Pressm comp	
		media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd
	<b>CE</b>	1781.54	554.37	34.52	10.18	18.77	4.87	10.50	2.88	12.20	3.41	47.00	12.42	31.67	8.17	40.09	11.26	596.27	154.81
	<b>PI</b>	563.39	226.71	14.94	6.17	26.51	4.76	15.81	3.39	16.62	2.76	49.48	8.00	36.35	6.72	41.02	7.55	469.76	77.25
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLO STROKE</b>		dur str (ms)		Lc str(mm)		Vcm str mm/s)		Vxm str(mm/s)		Vym str(mm/s)		Vcp str(mm/s)		Vxp str(mm/s)		Vyp str(mm/s)		Pressm str	
		media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd
	<b>CE</b>	172.42	22.01	2.36	0.47	18.50	4.76	9.41	2.38	13.41	3.75	30.20	7.41	17.93	4.43	25.56	7.03	616.17	156.40
	<b>PI</b>	132.58	10.30	2.16	0.37	24.66	4.60	14.31	3.14	16.43	2.93	36.38	6.18	25.27	5.06	29.58	5.22	467.09	69.26

**Tabella 18: P-value dei confronti tra Cernusco (Metodo Terzi) e Pioltello per i parametri cinematici calcolati nel test V nell'acquisizione 2012.**

<b>PARAMETRI CALCOLATI SUL TRACCIATO</b>	<b>durtot (ms)</b>	<b>1.58E-05</b>	<b>2.57E-02</b>	<b>3.71E-04</b>	<b>3.18E-05</b>	<b>6.42E-03</b>	<b>3.15E-01</b>	<b>5.45E-07</b>	<b>1.64E-04</b>	<b>3.95E-03</b>
	<b>stacm</b>	<b>4.65E-08</b>	<b>7.21E-08</b>	<b>1.31E-06</b>	<b>3.90E-07</b>	<b>3.35E-04</b>	<b>4.42E-01</b>	<b>5.48E-04</b>	<b>7.40E-02</b>	<b>7.44E-01</b>
<b>PARAMETRI MEDIATI NELLA COMPONENTE</b>	<b>dur comp (ms)</b>	<b>1.11E-07</b>	<b>1.31E-06</b>	<b>6.96E-05</b>	<b>4.47E-05</b>	<b>1.82E-04</b>	<b>4.42E-01</b>	<b>5.86E-02</b>	<b>5.93E-01</b>	<b>5.93E-03</b>
	<b>dur str (ms)</b>	<b>5.89E-07</b>	<b>2.25E-01</b>	<b>5.49E-04</b>	<b>1.58E-05</b>	<b>6.94E-03</b>	<b>8.76E-03</b>	<b>8.66E-05</b>	<b>5.52E-02</b>	<b>9.69E-04</b>

Altro parametro che si differenzia in maniera significativa nelle due scuole è la *durata media della staccata* (stacm), in entrambe le prove di scrittura; il valore medio di tale parametro, calcolato nella scuola di Cernusco (Metodo Terzi), è pari a più del doppio rispetto a quello rilevato nel gruppo di controllo.

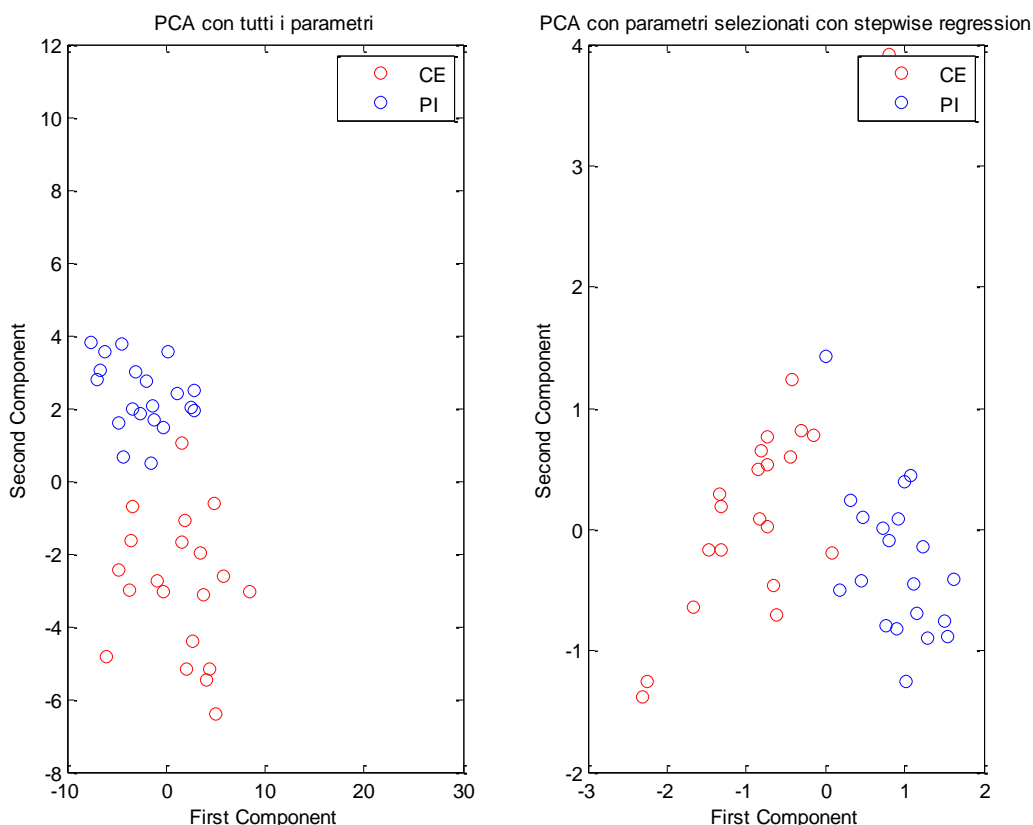
A differenza dei risultati della prima acquisizione, risulta dal test di Wilcoxon che le due scuole si differenziano in maniera significativa nel *numero di stroke/lettera*, in entrambe le prove di scrittura. In particolare i bambini che adottano il metodo Terzi scrivono in maniera più frammentata (valori maggiori), nonostante spezzino di meno la traccia scritta. I valori misurati nella scuola di Cernusco (Metodo Terzi) per la *durata e la lunghezza media della componente* sono maggiori del doppio di quelli rilevati nella scuola di Pioltello. Si potrebbe pensare che la maggiore durata è attribuibile solo al fatto che devono realizzare una maggiore traccia scritta, ma in realtà le velocità misurate in tutte le direzioni risultano essere nettamente inferiori rispetto a quelle rilevate nel gruppo di controllo. Tra le velocità di picco quella che risulta significativamente maggiore nel gruppo di controllo è la velocità di picco lungo la direzione di trascinamento della penna ovvero lungo x ( $V_{xp}$ ).

I valori di pressione mediati nella componente confermano quanto affermato sul tracciato totale.

A differenza della prima acquisizione, in cui non si erano osservate differenze significative nei parametri calcolati nello stroke, in quest'acquisizione i due gruppi si distinguono. La *durata media dello stroke* (dur str) risulta significativamente maggiore in Cernusco (Metodo Terzi), in entrambe le prove, mentre la *lunghezza media* (Lc str) è circa la stessa per i due gruppi.

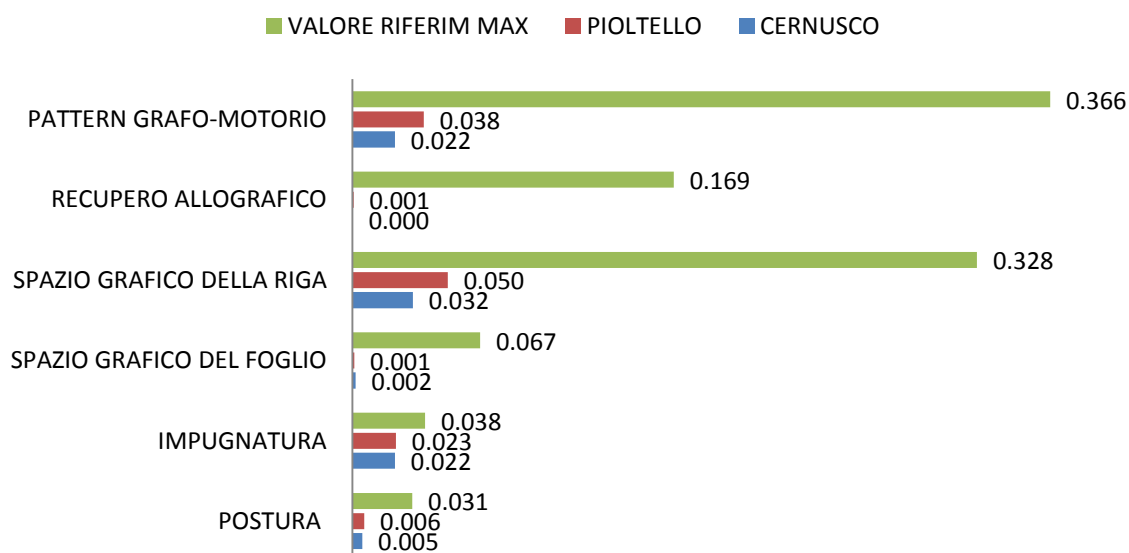
Di conseguenza le velocità calcolate lungo tutte le direzioni risultano significativamente maggiori in Pioltello, non solo i valori medi ( $V_{cm}$  str;  $V_{xm}$  str;  $V_{ym}$  str), ma anche quelli di picco ( $V_{cp}$  str;  $V_{xp}$  str;  $V_{yp}$  str). Anche nello stroke la *pressione media* (Pressm str) risulta significativamente più alta in Cernusco (Metodo Terzi).

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V (si mostrano solo i risultati relativi a quest'analisi perché analoghi a quelli osservati nel test A), effettuata utilizzando prima tutti i parametri cinematici e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Durata totale della prova, Numero di componenti*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 72% e, nel secondo, pari al 100%. La figura 51 mostra che i due gruppi sono ben distinguibili in entrambi i grafici.



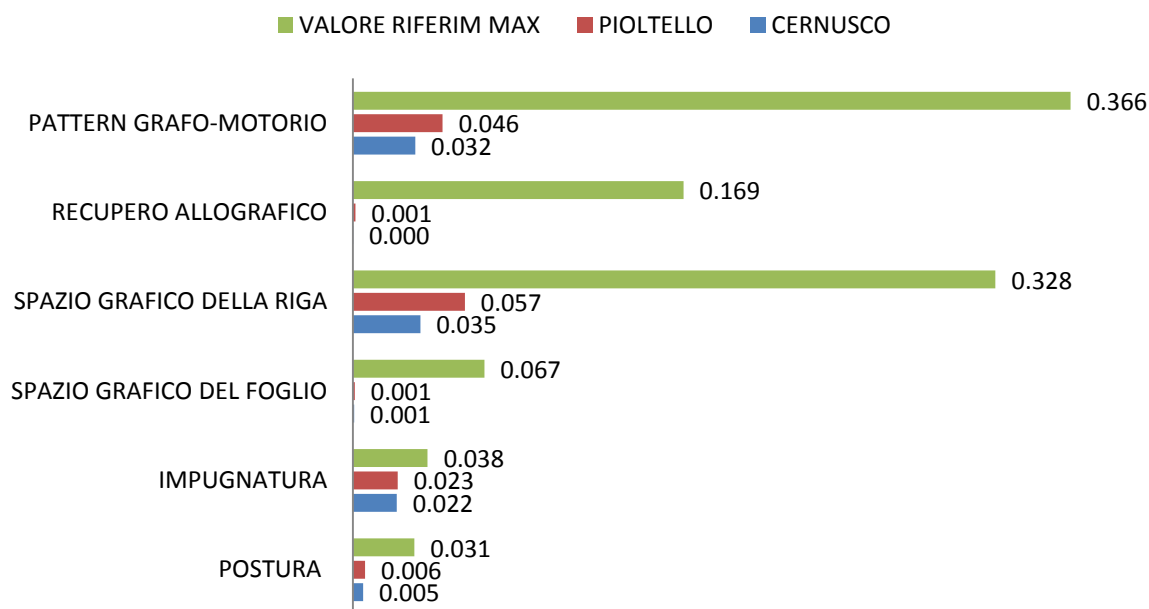
**Figura 51: Loading PCA plot ottenuto nel test V, usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo.**

Andiamo a vedere se le peggiori performance cinematiche sono associate almeno a una migliore qualità nella realizzazione delle prove.



