UNIVERSITÀ DELLA VALLE D'AOSTA
UNIVERSITÉ DE LA VALLÉE D'AOSTE

Dipartimento delle Scienze Umane e Sociali
Corso di Laurea in Scienze e Tecniche Psicologiche

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

TESI DI LAUREA

L'IA al servizio della dislessia

Docente Relatore: Prof. Stefano Cacciamani

Studente: Tommaso Rama

INDICE

INTRODUZIONE ……..…… pag. 3

CAPITOLO 1 DISLESSIA

1.1 Definizione e descrizione del disturbo …….… pag. 5

1.2 Evoluzione del disturbo …….….. pag. 7

1.3 Aspetti neurobiologici …….…… pag. 9

1.4 Comorbilità con altri DSA e difficoltà associate …….…….…… pag. 11

1.5 Strumenti per la valutazione …….…… pag. 13

1.6 Valutazione testistica ……...……... pag. 14

1.7 I trattamenti riabilitativi dei DSA …….…… pag. 16

CAPITOLO 2 INTELLIGENZA ARTIFICIALE

2.1 Intelligenza artificiale: quale definizione …….…… pag. 24

2.2 Un framework per l'AI literacy: verso un'alfabetizzazione critica all'intelligenza artificiale ……...……..… pag. 26

2.3 Dal mito agli algoritmi: una breve storia dell'intelligenza artificiale ……..…. pag. 27

2.4 Principali tipi di applicazione dell'intelligenza artificiale …….……... pag. 29

2.5 Sfide comuni alle applicazioni IA ……... pag. 30

2.6 IA nell'ambito educativo …….… pag. 31

2.7 Intelligenza artificiale in educazione: le sfide etiche ……...……. pag. 31

2.8 I modelli linguistici di grandi dimensioni come strumenti per comprendere la mente umana …… pag. 34

2.9 Utilizzo dei modelli LLM in ambito educativo …… pag. 36

CAPITOLO 3 IA E DISLESSIA

3.1 Perché questa domanda di ricerca …… pag. 40

3.2 Gli obbiettivi degli studi ……..……. pag. 40

3.3 Quali sono i soggetti coinvolti (età, ordine di scuola) – tipo di disturbo ……..… pag. 42

3.4 Come è stata usata l'IA nell'intervento …… pag. 44

3.5 Come sono stati misurati gli effetti dell'intervento …….…. pag. 49

3.6 Quali risultati sono stati ottenuti ……..……. pag. 52

CONCLUSIONE …….…….. pag. 54

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI …….…….. pag. 56

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, il rapido sviluppo delle tecnologie di intelligenza artificiale (IA) ha aperto nuove possibilità di applicazione in ambito educativo e clinico. Tra le potenziali aree di intervento, la diagnosi e il trattamento dei disturbi specifici dell'apprendimento, e in particolare della dislessia, rappresentano un campo di grande interesse sia per la ricerca scientifica sia per le pratiche educative e riabilitative. La domanda di ricerca di questa tesi – In che modo l'IA può essere impiegata nella diagnosi e nel trattamento della dislessia? – è rilevante per almeno due motivi principali. In primo luogo, la dislessia è un disturbo ad alta prevalenza, con importanti ricadute sul rendimento scolastico, sul benessere psicologico e sulle opportunità di partecipazione sociale degli individui che ne sono affetti. In secondo luogo, le tecnologie basate su IA, in virtù della loro capacità di adattamento, personalizzazione e analisi avanzata dei dati, offrono strumenti potenzialmente innovativi per migliorare sia le strategie diagnostiche, in particolare in termini di precocità e accessibilità, sia gli approcci riabilitativi, colmando in parte le lacune dei metodi tradizionali.

Dalla revisione della letteratura condotta, che ha preso in esame quattro studi recenti, emerge un quadro coerente: l'IA può essere impiegata con successo non solo nel trattamento della dislessia, ma anche nella diagnosi precoce del disturbo. Per quanto riguarda la diagnosi, gli studi analizzati descrivono applicazioni che spaziano da sistemi di machine learning in grado di offrire strumenti diagnostici accessibili e standardizzati – particolarmente utili in contesti con risorse limitate e per interventi precoci – fino a strumenti di screening che mettono in luce sia le potenzialità dell'IA nel rilevamento delle difficoltà di lettura, sia le lacune ancora presenti da colmare. Sul versante del trattamento, invece, emergono soluzioni innovative che arricchiscono e potenziano gli approcci tradizionali: LaMPost adults, ad esempio, rappresenta uno strumento che affianca l'utente nella scrittura senza sostituirlo, sostenendo lo sviluppo delle competenze di espressione scritta; AI Reader, invece, propone un approccio digitale che rende l'apprendimento più personalizzato, motivante ed efficace rispetto ai soli metodi convenzionali.

La tesi adotta quindi una duplice prospettiva, diagnostica e di intervento, sviluppandosi in tre capitoli tra loro connessi. Il primo capitolo offre una panoramica della dislessia, partendo dalla definizione proposta dal DSM-5 e dall'ICD-11, per poi analizzarne l'evoluzione, gli aspetti neurobiologici, le procedure diagnostiche più diffuse e le principali indicazioni per il trattamento, delineando così il contesto clinico di riferimento. Il secondo capitolo si concentra sull'intelligenza artificiale, introducendone la definizione e i quadri teorici, approfondendo il concetto di AI literacy, ripercorrendo la sua storia e descrivendo le principali tipologie di applicazione. Vengono discusse le sfide più comuni, con particolare attenzione al settore educativo, e affrontate le

implicazioni etiche e il ruolo dei modelli linguistici di grandi dimensioni, in vista di un loro possibile utilizzo nei disturbi dell'apprendimento. Il terzo capitolo traduce la teoria in pratica, analizzando gli studi selezionati: vengono presentati i partecipanti, le modalità di impiego dell'IA negli interventi, le misure utilizzate e i risultati ottenuti.

L'obiettivo complessivo è offrire un'analisi critica e documentata delle opportunità e delle sfide connesse all'uso dell'intelligenza artificiale nella diagnosi e nel trattamento della dislessia, mettendo in luce sia le potenzialità tecnologiche sia le implicazioni educative ed etiche di tali applicazioni.

CAPITOLO 1 DISLESSIA

1.1 DEFINIZIONE E DESCRIZIONE DEL DISTURBO

La dislessia evolutiva è un disturbo specifico dell'apprendimento che si manifesta con difficoltà nella decodifica del testo durante l'età evolutiva, in assenza di deficit neurologici, cognitivi, sensoriali o relazionali, e nonostante un'adeguata esposizione a opportunità educative e scolastiche (DSM-5, 2014). Secondo la classificazione internazionale ICD-10, essa è definita come un disturbo specifico della lettura, identificabile mediante l'impiego di test standardizzati, somministrati a bambini con capacità cognitive (QI) e sensoriali (vista e udito) nella norma, che abbiano avuto accesso a un'istruzione scolastica adeguata. Tali criteri sono confermati anche nella recente versione ICD-11 (2018). In Italia, la diagnosi di DSA si basa sui criteri e i codici diagnostici riportati nel manuale ICD-10, utilizzati per la redazione dei documenti ufficiali. Nell'ICD-10, questi disturbi rientrano nella categoria dei Disturbi evolutivi specifici delle abilità scolastiche (codice F81) e vengono classificati in base al tipo specifico di difficoltà che comportano: Disturbo specifico della lettura (o Dislessia) F81.0 – disturbo specifico della lettura che si manifesta con una difficoltà nella lettura di un testo in termini di velocità e accuratezza.

Le ricerche condotte nei paesi anglofoni evidenziano una notevole variabilità nei tassi di prevalenza, che oscillano tra il 5% e il 17,5%. Questa ampia forbice è attribuibile a fattori quali le differenze nei criteri diagnostici, negli strumenti di valutazione utilizzati, nel tipo di difficoltà presa in esame (ad esempio, dislessia specifica rispetto ai disturbi dell'apprendimento in generale) e nell'età dei soggetti coinvolti. Anche in Italia si riscontra una simile eterogeneità: i pochi studi disponibili riportano una prevalenza compresa tra l'1,3% e l'8,5%.(Barbiero et al., 2012; Lindgren et al., 1985; MIUR, 2018.). Una ricerca condotta da Barbiero e colleghi (2019) su un campione di 9.964 bambini tra gli 8 e i 10 anni ha rilevato una prevalenza della dislessia del 3,5%, con moderate differenze regionali: il 3,6% al nord, il 3,7% al sud e il 3,2% al centro.

Numerose teorie sono state proposte per spiegare la dislessia evolutiva. La principale è la teoria fonologica (Shaywitz, Morris, & Shaywitz, 2012), che interpreta le difficoltà nella lettura come conseguenza di un deficit nella consapevolezza fonologica, intesa come la capacità di accedere, discriminare e manipolare le informazioni di tipo fonologico. (Shaywitz, Morris, & Shaywitz, 2012). Questo deficit ostacola la corrispondenza tra i suoni del linguaggio e i relativi segni grafici, influendo negativamente sulla velocità e sulla fluenza della lettura. (Vellutino et al., 2004). A riprova di quanto ipotizzato, studi recenti hanno evidenziato prestazioni ridotte nei bambini con dislessia in compiti di memoria a breve termine verbale, consapevolezza fonologica (Ramus et al., 2003., come citato in Scorza et al., 2019), categorizzazione fonemica (Serniclaes et al., 2001,

come citato in Scorza et al., 2019) e percezione rapida di stimoli acustici (Tallal et al., 1985. ., come citato in Scorza et al., 2019).

Un'altra teoria è quella del processamento uditivo rapido (Tallal, 1980, 2000; Tallal et al., 1993) secondo la quale la dislessia potrebbe derivare da una difficoltà nel trattare in modo efficiente stimoli uditivi che si susseguono rapidamente e in sequenza; è stato inoltre dimostrato, attraverso analisi post mortem del cervello dei dislessici, che essi presentano anomalie neuropatologiche dello sviluppo, come ad esempio la microgiria dello sviluppo, che identifica una difficoltà nel processare correttamente stimoli uditivi sequenziali e rapidi come possibile causa della dislessia. Questo processo è fondamentale per la traduzione dei suoni nei compiti di lettura. Recenti studi suggeriscono che difficoltà di processamento temporale potrebbero rappresentare le basi neuronali della teoria fonologica (Choudhury et al., 2007., come citato in Scorza et al., 2019).

vLa teoria cerebellare (Nicolson & Fawcett, 1990.) ipotizza un nesso causale tra la dislessia e un deficit generalizzato nei processi di automatizzazione, attribuendo al cervelletto un ruolo centrale in tale compromissione. Gli autori riportano che circa l'80% dei soggetti con dislessia evolutiva presenta segni di disfunzione cerebellare (Nicolson et al., 1999), ipotesi supportata da ulteriori studi (Stella et al., 2019).

La teoria magnocellulare ipotizza un malfunzionamento della via dorsale magnocellulare, coinvolta nell'elaborazione visiva e nella stabilità binoculare, che determinerebbe difficoltà a livello visuo-attentivo. (Stein & Walsh, 1997). Studi post-mortem (Stella et al., 2019) hanno rilevato anomalie nelle lamine magnocellulari del nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo. Nei bambini con dislessia si osserva una ridotta sensibilità al contrasto di stimoli in movimento a basse frequenze spaziali, mentre la percezione alle alte frequenze spaziali, regolate dal sistema parvocellulare, risulta preservata. (Evans et al., 1996).

Un'evoluzione di questa teoria è l'ipotesi del deficit di attenzione spaziale, che lega la dislessia a difficoltà nei meccanismi di attenzione visiva, fondamentali per la lettura (Stella et al., 2019). Studi riportano difficoltà significative nei compiti di attenzione spaziale in bambini con dislessia (Stella et al., 2019). La ridotta consapevolezza fonologica che spesso caratterizza i bambini con dislessia viene interpretata come il risultato sia di un funzionamento inefficace del processo che consente la conversione degli input ortografici, che riguardano la capacità del sistema visivo di elaborare rapidamente informazioni visive come le lettere e le loro sequenze durante la lettura ad esempio in un compito sperimentale, si può presentare la parola "cane" molto rapidamente (es. 100-150 ms) tra parole visivamente simili, per verificare se il lettore dislessico riesce a: discriminare visivamente la parola corretta; attivare una rappresentazione ortografica stabile, o se l'elaborazione visiva instabile (teoria del deficit magnocellulare) ostacola questo processo, in

corrispondenti grafema-fonema, sia di un più generale deficit nei meccanismi di processamento (Vidyasagar e Pammer, 2009)

Ramus et al. (2003) hanno confrontato le principali teorie, coinvolgendo 16 adulti dislessici. Tutti i partecipanti mostravano un disordine fonologico, spesso associato a deficit cerebellari o uditivi. Gli autori concludono che il deficit fonologico è una causa necessaria e sufficiente della dislessia, mentre altri deficit possono aggravare il quadro clinico senza essere determinanti.

Sebbene la teoria fonologica sia la più esplorata, alcuni studiosi sostengono una multifattorialità e multicomponenziale del disturbo (Pennington, 2006; Facoetti, 2003; Menghini et al., 2010. La dislessia evolutiva. In M. Scorza, E. Ghidoni, M. Camia, M. Zoppello, DSA identificazione, valutazione e trattamento. FrancoAngeli). La dislessia sembra coinvolgere diversi domini cognitivi, tra cui consapevolezza fonologica (Snowling, 2001; Goswami, 2003), processamento uditivo (Tallal, 1980; Hornickel & Kraus, 2013, come citato in Scorza et al., 2019), attenzione multisensoriale selettiva (Hari & Renvall, 2001; Facoetti et al., 2010, come citato in Scorza et al., 2019), percezione del movimento (Stein & Talcott, 1999) e altre competenze visuo-attentive (Gori et al., 2014). La ricerca di una causa unica appare inadeguata per spiegare il complesso quadro sintomatologico della dislessia evolutiva (Pennington, 2006., come citato in Scorza et al., 2019).

1.2 EVOLUZIONE DEL DISTURBO

Gli studi presenti nella letteratura nazionale e internazionale (Tressoldi et al., 2001) riguardanti l'evoluzione della dislessia evidenziano la persistenza del deficit durante tutto l'arco della vita. La dislessia evolutiva viene infatti classificata come un disturbo del neurosviluppo che accompagna l'individuo lungo tutta la vita, anche se le sue manifestazioni possono modificarsi nel corso dello sviluppo. Come indicato da Tressoldi e colleghi (2001), il deficit tende a ridursi spontaneamente, anche in assenza di interventi specifici. Gli autori, analizzando un campione di bambini dislessici della scuola primaria, hanno osservato un incremento nella velocità di lettura di un brano di 0.3 sillabe al secondo tra un anno scolastico e il successivo.

Considerando separatamente i parametri di velocità e accuratezza, la letteratura evidenzia differenze nell'evoluzione del disturbo. In particolare, gli studi relativi alla lettura in lingue a ortografia trasparente o semitrasparente (Holopainen et al., 2001; Jimenez, 2012., come citato in Scorza et al., 2019) mostrano che, sebbene la lentezza nella lettura permanga nel tempo, la distanza tra dislessici e normolettori nella velocità di lettura di parole e brani tende a ridursi con il progredire della scolarizzazione. Tuttavia, persiste una maggiore lentezza nella decodifica delle non parole, per la quale i ragazzi dislessici sembrano raggiungere un massimo livello di prestazione verso la fine della scuola secondaria (Shaywitz et al., 1999., come citato in Scorza et

al., 2019). Sul versante dell'accuratezza, si osserva un significativo miglioramento nella decodifica delle parole, mentre il numero di errori resta elevato nella lettura di testi e non parole. La distanza nell'accuratezza di lettura tra dislessici e normolettori rimane particolarmente evidente nelle lingue opache o a bassa trasparenza, dove le difficoltà si concentrano sulla decodifica grafema-fonema (Holopainen, Ahonen, Lyytinen, 2001; Jimenez, 2012., come citato in Scorza et al., 2019).

L'evoluzione del disturbo di lettura sembra inoltre dipendere dalla gravità iniziale del quadro. In uno studio longitudinale condotto da Zonno e colleghi (2016) sono state riscontrate differenze nell'evoluzione dei profili di bambini dislessici con difficoltà di grado lieve o severo. Nei bambini con difficoltà medio-severe, la traiettoria evolutiva della velocità di lettura mostra il raggiungimento di un livello prestazionale massimo, seguito da un peggioramento nel primo anno della scuola secondaria di primo grado. Al contrario, i bambini con difficoltà lievi evidenziano un miglioramento costante nel tempo. In entrambi i gruppi, tuttavia, si osserva un aumento più significativo e stabile nella velocità di lettura di parole e brani rispetto alla decodifica di non parole.

La cronicità del disturbo di lettura costringe i lettori dislessici a confrontarsi continuamente con le proprie difficoltà, inizialmente limitate all'ambito scolastico e successivamente estese anche al contesto lavorativo. L'impatto del disturbo sul profilo emotivo, sociale e lavorativo è stato ampiamente documentato in studi recenti (Livingston et al., 2018., come citati in Scorza et. al. 2019). Diversi studi riportano che i bambini dislessici presentano un elevato rischio di sviluppare disturbi esternalizzanti, come il disturbo della condotta o il disturbo oppositivo-provocatorio (Dahle, Knivsberg, Andreassen, 2011, et. al., come citati in M. Scorza, E. Ghidoni, et. al. 2019) durante la preadolescenza e l'adolescenza.

