



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale (DPG)

**Corso di laurea in Scienze Psicologiche Cognitive e
Psicobiologiche**

Elaborato finale

**Le basi neurali della scrittura a mano:
uno sguardo sul suo sviluppo nei bambini
e in confronto alla dattilografia**

**Neural basis of handwriting: developmental aspects and
differences with typewriting**

Relatrice

Prof.ssa Francesca Peressotti

Laureanda: Boldrini Anna

Matricola: 1221881

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Premesse teoriche	3
1.2	Obiettivi dell'elaborato	5
2	I MODULI COGNITIVI DELLA SCRITTURA MANUALE E LA LORO SPECIFICITÀ	7
2.1	Le regioni chiave e la loro suddivisione	7
2.2	Un confronto tra scrittura a mano e altre abilità: (Planton et al., 2017)	8
2.2.1	Confronto tra scrittura a mano e disegno	9
2.2.1	Confronto tra scrittura a mano e spelling orale	11
3	LA SCRITTURA A MANO NEI BAMBINI	14
3.1.1	Lo sviluppo e l'apprendimento della scrittura a mano	14
3.1.2	Sviluppo motorio ed evoluzione della grafia	15
3.2	Le attivazioni neurali nei bambini e negli adulti	16
4	DIFFERENZE TRA SCRITTURA A MANO E DATTILOGRAFIA NELL'APPRENDIMENTO DELLA SCRITTURA	20
4.1	Aspetti in comune e differenze generali	20
4.2	Il differente impatto sull'apprendimento della scrittura	21
5	CONCLUSIONI	26
6	BILIOGRAFIA	28

1 INTRODUZIONE

1.1 Premesse teoriche

La scrittura a mano è un'abilità acquisita di produzione del linguaggio, attraverso la quale delle idee o degli stimoli esterni (visivi o uditivi) vengono tradotti in una traccia fluida e coordinata su un foglio. Si tratta prima di un processo, e poi di un prodotto: scrivere a mano implica la coordinazione di processi linguistici, motori e visuospatiali, un insieme di operazioni che permettono di “mappare rappresentazioni ortografiche astratte in tracciati grafo-motori distribuiti su uno spazio a due dimensioni” (Planton et al., 2017). I processi linguistici riguardano l'attivazione della rappresentazione ortografica delle parole, la conversione dei fonemi (i suoni corrispondenti a ogni lettera) in grafemi (i segni scritti) e il mantenimento delle rappresentazioni grafemiche astratte nel buffer grafemico, un magazzino di memoria in cui le rappresentazioni ortografiche delle parole possono rimanere attive per un breve tempo. I processi motori e visuospatiali fanno invece riferimento alla pianificazione motoria dei movimenti della mano, alla trasformazione in comandi motori, al controllo motorio fine del gesto, all'integrazione visuo-motoria - cioè la coordinazione tra la percezione visiva e i movimenti della mano -, alla propriocezione - ovvero la percezione della posizione e del movimento della mano indipendentemente dalla vista - e alla consapevolezza sensoriale delle dita.

Per scrivere a mano occorre eseguire un gesto che, come ogni atto motorio, per essere realizzato comporta la mobilitazione di reti di neuroni. Ciò che distingue il gesto grafico da altri movimenti è la sua estrema esattezza, cioè il fatto che rappresenti “l'atto di motricità fine più preciso che l'uomo impari a compiere, e per la cui conquista e completa maturazione occorrono molto tempo e un lungo allenamento” (Venturelli, 2004). In questo senso la scrittura a mano è un'abilità acquisita: con l'esperienza il bambino migliora gradualmente sia negli aspetti linguistici (la conversione dei fonemi in grafemi) che motori (il controllo mano-occhio), passando da un movimento controllato volontariamente e retrospettivamente – per cui nelle prime fasi di apprendimento prima scrive, e solo dopo ricerca gli errori - a uno controllato per anticipazione - per cui, a seguito di una crescente automatizzazione e spontaneità del gesto grafico da adolescenti e adulti, la ricerca degli errori è concomitante al movimento - (Venturelli, 2004).

A questo punto emerge in modo chiaro come l'apprendimento della scrittura, che racchiude tutti gli aspetti fin qui descritti, richieda una serie di requisiti fondamentali (Venturelli, 2004; Thoulon-Page & de Montesquieu, 2015):

- Lo sviluppo psicomotorio, che è strettamente legato all'esercizio nella scrittura e si fonda su due aspetti: un adeguato sviluppo del sistema nervoso - che consente di acquisire il linguaggio nei suoi aspetti fonetici, lessicali e strutturali – e lo sviluppo della motricità fine;
- La capacità di astrazione e concettualizzazione del sistema simbolico della scrittura alfabetica, per tradurre il fonema in grafema;
- La memoria a breve e lungo termine, per fissare gradualmente gli apprendimenti legati alla corrispondenza tra fonemi e grafemi, alla forma e all'esecuzione di ogni lettera;
- Le capacità percettive (visive, uditive, tattili e propriocettive) e di concentrazione;
- Una lateralità consolidata, ovvero un'affermata preferenza manuale.

Un ruolo fondamentale nella coordinazione di questi aspetti è svolto dalle funzioni esecutive, cioè i processi cognitivi superiori coinvolti nella pianificazione, organizzazione, iniziazione e regolamentazione dei comportamenti (Alexander et al., 1989). Nello specifico della scrittura a mano, il ruolo delle funzioni esecutive riguarda la memoria di lavoro (grazie alla quale si mantengono le informazioni visive in memoria e si manipolano per scriverle), il processo decisionale, la pianificazione e il controllo intenzionale del movimento manuale, il monitoraggio delle regole linguistiche e degli eventuali errori e infine l'attenzione, che viene mantenuta desta per alcuni minuti senza interruzione, al fine di poter recuperare rapidamente le informazioni dalla memoria (Rosenblum et al., 2013).

Negli anni sono stati elaborati diversi modelli teorici per rappresentare le componenti implicate nei processi di scrittura. Nella *Figura 1* è rappresentato lo schema di elaborazione delle informazioni e dei processi di scrittura di singole parole di Caramazza e colleghi (1987).

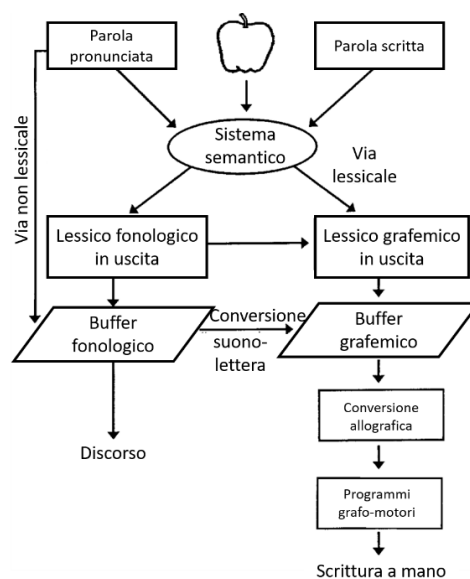


Figura 1. Schema dei processi di elaborazione delle informazioni per la scrittura di singole parole. Sistema semantico: sistema preposto all'elaborazione di singole parole; lessico

fonologico/grafemico in uscita: informazione fonologica/ortografica che viene attivata durante la produzione orale; buffer fonologico/grafemico: magazzino di memoria in cui i suoni/le lettere appresi vengono mantenuti per il tempo necessario ad essere trasformati in sequenze di lettere o di parole; conversione allografica: processo di conversione dei fonemi in grafemi; programmi grafo-motori: programmi motori attivati al fine di attuare il movimento di scrittura. Via non-lessicale: via attraverso la quale i suoni che compongono la sequenza fonologica (fonemi) vengono convertiti in grafemi; via lessicale: via attraverso la quale la forma scritta della parola viene recuperata dal lessico grafemico. Fonte: (Beeson, 1999).

Secondo il modello, il recupero della forma ortografica a partire dal parlato può avvenire attraverso le computazioni della via non-lessicale (rappresentata sul lato sinistro della *Figura 1*) o della via lessicale (rappresentata sul lato destro). Quest'ultima è anche chiamata "via semantica", poiché il recupero della forma ortografica prevede l'attivazione del sistema semantico. Attraverso il sistema semantico si attiva la rappresentazione grafemica astratta corrispondente alla parola udita nel lessico grafemico in uscita. Le stringhe di grafemi organizzati spazialmente devono in seguito essere mantenuti nel buffer grafemico, per essere poi convertiti in codici specifici di lettere fisiche attraverso il processo di conversione allografica. Infine, viene attivato il programma grafo-motorio appropriato per l'esecuzione del gesto grafico. La via non-lessicale, chiamata anche "via fonologica", traduce direttamente la sequenza dei fonemi uditi nella corrispondente sequenza di grafemi, attraverso la connessione tra il buffer fonologico e il buffer grafemico.

Va fatto presente che tra gli aspetti che svolgono un ruolo rilevante nel processo di scrittura, il modello di Caramazza e colleghi non comprende le funzioni esecutive, e quindi i meccanismi sottostanti che vanno dalla pianificazione e iniziazione del processo di scrittura (dal punto di vista sia linguistico che motorio) ai processi attentivi e di controllo durante lo svolgimento dell'azione.

1.2 Obiettivi dell'elaborato

Rispetto ad altri processi linguistici, quelli di scrittura manuale rimangono ad oggi poco esplorati, anche a causa dello sviluppo della tecnologia e dei sistemi di scrittura digitali. Di qui la scelta e gli obiettivi dell'elaborato:

- 1) Negli anni è stata avanzata l'ipotesi – basata su evidenze neuropsicologiche - dell'esistenza di alcune aree e circuiti neurali specifici legati ai meccanismi implicati nella scrittura a mano. Nel *capitolo 2* viene fatto il punto su questi substrati neurali e, attraverso lo studio di Planton e collaboratori (2017), viene discusso il fatto che si sia giunti ad escludere l'ipotesi di un singolo "centro per la scrittura", e a concepire il processo come il frutto dell'interazione tra informazioni linguistiche, motorie e cognitive più complesse, e dunque non localizzabile in un'area specifica.

