

# Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'informazione  
Tesi di Laurea in Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni



Analisi della grafia per la diagnosi del deterioramento cognitivo

Candidato:

Francesco Montanaro  
0047928

Relatore:

Prof. Francesco Fontanella

Correlatore:

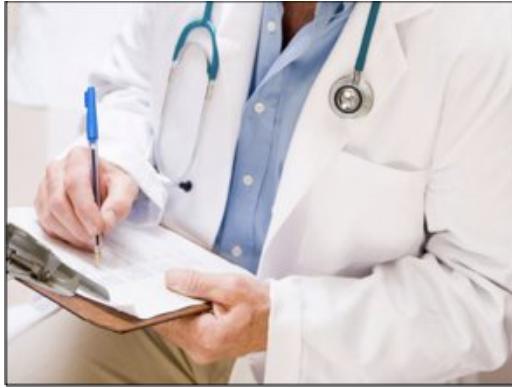
Prof. Mario Molinara

# Deterioramento cognitivo

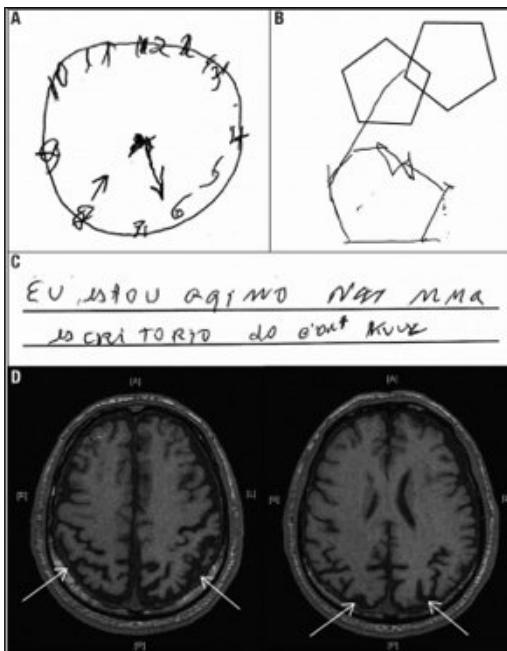


- Rappresenta una **patologia** legata a disturbi della memoria, dell'attenzione, del linguaggio e della programmazione motoria.
- Non esiste ad oggi **alcuna cura definitiva, ma soltanto trattamenti palliativi** mirati al mantenimento delle funzioni cognitive.
- Una **pronta diagnosi** potrebbe aumentarne considerevolmente l'efficacia.

