

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITY OF BOLOGNA

School of Science
Department of Physics and Astronomy
Master Degree in Physics

**Il rapporto tra i DSA e la Fisica:
Indagine sul libro di testo di Fisica quale
strumento didattico per l'intervento su
studenti con DSA.**

Supervisor:
Prof.ssa Olivia Levrini

Submitted by:
Emmanuel Sacco

Co-supervisors:
Prof.ssa Manuela Fabbri
Dott.ssa Sara Satanassi

Academic Year 2024/2025

*“Nature held me close and seemed to
find no fault with me.”*

Leslie Feinberg

*“I have a duty to speak the truth as I
see it and share not just my
triumphs, not just the things that felt
good, but the pain, the intense, often
unmitigated pain. It is important to
share how I know survival is survival
and not just a walk through the rain.”*

Audre Lorde

Alle mie amicizie, alla mia famiglia e
alle persone che amo, a chi c'è stato
nel bisogno e a chi ha celebrato il
bello. Siete la mia vita.

Abstract

Negli ultimi decenni, il tema dei Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA) ha assunto un'importanza crescente nell'ambito della Pedagogia e della Didattica, in particolare all'interno del quadro teorico dei Bisogni Educativi Speciali (BES), come dimostra l'aumento degli studi dedicati. Nonostante questo interesse generale, le implicazioni dei Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA) nell'ambito dell'apprendimento delle discipline scientifiche risultano ancora poco approfondite, sia per quanto concerne l'analisi della relazione tra tali disturbi e le materie scientifiche, sia in riferimento alla definizione di interventi didattici specifici. In questa tesi indagiamo la ricerca esistente sui DSA e i BES e il loro rapporto con le discipline scientifiche tra cui la Fisica. Sulla base di questa ricostruzione, presentiamo la costruzione di uno strumento di analisi del libro di testo di fisica quale strumento didattico, attenzionando il carico cognitivo che esso può provocare negli studenti con DSA. La lente proposta è stata testata su due libri di testo, il *Fondamenti di Fisica* di James S. Walker (2020, Pearson) e *l'Amaldi per i licei scientifici.blu* di Ugo Amaldi (2012, Zanichelli), in particolare sui capitoli sul campo elettrico. Si presentano infine i principali risultati dell'analisi di tale applicazione ai testi e alcune conclusioni su questi dati.



In the last decades, the theme of Specific Learning Disabilities (SLDs) gradually gained traction in the fields of Pedagogy and Didactics, especially under the theoretical framework of Special Education Needs (SENs), as shown by the growth in dedicated studies. Despite this general interest, implications of Specific Learning Disabilities (SLDs) in the field of education of scientific disciplines are still not enough deepened, both regarding the analysis of the relationship between these disabilities and the scientific subjects and in regard to the definition of specific didactic interventions. In this dissertation we investigate the existing research on SLDs and SENs and their relationship with the scientific disciplines, including Physics. Based on this reconstruction, we present the construction of an analytical tool of the physics textbook as a didactic tool, focussing on the cognitive load that it can induce in students with SLDs. The proposed tool has been tested on

two textbooks, *Fondamenti di Fisica* by James S. Walker (2020, Pearson) and *l'Amaldi per i licei scientifici. blu* by Ugo Amaldi (2012, Zanichelli), especially on chapters on the electric field. Then, the main results of the analysis of this application to the texts and some conclusions on these data are presented.

Introduzione

Il tema della didattica inclusiva domina il dibattito negli ultimi decenni nel mondo della Pedagogia, con l'obiettivo di poter garantire a tutti gli studenti e soprattutto a quelli più fragili il diritto allo studio e al ricevere una formazione adeguata. Questo fenomeno si è riflesso anche nell'ambito della Didattica, attraverso l'introduzione dei Bisogni Educativi Speciali (BES) nella letteratura pedagogica e l'avvio di riforme nei sistemi scolastici internazionali, volti a rispondere in modo concreto a queste nuove esigenze educative.

Ciononostante, quello che nell'ordinamento scolastico italiano è ormai legge da un decennio fa ancora fatica a tramutarsi in risposte concrete al problema: si è capito *perché* si debba rendere la didattica offerta a tutti gli studenti inclusiva ed efficace, ma il *come* ciò possa concretizzarsi è ancora in diverse discipline un concetto nebuloso. Questo è il caso soprattutto per le discipline scientifiche e per la Fisica in particolare, dove ad oggi il paesaggio che emerge dalla ricerca sull'argomento è un po' frammentato nei risultati, e poco chiaro nelle considerazioni e nelle definizioni teoriche. Per un docente che effettivamente deve attualizzare interventi su studenti con Bisogni Educativi Speciali può risultare ostile navigare nella letteratura di ricerca, soprattutto nel caso particolare degli studenti con Disturbi Specifici dell'Apprendimento.

Questa tesi ha dunque l'obiettivo di affrontare il problema, facendo una analisi dettagliata sulla letteratura relativa ai Disturbi Specifici dell'Apprendimento e al loro legame con le Scienze e la Fisica e concretizzandola nella proposta di uno strumento analitico al fine di analizzare quello che ancora oggi è una risorsa primaria per l'insegnamento: il libro di testo. Lo strumento di analisi che qui proponiamo non ha lo scopo di fare una classificazione dei libri di testo e di quanto siano "adatti" al compito, ma vuole offrire all'insegnante interessato dimensioni di analisi per effettuarne una lettura critica che permettano di inquadrare i punti di forza e di debolezza che il libro di testo ha nel suo modo di presentare la disciplina Fisica. Infatti, è l'insegnante il principale responsabile della riuscita o del fallimento della trasposizione didattica, sia nelle lezioni sia nelle metodologie adottate. In quest'ottica, l'obiettivo è fornire al docente strumenti e indicazioni utili per affrontare con efficacia l'insegnamento rivolto agli studenti con DSA.

Nel capitolo 1 di questa tesi si presenta la storia di come i concetti di Bisogno Educativo Speciale e Disturbo Specifico dell'Apprendimento nascono e si concretizzano nel dibattito della Pedagogia e della Didattica, nel contesto italiano e internazionale. Succes-

sivamente, si approfondiscono in particolare la Dislessia e la Discalculia, i due Disturbi Specifici dell'Apprendimento che maggiormente entrano in gioco con le peculiarità del libro di testo di Fisica. Viene dunque introdotto il framework teorico della Memoria di Lavoro e del Carico Cognitivo che consentono di quantificare e interpretare l'impatto che tali testi possono avere sugli studenti con DSA.

Nel capitolo 2 si presenta l'analisi della letteratura di settore nel caso specifico dei DSA e delle Scienze, facendo riferimento a studi che tracciano un legame tra questi concetti e andando poi nel caso specifico della Fisica. Si introduce a seguire la categoria del Testo Espositivo, di cui il Libro di Fisica è un sottocaso, inquadrando il focus in maniera specifica sugli obiettivi di questa tesi.