- 2) Nel *capitolo 3*, partendo dalla descrizione del percorso di sviluppo della scrittura a mano fin dalle prime fasi della crescita, vengono confrontati i circuiti di attivazione neurale nei bambini e negli adulti, evidenziando come essi non siano diversi tra loro in termini di aree coinvolte, bensì nei livelli di specializzazione. La scrittura a mano infatti, essendo un'abilità complessa che viene acquisita e implementata gradualmente, continua ad evolversi anche durante gli anni della scuola media (Vinci-Booher & James, 2021).
- 3) Nel *capitolo 4* vengono delineati gli aspetti in comune e le differenze tra scrittura a mano e dattilografia, allo scopo di analizzare il diverso impatto che ciascuna delle due modalità può avere sulle fasi di alfabetizzazione nei bambini. L'evidenza principale riguarda il fatto che i movimenti della scrittura manuale svolgono un ruolo importante nel riconoscimento e nella memorizzazione delle lettere (Longcamp et al., 2005), oltre che nello sviluppo della motricità fine.

2 I MODULI COGNITIVI DELLA SCRITTURA MANUALE E LA LORO SPECIFICITÀ

2.1 Le regioni chiave e la loro suddivisione

Rispetto ai substrati neurali coinvolti nella scrittura manuale, studi di neuroimmagine mostrano che essi comprendono sottosistemi neurali linguistici, percettivi e motori. In particolare sembrano essere coinvolte cinque regioni chiave (Longcamp et al., 2008a, 2011; Palmis et al., 2021; Planton et al., 2013; Vinci-Booher et al., 2019) (Figura 2):

- Il giro post-centrale superiore, il lobulo parietale superiore (SPL) e il solco intraparietale bilaterale (IPS);
- La corteccia premotoria dorsale sinistra (conosciuta anche come *Graphemic Motor Frontal Area* - GMFA), in particolare la parte posteriore del solco frontale superiore;
- L'area premotoria ventrale sinistra (vPM), dove si trova il giro frontale inferiore (IFG);
- Il giro fusiforme sinistro (FuG; si trova nella corteccia temporale inferiore, conosciuto anche come *Visual Word Form Area* - VWFA);
- Il cervelletto posteriore di destra (postCB).

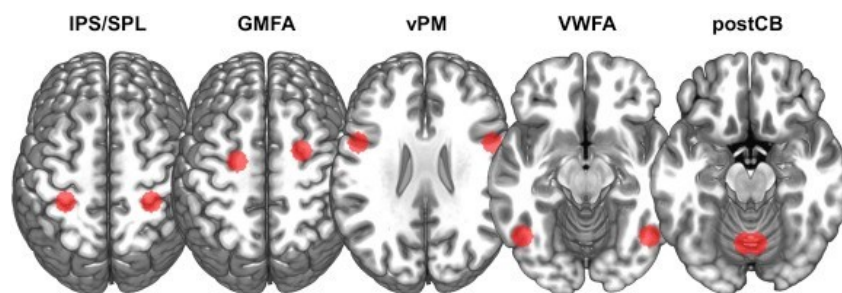


Figura 2. Le cinque aree chiave coinvolte nella scrittura a mano: il lobulo parietale superiore (SPL), la corteccia premotoria dorsale sinistra (GMFA), l'area premotoria ventrale sinistra (vPM), il giro fusiforme sinistro (VWFA) e il cervelletto posteriore di destra (postCB) (Planton et al., 2017).

Vicino alla GMFA, nell'estremità posteriore del giro frontale medio e adiacente all'area del linguaggio espressivo di Broca, si trova quella che è stata definita "area di Exner", dal nome del suo scopritore, che nel 1881 la definì "centro dell'immagine grafomotoria" (Exner, 1881). Egli scoprì che lesioni in quest'area provocano danni al linguaggio scritto, abilità per la quale è stata da subito considerata un'area chiave. Al pari di essa, tutte le regioni menzionate in precedenza sono spesso state descritte come facenti parte di un "centro della scrittura", cioè una rete di aree specializzate e finalizzate ad essa.

Definire un'area cerebrale "specificata per" è piuttosto comune in studi neuropsicologici, in cui una lesione cerebrale compromette un determinato compito ma non altri compiti relati. Per esempio, un sintomo raro ma interessante è l'agrafia pura, una compromissione della scrittura in assenza di altri

deficit, data da lesioni frontali superiori o parietali superiori di sinistra. Partendo da questi casi, diversi studi hanno proposto una suddivisione di queste aree tra componenti centrali e periferiche. Secondo questa ipotesi, le componenti centrali sono quelle linguistiche, comprendenti il giro angolare e le regioni perisilvane di sinistra, ma anche regioni più ventrali come il giro temporale medio e inferiore e il giro fusiforme (Beeson et al., 2003). Esse consentono di recuperare la rappresentazione ortografica corretta della parola da scrivere, formare una rappresentazione grafemica astratta e mantenerla temporaneamente all'interno del buffer grafemico (Planton et al., 2013).

Le componenti periferiche sono invece quelle motorie legate alla fase esecutiva della scrittura, e coinvolgono le regioni parietali superiori e premotorie di sinistra. Esse sono responsabili in primo luogo del recupero di specifici programmi motori per la conversione dei grafemi in forma scritta, del controllo motorio e dell'esecuzione del movimento (Beeson et al., 2003; Yang et al., 2020).

Questa suddivisione netta tra processi centrali e periferici, basata soprattutto su evidenze neuropsicologiche, si è dimostrata essere molto più sfumata grazie agli studi di neuroimmagine funzionale. Si è visto infatti che aree che si pensava partecipassero ai processi periferici, come la GMFA e l'IPS/SPL, hanno anche un ruolo nei processi centrali, e viceversa. Inoltre, può non essere detto che una compromissione compito-specifica presupponga una specificità dell'area lesionata.

2.2 Un confronto tra scrittura a mano e altre abilità: (Planton et al., 2017)

Alcuni studi hanno dimostrato che le cinque aree chiave per la scrittura a mano possono essere attivate anche da altri compiti, siano essi linguistici (come lo spelling o la denominazione di figure) o motori (come il disegno o il *tapping*). Nel loro studio, Planton e colleghi (2017) hanno preso in considerazione le cinque aree sopra indicate (la GMFA, la VWFA, la vPM, l'IPS/SPL e il cervelletto posteriore destro), e si sono chiesti quale fosse il loro ruolo funzionale e l'effettiva specificità per la scrittura a mano. Gli autori hanno sottoposto dei partecipanti destrimani a risonanza magnetica funzionale (fMRI) durante un compito di scrittura manuale, e hanno analizzato la risposta BOLD delle cinque aree target per osservarne l'attivazione. Per verificare in che misura la loro attivazione fosse specifica per la scrittura, e se contribuiscano a supportare processi centrali o periferici, hanno confrontato l'attivazione rilevata durante il compito di scrittura con quella osservata durante un compito linguistico di spelling orale e uno motorio, il disegno. Nello specifico, i partecipanti dovevano scrivere il nome di figure presentate visivamente (denominazione scritta), disegnare la forma di oggetti che gli venivano mostrati e fare lo spelling dei nomi degli oggetti. Per poter osservare le differenze nell'attività di ogni regione, è stata creata una mappa di attivazione per ogni compito a partire dalle immagini della fMRI. La mappa ottenuta durante il compito di scrittura è stata confrontata con quella ottenuta da ognuno degli altri due compiti, mettendo in luce le differenze di

attivazione e le analogie che si osservano. Adottando la suddivisione in componenti centrali e periferiche, la sovrapposizione tra il compito di scrittura manuale e di disegno dovrebbe mettere in luce le cosiddette “componenti periferiche”, dato che in ambedue i compiti è richiesta l’esecuzione motoria, mentre la sovrapposizione tra il compito di spelling e quello di scrittura dovrebbe mettere in luce le “componenti centrali”, legate al recupero delle informazioni ortografiche. Dall’altra parte, la sottrazione tra le aree attive nel compito di disegno rispetto al compito di scrittura dovrebbe isolare le aree coinvolte nei processi linguistici/centrali, mentre la sottrazione tra le aree attive nel compito di spelling rispetto al compito di scrittura dovrebbe isolare le aree che supportano i processi motori/periferici.

In generale, le differenze hanno rivelato che il compito di scrittura era associato a un’attività cerebrale lateralizzata a sinistra, mentre il compito di disegno coinvolgeva una rete bilaterale, e una topografia di attivazione molto diversa tra il compito di scrittura e quello di spelling. Le sovrapposizioni invece hanno rivelato che alcune delle cinque aree di scrittura mostravano livelli molto simili di attività BOLD tra i compiti, mettendo in discussione la loro specificità per la produzione scritta.

2.2.1 Confronto tra scrittura a mano e disegno

Il disegno è un compito motorio manuale ma non linguistico, che ha in comune con la scrittura la complessità motoria e la coordinazione visiva del movimento. Questa abilità richiede la coordinazione veloce e precisa dei movimenti delle dita, del polso e del braccio, al fine di controllare la dimensione dei tratti e posizionare la mano nello spazio. Di fatto, sebbene non derivi da un apprendimento standardizzato e da un uso quotidiano (come la scrittura), si può affermare il disegno presupponga un controllo motorio tanto complesso quanto quello coinvolto nella produzione scritta.

In *Figura 3*, riga inferiore, si può osservare la mappa di attivazione data dal contrasto tra il compito di disegno e quello di scrittura manuale, e in *Figura 4* i risultati della loro congiunzione. Le aree che si attivavano durante ambedue i compiti reclutano la stessa rete neurale, coinvolgendo le corteccie sensorimotoria e motoria primaria sinistra, premotoria superiore e ventrale sinistra e parietale superiore sinistra, più il cervelletto di destra e la regione occipitale e occipitotemporale bilaterale. Ad eccezione di queste ultime due aree, la cui attivazione deriva dalla natura visiva dei compiti (cioè dal fatto che in entrambi si abbia un feedback visivo del segno che si fa), le altre fanno parte di un circuito neurale identico alla rete di scrittura individuata nel sopraccitato studio di Planton et al. (2017). Questa rete non sembra dunque essere strettamente specifica per la produzione del linguaggio scritto. E’ inoltre interessante notare che dal confronto tra i due compiti (*Figura 3*, riga superiore) è emersa l’attivazione di aree estranee alla “rete di scrittura”, come il cuneo/precuneo e il giro temporale medio. Queste aree fanno parte della cosiddetta “rete in modalità predefinita” (*Default Mode Network*), un

network che si attiva quando si è a riposo e concentrati sui propri stati mentali interni, e si disattiva durante le attività più impegnative per l'attenzione. Gli autori ipotizzano che, poiché il disegnare è meno automatico e quindi richiede più risorse attentive rispetto allo scrivere, il network appena descritto rimanga attivo durante la scrittura ma molto meno durante il disegno.