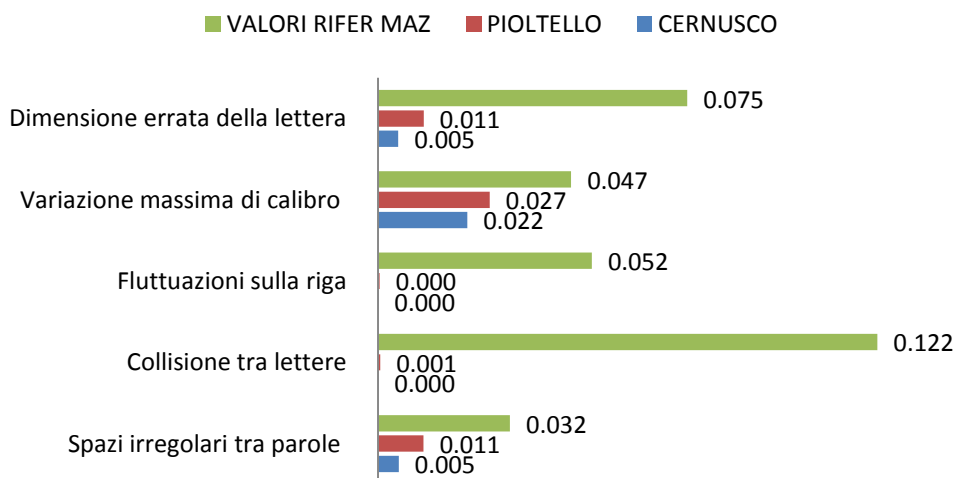
**Figura 52: Punteggi medi per aree calcolati per il test A in Cernusco-Metodo Terzi- (blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

La scuola di Pioltello totalizza un punteggio maggiore (e quindi peggiore) sia nella trascrizione in modalità accurata ( $0.11 \pm 0.02$  vs  $0.08 \pm 0.02$ ) sia in quella veloce ( $0.13 \pm 0.02$  vs  $0.09 \pm 0.03$ ). Per capire più in dettaglio, si osservano i punteggi di area (fig. 52) e i relativi criteri.



**Figura 53: Punteggi medi per aree calcolati per il test V in Cernusco-Metodo Terzi- (blu) e Pioltello (rosso), in verde i corrispondenti valori di riferimento massimi per area.**

In entrambe le prove di scrittura risulta che le due scuole si differenziano significativamente ( $p < 0.0001$ ) per l'area dello *spazio grafico della riga* (figg. 52, 53), andiamo ad analizzare i singoli criteri di quest'area (fig.54).



**Figura 54: Punteggi dei criteri dell'area "Spazio grafico della riga", test A.**

In entrambe le prove di scrittura (accurata e veloce) i valori medi dell'area *spazio grafico del foglio* sono maggiori per gli alunni della classe di Pioltello, che commettono quindi più errori di questo tipo rispetto agli alunni della scuola di Cernusco (Metodo Terzi). Guardando i criteri qualitativi di appartenenza (si mostra solo la fig. 54 relativa al test A, per le analogie osservate con il test V), vediamo che gli alunni di Pioltello totalizzano un numero di errori significativamente maggiore ( $p < 0.05$ ) in *spazi irregolari tra parole, collisioni tra lettere, variazione massima di calibro e dimensione errata della lettera* rispetto agli alunni di Cernusco (Metodo Terzi). Quest'ultimi, proprio per la maggior attenzione che riserva il metodo di apprendimento Terzi su questo aspetto, hanno, infatti, una maggior capacità di organizzazione dello spazio extrapersonale e in modo particolare dello spazio grafico della riga.

Gli errori di *recupero allografico* sono significativamente ( $p\text{-value} < 0.01$ ) maggiori per Pioltello solo nella trascrizione veloce (fig. 53), sia per il criterio della *confusione tra lettere simili* (0.0009 vs 0) sia per il criterio della *confusione del carattere* (0.0001 vs 0). Infine, risultano dal test di Wilcoxon valori di  $p\text{-value}$  inferiori a 0.05 per il *pattern grafo-motorio*, in entrambe le modalità di prova di scrittura (figg. 52-53).

Andiamo ad analizzare i criteri afferenti a quest'area nel dettaglio sia per la prova accurata (fig. 55) che per quella veloce (fig. 56).

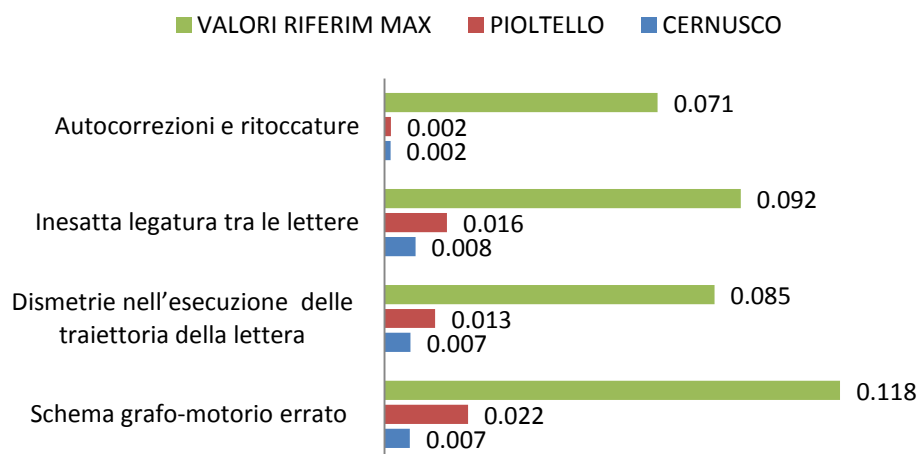


Figura 55: Criteri dell'area "Pattern grafomotorio", nel test A.

Per entrambe le prove non risultano differenze per errori di *autocorrezioni e ritoccatore*. Le differenze significative ( $p < 0.01$ ) riguardano, invece, *dismetrie, schema-grafomotorio errato e inesatta legatura tra le lettere*, nella prova accurata, solo gli ultimi due parametri, nella prova veloce.



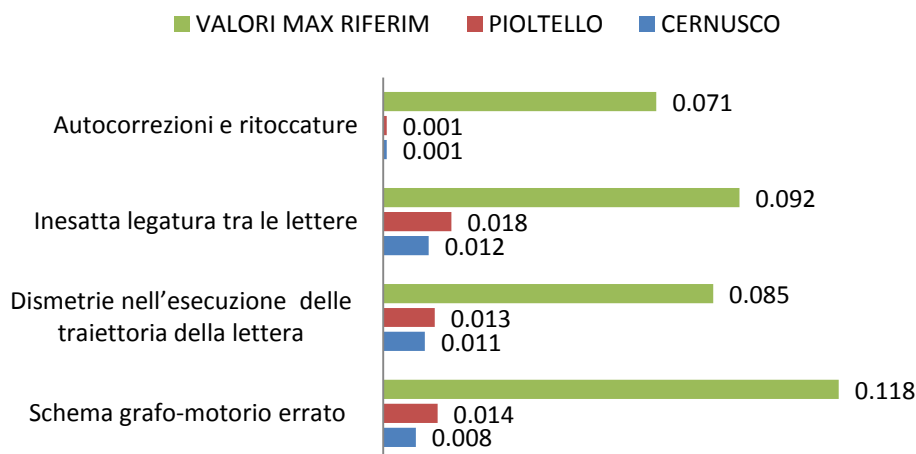


Figura 56: Criteri dell'area "Pattern grafomotorio", nel test V.

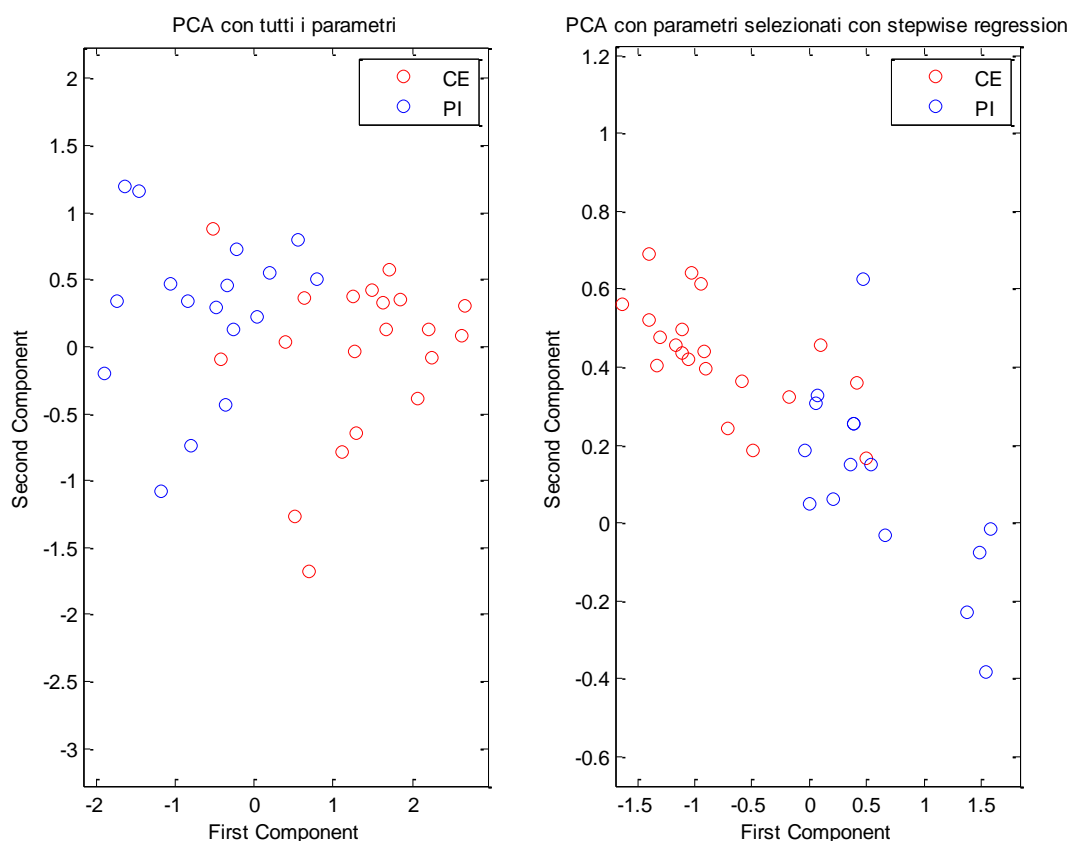


Figura 57: Loading PCA plot ottenuto nel test V, usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Soggetti metodo Terzi (scuola di Cernusco); Cerchio blu: Gruppo di controllo (scuola di Pioltello).

