

L'intelligenza artificiale bloccherà lo sviluppo della motricità fine?

Nicola Lovecchio*

Riassunto: L'intelligenza artificiale sta rivoluzionando il mondo così come i processi di istruzione, di condivisione di informazioni e le interazioni docente-discente. Strumenti come Calligrapher AI simulano la grafia umana partendo da parole digitate sembrando essere un aiuto a chi ha disturbi di scrittura. Tuttavia, l'uso dell'AI può compromettere lo sviluppo delle abilità motorie legate alla scrittura a mano che *ipso facto* è una coordinazione complessa. La scrittura a mano è un elemento cruciale dello sviluppo motorio fine e l'uso prematuro dell'AI potrebbe impedire questa maturazione. Si suggerisce di limitare tali strumenti fino ai 12 anni.

Parole chiave: Calligrapher AI, scrittura, intelligenza artificiale, coordinazione, motricità.

English title: Will artificial intelligence block the development of fine coordination?

Abstract: Artificial intelligence is revolutionizing the world as well as the processes of education, the share of information and teacher-learner interactions. Tools like Calligrapher AI simulate human handwriting from keyboard-typed words and seem to help people with writing disorders. However, the use of AI can compromise the development of motor skills related to handwriting which *ipso facto* are complex motor learning paths. Handwriting is a crucial element for fine motor development and premature use of AI could prevent this maturation. It is suggested to limit these instruments till 12 years.

Keywords: Calligrapher AI, writing, artificial intelligence, coordination, motricity.

1 Introduzione

Nell'era digitale che stiamo vivendo, l'intelligenza artificiale (AI) si sta affermando come un potente strumento in grado di rivoluzionare diversi settori del mondo produttivo, della società (ricerca farmacologica, progettazione, gestione di flussi, diagnostica clinica) e anche del variegato contesto legato all'istruzione (Tuomi, 2019). L'applicazione dell'AI nei sistemi scolastici e didattici offre nuove e interessanti opportunità per migliorare l'apprendimento degli studenti e per allargare l'esperienza educativa (Hopcan *et al.*, 2023). Infatti, si è innalzato l'accesso alle informazioni da parte di quasi tutti gli utenti (Reagle e Koerner, 2020), e, in secondo luogo, sono stati introdotti materiali didattici attraverso interfacce utente adattive e interattive (Porayska-Pomsta, 2015).

Inoltre, rimanendo nell'ambito educativo, lo sviluppo tecnologico e dei software di analisi ha creato interfacce per gli insegnanti/clinici per facilitare il monito-

* Università di Bergamo. Email: nicola.lovecchio@unibg.it

raggio delle performance degli studenti e la diagnostica dell'apprendimento: un ambito noto come Learning Analytics e Educational Data Mining (Kumar *et al.*, 2023). Queste due comunità di ricerca (pur occupandosi – la prima – di misurare, raccogliere, analizzare informazioni sui discenti e sui loro contesti allo scopo di comprendere e ottimizzare l'apprendimento e gli ambienti in cui esso si svolge e – la seconda – di sviluppare metodi per comprendere meglio gli studenti, e i settings in cui imparano) riflettono, parimenti, l'importanza di approcci all'istruzione basati sull'uso intensivo di dati per migliorare l'istruzione: attraverso la selezione e pianificazione di interventi, la comprensione dei problemi e il miglioramento della valutazione.

L'AI è stata, infatti, introdotta per automatizzare la generazione di prove di verifica (i.e. creazione di svariate combinazioni di prove a risposta multipla), velocizzare (in modo anonimo attraverso scanner che riconoscono le scelte dei discenti) la valutazione (che, tuttora, si attesta principalmente con forme sommative) e per sviluppare sistemi interattivi bambino-robot per la diagnosi del disturbo dello spettro autistico e del disturbo da deficit di attenzione e iperattività: una forma depersonalizzata della ricerca dei segni che caratterizzano alcuni disturbi del comportamento e della relazione (Kendall, 1991).