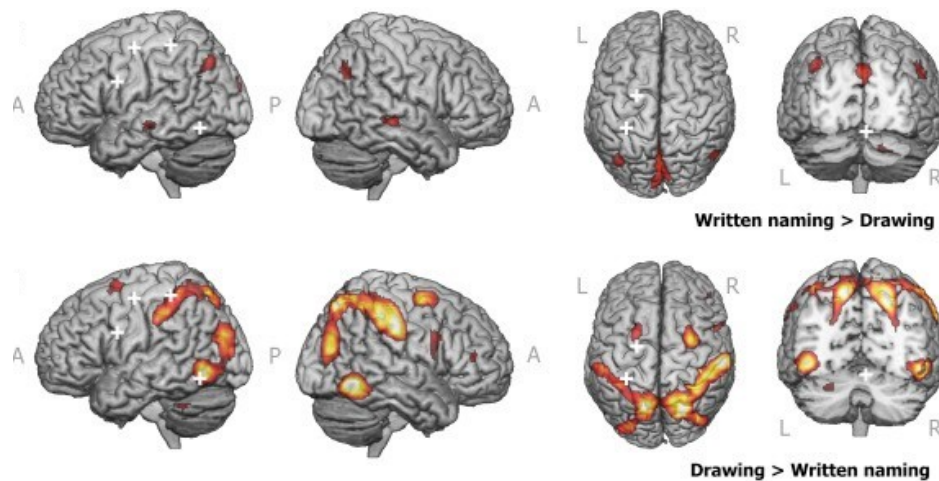


Figura 3. Mappe di attivazione per i contrasti tra i compiti. Le croci bianche rappresentano le proiezioni delle coordinate per individuare i volumi delle aree di interesse. A: anteriore; P: posteriore; L: sinistra; R: destra.

La riga superiore mostra il risultato di Scrittura meno Disegno: la differenza riguarda il cuneo/precuneo, il giro temporale medio, il giro angolare bilaterale, il cervelletto di destra e la scissura calcarina. La riga inferiore mostra il risultato di Disegno meno Scrittura: la differenza riguarda un'ampia rete bilaterale comprendente le regioni parietali superiori e inferiori e frontali superiori, e in una rete unilaterale destra comprendente la corteccia premotoria ventrale e il cervelletto (Planton et al., 2017).

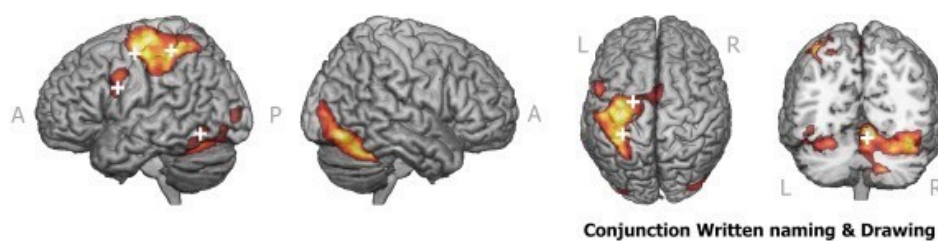


Figura 4. Mappa delle aree che si sono rivelate essere attive durante i compiti di scrittura e disegno. Le attivazioni riguardano le cortecce sensorimotoria e motoria primaria sinistra, premotoria superiore e ventrale sinistra e parietale superiore sinistra, più il cervelletto di destra e la regione occipitale e occipitotemporale bilaterale.

Prendendo in esame le singole aree, l'IPS/SPL, la GMFA e il cervelletto posteriore destro non hanno mostrato un'attivazione più marcata per la scrittura piuttosto che per il disegno. L'IPS/SPL, che studi precedenti hanno mostrato essere più attivo nella scrittura che in altre attività motorie di controllo (ad esempio il *tapping*; Katanoda et al., 2001), nel presente studio si è differenziato nel compito di scrittura soltanto per la maggiore lateralizzazione sinistra. Gli autori ipotizzano che l'attivazione

bilaterale durante il compito di disegno derivi da esigenze di coordinazione visuomotoria e capacità visuo-attentive che queste regioni sono note per supportare (Tunik et al., 2008). Sebbene anche la scrittura necessiti di queste abilità, gli autori sottolineano che i grafemi da scrivere vengano recuperati dalla memoria a lungo termine, mentre la copia di disegno si basa molto di più su rappresentazioni visuospaziali. Per quanto riguarda la GMFA, quest'area è risultata attiva durante entrambi i compiti di scrittura e di disegno. Tuttavia, anche in questo caso si è osservata una differenza importante nella sua distribuzione: essa è lateralizzata a sinistra durante la denominazione scritta e bilaterale durante il disegno. Gli autori ipotizzano che si tratti di una specializzazione funzionale analoga a quella del dominio visivo: così come la regione occipitotemporale ventrale di sinistra, durante l'apprendimento, acquista progressivamente un vantaggio nel riconoscimento di parole e quella di destra nel riconoscimento di volti e oggetti (Dundas et al., 2013), è possibile che lo stesso avvenga per la GMFA sinistra durante la produzione di parole scritte. Questa lateralizzazione potrebbe essere dovuta alla frequente interazione con le aree che supportano l'elaborazione del linguaggio quando si impara a scrivere (che, come sappiamo, si trovano nella gran parte delle persone nell'emisfero sinistro). Infine, per quanto concerne il cervelletto di destra, la sua regione posteriore è considerata la più coinvolta nei processi di scrittura manuale (Planton et al., 2013). I livelli di attivazione durante i due compiti in esame sono identici e sono omolaterali alla mano in movimento (destra).

2.2.1 Confronto tra scrittura a mano e spelling orale

Lo spelling è un compito linguistico ma non manuale, che ha in comune con la scrittura il recupero delle rappresentazioni ortografiche e la loro temporanea permanenza nel buffer grafemico. Questo compito è stato scelto rispetto alla scrittura manuale per confrontare l'attivazione delle aree coinvolte nella produzione ortografica, indipendentemente dal gesto manuale. Per quanto riguarda la scrittura, la GMFA e l'IPS/SPL sono state associate al buffer grafemico (Rapp & Dufor, 2011): un'attivazione di queste aree anche durante lo spelling dimostrerebbe un loro ruolo critico (nonché centrale) nel suo utilizzo.

In *Figura 5*, la riga superiore mostra la mappa di attivazione risultante dal contrasto tra il compito di scrittura manuale e quello di spelling, che comprende le regioni motorie e premotorie dell'emisfero sinistro; la riga inferiore, al contrario, mostra l'attivazione risultante dal contrasto tra il compito di spelling e quello di scrittura: essa riguarda le regioni temporali bilaterali e premotorie inferiori, insieme alle regioni pars opercularis sinistre, note in letteratura per essere associate al linguaggio parlato. In *Figura 6* sono rappresentate le aree attivate dalla congiunzione dei due compiti, che rivela le regioni coinvolte nei processi di elaborazione in comune tra loro.

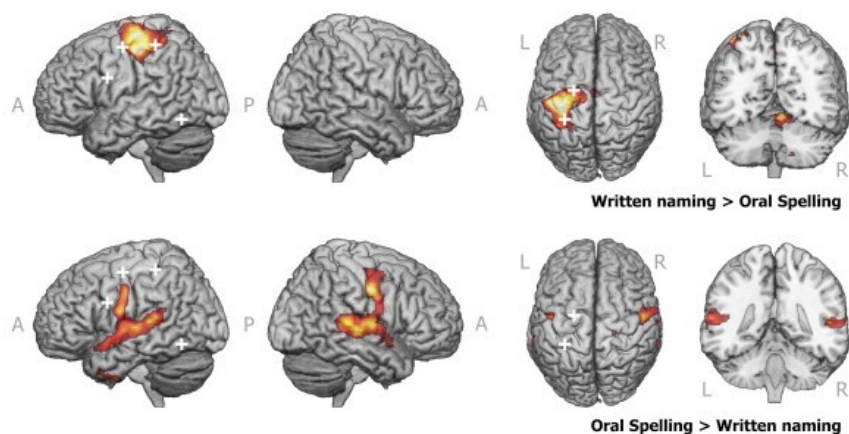


Figura 5. Mappe di attivazione per i contrasti tra i compiti. Le croci bianche rappresentano le proiezioni delle coordinate per individuare i volumi delle aree di interesse. A: anteriore; P: posteriore; L: sinistra; R: destra.

La riga superiore mostra il risultato di Scrittura meno Spelling: le attivazioni sono localizzate in una rete motoria della mano centrata nel giro postcentrale sinistro, coinvolgendo anche il cervelletto di destra e le regioni subcorticali (talamo e nucleo caudato). La riga inferiore mostra il risultato di Spelling meno Scrittura: le attivazioni sono localizzate in una rete bilaterale frontale inferiore/temporale superiore (Planton et al., 2017).

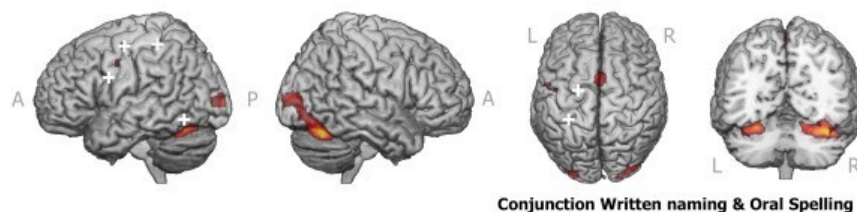


Figura 6. Mappa delle aree che si sono rivelate essere attive durante i compiti di scrittura e spelling orale: i due compiti reclutano bilateralmente il cervelletto posteriore, la corteccia occipitale e l'area supplementare motoria.

Contrariamente alla scrittura, nel compito di spelling - che classicamente richiede processi di memoria, ma non movimenti della mano - non si osserva attivazione significativa della GMFA e dell'IPS/SPL: diversamente da quanto affermato in studi precedenti, Planton et al. (2017) propongono che la loro funzione cognitiva sia più vicina a un buffer di uscita motoria che a un buffer grafemico, e che queste aree supportino dunque processi periferici piuttosto che centrali. Gli autori dello studio suggeriscono che l'attivazione dell'IPS/SPL non sia associata solo alla produzione di parole scritte, ma a tutte le attività manuali "sufficientemente precise, complesse e non ripetitive", tra cui appunto anche il disegno.