Nel capitolo 3, si propone lo strumento di analisi, come è stato progettato e con quale focus analitico. Partiamo dallo strumento analitico originale sviluppato nella tesi di Polverini (2022), che esplora il rapporto tra matematica e fisica nei libri di testo sia dal punto di vista linguistico sia epistemologico. In particolare, per la progettazione della lente di analisi qui proposta, ci si è focalizzati sulla dimensione linguistica che individua tre livelli di analisi del libro di testo: lessicale, sintattico e testuale. Questa dimensione è stata rielaborata secondo il quadro del Carico Cognitivo. Si presenta dunque un'analisi critica della letteratura per individuare ciò che dal punto di vista linguistico può concorrere al Carico Cognitivo sugli studenti con DSA. Si propone dunque una nuova versione della lente con quattro livelli, testuale, lessicale, sintattico e cognitivo/metacognitivo, spiegando come e perché tali livelli siano ridefiniti e modificati per il nuovo obiettivo di ricerca e mostrando un esempio dettagliato di impiego di tale strumento.

Nel capitolo 4, si presentano i risultati ottenuti applicando lo strumento analitico a due testi di Fisica adottati nelle scuole secondarie di secondo grado. In particolare, ci si è concentrati su tre capitoli di libri di testo, uno proveniente dal *Fondamenti di Fisica* di James S. Walker (2020, Pearson) e due provenienti da *l'Amaldi per i licei scientifici.blu* di Ugo Amaldi (2012, Zanichelli), che introducono il campo elettrico. Infine, si presentano delle conclusioni sulla base del contenuto analizzato nella tesi e si indicano possibili future linee di ricerca sulla base di quanto si è visto.

Indice

Abstract	iv
Introduzione	vii
1 Teoria generale dei DSA e dei BES	1
1.1 I BES e i DSA, storia in sintesi e normativa italiana	1
1.2 La dislessia e la discalculia, un focus	11
1.3 Il framework della memoria di lavoro e del carico cognitivo	16
2 Il rapporto tra le Scienze e i DSA	25
2.1 I DSA nella didattica della scienze	25
2.2 Studi specifici sulla fisica e i DSA	33
2.3 La lettura e la comprensione del testo	38
2.4 Il libro scientifico quale testo espositivo	42
3 La dimensione linguistica e lo strumento di analisi del libro di testo	48
3.1 La nascita dello strumento di analisi: una proposta linguistica	48
3.2 I DSA, le difficoltà sul piano linguistico, le dimensioni di analisi	51
3.3 Dagli studi alla revisione della lente	62
3.4 La calibrazione della lente: un esempio di applicazione	68
4 L'analisi dei testi: un esempio e i risultati	74
4.1 Il testo da analizzare: criteri di selezione dei brani dai libri	74
4.2 Il capitolo 23 del Walker	75
4.2.1 Dimensione testuale	75
4.2.2 Dimensione lessicale	86
4.2.3 Dimensione sintattica	88
4.2.4 Dimensione cognitiva e metacognitiva	91
4.3 Il capitolo 18 dell'Amaldi	92
4.3.1 Dimensione testuale	92
4.3.2 Dimensione lessicale	98

4.3.3	Dimensione sintattica	100
4.3.4	Dimensione cognitiva e metacognitiva	103
4.4	Il capitolo 19 dell'Amaldi	103
4.4.1	Dimensione testuale	103
4.4.2	Dimensione lessicale	111
4.4.3	Dimensione sintattica	113
4.4.4	Dimensione cognitiva e metacognitiva	116
4.5	Considerazioni sui risultati	116
Conclusioni		121
Bibliografia		124

Capitolo 1

Teoria generale dei DSA e dei BES

1.1 I BES e i DSA, storia in sintesi e normativa italiana

In Italia la tutela dei diritti degli studenti con disturbi specifici dell'apprendimento o DSA si va ad inserire in un percorso pedagogico e legale più ampio, quello che porta all'introduzione dei bisogni educativi speciali o BES. Nel capire come i BES vengano inquadrati e come si siano sviluppati si va a delineare un ampio quadro dove anche i temi di questa tesi trovano posto, dunque cercheremo di fare un breve excursus su cosa siano i BES e come siano stati introdotti sul piano legale, pedagogico, psico-medico e sociale sia nel mondo in generale che in Italia nello specifico.

La Direttiva Ministeriale del 27/12/2012 è il primo documento legale italiano a definire la sigla BES a partire dall'equivalente internazionale SEN, da *special education needs*, e pone questa definizione per descrivere un'ampia gamma di esigenze educative collegate a svantaggi scolastici riassumibili in “tre grandi sotto-categorie: quella della disabilità; quella dei disturbi evolutivi specifici e quella dello svantaggio socio-economico, linguistico, culturale” (D.M. 27/12/2012). Tali svantaggi possono essere di varia natura, e scaturire da “motivi fisici, biologici, fisiologici o anche per motivi psicologici, sociali, rispetto ai quali è necessario che le scuole offrano adeguata e personalizzata risposta” (D.M. 27/12/2012).

Il principio dietro questa definizione è quello dell'inclusione scolastica, il cui obiettivo finale è riassumibile nello “sviluppo di sistemi scolastici capaci di accogliere ogni allievo - indipendentemente dalle caratteristiche personali e/o sociali - [che] esige di superare l'idea dell'individuo «medio» e, nel contempo, di reinterpretare le difficoltà scolastiche degli studenti, alla luce della capacità delle scuole di adattarsi alla diversità dei bisogni e dei ritmi individuali, piuttosto che concentrarsi esclusivamente sulla disabilità, sul disturbo o sulla difficoltà di apprendimento” (Pavone et al., 2015).

Il concetto di BES sorge ben prima nel mondo dell'educazione dall'adozione nella legislazione italiana, e la sua prima comparsa è nel Rapporto Warnock (1978), un documento promulgato nel Regno Unito come resoconto della Commissione di indagine sull'educazione dei bambini e dei giovani handicappati¹ di cui Mary Warnock è stata presidentessa. Il cambio di paradigma che il rapporto promulga sta nello spostare il focus non su ciò che nello studente è "difettoso" o "mancante", ma su ciò di cui ha bisogno per progredire: per uno studente il bisogno educativo potrebbe essere ad esempio il rinforzo della scrittura, per un altro l'allenamento nella capacità di esprimersi, e così via. Come sottolinea Pavone (2015), con questo cambio di paradigma si riesce ad ottenere un trattamento uguale per tutti gli allievi e l'affermazione del loro diritto all'educazione poiché viene meno la separazione tra ciò di cui hanno bisogno e ciò di cui sono capaci, e nell'indebolimento di questa separazione si sposta il focus da un intervento sul singolo studente a un intervento che deve essere a priori e sistematico.

Il rapporto Warnock (1978) inoltre si focalizza sul trattamento dei casi di handicap, entrando dunque nel merito della disabilità dal punto di vista del modello bio-psico-sociale (Pavone et al., 2015): ricordiamo infatti che l'handicap è la difficoltà prodotta dall'ambiente che il portatore di disabilità sperimenta alla richiesta di un compito da parte dell'ambiente, quale che esso sia il contesto lavorativo, sociale o scolastico (OMS - ICIDH, 1980). Questo modello nasce in contrapposizione al modello medico e viene poi ulteriormente sviluppato nel modello sociale, dove per *modello* si intende qui come viene intesa e inquadrata la disabilità. In estrema sintesi, la disabilità nel modello medico viene coniugata sotto forma di disturbi e diagnosi che profilano l'individuo sotto forma di condizioni intrinseche di causa accidentale o naturale, di cui l'individuo è portatore e senza considerare l'influsso dell'ambiente o dell'interazione tra ambiente e individuo, ponendo il focus soltanto sul disturbo in sé (Pavone et al., 2010; Pavone, 2014; Pavone et al., 2015).