La dislessia è inoltre considerata un fattore di rischio per lo sviluppo di disturbi d'ansia, sintomi depressivi e difficoltà nella sfera sociale (Dahle et al., 2011; Knivsberg, Andreassen, 2008, et. al. come citati in M. Scorza, E. Ghidoni, et. al. 2019). La persistenza delle difficoltà di lettura nella scuola secondaria e nell'età adulta raddoppia il rischio di tentativi di suicidio e di episodi di violenza durante l'adolescenza (Svetaz, Ireland, Blum, 2001., come citati in M. Scorza, E. Ghidoni, et. al. 2019). Le difficoltà percepite e la sensazione di una significativa differenza tra le proprie capacità e quelle dei compagni influiscono negativamente sull'autostima e sul senso di autoefficacia personale (McNulty, 2003., come citato in Scorza et al., 2019). Entrambi questi costrutti, fondamentali per il benessere globale (Nalavany, Carawan, 2011., come citati in M. Scorza, E. Ghidoni, et. al. 2019), sono spesso descritti come problematici negli studenti dislessici, che tendono a interpretare le loro difficoltà scolastiche come una conseguenza di un basso livello

cognitivo, sentendosi quindi meno intelligenti rispetto ai coetanei (Humphrey, Mullins, 2002., come citati in Scorza et al., 2019). Questo senso di inadeguatezza e scarsa efficacia, se non affrontato con un supporto psicologico adeguato, tende a persistere nel corso della vita, riemergendo durante gli studi universitari e nel contesto lavorativo (Nalavany, Logan, Carawan, 2018., come citati in Scorza et al., 2019). Nell'età adulta, questa condizione di bassa accettazione delle proprie difficoltà è spesso associata a stati di ansia elevata e stress emotivo (Scorza et al., 2018., come citato in Scorza et al., 2019), con possibili conseguenze quali l'abbandono scolastico o lavorativo (Davis et al., 2009., come citato in Scorza et al., 2019).

1.3 ASPETTI NEUROBIOLOGICI

Le principali evidenze sulla natura neurobiologica dei disturbi di lettura derivano da studi sul cervello umano, effettuati tramite tecniche di neuroimaging e analisi neurofisiologiche. Comprendere approfonditamente queste basi neurobiologiche fornisce a medici, psicologi, logopedisti, terapisti, pedagogisti e insegnanti una conoscenza comune più solida, andando oltre gli aspetti clinici, diagnostici e terapeutici. Le ricerche in questo ambito hanno confermato che la dislessia non è una condizione psicologica o motivazionale, contribuendo a un cambiamento culturale nella comprensione dei disturbi specifici dell'apprendimento.

Il primo contributo significativo allo studio delle basi neurali della dislessia risale a Galaburda et al. (1979, 1985), che, attraverso esami autoptici del cervello di individui dislessici, ha individuato anomalie strutturali nella corteccia cerebrale, come neuroni presenti in aree corticali non corrispondenti alla loro normale localizzazione. Queste anomalie erano concentrate principalmente nelle aree del linguaggio dell'emisfero sinistro, ma coinvolgevano anche altre strutture come i corpi genicolati mediali e laterali, la corteccia uditiva e visiva primaria, e il cervelletto. Sebbene questi studi abbiano avuto un forte impatto, non sono stati replicati e attendono ulteriori verifiche.

Le tecniche neurofisiologiche hanno evidenziato alterazioni complesse nei soggetti dislessici rispetto ai normolettori (Caylak, 2009). Studi su risposte evocate a stimoli visivi e uditivi (Schulte-Korne & Bruder, 2010., come citati in M. Scorza, E. Ghidoni, et. al. 2019) hanno mostrato deficit nell'elaborazione precoce di stimoli in movimento e nell'elaborazione temporale di stimoli uditivi, suggerendo un deficit nel sistema magnocellulare. Il paradigma della mismatch negativity (MMN) è stato particolarmente utile per individuare un'elaborazione uditiva alterata nei dislessici (Schulte-Korne & Bruder, 2010., come citati in Scorza et al., 2019), anche se alcuni studi non hanno confermato questi risultati (Halliday et al., 2014., come citato in Scorza et al.,

2019). Goswami (2014) ha sottolineato come la ricerca sulla percezione uditiva precoce possa fornire indizi cruciali per comprendere il deficit fonologico.

Le tecniche di neuroimaging, sia strutturale sia funzionale, hanno contribuito significativamente alla comprensione delle basi neuroanatomiche implicate nei processi della lettura. Gli studi hanno identificato un network cerebrale complesso coinvolto nei normali processi di lettura, composto da aree corticali e fasci di connessione che subiscono processi di adattano durante l'apprendimento (Dehaene, 2007., come citato in Scorza et al., 2019). Ad esempio, la risonanza magnetica funzionale (fMRI) ha mostrato circuiti cerebrali distinti per l'elaborazione ortografico-fonologica e semantica (Graves et al., 2010., come citato in Scorza et al., 2019). Questi network includono regioni come il giro temporale posteriore sinistro e il giro frontale inferiore posteriore sinistro (Koyama et al., 2010., come citato in Scorza et al., 2019).

Gli studi di trattografia in età prescolare hanno evidenziato due fibre nervose: una dorsale, coinvolta, probabilmente, nei processi fonologici, e una ventrale, associata al riconoscimento ortografico (Vandermosten et al., 2015., come citato in Scorza et al., 2019). La specializzazione del fascio dorsale per i processi fonologici si sviluppa durante l'apprendimento della lettura, e la componente ventrale ha un forte valore predittivo sulle abilità di lettura future.

Le analisi meta-analitiche di studi fMRI su soggetti normolettori e dislessici hanno identificato tre principali network cerebrali: uno per le difficoltà di lettura (area di Broca e regioni attentive), uno per le parole (lobo temporale e giro fusiforme anteriore) e uno per le non-parole (regioni occipito-temporali e parietali inferiori) (Cattinelli et al., 2013., come citato in Scorza et al., 2019). I processi ortografici, fonologici e semantici dipendono dall'impegno differente di questi tre network.

Studi sullo sviluppo del network di lettura dall'infanzia all'età adulta hanno mostrato un'evoluzione funzionale dei pattern di attivazione cerebrale (Martin et al., 2015., come citato in Scorza et al., 2019). Le aree occipito-temporali ventrali sinistre e il giro frontale inferiore si attivano sia nei bambini sia negli adulti, mentre altre regioni mostrano attivazioni specifiche per ciascuna età.

Le analisi voxel-based morphometry (VBM) hanno rivelato differenze strutturali nei cervelli dei soggetti dislessici. Una riduzione della sostanza grigia è stata rilevata in diverse aree, incluse la giunzione temporo-parietale, il giro temporale superiore e il giro fusiforme (Heim et al., 2004; Richlan et al., 2013., come citati in Scorza et al., 2019). Tuttavia, l'eterogeneità dei risultati strutturali impedisce conclusioni definitive (Eckert et al., 2004., come citato in Scorza et al., 2019).

Infine, studi di neuroimaging funzionale hanno evidenziato deficit di attivazione nei sistemi temporo-parietale dorsale e occipito-temporale ventrale nei dislessici, responsabili rispettivamente della conversione grafema-fonema e del riconoscimento rapido delle parole (Pugh et al., 2001., come citato in Scorza et al., 2019). Meta-analisi recenti (Richlan et al., 2009; Paulesu et al., 2014., come citati in Scorza et al., 2019) hanno confermato queste ipoattivazioni, evidenziando un pattern di anomalie funzionali specifiche per la dislessia.
L'utilizzo di tecniche di neuroimaging per valutare gli effetti di interventi riabilitativi è un settore in espansione. Studi hanno mostrato che interventi intensivi possono incrementare l'attivazione funzionale in diverse aree cerebrali e migliorare le connessioni neuronali (Simos et al., 2002; Richards et al., 2008., come citati in Scorza et al., 2019). Una meta-analisi di Barquero et al. (2014) ha evidenziato cambiamenti significativi nell'attivazione funzionale post-trattamento, con incrementi in regioni cerebrali rilevanti per la lettura.
In sintesi possiamo dire che le ricerche concordano nel definire la dislessia come una condizione associata a disfunzioni nei network cerebrali per la lettura e che sono influenzati da fattori genetici, neurofisiologici e ambientali. Questo quadro complesso sottolinea la necessità di approcci multidisciplinari per la comprensione e per un trattamento efficace.

1.4 COMORBILITA' CON ALTRI DSA E DIFFICOLTA' ASSOCIATE

In letteratura sono numerosi gli studi che analizzano le comorbidità tra i disturbi specifici dell'apprendimento e altre condizioni cliniche, come disprassie, disturbi del comportamento e dell'umore, ADHD e disturbi d'ansia.
La comorbidità più frequente è quella tra dislessia e altri disturbi dell'apprendimento, come discalculia (difficoltà nel sistema del numero e del calcolo) e disortografia (difficoltà nella scrittura). Studi recenti hanno evidenziato un'elevata co-occorrenza tra difficoltà di lettura e scrittura, con percentuali che variano dal 30% nei bambini delle prime classi della scuola primaria al 50% in quelli della classe quarta (Costa et al., 2015., come citato in Scorza et al., 2019). Altri studi confermano il forte legame tra questi disturbi: Katusic et al. (2009) riportano che il 75% dei bambini con difficoltà nella scrittura presenta anche disturbi di lettura. Percentuali inferiori, come il 14%, sono riportate da Mayes e Calhoun (2006). La co-occorrenza tra i due disturbi è stata attribuita a funzioni cognitive di base comuni, coinvolte nei processi di lettura e scrittura, come il processamento fonologico, il lessico, la sintassi e i processi di controllo e problem-solving (Graham, Hebert, 2010, 2011; Altemeier et al., 2006; et. al., come citati in Scorza et al., 2019).
Anche la comorbidità tra dislessia e discalculia è rilevante, con percentuali che si attestano tra il 37% e il 40% (Wilson, Waldie, 2014., come citato in Scorza et al., 2019). Sebbene la letteratura

sul tema sia limitata, si ipotizza che processi comuni, come il processamento fonologico e la memoria di lavoro, possano essere coinvolti in entrambi i disturbi (Berninger et al., 2008; Raghubar et al., 2010., come citati in Scorza et al., 2019).

Un'ulteriore comorbidità frequentemente riscontrata è quella tra dislessia e disturbo del linguaggio, caratterizzato da difficoltà persistenti nell'elaborazione e nell'organizzazione degli elementi fonologici e strutturali del linguaggio, sia nella modalità recettiva che in quella espressiva. Si stima che il 14,8% dei bambini di quarta primaria e il 16,5% degli studenti della terza secondaria di primo grado presentino questa comorbidità (PARC, 2011). Inoltre, il rischio di sviluppare dislessia è sei volte maggiore in presenza di un disturbo del linguaggio (Tomblin et al., 2000., come citato in Scorza et al., 2019). McArthur et al. (2000) evidenziano che il 55% dei bambini con dislessia mostra difficoltà linguistiche rientranti nei criteri di un disturbo del linguaggio, e viceversa, il 51% dei bambini con diagnosi di disturbo del linguaggio potrebbe sviluppare dislessia.

Riguardo alla disprassia, o disturbo della coordinazione motoria, questa è frequentemente associata a difficoltà di lettura (Visser, 2003).

In ambito emotivo e comportamentale, diversi studi evidenziano difficoltà significative nei bambini con dislessia (Goldston et al., 2007; Willcutt, Pennington, 2000., come citati in Scorza et al., 2019). Tra i disturbi comportamentali, il più ricorrente è l'ADHD, con una comorbidità stimata tra il 25% e il 40% (Gayan et al., 2005; Willcutt, Pennington, 2000, et. al., come citati in Scorza et al., 2019). La dislessia è strettamente correlata a difficoltà di attenzione, più che a comportamenti di iperattività (Willcutt, Pennington, 2000come citato in Scorza et al., 2019). In entrambi i disturbi sono riportate difficoltà in memoria di lavoro, denominazione rapida (di lettere, oggetti, colori) e funzioni esecutive (Wolf, Bowers, 1999; Ghelani et al., 2004, et. al., come citati in Scorza et al., 2019).

Infine, i disturbi specifici dell'apprendimento sono spesso associati a psicopatologie che si manifestano dalla scuola secondaria di primo grado, diventando più evidenti nella scuola secondaria di secondo grado. Tra i disturbi più comuni vi sono quelli esternalizzanti (15%-25%), disturbi internalizzanti (20%-25%), lamentele somatiche (14%), iperattività (20%-28%) e ansia (15%) (Rourke, Fuerst, 1992., come citato in Scorza et al., 2019). Nei soggetti con dislessia il rischio di disturbi internalizzanti, come depressione e ansia, è particolarmente elevato (Dahle et al., 2011; Knivsberg, Andreassen, 2008, et. al., come citati in Scorza et al., 2019). Difficoltà emotive e sociali sono spesso riportate sia dai genitori che dai bambini, i quali descrivono frequenti stati d'umore depresso e ansia scolastica.

La dislessia è anche associata a disturbi esternalizzanti, come disturbo della condotta, disturbo oppositivo provocatorio e disturbi da comportamento dirompente (Dahle et al., 2011; Knivsberg, Andreassen, 2008, et. al., come citati in Scorza et al., 2019).

1.5 STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE

L'iter diagnostico per i casi di sospetta dislessia richiede un inquadramento nosografico e una descrizione funzionale del disturbo. Tale descrizione deve includere le caratteristiche specifiche con cui il disturbo si manifesta, la sua gravità (lieve, moderata, severa), le eventuali ricadute su altri ambiti (scolastici e lavorativi) e la possibile presenza di comorbidità. Una corretta definizione funzionale è fondamentale sia per progettare interventi mirati sia per formulare un'ipotesi prognostica.

Per un inquadramento diagnostico adeguato è necessario prendere in esame i fattori di inclusione ed esclusione, come stabilito dai principali sistemi di classificazione clinica internazionali. La diagnosi deve fare riferimento ai codici diagnostici riportati nei manuali ICD-10 e DSM-5. Sebbene sia già disponibile online la versione preliminare dell'ICD-11, la Consensus Conference dell'Istituto Superiore di Sanità (CC-ISS, 2011) suggerisce l'uso dei codici ICD, poiché questo sistema di classificazione è comunemente utilizzato nei servizi pubblici europei.

L'ICD-10 inserisce i Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA) nella categoria F81, denominata "Disturbi Evolutivi Specifici delle Abilità Scolastiche". La CC-ISS raccomanda che nella diagnosi venga riportato il codice e la denominazione del DSA specifico, come previsto dall'Accordo Stato-Regioni del 25 luglio 2012 (art. 3, comma 1). Pertanto, nel caso della dislessia, la diagnosi deve riportare la dicitura "Disturbo Specifico della Lettura" accompagnata dal codice F81.0.

La Consensus Conference del 2007 stabilisce inoltre che la diagnosi di disturbo della lettura non debba essere formulata prima del completamento del ciclo di istruzione formale delle competenze di letto-scrittura, ovvero al termine della seconda classe della scuola primaria. Sebbene sia possibile individuare segnali di dislessia in bambini più piccoli, è necessario adottare un atteggiamento prudente, poiché durante il primo anno scolastico è normale osservare un'ampia variabilità nei tempi di apprendimento della lettura e nell'automatizzazione della decodifica alfabetica, senza che ciò indichi necessariamente un disturbo. Pertanto, in prima primaria si può formulare solo un'ipotesi diagnostica nei casi di difficoltà evidenti, specialmente se associati a fattori di rischio riconosciuti, come una storia di disturbo del linguaggio o una familiarità per i DSA. In tali situazioni, è fondamentale avviare tempestivamente interventi di potenziamento.

L'intervento precoce non solo è cruciale per migliorare l'esito di trattamento, ma costituisce anche un elemento indicativo per la diagnostico: una scarsa risposta al trattamento è infatti un indicatore che conferma l'ipotesi diagnostica di DSA.

Per essere classificata come disturbo specifico, la difficoltà di lettura deve rappresentare una compromissione significativa e circoscritta al dominio della lettura, lasciando intatto il funzionamento intellettivo generale. Questo non implica che le difficoltà di lettura debbano essere l'unica disabilità scolastica; al contrario, la letteratura documenta una frequente comorbidità con difficoltà di scrittura e/o di calcolo.

La diagnosi di dislessia richiede di verificare una discrepanza significativa tra le competenze di lettura (deficitarie) e il funzionamento intellettivo generale (che deve essere almeno nella norma). È inoltre necessario escludere la presenza di menomazioni sensoriali, deficit neurologici maggiori, disturbi primari della sfera emotiva e situazioni di svantaggio socio-culturale, poiché in presenza di uno o più di questi fattori le difficoltà di lettura non possono essere attribuite a un quadro di dislessia, ma devono essere considerate secondarie ad altre condizioni.

La valutazione diagnostica deve servirsi sia di dati anamnestici che di elementi di osservazione clinica, nonché l'analisi delle prestazioni a test standardizzati. È previsto che la valutazione venga effettuata da un'équipe multiprofessionale composta da psicologo, logopedista e neuropsichiatra infantile (o neurologo nel caso di pazienti adulti).

1.6 VALUTAZIONE TESTISTICA

Le scale intellettive Wechsler, specifiche per le diverse fasce d'età, rappresentano lo strumento standardizzato più diffuso a livello internazionale per indagare il profilo intellettivo. Ideate dallo psicologo David Wechsler, tali scale derivano dalla Bellevue-Wechsler Scale, elaborata nella seconda metà degli anni '30. Da questa base sono state sviluppate tre scale principali: la Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS), la Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) e la Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence (WPPSI). Queste scale sono state aggiornate e adattate nel tempo per i diversi Paesi, e in Italia sono disponibili le versioni più recenti: WAIS-IV, WISC-IV e WPPSI-IV.

Accanto a queste, per la valutazione intellettiva, sono largamente utilizzate le Matrici Progressive di Raven, pubblicate per la prima volta nel 1938 da John Carlyle Raven. Questo strumento, concepito per esaminare l'intelligenza cosiddetta "fluida" e non influenzata da componenti culturali, utilizza materiali non verbali. Le Consensus Conference raccomandano, tuttavia, di impiegare strumenti in grado di valutare sia aspetti logici verbali sia non verbali, al fine di ottenere

un quadro più completo del profilo cognitivo del soggetto. La valutazione dell'integrità intellettiva è fondamentale per la diagnosi differenziale.

Per la valutazione delle competenze in lettura, come indicato dalla Consensus Conference del 2007 (CC-2007), è necessario utilizzare prove diversificate. Tali prove includono letture a voce alta di liste di parole, non parole e brani. Tra gli strumenti più utilizzati in ambito clinico per la lettura di liste di parole e non parole vi è la DDE-2 (Batteria per la Valutazione della Dislessia e della Disortografia Evolutiva) (1995, 2007), che permette di valutare le competenze acquisite in lettura e in scrittura nei bambini dalla seconda classe della scuola primaria fino alla terza classe della scuola secondaria di primo grado. Per la lettura di brani, invece, le Prove MT (Memoria Transfert) sono tra i più utilizzati in ambito clinico e scolastico, valutando la rapidità, l'accuratezza e la comprensione. Recentemente, sono state introdotte le Prove MT-3-Clinica (2016), destinate esclusivamente agli operatori clinici per la valutazione della dislessia nella scuola primaria e secondaria di primo grado. Inoltre, per il biennio delle scuole superiori, esistono le Prove MT-Kit scuola, che includono anche esercizi di scrittura e matematica. Esistono anche prove ad uso esclusivo degli operatori le MT-3-AVANZATE Clinica.