# Diagnosi



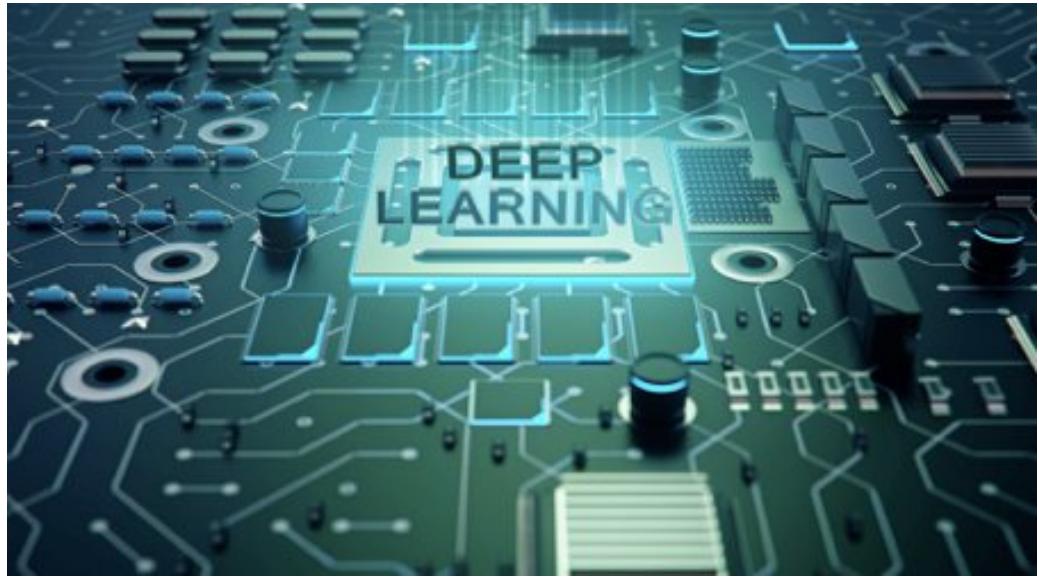
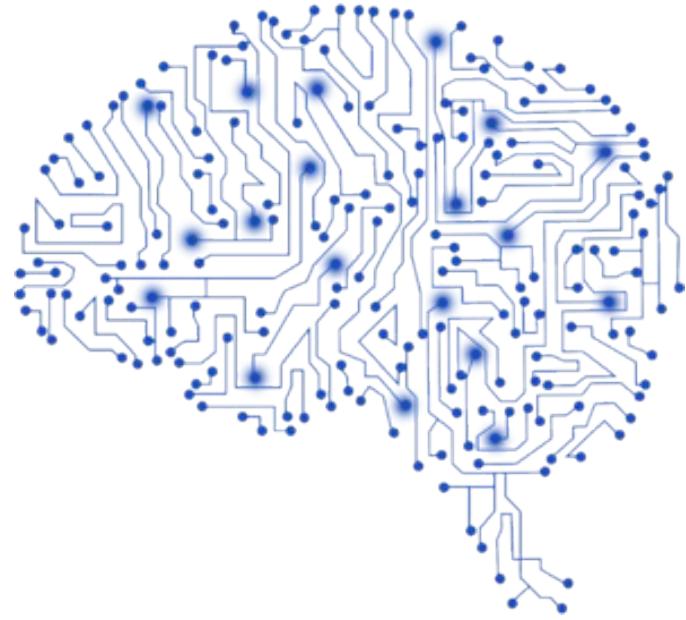
Attualmente la diagnosi è vincolata prevalentemente allo specialista che, interpretando i referti, estrae da essi **caratteristiche** che consentono di identificare la patologia.



- Questo tipo di approccio è estremamente oneroso in termini di **tempi e costi**.
- Con l'aumento dell'età media della popolazione, **si stima un incremento dei soggetti affetti dalla malattia**.

**Appare dunque opportuno lo sviluppo di nuovi sistemi a supporto della diagnosi.**

# Obiettivo



Sfruttando come sintomo della malattia la **disgrafia** del paziente,  
l'obiettivo è quello di applicare algoritmi di **Deep Learning** al problema della diagnosi di patologie neurodegenerative.  
L'esito delle classificazioni eseguite dalle reti neurali ci consente di stabilire se l'approccio considerato rappresenta una giusta strada da seguire, per una **diagnosi preliminare** del disturbo.

# Creazione del dataset

Il gruppo di ricerca ha sviluppato un protocollo sperimentale costituito da **25 esercizi (task) di scrittura a mano** da eseguire su fogli bianchi.

I fogli vengono posizionati su una **tavoletta grafica**, tipologia Wacom Bamboo folio, che **registra alcune caratteristiche legate alla dinamica della scrittura**: coordinate spaziali (x, y), pressione(z), movimenti in aria e sul foglio.

Sono stati dunque prelevati dati provenienti da **soggetti sani e malati**, raccolti in diverse strutture ospedaliere.



Ognuno dei task **mira ad identificare alcuni degli aspetti più compromettenti del disturbo:**

- **Task grafici:** testare l'abilità del paziente nel disegnare tratti elementari e complessi (Es. cerchi, linee, lettere, ecc.).
- **Task di copia diretta e inversa:** testare l'abilità del soggetto nel riprodurre gesti grafici.
- **Task di memorizzazione:** testare la variazione grafica tenendo a mente una parola, un numero o una lettera.
- **Task di dettatura:** testare la variazione grafica quando è richiesto un utilizzo della memoria di lavoro (*working memory*).