In completa opposizione a questa visione, il modello sociale propone invece una visione della disabilità dove si auspica provocatoriamente la scomparsa della diagnosi e dove l'onere della difficoltà viene piazzato esclusivamente sull'ambiente (Canevaro, 2012). Ribadiamo che per *ambiente* si intende il contesto dove la disabilità ha luogo che può essere il luogo di lavoro o la scuola nel nostro caso; in questo modello è l'ambiente che risulta incapace di intervenire efficacemente generando la difficoltà che viene intesa come disabilità del singolo e che invece è un segno di "diversità" rispetto ad una norma preconstituita. La norma è lo standard che l'ambiente si aspetta da parte degli individui ed è l'unica casistica che sa gestire: dunque è in questo gap tra "normale" e "diverso" che l'ambiente fallirebbe e questo fallimento sarebbe l'origine stessa della disabilità. La diversità a sua volta non va pensata come "eufemismo" per esprimere mancanze del singolo o suoi

¹Usiamo qui il termine *handicappati* e successivamente il termine *handicap* per fare riferimento al suo significato tecnico dopo esposto e per il suo uso storico all'interno del rapporto Warnock (1978). Ricordiamo però che oggi questo termine non è quello da adoperare per via dei suoi connotati abilisti e che il termine da preferire è *disabilità* se non si entra nella specificità di questa discussione.

problemi o difetti ma come un fenomeno sociologico fondamentale (Pavone et al., 2015; Armstrong et al., 2000).

A metà tra questi due modelli si pone il modello bio-psico-sociale, il quale storicamente nasce come superamento del modello (puramente) medico ma che ne conserva alcuni tratti, risultando più moderato nelle conclusioni rispetto al modello sociale. La disabilità viene qui intesa mediante il concetto di *handicap* già prima introdotto, il quale di fatto esprime una mediazione tra l'ambiente che provoca l'handicap e la persona portatrice di disabilità o disturbo che lo subisce. Condizioni intrinseche come le disabilità o i disturbi sono ancora presenti in questo modello, ma rispetto al modello medico cambia completamente il loro ruolo: esse non sono più il focus assoluto per intendere le difficoltà e si cerca inoltre di superarne la connotazione negativa, dando luogo invece ad un paradigma dove ad avere risalto non è la mancanza dell'individuo ma il suo *funzionamento globale* (Pavone et al., 2015; OMS - ICF, 2001).

Nell'ICF ovvero l'International Classification of Functioning, Disability and Health, un framework diagnostico realizzato dall'OMS in linea con questa visione, "si propone una visione complessa e globale del funzionamento umano, che rovescia la prospettiva tradizionale: anziché assumere in primo piano le disfunzioni, l'etichettatura diagnostica, nosografica ed eziologica tradizionalmente adottate dai professionisti della sanità, si indirizza l'attenzione a mettere in luce le abilità del soggetto, in rapporto ai diversi contesti in cui vive" (Pavone et al., 2015). Entrare nel merito dei punti di forza e delle critiche mosse ad ognuno di questi modelli è oltre gli obiettivi di questa tesi ma è necessario averne un'idea minima delle caratteristiche generali per proseguire nella storia di come i BES nascano.

Il sopracitato rapporto Warnock si inserisce infatti nel modello bio-psico-sociale e cerca di andare oltre la visione della disabilità come intesa nel modello medico e anche al concetto stesso di handicap che si era affermato nel modello bio-psico-sociale, utilizzando i BES come sua naturale evoluzione e come strumento che esemplifichi il principio della condivisione degli obiettivi educativi: l'introduzione di misure atte a far raggiungere agli studenti con BES gli obiettivi comuni come il supporto tramite sostegni per rendere tali allievi più capaci o la rimozione di ostacoli specifici che essi sperimentano. Nel rapporto si sottolinea comunque come gli studenti con BES, pur avendo la necessità di particolari risorse educative, non debbano diventare destinatari di un diverso modello educativo rispetto ai compagni senza BES affinché l'intervento sia globale ed efficace (Pavone et al., 2015; Warnock et al., 2010).

Andando avanti nel tempo troviamo un'altra testimonianza esplicita sui bisogni educativi speciali nella Conferenza mondiale di Salamanca dell'UNESCO, tenutasi nel 1994 e dal titolo "World Conference on Special Needs Education: Access and Quality". Da questo incontro emerge un documento, la Dichiarazione di Salamanca (1994) che in linea con il rapporto Warnock ribadisce che i minori con BES sono coloro il cui insuccesso scolastico non è dettato solo dalla disabilità (che comunque rientra nei BES) ma anche difficoltà di altra natura che può essere intellettuale, fisica, sociale, emotiva, linguistica,

etnica.

Si afferma il principio di garantire l'educazione a queste persone eliminando il doppio binario dell'educazione "normale e speciale" e di fare confluire l'educazione di tutti gli studenti, includendoli in un unico sistema educativo al fine di superare discriminazioni e nell'ottica di costituire una comunità accogliente e inclusiva (Pavone et al., 2015; UNESCO - Dichiarazione di Salamanca, 1994). L'UNESCO torna a più riprese con diversi pronunciamenti (1997, 2005, 2006, 2008) a ribadire che i BES riguardano non soltanto i minori disabili ma una categoria di soggetti in difficoltà più ampia, e per effettuare tale inclusione si misura la "gravità" del bisogno educativo non in termini di difficoltà individuale del soggetto ma mediante le risorse aggiuntive che il sistema istituzionale e scolastico deve mettere a disposizione e garantire per offrire supporto agli studenti con BES.

Un altro importante ente che si occupa di fornire dati e resoconti sulla questione è il CERI (Centre for Educational Research and Innovation), una branca dell'OECD (o OCSE in italiano) che dal 1995 inizia a pubblicare rapporti contenenti dati per favorire la cooperazione tra paesi nel comparare i sistemi educativi. Già nel primo rapporto (OECD-CERI, 1995) si ammette l'esistenza di due sistemi di classificazione per le difficoltà degli allievi: uno di impianto medicale e incentrato su disabilità ed handicap, ed un altro incentrato sui BES e basato sull'interdipendenza tra risultati scolastici e offerta educativa. I resoconti successivi vanno ancora nella direzione della comparazione internazionale ed in particolare è degno di nota il rapporto del 2000: in questo si introduce infatti la categorizzazione tripartita dei BES.

La definizione di BES e *l'inclusività* che questa idea vuole garantire si basa su uno spostamento di focus dal singolo individuo e "i suoi problemi" a ciò che invece la scuola può e deve offrire per rispondere ai bisogni educativi degli studenti, ma questo shift comporta anche un problema non banale: il ventaglio di condizioni annoverabili tra i BES diventa troppo ampio e non è chiaro come le risorse scolastiche vengano impiegate e a chi sia rivolto l'intervento educativo, un ostacolo organizzativo per niente trascurabile sia in termini di pianificazione delle risorse che nel riconoscimento degli effettivi studenti destinatari di interventi specifici (Pavone et al., 2015; OECD-CERI & Deluca, 2011).