Le diverse tipologie di lettura consentono di indagare aspetti specifici del processo di lettura:

- La lettura di parole esamina la via semantico-lessicale, che consente un accesso diretto al magazzino lessicale attraverso la rappresentazione globale dell'etichetta grafemica.
- La lettura di non parole valuta la via fonologica, che implica il riconoscimento dei singoli grafemi, la loro conversione in suoni e l'assemblaggio fonemico.
- La lettura di brani analizza il possibile beneficio derivante dal contesto semantico-lessicale e eventuali interferenze causate da difficoltà di affollamento visivo, che emergono soprattutto nella decodifica di un testo.

I parametri considerati per la valutazione sono:

1. Rapidità di lettura, misurata in sillabe al secondo.
2. Accuratezza, valutata attraverso il conteggio degli errori di decodifica.

Per ogni prova è possibile confrontare la prestazione del soggetto con i valori medi attesi per età e classe frequentata (per i soggetti in età scolare) o per livello di scolarizzazione (per gli adulti). Una prestazione è considerata deficitaria se si colloca al di sotto della seconda deviazione standard per la rapidità o sotto il 5° percentile per l'accuratezza.

Il PARCC (2011) raccomanda inoltre di indagare:

- Memoria verbale (soprattutto fonologica);
- Attenzione (in particolare visiva);
- Linguaggio (a tutti i livelli di organizzazione, con eventuali approfondimenti);

- Denominazione rapida;
- Abilità metafonologiche che rappresentano la capacità di percepire, riconoscere, elaborare e manipolare i suoni che costituiscono le parole (accuratezza nelle prime classi, rapidità successivamente).

Ai fini diagnostici, la prestazione deve essere significativamente deficitaria rispetto ai valori medi attesi (≥2 deviazioni standard per la rapidità; <5° percentile per l'accuratezza) in almeno due delle prove di lettura. Tuttavia, è fondamentale escludere fattori come deficit cognitivo generalizzato, menomazioni sensoriali e neurologiche, disturbi emotivi primari o svantaggi socio-culturali, che potrebbero spiegare il disturbo della lettura, rendendolo non "specifico".

Una volta definito l'inquadramento nosografico, il clinico deve effettuare una qualificazione funzionale del disturbo per analizzarne cioè la sua espressività. Secondo Marotta, Menghini e Vicari (2012), il livello di gravità della dislessia si suddivide in:

- Lieve: prestazioni tra 1,5 e 2 deviazioni standard sotto la media;
- Moderata: prestazioni tra 2 e 3 deviazioni standard sotto la media;
- Severa: prestazioni inferiori a 3 deviazioni standard sotto la media.

L'indagine funzionale deve inoltre considerare fattori cognitivi-linguistici e le componenti cognitive trasversali, oltre alla possibile presenza di disturbi associati come il Disturbo di Attenzione (ADHD) o disturbi emotivi (ansia e depressione). Una qualificazione precisa è essenziale per progettare sia interventi mirati sia formulare eventuali ipotesi prognostiche.

1.7 I TRATTAMENTI RIABILITATIVI DEI DSA

I trattamenti riabilitativi dei DSA

Secondo quanto riportato dalla Consensus Conference sui DSA (2011), i dati disponibili non consentono di affermare con certezza che esistano interventi in grado di modificare la prognosi a lungo termine nei bambini con Disturbi Specifici dell'Apprendimento. La letteratura scientifica attuale presenta un follow-up troppo breve per valutare l'efficacia degli interventi nel lungo periodo. Tuttavia, i dati relativi al follow-up a breve termine indicano che gli interventi focalizzati su lettura, ortografia e calcolo possono determinare un miglioramento delle prestazioni (Zoppello e Latronico, 2019).

Le conoscenze attuali permettono di affermare che le abilità coinvolte nel disturbo sono soggette a un'evoluzione nel tempo di tipo longitudinale, influenzata dallo sviluppo individuale, dagli interventi adottati e dalle condizioni ambientali che interagiscono con i fattori neurobiologici. Sebbene i dati disponibili siano limitati, è consigliabile valutare sempre l'opportunità di attivare specifici trattamenti, considerando diversi aspetti: il profilo neurocognitivo del bambino, le aree

di difficoltà e le potenzialità individuali, il livello di sviluppo cognitivo ed emotivo, nonché la capacità del bambino di tollerare lo stress provocato dall'intervento. È inoltre fondamentale tenere conto della disponibilità della famiglia a partecipare attivamente alle sessioni di lavoro, sia in ambito ambulatoriale che domiciliare, e delle risorse materiali a disposizione, come la possibilità di utilizzare strumenti digitali o di raggiungere regolarmente il professionista.

Dislessia

Gli studi relativi al trattamento della dislessia evolutiva affrontano il problema con approcci diversi, a seconda dei modelli interpretativi delle cause del deficit e delle procedure di validazione dei programmi di riabilitazione (Vio & Mattiuzzo, 2005., come citati in Zoppello e Latronico, 2019). Inoltre, le differenze tra lingue diverse nelle regole di corrispondenza tra ortografia e fonologia limitano l'applicabilità delle ricerche condotte in lingue come l'inglese alla realtà della lingua italiana.

Uno dei primi studi a confrontare sistematicamente i metodi di trattamento nei soggetti dislessici italiani è quello di Tressoldi et al. (2003). Gli autori hanno esaminato i trattamenti descritti in letteratura, concludendo che gli interventi più efficaci sono quelli mirati all'automatizzazione del rapporto tra sillabe e corrispondenze fonologiche, sia attraverso software specifici sia tramite trattamenti ispirati al Balance Model, che considera le componenti neurofisiologiche della lettura. I trattamenti analizzati sistematicamente possono essere classificati in sei categorie:

- Trattamento percettivo-motorio (Benetti, 2002, come citati in Tressoldi et al., 2003): questo intervento si basa su un modello di apprendimento della lettura che attribuisce un ruolo fondamentale allo sviluppo di specifici schemi motori legati alla motricità grossolana, come il procedere a carponi e la deambulazione crociata. Altri aspetti ritenuti centrali sono lo sviluppo di una lateralizzazione definita della mano e dell'occhio, nonché l'acquisizione di abilità di coordinazione oculo-motoria (Delacato, 1980). Il programma include anche esercizi mirati alla discriminazione visiva. Il training viene svolto principalmente in ambito domiciliare, con una durata media di circa 20 minuti per sessione, ed è accompagnato da una supervisione mensile da parte dei professionisti incaricati (Tressoldi et al., 2003).
- Trattamento Davis-Piccoli (Godi, 2002 , come citato in Tressoldi et al., 2003): il percorso terapeutico prevede otto incontri strutturati con un professionista del centro che eroga il trattamento, affiancati da esercitazioni domiciliari quotidiane della durata di circa 20 minuti. Tali esercizi sono finalizzati allo sviluppo di un focus attentivo efficace, utile a facilitare l'identificazione rapida delle parole nel testo, anche attraverso strategie come l'uso di un foglio per mascherare la parte destra rispetto al punto di fissazione. Al training attentivo si

affiancano attività mirate alla discriminazione spaziale dei grafemi e allo sviluppo delle abilità di sintesi fonetica (Tressoldi et al., 2003).

- Trattamento linguistico generico**:** Il programma include attività mirate alla lettura, allo sviluppo della consapevolezza metafonologica, alla scrittura, nonché esercizi di individuazione e correzione degli errori, e attività di composizione e scomposizione di parole (Tressoldi et al., 2003).
- Trattamento Balance-Model (Bakker, 1992, come citato in Tressoldi et al., 2003): Il trattamento si basa sulla stimolazione dell'emisfero cerebrale ipoattivato attraverso la presentazione tachistoscopica di parole o brevi stringhe di testo su un monitor (stimolazione visiva emisfero-specifica) (Tressoldi et al., 2003).
- Trattamento lessicale con parole isolate (Judica et al., 2002, come citato in Tressoldi et al., 2003): L'obiettivo del trattamento è promuovere l'automatizzazione della lettura attraverso la presentazione tachistoscopica delle parole, mostrate al centro dello schermo di un computer (Tressoldi et al., 2003).
- Trattamento per l'automatizzazione del riconoscimento sub-lessicale e lessicale (Tressoldi et al. 2000, come citato in Tressoldi et al., 2003): Il training consiste nella lettura di brani al computer supportata da facilitazioni specifiche, finalizzate ad automatizzare il riconoscimento di sillabe e parole (Tressoldi et al., 2003).

Questi trattamenti, se applicati con continuità e in maniera personalizzata, possono contribuire al miglioramento delle abilità di lettura nei bambini con dislessia.

Tra i primi metodi utilizzati per il trattamento dei disturbi della lettura, ancora oggi applicato a diversi disturbi del neurosviluppo e dell'età adulta, si trova il metodo Tomatis (Zoppello e Latronico, 2019). Ideato dal medico e ricercatore francese Alfred Tomatis alla fine degli anni '70, questo approccio pedagogico si basa sulla stimolazione neurosensoriale tramite l'ascolto come canale privilegiato di apprendimento. I programmi utilizzati modificano in tempo reale la musica e la voce per favorire lo sviluppo delle capacità motorie, emotive e cognitive. Il metodo impiega sistemi informatizzati specifici per il trattamento del suono e della voce secondo parametri specifici quali la frequenza sonora. Durante le sessioni, così dette, "passive", il bambino ascolta musica con cuffie speciali che trasmettono il suono sia attraverso gli auricolari (conduzione aerea) sia mediante una vibrazione sulle ossa del cranio (conduzione ossea). Nelle sessioni dette "attive", invece, il bambino esegue esercizi di lettura e ripetizione con le stesse cuffie munite di microfono, mentre la sua voce viene rielaborata in tempo reale per favorire il ciclo audio-vocale.

Un altro metodo sviluppato negli anni '80 è il "Delacato-Doman", che si concentra soprattutto su esercizi sensoriali e motori di breve durata, da ripetersi più volte al giorno per almeno cinque

giorni a settimana (Zoppello e Latronico, 2019). Questi esercizi vengono spiegati ai familiari del bambino, che li ripeteranno in ambito domestico. In alcuni casi, vengono integrate specifiche attività di letto-scrittura da svolgere parallelamente al programma didattico relativo alla classe frequentata.

Altri trattamenti mirano a potenziare componenti neuropsicologiche di base che sono coinvolte nella lettura, come il linguaggio, la percezione visiva e uditiva, e l'attenzione. La decodifica della lettura non dipende solo da un buon assemblaggio fonologico e da adeguate abilità uditivo-fonologiche (percezione fonemica e memoria fonologica), ma anche dalla abilità selezione visuo-spaziale resa possibile dall'attenzione selettiva (AS) visiva. Questo processo neurocognitivo migliora l'efficienza percettiva combinando meccanismi eccitatori, che potenziano l'elaborazione delle informazioni rilevanti ("segnale"), con meccanismi inibitori che riducono l'intromissione delle informazioni irrilevanti ("rumore") (Reynolds, Chelazzi, 2004). L'AS può quindi influenzare la segmentazione visiva di una stringa di lettere nei suoi grafemi costituenti e può essere influenzata da fattori come il carattere tipografico, la distanza tra lettere e parole e l'interlinea.

Basandosi su queste premesse teoriche, il metodo "Davis-Piccoli" (Godi, 2002., come citato in Zoppello e Latronico, 2019) propone esercizi mirati a sviluppare il focus attentivo per migliorare la rapida rivelazione delle parole. Sono previsti esercizi di discriminazione spaziale dei grafemi e altri per lo sviluppo delle abilità di sintesi fonetica.

Anche la modifica dell'ambiente di lettura può costituire un intervento utile per ridurre le difficoltà di decodifica (Zorzi et al., 2013., come citato in Zoppello e Latronico, 2019). È stato dimostrato che l'aumento dello spazio tra le singole lettere e parole può migliorare immediatamente la velocità di lettura, sebbene gli effetti a lungo termine siano ancora in fase di studio. Studi recenti hanno sviluppato prove di lettura di parole e non-parole, bilanciate per diversi parametri, con l'obiettivo di valutare il beneficio di differenti ambienti di lettura in bambini della prima classe primaria (Zoppello et Latronico, 2019).

Poiché ogni apprendimento richiede risorse attentive, un intervento abilitativo non deve limitarsi alla componente specifica del deficit, ma deve coinvolgere anche le componenti attentive oltre che al Sistema Attentivo Supervisore (SAS, Shallice, 1990., come citato in Zoppello e Latronico, 2019). A tal proposito, il Metodo Benso (Training Cognitivo Integrato) punta a potenziare le funzioni attentive esecutive, le abilità linguistiche e visuo-percettive, nonché gli apprendimenti complessi (lettura, scrittura e calcolo). Questo protocollo si basa sulla teoria basata sul concetto della modularizzazione (Karmiloff-Smith, 1990., come citati in Zoppello e Latronico, 2019) e sul concetto di gerarchizzazione dei moduli proposto da Moscovitch e Umiltà (1990).

Il ruolo dell'attenzione nell'acquisizione delle competenze di decodifica è stato oggetto di numerosi studi. Un gruppo di ricercatori italiani (Franceschini et al., 2013., come citato in Zoppello e Latronico, 2019) ha sperimentato l'uso di videogiochi d'azione per incrementare la velocità di lettura, senza un training fonologico specifico. Questi videogiochi richiedono ai giocatori di colpire bersagli in movimento, prendere decisioni rapide e focalizzare l'attenzione su più elementi contemporaneamente. Gli action games stimolano la via magnocellulare centrale, poiché presentano stimoli imprevedibili nel tempo e nello spazio, contribuendo così a migliorare l'attenzione temporale crossmodale.

L'uso di videogiochi nei programmi di training ha dimostrato di migliorare le abilità attentive visuo-spaziali, motivo per cui sono stati analizzati anche gli effetti sulla lettura di parole e non parole. Poiché lo sviluppo precoce delle capacità attentive prevede una correlazione con le competenze di lettura future sia in ortografie trasparenti (Gori et al., 2016; Ferretti et al., 2008., come citati in Zoppello e Latronico, 2019) che in ortografie opache (Carrol, 2016., come citati in Zoppello e Latronico, 2019), si conferma un nesso tra deficit visuo-attentivi e difficoltà di lettura (Peterson, Pennington, 2015; Vidyasagar, Pammer, 2010., come citati in Zoppello e Latronico, 2019).

Gli studi hanno evidenziato un incremento della velocità di lettura (misurata in sillabe al secondo) senza compromettere l'accuratezza, insieme a un miglioramento dell'attenzione spaziale, sia in lingue opache come l'inglese sia in lingue trasparenti come l'italiano. Approcci più recenti (Pedroli et al., 2017., come citati in Zoppello e Latronico, 2019) prevedono l'impiego di giochi d'azione in realtà virtuale, che rendono gli esercizi più coinvolgenti e stimolanti per i bambini. I risultati suggeriscono che tali attività possano contribuire a migliorare le capacità attentive.

Il trattamento sviluppato da Bakker (1992) si basa sull'ipotesi interemisferica della dislessia evolutiva, che attribuisce le difficoltà di lettura a un'alterata comunicazione tra emisfero destro e sinistro. A seconda del coinvolgimento emisferico, si possono distinguere tre tipi di dislessia: percettiva (ipoattivazione dell'emisfero sinistro, lettura lenta ma accurata), linguistica (ipoattivazione dell'emisfero destro, lettura veloce ma inaccurata) e mista (ipoattivazione di entrambi gli emisferi, lettura lenta e imprecisa).

Il Balance Model (Bakker, Vinke, 1985., come citato in Zoppello e Latronico, 2019) propone un trattamento basato sulla presentazione tachistoscopica di parole o brevi stringhe in differenti posizioni spaziali (destra, sinistra o centro) nell'emicampo visivo controlaterale rispetto alla valutazione effettuata, variando il tempo e la frequenza di esposizione. Questo approccio prevede, per la dislessia P-Type ovvero una forma di dislessia in cui i bambini presentano una lettura lenta, ma caratterizzata da un livello di accuratezza relativamente preservato, la stimolazione

dell'emisfero sinistro tramite parole proiettate nell'emicampo visivo destro o attività linguistiche, come il riconoscimento di rime. Per la dislessia L-Type ovvero una forma di dislessia caratterizzata da una lettura relativamente rapida, ma con un'elevata incidenza di errori e una ridotta accuratezza, la stimolazione è diretta all'emisfero destro, ad esempio presentando parole nell'emicampo visivo sinistro o rimescolando le lettere per aumentare la complessità percettiva. Il modello prevede inoltre attività tattili, come la manipolazione di lettere tridimensionali. Per la dislessia mista ci sarebbe un problema nel servirsi di entrambe le strategie e che comporta una lettura lenta e inaccurata.

Il "modello a due vie" (Coltheart, 1981., come citato in Zoppello e Latronico, 2019) suggerisce che i lettori normotipici inizino con una processazione analitica e sequenziale della parola (Orsolini et al., 2003., come citati in Zoppello e Latronico, 2019), per poi sviluppare un accesso diretto e globale. Nei bambini dislessici, talvolta si osserva una mancata automatizzazione del processo grafema-fonema, associata a una strategia di lettura diretta tardiva o disfunzionante.

Le ricerche sui trattamenti per la dislessia in italiano sottolineano l'importanza di velocizzare e rendere più efficiente il riconoscimento sub-lessicale (lettere, sillabe, morfemi) e lessicale (parole). Il trattamento sub-lessicale (Tressoldi, Lonciari, Vio, 2000., come citati in Zoppello e Latronico, 2019) si concentra sul consolidamento delle strategie di lettura per automatizzare l'identificazione sillabica e superare la conversione grafema-fonema.