Come si può osservare in *Figura 6*, durante il compito di spelling l'attività del cervelletto è bilaterale, mentre durante i compiti di scrittura e disegno si osserva un segnale forte lateralizzato a destra (*Figura 4*). Planton e colleghi (2017) propongono che questa differenza nel profilo di lateralizzazione sia

associata alla presenza o assenza della componente motoria nel compito: se è strettamente linguistico, l'attivazione è bilaterale; se invece richiama una componente motoria, l'attivazione è lateralizzata a destra.

Nell'analisi dei picchi di attivazione individuale delle cinque aree target, quelle che hanno mostrato un segnale BOLD simile nel compito di scrittura e in quello di spelling sono l'area premotoria ventrale sinistra (vPM) e il giro fusiforme sinistro (dove si trova la VWFA), coerentemente con l'ipotesi di un loro ruolo fonco-ortografico nei processi centrali comuni a entrambi i compiti. Tuttavia, la VWFA ha mostrato un'attivazione addirittura maggiore durante il disegno, per di più bilaterale. Questo, insieme all'assenza di una lateralizzazione significativa durante il compito di spelling, fa supporre che l'attività di quest'area sia legata alla natura visiva del compito, "dedicata al riconoscimento dell'oggetto indipendentemente dal compito, con maggiore attenzione alla forma dell'oggetto da riprodurre mediante disegno". Infatti, quest'area è stata a lungo descritta come un'estensione del sistema visivo, dedicata al riconoscimento di diverse categorie percettive come volti, oggetti e, appunto, parole scritte.

Per quanto riguarda la vPM, la sua attività è nota in letteratura per essere bilaterale: essa trasmette informazioni sensomotorie alla corteccia motoria primaria durante i movimenti della mano e delle dita, grazie alle interconnessioni con la corteccia intraparietale, utili alla guida visiva del movimento. Nei compiti di scrittura e spelling dello studio qui descritto l'attivazione è lateralizzata a sinistra, e questo fa ipotizzare che il suo ruolo vada oltre la produzione di movimenti manuali, e che si riferisca anche agli aspetti fonco-ortografici propri della scrittura a mano. Infatti, nell'area dell'emisfero sinistro in cui essa si trova, convergono i sistemi sensomotori parietofrontali e le aree linguistiche (cioè il giro temporale superiore): gli autori propongono che la vPM possa mediare le trasformazioni delle rappresentazioni linguistiche in gesti motori nella scrittura, come ad esempio la conversione dei fonemi in grafemi.

In conclusione, dal momento che i risultati dell'analisi del segnale BOLD mostrano un'attivazione quasi identica nei compiti di scrittura e disegno, e in parte nel compito di spelling, lo studio di Planton e collaboratori (2017) non conferma l'ipotesi di una specializzazione delle cinque aree in questione nei processi di scrittura manuale. L'unico aspetto che rende specifica la loro attività nella scrittura piuttosto che nel disegno è la lateralizzazione verso sinistra, e ciò è stato dimostrato a prescindere dalla mano dominante (Potgieser et al., 2015). A fare eccezione sono l'IPS/SPL e il cervelletto posteriore, nei quali la lateralizzazione non era specifica per la scrittura, ma si osservava anche durante il compito di disegno.

3 LA SCRITTURA A MANO NEI BAMBINI

Nonostante ci siano più ricerche su come i bambini imparano a leggere piuttosto che a scrivere, non mancano studi sullo sviluppo dei processi che vi sono coinvolti. E' bene sottolineare ancora una volta che si è ormai superata l'idea che i processi ortografici implicati nel recupero ortografico e i processi motori per il controllo della mano siano indipendenti: studi comportamentali e di risonanza magnetica funzionale hanno dimostrato che "le caratteristiche linguistiche delle parole influenzano l'esecuzione motoria durante la scrittura a mano" (Palmis et al., 2019). Ciò implica che vi sia continuità e interazione tra i processi ortografici e motori, e che non è vero che questi ultimi possono essere avviati soltanto quando i processi linguistici siano completati. Pertanto, nello studio dell'acquisizione della scrittura, bisogna tener conto che si tratta di un processo graduale e che le modificazioni del sistema linguistico e motorio sono intrecciate e continue.

3.1.1 Lo sviluppo e l'apprendimento della scrittura a mano

L'esperienza di scrittura a mano inizia con il disegno, un'abilità che ha in comune con la scrittura il coordinamento dei sistemi sensoriali e motori per la rappresentazione di segni su una superficie. Come illustrato nel capitolo 2, infatti, negli adulti l'attivazione cerebrale durante il disegno è pressoché la stessa che si osserva durante la scrittura a mano. La prima cosa che i bambini fanno quando tengono in mano una matita è lo scarabocchio, e mano a mano che crescono imparano a trasformare quello scarabocchio nel disegno di un oggetto con un riferimento nella realtà. Le prime lettere che "scrivono" sono essenzialmente disegni in cui copiano le parole che hanno visto scritte, nonché un insieme di elementi (come linee, punti, cerchi e ovali) che provano a combinare, e che solo in un secondo momento acquisiscono il significato di lettere (Levin & Bus, 2003). In base all'obiettivo che hanno, i bambini cercano di riprodurre dei segni che hanno etichettato come parole o come disegni: per esempio, per le parole riproducono segni piccoli e scuri, mentre per i disegni utilizzano generalmente tratti grandi e colorati. Presumibilmente verso i quattro anni d'età, le parole non sono più classificate come disegni, ma assumono un loro significato in quanto tali; tuttavia, va considerato che le lettere non sono ancora collegate ai suoni corrispondenti, e che i bambini non sanno ancora che la parola è un mezzo per il linguaggio (Treiman, 2017).

Recenti studi hanno dimostrato che mediamente il sistema neurale di scrittura a mano nei bambini senza difficoltà di apprendimento si consolida all'età di 8-10 anni, ma che la produzione fluida di lettere nella creazione di parole e frasi continua a svilupparsi durante gli anni della scuola media, quando la risposta neurale è ormai simile a quella dell'adulto (Vinci-Booher & James, 2021). La fase di sviluppo ideale per studiare l'abilità di scrittura è quella della prima età scolare (6-11 anni). Infatti, si tratta di un periodo di forte transizione da una strategia all'altra in termini di cinematica della scrittura e ortografia. Nel primo caso, il passaggio è da un controllo sensoriale della traiettoria a un

controllo proattivo garantito da schemi motori integrati (Palmis et al., 2021); nel secondo caso, il passaggio è da una padronanza del lessico ortografico minima a una sempre maggiore, seppur ancora ridotta rispetto a quella degli adulti.

3.1.2 Sviluppo motorio ed evoluzione della grafia

Imparare a scrivere, dal punto di vista motorio, è un processo simile a quello dell'apprendimento di altri compiti motori, che si estende per diversi anni, mentre il cervello si sta sviluppando. Per esplorare i cambiamenti cerebrali sottostanti il passaggio tra l'apprendimento della scrittura e la sua padronanza completa, è importante fare una premessa fondamentale riguardo alle aree motorie (Palmis et al., 2017): la loro attivazione coinvolge una rete neurale più diffusa, ma allo stesso tempo meno profonda e specifica. Questo potrebbe dipendere non solo dalla maturazione nelle abilità di scrittura, ma anche e soprattutto dai cambiamenti dovuti all'acquisizione delle capacità motorie più generali. Consolidare una nuova abilità, infatti, se da una parte comporta un restringimento della rete neurale coinvolta, dall'altra implica un aumento della specificità di attivazione nelle regioni chiave.

Palmis e collaboratori (2017) hanno sviluppato una rassegna sull'acquisizione degli aspetti motori della scrittura negli adulti e nei bambini senza difficoltà di apprendimento, con un'età compresa fra i 5 e i 12 anni. Secondo gli autori, in questo arco di tempo i bambini sono in una fase di sviluppo delle capacità motorie, con un aumento della precisione che porta a raggiungere un livello ottimale di scrittura. Ciò si traduce nel produrre una traccia leggibile nel minor tempo possibile, riuscendo cioè ad eseguire una rapidissima successione di movimenti brevi e in direzioni sempre diverse. I bambini più piccoli, mentre imparano a scrivere, eseguono dei movimenti programmati uno alla volta: a circa 5 anni la scrittura è a livello delle singole lettere, generate da una successione di tratti imprecisi, in cui prima si eseguono una serie di gesti rapidi, e successivamente si ricercano e valutano gli eventuali errori. Una prima evoluzione avviene tra i 5 e i 7 anni, quando i bambini riescono ad eseguire un controllo online del movimento di scrittura: essi cioè sono in grado di integrare le informazioni visive e propriocettive mentre scrivono. Fra i 7 e gli 8 anni la scrittura è a livello delle parole, e la sua qualità migliora, anche se l'insieme dei movimenti che la generano non sono ancora stati memorizzati; infatti, nonostante le dimensioni delle lettere scritte diminuiscano, la velocità è ancora molto ridotta, in quanto i bambini fanno ancora attenzione ai movimenti distali della mano. E' verso i 9-10 anni che essi riescono finalmente a padroneggiare la propria scrittura: i programmi motori vengono memorizzati, e questo permette loro il controllo dell'intera traiettoria, cioè di vedere il percorso grafico da eseguire su una maggiore distanza. Poiché la velocità aumenta progressivamente in questi anni, il controllo messo in atto deve essere necessariamente automatizzato, fino a richiedere uno sforzo cognitivo minimo. In questo senso, gli autori affermano che "imparare a scrivere potrebbe essere spiegato come un passaggio da un controllo orientato al prodotto (la traccia scritta) a un

controllo orientato al processo (i modelli motori che generano la traccia)” (Palmis et al., 2017). Mano a mano che i programmi motori vengono acquisiti e le prestazioni automatizzate, il compito richiede meno attenzione, e il tipo di feedback che rimane è quello visivo e propriocettivo.

3.2 Le attivazioni neurali nei bambini e negli adulti

Come si è visto nel capitolo precedente, il sistema neurale che sostiene la scrittura a mano negli adulti comprende regioni frontali, premotorie dorsali e ventrali, parietali e temporali, tutte lateralizzate a sinistra, riassumibili nelle cinque regioni chiave: la GMFA nella corteccia premotoria dorsale sinistra (dPM), il giro frontale inferiore (IFG) nella corteccia premotoria ventrale sinistra (vPM), il lobulo parietale superiore (SPL), la VWFA nel giro fusiforme e infine il cervelletto posteriore di destra. Come si vedrà, le differenze neurali tra gli adulti e i bambini non sono tanto nelle aree coinvolte, quanto più nei modelli di attivazione cerebrale e nella loro specializzazione, che cambia durante lo sviluppo e si stabilizza nell’età scolare.