Oltre a questi benefit, le metodologie basate sull'AI hanno implementato strumenti e tecnologie basati su sistemi ottici (che registrano e contano i movimenti degli occhi dei discenti durante le fasi di lettura) che, interfacciati con software e serie storiche di informazioni (big data) su saccadi, fissazioni e inseguimenti oculari, sono in grado di individuare precocemente casi di dislessia oppure altre versioni come software di riconoscimento vocale e traduzione automatica (Tuomi, 2019) che supportano gli studenti con disturbi specifici dell'apprendimento.

② Le potenzialità dell'AI per la scrittura

All'interno di questa stupefacente evoluzione informatica (meglio definibile come intelligenza computazionale in quanto la cosiddetta AI non elabora nulla di originale ma si limita ad elaborare dati/informazioni già definite da altri; Raj, 2019), sin dal 2020 è disponibile sul web un prodotto noto come "Calligrapher AI" che, utilizzando un metodo generativo costruito su una rete neurale ricorrente, è in grado di riprodurre la grafia degli umani e adattarla con vari stili in base alle esigenze (Lin, 2023). Infatti, attraverso un sito web, il sistema è in grado di sintetizzare il tratto grafico tipico di una scrittura a mano e modificarla in base allo stile voluto dagli utenti che hanno la possibilità di scegliere fino a 9 font, oltre che modificare la velocità di scrittura (produzione), il grado di leggibilità (morfologia) e la larghezza del tratto (ipotetica sfera): un'omnicomprensiva riproduzione delle gestualità reali dello scrivere e del cambio di penna!

Ma qual è la particolarità di uno strumento generativo di questa portata? Il sistema genera un campione unico di tratto grafico di cui ne mantiene lo stile (e su

cui applicare variazioni dei parametri metrici) e con la funzione di esportazione si può 'inserire' in un documento di video-scrittura.

In altre parole, potendo scegliere tra molte forme di testo e 1700 stili, un soggetto non avrà più bisogno di impugnare una penna. La produzione in corsivo o in stampatello, nei fatti, avverrà solo digitando su una tastiera – o sulla grafica touch di un tablet – o nel breve semplicemente dettando i contenuti. Non si impugnerà una penna ma si premeranno tasti! Si passerà (probabilmente anche in tempi rapidi) dal controllato scivolamento di un cursore (la penna) alla pressione semiverticale (picchiettamento) di tasti o alla perdita totale di movimenti della mano perché i comandi verranno dati solo con la voce. A fronte di tratti precisi, non-incerti, ripetibili e bene organizzati metricamente, si eviterà ai nostri allievi la fatica di imparare ad utilizzare un utensile secondo la sua funzione e secondo regole (morfologia e parametri spaziali) territorialmente e culturalmente condivisi.

③ Cosa implica, a livello motorio, scrivere

L'ipotesi appena citata, pur rappresentando un vantaggio per coloro che hanno disturbi di disgrafia (dove non verrebbe più evidenziato il problema e dove anche i dislessici potranno godere, in contemporanea, di correttori ortografici e sintetizzatori grafici), porterà inesorabilmente alla perdita per-non-pratica di una serie di maturazioni top-down (astrazione-pianificazione-azione; Grush, 2004) e down-top (esperienza-assimilazione-astrazione; O'Regan e Noe, 2001) tipiche dell'apprendimento e del controllo motorio (Petryński, 2007).

Infatti, come già descritto (Lovecchio, 2024a) l'atto dello scrivere è una performance motoria dove il programma motorio – come in tutti i gesti in cui i riflessi non possono essere annoverati – è una struttura di memoria astratta contenente codici (istruzioni da eseguire sequenzialmente e parallelamente) capaci di essere trasformati in modelli di movimento (Schmidt *et al.*, 1979).

La scrittura a mano è quindi definibile come un'abilità articolata da due punti di vista della neurodidattica. Il primo riguarda l'apprendimento motorio secondo le teorie dello schema e dei programmi motori generalizzati mentre il secondo per la definizione di abilità invariabili. In base ai programmi motori – aggettivati come generalizzati – la motricità si apprende secondo proprietà invarianti (successione delle istruzioni) e parametri da specificare (metrici, temporali e cinetici) in ogni circostanza in cui devono essere eseguiti (Giuriato *et al.*, 2024). Al proposito, le proprietà invarianti nella scrittura a mano sono ben note (Castiello & Stelmach, 1993). Ad esempio, Hughes *et al.* (2020), a conferma dell'esistenza di proprietà invarianti e varianti, ribadiscono sorprendenti somiglianze tra linee di scrittura a mano prodotte con diversi utensili.