Gli esercizi proposti possono essere svolti sia con materiali tradizionali (lettura veloce di sillabe e parole di crescente complessità) sia con software riabilitativi personalizzabili. Tra le attività previste vi sono la segmentazione e ricombinazione orale di parole, la lettura rapida di sillabe e parole, il riconoscimento di gruppi ortografici complessi e digrammi, e l'identificazione di gruppi consonantici difficili. Il trattamento prevede un incremento progressivo della velocità di lettura e di decodifica e della complessità degli stimoli, fino alla lettura di parole, frasi e testi con la prospettiva di focalizzare l'attenzione sempre sullo stimolo sillaba anche all'interno di un testo (ad esempio un testo letto al computer con l'aiuto di una scansione visiva che metta in luce le sillabe in successione).

Un'ulteriore risorsa è l'uso della sintesi vocale, che consente ai bambini di ascoltare la corretta pronuncia di suoni, sillabe, parole e racconti brevi, fornendo un modello di lettura corretto da riprodurre. Questa strategia aiuta il bambino a sviluppare un'autonomia nella lettura, offrendo un supporto costante nel riconoscimento delle parole e nel miglioramento della fluidità di lettura.

Esistono trattamenti che mirano a incentivare la meta-cognizione, caratteristica dell'approccio fonologico-lessicale (Riccardi Ripamonti, 2002-2003., come citato in Zoppello e Latronico, 2019). Questo metodo si concentra sul recupero delle difficoltà fonologiche e metafonologiche

(ovvero la capacità di riconoscere e manipolare i suoni all'interno delle parole) per poi passare a una corretta decodifica, facilitando così il passaggio alla lettura lessicale. Tali aspetti sono coerenti con il modello teorico del doppio deficit (Wolf, 2007., come citato in Zoppello e Latronico, 2019), che identifica due locus specifici della dislessia: uno legato alla decodifica e l'altro all'accesso lessicale.

Il trattamento lessicale prevede esercizi mirati che espongono alla lettura veloce di parole, realizzati sia con materiali cartacei che con strumenti digitali. Ad esempio, si possono presentare parole in modo tachistoscopico affinché vengano lette ad alta voce. Gli obiettivi dell'intervento vengono definiti attraverso una valutazione testuale e il trattamento si sviluppa in tre fasi (Riccardi Ripamonti et al., 2004., come citato in Zoppello e Latronico, 2019).

Nella prima fase, si potenziano le competenze fonologiche e metafonologiche, consolidando la struttura sillabica e alfabetica della parola per favorire l'accesso lessicale a partire da singole sillabe. Nella seconda fase si rafforza l'associazione grafema-fonema, stabilizzandola attraverso strategie visive, come l'enfatizzazione della sagoma delle lettere e dei loro tratti distintivi. Questo aiuta il bambino a focalizzare l'attenzione sugli elementi discriminanti e a sviluppare la consapevolezza della morfologia delle lettere e delle parole. A differenza del linguaggio orale, in cui l'anticipazione del significato dipende dall'udire più sillabe, nella lettura scritta alcuni tratti distintivi di tipo visivo forniscono informazioni immediate che permettono di riconoscere la parola che si sta leggendo.

Nella terza fase, si incoraggia la lettura morfo-lessicale, destinata a soggetti che hanno già acquisito una buona capacità di decodifica. In questa fase si utilizzano giochi con parti di parole, come radici-desinenze, basi-prefissi-suffissi, per attirare l'attenzione su una finestra di lettura e concentrarsi su morfemi ricorrenti nel testo scritto.

Numerosi studi in letteratura hanno dimostrato la presenza di un deficit nel sistema magnocellulare nei soggetti con dislessia (Bednarek, Grabowska, 2002; Cornelissen et al., 1991, et. al., come citati in Zoppello e Latronico, 2019). Una ricerca di Orlandi et al. (2019) ha proposto un trattamento visuo-percettivo-motorio (VPM) per affrontare le difficoltà di lettura. I risultati ottenuti con questo metodo, che si concentra sul potenziamento dei processi visivi, sembrano essere efficaci e comparabili a quelli derivanti da altri trattamenti, tra cui quelli sublessicali, balance, neuropsicologici e lessicali.

Alcune ricerche (Flugnacco et al., 2015; Habib et al., 2016., come citati in Zoppello e Latronico, 2019) hanno inoltre evidenziato il ruolo della musica nel potenziamento delle abilità di lettura nei bambini con dislessia. Secondo questi studi, l'allenamento musicale può avere un impatto positivo sulla lettura e sulle competenze fonologiche, anche quando siamo in presenza di difficoltà

significative. Gli autori sostengono che, grazie al potenziamento dell'elaborazione temporale e delle abilità ritmiche, la musica potrebbe diventare un valido strumento nei programmi di abilitazione e intervento precoce.

CAPITOLO 2 INTELLIGENZA ARTIFICIALE

2.1 INTELLIGENZA ARTIFICIALE: QUALE DEFINIZIONE

L'espressione intelligenza artificiale (IA) risale agli albori dell'informatica. Nonostante oggi sia un termine estremamente diffuso, la sua definizione continua a essere tutt'altro che univoca, sia dal punto di vista terminologico sia da quello concettuale.

Questa ambiguità ha radici in una storia ormai quasi centenaria e, in particolare a partire dagli anni Sessanta, si è arricchita grazie al contributo di studiosi provenienti da diverse discipline – informatica, psicologia, filosofia, neuroscienze – tutti impegnati a indagare la possibilità di simulare, generare o riprodurre artificialmente l'intelligenza umana. Ogni ambito disciplinare ha offerto il proprio punto di vista, contribuendo da un lato ad ampliare le prospettive, ma dall'altro a rendere più complesso il compito di giungere a una definizione condivisa, semplice e univoca.

Proprio per questo motivo, anziché adottarne subito una, è utile passare in rassegna alcune tra le definizioni più significative, con l'obiettivo di cogliere le diverse sfumature e prospettive, senza la pretesa di essere esaustivi.

Storicamente, il termine intelligenza artificiale è stato coniato da John McCarthy nel 1955, che ne ha anche sancito la nascita come campo autonomo di ricerca. Secondo McCarthy, l'IA si basa sull'ipotesi che ogni aspetto dell'apprendimento e dell'intelligenza possa, in linea di principio, essere descritto con tale precisione da poter essere riprodotto da una macchina opportunamente progettata. Per esplorare le potenzialità della neonata disciplina, McCarthy organizzò un seminario a cui parteciparono dieci tra i più illustri matematici e ingegneri dell'epoca. L'IA nasce dunque come disciplina tecnologica, ed è per questo che si ritiene opportuno partire dalle definizioni proposte dagli esperti di computer science.

Tra le più autorevoli, troviamo:

- «È la scienza che si occupa di far fare alle macchine cose che richiederebbero intelligenza se fatte dagli uomini» (Minsky, 1968, p. V);
- «È lo studio di come far fare ai computer cose in cui, al momento, le persone sono più brave» (Rich & Knight, 1991, p. XXII);
- «È la scienza e l'ingegneria della creazione di macchine intelligenti, in particolare di programmi informatici intelligenti, ovvero di macchine che si comportano in modi che sarebbero considerati intelligenti se un essere umano si comportasse così» (McCarthy, 2007, p. I);

- «È lo studio di agenti che ricevono indicazioni dall'ambiente e agiscono. Ogni agente di questo tipo è implementato da una funzione che mappa le percezioni in azioni» (Russell & Norvig, 2009, p. VIII);
- «È quell'attività dedicata a rendere intelligenti le macchine, e l'intelligenza è quella qualità che permette a un'entità di funzionare in modo appropriato e previdente nel proprio ambiente» (Nilsson, 2010, p. XIII);
- «La nostra intelligenza è ciò che ci rende più intelligenti, e l'IA è un'estensione di questa qualità» (attribuita a Yann LeCun, vincitore del premio Turing nel 2019).

Tutte queste definizioni, così come molte altre, si riferiscono esplicitamente all'intelligenza umana come termine di paragone, confermando che non è possibile comprendere appieno cosa sia l'IA senza confrontarla con le capacità cognitive umane. Questo aspetto rappresenta un elemento ricorrente e fondativo nelle definizioni elaborate in ambito tecnologico.

Negli ultimi anni, però, il crescente impatto dell'IA nella società ha spinto anche organismi internazionali a proporre definizioni ufficiali. L'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OECD, 2019, p. II), ad esempio, descrive l'IA come «un insieme di sistemi basati su macchine capaci di prendere decisioni influenzando ambienti reali o virtuali in base a obiettivi predefiniti dall'uomo», sottolineando i diversi gradi di autonomia che tali sistemi possono assumere. Una prospettiva simile è condivisa dal gruppo di esperti della Commissione europea, secondo cui l'IA è «un sistema in grado di percepire, interpretare, ragionare e agire nel mondo fisico o digitale», oltre a possedere la capacità di «imparare e adattarsi in base alle proprie azioni e alle risposte dell'ambiente» (Commissione europea, 2018, p. IX). Il Parlamento europeo, dal canto suo, enfatizza la capacità dell'IA di mostrare comportamenti intelligenti «analizzando il proprio ambiente e intraprendendo azioni, con un certo grado di autonomia, per raggiungere obiettivi specifici» (ivi, p. 1). Viene inoltre specificato come i sistemi di IA possano essere sia immateriali (software, come gli assistenti vocali), sia fisici (robot o veicoli autonomi).

La crescente diffusione di questa tecnologia e il suo funzionamento basato su grandi quantità di dati sollevano anche importanti questioni etiche. Per questo motivo, l'UNESCO (2021a; 2021b), nelle sue raccomandazioni sull'etica dell'IA, sottolinea la capacità dei sistemi intelligenti di elaborare informazioni attraverso modelli e algoritmi, con i quali possono apprendere, svolgere compiti cognitivi, effettuare previsioni e prendere decisioni sia in ambienti reali che virtuali.

Tutte queste definizioni mettono in luce uno o più aspetti fondamentali del dibattito sull'IA, evidenziando la complessità e la multidimensionalità del concetto. Privilegiarne una sola potrebbe risultare riduttivo. Tuttavia, a fronte di queste considerazioni, si ritiene utile adottare – almeno in via operativa – la definizione dell'UNESCO (2021a; 2021b), in quanto essa integra più

dimensioni: da quella informazionale (elaborazione dei dati tramite modelli e algoritmi), a quella cognitiva (apprendimento e svolgimento di compiti), fino a quella decisionale (capacità di prendere decisioni in contesti differenti). Tale prospettiva multidimensionale riflette anche l'approccio adottato nel framework di riferimento per l'Artificial Intelligence literacy, o alfabetizzazione (critica) all'IA.

2.2 FRAMEWORK PER L'AI LITERACY: VERSO UN'ALFABETIZZAZIONE CRITICA ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale (IA) si distingue dalle precedenti innovazioni tecnologiche per la sua rapidità e pervasività. Nuove applicazioni vengono introdotte con velocità crescente, rendendo urgente la necessità di un'educazione strutturata che promuova una alfabetizzazione critica all'IA (Cuomo et al., 2022, come citato in Ranieri et al., 2023). In questo scenario, l'AI Literacy (AIL) si configura come uno strumento fondamentale per evitare nuove forme di esclusione digitale e disuguaglianza sociale (Selwyn et al., 2023, come citato in Ranieri et al., 2023), e per garantire una partecipazione consapevole e critica alle tecnologie emergenti.

Che cos'è l'AI Literacy? Il concetto di AI Literacy è stato proposto per la prima volta da Burgsteiner e Kandlhofer nel 2016, che la definiscono come "la capacità di comprendere le conoscenze e i concetti di fondo delle tecnologie su cui si basa l'intelligenza artificiale" (Burgsteiner et al., 2016, come citato in Ranieri et al., 2023). La crescente complessità dell'IA impone un approccio educativo interdisciplinare, che combini conoscenze tecniche e competenze pedagogiche, per facilitare la comprensione sia dei fondamenti teorico-tecnologici, sia delle implicazioni culturali e sociali dell'IA (Ciotti e Roncaglia, 2008, come citati in Ranieri et al., 2023).

Più di recente, Druga, Christoph e Ko (2022) hanno ampliato questa definizione includendo anche l'uso etico e consapevole dell'IA nella vita quotidiana, nonché la capacità di leggere, lavorare con, analizzare e creare con l'IA.

Secondo Long e Magerko (2020), l'AIL comprende inoltre la capacità di comunicare **e** collaborare in modo critico con le tecnologie di IA, sottolineando l'importanza delle dimensioni etiche e relazionali dell'interazione con tali sistemi. Ng et al. (2021) includono l'AIL tra le competenze essenziali del XXI secolo, al pari delle nuove literacy digitali **e** mediali.

Dall'analisi comparativa di queste definizioni sono affiorati alcuni elementi dominanti che possono essere associati a quattro dimensioni dell'AI Literacy, seguendo e riformulando l'articolazione suggerita da Ng et al. (2021)che articolano l'alfabetizzazione critica all'IA in modo olistico:

1. Dimensione-conoscitiva

Si riferisce alla comprensione dei concetti fondamentali dell'IA, anche per chi non ha competenze tecniche pregresse. Include:

- Conoscenza dei diversi tipi di IA (debole/forte);
- Comprensione dei principi del machine learning (ML);
- Conoscenza delle applicazioni nei diversi ambiti (Su & Zhong, 2022; Burgsteiner et al., 2016, come citati in Ranieri et al., 2023).

2. Dimensione-operativa

Coinvolge la capacità di usare e applicare strumenti di IA in contesti concreti. A livelli più avanzati, comprende la progettazione di algoritmi e la risoluzione di problemi complessi attraverso tecnologie IA (Druga et al., 2019; Kim et al., 2021, come citati in Ranieri et al., 2023).

3. Dimensione-critica

Promuove un approccio consapevole all'uso dell'IA, attraverso il pensiero critico, l'analisi degli impatti e la creazione di artefatti. Rende possibile una valutazione ponderata dei rischi e delle potenzialità dell'IA in diversi contesti sociali (Long & Magerko, 2020; Su & Zhong, 2022, come citati in Ranieri et al., 2023).

4. Dimensione-etica

Mira a sviluppare un uso responsabile dell'IA, tenendo conto di questioni cruciali come la trasparenza, la privacy, l'equità e la responsabilità delle decisioni automatizzate (Boddington, 2023, come citato citati in Ranieri et al., 2023). In un contesto in cui l'IA può influenzare ambiti delicati (es. sanità, lavoro), è fondamentale promuovere una cultura della consapevolezza etica.

Questo framework rappresenta una guida fondamentale per progettare percorsi educativi che consentano ai cittadini — e in particolare agli studenti — di acquisire competenze critiche, operative, etiche e teoriche per interagire consapevolmente con l'intelligenza artificiale. Un'alfabetizzazione critica all'IA, in altre parole, non è solo una questione tecnica, ma un imperativo educativo e sociale.

2.3 DAL MITO AGLI ALGORITMI: UNA BREVE STORIA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Fin dall'antichità, l'uomo ha sognato di creare la vita a partire dalla materia inanimata: un'aspirazione che si ritrova nei miti di Prometeo, del Golem, e in opere letterarie come Frankenstein di Mary Shelley o, in chiave moderna, Blade Runner tratto da Philip K. Dick. Questi racconti riflettono un desiderio profondo: costruire qualcosa di simile all'essere umano, dotato di

intelligenza, autonomia e capacità di interazione (Mayor, 2018; Warwick, 2015, come citati in Ranieri et al., 2023).

Nel tempo, le figure leggendarie si sono evolute in automi meccanici realmente costruiti, come il servo automatico di Filone (III sec. a.C.) o il celebre Turco Meccanico di von Kempelen, che simulava partite a scacchi, pur celando un operatore umano (Standage, 2011, come citato in Ranieri et al., 2023). Anche se illusioni, questi esperimenti anticipano il concetto di macchina pensante.

Dal calcolo meccanico alla macchina logica

L'evoluzione tecnica ha portato alla costruzione di dispositivi sempre più sofisticati, come la Pascalina di Pascal o la macchina alle differenze di Babbage, che, pur non realizzata nella sua forma definitiva, rappresenta l'antenata del moderno computer (Swade, 2001, come citato in Ranieri et al., 2023). Lady Ada Lovelace, che collaborò con Babbage, è considerata la prima programmatrice della storia.

Il vero salto avviene però con l'elettronica del XX secolo, che rende possibile la creazione di circuiti digitali e l'uso del sistema binario (0 e 1), alla base della logica booleana e del funzionamento dei computer (Warwick, 2015, come citato in Ranieri et al., 2023). Questo progresso apre la strada alla simulazione del pensiero.

Nel 1950, Alan Turing formulò la famosa domanda: «Le macchine possono pensare?», proponendo il test di Turing come criterio operativo per definirne l'intelligenza. Una macchina è considerata intelligente se riesce a imitare così bene il comportamento umano da risultare indistinguibile in un'interazione (Turing, 1950, come citato in Ranieri et al., 2023). Questo approccio funzionale ha fortemente influenzato la definizione operativa di IA. Pertanto seguendo questa definizione funzionale si può assumere che una macchina è intelligente quando è in grado di offrire delle risposte come potrebbe fare un essere umano.

L'IA in grado di fornire questi risultati va sotto il nome di IA simbolica, sviluppata fino agli anni 2000, si basa su regole logiche e strutture formali simili al ragionamento umano. Ha prodotto strumenti come i navigatori intelligenti, capaci di prendere decisioni in tempo reale (Boden, 2019, come citato in Ranieri et al., 2023). Tuttavia, ha due limiti: è specializzata in compiti specifici (*one purpose*) e necessita di istruzioni dettagliate, non sempre gestibili in sistemi complessi.

Per superare questi limiti, si afferma l'IA subsimbolica, che punta sull'apprendimento automatico (machine learning): un sistema in grado di apprendere dai dati. Le reti neurali artificiali, ispirate ai neuroni biologici (McCullogh & Pitts, 1943; Gurney, 1997, come citati in Ranieri et al., 2023), sono alla base di questo processo. Il training avviene fornendo esempi e criteri di correzione,

permettendo alla macchina di generalizzare conoscenze (ad esempio, riconoscere forme geometriche o lettere scritte a mano).

Nonostante il grande potenziale, per decenni l'IA subsimbolica ha vissuto un periodo di stallo – i cosiddetti *inverni dell'IA* – a causa delle limitazioni computazionali (Minsky & Papert, 1969, come citati in Ranieri et al., 2023). Solo recentemente ha ritrovato slancio grazie a:

- aumento della potenza di calcolo (Ranieri et a. 2023);
- enorme disponibilità di dati, grazie a Internet e ai dispositivi connessi (Floridi, 2014, come citato in Ranieri et al., 2023).