Dopo aver confrontato le due scuole per ogni singolo parametro qualitativo con il test di Wilcoxon, è stata successivamente effettuata l'analisi delle componenti principali (PCA), considerando prima tutti i parametri di qualità e poi solo una parte, selezionati tramite la

stepwise regression (*Collisioni, Fluttuazioni, Dimensione errata della lettera, Schema grafomotorio errato*). Consideriamo l'analisi fatta solo per il test V, dato che i risultati di qualità, ottenuti in quest'acquisizione, risultano simili per le due prove.

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression, mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 33% e, nel secondo, pari al 70%. La figura 57 mostra, per il test V, il loading plot delle variabili calcolate in entrambi i gruppi e rispetto alle prime due componenti della PCA: i due gruppi risultano più distinguibili nel grafico a destra.

### 4.3.2 Differenze tra le due acquisizioni

Le differenze dovute all'apprendimento e allo sviluppo nei singoli gruppi sono state valutate in ogni gruppo tramite il test di Wilcoxon per campioni accoppiati eseguito tra l'acquisizione fatta nel 2011 e quella del 2012.

#### 4.3.2.1 Classe sperimentale

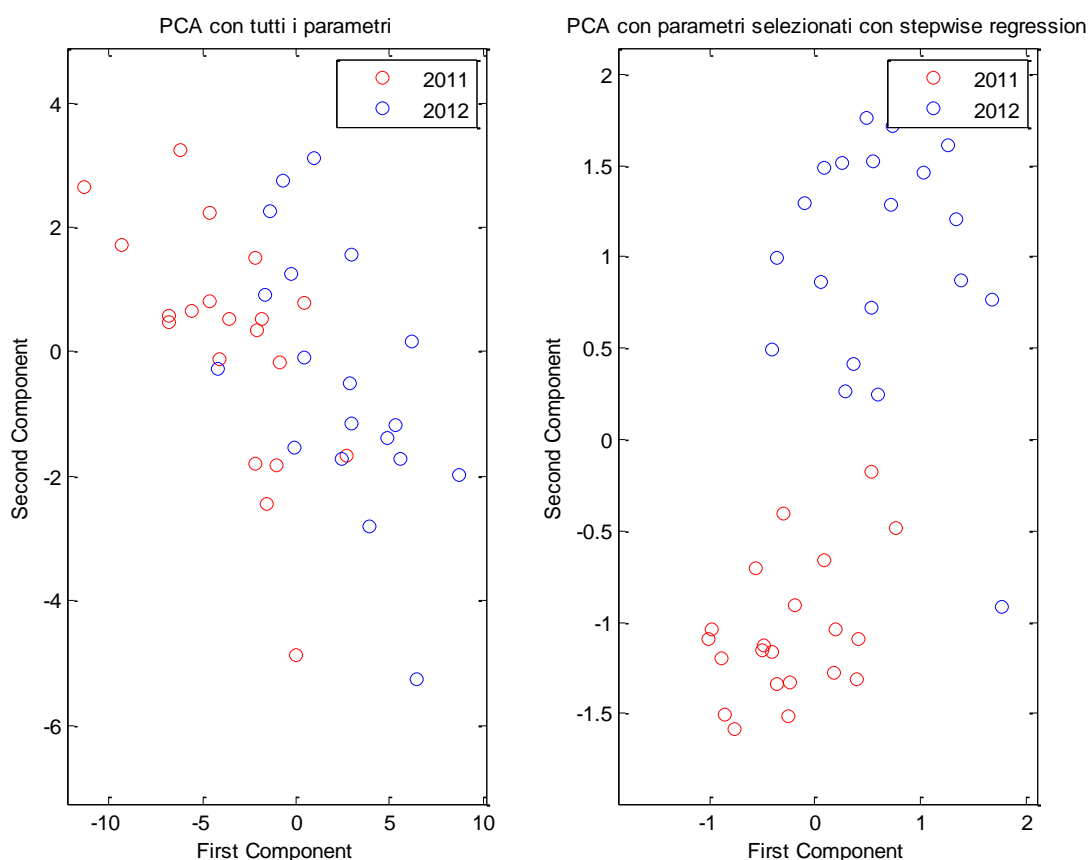
Iniziamo con l'analisi delle sole differenze significative riscontrate per i parametri cinematici. Nella prova accurata, tra l'acquisizione 2011 e l'acquisizione 2012:

- La lunghezza e durata totale della traccia diminuiscono
- Il numero di stroke diminuisce
- Il numero di stroke per lettera diminuisce
- Il numero di lettere per cm aumenta
- La durata e lunghezza media della componente diminuiscono
- Le velocità lungo il tracciato, nella componente e nello stroke diminuiscono
- La lunghezza dello stroke diminuisce

Tra tutti questi parametri quello che preoccupa è la riduzione della velocità, in quanto ci si aspetterebbe l'esatto contrario. Gli altri parametri seguono, invece, il normale andamento con la scolarità.

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri cinematici e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Lunghezza totale della traccia, Numero di lettere/cm, Numero di lettere*), mostra che le prime due

componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 71% e, nel secondo, pari all'80%.



**Figura 58: Loading PCA plot ottenuto nel test A eseguito dai bambini della scuola di Cernusco (Metodo Terzi), usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

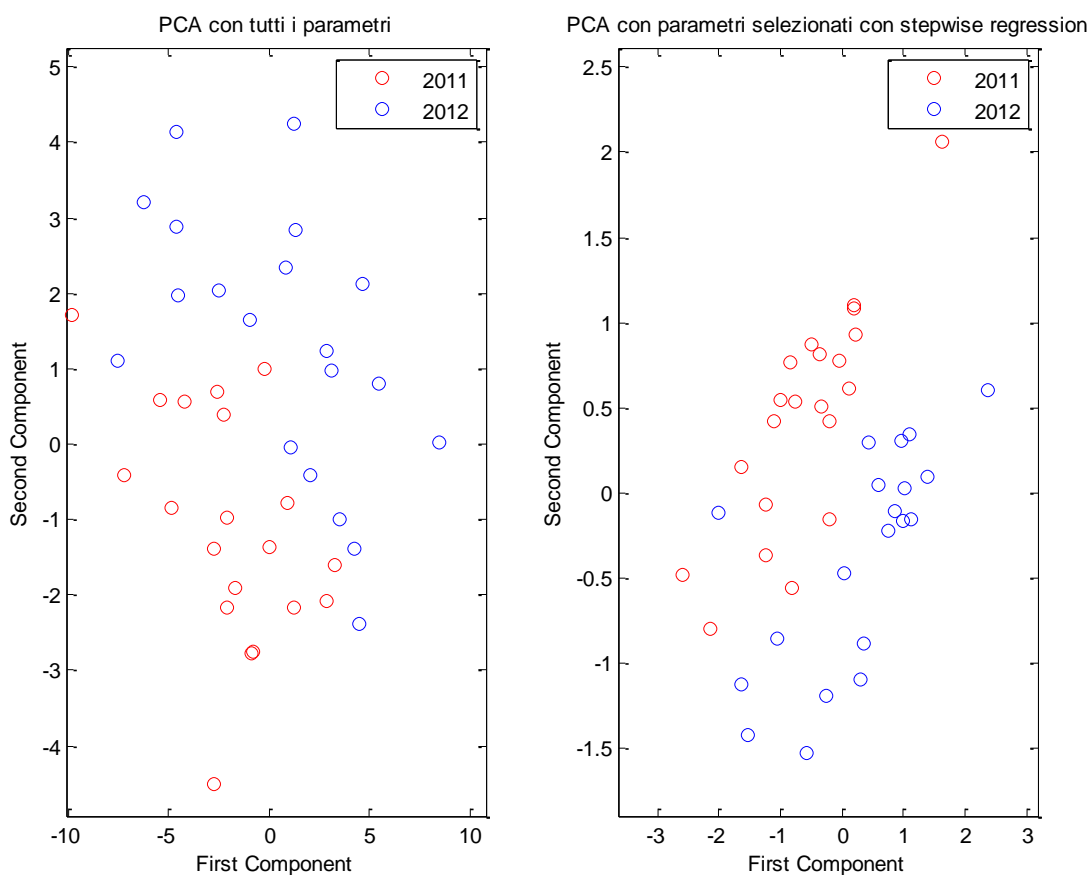
La figura 58 mostra, per il test A, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Cernusco (Metodo Terzi) per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: le due acquisizioni risultano più distinguibili nel grafico a destra.

Nella prova veloce, tra l'acquisizione 2011 e l'acquisizione 2012:

- La lunghezza e la durata totale diminuiscono
- La durata totale delle staccate diminuisce
- Il numero stroke diminuisce
- La durata media della staccata diminuisce
- Il numero di lettere per cm aumenta
- Il numero di stroke per lettera diminuisce
- La durata e lunghezza media della componente diminuiscono

- Le velocità risultano invariate.

Anche in questa prova, l'unico parametro che non rispecchia la normale evoluzione con l'apprendimento è la velocità.



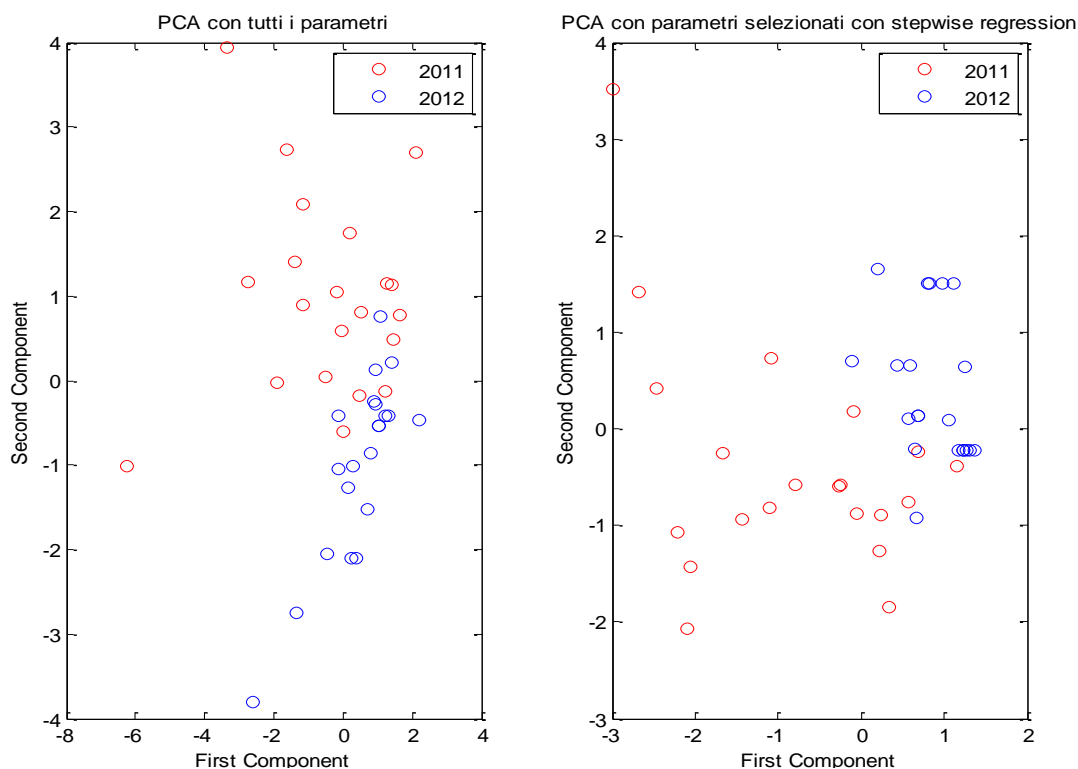
**Figura 59: Loading PCA plot ottenuto nel test V eseguito dai bambini della scuola di Cernusco (Metodo Terzi), usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri cinematici e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Lunghezza totale della traccia, Numero di lettere, Velocità orizzontale media del tratto discendente, Velocità verticale media del tratto discendente*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 72% e nel secondo pari all'82%. La figura 59 mostra, per il test V, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Cernusco (Metodo Terzi) per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA.