Infatti, nella scrittura le informazioni spaziali contengono la struttura topologica degli allogrifi e le dimensioni relative dei loro tratti (detta caratteristica spaziale). In altre parole, la struttura topologica e la caratteristica spaziale descrivono

le forme degli allografi qualitativamente e quantitativamente. Le informazioni temporali contengono, ad esempio, l'ordine dei tratti (*timing*, secondo la teoria dei programmi motori generalizzati, Schmidt *et al.*, 1979) e le durate relative dei tratti (caratteristica temporale o *phasing* nell'accezione americana, Schmidt *et al.*, 1979). Infine, le informazioni cinetiche contengono, ad esempio, le forze di picco relative dei tratti (caratteristica della forza o dell'intensità) e le curve forza-tempo (impulsi) per ogni tratto (Palmis *et al.*, 2019). In altre parole, i programmi motori generalizzati contengono tutte le informazioni sulle forme da eseguire, sulla loro successione, sulle forze necessarie e sulla modulazione di movimenti sinergici (Njiokiktjien *et al.*, 2008).

Dal punto di vista dell'abilità invariante, la scrittura a mano è un classico esempio di come il controllo motorio e i fini aggiustamenti dei movimenti divengono – con l'apprendimento personale – un dato invariabile della persona: le lettere (produzione di morfologie) riflettono lo stile personale invariato sia se si scrive su un pezzo di carta, su una lavagna o con il dito nella sabbia (Wing, 2000). Al proposito, le ricerche neuroscientifiche confermano il ruolo della corteccia parietale in questa *equivalenza* motoria (Stephan *et al.*, 1995) che testimonia, anche a livello neuronale, come questo tipo di apprendimento sia molto specifico, personale e circostanziato: quindi un esempio paradigmatico nella comprensione delle relazioni tra organizzazione dell'azione (imitazione-apprendimento-memorizzazione) e controllo del movimento (area motoria-premotoria-cervelletto). Dal punto di vista del semplice osservatore anche l'analisi ad *occhio nudo* di un soggetto scrivente sul foglio o sulla lavagna (che implica l'attivazione di molti muscoli in senso antigravitario con asimmetrie diverse dalla posizione seduta al banco) permette di notare, in termini di prodotto scritto, che il risultato delle due azioni è lo stesso. Quindi imparare scrivere-a-mano implica imparare la costanza del movimento (Wing, 2000) che insieme alle teorie di controllo motorio di origine americana (i.e. Teoria dello schema, Schmidt *et al.*, 1979) fanno comprendere che i miracolosi atti che, per esempio, permettono di scrivere *ciao* sono in realtà l'esteriorizzazione di complessi e intrecciati flussi informativi fra sistema nervoso centrale, quello periferico e le afferenze visive e propriocettive (Serratrice e Habib, 2011).

Quindi, come non riconoscere che la scrittura a mano è un atto di coordinazione motoria? E come non ricordare che la sequenza dei tratti è probabilmente anch'essa parte delle informazioni memorizzate (Van Galen, 1991)?

In particolare, possiamo sostenere che sia la struttura topologica sia la sequenza dei tratti fanno parte delle informazioni di movimento memorizzate. Infatti, la struttura topologica è responsabile del fatto che la scrittura di una persona soddisfi il requisito di leggibilità e che la variabilità all'interno dello stesso scrittore sia molto più piccola rispetto alla variabilità tra diversi scrittori (Maarse *et al.*, 1989).

La scrittura, quindi, è un atto motorio basato sulla memorizzazione e automatizzazione di gesti come si impara un colpo nel tennis, una ruota nella ginnastica, l'equilibrio in bicicletta, guidare l'auto o un passaggio al pianoforte (Lovecchio *et al.*, 2016).