Parkinson's



Sano



Alzheimer's



# L’Ipotesi

- Le Reti Neurali Profonde (DNN) esibiscono **elevate prestazioni** in diversi campi dell'intelligenza artificiale.
- Uno dei punti chiave delle DNN è la **capacità di estrarre ed identificare automaticamente le caratteristiche** su cui basare la classificazione, **direttamente dai dati grezzi**.

È possibile assegnare l'estrazione delle caratteristiche legate alla scrittura a mano libera direttamente ad una rete neurale, in modo da massimizzare le performance di classificazione?



# Elaborazione dei dati

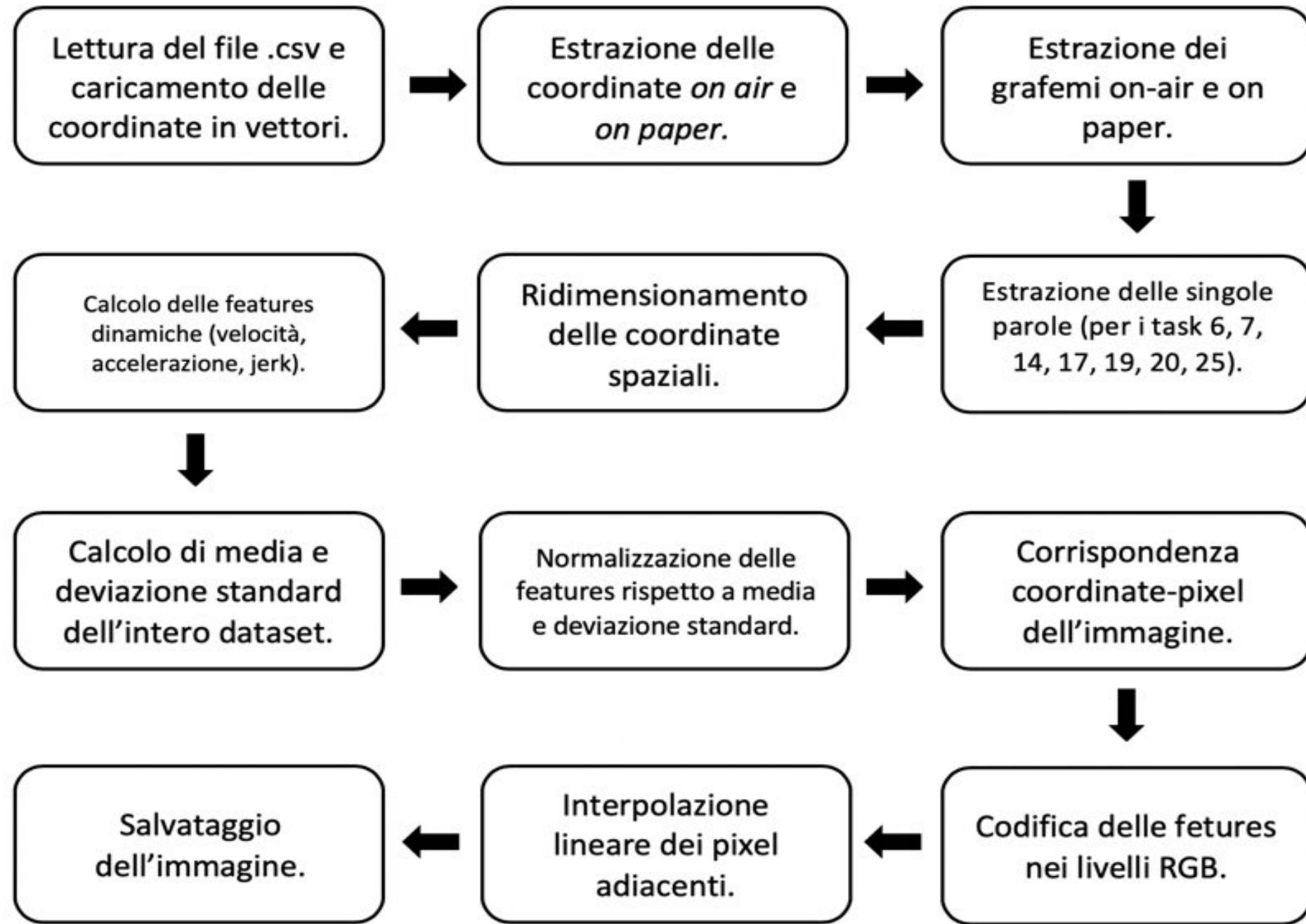
Il lavoro di tesi si è concentrato sullo sviluppo di un **software in linguaggio Python** allo scopo di:

- **Codificare i dati acquisiti in immagini RGB.**
- **Ricavare le caratteristiche** dinamiche della scrittura (velocità, accelerazione, jerk).
- **Normalizzare le informazioni** rispetto all'intero dataset.

I dati in ingresso sono costituiti da file .csv con la seguente struttura:

```
2905,21821,0,0.00500011  
2913,21845,0,0.00500011  
2923,21871,0,0.00499916  
2948,21945,0,0.00500011  
2956,21966,528,0.00500011  
2963,21986,534,0.00500011  
2972,22012,545,0.00500011  
2980,22036,556,0.00500011  
2987,22058,575,0.00500011
```

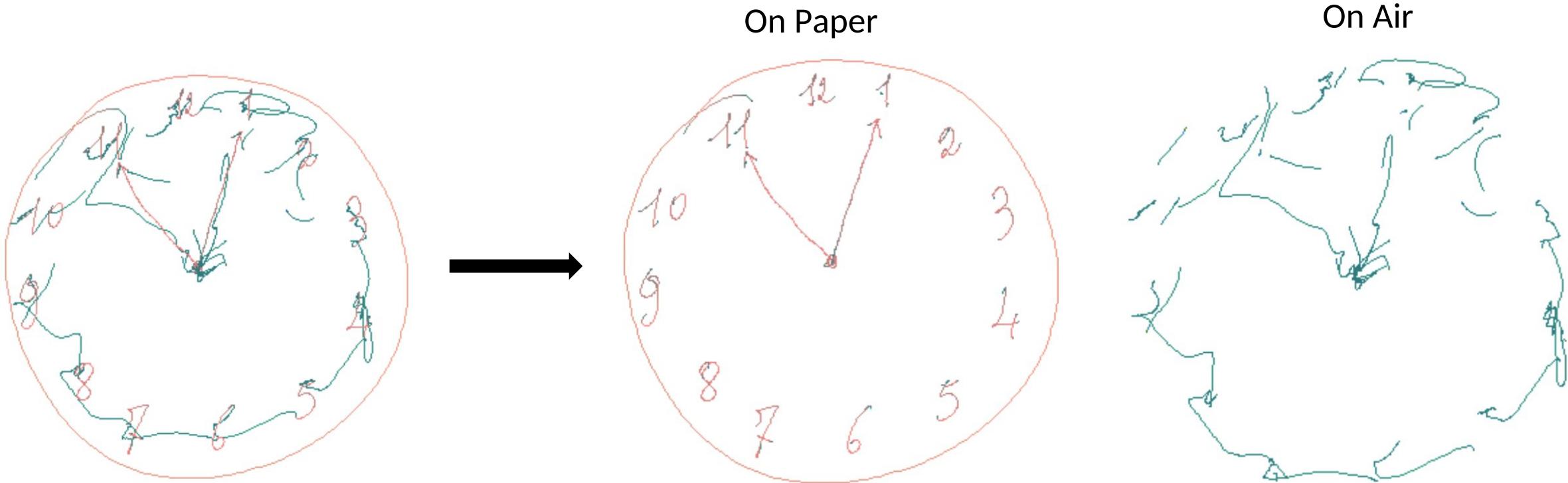
*Coordinate spaziali (x, y), pressione (z), timestamp (t)*



# Estrazione delle coordinate *on air* e *on paper*

La coordinata z, associata al **livello di pressione** della penna, è stata utilizzata come informazione di riferimento su cui basare l'estrazione delle coordinate *on paper* (tratti sul foglio) e *on air* (movimenti in aria):

- *On Paper*: coordinata z **maggiore di zero**.
- *On Air*: coordinata z **nulla**.