Per quanto riguarda invece i parametri qualitativi tra seconda e quarta elementare, nella prova accurata, nonostante non varino il punteggio totale e i totali per area:

- Gli errori di collisione diminuiscono
- Le fluttuazioni diminuiscono
- La variazione massima di calibro aumenta
- Gli errori di dimensione errata della lettera diminuiscono
- Gli errori di confusione tra carattere si riducono

Come ci si aspetta, tutti gli errori si riducono, tranne quelli legati al calibro, probabilmente dovuti al processo di adattamento alle nuove righe utilizzate in quarta elementare.

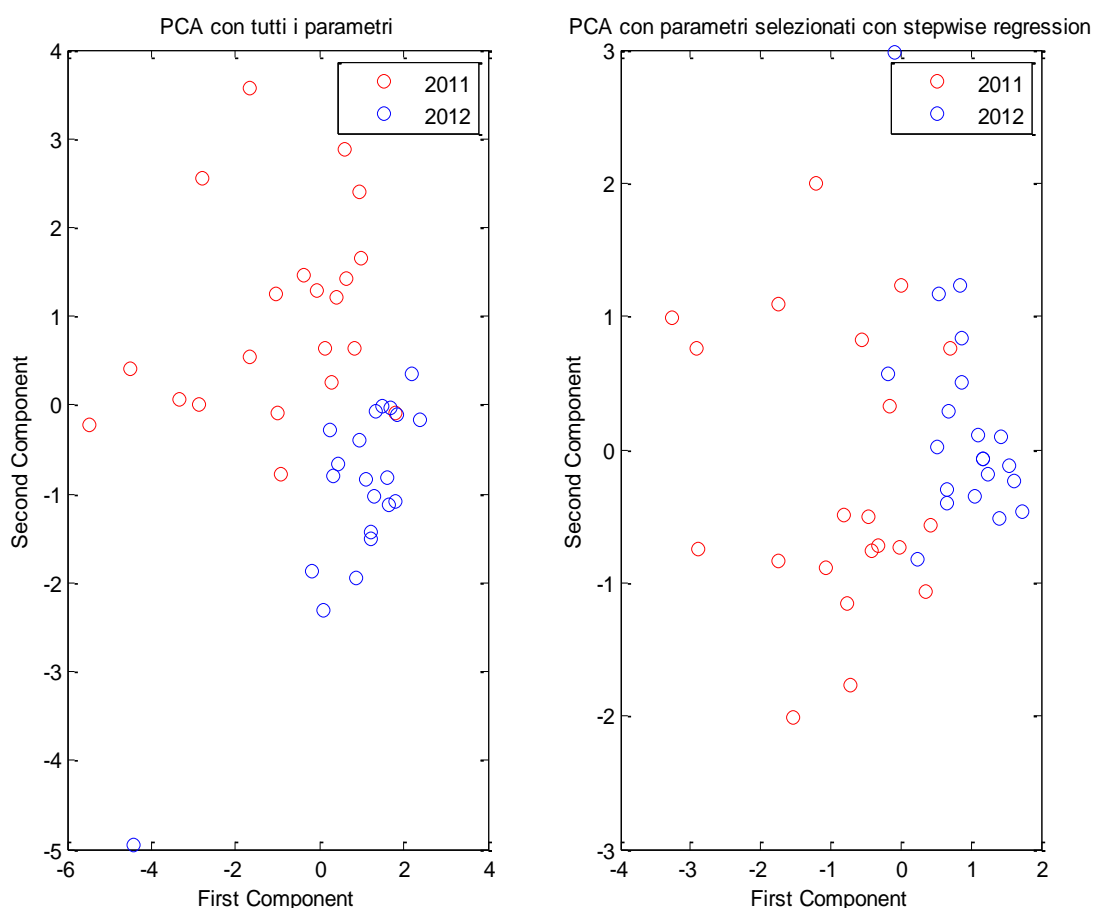


**Figura 60: Loading PCA plot ottenuto nel test A eseguito dai bambini della scuola di Cernusco (Metodo Terzi), usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Fluttuazioni, Variazione di calibro, Dimensione errata della lettera, Confusione del carattere*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 30% e, nel secondo, pari al 68%. La figura 60 mostra, per il test A, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Cernusco (Metodo Terzi) per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA.

Nella prova veloce, tra 2011 e 2012, nonostante il punteggio totale rimanga pressoché invariato, si osserva qualche differenza significativa in alcune aree, in particolare diminuiscono gli errori riguardanti lo *spazio grafico del foglio* e il *recupero allografico*. Andando a vedere nello specifico le differenze dei singoli criteri, si ha una riduzione degli errori per i seguenti item:

- Margine destro
- Collisioni
- Fluttuazioni
- Dimensione errata della lettera
- Confusione lettere
- Confusione carattere
- Autocorrezioni e ritoccatore



**Figura 61:** Loading PCA plot ottenuto nel test V eseguito dai bambini della scuola di Cernusco (Metodo Terzi), usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Margine destro non rispettato, Confusione del carattere, Schema grafomotorio errato, Autocorrezioni*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 40% e, nel secondo, pari al 63%.

La figura 61 mostra, per il test V, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Cernusco (Metodo Terzi) per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: le due acquisizioni risultano più distinguibili nel grafico a destra.

#### 4.3.2.2 Gruppo di controllo

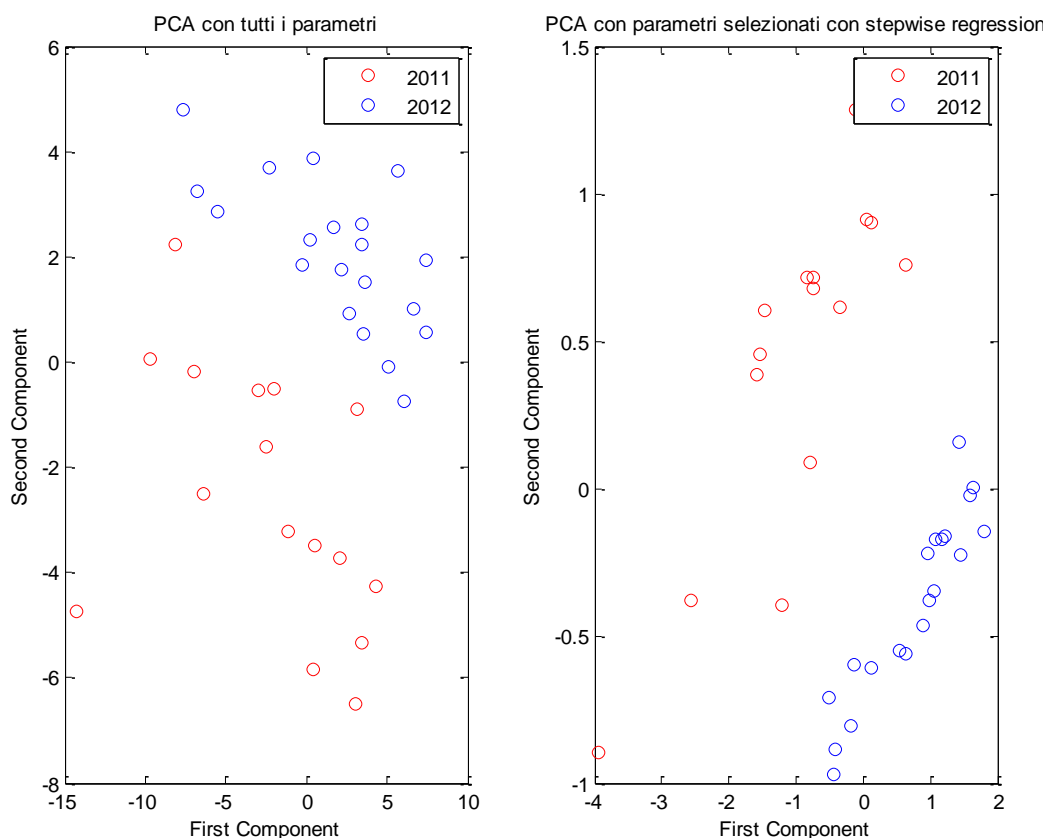
In modo del tutto analogo al paragrafo precedente, si analizzeranno le sole differenze significative dei parametri calcolati. Iniziamo da quelle riscontrate per i parametri cinematici. Nella prova accurata, tra l'acquisizione 2011 e l'acquisizione 2012:

- La lunghezza e la durata totale della traccia diminuiscono
- La durata totale delle staccate diminuisce
- Il numero di stroke e numero componenti diminuiscono
- La pressione media diminuisce
- Il numero di stroke per lettera diminuisce
- Il numero di lettere per cm aumenta
- La durata e lunghezza media della componente diminuiscono
- Le velocità lungo il tracciato e nello stroke rimangono invariate
- La lunghezza e durata dello stroke diminuiscono

Tutti i parametri sembrano rispecchiare il normale sviluppo con la scolarità.

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri cinematici e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Lunghezza totale della traccia, Lunghezza verticale media dello stroke*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 69% e, nel secondo, pari al 100%.

La figura 62 mostra, per il test A, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Pioltello per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: le due acquisizioni risultano ancora più distinguibili nel grafico a destra.



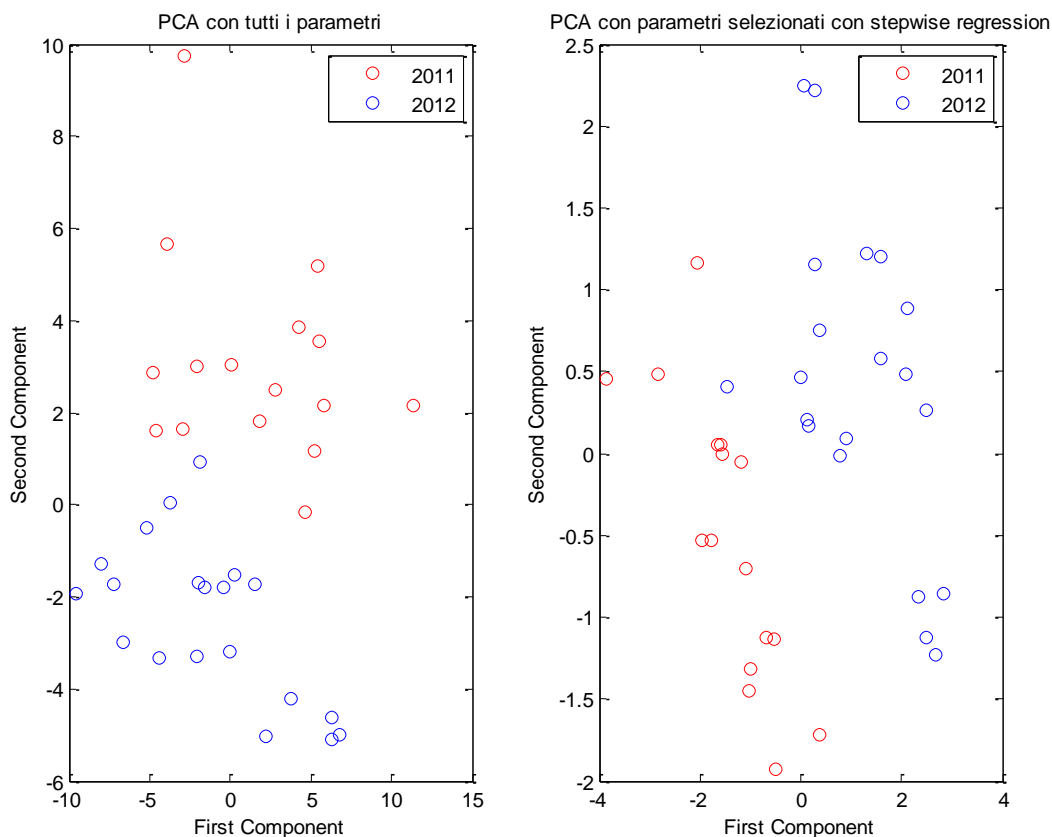
**Figura 62: Loading PCA plot ottenuto nel test A eseguito dai bambini della scuola di Pioltello (gruppo di controllo), usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

Nella prova veloce, tra l'acquisizione 2011 e l'acquisizione 2012:

- La durata e lunghezza totale diminuiscono
- Le velocità lungo x, y e curvilinea media e di picco nel tracciato totale, nella componente e nello stroke aumentano
- La durata totale staccate diminuisce
- Il numero componenti e numero stroke diminuiscono
- La pressione diminuisce
- La durata media della staccata diminuisce
- Il numero lettere/cm aumenta
- Il numero stroke diminuisce
- La durata e lunghezza media della componente si riducono
- La durata e lunghezza media dello stroke si riducono



Queste differenze rispecchiano il fisiologico miglioramento con la scolarità delle performance cinematiche.