Cosa implica, inoltre, scrivere a mano? Alcuni studiosi hanno anche trovato forti relazioni con i livelli di attenzione visiva. È stato suggerito che il sostegno nello sviluppo dell'attenzione visiva, durante il periodo in cui i bambini stanno imparando a scrivere lettere e parole, può promuovere fluidità e automaticità nella scrittura. Sembrerebbe, infatti, che si usino i movimenti degli occhi per pianificare e guidare le azioni manuali (Rijntjes *et al.*, 1999); un'altra dimostrazione che la scrittura-a-mano è una *skill* complessa che non è semplicemente una memoria riprodottriva di segni o una mera esecuzione tecnica ma coinvolge anche gli aspetti di anticipazione motoria (Giunta, 2020).

④ Cosa implica perdere la scrittura a mano

Seppur AI sia uno strumento veloce ed efficiente, allo stato attuale non ci sono evidenze che possa aiutare i soggetti nell'apprendimento motorio (Lovecchio, 2024b). I sistemi di Virtual Reality (Mavropoulou *et al.*, 2019) che utilizzano spazi misti (manovra di oggetti fisici con visioni virtuali) consentono simulazioni di movimento attraverso la combinazione di segnali provenienti da dispositivi cinetici ma in tal senso l'apprendimento motorio – che di solito si affina in itinere – avviene solo in post-produzione (per cui anche un solo secondo è considerato un lasso di tempo lungo) con la regolazione di feedback (Zhang, 2022) provenienti da uno schermo verticale e non orizzontale come un foglio. Quindi come realizzare un apprendimento in itinere? Come integrare le informazioni propriocettive (prensione della penna e pressione sul foglio) e quelle visive (forma del tratto)? Come garantire una coerente sintesi tra segnale propriocettivo e morfologia dei tratti? Come potrebbe avvenire una regolazione in itinere del movimento (i.e. cervelletto) se la visione coglie forme su uno schermo che non vengono prodotte dal corpo ma semplicemente da un sintonizzatore vocale? Come potrebbe essere integrato l'atto motorio personale con l'esito visibile?

L'assenza di un cadenzato strisciamento della penna non permette l'integrazione delle informazioni esteroceettive e propriocettive che il cervello gestisce a livello dei nuclei della base (ovvero controllo del tono muscolare), della corteccia motoria (generatrice di atti volontari) e della corteccia premotoria (pianificatrice dei movimenti secondo stimoli esterni e controllo dei muscoli del tronco).

Come potrebbe il cervelletto, a seguito di un semplice *typing* o in futuro dopo un solo segnale vocale, imparare a modulare i movimenti che sono basati solo su picchi di pressione dove non vi è progressione orizzontale della sfera sul foglio (Lovecchio *et al.*, 2018)?

Anche il nucleo pallido (controllore e correttore del tono muscolare dei muscoli appendicolari nei movimenti volontari) come potrebbe memorizzare toni leggeri o forti se non esistono più le esperienze con matite, gessetti, pastelli, penne a sfera o stilografiche? Come potrebbe avvenire il fine controllo motorio (per esempio la scrittura con una punta fine di un orefice che è la stessa mentre si infila

il filo nella cruna di un ago) se non vi è coerenza tra segnali esterni e interni? Come potrebbero avvenire l'integrazione e la modulazione del movimento se una semplice pressione (cioè la forza verticale dall'alto in basso) corrisponderà sempre a linee curve o rotonde sviluppate da sinistra a destra?

Eliminare l'esperienza (e la fatica) di apprendere ed esercitare la scrittura-a-mano farà perdere tutta la maturazione del sistema di movimento che contemporaneamente avvia-esegue-modula, in itinere, gli atti motori coinvolgendo grandi (i.e. gran pettorale) o fini (i.e. flessore dell'indice) masse muscolari attraverso complesse articolazioni:

- la spalla come punto di ancoraggio stabile ma non fisso;
- il gomito come perno per lo scorrimento dell'avambraccio;
- il polso come cardine e guida delle dita che sostengono la penna;
- i metacarpi che gestiscono-supportano le falangi per la presa;
- le falangi che regolano il tono della presa e muovono in senso verticale e obliquo la sfera.

Il *typing* annullerà tutte queste integrazioni rendendo molti altri gesti quotidiani (presa di una forchetta, uso delle chiavi, gestione di uno spazzolino...) imprecisi e poco fluidi (Sülzenbrück *et al.*, 2011). Una sostanziale perdita di funzioni per non-pratica.