Viviamo oggi in un'infosfera in cui ogni persona è un *prosumer* di dati (producer + consumer), e in cui anche oggetti comuni (smartwatch, carte fedeltà) generano informazioni sensibili, utili all'addestramento dei sistemi di IA.

Deep Learning e Intelligenze Artificiali Generative

Dal 2010 si afferma il Deep Learning (LeCun, Bengio, Hinton, 2015, come citati in Ranieri et al., 2023), che automatizza l'identificazione delle caratteristiche nei dati. L'ulteriore salto avviene con le Generative AI (GAI), capaci non solo di riconoscere ma di *creare* contenuti: immagini, volti, testi – come quelli generati da ChatGPT o Midjourney (Goodfellow, 2014, come citato in Ranieri et al., 2023). Queste tecnologie sono accessibili anche ai non specialisti e pongono nuove sfide pedagogiche ed etiche, che toccano la psicologia, la comunicazione e la formazione.

Nonostante i progressi, la cosiddetta IA Forte – capace di emozionarsi, provare empatia o avere autocoscienza – resta un obiettivo lontano (Quintarelli, 2020; Mitchell, 2022, come citati in Ranieri et al., 2023). Le IA attuali imitano il comportamento umano ma non ne comprendono il significato. Il dibattito resta aperto, coinvolgendo non solo l'informatica ma anche la filosofia, le neuroscienze, la sociologia e, naturalmente, la psicologia.

2.4 PRINCIPALI TIPI DI APPLICAZIONE DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

L'intelligenza artificiale (IA) sta cambiando profondamente il nostro modo di vivere, lavorare e apprendere. Dai motori di ricerca ai veicoli autonomi, l'IA è ormai pervasiva, ma non tutte le sue applicazioni sono uguali: esse possono essere distinte in base all'utente finale e presentano specifiche caratteristiche e problematiche.

Una prima distinzione riguarda l'IA destinata ai programmatori ovvero strumenti e piattaforme progettati per sviluppare soluzioni basate sull'IA. Tra i principali strumenti troviamo framework open source come TensorFlow, Keras e PyTorch, e servizi cloud come Google Cloud AI, AWS SageMaker e Azure Machine Learning, oltre a piattaforme pronte all'uso come IBM Watson o Google Cloud Vision (Bellini e Guidi, 2022, come citati in Ranieri et al., 2023).

L'obiettivo è semplificare lo sviluppo di applicazioni IA, riducendo la necessità di programmare algoritmi da zero. Tuttavia, l'uso di questi strumenti richiede competenze tecniche avanzate e impone sfide come la gestione dei bias nei dati, la trasparenza dei modelli di machine learning (ML) e la protezione della privacy.

Una seconda distinzione riguarda l'IA destinata ai professionisti ovvero applicazioni progettate per aumentare l'efficienza e supportare il lavoro in settori specifici. Esempi comuni includono:

- strumenti di analisi dati (Power BI, Tableau, Oracle),
- assistenti virtuali (Siri, Google Assistant, Alexa),
- software di grafica e generazione di immagini (Photoshop, Canva, Midjourney).

Questi strumenti permettono di automatizzare compiti ripetitivi, liberando tempo per attività più creative. Tuttavia, richiedono una conoscenza di base dell'IA e possono sollevare problemi come l'affidamento eccessivo ai sistemi, errori nelle previsioni, violazioni della privacy e perdita di responsabilità personale.

Una terza distinzione riguarda l'IA destinata ai cittadini che include tutte le applicazioni rivolte direttamente agli utenti comuni, spesso utilizzate senza piena consapevolezza:

- assistenti vocali (Siri, Alexa, Google Assistant),
- sistemi di raccomandazione (Netflix, Spotify),
- app di salute e benessere,
- navigatori intelligenti (Waze, Google Maps).

L'obiettivo di queste soluzioni è rendere la vita quotidiana più semplice ed efficiente. Sebbene siano facili da usare, presentano rischi legati alla gestione dei dati personali, mancanza di trasparenza e difficoltà di interpretazione delle decisioni prese dai sistemi intelligenti.

2.5 SFIDE COMUNI ALLE APPLICAZIONI IA

Tre sono le principali sfide che occorre affrontare nell'utilizzo dell'IA:

1. Bias nei dati

I dati di addestramento possono contenere distorsioni legate a variabili come genere o etnia, influenzando i risultati dei modelli e causando effetti discriminatori. È fondamentale quindi applicare tecniche di *debiasing* e utilizzare dataset bilanciati (Barocas et al., 2017; Perrotta, 2022, come citati in Ranieri et al., 2023).

2. Tutela della privacy

L'enorme quantità di dati raccolti e processati dalle IA, spesso sensibili, solleva preoccupazioni sulla gestione e sulla sicurezza delle informazioni personali (UNESCO, 2021a; 2021b). È quindi

essenziale informare gli utenti e ottenere il loro consenso (AI HLEG, 2019, come citato in Ranieri et al., 2023).

3. Interpretabilità dei modelli

Molti modelli di machine learning operano come "scatole nere", producendo risultati senza rendere esplicite le logiche decisionali. Ciò può minare la fiducia e la responsabilità nei sistemi IA (Jobin, Ienca, et al., 2019, come citati in Ranieri et al., 2023). È quindi necessario sviluppare sistemi più comprensibili e accessibili.

2.6 IA NELL'AMBITO EDUCATIVO

Nel settore dell'istruzione, l'IA viene impiegata per personalizzare l'apprendimento, monitorare le performance degli studenti e supportare l'attività didattica. Secondo l'UNESCO (2021a, 2021b), le principali applicazioni educative dell'IA includono:

- Sistemi di tutoraggio intelligente

Adattano i contenuti educativi alle esigenze individuali, fornendo suggerimenti personalizzati, feedback e materiali aggiuntivi in base ai dati di apprendimento degli studenti.

- Monitoraggio continuo

Attraverso l'analisi del comportamento in aula o online, permettono di individuare studenti in difficoltà e intervenire con strategie mirate.

- Raccomandazioni personalizzate

Sulla base di risultati e preferenze di apprendimento, l'IA suggerisce risorse più adatte, rendendo l'esperienza educativa più coinvolgente e mirata.

- Valutazione automatizzata

Permette una correzione rapida e oggettiva dei test, offrendo anche feedback individualizzati utili per il miglioramento continuo.

- Rilevamento degli stili di apprendimento

Analizza i dati per individuare pattern e preferenze (es. visivi vs testuali), permettendo agli insegnanti di adattare materiali e metodi didattici.

Queste tecnologie favoriscono un'educazione più personalizzata, sensibile alle differenze individuali (attitudini, ritmi, interessi), e orientata a valorizzare il potenziale di ogni studente.

2.7 INTELLIGENTA ARTIFICIALE IN EDUCAZIONE: LE SFIDE ETICHE

L'adozione crescente di strumenti basati sull'intelligenza artificiale (IA) nel contesto scolastico – dai tutor intelligenti alla valutazione automatica, fino alla personalizzazione dei percorsi di apprendimento – sta trasformando profondamente l'istruzione (Perrotta et al., 2021; Selwyn,

2019, come citati in Ranieri et al., 2023). Tuttavia, le politiche nazionali e internazionali si sono concentrate prevalentemente sugli adulti, trascurando l'impatto che l'IA può avere su bambini e adolescenti (Irwin, Dharamshi et al., 2021; Adams et al., 2023, come citati in Ranieri et al., 2023). Uno studio dell'UNICEF (2021) ha evidenziato come la maggior parte delle strategie nazionali sull'IA menzioni i minori solo in modo superficiale. Inoltre, anche le linee guida etiche relative all'IA in ambito educativo risultano spesso lacunose, nonostante le problematiche in classe possano essere anche più critiche di quelle riscontrate in altri contesti sociali (Luckin, George, et al., 2022, come citati in Ranieri et al., 2023).

Fortunatamente, alcune organizzazioni internazionali – tra cui UNICEF (2021), UNESCO (2021a, 2021b) e l'Unione Europea (Charisi et al., 2022, come citato in Ranieri et al., 2023) – hanno iniziato a promuovere un approccio che consideri i diritti e i bisogni educativi specifici dei minori nell'utilizzo delle tecnologie IA. In questa direzione si colloca il lavoro di Adams et al. (2023), che, analizzando documenti strategici (WEF, 2019; IRALED, 2021; EC DGEYSC, 2022), hanno riletto i principi etici dell'IA elaborati da Jobin, Ienca e Vayena (2019) alla luce di una prospettiva pedagogica, integrandoli con proposte educative mirate.

I principi di trasparenza, equità, responsabilità, non maleficenza, beneficenza, autonomia e privacy vengono così riformulati in funzione dell'educazione. Ad esempio, sul tema della trasparenza, si sottolinea la necessità di utilizzare un linguaggio comprensibile per bambini e adolescenti, rendendo i processi dell'IA spiegabili. Come ricorda Kant (cit. in Formizzi, 2004), educare significa insegnare a pensare, non a imparare pensieri altrui. L'opacità dei sistemi IA può ostacolare la comprensione e quindi l'esercizio del pensiero critico. Inoltre, in un contesto scolastico, dove la valutazione ha valore certificativo, è essenziale garantire la possibilità di spiegare le ragioni di un voto. La spiegabilità diventa così un diritto didattico ed etico, in quanto favorisce la consapevolezza metacognitiva e la capacità di autoregolazione.

Sul piano dell'equità, i sistemi educativi devono garantire l'inclusione e non amplificare le disuguaglianze. Le tecnologie IA devono essere progettate per ridurre il divario digitale e non per escludere chi ha meno accesso ai mezzi tecnologici. Allo stesso modo, la privacy dei minori va tutelata con particolare attenzione, tenendo conto del diritto all'oblio e della vulnerabilità dei soggetti coinvolti (UNESCO, 2021a; AI HLEG, 2019). In tema di autonomia, non è sufficiente il solo consenso genitoriale: è importante coinvolgere anche bambini e adolescenti nei processi decisionali sull'uso dell'IA in classe.

Adams et al. (2023) propongono inoltre quattro principi etico-pedagogici aggiuntivi, pensati per il contesto scolastico:

1. Adeguatezza pedagogica

Gli insegnanti devono valutare criticamente l'introduzione di strumenti IA alla luce delle specificità cognitive, affettive e sociali degli studenti, privilegiando applicazioni basate su evidenze scientifiche e compatibili con le esigenze della loro comunità scolastica (UNESCO, 2021a, 2021b; IFAIED, 2021). L'IA non dovrebbe mai sostituire, ma piuttosto potenziare il processo educativo. È fondamentale evitare che sistemi adattivi riducano le opportunità di collaborazione, pensiero critico o autoregolazione, rischiando così di ostacolare lo sviluppo dell'agency degli studenti.

2. Diritti dell'infanzia e dell'adolescenza

Il rispetto dei diritti dell'infanzia, sanciti dalla Convenzione ONU del 1990, deve guidare ogni decisione relativa all'adozione di IA in ambito educativo. UNICEF (2021) e WEF (2019) insistono sul fatto che bambini e adolescenti necessitano di protezione specifica: linguaggio accessibile, tutela da manipolazioni algoritmiche, salvaguardia della privacy e dei dati personali, inclusa una riflessione sul grado di accesso concesso ai genitori durante lo sviluppo.

3. Alfabetizzazione all'intelligenza artificiale (AIL)

L'AIL (Artificial Intelligence Literacy) è intesa come la capacità di comprendere i principi dell'IA, utilizzarla criticamente e valutarne le implicazioni etiche. L'UNESCO (2021a) promuove una pedagogia incentrata sulle competenze umane (pensiero critico, creatività, collaborazione) piuttosto che sulle abilità che l'IA già esegue meglio (memoria, calcolo). Per questo è necessario formare anche insegnanti e genitori (Akgun & Greenhow, 2021, come citati in Ranieri et al., 2023).

4. Benessere degli insegnanti

Il benessere dei docenti è legato non solo alla salute fisica e psicologica, ma anche alla possibilità di affrontare in modo equilibrato le sfide del contesto scolastico. L'introduzione dell'IA comporta nuove responsabilità, carico di lavoro, formazione continua e potenziale riduzione delle relazioni educative significative. Il benessere degli insegnanti è quindi condizione essenziale anche per quello degli studenti.

Verso una pedagogia postumanista

Adams et al. (2023) mettono in evidenza come molti approcci etici si basino su una prospettiva antropocentrica, che considera l'essere umano come separato e superiore rispetto alla macchina. Il postumanesimo (Braidotti, 2013; Haraway, 2013, come citati in Ranieri et al., 2023), al contrario, propone una visione relazionale, in cui gli esseri umani e le tecnologie co-evolvono, formando ibridi umano-IA. In questo scenario, l'IA non è solo uno strumento, ma un attore educativo che interagisce con insegnanti e studenti in modi complessi.

Secondo Fabris (2019), è necessario superare il bias antropocentrico, che tende a trattare la macchina con strumenti normativi inadeguati. Egli propone di riconoscere alla macchina un "agire proprio", da valutare secondo parametri etici specifici, diversi da quelli umani. Il compito dell'educazione, allora, diventa quello di promuovere relazioni collaborative tra umani e IA, all'interno di ambienti scolastici inclusivi e critici, capaci di potenziare creatività, pensiero riflessivo e dialogo.

Ciononostante, rimane il problema dell'asimmetria strutturale tra utenti (studenti, insegnanti) e produttori di tecnologia. Per questo la scuola deve giocare un ruolo attivo nel dibattito pubblico sull'IA, fornendo agli studenti strumenti per comprendere, valutare e prendere posizione in modo informato e consapevole sulle tecnologie che li riguardano. In questo senso, l'alfabetizzazione critica all'IA è una competenza chiave per la cittadinanza del XXI secolo.

2.8 I MODELLI LINGUISTICI DI GRANDI DIMENSIONI COME STRUMENTI PER COMPRENDERE LA MENTE UMANA

Negli ultimi anni, i modelli linguistici di grandi dimensioni o Large Language Model (LLM), di cui GPT è un esempio, hanno acquisito una crescente rilevanza sia nel campo dell'intelligenza artificiale sia nelle scienze cognitive, sollevando interrogativi fondamentali sul loro rapporto con l'elaborazione linguistica umana. Questi modelli vengono addestrati su enormi quantità di testi con l'obiettivo primario di prevedere la parola successiva in una sequenza, attività nota come "modellazione del linguaggio". Per raggiungere tale obiettivo, essi apprendono regolarità distribuzionali e sintattiche, dimostrando una sorprendente capacità di produrre frasi grammaticali e semanticamente plausibili (Wilcox et al., 2022, come citato in Blank, 2023). Tuttavia, vari studi hanno messo in evidenza che il loro successo potrebbe dipendere in parte da scorciatoie statistiche piuttosto che da una reale comprensione linguistica, soprattutto nei modelli precedenti come BERT e GPT-2 (Chaves & Richter, 2021, come citati in Blank, 2023).

La questione centrale che si pone riguarda la natura dei LLM: si tratta solo di strumenti computazionali, o possono essere considerati modelli della mente umana? Una prima interpretazione sostiene che gli LLM costituiscano un'astrazione meccanicistica dei processi neurali, rappresentando un livello implementativo dell'elaborazione linguistica, come definito nel modello a tre livelli di Marr (1982). In questa prospettiva, essi rifletterebbero simbolicamente i processi linguistici umani, e sarebbero compatibili con le strutture teoriche della linguistica classica (Pinker & Prince, 1988; Bechtel & Abrahamsen, 1991, come citati in Blank, 2023). Alcune ricerche hanno cercato di mappare le attivazioni interne dei LLM su modelli cerebrali, evidenziando una possibile corrispondenza tra attività distribuita e strutture linguistiche

emergenti, come alberi sintattici e rappresentazioni semantiche (Schrimpf et al., 2021; Manning et al., 2020; Wong et al., 2023, come citati in Blank, 2023).

Una visione alternativa, invece, considera i LLM come modelli cognitivi non simbolici, fondati su rappresentazioni subsimboliche e distribuite. In tale prospettiva, le teorie simboliche della linguistica sarebbero solo approssimazioni interpretative, utili ma prive di un reale fondamento psicologico (Smolensky et al., 2022, come citato in Blank, 2023). Secondo questa impostazione eliminativista, i simboli non avrebbero un'esistenza concreta né nella mente né nei LLM, rendendo problematica l'idea di "approssimazione simbolica". In alternativa, si propone che le teorie simboliche siano astrazioni funzionali, strumenti descrittivi utilizzati per interpretare processi cognitivi che in realtà non operano attraverso simboli espliciti.

Alcuni tentativi di conciliazione tra queste due visioni suggeriscono che i LLM implementino forme di strutture simboliche diverse da quelle teorizzate in psicolinguistica, e che possano approssimare tali strutture mediante dinamiche distribuite (Soulos et al., 2019; Smolensky et al., 2022, come citati in Blank, 2023), che si riferiscono a un meccanismo computazionale in cui le informazioni non sono rappresentate da simboli discreti o strutture esplicite (come in un programma simbolico) ma si delineano da schemi di attivazione continua attraverso molteplici unità (neuroni artificiali) in una rete. Queste dinamiche permettono al sistema di approssimare comportamenti linguistici complessi attraverso l'interazione di rappresentazioni latenti e distribuite, senza ricorrere a strutture simboliche esplicite (Blank, 2023). Tuttavia, se la mente adotta un formato esplicitamente simbolico, non si rende necessaria alcuna approssimazione; al contrario, se essa opera in maniera distribuita ovvero il sistema cognitivo non usa simboli espliciti ma rappresentazioni continue e distribuite su molte unità come nei modelli neurali dove i vettori sono attivati senza confini netti tra concetti, i simboli non sono parte integrante del sistema cognitivo, e quindi non esiste nulla da approssimare, in questo caso le teorie simboliche della mente sarebbero solo astrazioni interpretative e non rifletterebbero la realtà psicologica del sistema.