Uno studio di risonanza magnetica funzionale (Vinci-Booher & James, 2021) ha confrontato adulti e bambini di 5-8 anni durante un compito di scrittura a mano, e ha rivelato che il coinvolgimento motorio dorsale (parietale) e frontale ha una traiettoria di sviluppo più lunga rispetto a quello temporale-ventrale. Infatti, l’attivazione del solco intraparietale sinistro (IPS/SPL) e del giro precentrale ventrale sinistro si poteva osservare soltanto negli adulti. A conferma di ciò, studi sulla percezione delle lettere hanno mostrato che la corteccia temporale-ventrale raggiunge un livello di attivazione simile a quello degli adulti quando il bambino ha circa 5 anni, mentre le regioni motorie dorsali lo raggiungono soltanto tre anni dopo, cioè verso gli 8 anni d’età. Si è ipotizzato che in queste regioni parietali, la rappresentazione neurale delle lettere si sviluppi grazie alla progressiva esperienza motoria della produzione scritta: il ripetuto atto motorio della mano determina un riconoscimento più rapido delle lettere sia nei bambini dell’età prescolare che negli adulti (James & Engelhardt, 2012; Vinci-Booher & James, 2020, 2021). La percezione di lettere, a seguito dell’esperienza motoria, recluta anche il giro frontale inferiore (IFG), un’area tipicamente inclusa nella rete neurale della lettura (che comprende anche il giro fusiforme e la corteccia parietale posteriore, al pari della scrittura). Quest’area sostiene la cosiddetta “elaborazione fonologica”, un meccanismo comune alle due abilità in questione. Durante compiti linguistici (come la lettura e la scrittura) la risposta dell’IFG è piuttosto simmetrica nei bambini, mentre negli adulti vi è un’asimmetria verso sinistra: questo può essere legato al fatto che le competenze linguistiche vengano progressivamente automatizzate e il vocabolario aumenti. Una conferma di ciò è la relazione inversa tra la qualità della scrittura e l’intensità della sua risposta: uno studio di Feder & Majnemer (2007) ha mostrato che da adulti, quanto meglio si scrive, tanto meno l’IFG si attiva. Questo risultato suggerisce che lo sviluppo delle abilità di scrittura sia associato ad una riorganizzazione e un affinamento dei circuiti linguistici. A

questo proposito, è interessante lo studio di Richards et al. (2011), in cui sono stati confrontati i pattern di attivazione di bambini di 11 anni (classificati in base alla loro esperienza nella scrittura) durante un compito di produzione scritta: i bambini meno esperti reclutavano delle regioni cerebrali aggiuntive rispetto ai bambini più esperti, che invece mostravano una risposta più marcata dei primi nelle regioni coinvolte nel controllo motorio, vale a dire le aree premotorie, l'SPL e il cervelletto, oltre che nel giro fusiforme sinistro, un'area che correla direttamente con la produzione scritta e la rappresentazione astratta di lettere, accessibile sia durante la scrittura che durante la lettura. In generale, la conoscenza della scrittura aumenta non solo la risposta delle aree frontali e precentrali, ma anche la loro connessioni funzionali con il giro fusiforme. Questo è congruente con l'assunzione che all'aumentare dell'automaticità del processo di scrittura, la rete neurale coinvolta sia più circoscritta ma la quantità di attivazione della rete coinvolta aumenti.

Un altro studio di fMRI (Palmis et al., 2021) ha messo a confronto le attivazioni cerebrali di adulti e bambini tra gli 8 e gli 11 anni durante tre compiti: scrivere lettere, scrivere parole e disegnare dei cerchi (come compito di controllo per gli aspetti motori). Dal punto di vista della specializzazione neurale, l'ipotesi degli autori era che, analogamente alle altre abilità linguistiche e visuospatiali, l'attività fosse inizialmente bilaterale nei bambini, e all'aumentare della competenza diventasse sempre più lateralizzata a sinistra negli adulti. Questa ipotesi è stata solo parzialmente confermata dai risultati: considerando la differenza tra i due compiti di scrittura (lettere versus parole) nei bambini e tra bambini e adulti nel compito di scrivere le parole, risulta che il compito di scrivere le parole induceva meno lateralizzazione nei bambini rispetto allo scrivere le lettere, e rispetto a entrambi i compiti negli adulti, in cui la lateralizzazione è pressoché la stessa (*Figura 7*).

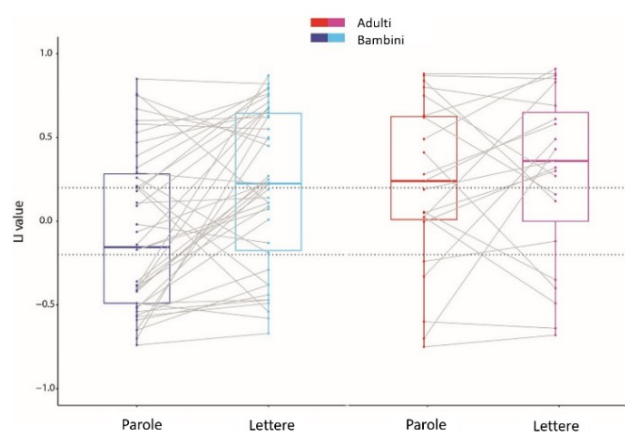


Figura 7. Risultati dell'analisi di lateralità. Gli indici di lateralità di ogni partecipante sono stati mostrati per i due contrasti (Parole versus Cerchi e Lettere versus Cerchi) e per i due gruppi (Adulti – rosso e viola - e Bambini – blu e azzurro -). Il compito di scrivere le parole induceva minore lateralizzazione nei bambini rispetto allo scrivere le lettere, e rispetto a entrambi i compiti negli adulti. Fonte: (Palmis et al., 2021).

I risultati illustrati nella *Figura 7* confermano l'ipotesi di una relazione tra lateralizzazione cerebrale e prestazione del compito a partire dalla tarda infanzia: le reti cerebrali alla base della scrittura nei bambini dell'età scolare sono meno mature per la produzione di parole (che hanno una componente linguistica più forte) rispetto alla produzione di lettere. Infatti, la lateralizzazione funzionale per la produzione di parole aumenta progressivamente durante l'adolescenza.

Tuttavia, se si considerano i risultati ottenuti con gli adulti e i bambini, il pattern di attivazione risulta lateralizzato per ambedue i gruppi di partecipanti (*Figura 8*). Le regioni coinvolte sono il giro fusiforme (FuG), il giro frontale inferiore (IFG), il lobulo parietale superiore (SPL), il giro frontale superiore (in cui si trova la GMFA) e il cervelletto, l'unico la cui lateralizzazione è destra.

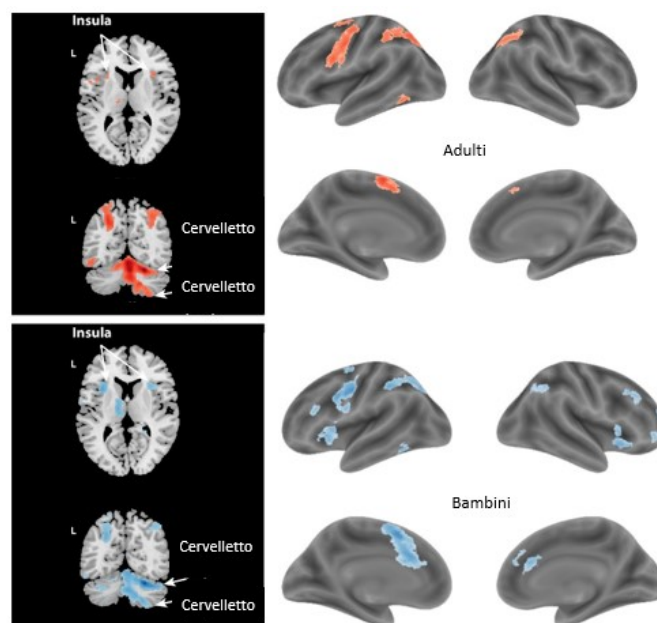


Figura 8. Risultati dei contrasti dell'intero cervello: sono rappresentate le regioni preferenzialmente attivate per il compito di scrittura di parole e lettere rispetto a quello di disegno di cerchi. La parte sinistra mostra le attivazioni dell'insula e del cervelletto in sezione assiale. La parte di destra mostra le attivazioni dell'intero cervello in sezione sagittale. Nella parte superiore: rete neurale di scrittura in un cervello adulto (in rosso); nella parte inferiore: rete neurale di scrittura nel cervello di un bambino (in blu). Fonte: (Palmis et al., 2021).

Inoltre, i bambini rispetto agli adulti hanno mostrato attivazioni bilaterali nell'insula, nel giro frontale superiore e medio, e nel giro frontale posteriore, la cui risposta si estendeva anteriormente verso la corteccia cingolata anteriore (ACC). Quest'ultima svolge un ruolo importante nel controllo cognitivo, grazie alle sue connessioni con la corteccia motoria. Sia l'insula che l'ACC, attivandosi in modo combinato nei bambini (ma non negli adulti), potrebbero favorire un maggiore monitoraggio delle prestazioni durante la scrittura. Complessivamente, si osserva che nei bambini l'attivazione è più estesa nelle regioni prefrontali e nel FuG, mentre negli adulti si estende maggiormente nell'area motoria supplementare (SMA) - implicata nel coordinamento di movimenti complessi - e nel giro

frontale superiore e posteriore bilaterale, ma soprattutto nel giro precentrale e nella porzione anteriore del cervelletto di destra. Questi risultati suggeriscono due aspetti: il primo, che la corteccia prefrontale, essendo più coinvolta nei bambini, ha un ruolo importante nell'apprendimento di abilità complesse; il secondo, che le regioni precentrali e il cervelletto – entrambi di destra – sono fondamentali per l'automaticità della scrittura a mano (Palmis et al., 2021).

In conclusione, come accennato in precedenza, si può affermare che non vi siano grandi differenze tra bambini e adulti nella rete neurale coinvolta nella scrittura, ma nei livelli di attivazione delle singole regioni: questo conferma nuovamente che tra gli 8 e gli 11 anni essa sembra già piuttosto consolidata, e che quindi la riorganizzazione funzionale conseguente all'apprendimento di questa abilità si verifica durante gli anni precedenti.