In aggiunta, a livello cognitivo recenti studi supportano il razionale per cui gli atti motori dello scrivere svolgono un ruolo cruciale nella rappresentazione delle lettere e suggeriscono che la conoscenza della scrittura a mano contribuisce al riconoscimento visivo delle lettere: in altre parole, scrivere a mano insegna anche a riconoscere le lettere durante la lettura. La verifica di questo è stata effettuata sia con bambini (Longcamp *et al.*, 2005) sia con adulti (Longcamp *et al.*, 2006) invitandoli a scrivere nuovi caratteri copiandoli o digitandoli su una tastiera. Dopo tre settimane di pratica i risultati hanno mostrato che quando i caratteri erano stati appresi digitando su una tastiera, essi venivano più frequentemente confusi con le immagini speculari rispetto a quando erano stati scritti a mano. In particolare, i bambini più grandi con pratiche di scrittura a mano hanno dato luogo ad un migliore riconoscimento delle lettere rispetto alla pratica di dattilografia. Quindi per conservare un profondo intervento didattico bisognerebbe considerare questi esiti che ci confermano che la stabilità (nella memoria) della rappresentazione dei caratteri dipende dalla natura dell'apprendimento, cioè dell'attività motoria eseguita per apprendere.

A conferma di ciò che si potrebbe perdere con l'uso di alte tecnologie nella scrittura è opportuno riportare gli esiti sull'attività elettrica del cervello (Van der Weel e Van der Meer, 2024). Nella fattispecie, l'attività elettrica del cervello è stata registrata in 36 studenti universitari mentre scrivevano parole (presentate visivamente) a mano o digitandole su una tastiera. La connettività cerebrale (effettuata con informazioni EEG registrate con un array di sensori a 256 canali) ha mostrato modelli di connettività cerebrale molto più elaborati durante la scrittura a mano rispetto alla dattilografia su una tastiera. In particolare, le aree parietali e centra-

li (che sono cruciali per la formazione della memoria e per la codifica di nuove informazioni) sono quelle che hanno mostrato alti livelli di flussi di onde *theta* (quelle che nelle loro oscillazioni neuronali permettono la memorizzazione) che quindi diventano utili per l'apprendimento a lungo termine.

5 Conclusioni

La scrittura a mano è un'abilità che richiede una accurata modulazione di brevi e continui atti motori finalizzati ad unire (possibilmente senza soluzione di continuità) e posizionare nello spazio bidimensionale (alto-basso, sinistra-destra) le forme (le lettere che compongono le parole) secondo specifiche convenzioni e secondo limiti spaziali che sono le altezze del rigo (e i bordi dell'impaginato) o addirittura immaginati se si tratta di un foglio bianco (Julius *et al.*, 2016). In altre parole; un'attività motoria complessa (Chiappedi *et al.*, 2012) in cui anche gli aspetti ideo-motori sono fortemente implicati (Borghi *et al.*, 2007).

L'uso di AI toglierà le esperienze per prove ed errori, il confronto fra *outcome* motori e immagini di movimento desiderati e il confronto con i pari per la verifica della leggibilità del proprio prodotto: come la verifica di un lancio di una palla a un compagno (Lovecchio *et al.*, 2023). Perdere la scrittura a mano significherà eliminare un modello spazio-temporale che è fonte di informazioni visive e propriocettive ottenute proprio per mezzo del movimento della mano che controlla una penna e che, come accennato precedentemente, contribuisce ad arricchire il flusso di informazioni a livello neurale che è alla base dell'apprendimento. Eliminare questa pratica significherà togliere prerequisiti esperenziali e stimoli per la plasticità neuronale (Granato, 2010; Rivoltella, 2012) che saranno utili per altri apprendimenti di tipo mnemonico, legati alla *consecutio temporum* e di organizzazione logica.

L'AI applicata alla scrittura a mano, nella mia opinione personale, dovrebbe essere vietata fino ai 12 anni: *cut-off* entro cui le coordinazioni motorie possono essere insegnate e apprese con grande efficacia ed efficienza (Goodbody *et al.*, 1998) e secondo la logica dell'apprendimento flessibile (Le Boulche, 2009).