A rendere ancora più complessa l'interpretazione è la distanza che separa le capacità computazionali dei LLM dalle caratteristiche neurocognitive dell'elaborazione umana del linguaggio. Infatti, i modelli attuali elaborano il testo in parallelo e utilizzano finestre contestuali molto ampie, mentre nel cervello umano l'elaborazione linguistica è vincolata da limiti di memoria di lavoro, da un'elaborazione ricorrente e da finestre contestuali ristrette (Mahowald et al., 2023, come citato in Blank, 2023). Inoltre, le aree cerebrali deputate al linguaggio si attivano selettivamente per compiti linguistici, ma non per funzioni come il calcolo, il ragionamento logico

o la cognizione sociale, che invece i LLM affrontano indistintamente (Mahowald et al., 2023, come citato in Blank, 2023).

Nel contesto della ricerca psicologica e linguistica, i LLM offrono quindi un'opportunità per ripensare il concetto stesso di modello cognitivo. Sebbene non derivino da teorie psicologiche preesistenti, l'analisi del loro funzionamento attraverso il reverse engineering può fornire nuove ipotesi sulla struttura della mente e sulla natura delle rappresentazioni linguistiche. Come sostiene Blank (2023), per comprendere appieno il significato dei LLM per la psicolinguistica è necessario chiarire preliminarmente cosa si intende per "modellazione del linguaggio umano", consapevoli del fatto che le risposte a questa domanda influenzeranno profondamente le direzioni future della ricerca.

2.9 UTILIZZO DEI LLM IN AMBITO EDUCATIVO

L'impiego dei modelli linguistici di grandi dimensioni (Large Language Models, LLMs) nei contesti educativi si sta affermando come una risorsa fondamentale per innovare l'insegnamento e l'apprendimento. Questi strumenti, grazie alla loro capacità di generare contenuti coerenti, personalizzati e di qualità, trovano applicazione a tutti i livelli del sistema formativo, dalla scuola primaria fino alla formazione professionale offrendo supporto sia agli studenti sia agli insegnanti (Kasneci et al., 2023).

Nella scuola primaria, i LLMs favoriscono lo sviluppo di abilità linguistiche, come la lettura e la scrittura, offrendo correzioni grammaticali e suggerimenti stilistici. Inoltre, stimolano il pensiero critico attraverso domande e spunti che incoraggiano l'interpretazione e l'analisi dei contenuti. Riassunti ed esplicazioni di testi complessi ne migliorano l'accessibilità e la comprensione (Kasneci et al., 2023). Nella scuola secondaria, invece, questi modelli sono utili nello studio disciplinare, contribuendo all'apprendimento della lingua, della matematica, della fisica e della letteratura. Attraverso esercizi, quiz e spiegazioni dettagliate, gli studenti consolidano le proprie conoscenze e sviluppano competenze analitiche e logico-deduttive (Kasneci et al., 2023).

A livello universitario, i LLMs supportano l'organizzazione e la produzione di elaborati accademici, generando sintesi, scalette, riferimenti e prospettive di ricerca che aiutano a strutturare e approfondire i contenuti (Kasneci et al., 2023). In ambienti collaborativi o a distanza, facilitano il lavoro di gruppo e la scrittura condivisa, offrendo feedback personalizzati, suggerimenti stilistici e generazione automatica di materiali adattati al livello di ciascun studente. Questo favorisce percorsi di apprendimento autonomi e flessibili (Kasneci et al., 2023). Sul piano dell'inclusione, i LLMs si integrano efficacemente con strumenti di sintesi vocale e riconoscimento del parlato, risultando particolarmente vantaggiosi per studenti con disabilità

visive. Possono inoltre offrire traduzioni, evidenziazioni automatiche e semplificazioni testuali, contribuendo a strategie educative inclusive, soprattutto se utilizzati in collaborazione con logopedisti e insegnanti di sostegno (Kasneci et al., 2023).

Numerose evidenze empiriche confermano l'utilità dei LLMs in ambito scolastico. Dijkstra et al. (2022) hanno impiegato GPT-3 per creare quiz a scelta multipla per la comprensione del testo, riducendo il carico degli insegnanti e migliorando l'apprendimento degli studenti. Abdelghani et al. (2022) ne hanno dimostrato l'efficacia nel promuovere la curiosità e la capacità di porre domande nei bambini. MacNeil et al. (2022) hanno valorizzato il ruolo del modello nella spiegazione del codice informatico, mentre Bhat et al. (2022) ne hanno verificato l'utilità nella creazione di domande nei corsi di data science. Altri studi hanno esplorato l'impiego dei LLMs nella revisione tra pari (Jia et al., 2021, come citato in Kasneci et al., 2023) e nei *chatbot* per l'apprendimento linguistico, utili anche nel superare l'ansia da prestazione linguistica (Ji et al., 2022; El Shazly, 2021, come citati in Kasneci et al., 2023). In ambito scolastico primario, questi modelli sono stati utilizzati come analisti dei bisogni linguistici (Jeon, 2021, come citato in Kasneci et al., 2023), e i *chatbot* basati su mappe concettuali si sono dimostrati più efficaci rispetto a quelli tradizionali (Lin & Mubarok, 2021, come citati in Kasneci et al., 2023). In contesti specialistici, come la formazione medica, ChatGPT ha raggiunto prestazioni vicine alla soglia di superamento dell'United States Medical Licensing Exam anche senza specifico *fine-tuning*, confermando l'utilità degli LLMs nell'educazione superiore (Kung et al., 2022, come citato in Kasneci et al., 2023).

In parallelo, la letteratura recente ha mostrato come i LLMs siano strumenti potenti anche per la risoluzione autonoma di problemi. Modelli come Chat GPT-3 e i suoi successori sono in grado di rispondere a quesiti complessi in diversi ambiti disciplinari, operando anche in modalità zero-shot (ovvero la capacità dei LLM di affrontare e risolvere nuovi compiti senza aver ricevuto degli esempi espliciti ma basta fornirgli una descrizione chiara del compito e il modello usa la sua conoscenza generale per comportarsi in modo adeguato), senza un addestramento dedicato (Wei et al., 2022, come citato in Wang et al., 2024). L'introduzione del *prompting "Chain-of-Thought"* (CoT) ha ulteriormente migliorato la qualità delle risposte, permettendo una scomposizione logica e sequenziale dei problemi. Inoltre, gli LLMs sono ampiamente impiegati per la correzione automatica di testi (Zhang et al., 2023, come citato in Wang et al., 2024), come nel caso di *GrammarGPT*, che corregge in modo accurato i testi in cinese. Nell'ambito dei *confusion helpers*, i modelli non forniscono soluzioni dirette ma suggerimenti e spiegazioni che favoriscono il ragionamento autonomo dello studente (Shridhar et al., 2023; Prihar et al., 2023, come citati in Wang et al., 2024).

L'apprendimento adattivo è un altro campo in cui i LLMs si stanno rivelando particolarmente efficaci. Il tracciamento delle conoscenze (*Knowledge Tracing*) consente di stimare il livello di competenza degli studenti anche in condizioni di dati limitati (Ni et al., 2023, come citato in Wang et al., 2024), mentre la personalizzazione dei contenuti (Content Personalization) permette di generare materiali didattici su misura in base agli interessi e agli obiettivi individuali (Kuo et al., 2023; Kabir e Lin, 2023, come citati in Wang et al., 2024). Un esempio interessante è dato dalle domande di algebra contestualizzate agli interessi degli studenti, come TikTok o NBA, che aumentano l'engagement e migliorano i risultati (Yadav et al., 2023, come citato in Wang et al., 2024).

Nel settore privato sono emersi strumenti educativi basati su LLM che spaziano dai *chatbot*, come ChatGPT, Bing Chat e Google Bard, a piattaforme come *MagicSchool* o *Education Copilot*, che automatizzano la preparazione di lezioni e materiali didattici. Soluzioni come *QuestionWell* e *Quizizz* AI generano automaticamente domande e feedback, mentre Formative integra ChatGPT per la personalizzazione dell'apprendimento. Strumenti come *summarize.tech* e *Parlay Genie* facilitano il riassunto di contenuti video e la creazione di discussioni stimolanti.

Un ulteriore esempio innovativo dell'uso degli LLMs è rappresentato da EduChat, un sistema di chatbot educativo sviluppato presso l'East China Normal University. EduChat si distingue per essere stato progettato con obiettivi educativi specifici, combinando intelligenza artificiale e principi pedagogici per offrire un supporto intelligente, equo e compassionevole (ovvero il sistema è progettato per riconoscere, comprendere e rispondere in modo empatico alle emozioni, ai bisogni e alle difficoltà di studenti, insegnati, genitori) a studenti, insegnanti e genitori. A differenza dei modelli generalisti, EduChat è pre-addestrato su un corpus mirato di contenuti educativi (manuali scolastici, psicologia dell'educazione, poesia classica), e successivamente raffinato con oltre 500.000 istruzioni generate e verificate da esperti del settore per migliorarne le capacità in ambiti chiave come la valutazione dei saggi, l'insegnamento socratico e il supporto emotivo (Dan et al., 2023).

Il sistema integra anche una funzione di *retrieval* aumentato per l'accesso a informazioni aggiornate da fonti web, migliorando così la pertinenza delle risposte. Tra le sue capacità avanzate vi sono la valutazione fine-granulare dei saggi con punteggi dettagliati e commenti, il supporto al pensiero critico mediante dialoghi multi-turno e domande stimolanti, e l'assistenza emotiva tramite un framework ispirato alla *Rational Emotive Behavior Therapy* (REBT) e alla teoria ABC di Ellis (1991). EduChat si configura quindi come un assistente versatile che, attraverso interfacce intuitive e apprendimento continuo, supporta la crescita cognitiva, emotiva e relazionale degli studenti. Le sue prestazioni, secondo le valutazioni disponibili, sono competitive rispetto ad altri

LLMs della stessa fascia (Dan et al., 2023), rendendolo un esempio concreto e promettente dell'evoluzione dell'IA educativa.

CAPITOLO 3: IA E DISLESSIA

3.1 PERCHE' QUESTA DOMANDA DI RICERCA

La domanda di ricerca alla base di questo lavoro è: "Come è possibile utilizzare l'intelligenza artificiale nel trattamento della dislessia?". Si tratta di un interrogativo che nasce dall'interesse verso le nuove tecnologie e le loro potenzialità nell'ambito dell'educazione e della riabilitazione, in particolare per i disturbi specifici dell'apprendimento come la dislessia. L'intelligenza artificiale, infatti, sta trovando applicazioni sempre più frequenti in diversi settori, compreso quello educativo e clinico, e questo rende importante capire in che modo possa essere effettivamente utilizzata come supporto per bambini e ragazzi con dislessia.

Per cercare di rispondere a questa domanda, ho svolto una ricerca bibliografica utilizzando diverse banche dati accademiche. In particolare, ho consultato EBSCOhost, con un'attenzione specifica alle collezioni ERIC (Education Resources Information Center) e Psychology and Behavioral Sciences Collection, che contengono articoli scientifici dedicati rispettivamente all'ambito educativo e a quello psicologico. A queste fonti si è aggiunto anche Google Scholar, utile per individuare studi recenti o difficilmente reperibili tramite altri canali.

La stringa di ricerca utilizzata è stata "dyslexia and artificial intelligence", proprio per individuare pubblicazioni che collegassero direttamente questi due ambiti. Dopo una prima selezione, ho deciso di concentrarmi solo su studi che coinvolgessero persone con dislessia e che descrivessero l'utilizzo concreto dell'intelligenza artificiale come strumento di trattamento o intervento. In altre parole, ho escluso gli articoli puramente teorici o quelli che si focalizzavano soltanto sulla diagnosi o sulla prevenzione, per privilegiare invece quei contributi che riportavano applicazioni pratiche dell'IA con finalità riabilitative o educative.

Questo approccio ha permesso di raccogliere un insieme di studi che offrono una panoramica interessante su come l'intelligenza artificiale possa essere impiegata per aiutare chi ha difficoltà nella lettura e nella scrittura. Le evidenze raccolte saranno analizzate nel capitolo successivo, con l'obiettivo di mettere in luce quali strumenti sono già stati sperimentati, quali risultati sono stati ottenuti e quali prospettive si aprono per il futuro.

3.2 GLI OBBIETTIVI DEGLI STUDI

Per sviluppare l'analisi presentata nell'ultimo capitolo, sono stati presi in esame quattro studi che affrontano il tema dell'applicazione dell'intelligenza artificiale alla dislessia da prospettive complementari, due sulla diagnosi e due sull'intervento. Ognuna di queste ricerche, pur differendo per strumenti e metodologie, condivide l'intento di esplorare in che modo le tecnologie basate

sull'IA possano offrire un supporto concreto, migliorare l'accessibilità e contribuire all'inclusione delle persone con difficoltà specifiche di apprendimento.

Il primo lavoro preso in esame, condotto da Khan, Cheng e Bee, si concentra sulla diagnosi precoce della dislessia nei bambini attraverso un sistema automatizzato basato sul machine learning. L'obiettivo principale era sviluppare un modello in grado di supportare insegnanti, genitori e professionisti nella rilevazione tempestiva delle difficoltà di apprendimento, soprattutto in contesti con scarse risorse specialistiche. Il sistema, costruito su un ampio campione di dati scolastici relativi a 857 alunni della scuola primaria, prevedeva tre moduli: uno per il pre-screening, uno per la classificazione dei casi di dislessia e uno di analisi per i ricercatori. Lo studio mirava inoltre a stimare la prevalenza della dislessia nella popolazione considerata e a verificare l'affidabilità del sistema confrontandolo con le valutazioni di esperti umani.

Il secondo studio esaminato propone una revisione sistematica dell'uso del machine learning nello sviluppo di strumenti di screening per la dislessia. L'obiettivo era analizzare in modo comparativo i modelli predittivi più promettenti, valutandone efficacia, accuratezza e potenziale di implementazione in contesti reali. I ricercatori hanno mappato le principali caratteristiche degli algoritmi, i tipi di dati utilizzati e gli ambiti applicativi, con l'intento di individuare le soluzioni più adatte a una diffusione su larga scala. La revisione ha inoltre evidenziato le lacune ancora presenti nella letteratura, suggerendo la necessità di validare i modelli esistenti su campioni più ampi e diversificati e di migliorare la trasparenza metodologica nello sviluppo degli algoritmi.

Il terzo studio analizzato riguarda LaMPost, un prototipo di editor di posta elettronica progettato per supportare adulti con dislessia nella scrittura. L'obiettivo principale della ricerca era verificare in che modo i modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM) potessero essere integrati nel processo di redazione di testi, rispondendo alle esigenze specifiche di questa popolazione. I ricercatori si sono concentrati su tre direzioni: lo sviluppo e il test di un editor dotato di funzioni avanzate di strutturazione e riscrittura del testo; la valutazione dell'esperienza degli utenti, sia sul piano dell'efficacia operativa sia dell'impatto emotivo e percezione di autonomia; e infine l'analisi dei limiti attuali dei modelli linguistici in termini di accuratezza e adattabilità. Particolare attenzione è stata posta all'esperienza soggettiva delle persone dislessiche, per comprendere se l'IA possa realmente potenziare le capacità espressive senza sostituirsi alla creatività individuale.

Il quarto studio ha invece come oggetto Microsoft Immersive Reader, utilizzato come strumento di lettura assistita per studenti con dislessia. L'obiettivo era valutare l'efficacia di un approccio basato sull'IA nel migliorare abilità fondamentali quali il riconoscimento delle parole, la fluidità, l'ortografia, la decodifica e l'elaborazione fonologica. Lo studio mirava anche a verificare se un utilizzo regolare dello strumento potesse ridurre lo stress legato alla lettura e aumentare la

motivazione, offrendo un'alternativa scalabile ai metodi tradizionali, spesso costosi e dispendiosi in termini di tempo. Oltre agli aspetti prestazionali, i ricercatori hanno voluto individuare le caratteristiche più efficaci della piattaforma e le eventuali criticità emerse in contesti scolastici reali.

Considerati nel complesso, i quattro studi analizzati offrono una panoramica ampia e articolata degli attuali approcci all'uso dell'IA per la dislessia, spaziando dalla diagnosi precoce e allo sviluppo di strumenti di screening automatizzati fino al supporto diretto alla scrittura e alla lettura. Ognuno di essi contribuisce, con obiettivi specifici, a delineare un quadro complessivo in cui l'intelligenza artificiale appare come una risorsa sempre più rilevante per l'inclusione e il potenziamento delle persone con disturbi specifici dell'apprendimento.

3.3 QUALI SONO I SOGGETTI COINVOLTI (ETA', ORDINE DI SCUOLA) – TIPO DI DISTURBO

Nei diversi studi analizzati, i soggetti coinvolti presentano profili differenti per quanto riguarda età, contesto scolastico e modalità di diagnosi della dislessia. Tuttavia, tutti i campioni considerati condividono un denominatore comune: l'obiettivo di valutare, attraverso tecnologie basate sull'intelligenza artificiale, l'efficacia di strumenti o approcci per il supporto, lo screening o la diagnosi della dislessia.

In uno studio volto a sviluppare un sistema automatico di classificazione della dislessia (DCS) tramite apprendimento automatico (Rehman Ullah Khan, Julia Lee Ai Cheng et al., 2018), i ricercatori hanno lavorato su un ampio dataset costituito da 857 studenti di prima elementare. I dati, raccolti in uno studio precedente, erano stati ottenuti attraverso test specificamente progettati per la rilevazione di difficoltà nella lettura e nell'ortografia in lingua malese (Bahasa Malaysia). È stata utilizzata una lista di 10 parole tratte dai libri di testo ufficiali, con l'obiettivo di testare competenze ortografiche e di decodifica. In assenza di benchmark validati per la lingua malese, è stato adottato come soglia di riferimento il 25° percentile, criterio largamente riconosciuto in letteratura. Un esperto in dislessia ha successivamente etichettato manualmente i casi, suddividendo gli studenti in non dislessici e sospetti dislessici in ortografia e lettura.