4 DIFFERENZE TRA SCRITTURA A MANO E DATTILOGRAFIA NELL'APPRENDIMENTO DELLA SCRITTURA

Con il progressivo sviluppo della tecnologia, la scrittura a mano sta progressivamente venendo sostituita dalla dattilografia: i bambini, attraverso l'utilizzo di computer e cellulari, imparano a scrivere sulla tastiera prima di padroneggiare la scrittura manuale. Da un punto di vista educativo, è importante chiedersi quanto e quando, durante lo sviluppo delle abilità di scrittura, le differenze tra queste due modalità diventino rilevanti, e quali possano essere le implicazioni a breve e lungo termine dal punto di vista sia cognitivo che sociale. Indubbiamente la tastiera, essendo più pratica, implica un apprendimento meno macchinoso, ma lascia spazio a un problema rilevante da affrontare in merito all'istruzione.

4.1 Aspetti in comune e differenze generali

La scrittura a mano e la dattilografia condividono gli stessi processi centrali letterali: la memoria a lungo termine fonologica e ortografica, il sistema semantico e la conversione dei fonemi in grafemi e in comandi motori manuali. Questi processi nella scrittura a mano sono associati a una rete fronto-parietale sinistra, e diversi studi di risonanza magnetica funzionale hanno rivelato che essa è coinvolta anche dalla dattilografia. Infatti, in uno studio di Purcell et al. (2011), in cui i partecipanti svolgevano dei compiti di tipizzazione, sono state riscontrate attivazioni nell'area di Exner (l'estremità posteriore del giro frontale medio), nel giro frontale inferiore, nel giro fusiforme, nel lobulo parietale superiore e nel giro sopramarginale.

Per quanto concerne le differenze tra queste due modalità di scrittura, se ne possono delineare da più punti di vista. Innanzitutto, dal punto di vista dello strumento utilizzato, la scrittura con carta e penna richiede una sola mano, coinvolgendo una rete neurale lateralizzata a sinistra. Considerando che l'emisfero sinistro è generalmente responsabile dei processi linguistici, si può immaginare che essa induca una maggiore attivazione cerebrale legata alla produzione di lettere. La dattilografia, al contrario, richiede l'utilizzo di due mani, e può quindi basarsi su un'attività neurale interemisferica.

Un'altra differenza riguarda lo spazio e il tempo impiegati: scrivere a mano fa focalizzare l'attenzione su uno spazio limitato, che comprende una porzione del foglio e la punta della penna, e richiede più tempo, perché per avere una lettera "finita" bisogna completare il movimento che la genera. Digitare sulla tastiera, invece, fa focalizzare l'attenzione su due spazi distinti (uno in cui si svolge il movimento - la tastiera - e uno visivo - lo schermo -) e richiede meno tempo, in quanto le lettere digitate compaiono quasi istantaneamente sullo schermo. Tuttavia, un maggiore tempo di elaborazione - nel caso della scrittura a mano - può facilitare la memorizzazione delle lettere e quindi delle parole, che per questo vengono ritenute in memoria più a lungo. Così, al momento del recupero, la loro forma

risulterà più disponibile. Inoltre, l'aver un'attenzione più focalizzata contribuisce a mantenere un alto livello di intensità dell'elaborazione cognitiva (Lyu et al., 2021).

Infine, per quanto riguarda il programma motorio, il metodo di apprendimento è molto diverso tra le due: come accennato in precedenza, la scrittura manuale richiede l'esecuzione e il controllo di un movimento che definisca completamente la forma della lettera; una volta appresa, c'è una corrispondenza unica tra essa e il movimento che la produce, e il livello di elaborazione attentiva richiesto è più profondo. La dattilografia, invece, coinvolge anche l'apprendimento spaziale, per cui serve costruire una mappa mentale della tastiera al fine di localizzare con precisione ogni tasto e premerlo. Contrariamente alla scrittura a mano, il movimento messo in atto dal dito per raggiungere un tasto e premerlo è più semplice e intuitivo, perché manca una qualsiasi componente grafo-motoria: esso non ha nulla a che vedere con la forma della lettera (Longcamp et al., 2005).

4.2 Il differente impatto sull'apprendimento della scrittura

La questione dell'impatto della modalità di scrittura sull'alfabetizzazione e l'istruzione è frutto di un dibattito che si snoda essenzialmente in tre prospettive: una teorica socioculturale, che è incentrata sull'importanza del contesto sociale in cui avviene l'apprendimento e predilige l'utilizzo della tastiera, una cognitiva e una neuroscientifica, che sembrano mostrare dei vantaggi associati alla scrittura a mano (Wollscheid et al., 2016). Le ultime due, che verranno approfondite qui, si concentrano sui processi di memoria implicati nella trascrizione e sull'integrazione degli aspetti percettivi e motori.

Da una parte, il fatto che la dattilografia non coinvolga l'elaborazione della forma della lettera accelera l'apprendimento della scrittura nei bambini più piccoli o con capacità senso-motorie meno sviluppate: uno studio di Castles e collaboratori (2013) dimostra che l'utilizzo del computer nei bambini prescolari di 4 anni abbia una correlazione positiva con l'emergere dell'alfabetizzazione, misurata con la conoscenza di lettere (che è anche un predittore della capacità di lettura). Dall'altra parte, però, favorire l'apprendimento di questa modalità non favorisce lo sviluppo del sistema senso-motorio. Questa è un'abilità importante: l'aumento del tempo trascorso a scrivere a computer - invece che a penna - determina un decremento della precisione nel controllo dei movimenti mano-braccio e, nel lungo termine, il deterioramento di altre capacità motorie fini (Sülzenbrück et al., 2011).

In generale - secondo la visione cognitiva -, in base all'esperienza sensoriale (visiva e tattile) e motoria associata alla scrittura, si genera l'apprendimento delle tracce di memoria che vengono poi parzialmente riattivate durante il recupero. Tale prospettiva vale anche per il riconoscimento di lettere: come visto nel capitolo precedente, l'accoppiamento tra azione motoria e feedback sensoriale durante la scrittura a mano - più che su tastiera - facilitano lo sviluppo di questa abilità. Pertanto, da

questo punto di vista, si presuppone che una singola modalità sensoriale sia sufficiente per attivare l'intera rete distribuita che è stata coinvolta quando la lettera è stata inizialmente memorizzata. Infatti, nei bambini di quattro anni - che non sanno nominare né scrivere tutte le lettere dell'alfabeto - un allenamento nella scrittura manuale di lettere contribuisce alla specializzazione della rete neurale percettivo-motoria che permette loro di identificarle (James, 2017). A questo proposito si può immaginare che, se si cambiano le condizioni motorie usando un metodo basato sulla digitazione mentre i bambini stanno imparando a scrivere, si vada ad influire sulle successive prestazioni nella memorizzazione e nell'elaborazione delle lettere.

Un studio di Kiefer e colleghi (2015) si è focalizzato sulle differenze tra l'impatto della scrittura a mano e su tastiera rispetto alle abilità di scrittura, lettura e riconoscimento di lettere. Dei bambini dell'età prescolare (4-6 anni) sono stati sottoposti a una fase di allenamento, che prevedeva per un gruppo scrivere lettere a mano, e per l'altro scriverle su una tastiera, e poi ai tre compiti: uno di scrittura, uno di lettura e uno di riconoscimento di lettere. L'ipotesi di partenza era che l'interazione tra la percezione delle lettere e l'azione motoria nella scrittura a mano favorisse l'alfabetizzazione - e quindi una prestazione migliore nella lettura e nella scrittura -. Prima dell'allenamento, la prestazione nei tre compiti non differiva tra le due modalità di scrittura; dopo la pratica, invece, è risultato che l'allenamento nella scrittura a mano faceva migliorare la prestazione nei compiti di lettura e di scrittura. Per quanto riguarda il riconoscimento di lettere, entrambi i gruppi hanno mostrato un aumento delle prestazioni a seguito della pratica, mantenendosi però pari tra loro. I risultati ottenuti favoriscono l'ipotesi della superiorità della scrittura a mano sulla dattilografia, e del fatto che "la facilità del programma motorio da sola non sia sufficiente per favorire lo sviluppo delle abilità di alfabetizzazione" (Kiefer et al., 2015).

Diversi studi di risonanza magnetica funzionale, tra cui uno studio di James & Engelhardt (2012) hanno dimostrato che l'esperienza di scrittura a mano nei bambini - rispetto a quella digitata - contribuisce allo sviluppo del circuito neurale per l'elaborazione delle lettere, che è molto simile a quello coinvolto dalla scrittura manuale e dalla lettura (*Figura 9A*).

In bambini dell'età prescolare addestrati a scrivere in entrambi i modi, soltanto l'allenamento di scrittura manuale attivava nel cervello la stessa rete di riconoscimento delle lettere che si trova negli adulti (*Figura 9B*). Infatti, se si confrontano le figure 9A e 9B, si può osservare come la rete coinvolta dai bambini durante il compito (B) sia sovrapponibile a quella adulta per la scrittura (A).