L'OECD propone dunque tre sottocategorie di BES in maniera tale da fornire ai paesi una "definizione operativa" utile al confronto comparato e alla sistematizzazione dell'intervento nei BES. Le suddette categorie sono la "A" (BES derivanti da cause organiche come disabilità fisiche o intellettive), la "B" (BES derivanti da difficoltà di apprendimento e comportamento di qualsiasi natura, tra cui i disturbi evolutivi come DSA, disprassia, ADHD ecc.) e la "C" (BES derivanti da difficoltà linguistiche, economiche, sociali o culturali). Come vedremo in seguito, anche la normativa italiana si è allineata a questo schema proposto dall'OECD nel D.M. 27/12/2012 per definire i BES e riordinare il quadro di leggi introdotte nel tempo sulle categorie specifiche.

Questo percorso sul piano internazionale di definizione e introduzione dei BES nel mondo della scuola si tramuta nei vari stati con diversi tempi di adozione. In Italia questa

istanza ha le sue radici in un altro percorso avviatosi diversi decenni prima: la stagione dell'*integrazione* degli studenti con disabilità nel sistema scolastico, i quali dalla prima metà del '900 nel nostro paese ricevono un graduale riconoscimento istituzionale al loro diritto allo studio e un inserimento a scuola che viene però attuato fino agli '70 mediante il doppio binario delle istituzioni per studenti "normali e speciali": una pietra miliare delle riforme educative nella legislatura italiana è rappresentata dalla Legge 517/77, ispirata e portata avanti dalla senatrice Franca Falcucci, *integrando* gli studenti con disabilità nelle scuole elementari e medie e potenziando l'offerta formativa che le scuole mettevano in campo per tutti gli studenti, con e senza disabilità.

Dagli anni '70 ai '90 si cementifica questa *integrazione* "dal nido all'università, per il principio costituzionale che le esigenze di apprendimento e di socializzazione non si esauriscono nel segmento dell'obbligo scolastico" (Pavone et al., 2015): l'abbattimento del doppio binario e delle istituzioni speciali viene sancito definitivamente dalla Legge quadro sull'handicap (104/92). Una legge che stabilisce e riordina i diritti in materia di disabilità, spostando il focus sulla persona con disabilità e sulle sue difficoltà lungo l'arco della sua vita; non più basandosi semplicemente sui servizi che lo stato debba erogare per le persone con disabilità ma considerando tutti gli aspetti della vita della persona disabile tra cui l'istruzione, la famiglia, la formazione professionale, il superamento delle barriere sociali o architettoniche.

Nel mondo della scuola questo approccio porta all'individualizzazione dell'intervento sugli studenti con disabilità che vengono *integrati* in un unico contesto scolastico (Pavone et al., 2015; Battaglia, 2004). Ed infine, questo percorso di riforme culmina nel secolo scorso con la riforma del sistema scolastico che porta all'istituzione e il riconoscimento del principio di *autonomia scolastica*, il D.P.R. 275/99: con questo decreto l'autonomia viene declinata con nuovi poteri che la scuola acquisisce e che esercita in tandem con istituzioni territoriali e famiglie, in modo tale che alle scuole venga riconosciuto ciò che di fatto è la loro storia come enti locali e in modo che esse possano potenziare la loro offerta formativa, con lo scopo di intervenire soprattutto sugli studenti delle fasce più deboli (Pavone et al., 2015; Nocera, 2001; D.P.R. 275/99).

Temporalmente e spazialmente possiamo dunque stabilire due processi distinti ma non separati: a livello globale si manifesta una tendenza che negli anni '80 e '90 porta all'introduzione del concetto di *inclusione* di tutti i minori con BES, sottolineando che non sono solo gli studenti disabili; nello stesso periodo in Italia si porta a compimento un percorso altrettanto radicale all'insegna dell'*integrazione* degli studenti con disabilità nel sistema scolastico, all'abbattimento delle istituzioni speciali e al rinforzo dei loro diritti. Nel ricostruire questa cronologia *integrazione e inclusione* sono state usate in maniera distinta in questo elaborato e non a caso, in quanto non sono sinonimi anche se sono termini strettamente legati: vale la pena di porre in chiaro la differenza di definizione e il legame che intercorre tra i due concetti.

Quando parliamo di *integrazione* ci riferiamo all'adattamento mirato del contesto prossimale alle persone con disabilità, in modo che ci possa essere una reciproca crescita

che porta al miglioramento della condizione della persona con disabilità che viene inserita negli stessi contesti dove le persone senza disabilità sono già presenti. L'integrazione è intesa in reciprocità tra singola persona e contesto ma non è prevista la riorganizzazione del contesto che deve accogliere la persona disabile: si interviene prima sul singolo e poi sull'ambiente, il quale viene *migliorato ma non riformato* (Emili, 2020; Canevaro, 2013).

L'*inclusione* prevede a sua volta inserimento degli studenti disabili e più in generale con BES in un unico contesto scolastico, valorizzando le differenze e le capacità che ogni studente porta al contesto scolastico *che deve essere riformato per prevedere l'esistenza di questa varietà di bisogni e capacità, in maniera sistematica*. L'integrazione dunque anticipa logicamente e storicamente l'inclusione, avvocando l'inserimento dei soggetti disabili in un unico contesto istituzionale, ma interviene con un focus solo su di essi che può portare a fenomeni di esclusione dovuti all'individualizzazione di risorse spaziali e di personale, come le aule di sostegno e gli insegnanti specializzati nel caso della scuola: in quest'ottica di intervento lo studente con disabilità (e più in generale con BES) riceve un intervento in luoghi e in tempi separati rispetto al resto della classe e portando sia a una graduale marginalizzazione di tale studente, sia alla perdita dei compagni di classe in quanto risorsa di apprendimento e relazionale di fondamentale importanza (Emili, 2020; ISTAT, 2020).

L'inclusione è la naturale evoluzione del paradigma dell'integrazione, prevedendo una risposta ai BES declinata sia mediante progettazioni individualizzate che personalizzate, costruite in collaborazione tra le diverse figure dell'insegnante, della classe, della scuola e della famiglia, valorizzando la presenza della differenza in classe dei vari bisogni educativi di ogni studente e anticipandola sul piano sistematico invece di delegarla alle famiglie e alle figure specializzate, rafforzando il principio di una scuola per tutti (Emili, 2020; Booth & Ainscow, 2011).

E questa naturale evoluzione è arrivata temporalmente in Italia nei primi anni del ventunesimo secolo, sia dal clima internazionale che spingeva dall'esterno, sia dall'associazionismo familiare sul versante interno di tante realtà legate al mondo della disabilità e dei BES (In particolare sul versante dei DSA vale la pena di nominare l'AID, Associazione Italiana Dislessia)(Pavone et al., 2015). Da queste pressioni si arriva nel 2010 alla Legge 170, la quale introduce in Italia il concetto di DSA e sancisce il diritto per gli studenti con DSA di ricevere un'adeguata istruzione, la quale viene poi formalizzata con successive norme applicative in disposizioni per dirigenti e insegnanti che riemergono anche nelle Linee Guida per i DSA del 2011. Il culmine di questo percorso si formalizza infine nella Direttiva Ministeriale del 2012 e nella Circolare Ministeriale del 2013 relative ad allievi con BES e all'inclusione scolastica, le quali riorganizzano in un unico quadro legale le norme già esistenti, utilizzando il framework dei BES e la categorizzazione tripartita proposta dall'OECD.