Lo studio "A Universal Screening Tool for Dyslexia by a Web-Game and Machine Learning" (Rauschenberger & Baeza-Yates et al., 2022) ha invece coinvolto 313 bambini di età compresa tra i 7 e i 12 anni, frequentanti la scuola primaria. Questo intervallo è stato scelto per includere soggetti con diagnosi già formalizzata, ma non ancora sottoposti a interventi intensivi in grado di alterare i comportamenti osservabili legati al disturbo (Baeza-Yates, 2018; Faraway & Augustin, 2018, come citati in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022). I partecipanti sono stati

divisi in due gruppi: DG (con diagnosi di dislessia) e CG (gruppo di controllo). Sono stati esclusi 48 soggetti che, pur avendo manifestato sospetti sintomi, non avevano una diagnosi ufficiale. Il campione è stato ulteriormente suddiviso in tre gruppi linguistici in base alla lingua in cui è stato giocato il serious game "MusVis": ES (spagnolo/catalano), n = 153; DE (tedesco), n = 149; ALL (tutte le lingue), n = 313 (inclusi 11 parlanti inglese). La lingua di gioco è stata scelta in base alla preferenza linguistica dichiarata nel questionario iniziale e non sulla base della lingua madre, per evitare ambiguità, specialmente nei soggetti bilingui (Keeskes & Papp, 2000, come citati in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022). Questa scelta ha permesso, ad esempio, di includere nel gruppo ES anche bambini bilingui spagnolo-catalano, poiché avevano selezionato lo spagnolo per le istruzioni del gioco. Il reclutamento è avvenuto tramite diversi canali: i bambini spagnoli con dislessia sono stati coinvolti attraverso campagne di sensibilizzazione sui social media promosse da ChangeDyslexia, i bambini tedeschi tramite gruppi di supporto online, mentre i gruppi di controllo sono stati selezionati con la collaborazione di quattro scuole primarie, due in Spagna e due in Germania. Tutti i partecipanti hanno giocato da computer o tablet, completando 16 turni. Gli abbandoni sono stati dovuti principalmente all'uso di browser non compatibili (es. Internet Explorer) o dispositivi inadeguati. La raccolta dati è stata progettata tenendo conto della privacy, dei costi operativi e dell'efficienza logistica (Baeza-Yates, 2018; Rauschenberger & Baeza-Yates, 2020, come citati in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022).

Diverso è il target dello studio LaMPost: AI Writing Assistance for Adults with Dyslexia, che ha coinvolto adulti dislessici. In totale, sono stati inizialmente reclutati 32 partecipanti attraverso un sondaggio distribuito all'interno di un bacino di utenti gestito dall'istituzione promotrice; di questi, 19 hanno completato l'intero percorso sperimentale. Tutti avevano l'inglese come lingua di scrittura preferita, con 16 residenti negli Stati Uniti e 3 in Canada. La selezione si è basata sulla frequenza della scrittura via e-mail (almeno una volta l'anno) e su autovalutazione di difficoltà correlate alla dislessia. Tra i partecipanti, 14 avevano ricevuto una diagnosi formale, 4 avevano riconosciuto i propri sintomi autonomamente, e 1 non ha specificato. Il campione, eterogeneo per età e genere, comprendeva 4 donne, 14 uomini e 1 persona non binaria, con età distribuite tra i 18 e i 54 anni. I partecipanti sono stati divisi casualmente in due gruppi: uno con riferimento esplicito all'uso dell'IA (metafora AI) e uno senza (Goodman, Buehler et al., 2024).

Nel caso studio condotto in India da Hannah Shirley M. e B. Monika Nair (2023), il campione era costituito da 18 studenti (10 maschi e 8 femmine) frequentanti le classi quarta e quinta di una scuola speciale di Chennai. Gli alunni, tutti di madrelingua tamil e con l'inglese come seconda lingua, condividevano un background socio-culturale omogeneo. A ciascuno di loro era stata diagnosticata formalmente la dislessia. La selezione del campione è avvenuta per convenienza e

su indicazione diretta degli insegnanti, che hanno identificato gli studenti ritenuti più adatti a partecipare all'intervento.

3.4 COME E' STATA USATA L'IA NELL'INTERVENTO

All'interno del primo studio condotto da Rehman Ullah Khan, Julia Lee Ai Cheng et al. (2018), è stato sviluppato un sistema di diagnosi e classificazione delle difficoltà di apprendimento, con un focus specifico sui segnali di dislessia. Il sistema, denominato DCS (Diagnostic and Classification System), si basa su tecniche di apprendimento automatico supervisionato ed è stato progettato per raggiungere tre obiettivi principali: Diagnosticare i segni di dislessia nei bambini;
Classificare i soggetti in due categorie: "non dislessici" e "sospetti dislessici", in base a performance specifiche nei test di lettura e spelling;
Offrire uno strumento di supporto pratico per insegnanti, educatori e ricercatori, anche in assenza di competenze informatiche avanzate.
Il modello algoritmico adottato è stato il K-Nearest Neighbors (KNN), noto per la sua efficacia nella classificazione di pattern e nella semplicità d'uso. Il sistema è stato addestrato utilizzando un dataset di dati etichettati manualmente da un esperto in dislessia, il quale ha individuato i soggetti a rischio in base ai risultati ottenuti nei test di abilità ortografica e di lettura. L'interfaccia del sistema è stata implementata in Python, attraverso l'utilizzo di librerie ampiamente diffuse come Scikit-learn, Pandas, Numpy e Tkinter, rendendo così il programma accessibile e intuitivo anche per insegnanti e genitori interessati a una valutazione preliminare.
Per illustrare il funzionamento del sistema di apprendimento automatico in termini semplici, gli autori propongono un'analogia efficace con il comportamento animale: così come un ratto impara ad evitare un cibo velenoso associandolo a una reazione negativa, allo stesso modo un algoritmo di machine learning è in grado di apprendere sulla base di esperienze precedenti, cioè dati etichettati da esseri umani. Il sistema confronta nuovi input con i casi già memorizzati: se individua una corrispondenza, è in grado di classificare il nuovo soggetto come "dislessico" o "non dislessico". Questo processo di generalizzazione da esempi noti a nuovi casi sconosciuti costituisce il principio fondamentale dell'apprendimento supervisionato.
Per garantire la validità e l'efficacia dell'addestramento, si è resa necessaria una pre-elaborazione accurata dei dati, articolata in due fasi principali:
Rimozione dei valori nulli, in quanto non compatibili con i requisiti degli algoritmi di apprendimento automatico;
Strutturazione dei dati in formato tabellare, con ogni colonna corrispondente a un attributo specifico, come ad esempio i risultati nei test di ortografia o le abilità di lettura.

Questa impostazione ha permesso di costruire un modello predittivo in grado di riconoscere schemi ricorrenti e potenzialmente segnalare situazioni di rischio, fornendo così uno strumento utile per l'identificazione precoce della dislessia in ambienti educativi e clinici.

Nell'altro studio diagnostico, l'intelligenza artificiale, nello specifico il machine learning, è stato utilizzato per sviluppare un gioco chiamato web MusVis con l'obiettivo di esplorare le differenze comportamentali tra bambini con e senza dislessia, osservando le loro reazioni durante l'interazione ludica. Alla base del progetto vi è l'ipotesi che stimoli non linguistici, come ritmo e frequenza, possano fungere da indicatori indiretti delle difficoltà di lettura e scrittura tipiche della dislessia (Poole et al., 2018; Yuskaitis et al., come citati in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022). Ulteriori parametri comportamentali, quali il numero di clic, i tempi di risposta e la durata complessiva dell'interazione, si sono dimostrati anch'essi utili per differenziare i due gruppi (Rello et al. 2018, 2020, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022).

MusVis è stato progettato come un gioco web multipiattaforma, utilizzando tecnologie accessibili e compatibili con dispositivi diversi: JavaScript, jQuery, CSS e HTML5 per il front-end, PHP e MySQL per il back-end. Questa scelta tecnica garantisce una buona flessibilità di utilizzo, permettendo la somministrazione del gioco anche a distanza, senza vincoli legati alla piattaforma o alla lingua dell'utente.

Il gioco è articolato in due sezioni principali: una componente uditiva, che si basa sull'elaborazione di stimoli sonori; una componente visiva, incentrata su stimoli grafici non verbali. Entrambe le modalità sono suddivise in quattro fasi, ognuna delle quali include due round, per un totale di sedici turni complessivi. Ogni turno prevede un'esposizione crescente della complessità: il primo round si basa su una griglia da quattro elementi, mentre il secondo ne propone sei. La durata totale dell'interazione è inferiore ai dieci minuti. Per controllare l'effetto dell'ordine delle prove, è stata applicata una randomizzazione mediante schema a quadrati latini, come suggerito da Field e Hole (2003).

I contenuti del gioco sono stati scelti sulla base di una revisione semi-strutturata della letteratura (Rauschenberger et al., 2021, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022), con l'obiettivo di identificare indicatori uditivi e visivi che avessero già dimostrato una forte correlazione con la dislessia in contesti sperimentali precedenti. Sono stati selezionati stimoli che rispettassero tre criteri fondamentali:

validità teorica, cioè legame con abilità fonologiche o percettive (Overy, 2000; Huss et al., 2011, come citati in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022);

facilità di implementazione in ambienti digitali interattivi;

compatibilità con i limiti di attenzione dei pre-lettori, spesso più vulnerabili a sovraccarichi cognitivi.

I contenuti sono stati progettati per riflettere aspetti cruciali delle difficoltà dislessiche, quali (Rauschenberger e Baeza-Yates, 2022):

la memoria uditiva a breve termine, la percezione ritmica e prosodica del linguaggio, la percezione fonologica e l'elaborazione uditiva, le difficoltà visuo-spaziali legate alle simmetrie.

Poiché l'obiettivo era sviluppare uno strumento linguistically-free, cioè indipendente dal linguaggio scritto, le istruzioni sono state tradotte e adattate in più lingue già nella fase di progettazione, prestando attenzione anche a dettagli tipografici legati alle specificità linguistiche (ad esempio, l'ampiezza dei caratteri in tedesco rispetto all'inglese).

Il design del gioco uditivo

La parte uditiva del gioco trae ispirazione dal classico "Memory", ma è stata adattata per integrare stimoli sonori al posto delle carte visive. I suoni sono stati progettati con attenzione per riprodurre elementi prosodici tipici del linguaggio, utilizzando toni sinusoidali semplici generati con il software Audacity. I file audio sono disponibili pubblicamente tramite GitHub (Rauschenberger et al., 2017, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022).

I parametri acustici impiegati includono: frequenza, durata, tempo di salita e ritmo (Rauschenberger et al., 2018b; 2021d, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022); la distinzione tra pattern ritmici semplici e complessi, che ha mostrato correlazioni significative con le difficoltà di lettura (Huss et al., 2011; Goswami et al., 2016, come citati in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022); l'effetto di somiglianza fonologica (Goswami et al., 2016, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022); le compromissioni nella memoria uditiva a breve termine, rilevate in bambini dislessici rispetto alla media (Johnson, 1980; Männel et al., 2016, come citati in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022).

Ogni fase acustica è associata a un diverso parametro sonoro e presenta due livelli di difficoltà: nel primo round, il bambino deve associare due suoni identici tra quattro carte; nel secondo round, deve identificare il suono corrispondente tra sei opzioni. La disposizione delle carte e l'associazione dei suoni avvengono in modo casuale, al fine di eliminare effetti di apprendimento o memorizzazione non intenzionali.

Il design del gioco visivo

La componente visiva si ispira invece al meccanismo di "Whac-A-Mole", ma è stata adattata con stimoli visivi astratti e indipendenti dalla lingua, evitando lettere o simboli alfabetici che potrebbero favorire i bambini più alfabetizzati. Gli stimoli utilizzati includono forme geometriche semplici, numeri, rettangoli e volti, con una particolare attenzione a simmetrie orizzontali e

verticali, che si sono dimostrate particolarmente difficili da discriminare per i bambini con dislessia (Vidyasagar & Pammer, 2010; Rello et al., 2016, come citati in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022).

Il compito consiste nel memorizzare uno stimolo target mostrato per tre secondi, per poi individuarlo tra più distrattori, cliccando il maggior numero di volte possibile entro un intervallo di 15 secondi. Ogni fase è composta da due round con aumento progressivo della complessità: una griglia iniziale 2x2 seguita da una griglia 3x3. Gli stimoli target e i distrattori cambiano posizione a ogni clic, mantenendo l'attenzione del giocatore sempre attiva. Per incrementare l'ingaggio, il gioco include elementi di gamification già testati in ambito educativo: punti come ricompensa, feedback immediato, sfide temporizzate e una trama narrativa semplice (Rauschenberger et al., 2019, come citato in M. Rauschenberger e R. Baeza-Yates, 2022).

Dopo aver illustrato i due studi diagnostici, è possibile analizzare i contributi riguardanti il trattamento.

Nel primo studio di intervento è stato previsto l'utilizzo di LaMPost, un editor di posta elettronica basato su intelligenza artificiale, progettato per assistere utenti con dislessia nella scrittura di e-mail. Il sistema si basa su un modello linguistico di grandi dimensioni (LLM), in particolare LaMDA, ed è il risultato di oltre un anno di ricerca formativa condotta in collaborazione con la comunità dislessica.

La progettazione del sistema ha seguito un approccio partecipativo, coinvolgendo organizzazioni specializzate in disturbi della lettura, esperti con esperienza diretta di dislessia e altri disturbi dell'elaborazione visiva e testuale, nonché sette adulti dislessici. Questi ultimi hanno partecipato a una fase esplorativa articolata in due momenti:

Interviste individuali, finalizzate a indagare le principali difficoltà nella scrittura (es. organizzazione, chiarezza, tono, revisione).

Focus group, volti a valutare l'efficacia e l'interesse verso soluzioni di supporto basate sull'intelligenza artificiale.

Dall'indagine sono emersi sia bisogni concreti che criticità potenziali: da un lato, gli utenti hanno espresso interesse per strumenti capaci di generare schemi visivi, riassunti automatici e suggerimenti di scrittura, utili per migliorare chiarezza, struttura e tono del testo; dall'altro, sono emerse preoccupazioni legate alla perdita di controllo sul prodotto finale, alla fiducia nei suggerimenti forniti dall'IA e alla tutela della privacy.

Sulla base di queste evidenze è nato LaMPost, un prototipo web che replica l'interfaccia di un comune editor di posta elettronica (con campi per destinatario, oggetto e corpo del messaggio), ma integra un pannello interattivo laterale con tre funzionalità basate su LLM:

Identificazione delle idee principali

Questa funzione genera una mappa visiva dei punti chiave dell'e-mail, fornendo all'utente una rappresentazione sintetica e strutturata del contenuto. È pensata per facilitare l'organizzazione logica e la chiarezza espositiva, due aree critiche per le persone con dislessia. Il sistema consente inoltre di generare automaticamente l'oggetto del messaggio, in linea con i concetti principali individuati.

Suggerimenti per la modifica del testo

Gli utenti possono selezionare una parola, frase o paragrafo e chiedere al sistema suggerimenti di riscrittura, finalizzati a migliorarne il tono, la chiarezza o lo stile. Il modello elabora la richiesta attraverso un prompt personalizzato, che include esempi predefiniti di testi e relative revisioni. Il sistema propone più alternative, offrendo all'utente la possibilità di scegliere quella preferita o di utilizzarla come base per ulteriori modifiche (strategia di meta-prompting).

Riscrittura su istruzione personalizzata

Questa funzione consente all'utente di impartire un'istruzione specifica, come ad esempio "rendilo più conciso" o "usa un tono più formale". Il modello utilizza esempi già codificati (testo originale, selezione, istruzione, versione riscritta) per elaborare risposte che rispettino il contesto e le richieste. L'output è multiplo e selezionabile, in modo che l'utente mantenga sempre il controllo sul contenuto finale.

Oltre a queste tre funzioni principali, LaMPost offre anche la possibilità di ascoltare i testi generati attraverso una funzione integrata di lettura ad alta voce, pensata per utenti con preferenza per l'elaborazione uditiva o con difficoltà visive. In questo modo, il sistema offre un supporto multisensoriale che migliora accessibilità, comprensione e controllo da parte dell'utente.

Infine, nel secondo studio di trattamento è stato impiegato il Microsoft Immersive Reader, strumento noto per la sua efficacia nel supportare gli studenti nelle attività di lettura. Esso è in grado di leggere il testo ad alta voce, evidenziando le parole man mano che vengono pronunciate, e risponde alle esigenze di apprendimento di studenti di tutte le età, favorendo l'acquisizione di nuovo vocabolario. In particolare, si rivela utile come guida per lettori alle prime armi, facilitando l'approccio alla lettura e alla comprensione testuale.

Lo strumento consente un'elevata personalizzazione dell'esperienza di lettura: gli studenti possono modificare la velocità di narrazione, scegliere tra diverse voci, regolare la spaziatura delle parole, la dimensione del carattere, e evidenziare elementi grammaticali come nomi, aggettivi, verbi e avverbi. Inoltre, offre la possibilità di sillabare le parole, ascoltarne la pronuncia in più lingue, tradurre i termini e visualizzarli in forma grafica, rendendolo uno strumento

particolarmente accessibile anche a persone con disabilità visive, disturbi specifici dell'apprendimento come la dislessia, o a parlanti non nativi della lingua del testo.
Il Microsoft Immersive Reader si propone quindi come un valido supporto didattico, capace di trasformare testi complessi o poco comprensibili in contenuti accessibili, anche attraverso funzionalità di lettura ad alta voce sincronizzata, modifica dei colori dello sfondo, e l'uso del righello di lettura per favorire la concentrazione. L'utente ha piena libertà di intervenire sulla modalità di visualizzazione e ascolto del testo, potenziando così le proprie capacità di comprensione e memorizzazione.

3.5 COME SONO STATI MISURATI GLI EFFETTI DELL'INTERVENTO

Nel primo studio per valutare le prestazioni del sistema, il dataset è stato diviso in due parti:

- 70% dei dati (599 studenti) è stato utilizzato per l'addestramento del modello;
- 30% (257 studenti) è servito per il test di convalida.