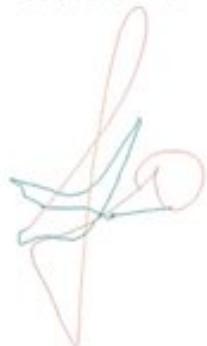


# Estrazione dei grafemi

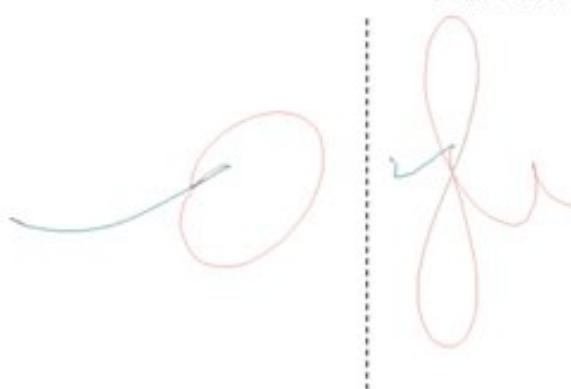
Per grafema si intende l'**unità grafica minima** delimitata da un **pen-up** ed il successivo **pen-down**, dove con il primo definiamo la **transizione del tratto da on paper a on air**, mentre con il secondo consideriamo la **transizione del tratto da on air a on paper**.