Vale la pena di entrare un po' nei dettagli legali di questa articolata serie di leggi, e la categorizzazione tripartita dei BES è un ottimo punto di partenza. La Direttiva Ministeriale del 27/12/2012 tutela tutti gli studenti con BES e nello specifico ricono-

sce all'interno dei BES esistenti tre categorie: studenti con disabilità che sono tutelati dalla Legge 104/92, studenti con certificazione clinica di DSA che sono tutelati dalla legge 170/10 e studenti con altri BES di natura sociale, economica, linguistica, culturale o clinica che non sia già annoverata nelle Leggi 104/92 e 170/10 ma che la Direttiva Ministeriale del 27/12/2012 tutela.

Nel caso della disabilità dunque ci si integra nei BES di prima categoria e la Legge 104/92 dà indicazioni alla pratica. Pavone (2015) richiama in sintesi alcuni aspetti salienti della legge tra cui: “la previsione di una progettazione educativa individualizzata - conseguente a una diagnosi medica - che accompagna la frequenza della scuola, di cui è responsabile il gruppo tecnico composto dai docenti di sostegno e curricolari di classe, dai genitori e dai curanti del minore; le procedure di valutazione individualizzata con previsione anche di «prove equipollenti» - e la disciplina degli esami di fine ciclo scolastico e di maturità (anche in presenza di prove di esame differenziate); la previsione di presidi necessari a garantire l'integrazione scolastica: insegnanti specializzati; altre figure di aiuto all'autonomia e alla comunicazione; dotazione di attrezzature, sussidi e tecnologie; servizi di trasporto e mensa; il potenziamento dell'offerta formativa, sollecitando flessibilità organizzativa e didattica, formazione e aggiornamento degli insegnanti; la programmazione collegiale, interprofessionale e interistituzionale, a vari livelli, dell'integrazione.”

La seconda categoria dei BES e relativa ai DSA fa capo invece alla Legge 170/10 e le successive norme applicative, di cui sempre da Pavone (2015) richiamiamo gli aspetti salienti. In questo corpus legale si sancisce la definizione di Disturbo Specifico di Apprendimento, stabilendo che sono quattro e che si tratta di dislessia, discalculia, disortografia e disgrafia. Sono disturbi evolutivi, non fanno capo alle disabilità ma hanno comunque origine neurobiologica e li si può riconoscere dalla *resistenza all'intervento*: le semplici difficoltà transitorie che uno studente affronta infatti si risolvono nel momento in cui l'insegnante attua una progettazione individualizzata e personalizzata dell'intervento didattico, anche se questo non vuol dire che la loro risoluzione sia facile o immediata.

Ma ciò che distingue le semplici difficoltà dai *disturbi* è questa resistenza all'intervento mirato. Quando poi ci riferiamo al fatto che tali disturbi siano *specifici dell'apprendimento* è poiché nel quadro odierno dei BES e della teoria di riferimento, i DSA fanno parte di una più ampia famiglia di *disturbi evolutivi*: questi sono specifici dell'apprendimento poiché si manifestano in aree di abilità che sono peculiari del contesto scolastico ed educativo. Esempi di disturbi evolutivi di carattere generale sono ad esempio la disprassia oppure l'ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, o in italiano disturbo da deficit di attenzione/iperattività).

Il riconoscimento dei DSA avviene in tandem tra scuola e famiglia: gli insegnanti infatti non possono diagnosticare i DSA ma devono saperli affrontare nel contesto classe, possono riconoscerne le avvisaglie e dunque allertare le famiglie che poi si rivolgeranno a specialisti del servizio sanitario per avviare il percorso diagnostico e ottenere la diagnosi. Questa viene poi comunicata alla scuola che si mobilita a realizzare il Piano Didattico

Personalizzato (PDP).

Un team di insegnanti redige il PDP, “al cui interno siano previsti strumenti compensativi (tecnologici multimediali ed informatici, mezzi di apprendimento alternativi equipollenti ecc.) e misure dispensative da prestazioni non essenziali, ai fini del percorso di apprendimento (semplificazioni dei contenuti, riduzione del carico didattico, dispensa da alcuni compiti, gradualità nell’articolazione degli stessi, concessione di tempo supplementare ecc.). Agli studenti con DSA viene garantita diversità metodologica - non di obiettivi, parzialmente di contenuti rispetto ai traguardi comuni” (Pavone et al., 2015).

La legge garantisce inoltre forme di verifica e valutazione conformi a questi percorsi didattici, intervenendo sui tempi delle prove e sulle loro modalità, fino anche ad esami finali di cicli di istruzione e anche nel settore universitario. Infine, La Direttiva Ministeriale del 27/12/2012 integra in un unico quadro quanto sinora visto nei casi specifici ad un livello macroscopico dei BES in senso generale, prevedendo lo step iniziale di identificazione e diagnosi, lo step successivo di intervento educativo-didattico e lo step delle eventuali azioni collegiali (Pavone et al., 2015; D.M. 27/12/2012).

Ribadiamo che non esiste una “diagnosi di BES” essendo questo un concetto pedagogico e non clinico, ma nella fase di identificazione la diagnosi è prevista per i BES di natura clinica come quelli derivanti da disabilità o disturbi evolutivi: la diagnosi è prevista sia per i DSA che per altri disturbi non specifici dell’apprendimento come ad esempio i disturbi del linguaggio, il funzionamento intellettivo limite o FIL e così via. Per i BES che non hanno origine clinica l’identificazione è affidata al consiglio di classe o ai servizi sociali.

Per tutti gli studenti con BES si interviene con la personalizzazione e l’individualizzazione del percorso didattico, e si realizza il Piano Educativo Individualizzato o PEI per gli studenti con disabilità o il Piano Didattico Personalizzato o PDP per studenti con DSA o BES derivanti da altre difficoltà, intervenendo con strategie flessibili e modifica delle modalità di valutazione e verifica degli obiettivi didattici, in tandem tra il consiglio di classe, l’istituzione scolastica e le famiglie.

Viene inoltre proposto il Gruppo di Lavoro per l’Inclusione o GLI da attivare in ogni scuola per coordinare questa collaborazione tra i vari enti, e la scuola deve offrire all’interno del Piano dell’Offerta Formativa (POF) il Piano Annuale per l’Inclusività (PAI) per “rilevare annualmente gli aspetti di forza e di debolezza delle attività inclusive svolte dalla scuola e di predisporre il programma delle azioni da intraprendere e delle risorse da reperire e da utilizzare in modo funzionale, al fine di impostare una migliore accoglienza di tutti gli allievi, con particolare attenzione per quelli vulnerabili” (Pavone et al., 2015; D.M. 27/12/2012).