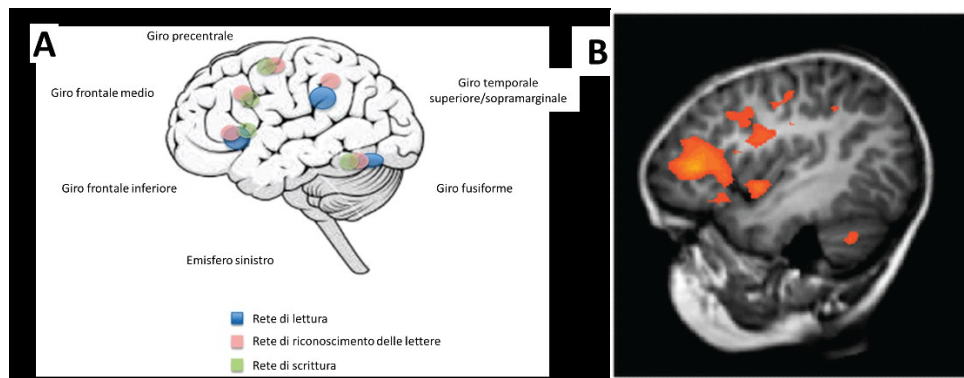


Figura 9. (A) Rappresentazione schematica della sovrapposizione tra i sistemi neurali di lettura (blu), riconoscimento di lettere (rosa) e scrittura manuale (verde) in un cervello adulto. Tutti e tre coinvolgono il giro frontale medio e inferiore, il giro precentrale, il giro sopramarginale e il giro fusiforme. Fonte: (James, 2017). (B) Risultati della fMRI su bambini di 4 anni: attivazione dipendente dal segnale BOLD significativamente maggiore durante la percezione di lettere apprese attraverso la scrittura manuale rispetto alla digitazione. Fonte: (James & Engelhardt, 2012)

Un altro interessante studio di Longcamp et al. (2008) si è concentrato su giovani adulti, sottoposti ad un allenamento di scrittura di nuove forme grafiche a mano o su tastiera, con lo scopo di valutare l'influenza delle due modalità di scrittura sulla capacità di distinguere sia le lettere normali che le nuove forme dalle loro immagini speculari. Ancora una volta, l'evidenza comportamentale ha mostrato che dopo l'allenamento le forme che erano discriminate con maggiore accuratezza dalla loro immagine speculare erano quelle che erano state scritte a mano; inoltre, il loro ricordo era più duraturo nel tempo. Questo è stato associato al differente tipo di azione motoria attuata. Infatti, assumendo che - come già discusso - quando si percepisce il carattere venga riattivato il programma motorio che lo genera e che era stato memorizzato, una discrepanza tra essi diminuirebbe la facilità nel riconoscere il carattere in modo più efficiente. Tuttavia, se si fa pratica nel generare manualmente le forme grafiche, questa discrepanza può essere colmata, e le si possono riconoscere più facilmente. Dai risultati fMRI dello studio sopracitato è emerso che questa pratica coinvolge più regioni cerebrali responsabili dell'elaborazione delle lettere (*Figura 10*). In particolare, quando i partecipanti elaboravano forme scritte manualmente, veniva rilevata attivazione nelle regioni cerebrali implicate nell'esecuzione, nell'elaborazione visiva-spaziale e nell'azione motoria, come l'area di Broca sinistra e i lobuli parietali inferiori bilaterali (IPL) (*Figura 10C*). Tuttavia, quando elaboravano forme digitate, era rilevata attivazione solo nella regione implicata nell'esecuzione - cioè il giro sopramarginale - (*Figura 10B*).

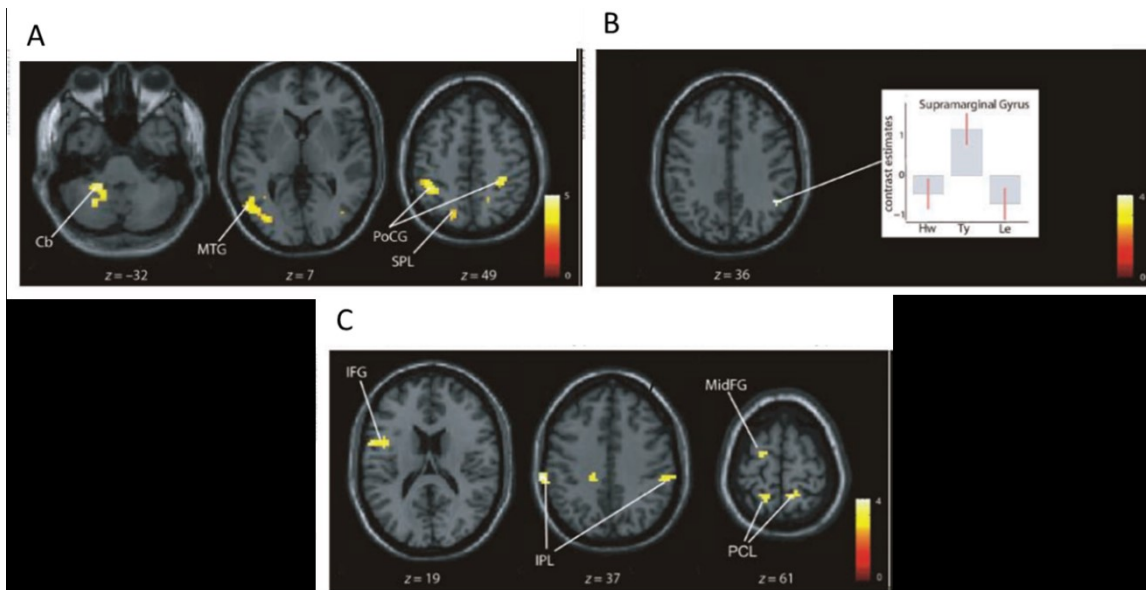


Figura 10. Risultati della fMRI: sovrapposizione delle mappe di attivazione durante i compiti. La figura A mostra l'attivazione durante la scrittura a mano dei caratteri rispetto alle lettere e alla digitazione. Le aree coinvolte sono il cervelletto (Cb), il giro temporale medio (MTG) e il lobulo parietale superiore (SPL), tutti lateralizzati a sinistra, e il giro postcentrale (PoCG) bilaterale. La figura B mostra l'attivazione durante la digitazione dei caratteri rispetto alle lettere e a quelli scritti a mano. L'unica attivazione rilevata è nel giro sopramarginale destro. Nel boxplot viene mostrata la quantità di attivazione dell'area per ogni condizione sperimentale (HW: caratteri scritti a mano; TY: caratteri digitati; Le: scrittura di lettere). La figura C mostra l'attivazione delle aree durante la scrittura a mano dei caratteri e delle lettere rispetto alla digitazione. Le aree coinvolte sono il giro frontale inferiore (IFG) (Area di Broca), il lobulo parietale inferiore (IPL), il giro frontale medio (MidFG) e il lobulo paracentrale (PCL). Fonte: (Longcamp et al., 2008b)

Tali risultati mostrano che le differenze nell'abilità di riconoscimento dei caratteri appresi tramite la scrittura a mano o la dattilografia dipendono da differenti circuiti neurali, e che lo scrivere a penna può indurre prestazioni migliori in questa abilità. Infatti, la riattivazione dei programmi motori in memoria durante l'elaborazione sia di nuovi caratteri, sia di lettere già apprese, è confermata dall'attivazione congiunta dell'area di Broca, dei lobuli parietali inferiori, della corteccia premotoria dorsale e delle regioni postcentrali sinistre.

Per riassumere tutti i risultati, quindi, si può affermare che i cambiamenti nella modalità di scrittura hanno un impatto sulle prestazioni di lettura e scrittura nei bambini in fase di alfabetizzazione e sulle abilità senso-motorie. Rispetto all'alfabetizzazione, imparare a scrivere a mano quando si è piccoli, sebbene richieda più tempo e fatica, migliora la prestazione nei compiti di lettura e scrittura, contribuisce allo sviluppo del circuito neurale adulto per il riconoscimento delle lettere e si serve di un'attenzione focalizzata che garantisce un'elaborazione più profonda. Inoltre, essa porta i bambini a sviluppare categorie di simboli piuttosto ampie: Mangen & Balsvik (2016) propongono che grazie alla vasta variabilità individuale nello stile di scrittura vi siano molteplici esempi di caratteri scritti a mano (cioè la stessa lettera può assumere forme anche molto diverse a seconda del proprio stile), che

ciò nonostante sono sempre riconoscibili. A questo proposito, non importa quanto bene il bambino scriva le lettere; anzi, produrre molte forme diverse della stessa lettera lo aiuta ad ampliare la gamma di esempi tra cui riconoscerla. Al contrario, un apprendimento incentrato sulla tastiera espone i bambini a singoli caratteri con una forma standard predefinita, appartenenti quindi a categorie più ristrette. In una prospettiva più ampia, si può pensare che l'abilità nel riconoscere caratteri scritti a mano con diversi stili possa portare anche a una maggiore elasticità cerebrale, che permette all'adulto di riconoscere le lettere senza essere influenzato dalle variazioni delle loro caratteristiche.

Rispetto invece alle abilità sensori-motorie, un argomento a favore della dattilografia è che i bambini, a causa delle loro capacità motorie ancora immature, abbiano difficoltà nel disegnare lettere a mano, e digitando verrebbero facilitati; tuttavia, questo comporta delle conseguenze sul controllo del movimento fine.

Scegliere una modalità di scrittura piuttosto che un'altra può fortemente condizionare l'alfabetizzazione e portare a cambiamenti fondamentali nelle abilità psicomotorie e cognitive di base, a causa di una ridotta formazione di competenze specifiche. E' indispensabile considerare tutti gli aspetti e le implicazioni che vi sono coinvolti, al fine di non compromettere selettivamente l'abilità non addestrata.

5 CONCLUSIONI

Ho sempre trovato affascinante la scrittura a mano, per il suo essere universale ma allo stesso tempo strettamente personale. Fin dagli anni della scuola elementare, quando la scrittura viene padroneggiata con facilità crescente, mi incuriosiva il fatto che ognuno scrivesse in modo diverso dall'altro e che maturando personalizzasse la forma delle lettere. Crescendo, è nato l'interesse per quello che nel linguaggio comune viene definito "ciò che ci sta sotto", vale a dire il substrato neurale coinvolto dall'abilità di scrittura manuale, ma anche la sua traiettoria di sviluppo e specializzazione. Inoltre, considerando da sempre la tastiera come un acerrimo nemico della scrittura a mano – pur riconoscendone la praticità e l'utilità -, mi interessava comprendere le differenze specifiche tra queste due modalità di scrittura, e in seconda analisi i vantaggi e gli svantaggi di ognuna delle due rispetto all'apprendimento nei bambini. Con il presente elaborato ho potuto approfondire ognuno di questi aspetti, provando a comprendere più chiaramente la complessità di questa abilità.

L'attività neurale durante la scrittura a mano è legata ad aspetti linguistici, percettivi e motori. Diversi studi di neuroimmagine hanno individuato il coinvolgimento di cinque aree chiave: il lobulo parietale superiore (SPL), la corteccia premotoria dorsale sinistra (GMFA), l'area premotoria ventrale sinistra (vPM), il giro fusiforme sinistro (VWFA) e il cervelletto posteriore di destra (postCB). Nel loro studio Planton e collaboratori (2017), analizzando le risposte BOLD di queste aree durante due compiti strettamente legati alla scrittura (il disegno e lo spelling), hanno rilevato un'attivazione della stessa rete frontoparietale riscontrata durante un compito di scrittura a mano, mettendo quindi in luce il fatto che esse non costituiscano un vero e proprio "centro per la scrittura", ma che la specializzazione per la scrittura manuale si riferisca solo alla lateralizzazione verso l'emisfero sinistro.