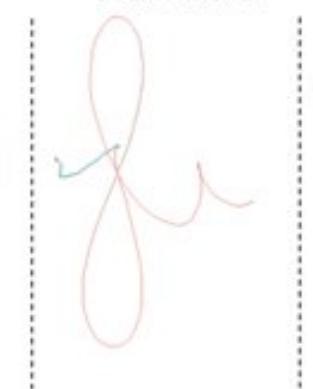
Grafema 1



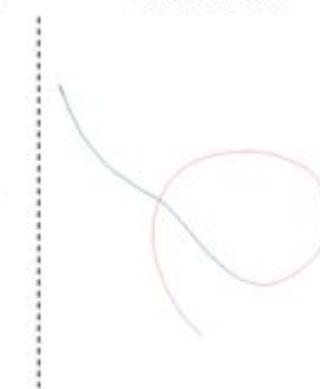
Grafema 2



Grafema 3



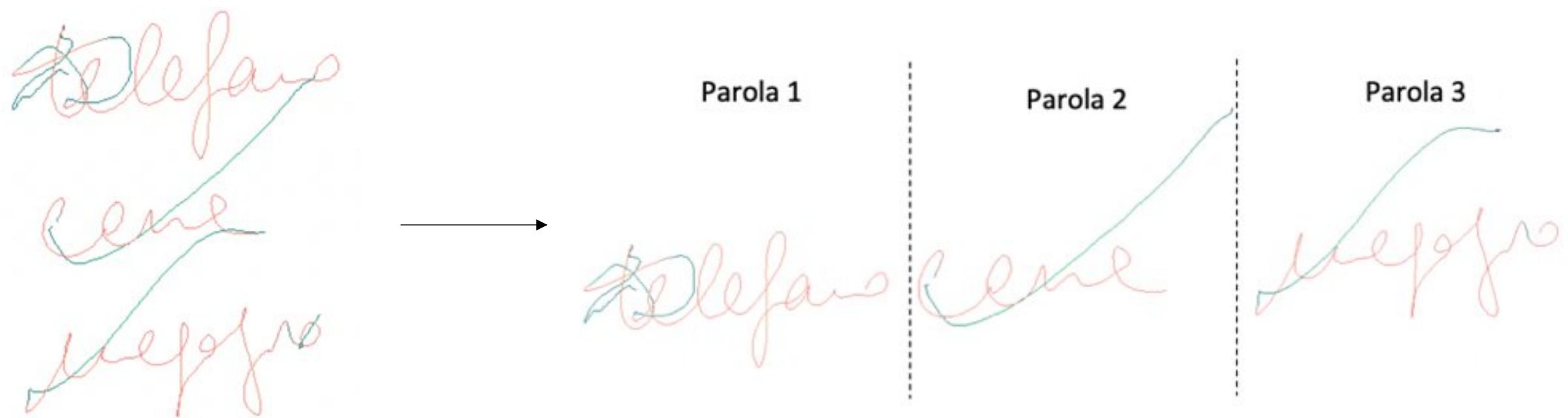
Grafema 4



# Estrazione delle singole parole

Per l'estrazione delle singole parole si è adottata una **tecnica di segmentazione mediante soglia**. Per calcolarla si è sfruttata l'informazione relativa al numero di parole contenute in ciascun task.

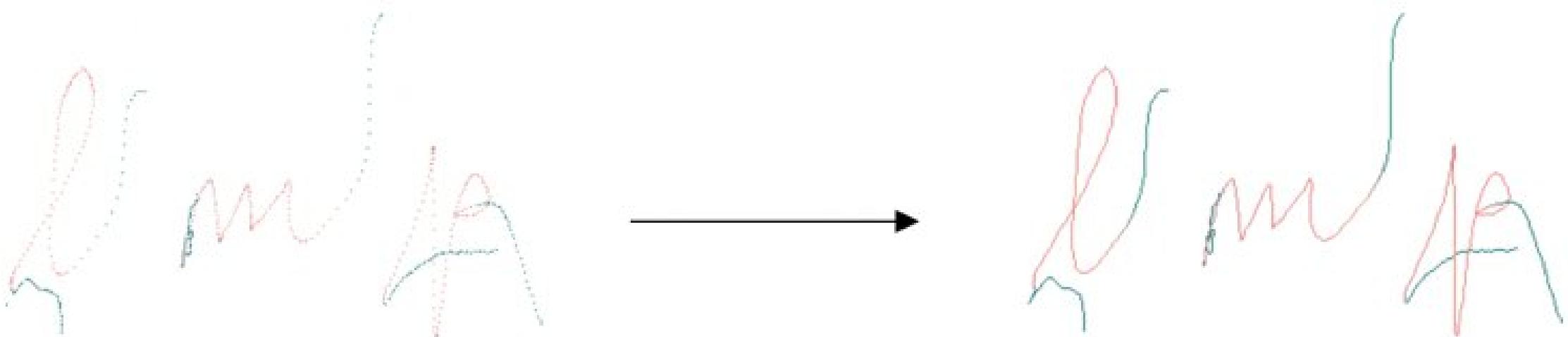
In particolare l'**algoritmo varia dinamicamente il valore della distanza di soglia, fin tanto che il numero dei segmenti restituiti non è uguale al numero di parole da restituire**.



# Interpolazione lineare dei pixel

Le immagini originariamente prodotte sono costituite da un insieme di punti, così come campionati dalla tavoletta grafica.

Per ricostruire le tracce di inchiostro presenti sul foglio, si è scelto di **interpolare linearmente i pixel adiacenti**.