Adesso che abbiamo delineato l’ampio quadro storico e legale con cui i BES sono arrivati in Italia, vale la pena di soffermarci sui DSA nello specifico che sono il tema di questa tesi. Una prima questione da affrontare è come si sia scelto di definire il concetto stesso nel contesto italiano, che rispetto al panorama internazionale e alla letteratura internazionale ad oggi esistente si distingue da subito nell’etichetta stessa.

DSA in quanto sigla nasce infatti come omologo della sigla SLD, in inglese *special learning disabilities*. In italiano si è però scelto di tradurlo come disturbo e questa scelta incarna una visione estremamente specifica: si ritiene *disturbo* più adeguata come scelta invece di *disabilità* proprio per rimarcare che i DSA non riguardano la sfera della disabilità e che non bisogna patologizzare lo status degli studenti che hanno un DSA, ma non è neppure una semplice e generica difficoltà scolastica di natura transitoria, in quanto i DSA sono caratterizzati da una natura permanente e resistente all'intervento mirato (Pavone et al., 2015; Cornoldi, 2007). Questa scelta di linguaggio è anche quella di questa tesi, e laddove nella letteratura internazionale citeremo risultati o evidenze relative alle learning disabilities le riporteremo in italiano come relative a disturbi dell'apprendimento, non disabilità.

Come anticipato, i DSA riconosciuti dalla legge e nel panorama internazionale sono quattro e ad oggi sono riportate le loro definizioni nei due manuali diagnostici più citati e riconosciuti come autorevoli, ovvero il DSM-5 e l'ICD-11, realizzati rispettivamente dall'APA e dall'OMS (American Psychiatric Association, 2013; OMS, 2022). In Italia nello specifico si utilizzano etichette nosografiche provenienti dall'ICD nei documenti ufficiali e nei report statistici sulla popolazione degli studenti con DSA ma non si può non citare pure il DSM vista la sua adozione ubiqua nella letteratura di settore.

I disturbi dell'apprendimento sono dunque quattro e si identificano nella dislessia (reading disability, dyslexia), nella discalculia (math disability, dyscalculia), nella disgrafia (writing disability, dysgraphia) e nella disortografia (dysortography oppure a volte incluso nella disgrafia in una sola categoria detta written expression disability).

La dislessia è caratterizzata da una manifesta difficoltà nell'acquisizione della lettura, influenzando la correttezza e la rapidità con cui essa viene effettuata e interessando la decifrazione dei segni linguistici. La discalculia si manifesta nell'elaborazione del numero e degli automatismi del calcolo come difficoltà che dunque interessa l'area matematica. La disgrafia riguarda la scrittura, manifestandosi in difficoltà nella realizzazione grafica delle lettere. La disortografia si manifesta anch'essa all'atto della scrittura ma nella diversa difficoltà relativa al piano grammaticale, colpendo i processi linguistici di elaborazione delle frasi (Emili, 2020).

Una peculiarità che caratterizza tutti i disturbi è quella di presentarsi spesso in comorbidità ovvero due o più di questi disturbi possono manifestarsi contemporaneamente nello stesso studente o assieme ad altri disturbi evolutivi non specifici, tra cui spesso l'ADHD è un noto esempio: la comorbidità implica dunque che se uno studente è soggetto ad un DSA c'è una buona probabilità che possa avere più di un disturbo allo stesso tempo.

Il DSM-5 inserisce questi disturbi nella sfera dei disturbi del neurosviluppo per evidenziarne la natura neurobiologica e stabilisce dei criteri per poter differenziare i disturbi dalle difficoltà transitorie:

1. La permanenza di difficoltà scolastiche per almeno sei mesi nonostante l'impiego

di attività mirate di recupero;

2. La performance nettamente al di sotto di quanto atteso per individui della stessa età;
3. L'inizio di tali difficoltà legate ai disturbi negli anni scolastici che si manifesti anche oltre quel contesto e quel tempo, ovunque la stessa abilità colpita sia comunque coinvolta nella vita del soggetto con DSA.
4. L'assenza per queste difficoltà di altre radici di natura clinica inquadrabili nella disabilità o in altri BES di natura non clinica.

Inoltre, dalla versione 5 del DSM viene introdotta una sola categoria diagnostica che raggruppi tutti i DSA e che si declina nei quattro disturbi specifici finora nominati più nel manifestarsi nelle difficoltà che il soggetto incontra che una intrinseca differenza tra i vari stessi DSA.

In questo il DSM prende nettamente le distanze dal discorso sinora fatto e basato sulle categorie diagnostiche che la legge italiana riconosce, inquadrare invece nell'ICD-11 in specifici codici nosografici (nello specifico 6A03.0, 6A03.1, 6A03.2 e 6A03.3 per dislessia, disortografia, discalculia e disgrafia rispettivamente, con la specifica che la disgrafia viene riconosciuta all'interno di una categoria più ampia di "altri disturbi evolutivi delle abilità scolastiche" (OMS, 2022)).

La scelta dietro il DSM 5 serve a passare "da modelli categoriali a modelli dimensionali" (Pavone et al., 2015) e per registrare una crescente esperienza clinica che stride con le categorie dei DSA finora delineate in modo da rendere il modello abbastanza flessibile da cogliere gli sviluppi della ricerca scientifica che restituiscono un quadro dei disturbi più fluido e sfumato.

I DSA dunque si caratterizzano sempre in etichette quali dislessia o disgrafia ma si dà risalto alla gravità del loro manifestarsi, che sia un impatto lieve o grave, per porre enfasi sulla resistenza al trattamento e alla risposta dello studente nel ricevere un intervento mirato (Pavone et al., 2015).

Come anticipato nel tema di questa introduzione, non ci interessa di indagare nel dettaglio il fin troppo ampio ventaglio dei BES ma vogliamo restringere l'analisi ai DSA nell'applicazione dello strumento "libro di testo di fisica": viste le definizioni sinora poste, è possibile operare un'ulteriore scelta di campo e limitarci soltanto a due dei quattro disturbi, ovvero nello specifico la dislessia e la discalculia.

L'uso del libro di testo coinvolge infatti principalmente le capacità di lettura dello studente a cui viene somministrato il brano, coinvolgendo dunque il dominio della lettura; trattandosi inoltre di un libro il cui contenuto è la fisica, disciplina dalla forte presenza matematica, inevitabilmente la comprensione del testo dovrà coinvolgere anche il dominio matematico.

Non emergono dunque le ragioni per sospettare l'influenza del dominio della scrittura nella ristretta sfera di questo strumento, mancando dunque le condizioni alla disgrafia e alla disortografia di palesarsi e di giocare un ruolo. Per questa ragione, pur partendo con l'intenzione di trattare tutti i DSA diventa superfluo fare ciò e ha senso focalizzarsi solo su quei due nello specifico.

1.2 La dislessia e la discalculia, un focus

Come già anticipato sopra, a caratterizzare la dislessia è una persistente difficoltà nell'apprendimento e nell'automatizzazione dei processi di lettura che si palesa nonostante intelligenza nella norma, assenza di problematiche di altra natura e resistenza all'intervento mirato.

Non è chiaro quale sia la specifica causa di questo disturbo ma in letteratura gli esperti concordano sull'ipotesi di "un'origine neurologica (interessa alcune piccole aree del sistema nervoso centrale; corteccia celebrale) di tipo costituzionale del disturbo (è una condizione non causata da lesioni e spesso ha carattere ereditario)" (Emili, 2020).