**Figura 63: Loading PCA plot ottenuto nel test V eseguito dai bambini della scuola di Pioltello (gruppo di controllo), usando prima tutti i parametri cinematici (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri cinematici e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Velocità orizzontale media del tracciato, Numero di lettere/cm, Numero di componenti/m, Lunghezza verticale della componente*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 67% e, nel secondo, pari al 78%.

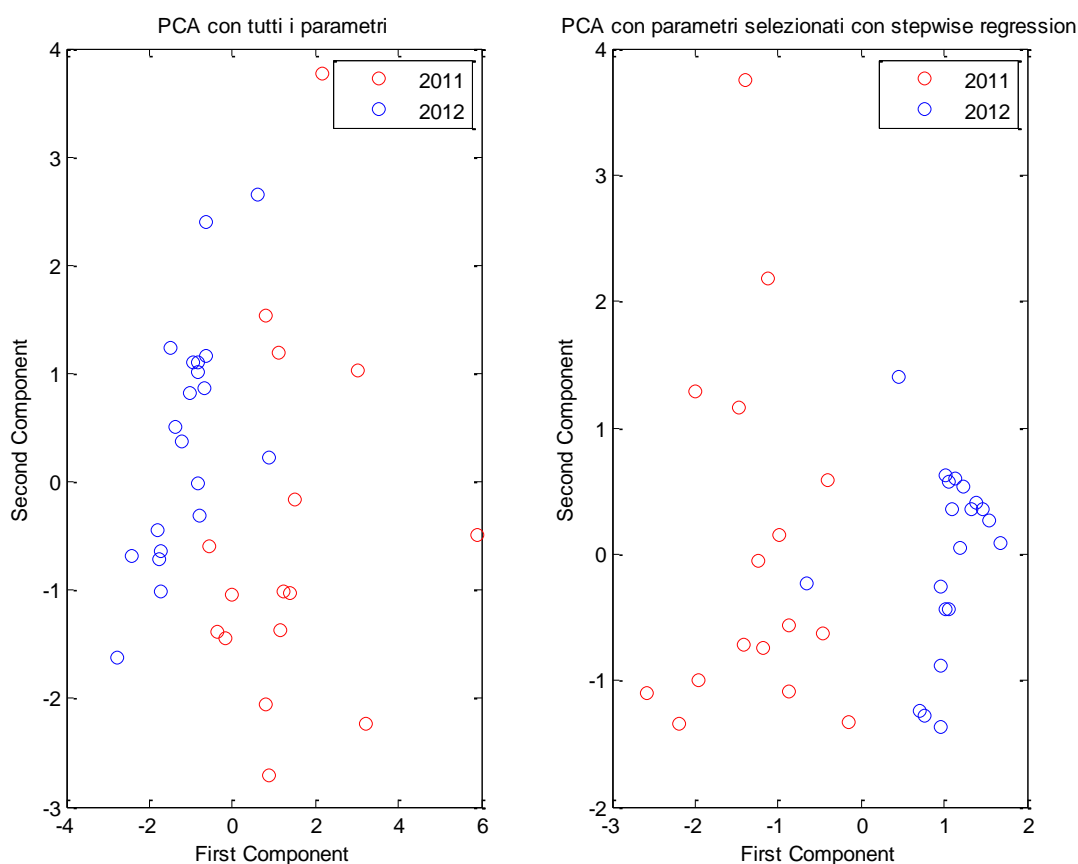
La figura 63 mostra, per il test V, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Pioltello per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: le due acquisizioni risultano ancora più distinguibili nel grafico a destra.

Passiamo ad analizzare i dati qualitativi rilevati nel gruppo di controllo.

Partendo dal test A, nell'acquisizione 2012, il punteggio totale degli errori qualità è inferiore (quindi migliore) a quello riscontrato nel 2011, così come i punteggi delle aree, *spazio grafico del foglio e pattern grafo motorio*.

Andando a vedere i singoli criteri nel dettaglio, tra 2011 e 2012, gli errori di:

- margine destro del foglio diminuiscono
- spazi irregolari tra parole aumentano
- collisioni diminuiscono
- fluttuazioni diminuiscono
- dimensione errata della lettera diminuiscono
- schema grafo motorio errato diminuiscono
- autocorrezioni diminuiscono



**Figura 64: Loading PCA plot ottenuto nel test A eseguito dai bambini della scuola di Pioltello (gruppo di controllo), usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test A, effettuata utilizzando prima tutti i parametri dell'analisi di qualità e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Margine destro non rispettato, Variazione di calibro, Dimensione errata della lettera,*

*Schema grafomotorio errato*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 34% e, nel secondo, pari al 71%.

La figura 64 mostra, per il test A, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Pioltello per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: le due acquisizioni risultano ancora più distinguibili nel grafico a destra, in cui si osserva una minore dispersione per i dati relativi alla seconda acquisizione.

Passando al test di trascrizione veloce, il punteggio totale di qualità risulta invariato, così come i punteggi di area, tranne per lo *spazio grafico del foglio*, i cui errori associati risultano diminuire nell'acquisizione del 2012.

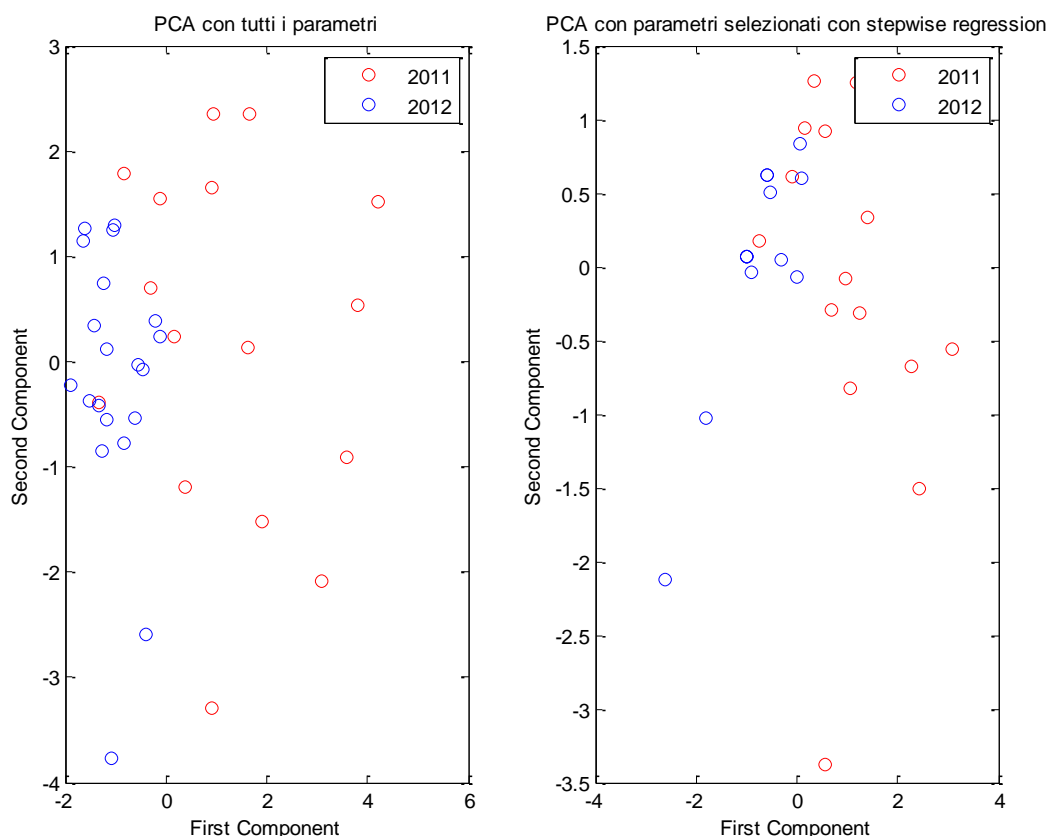
Andando a vedere i singoli criteri nel dettaglio, tra 2011 e 2012, gli errori di:

- Margine destro del foglio diminuiscono
- Spazi irregolari tra parole aumentano
- Collisioni diminuiscono
- Fluttuazioni diminuiscono
- Variazioni di calibro aumentano
- Schema grafo motorio errato diminuiscono
- Autocorrezioni diminuiscono

In entrambi i test, il gruppo di Pioltello nell'acquisizione del 2012 mostra delle performance qualitative migliori rispetto alla precedente acquisizione.

L'analisi delle componenti principali (PCA) nel test V, effettuata utilizzando prima tutti i parametri dell'analisi di qualità e poi i parametri selezionati tramite stepwise regression (*Margine destro non rispettato, Fluttuazioni, Variazione di calibro*), mostra che le prime due componenti hanno una varianza spiegata associata, nel primo caso, pari al 32% e, nel secondo, pari al 79%.

La figura 65 mostra, per il test V, il loading plot delle variabili calcolate nei soggetti di Pioltello per entrambe le acquisizioni e rispetto alle prime due componenti della PCA: in entrambi i grafici si osserva una minore dispersione per i dati relativi alla seconda acquisizione.



**Figura 65: Loading PCA plot ottenuto nel test V eseguito dai bambini della scuola di Pioltello (gruppo di controllo), usando prima tutti i parametri qualitativi (grafico a sinistra) e poi solo quelli selezionati dalla stepwise regression (grafico a destra). Cerchio rosso: Acquisizione 2011; Cerchio blu: Acquisizione 2012.**

## 4.4 Conclusioni

### 4.4.1 Differenze tra i due metodi

Per quanto riguarda la prima acquisizione di scrittura (2011), si è osservato che il metodo di apprendimento Terzi, porta a scrivere con movimenti più continui possibili, quindi le durate delle componenti risultano maggiori nella scuola di Cernusco (Metodo Terzi) perché tendono a staccare meno la penna dal foglio, a parità di durata totale del compito.