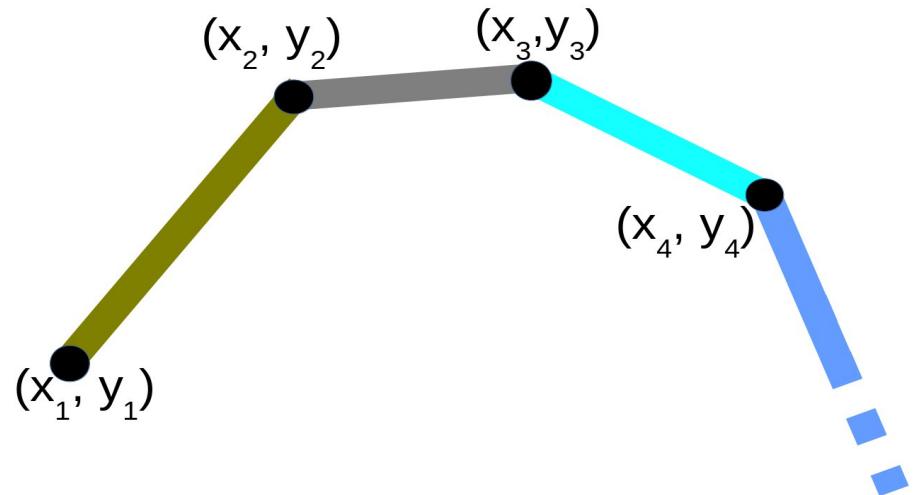
# Estrazione delle features

Dalle coordinate  $(x, y)$  sono state calcolate numericamente alcune features legate alla dinamica della scrittura:

- **Velocità**
- **Accelerazione**
- **Jerk**

I livelli ottenuti sono stati **normalizzati** rispetto all'intervallo [0,255], considerando il valore minimo e massimo dell'intero dataset.

Le features sono state riportate nei **livelli RGB** di ogni immagine.



Es.

- Il primo tratto corrisponde ai livelli RGB (**pressione**=127, **velocità**=127, **jerk**=0),
- Il secondo tratto corrisponde ai livelli RGB (**pressione**=127, **velocità**=127, **jerk**=127)

...



# Verifica sperimentale

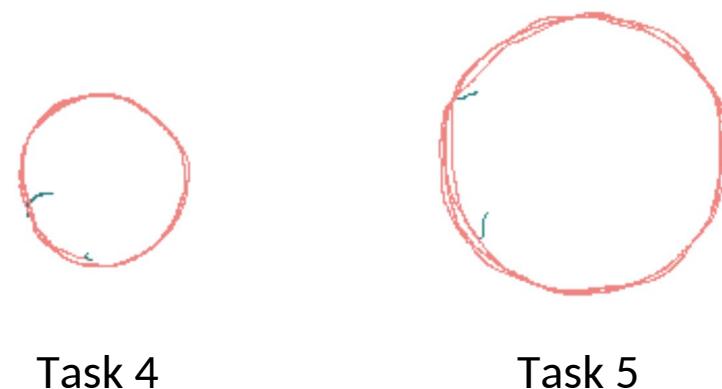
Il gruppo di ricerca ha eseguito una prima serie di esperimenti per verificare se l'approccio restituisca risultati promettenti.

Come DNN sono stati utilizzati **diversi modelli** addestrati sul dataset *ImageNet*:

- VGG 19
- ResNet50
- Inception V3
- Inception ResNetV2

Per ognuna sono state applicate tecniche di **Transfer Learning** e **Fine Tuning**.

Gli addestramenti sono stati svolti sui task 4 e 5: copia di due cerchi di diverso diametro





# Risultati

Le performance delle reti sono state valutate sulla base di due parametri statistici:

- **Recognition Rate (RR).**
- **False Negative Rate (FNR).**

		VGG 19		ResNet50		Inception V3		Inception ResNet V2	
		RR (%)	FNR (%)	RR (%)	FNR (%)	RR (%)	FNR (%)	RR (%)	FNR (%)
Task 4	TL	66.45	9.41	51.61	52.94	67.74	27.06	63.34	40.00
	FT	72.26	24.31	70.32	37.13	69.68	30.59	67.74	25.08
Task 5	TL	64.76	28.32	68.08	23.78	69.08	43.70	61.98	41.51
	FT	64.76	27.65	75.17	17.23	72.59	26.47	70.75	18.91

*TL: transfer learning; FT: fine tuning; RR: recognition rate; FNR: false negative rate*



# Conclusione e sviluppi futuri

I risultati ottenuti sono estremamente promettenti e ci suggeriscono che l'approccio utilizzato rappresenta effettivamente la strada giusta.

La ricerca continua e con i prossimi passi da compiere si potranno raggiungere risultati ancora migliori:

- Costruzione di dataset più grandi.
- Utilizzo di nuove architetture di reti neurali.
- Introduzione di nuove features.