Come tutti i DSA essa rappresenta una *neurodiversità*, non una malattia e pur persistendo nel soggetto vi è la possibilità di miglioramenti in caso di interventi prolungati e possibilmente precoci (Emili, 2020; American Psychiatric Association, 2013).

In letteratura si riconoscono principalmente due vie per la lettura delle singole parole, la via lessicale e la via fonologica. La prima è visiva e diretta e consiste nel riconoscimento della parola nella sua globalità, in una sorta di approccio "macroscopico" alla lettura delle parole, laddove la via fonologica è l'equivalente "microscopico" poiché consiste nella decifrazione indiretta dei vocaboli, effettuata lettera per lettera (grafemi) e suono per suono (fonemi). La dislessia può palesarsi in ambo i profili e produrre errori specifici: un errore commesso da lettori con dislessia specifico della via lessicale è l'errore di anticipazione (scambiare ad esempio mira con mirra o tonno con tonno poiché il lettore ha identificato male il vocabolo stesso) laddove errori tipici della via fonologica sono di sostituzione (bare invece di dare, scambiando la b per la d), inversione (letto invece di lotte, scambiando la e e la o di posto) o omissione (amata invece di armata, si perde la r) (Emili, 2020; Harris & Coltheart, 1986; A. Ellis & Young, 1986).

La dislessia può interessare in base al lettore più la via fonologica che quella lessicale o viceversa. Entrambe sono complementari e non indipendenti nei processi di lettura, ma si manifestano diversamente a seconda del tipo di lettura o anche della lingua coinvolta: la via lessicale ha un ruolo fondamentale nella lettura automatizzata poiché il lettore allenato non perde tempo a decifrare la parola a partire da ogni singola lettera ma è capace di riconoscerla a colpo d'occhio.

La via fonologica si palesa soprattutto nei primi anni di lettura del soggetto, essendo legata alla decifrazione lettera per lettera e dunque molto presente nel periodo in cui il soggetto sta acquisendo i processi di lettura. Nei lettori più abili e adulti questa

strategia tende a predominare di meno, lasciando posto invece alla via lessicale, ma sempre ribadendo che nei lettori abili entrambe le strategie coesistono e continuano a manifestarsi in tandem (Emili, 2020; Cornoldi, 2009).

Anche la lingua è un fattore cruciale: si distinguono infatti in letteratura lingue opache e trasparenti in base ad una proprietà specifica che l'ortografia di quella lingua deve avere. Una lingua è trasparente quando c'è una perfetta corrispondenza tra i grafemi e i fonemi: in termini semplici, ogni volta che una lettera o una sillaba si presentano in una certa posizione in una parola scritta le regole di quella lingua stabiliscono in maniera univoca un unico suono corrispondente a quella conformazione per pronunciare quella parola.

Un esempio di lingua trasparente è proprio l'italiano, laddove un esempio di lingua opaca è l'inglese: questo vuol dire per il lettore generale un maggior sforzo di apprendimento nelle lingue opache, poiché deve imparare tutta una serie di eccezioni che complicano l'accesso alle parole in via fonologica. Nel caso della dislessia che interessi soprattutto la via fonologica questa peculiarità linguistica ha pesanti ricadute sullo studente con dislessia che bisogna tenere in considerazione (Pavone et al., 2015; Paulesu et al., 2001; Cornoldi, 2009).

In virtù di questi elementi sono possibili diversi profili di dislessia, che si manifestano in studenti la cui lettura sia lenta ma corretta (alta capacità fonologica, bassa capacità lessicale) oppure una lettura rapida dei termini ma con errori frequenti (bassa capacità fonologica, alta capacità lessicale) o nel peggiore dei casi una totale compromissione della capacità di lettura (ambo le capacità compromesse).

Studi sull'evoluzione del disturbo sotto trattamento dimostrano inoltre che è possibile osservare miglioramenti negli studenti con dislessia, anche se questo miglioramento si palesa diversamente: crescendo e ricevendo trattamenti mirati gli studenti con dislessia tendono a dimostrare un miglioramento piccolo ma positivo in termini di rapidità di lettura, laddove invece l'accuratezza di lettura migliora notevolmente (Emili, 2020; Stella & Cerruti Biondino, 2002; Tressoldi, 1996).

Il trattamento precoce è ritenuto ad oggi una delle migliori vie di intervento per tutti i DSA, e questo vale anche per la dislessia: in questo caso specifico poiché per tutti i lettori è necessario un allenamento continuo e una esposizione precoce al testo scritto. Al contrario, i lettori con dislessia che non ricevono intervento non riescono a stabilire le procedure automatiche che anche per essi sono necessarie a migliorare la lettura, leggono sempre meno e ciò innesca un circolo vizioso che non solo pregiudica la possibilità di miglioramenti a lungo termine ma che peggiora sostanzialmente le capacità di lettura dello studente con dislessia (Gala & Ziegler, 2016; Ziegler et al., 2014; Cunningham & Stanovich, 2001).

Nonostante queste serie difficoltà sul profilo della lettura, non bisogna pensare che ciò si estenda anche alla comprensione orale: condizione distintiva della dislessia è infatti di manifestarsi specificatamente nella lettura e nella comprensione scritta e si ipotizza dunque che sia la decodifica stessa del testo ad essere compromessa, al punto da occupare

tutte le risorse cognitive dello studente (Gala & Ziegler, 2016; Spinelli et al., 2005; Ziegler et al., 2003).

Se per la dislessia i tratti del disturbo sono abbastanza netti e delineati, non può dirsi lo stesso per la discalculia: ad oggi i ricercatori non sono ancora giunti a porre una definizione operativa di questo disturbo (K. E. Lewis & Fisher, 2016; Kaufmann et al., 2013). Come per la dislessia è chiaro che questo disturbo ha una radice neurobiologica, ma non si è ancora capito quale sia la causa scatenante, e inoltre a differenza della dislessia non è neppure chiaro quali siano le caratteristiche cognitive chiave del disturbo, a parte l'evidente e conclamata difficoltà persistente in matematica (K. E. Lewis & Fisher, 2016; Berch & Mazzocco, 2007; Butterworth & Laurillard, 2010; Geary, 2007).

Kucian e Von Aster (2015) pongono l'accento della discalculia evolutiva sulle capacità numeriche, approfondendo nel dettaglio una serie di sottocategorie che sono tutte legate al concetto di numero: distinguono ad esempio le diverse rappresentazioni del numero che incontriamo nella vita quotidiana tra cui "cifre arabe (3), numeri a parole (tre), cifre romane (III), orari (3:00), grandezze (●●●), segni con le dita, parole con contenuto numerico (tripletta, trio), oppure con informazioni ordinali (terzo) o temporali (e.g. ritmo di valzer)". Usano questa mole di esempi per definire il concetto di "rappresentazione numerica" e che definisce in mente come tali numeri vengano immaginati o costruiti, rendendo tutte queste rappresentazioni una sfida da padroneggiare sia in singolo che in parallelo quando vanno ricollegate tra di loro.