Assumendosi l'onere di non aiutare (solo apparentemente!) coloro che hanno disturbi di disgrafia sarebbe opportuno garantire e imporre l'uso della penna o delle matite per scrivere perché è un'attività che favorisce la connettività neuronale e quindi offre le condizioni ottimali per la regolazione tonico-fasica dei movimenti, per le definizioni spaziali, per la ricerca visuo-spaziale e quindi per altri apprendimenti come la geometria e la computazione.

Bisognerebbe, anche, favorire la scrittura in corsivo che richiede armonizzazioni motorie molto più elevate della forma in stampatello perché richiede l'unione di forme circolari e ovali con altri tratti rettilinei in un continuum di gesti finalizzati. Inoltre il corsivo è anche più bello esteticamente!

Riferimenti bibliografici

- Borghi A., Bonfiglioli C., Lugli L., Ricciardelli P., Rubichi S., Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? Studies with hand primes. *Neuroscience Letters*, 411, pp. 17-21.
- Castiello U., Stelmach G.E. (1993). Generalized representation of handwriting: evidence of effector independence. *Acta psychologica*, 82 (1-3), pp. 53-68.
- Chiappedi M., Togni R., De Bernardi E., Baschenis I.M.C., Battezzato S., Balottin U., Bejor M. (2012). Arm trajectories and writing strategy in healthy children. *BMC pediatrics*, 12, pp. 1-6.
- Giunta I. (2020). L'anticipazione: Tra poetica e pragmatica dell'azione. *Formazione & insegnamento*, 18(1), pp. 92-106.
- Giuriato M., Filipas L., Crociani M., Carnevale Pellino V., Vandoni M., Gallo G., La Torre A., Rossi C., Lovecchio N., Codella, R. (2024). Inter-Trial Rest Interval Affects Learning Throwing Skills among Adolescents. *Journal of Motor Behavior*, 56(2), pp. 132-138.
- Goodbody S.J., Wolpert D.M. (1998). Temporal and amplitude generalization in motor learning. *Journal of Neurophysiology*, 79(4), pp. 1825-1838.
- Granato A. (2010). Complessità neuronale. *Rivista di filosofia neoscolastica*, 2, 2010, pp. 275-280.
- Grush R. (2004). The emulation theory of representation: motor control, imagery, and perception. *Behaviour Brain Science*, 27(3), pp. 377-96.
- Hopcan S., Polat E., Ozturk M.E., Ozturk L. (2023). Artificial intelligence in special education: A systematic review. *Interactive Learning Environments*, 31(10), pp. 7335-7353.
- Hughes P.P., Beanland M.G., Danielson T., Jacobson B.H. (2020). Writing legibility of selected effectors: Evidence for a generalized motor program? *Auc Kinanthropologica*, 56(2), 67-78.
- Julius M.S., Meir R., Shechter-Nissim Z., Adi-Japha E. (2016). Children's ability to learn a motor skill is related to handwriting and reading proficiency. *Learning and Individual Differences*, 51, pp. 265-272.
- Kendall P.C. (1991). Guiding theory for therapy with children and adolescents. In P.C. Kendall (Ed.). *Child and adolescent therapy: Cognitive-behavioral procedures* (4th ed., pp. 3-24). New York: The Guilford Press.
- Kumar D., Haque A., Mishra K., Islam F., Mishra B. K., Ahmad S. (2023). Exploring the transformative role of artificial intelligence and metaverse in education: A comprehensive review. *Metaverse Basic and Applied Research*, 2, p. 55.
- Le Boulch J. (2009). *Lo sport nella scuola. Psicocinetica e apprendimento motorio*. Roma: Armando Editore.
- Lin H. (2023). Calligraphy to Image. In Proceedings of the 16th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction, pp. 1-5, Calligraphy to Image | Proceedings of the 16th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction.
- Longcamp M., Boucard C., Gilhodes J.C., Velay J.L. (2006). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge: a comparison between handwriting and typing. *Human Movement Science*, 25(4-5), pp. 646-656.