L'addestramento è stato effettuato utilizzando la funzione train_test_split della libreria Scikit-learn, mentre l'accuratezza del sistema è stata misurata tramite la funzione accuracy_score. I risultati hanno evidenziato che il sistema ha identificato il 23% degli studenti come a rischio di dislessia nel set di addestramento, e il 20,7% nel set di test, con una precisione del 99%.
Per confermare ulteriormente l'affidabilità del sistema, è stato calcolato anche l'indice R^2, che indica la proporzione di varianza della variabile dipendente spiegata da quella indipendente. Anche in questo caso, il punteggio ha confermato un'accuratezza del 99%.
Infine, il sistema è stato confrontato con la valutazione di un esperto umano su un sottoinsieme di 30 studenti. Le classificazioni fornite dal sistema sono risultate completamente sovrapponibili a quelle effettuate dall'esperto, dimostrando l'affidabilità dell'approccio automatizzato (R. Ullah Khan1, J. Lee Ai Cheng1, et. al., 2018).
Nel secondo studio, gli effetti dello strumento sono stati valutati attraverso un approccio misto, combinando analisi comportamentale, validazione statistica e modellazione predittiva.
Dal punto di vista comportamentale, sono state analizzate variabili osservabili durante l'interazione ludica con il sistema, come il tempo al primo clic, il numero totale di clic, il numero di errori, l'accuratezza e l'efficienza del compito. Questi indicatori hanno permesso di monitorare le differenze nelle strategie e nelle prestazioni tra bambini con e senza dislessia.
Per la valutazione statistica, sono stati applicati i test di Shapiro-Wilk e Wilcoxon, con correzione di Bonferroni ($p < 0{,}002$) per il controllo degli errori di tipo I. Tali analisi hanno evidenziato variabili significativamente differenti tra i due gruppi, in particolare nel dataset spagnolo (ES), confermando quanto già osservato nello studio pilota (Rauschenberger et al., 2018, come citato

in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022). Nel dataset tedesco (DE), pur non emergendo significatività statistica, le medie seguivano un andamento coerente con le ipotesi, suggerendo la possibile influenza di fattori linguistici o culturali.

Parallelamente, è stata condotta una validazione predittiva tramite tecniche di apprendimento automatico. Diversi modelli (Random Forest, Random Forest con pesi di classe, Extra Trees, Gradient Boosting e un Dummy Classifier come baseline) sono stati addestrati su tre dataset (ALL, ES, DE), utilizzando la libreria Scikit-learn v0.21.2 (Scikit-learn Developers, 2019, come citato in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022). Per prevenire overfitting, è stata adottata una validazione incrociata a 10 fold e sono stati mantenuti i parametri predefiniti (Varma & Simon, 2006, come citati in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022).

La selezione delle caratteristiche predittive si è basata su studi precedenti sulla dislessia, che ne ipotizzano cause visive e uditive (De Zubicaray & Schiller, 2018, come citati in M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022). L'algoritmo Extra Trees ha permesso di identificare le variabili più informative, evidenziando differenze tra i contesti linguistici: ad esempio, nel dataset ES sono state selezionate 41 caratteristiche, nel DE 38 e nell'ALL 33, con solo alcune variabili comuni (es. logica, intervallo del sesto clic, durata dell'interazione).

I modelli predittivi sono stati valutati in termini di accuratezza e F1-score, sia considerando tutte le caratteristiche raccolte, sia sottoinsiemi informativi (es. le 5 o 33 variabili più rilevanti). I migliori risultati sono stati ottenuti con un numero limitato di caratteristiche, suggerendo che molte variabili potrebbero essere ridondanti o rumorose. In particolare, si è osservato un F1-score massimo di 0,75 nel dataset ES (ETC, 20 caratteristiche) e DE (RF, 5 caratteristiche), con prestazioni inferiori nel dataset ALL. Tali differenze evidenziano come la lingua e il contesto culturale possano incidere sulla rilevanza delle variabili predittive (Rauschenberger & Baeza-Yates, 2020a, 2020b).

Nel complesso, la combinazione di analisi comportamentale, validazione statistica e modellazione predittiva ha permesso di misurare in modo robusto l'efficacia dell'intervento e la capacità dello strumento di discriminare tra bambini con e senza dislessia.

Nel terzo studio, per valutare in maniera oggettiva l'efficacia dell'intervento educativo, è stato adottato un approccio di tipo quantitativo, basato sull'utilizzo di test pre e post-intervento. Questi strumenti si sono rivelati fondamentali per monitorare i cambiamenti nelle competenze di lettura e ascolto degli studenti, consentendo di verificare i progressi ottenuti al termine del percorso.

Come sottolineato da Shivaraju et al. (2017), l'impiego dei test pre e post rappresenta una metodologia efficace per cogliere le conoscenze acquisite nel tempo, anche in presenza di differenze tra gli studenti in termini di stili cognitivi e background formativo. Tali strumenti

permettono non solo di misurare i miglioramenti individuali, ma anche di identificare quegli alunni che necessitano di un ulteriore supporto. Inoltre, offrono agli insegnanti e ai ricercatori indicazioni preziose sull'efficacia delle strategie didattiche adottate, suggerendo eventuali aggiustamenti o interventi correttivi.

Nel caso specifico, la valutazione è stata condotta attraverso un'osservazione individuale di ciascun partecipante, sia nella fase iniziale (pre-test) che in quella finale (post-test). Il progresso degli studenti è stato analizzato tenendo conto di cinque indicatori chiave, ritenuti fondamentali per le competenze di letto-scrittura:

Il riconoscimento delle parole, ovvero la capacità di identificare e comprendere le parole viste o ascoltate;

La fluidità, intesa come scorrevolezza e ritmo nella lettura; La decodifica, ovvero la capacità di tradurre i segni grafici in suoni e parole comprensibili; L'ortografia, cioè la correttezza nella scrittura delle parole; L'elaborazione fonologica, ossia la capacità di manipolare e riconoscere i suoni che compongono le parole.

Attraverso questa modalità di rilevazione è stato possibile ottenere un quadro chiaro e dettagliato dei risultati raggiunti, valorizzando al contempo l'individualità e il percorso di ciascun alunno.

Nel quarto studio, l'efficacia dell'intervento è stata valutata attraverso una sessione sperimentale strutturata in tre fasi di durata 25 min l'una:

Introduzione e dimostrazione – I partecipanti hanno descritto il proprio approccio alla scrittura di e-mail (fiducia, soddisfazione, autoefficacia, espressione di sé). Successivamente, hanno preso parte a una dimostrazione interattiva del sistema LaMPost, esplorandone le tre funzioni principali attraverso esercitazioni guidate e momenti di confronto.

Esercizio di scrittura – I partecipanti hanno utilizzato LaMPost per scrivere un'e-mail a tema, verbalizzando impressioni e difficoltà ("pensiero ad alta voce"). Il ricercatore ha facilitato l'uso delle diverse funzionalità senza influenzare l'esperienza.

Intervista di follow-up – Al termine, si è svolta un'intervista semi-strutturata per raccogliere opinioni sull'esperienza, seguita da una batteria di scale post-uso su: utilità, coerenza, soddisfazione, espressione di sé, autoefficacia, autonomia e controllo, ciascuna valutata su scala a 7 punti, accompagnata da una domanda aperta.

Analisi dei dati

L'analisi qualitativa è stata condotta tramite codifica tematica: inizialmente con codici deduttivi (scrittura, percezioni sul sistema, autoefficacia ecc.), poi ampliati con codici induttivi emersi dai dati. Il codebook finale ha incluso tre livelli di codifica (pratiche, aspetti positivi/negativi, temi ricorrenti). Un ricercatore ha codificato tutte le 19 trascrizioni.

Per l'analisi quantitativa, le valutazioni pre-uso hanno descritto le percezioni iniziali. Il test U di Mann-Whitney è stato applicato per confrontare i punteggi post-intervento tra le condizioni con e senza metafora AI, verificando differenze su tutte le variabili chiave (M. Goodman, E. Buehler et. al., 2024).

3.6 QUALI RISULTATI SONO STATI OTTENUTI

Il sistema sviluppato nel primo studio ha stimato che il 23,2% degli studenti era a rischio di dislessia, un dato in linea con la letteratura esistente, considerando che l'età media dei partecipanti era di circa sette anni, equivalente alla prima classe della scuola primaria. Studi precedenti, come quelli di Shaywitz et al., hanno rilevato che una percentuale simile di studenti diagnosticati in prima elementare mantiene la diagnosi anche negli anni successivi. È importante sottolineare che la classificazione automatica ha come scopo principale l'identificazione dei bambini a rischio, affinché possano ricevere interventi tempestivi. Tali strumenti non intendono sostituire la diagnosi clinica, ma piuttosto favorire un primo screening, utile per selezionare i casi su cui approfondire l'osservazione. Il sistema proposto si presenta quindi come un valido alleato per genitori, insegnanti e ricercatori, in grado di facilitare l'individuazione precoce della dislessia, anche in contesti dove le risorse specialistiche sono limitate. Inoltre, futuri studi potrebbero approfondire la validità longitudinale delle classificazioni ottenute e indagare l'effetto delle differenze ortografiche tra le lingue (come il malese rispetto all'inglese) sulla prevalenza del disturbo (Rehman Ullah Khan1, Julia Lee Ai Cheng1, et. al., 2018).

Il secondo studio ha dimostrato che l'uso di modelli predittivi supervisionati, applicati a dati comportamentali raccolti da un gioco web non linguistico (MusVis), può essere una strategia promettente per lo screening precoce della dislessia. I risultati migliori sono stati raggiunti nel dataset tedesco (accuratezza 74% con RF) e in quello spagnolo (accuratezza 69% con ETC). Questo approccio ha il potenziale per ottimizzare l'individuazione precoce e migliorare la gestione della dislessia, contribuendo a ridurre ritardi diagnostici, insuccessi scolastici e il disagio psicologico nei bambini e nelle famiglie. Tuttavia, per una diffusione su larga scala, sarà necessario ampliare il dataset, includere bambini più piccoli e arricchire il sistema con altri giochi e caratteristiche fonologiche, visive e cognitive. In prospettiva, si propone di migliorare i modelli di machine learning, esplorando anche tecniche più interpretabili e sviluppando interfacce più efficaci per applicazioni educative e cliniche (M. Rauschenberger1, R. Baeza-Yates, et. al., 2022).

Nel secondo filone, dedicato al trattamento e al supporto educativo, nel primo studio i dati raccolti attraverso i test pre e post-intervento hanno evidenziato miglioramenti significativi nelle competenze linguistiche del gruppo sperimentale. Gli studenti hanno beneficiato delle

caratteristiche multisensoriali dello strumento Microsoft Immersive Reader, imparando a navigare nei contenuti, modificare dimensioni e struttura del testo, e ad adattare l'esperienza alle proprie esigenze. In breve tempo, hanno superato l'emozione iniziale legata alla novità tecnologica, mostrando interesse e partecipazione attiva. Dopo l'intervento, sono stati osservati progressi evidenti in diverse aree: riconoscimento delle parole, fluidità nella lettura, ortografia, decodifica, elaborazione fonologica e abilità di ascolto. L'utilizzo di Immersive Reader ha quindi dimostrato di essere un supporto efficace per lo sviluppo delle abilità linguistiche nei bambini con dislessia. La sua integrazione nell'insegnamento nella scuola primaria può contribuire a ridurre lo stress degli studenti e a promuovere un apprendimento più inclusivo, calibrato sui diversi livelli di difficoltà individuale (Hannah Shirley. M e B. Monika Nair, 2023).

Nel secondo studio, i risultati relativi all'uso di LaMPost, un editor di posta elettronica basato su IA, mostrano un interesse generale e valutazioni positive da parte dei partecipanti, con particolare apprezzamento per la funzione "Riscrivi la mia selezione", utile per migliorare concisione, tono e chiarezza, e per la generazione automatica dell'oggetto. Tuttavia, sono emerse alcune criticità, tra cui: inaccuratezza o rumore nei risultati generati, sovraccarico di opzioni, preoccupazioni sulla privacy e mancanza di fiducia nella qualità dei suggerimenti. Nonostante ciò, i partecipanti hanno riportato un buon livello di autoefficacia, autonomia e controllo durante l'uso dello strumento. L'uso dell'etichetta "AI" nel presentare lo strumento non ha influenzato significativamente la percezione del sistema né i sentimenti legati all'esperienza di scrittura (M. Goodman, E. Buehler et. al., 2024).

CONCLUSIONE

Negli ultimi anni, l'integrazione dell'intelligenza artificiale nell'ambito dell'educazione e della riabilitazione dei disturbi specifici dell'apprendimento, e in particolare della dislessia, ha aperto nuove opportunità sia dal punto di vista diagnostico che terapeutico. Le applicazioni attuali dimostrano come le tecnologie basate su algoritmi di elaborazione del linguaggio naturale, riconoscimento vocale e machine learning possano fornire un supporto concreto e personalizzato, adattandosi alle esigenze del singolo individuo e superando molte delle limitazioni dei metodi tradizionali.

Sul versante del trattamento, strumenti di lettura assistita come Microsoft Immersive Reader offrono già oggi funzionalità avanzate – dalla modulazione della velocità di lettura alla sintesi vocale, fino alla traduzione automatica – riducendo lo sforzo cognitivo e lo stress associato alla decodifica. Gli effetti positivi si riflettono sul miglioramento di competenze fondamentali quali il riconoscimento delle parole, la fluidità di lettura, l'ortografia e l'elaborazione fonologica. A ciò si aggiungono soluzioni innovative per la scrittura assistita, come il prototipo LaMPost, progettato per aiutare adulti con dislessia nella redazione di email. Offrendo suggerimenti di riscrittura, generazione di titoli pertinenti e regolazione del tono comunicativo, questo strumento non solo facilita l'organizzazione delle idee ma riduce anche l'ansia legata alla scrittura, aumentando la fiducia dell'utente. Tecnologie come AI Reader, inoltre, mostrano come un approccio digitale possa rendere l'apprendimento più personalizzato, motivante ed efficace rispetto ai soli metodi tradizionali.

Parallelamente, gli studi sulla diagnosi precoce evidenziano un contributo altrettanto significativo. I sistemi basati su machine learning rappresentano un passo avanti verso la possibilità di individuare precocemente la dislessia anche in contesti con risorse limitate, replicando con buona accuratezza i processi valutativi degli esperti e riducendo tempi e costi di screening. In maniera complementare, gli strumenti digitali di screening, come quelli analizzati negli studi, consentono di raccogliere rapidamente un ampio numero di informazioni tramite questionari online, rendendo la valutazione accessibile anche a scuole e comunità prive di specialisti. Entrambi gli approcci, pur non sostituendo la valutazione clinica, permettono di concentrare l'attenzione degli esperti sui casi che necessitano di approfondimento, migliorando l'efficienza e l'equità dei processi diagnostici.

Le prospettive future, sia in ambito diagnostico che riabilitativo, sono altrettanto rilevanti. Si prevede un'evoluzione verso piattaforme sempre più inclusive, multimodali e integrate, capaci di unire in un unico ecosistema attività di lettura, scrittura, screening e monitoraggio. L'ampliamento e la diversificazione dei dataset, inclusivi di produzioni linguistiche reali di persone con dislessia,

permetterà di affinare ulteriormente l'accuratezza degli algoritmi, riducendo errori e falsi positivi. L'analisi longitudinale degli effetti di tali tecnologie, condotta su campioni eterogenei e in contesti educativi reali, sarà fondamentale per validarne l'efficacia e definire le migliori pratiche di implementazione.

Infine, l'IA ha il potenziale per trasformarsi da semplice strumento di supporto a partner proattivo nel percorso di apprendimento e autonomia della persona con dislessia. Attraverso funzionalità predittive, adattive e di monitoraggio continuo, potrà proporre attività mirate di potenziamento, adattare la difficoltà dei compiti in base ai progressi e offrire feedback personalizzati. Questo approccio, combinato con interfacce intuitive e modalità di interazione multimodale (testo, audio, immagini), potrà garantire un accesso più ampio e democratico a risorse educative e riabilitative di qualità, contribuendo in maniera significativa all'inclusione e alla partecipazione attiva delle persone con disturbi specifici dell'apprendimento nella società contemporanea.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Archer, K., Pammer, K., & Vidyasagar, T.R. (2020). A Temporal Sampling Basis for Visual Processing in Developmental Dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*, 213.

Barbiero, C., Montico, M., Lonciari, I., Monasta, L., Penge, R., Vio, C., ... & behalf of the EpiDIt (Epidemiology of Dyslexia in Italy) working group. (2019). The lost children: The underdiagnosis of dyslexia in Italy. A cross-sectional national study. *PloS one*, *14*(1), e0210448.

Blank, A. (2023). What are large language models supposed to model?, *Trends in Cognitive Sciences*, *27* (11), 987-989.

Dan, Y., Lei, Z., Gu, Y., Li, Y., Yin, J., Lin, J., ... & Qiu, X. (2023). Educhat: A large-scale language model-based chatbot system for intelligent education. *arXiv preprint arXiv:2308.02773*.

Goodman, S. M., Buehler, E., Clary, P., Coenen, A., Donsbach, A., Horne, T. N., ... & Morris, M. R. (2024). LaMPost: AI writing assistance for adults with dyslexia using large language models. *Communications of the ACM*, *67*(9), 80-89.

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and individual differences*, *103*, 102274.

Khan, R. U., Cheng, J. L. A., & Bee, O. Y. (2018). Machine learning and Dyslexia: Diagnostic and classification system (DCS) for kids with learning disabilities. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(3.18), 97-100.

Nair, B. M. (2023). The efficacy of artificial intelligence-driven immersive reader for dyslexic students in special schools: A case study. *Journal of English Language Teaching*, *65*(5), 3-8.

Ranieri, M., Cuomo, S., & Biagini, G. (2023). *Scuola e intelligenza artificiale*. Roma: Carocci editore

Rauschenberger, M., Baeza-Yates, R., & Rello, L. (2022). A universal screening tool for dyslexia by a web-game and machine learning. *Frontiers in computer science*, *3*, 628634.

Scorza, M., Ghidoni, E., Camia, M., & Zoppello, M. (2019). La dislessia evolutiva. In G. Stella, M. Zoppello e M. Scorza (a cura di), *DSA: identificazione, valutazione e trattamento* (pp. 162-186). Milano: FrancoAngeli

Tressoldi, P. E., Vio, C., Lorusso, M. L., Facoetti, A., & Iozzino, R. (2003). Confronto di efficacia ed efficienza tra trattamenti per il miglioramento della lettura in soggetti dislessici. *Psicologia clinica dello sviluppo*, *7*(3), 481-494.

Wang, S., Xu, T., Li, H., Zhang, C., Liang, J., Tang, J., ... & Wen, Q. (2024). Large language models for education: A survey and outlook. *arXiv preprint arXiv:2403.18105*.

Zoppello, M., & Latronico, C. (2019). Il trattamento dei disturbi specifici di apprendimento. In G. Stella, M. Zoppello e M. Scorza (a cura di), *DSA: identificazione, valutazione e trattamento* (pp. 272-298). Milano: FrancoAngeli