Considerando che gli allievi di Cernusco (Metodo Terzi) allungano la traccia totale del compito, staccando il meno possibile la penna dal foglio, essi tendono a frammentare solo poco più (ma non significativamente) rispetto agli alunni di Pioltello. Infatti i valori medi sono molto vicini tra le due scuole (il test di Wilcoxon non rivela differenze significative). Gli alunni di Pioltello risultano più veloci nel tracciato ma, perdono più tempo con la penna staccata dal foglio, eseguendo la prova nello stesso tempo del gruppo

di Cernusco (Metodo Terzi). È vero che gli alunni di Cernusco (Metodo Terzi) impiegano maggior tempo nel tracciato, ma recuperano tale tempo staccando il meno possibile la penna dal foglio.

La strategia di movimento adottata dai bambini della classe di Cernusco (Metodo Terzi) rispecchia esattamente i principi di insegnamento previsti dal metodo Terzi.

Dall'analisi qualitativa gli alunni di Cernusco risultano totalmente superiori rispetto a quelli di Pioltello in entrambe le prove.

Per confermare gli effetti del metodo nel lungo termine è stato necessario fare una seconda acquisizione. Si è atteso che i due gruppi giungessero a un determinato grado di maturazione e lo scorso dicembre è stato fatto un follow-up.

Nella seconda acquisizione è stato rilevato un aumento del gap delle performance cinematiche tra i due gruppi. Innanzitutto il gruppo in cui viene sperimentato il metodo Terzi adesso esegue il compito in un tempo maggiore rispetto al gruppo di controllo, quindi la strategia di stare meno tempo con la penna staccata non ha più i suoi risultati, in quanto il grado di automatizzazione raggiunto dal gruppo di Pioltello, permette di scrivere con una maggiore velocità.

Si è inoltre osservata una maggiore frammentazione nel gruppo di Cernusco (Metodo Terzi), quindi il fatto che i soggetti eseguano i compiti staccando il meno possibile la penna dal foglio non è sinonimo di una scrittura più fluida e automatizzata.

La pressione della penna sul foglio esercitata dai bambini di Cernusco (Metodo Terzi) risulta significativamente maggiore e ciò comporta un maggiore affaticamento nel bambino.

A fronte di un quadro cinematico a favore del gruppo di controllo, si sono rilevate, come per la prima acquisizione, delle performance qualitative migliori nel gruppo di Cernusco (Metodo Terzi). La percezione dello spazio grafico e del corretto schema grafo motorio da seguire nella realizzazione del grafema è maggiormente sviluppata nel gruppo che adotta il metodo Terzi.

Nonostante la qualità del prodotto scritto sia superiore nei bambini che adottano il metodo Terzi, c'è da dire che anche i soggetti del gruppo di controllo scrivono bene, in quanto si mantengono largamente al di sotto del valore massimo di riferimento relativo a ogni criterio qualitativo.

A questo punto bisognerebbe capire quanto ne valga la pena per i bambini di Cernusco (Metodo Terzi) perdere in performance cinematiche per guadagnarne in qualità.

#### **4.4.2 Differenze tra le due acquisizioni**

Per quanto riguarda le differenze tra le due acquisizioni, la scuola di Cernusco (Metodo Terzi) non segue il normale sviluppo delle caratteristiche cinematiche, in quanto, nell'acquisizione del 2012, i valori di velocità rilevati nella precedente acquisizione si riducono (nella prova accurata) o al massimo rimangono gli stessi (nella prova veloce), nonostante il gruppo mantenga delle buone caratteristiche qualitative del prodotto scritto. I parametri cinematici rilevati nei bambini del gruppo di controllo seguono, invece, l'andamento con la scolarità rilevato nello studio precedente illustrato nel Capitolo 3; inoltre anche i parametri qualitativi subiscono un miglioramento nell'acquisizione del 2012, più evidente nella trascrizione accurata.

# Conclusioni

---

Il primo obiettivo della ricerca condotta nel corso di questi anni, è stato quello di sviluppare strumenti in grado di analizzare le caratteristiche grafo-motorie della scrittura. Dopo una profonda analisi dello stato dell'arte, nel Capitolo 2, sono stati mostrati gli strumenti di supporto ideati al fine di consentire un'analisi completa delle caratteristiche dinamiche e qualitative del prodotto scritto.

Per l'analisi delle caratteristiche dinamiche, è stato utilizzato l'approccio digitale, partendo quindi dall'uso di tavolette grafiche per poi sviluppare algoritmi che fossero in grado di elaborare il segnale acquisito. Il software per le elaborazioni è stato concepito in due versioni, una *user-friendly* e una automatizzata, usate distintamente a seconda delle esigenze. La *versione user-friendly* utilizza il tool GUI (Graphical User Interface) di Matlab e permette, su una singola acquisizione, di osservare determinati grafici e dati, a seconda delle scelte dell'utente. Nella *versione automatizzata* sono state implementate essenzialmente le stesse funzioni di elaborazione, ma, a differenza della precedente, permette di analizzare una maggiore mole di dati, processando più acquisizioni allo stesso tempo. È stata inoltre sviluppata un'ulteriore applicazione che permettesse di implementare e migliorare uno dei modelli più conosciuti di caratterizzazione del profilo di velocità dello stroke.

Al fine di ottenere un quadro analitico più completo, è stata introdotta una scala di valutazione, caratterizzata da due elementi innovativi rispetto a quanto utilizzato ad oggi nel settore. Tale scala, concepita a partire da un'attenta analisi della letteratura e da check-list e griglie osservative utilizzate nella pratica clinica, consente di misurare parametri legati alla qualità della produzione grafica, in termini di numero di errori normalizzati rispetto a quanto effettivamente prodotto dallo scrivente. Oltre a questo primo elemento di novità, è stata offerta agli esperti la possibilità di ponderare i diversi criteri coinvolti nella valutazione in funzione della loro incidenza, utilizzando uno dei metodi di analisi multicriterio più diffusi in letteratura, l'Analytic Hierarchy Process. L'applicazione di tale metodo, resa possibile grazie alla collaborazione di un team di 10 esperti, ha portato all'identificazione dei diversi pesi, con un grado di coerenza delle matrici dei confronti a coppie compilate dai valutatori minore dell'1%, dieci volte inferiore al limite di inconsistenza.

Gli strumenti di analisi introdotti si sono rivelati utili nelle due applicazioni mostrate nel presente elaborato.

I dati ottenuti dallo studio trasversale, descritto nel Capitolo 3, indicano che molti dei parametri considerati rispecchiano l'evoluzione dell'apprendimento, suggerendo che i relativi valori sono specifici per ogni fascia d'età.

Come ci si aspettava, in tutti i test, i soggetti aumentano la loro produzione dello scritto con l'età: infatti nei test a tempo fisso il numero di lettere aumenta e nelle prove di trascrizione la durata totale si riduce.

Si sono identificati quattro domini caratteristici del processo di scrittura: *velocità*, *arrangiamento spaziale*, *automazione* e *tempo di pianificazione motoria*.

Il processo di *arrangiamento spaziale* è strettamente legato alla progressiva riduzione della dimensione del rigo, che si ha a partire dalla seconda elementare fino in terza media, come mostrato dalla riduzione del numero di lettere/cm. Quest'ultimo fenomeno non è imposto dallo spazio grafico del rigo, ma da un processo di *arrangiamento spaziale* intrinseco dello sviluppo delle abilità di scrittura. Per l'*arrangiamento spaziale* si potrebbe, inoltre, pensare di adottare la lunghezza dello stroke come misura automatizzata alternativa al numero di lettere/cm.

La progressiva riduzione del numero di stroke/lettera dalla seconda elementare alla terza media suggerisce un miglioramento continuo del grado di *automatizzazione* (minore frammentazione).

Per quanto riguarda il dominio della *velocità*, in tutti i test la velocità di picco dello stroke calcolata lungo x aumenta tra le classi e questo fenomeno potrebbe essere associato a un incremento della velocità di trascinarsi della penna. Al contrario, le velocità lungo la direzione verticale restano circa costanti, suggerendo che le capacità motorie necessarie per la realizzazione della scrittura, si sviluppano soprattutto lungo la direzione orizzontale, che, d'altra parte, è quella prevalentemente coinvolta nello svolgimento di un compito scritto. È stato osservato un aumento della velocità curvilinea di picco solo nelle trascrizioni della frase, probabilmente perché la componente linguistica caratterizzante queste prove costituisce un elemento trainante, al contrario di quanto si potesse immaginare.

Passando al dominio del *tempo di pianificazione motoria*, la durata media dello stroke diminuisce con l'età, raggiungendo un limite inferiore di circa 120-140 ms; ciò suggerisce che lo sviluppo riguardante il tempo di pianificazione si completa in quinta elementare.



Tuttavia la riduzione della durata media della componente osservata in tutti i test anche dopo la quinta elementare, suggerisce, seppur in maniera meno evidente, che un'ulteriore riduzione del tempo di pianificazione si ha fino in terza media.

In generale, i parametri selezionati in questo studio presentano andamenti, in funzione del grado di apprendimento, simili in tutti i test. Tuttavia quando è richiesta una maggiore accuratezza nella trascrizione, si osserva una minore automatizzazione, una velocità ridotta e un maggior tempo di pianificazione motoria. Per quanto riguarda i test a tempo fisso, le competenze matematiche richieste nel test NUM migliorano le performance cinematiche rispetto a una prova meno ecologica quale la sequenza ripetitiva di UNO.

Per quanto riguarda le differenze di genere si è osservato che nei primi anni di scuola le femmine sono più performanti, rispetto ai compagni dell'altro sesso, nella trascrizione delle frasi, in cui vengono richieste sia una maggiore accuratezza che una maggiore velocità di produzione. Questo gap che si riduce progressivamente fino alla quarta elementare, potrebbe rappresentare un vantaggio per le femmine nella routine scolastica, ma i maschi sembrano colmarlo quando la pratica risulta essere più consolidata.

L'ottimizzazione del modello cinematico, implementato per la caratterizzazione dei profili di velocità dello stroke, ha permesso inoltre di individuare e valutare, all'interno dello stesso campione, dei parametri che potrebbero risultare utili per una migliore comprensione dell'organizzazione motoria. I valori dei parametri misurati, dopo le modifiche apportate all'algoritmo, sembrano avere un senso rispetto alle variabili del sistema neuromuscolare che rappresentano. L'approssimazione lognormale del profilo di velocità dello stroke risulta essere quindi una buona soluzione e potrebbe offrire interessanti opportunità per studi futuri sul controllo motorio, come ad esempio la creazione di un data base di parametri neuromuscolari o l'implementazione di strumenti per il riconoscimento o per la valutazione della grafia.

La dimensione del campione ci ha permesso di fare uno studio dello sviluppo delle caratteristiche motorie della grafia con l'apprendimento, e le basse deviazioni standard permetteranno di considerare i valori medi dei parametri come riferimento per lo sviluppo di metodi diagnostici e riabilitativi, permettendo la quantificazione di deficit legati al movimento della mano in pazienti della stessa età (e possibilmente dello stesso sesso, almeno per i primi anni) con disturbi dell'apprendimento.

Lo studio condotto sulla sperimentazione del Metodo Terzi ha consentito di validare lo strumento di analisi implementato per la valutazione della qualità della grafia.

## Conclusioni

I risultati ottenuti hanno mostrato che le strategie messe in atto dal gruppo sperimentale e dal gruppo di controllo sono totalmente diverse, portando di conseguenza a risultati differenti.

I primi mostrano delle caratteristiche cinematiche inferiori rispetto al gruppo di controllo, che risultano maggiormente evidenti nell'ultima acquisizione fatta; d'altra parte il gruppo di controllo commette un maggior numero di errori (nonostante le sue prestazioni qualitative migliorino significativamente nell'acquisizione del 2012) rispetto al gruppo in cui viene adottato il Metodo Terzi, pur mantenendosi largamente al di sotto della soglia massima di errore di ogni criterio.