Una volta delineate le aree coinvolte in questa abilità, al fine di comprendere come questa rete neurale si costruisca, è stato utile considerare i cambiamenti generali legati all'acquisizione della scrittura nei bambini. Le aree coinvolte sono le stesse per bambini e adulti, ciò che cambia è il modello di attivazione cerebrale e la loro specializzazione, che si stabilizza nell'età scolare. All'età di 5 anni infatti le regioni parietali e frontali non sono ancora come quelle adulte, mentre tra gli 8 e gli 11 anni si trova una rete già consolidata: a questo proposito, Vinci-Booher & James (2021) suggeriscono che la riorganizzazione funzionale del sistema neurale avvenga durante i primi anni delle elementari. Questo può risultare un dettaglio utile da conoscere non solo rispetto allo studio della rete di attivazione negli adulti, ma anche per comprendere quale sia la fase dello sviluppo più adeguata a un ipotetico intervento sui bambini con difficoltà di apprendimento ortografico o motorio durante compiti di scrittura.

Infine, approfondire le caratteristiche della dattilografia mi ha rivelato una modalità di scrittura altrettanto affascinante. A parità di scopo e di processi centrali letterali, le due modalità sono molto diverse tra loro, in termini di strumento utilizzato, dimensione spazio-temporale, programma motorio e sviluppo della motricità fine. Rispetto alla scrittura a mano, il cui apprendimento richiede più tempo e attenzione, scrivere su tastiera può essere considerato più semplice e più rapido, poiché permette di ottenere un prodotto facilmente leggibile e più omogeneo in minor tempo. Tuttavia, un'attenzione focalizzata e un tempo di elaborazione più lungo migliorano la ritenzione in memoria, e una volta raggiunto il controllo automatico del gesto grafico è richiesto il minimo sforzo cognitivo (Thoulong-Page & de Montesquieu, 2015). Inoltre, i movimenti specifici memorizzati quando si impara a scrivere partecipano al riconoscimento visivo di forme e lettere grafiche, e in seconda analisi migliorano anche la capacità di lettura. Infatti, dal momento che la capacità di riconoscere le lettere sembra essere ampiamente riconosciuta in letteratura come la prima fase della lettura, migliorarla attraverso la scrittura potrebbe effettivamente influenzare il modo in cui i bambini leggono (Longcamp et al., 2005, 2008).

Mettendo insieme questi aspetti, nonostante oggi gli obiettivi della scrittura a mano siano cambiati - poiché viene usata meno in ambito professionale e più in ambito personale come base di riflessione, memorizzazione o appunti - credo sia fondamentale continuare a insegnarla ai bambini per favorirli nello sviluppo dell'alfabetizzazione, della memoria e della motricità fine.

6 BILIOGRAFIA

- Alexander, M. P., Benson, D. F., & Stuss, D. T. (1989). Frontal lobes and language. *Brain and Language*, 37(4), 656–691. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(89\)90118-1](https://doi.org/10.1016/0093-934X(89)90118-1)
- Beeson, P. (1999). Treating acquired writing impairment: Strengthening graphemic representations. *Aphasiology*, 13. <https://doi.org/10.1080/026870399401867>
- Beeson, P., Rapcsak, S., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S., & Trouard, T. (2003). The neural substrates of writing: A functional magnetic resonance imaging study. *Aphasiology*, 17(6–7), 647–665. <https://doi.org/10.1080/02687030344000067>
- Caramazza, A., Miceli, G., Villa, G., & Romani, C. (1987). The role of the Graphemic Buffer in spelling: Evidence from a case of acquired dysgraphia. *Cognition*, 26(1), 59–85. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(87\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0010-0277(87)90014-X)
- Castles, A., McLean, G. M., Bavin, E., Bretherton, L., Carlin, J., Prior, M., Ukoumunne, O., Wake, M., & Reilly, S. (2013). Computer use and letter knowledge in pre-school children: A population-based study. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 49(3), 193–198. <https://doi.org/10.1111/jpc.12126>
- Dundas, E. M., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2013). The joint development of hemispheric lateralization for words and faces. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 348–358. <https://doi.org/10.1037/a0029503>
- Exner, S. (1881). Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen. Braumüller.
- Feder, K. P., & Majnemer, A. (2007). Handwriting development, competency, and intervention. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(4), 312–317. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00312.x>
- James, K. H. (2017). The Importance of Handwriting Experience on the Development of the Literate Brain. *Current Directions in Psychological Science*, 26(6), 502–508. <https://doi.org/10.1177/0963721417709821>
- James, K. H., & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development in pre-literate children. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.08.001>
- Katanoda, K., Yoshikawa, K., & Sugishita, M. (2001). A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Human Brain Mapping*, 13(1), 34–42. <https://doi.org/10.1002/hbm.1023>
- Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or Typewriting? The Influence of Pen- or Keyboard-Based Writing Training on Reading and Writing Performance in Preschool Children. *Advances in Cognitive Psychology*, 11(4), 136–146. <https://doi.org/10.5709/acp-0178-7>
- Levin, I., & Bus, A. (2003). How Is Emergent Writing Based on Drawing? Analyses of Children's Products and Their Sorting by Children and Mothers. *Developmental psychology*, 39, 891–905. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.39.5.891>

- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.-C., Anton, J.-L., Roth, M., Nazarian, B., & Velay, J.-L. (2008). Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes: Behavioral and Functional Imaging Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 802–815. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20504>
- Longcamp, M., Hlushchuk, Y., & Hari, R. (2011). What differs in visual recognition of handwritten vs. printed letters? An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 32(8), 1250–1259. <https://doi.org/10.1002/hbm.21105>
- Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M.-T., & Velay, J.-L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica*, 119(1), 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.10.019>
- Lyu, B., Lai, C., Lin, C.-H., & Gong, Y. (2021). Comparison studies of typing and handwriting in Chinese language learning: A synthetic review. *International Journal of Educational Research*, 106, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2021.101740>
- Mangen, A., & Balsvik, L. (2016). Pen or keyboard in beginning writing instruction? Some perspectives from embodied cognition. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(3), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.06.003>
- Palmis, S., Danna, J., Velay, J.-L., & Longcamp, M. (2017). Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Cognitive Neuropsychology*, 34(3–4), 187–204. <https://doi.org/10.1080/02643294.2017.1367654>
- Palmis, S., Velay, J.-L., Fabiani, E., Nazarian, B., Anton, J.-L., Habib, M., Kandel, S., & Longcamp, M. (2019). The impact of spelling regularity on handwriting production: A coupled fMRI and kinematics study. *Cortex*, 113, 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.11.024>
- Palmis, S., Velay, J.-L., Habib, M., Anton, J.-L., Nazarian, B., Sein, J., & Longcamp, M. (2021). The handwriting brain in middle childhood. *Developmental Science*, 24(2), e13046. <https://doi.org/10.1111/desc.13046>
- Planton, S., Jucla, M., Roux, F.-E., & Démonet, J.-F. (2013). The “handwriting brain”: A meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex*, 49(10), 2772–2787. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.05.011>
- Planton, S., Longcamp, M., Péran, P., Démonet, J.-F., & Jucla, M. (2017). How specialized are writing-specific brain regions? An fMRI study of writing, drawing and oral spelling. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 88, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.11.018>
- Potgieser, A. R. E., Hoorn, A. van der, & Jong, B. M. de. (2015). Cerebral Activations Related to Writing and Drawing with Each Hand. *PLOS ONE*, 10(5), e0126723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126723>
- Purcell, J. J., Napoliello, E. M., & Eden, G. F. (2011). A combined fMRI study of typed spelling and reading. *NeuroImage*, 55(2), 750–762. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.042>
- Richards, T. L., Berninger, V. W., Stock, P., Altemeier, L., Trivedi, P., & Maravilla, K. R. (2011).

- Differences between good and poor child writers on fMRI contrasts for writing newly taught and highly practiced letter forms. *Reading and Writing*, 24(5), 493–516. <https://doi.org/10.1007/s11145-009-9217-3>
- Rosenblum, S., Engel-Yeger, B., & Fogel, Y. (2013). Age-related changes in executive control and their relationships with activity performance in handwriting. *Human Movement Science*, 32(2), 363–376. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.12.008>
- Sülzenbrück, S., Hegele, M., Rinckenauer, G., & Heuer, H. (2011). The Death of Handwriting: Secondary Effects of Frequent Computer Use on Basic Motor Skills. *Journal of Motor Behavior*, 43(3), 247–251. <https://doi.org/10.1080/00222895.2011.571727>
- Thoulon-Page, C., & de Montesquieu, F. (2015). Chapitre 3—Conditions pour l’acquisition de l’écriture. In C. Thoulon-Page & F. de Montesquieu (A c. Di), *La rééducation de l’écriture de l’enfant et de l’adolescent* (pagg. 23–26). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-74474-7.00003-1>
- Treiman, R. (2017). Learning to Spell Words: Findings, Theories, and Issues. *Scientific Studies of Reading*, 21(4), 265–276. <https://doi.org/10.1080/10888438.2017.1296449>
- Tunik, E., Ortigue, S., Adamovich, S. V., & Grafton, S. T. (2008). Differential recruitment of anterior intraparietal sulcus and superior parietal lobule during visually guided grasping revealed by electrical neuroimaging. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 28(50), 13615–13620. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3303-08.2008>
- Venturelli, A. (2004). *Dal gesto alla scrittura*. Mursia, Milano
- Vinci-Booher, S., Cheng, H., & James, K. H. (2019). An Analysis of the Brain Systems Involved with Producing Letters by Hand. *Journal of cognitive neuroscience*, 31(1), 138–154. <https://doi.org/10.1162/jocn.a.01340>
- Vinci-Booher, S., & James, K. H. (2020). Visual experiences during letter production contribute to the development of the neural systems supporting letter perception. *Developmental Science*, 23(5), e12965. <https://doi.org/10.1111/desc.12965>
- Vinci-Booher, S., & James, K. H. (2021). Protracted Neural Development of Dorsal Motor Systems During Handwriting and the Relation to Early Literacy Skills. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2021.750559>
- Wollscheid, S., Sjaastad, J., & Tømte, C. (2016). The impact of digital devices vs. Pen(cil) and paper on primary school students’ writing skills – A research review. *Computers & Education*, 95, 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.001>
- Yang, Y., Tam, F., Graham, S. J., Sun, G., Li, J., Gu, C., Tao, R., Wang, N., Bi, H.-Y., & Zuo, Z. (2020). Men and women differ in the neural basis of handwriting. *Human Brain Mapping*, 41(10), 2642–2655. <https://doi.org/10.1002/hbm.24968>