- 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), pp. 67-79.
- Lovecchio N. (2024a). Kinesis e grafia: la performance dello scrivere. *Graphos. Rivista internazionale di pedagogia e didattica della scrittura*, 5, pp.11-23.
- Lovecchio N. (2024b). The limit of artificial intelligence: the motor control. *Italian Journal of Health Education, Sport and Inclusive Didactics*, 8(3).
- Lovecchio N., La Torre A., Della Vedova N. (2018). Dallo spazio vissuto allo spazio del foglio: l'attività motoria come compensatore dei DSA. *Formazione & Insegnamento*, 16(1), pp. 305-314.
- Lovecchio N., Pasqualotto F., Sforza C. (2016). La tecnologia in aiuto della performance pianistica. *Il Fisioterapista*, 22(5), pp. 81-87.
- Lovecchio N., Sangalli S., Borgogni A. (2023). Movements in Analogic or Digital Context: A Critical Comparison. *Italian Journal of Health Education, Sport and Inclusive Didactics*, 7(1).
- Maarse F.J., Van Galen G.P, Thomassen A.J. (1989). Models for the generation of writing units in handwriting under variation of size, slant, and orientation. *Human Movement Science*, 8(3), pp. 271-288.
- Mavropoulou A., Barkoukis V., Douka S., Alexandris K., Hatzimanouil D. (2019). The role of autonomy supportive activities on students' motivation and beliefs toward out-of-school activities. *The Journal of Educational Research*, 112(2), pp. 223-233.
- Njiokiktjien C., Chiarenza G.A. (2008). *Le disprassie dello sviluppo e i disturbi motori associati*. Amsterdam: Suyi Publications.
- O'Regan J., Noe A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), pp. 883-917.
- Palmis S., Danna J., Velay J.L., Longcamp M. (2019). Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Developmental Dysgraphia*, 123-140.
- Petryński W. (2007). Bernstein's construction of movement model and contemporary motor control and motor learning theories. *Human*, 8(2): pp. 36-147
- Porayska-Pomsta K.K. (2015). AI in Education as a methodology for enabling educational evidence-based practice. <http://ceur-ws.org/Vol-1432/>, 1432, 52-61.
- Raj J.S. (2019). A comprehensive survey on the computational intelligence techniques and its applications. *Journal of ISMAC*, 1(03), pp. 147-159.
- Reagle J., Koerner, J. (2020). *Wikipedia@ 20: Stories of an incomplete revolution*. Cambridge (USA): The MIT Press.
- Rijntjes M., Dettmers C., Buchel C., Kiebel S., Frackowiak R.S.J., Weiller C.A. (1999). Blueprint for movement: functional and anatomical representations in the human motor system. *Journal of Neuroscience*, 19: pp. 8043-8048.
- Rivoltella P.C. (2012). Scrivere digitale. Verso un nuovo alfabetismo. *Quaderni di Didattica della scrittura*, 9(1), pp. 25-40.
- Schmidt R.A., Zelaznik H., Hawkins B., Frank J.S., Quinn Jr, J.T. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*, 86(5), pp. 415-451.

- Serratrice G., Habib M. (2011). Disturbi della scrittura. *EMC-Neurologia*, 11(4), pp. 1-11.
- Stephan K.M., Fink G.R., Passingham R.E., Silbersweig D., Ceballos-Baumann A.O., Frith C.D., Frackowiak R.S.J. (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, 73: pp. 373-386.
- 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), pp. 247-251.
- Tuomi I. (2019). The Impact of Artificial Intelligence on Learning, Teaching, and Education: Policies for the Future. *JRC Science for Policy Report*. European Commission.
- Van Galen G.P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science*, 10 (2-3), pp. 165-191.
- Van der Weel F.R.R., Van der Meer A.L.H. (2024). Handwriting but not typewriting leads to widespread brain connectivity: a high-density EEG study with implications for the classroom. *Frontiers in psychology*, 14, 1219945.
- Wing A.M. (2000). Motor control: Mechanisms of motor equivalence in handwriting. *Current biology*, 10(6), pp. 245-248.
- Zhang R. (2022). College sports decision-making algorithm based on machine few-shot learning and health information mining technology. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 18, 2024.