# Allegato I

---

## CALCOLO PUNTEGGIO POSTURA

1. Segnare di seguito solo se c'è l'errore:

### CAPO:

- ERRORE:** se NON è sollevato e tenuto a giusta distanza dal foglio.  
(Es.: chinato in avanti, molto vicino al foglio, capo reclinato per poter guardare ciò che scrive, capo poggiato sulla mano o sul banco)

### TRONCO:

- ERRORE:** se NON è dritto o leggermente chinato in avanti.  
(Es.: appoggiato al banco, deviato verso destra o sinistra, sdraiato sul banco)

### PIEDI:

- ERRORE:** se NON sono poggiati a terra.  
(Es.: gamba piegata sotto la coscia opposta, postura scorretta)

### MANO DI APPOGGIO:

- ERRORE:** se NON è poggiata sul foglio per stabilizzarlo.  
(Es.: a sostegno della testa, tenuta sotto il banco o in posto diverso dalla corretta posizione sul foglio)

### MANO CHE SCRIVE:

- ERRORE:** se l'avambraccio e il gomito NON sono poggiati sul banco.

### POLSO:

- ERRORE:** se NON è poggiato sul banco e in linea con la mano.  
(Es.: flesso verso l'interno e/o sollevato dal banco)

2. Contare gli errori segnati al punto 1. e scrivere il risultato come SOMMA:

SOMMA =

3. Dividere la SOMMA (punto 2.) per 6 e riportare il risultato come PUNTEGGIO POSTURA:

$$\text{PUNTEGGIO POSTURA} = \text{SOMMA} / 6 = \boxed{\phantom{000000}}$$

### CALCOLO PUNTEGGIO IMPUGNATURA

1. Segnare di seguito solo se c'è l'errore:

#### MANO CHE SCRIVE:

**ERRORE:** se NON è rispettata l'altezza della impugnatura (cm 1,5-2) dalla punta.

(Es.: impugnatura troppo vicina alla punta matita/penna o troppo lontana)

**ERRORE:** se NON è rispettata l'impugnatura con 2 dita di prensione (pollice + indice) e dito di appoggio (medio); anulare e mignolo reclinati verso l'interno della mano a suo sostegno).

(Es.: con 3 dita di prensione (pollice+indice+medio) con appoggio sull'anulare; con 4 o 5 dita di prensione)

**ERRORE:** se il pollice scivola sull'indice/medio, bloccandone i movimenti.

2. Contare gli errori segnati al punto 1. e scrivere il risultato come SOMMA:

$$\text{SOMMA} = \boxed{\phantom{000000}}$$

3. Dividere la SOMMA (punto 2.) per 3 e riportare il risultato come PUNTEGGIO IMPUGNATURA:

$$\text{PUNTEGGIO IMPUGNATURA} = \text{SOMMA} / 3 = \boxed{\phantom{000000}}$$

# Bibliografia

---

- [1] P. Tressoldi e G. Sartori, Neuropsicologia della scrittura in età evolutiva, in: *Manuale di Neuropsicologia dell'età evolutiva*, Bologna: Zanichelli, 1995.
- [2] G. Denes e L. Cipollotti, «Dislessie e disgrafie acquisite,» in *Manuale di neuropsicologia*, Bologna, Zanichelli editore, 1990, p. 423–463.
- [3] P. Tressoldi e C. Cornoldi, Batteria per le valutazione della scrittura e della competenza ortografica nella scuola dell'obbligo, Seconda edizione a cura di, Firenze: Giunti O.S., 2000.
- [4] P. Tressoldi e C. Cornoldi, Batteria per la valutazione della Scrittura e della Competenza Ortografica nella Scuola dell'Obbligo, Prima edizione a cura di, Giunti O.S., 1991.
- [5] G. Van Galen, Handwriting: a developmental perspective. In *Motor development in early and later childhood: Longitudinal approaches*, Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- [6] M. Borean, *Tesi di laurea*, Trieste: Università degli studi di Trieste, 2001.
- [7] R. Sassoon, *Handwriting: a New Perspective*, Cheltenham: Stanley Thornes, 1990.
- [8] A. Thomassen e G. VanGalen, Handwriting is a motor task: experimentation, modelling and simulation. In *Approaches to the study of Motor control and learning*, North Holland: Elsevier Science, 1992.
- [9] A. Thomassen e H. Teulings, The development of handwriting. In *the psychology of written language.*, New York: John Wiley, 1983.
- [10] R. Sassoon, «Handwriting Problems: A different view of the written trace,» *Handwriting Review*, vol. 3, p. 64–69, 1989.

## Bibliografia

- [11] E. Barnes, «A consideration of the Matthew effect in beginning writing: A reply to Saintrop,» *Handwriting Review*, vol. 13, p. 59–63, 1999.
- [12] J. Copley e J. Ziviani, «Kinesthetic sensitivity and handwriting ability in grade one children,» *Australian Occupational Therapy Journal*, vol. 37, p. 39–43, 1990.
- [13] H. Myklebust, *Development disorder of written language*, vol. 1, New York: Grune & Stratton, 1965.
- [14] L. Blason, M. Borean, L. Bravar e S. Zoia, *Il corsivo dalla A alla Z – La teoria*, Edizioni Erikson, 2004.
- [15] A. Luria, *Neuropsicologia del linguaggio grafico*, Padova: Edizioni Messagero, 1984.
- [16] V. Berninger e D. Whitaker, «Theory-based branching diagnosis of writing disabilities,» *School Psychology Review*, vol. 22, n. 4, pp. 623-642, 1993.
- [17] C. Conference, «Raccomandazioni Cliniche sui DSA,» 26 Gennaio 2007. [Online]. Available: [http://www.airipa.it/disturbi\\_apprendimento/disturbi\\_apprendimento.php](http://www.airipa.it/disturbi_apprendimento/disturbi_apprendimento.php).
- [18] P. Giovanardi Rossi e T. Malaguti, *Valutazione delle abilità di scrittura*, Trento: Erickson, 1996.
- [19] A. Van Gemmert e H. Teulings, «Advances in graphonomics: studies on fine motor control, its development and disorders,» *Human Movement Science*, vol. 25, p. 447–453, 2006.
- [20] N. Dounskaia, A. Van Gemmert, B. Leis e G. Stelmach, «Biased wrist and finger coordination in Parkinsonian patients during performance of graphical tasks,» *Neuropsychologia*, vol. 47, pp. 2504-14, 2009.
- [21] R. Elble, M. Brilliant, K. Leffler e C. Higgins, «Quantification of essential tremor in writing and drawing,» *Movement disorders*, vol. 11, pp. 70-8, 1996.
- [22] M. Popovic, E. Dzoljic e V. Kostic, «A method to assess hand motor blocks in

- Parkinson's disease with digitizing tablet,» *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, vol. 216, pp. 317-24, 2008.
- [23] A. Van Gemmert, H. Teulings, J. Contreras-Vidal e G. Stelmach, «Parkinson's disease and the control of size and speed in handwriting,» *Neuropsychologia*, vol. 37, pp. 685-94, 1999.
- [24] J. Phillips, R. Ogeil e F. Müller, «Alcohol consumption and handwriting: A kinematic analysis,» *Human Movement Science*, n. 28, pp. 619-632, 2009.
- [25] K. Lange, L. Mecklinger, S. Walitza, G. Becker, M. Gerlach, M. Naumann e O. Tucha, «Brain dopamine and kinematics of graphomotor functions,» *Human Movement Science*, vol. 25, pp. 492-509, 2006.
- [26] R. Mergl, G. Juckel, J. Rihl, V. Henkel, M. Karner, P. Tigges, A. Schroter e U. Hegerl, «Kinematical analysis of handwriting movements in depressed patients,» *Acta Psychiatrica Scandinavica*, vol. 109, p. 383–391, 2004.
- [27] R. Mergl, P. Mavrogiorgou, G. Juckel, Z. M. e H. U., «Can a subgroup of OCD patients with motor abnormalities and poor therapeutic response be identified?,» *Psychopharmacology*, vol. 179, pp. 826-837, 2005.
- [28] P. Tigges, R. Mergl, T. Frodl, E. Meisenzahl, J. Gallinat, A. Schroter, M. Riedel, N. Muller, M. H. N. e U. Hegerl, «Digitized analysis of abnormal hand-motor performance in schizophrenic patients,» *Schizophrenia Research*, vol. 45, p. 133–143, 2000.
- [29] B. Engel-Yeger, L. Nagauker-Yanuv e S. Rosenblum, «Handwriting performance, self-reports, and perceived self-efficacy among children with dysgraphia.,» *American Journal of Occupational Therapy*, vol. 63, pp. 182-92, 2009.
- [30] L. Hamstra-Bletz e A. Blote, «A longitudinal study on dysgraphic handwriting in primary school,» *Journal of Learning Disability*, vol. 26, p. 689–699, 1993.
- [31] S. Rosenblum, S. Parush e P. Weiss, «Computerized temporal handwriting characteristics of proficient and non-proficient handwriters,» *American Journal of*

*Occupational Therapy*, vol. 57, pp. 129-38, 2003.

- [32] B. Smits-Engelsman e G. Van Galen, «Dysgraphia in children: lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay?,» *Journal of Experimental Child Psychology*, vol. 67, pp. 164-84, 1997.
- [33] B. Smits-Engelsman, A. Niemeijer e G. Van Galen, «Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability,» *Human Movement Science*, vol. 20, pp. 161-82, 2001.
- [34] S. Rosenblum, D. Chevion e P. Weiss, «Using data visualization and signal processing to characterize the handwriting process,» *Pediatric Rehabilitation*, vol. 9, p. 404–417, 2006.
- [35] G. Van Galen e J. Weber, «On-line size control in handwriting demonstrates the continuous nature of motor programs,» *Acta Psychologica (Amsterdam)*, vol. 100, pp. 195-216, 1998.
- [36] P. Mavrogiorgou, R. Mergl, P. Tigges, J. El Hussein, A. Schröter, G. Juckel, M. Zaudig e U. Hegerla, «Kinematic analysis of handwriting movements in patients with obsessive–compulsive disorder.,» *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, vol. 70, pp. 605-612, 2001.
- [37] R. Mergl, P. Tigges, A. Schroter, H. Moller e U. Hegerl, «Digitized analysis of handwriting and drawing movements in healthy subjects: methods, results and perspectives,» *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 90, p. 157–169, 1999.
- [38] S. Rosenblum, A. Dvorkin e P. Weiss, «Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting,» *Human Movement Science*, vol. 25, p. 608–621, 2006.
- [39] V. W. Berninger, S. Graham, N. Weintraub, Shafer e W., «The development of handwriting speed and legibility in grades 1 through 9,» *Journal of Educational Research*, vol. 92, p. 42–52, 1998.
- [40] A. Blöte e L. Hamstra-Bletz, «A longitudinal study on the structure of handwriting,»



- Perceptual and Motor Skills*, vol. 72, p. 983–994, 1991.
- [41] J. Contreras-Vidal, H. Teulings e G. Stelmach, «Elderly subjects are impaired in spatial coordination in fine motor control,» *Acta Psychologica*, vol. 100, pp. 25-35, 1998.
- [42] M. Djioua e R. . Plamondon, «Analysis and Synthesis of Handwriting Variability Using the Sigma-Lognormal Model,» in *Proc. 13th Conf. Int'l Graphonomics Soc.*, 2007.
- [43] R. Plamondon e M. Djioua, «A Multi-Level Representation Paradigm for Handwriting Stroke Generation,» *Human Movement Science*, vol. 25, pp. 586-607, 2006.
- [44] A. Woch e R. Plamondon, «Using the Framework of the Kinematic Theory for the Definition of a Movement Primitive,» *Motor Control*, vol. 8, pp. 547-557, 2004.
- [45] F. Mussa-Ivaldi, S. Giszter e E. Bizzi, «Linear Combinations of Primitives in Vertebrate Motor Control,» in *Proc. Nat'l Academy of Sciences USA*, 1994.
- [46] K. Thoroughman e R. Shadmehr, « Learning of Action through Adaptive Combination of Motor Primitives,» *Nature*, vol. 407, pp. 742-747, 2000.
- [47] M. Simner e P. Girouard, « Advance in Forensic Document Examination,» *J. Forensic Document Examination*, vol. 13, n. special issue, pp. 1-14, 2000.
- [48] V. Potkonjak, «Robotic Handwriting,» *Int'l J. Humanoid Robotics*, vol. 2, pp. 105-124, 2005.
- [49] A. Rusu, U. Midic e V. Govindaraju, «Synthetic Handwriting Generator for Cybersecurity,» in *Proc. 13th Biennial Conf. Int'l Graphonomics Soc.*, 2007.
- [50] P. Morasso, «Spatial Control of Arm Movements,» *Experimental Brain Research*, vol. 42, pp. 223-227, 1981.
- [51] J. Soechting e F. Lacquaniti, «Invariant Characteristics of a Pointing Movement in

## Bibliografia

- Man,» *J. Neuroscience*, vol. 1, pp. 710-720, 1981.
- [52] H. Nagasaki, «Asymmetric Velocity and Acceleration Profiles of Human Arm Movements,» *Experimental Brain Research*, vol. 74, pp. 319-326, 1989.
- [53] D. Bullock, S. Grossberg e M. C., «A Neural Network Model for Cursive Script Production,» *Biological Cybernetics*, vol. 70, pp. 15-23, 1990.
- [54] J. Hollerbach, «An Oscillation Theory of Handwriting,» *Biological Cybernetics*, vol. 156, n. 39, pp. 139-156, 1981.
- [55] A. Feldman, «Once More on the Equilibrium-Point Hypothesis (Lambda Model) for Motor Control,» *J. Motor Behavior*, vol. 18, pp. 18-54, 1986.
- [56] R. Plamondon, «A Kinematic Theory of Rapid Human Movements Part I. Movement Representation and Generation,» *Biological Cybernetics*, vol. 72, pp. 295-307, 1995.
- [57] R. Plamondon e W. Guerfali, «The Generation of Handwriting with Delta-Lognormal Synergies,» *Biological Cybernetics*, vol. 78, pp. 119-132, 1998.
- [58] S. Rosenblum, P. L. Weiss e S. Parush, «Product and process evaluation of handwriting difficulties: A review,» *Educational Psychology Review*, vol. 15, p. 41–81, 2003.
- [59] F. Collins, G. Baer, N. Walls e M. Jackson, «The development of a behavioral assessment technique for evaluation gradual change in handwriting performance,» *Behavioral Assessment*, vol. 2, pp. 369-387, 1980.
- [60] J. Jones, J. Trap e J. Cooper, «Technical report: Student's self recording of manuscript letter strokes,» *Journal of applied behavior analysis*, vol. 10, pp. 509-514, 1977.
- [61] N. Rubin e S. Henderson, «Two sides of the same coin: variation in teaching methods and failure to learn to write,» *Special education: forward trends*, vol. 9, pp. 17-24, 1982.

- [62] J. Zivani e J. Elkins, «An evaluation of handwriting performance,» *Educational review*, vol. 36, pp. 249-261, 1984.
- [63] J. Phelps, L. Stempel e G. Speck, «The children's handwriting scale: a new diagnostic tool,» *Journal of educational research*, vol. 79, pp. 46-50, 1985.
- [64] J. Phelps e L. Stempel, «The children's handwriting evaluation scale for manuscript writing,» *Reading improvement*, vol. 25, pp. 247-255, 1988.
- [65] L. Hamstra-Bletz, J. DeBie e B. Den Brinker, Concise evaluation scale for children's handwriting, Lisse: Swets & Zeitlinger, 1987.
- [66] D. Stott, S. Henderson e F. Moyes, «Diagnosis and remediation of handwriting problems,» *Adapted physical activity quarterly*, vol. 4, pp. 137-147, 1987.
- [67] M. Pratelli, Disgrafia e recupero delle difficoltà grafo-motorie, Erickson, 1995.
- [68] A. Biancardi, C. Gorini, D. Ioghà, E. Brunati e F. Cristiani, Le parole sono fatte di matita, Como: Ibis, 2002.
- [69] R. Giovanardi e M. T., Valutazione delle abilità di scrittura. Analisi dei livelli di apprendimento e dei disturbi specifici. Manuale generale per la Scuola elementare, Erickson, 1994.
- [70] M. Borean, G. Paciulli, L. Bravar e Z. S., Test DGM-P - Test per la valutazione delle difficoltà grafo-motorie e posturali della scrittura, Erickson, 2012.
- [71] F. N. Freeman, «The Scientific Evidence on the Handwriting Movement.,» *Journal of Educational Psychology*, vol. 12(5), pp. 253-270, 1921.
- [72] «LCS/Telegraphics,» [Online]. Available: [www.pointing.com](http://www.pointing.com).
- [73] R. Plamondon, A. Alimi, P. Yergeau e F. Leclerc, «Modelling Velocity Profiles of Rapid Movements: A Comparative Study,» *Biological Cybernetics*, vol. 69, n. 2, pp. 119-128, 1993.
- [74] D. Marquardt, «An Algorithm for Least-Squares Estimation of Non-Linear

## Bibliografia

- Parameters,» *J. SIAM*, vol. 11, pp. 431-441, 1963.
- [75] M. Djiova e R. Plamondon, «A New Algorithm and System for the Characterization of Handwriting Strokes with Delta-Lognormal Parameters,» *Ieee Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, vol. 31, n. 11, pp. 2060-72, 2009.
- [76] M. Zeleny, *Multiple Criteria Decision Making*, New York: McGraw-Hill, 1982.
- [77] E. Padoano, *Metodi di valutazione multicriterio*, Trieste, 2012.
- [78] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [79] R. Saaty, «Decision making in complex environments,» 2003. [Online].
- [80] S. Rueckriegel, F. Blankenburg, R. Burghardt, S. Ehrlich, G. Henze, R. Mergl e P. Driever, «Influence of age and movement complexity on kinematic hand movement parameters in childhood and adolescence,» *International Journal of Developmental Neuroscience*, vol. 26, pp. 655-663, 2008.
- [81] M. Schoemaker, C. Ketelaars, M. Van Zonneveld, R. Minderaa e T. Mulder, «Deficits in motor control processes involved in production of graphic movement of children with attention-deficit-hyperactivity disorder,» *Developmental Medicine and Child Neurology*, vol. 47, pp. 390-395, 2005.
- [82] H. Van Mier, «Developmental differences in drawing performance of the dominant and non-dominant hand in right-handed boys and girls,» *Human Movement Science*, vol. 25, p. 657–677, 2006.
- [83] J. Phillips, R. Ogeil e C. Best, «Motor constancy and the upsizing of handwriting,» *Human Movement Science*, vol. 28, p. 578–587, 2009.
- [84] K. Zeuner, W. Bara-Jimenez, P. Noguchi, S. Goldstein, J. Dambrosia e M. Hallett, «Sensory training for patients with focal hand dystonia,» *Annals of Neurology*, vol. 51, p. 593–598, 2002.
- [85] M. Efroymson, *L'analisi di regressione multipla*, vol. *Metodi matematici per*

computer digitali, Wiley, 1960.

- [86] O. Tucha, I. Kaunzinger e K. W. Lange, «Handwriting and attention,» in *Advances in graphonomis. Proceeding of the 12th biennial conference of the international graphonomics society*, Salerno, 2005.
- [87] S. Rosenblum e M. Livneh-Zirinski, «Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder,» *Human Movement Science*, vol. 27, p. 200–214, 2008.
- [88] S. Dorfberger, E. Adi-Japhab e K. A., «Sex differences in motor performance and motor learning in children and adolescents: An increasing male advantage in motor learning and consolidation phase gains,» *Behavioural Brain Research*, vol. 198, p. 165–171, 2009.
- [89] F. Wilcoxon, «Individual Comparisons by Ranking Methods,» *Biometrics Bulletin*, vol. 1, n. 6, pp. 80-83, 1945.



# Pubblicazioni

---

Questo lavoro di tesi è basato sulle seguenti pubblicazioni:

- I. M. Genna, B. Saule, A. Accardo, M. Borean. Methods of handwriting analysis in school-age children. Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, 8 - 10 luglio 2010, ISBN 9788855530828.
- II. M. Genna and A. Accardo. Strumenti di analisi della scrittura. X Giornata di Studio BIOINGEGNERIA. Facoltà di Ingegneria Università di Catania, 1 luglio 2011.
- III. M. Genna, I. Perrone, P. Ceschia, C. Mandarino and A. Accardo. Using an analytical hierarchy process (AHP) for weighting items of an evaluation scale of handwriting quality. Computer in biology and medicine. (In preparazione).
- IV. A. Accardo, M. Genna and M. Borean. Analysis of handwriting kinematic parameters in Italian children. Proceed. V Latin American Congress of Biomedical Engineering, Havana, Cuba, May 16-21, 2011, ISBN 978-3-642-21197-3.
- V. M. Genna, A. Accardo and M. Borean. Kinematic Analysis of Handwriting in Pupils of Primary and Secondary School. Proceed. of 15th INTERNATIONAL GRAPHONOMICS SOCIETY CONFERENCE, Cancun, Mexico, June 12-15, 2011. <http://www.graphonomics.org/publications.php>
- VI. M. Genna and A. Accardo. Gender and age influence in handwriting performance in children and adolescent. Proceed. of 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, Budapest, Hungary, September 14-18, 2011, ISBN 978-3-642-23507-8.
- VII. A. Accardo, M. Genna and M. Borean. Development, maturation and learning influence on handwriting kinematics. Human Movement Science. DOI information: 10.1016/j.humov.2012.10.004. (In Stampa).
- VIII. M. Genna, M. Borean, A. Accardo. Analisi cinematica della scrittura in un campione di studenti dai 7 ai 14 anni. Convegno AIRIPA Onlus, Prato 2011.

- IX. M. Genna, A. Accardo. Handwriting kinematic model parameters changes with schooling. Proceed. of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Beijing, China, May 26–31, 2012, ISBN 9783642293047.
- X. M. Genna, A. Accardo. Lognormal parameters of handwriting kinematics in school age children. Terzo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Roma, 26-29 giugno 2012, ISBN: 978 88 555 3182-5.
- XI. M. Genna, A. Accardo. Evaluation of different handwriting teaching methods by means of kinematic analysis. XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing. Sevilla, Spain, September 25<sup>th</sup>-28<sup>th</sup> 2013. (Submitted).

Altre pubblicazioni relative all'analisi della grafia non sono state inserite in questa tesi:

- XII. A. Accardo, M. Genna, M. Borean, B. Saule. Parametric analysis of handwriting in school age children. Proceed. of 7th European Symposium on Biomedical Engineering (ESBME), Porto Carras, Chalkidiki, Greece, May 28-29, 2010, ISBN 978-960-85715-5-6 (4 pagg).
- XIII. M. Borean, G. Paciulli, E. Battilana, M. Genna, L. Bravar, S. Zoia, A. Skabar, A. Accardo. Competenze grafo-motorie nel disegno e nella scrittura in un campione di alunni dai 7 ai 14 anni. Convegno AIRIPA Onlus, Ivrea 2010, ISBN 978-88-8098-280-7.