In analogia con le due vie di accesso alla lettura viste per la dislessia, anche per la discalculia si possono ipotizzare diversi profili di rendimento su ognuna di queste diverse rappresentazioni del numero. In linea con questa idea, Kucian e Von Aster (2015) richiamano da Rousselle e Noël (2007) i risultati dello studio di questi ultimi, dove si trova tra alcuni bambini con discalculia un impedimento con le cifre arabe che non colpiva la percezione di quantità non simboliche. Kucian e Von Aster (2015) però sottolineano come questo eventuale risultato possa perdersi nel normale percorso scolastico poiché l'elaborazione simbolica del numero ha un ruolo maggiore nel percorso matematico tradizionale andando avanti nel tempo, rispetto alle abilità di percezione numerica non simboliche (quali il conteggio con le dita o contando puntini o sassolini, ecc.).

Sono tanti e diversi gli studi che dimostrano nella specie umana un senso innato e basilare del numero e della quantità. Non solo tale senso è presente fin dalla tenera età a partire dai neonati, ma il risultato va oltre la sola specie umana e si estende anche ad altri animali, tra cui pesci, uccelli, api, alcune specie di primati e tanti altri esempi. Queste evidenze hanno portato la ricerca di settore a concludere che le abilità numeriche di base siano il frutto dell'evoluzione: queste abilità hanno una base biologica e non sono dipendenti dai processi culturali umani, anche se ciò rimane vero solo finché si tratta di abilità ridotte e basilari (Kucian & von Aster, 2015; Feigenson et al., 2004; Agrillo et al., 2011; Garland et al., 2012; Gross et al., 2009; Hauser et al., 2000; Krusche et al., 2010; Rugani et al., 2009).

Un'altra importante abilità legata alla percezione della quantità prende il nome di

subitizing: consiste nella percezione immediata di una quantità in maniera macroscopica. Normalmente pensiamo al computo di una quantità a partire da un approccio bottom-up, dove iniziamo a contare da uno fino ad identificare il numero esatto di elementi: in questo senso il *subitizing* è una percezione della quantità con approccio top-down, poiché avviene direttamente col gruppo stesso degli elementi, senza separarlo in parti². Si è dimostrato che questa capacità nei contesti prescolastici come l'asilo è presente nei bambini fino ai tre elementi: finché la quantità da contare consta al massimo di tre elementi allora i bimbi si sono dimostrati capaci di contare globalmente per *subitizing* queste quantità. Inoltre, questo limite superiore può salire anche oltre se viene inserito un qualche schema o forma di regolarità nella presentazione delle quantità in esame (Kucian & von Aster, 2015; Jansen et al., 2014; Krajcsi et al., 2013).

Queste informazioni sono utili a comprendere di più sul profilo degli studenti con discalculia, ma non sono l'unico aspetto essenziale: finora infatti abbiamo soltanto parlato di numeri e quantità, ma la matematica ha diversi domini che non poggiano semplicemente sulla nozione del numero, per quanto i numeri siano sicuramente un concetto fondamentale in questa disciplina, sia nel modo in cui viene insegnata che per la sua innata presenza nel mondo animale come sinora visto. Gli argomenti che compongono la matematica sono tanti e gli ambiti su cui essa si estende sono caratterizzati da rapporti di gerarchia: le nozioni e le procedure che fanno parte di un certo livello di matematica diventano prerequisiti necessari per comprendere argomenti più complessi e avanzati, e questa varietà di rapporti gerarchici e argomenti complica il quadro fenomenologico nel quale la discalculia si manifesta (K. E. Lewis & Fisher, 2016; Earnest, 2015; Mazzocco & Myers, 2003).

Lewis e Fisher (2016) hanno stilato una review di 164 studi pubblicati sul tema della discalculia dal 1974 al 2013, trovando che negli studi in questione emergevano i seguenti trend: c'era una variabilità enorme tra i criteri di identificazione del disturbo, poche volte gli studi riportavano dati di comparazione tra studenti con discalculia e senza DSA e che in quasi tutti gli studi in esame il focus era su studenti delle scuole elementari su argomenti matematici relativi ad abilità aritmetiche basilari.

Per le autrici questa ristrettezza di visione degli studi è una lacuna non indifferente: da altre ricerche sulla competenza matematica che riportano, le autrici sottolineano che la competenza matematica generale è qualitativamente molto differente dalle abilità aritmetiche di base su cui diversi studi sulla discalculia si concentrano. Ad esempio, riportano da Gullick e Wolford (2014) e da Gullick et al. (2012) risultati sulla comprensione dei numeri negativi che dimostrano come questi attivino diverse regioni cerebrali se comparati alla comprensione dei numeri positivi; oppure riportano da Stafylidou e Votsiadou (2004) come lo sviluppo delle nozioni sulle frazioni e sui numeri razionali richieda un importante cambio concettuale qualitativamente evidente negli studenti rispetto al

²Anche qua si può vedere un'analogia con la lettura delle parole, dove la via fonologica era l'approccio bottom-up e la via lessicale quello top-down.

ragionamento con quantità intere e positive³.

Un altro fattore di complicazione che Lewis e Fisher (2016) registrano sta nel bisogno di introdurre nuovi tipi di rappresentazione mentale che vanno oltre quello basilare della quantità contata per singoli elementi o per subitizing. Da un'ampia letteratura riportano diversi esempi, tra cui: il cambio concettuale che il segno uguale subisce in algebra, l'associazione simbolica tra numeri e lettere con l'introduzione dei parametri e delle variabili, la rappresentazione di legami funzionali tra diverse grandezze mediante diversi mediatori tra cui equazioni, grafici e tabelle. Le autrici riportano infine alcuni studi che hanno provato a indagare altri domini oltre l'aritmetica di base, stabilendo però che si tratti di pochi esempi che non superano la decina di studi, che hanno il pregio di andare oltre la concezione della discalculia sulla sola base della difficoltà col numero ma che non hanno valenza statistica, invitando il settore ad approfondire questo legame.

Anche Butterworth e colleghi (2011) sottolineano come un approccio diffuso in ricerca verso la discalculia abbia portato ad una sua individuazione basata su alcuni test standardizzati che misurano una bassa performance sul piano aritmetico: secondo gli autori da questa scelta segue un'impossibilità al poter inquadrare la radice del DSA poiché le branche più avanzate della matematica, con questa scelta, non possono essere adeguatamente indagate. Nella loro review, Butterworth e colleghi cercano una radice del disturbo dal punto di vista neurobiologico, indagando risultati di ambito delle scienze cognitive tratti da approcci di stampo medico, riguardanti la genetica e lo studio delle aree cerebrali coinvolte tra studenti senza discalculia.

Da questa review emerge il tratto distintivo della specificità del DSA, potendosi manifestare in soggetti dalle normali abilità intellettive e senza nessun'altra difficoltà scolastica escludendo le abilità matematiche, dove invece emerge una performance bassa e ricca di difficoltà per lo studente con discalculia. Emerge pure un altro tratto distintivo dei DSA, ovvero la comorbidità con altri DSA e più in generale con altri disturbi evolutivi, tra cui gli autori segnalano l'ADHD. E anche in questa review gli autori sottolineano la mancanza di una definizione operativa di questo disturbo, riportando l'esistenza di una grande varietà di criteri diagnostici che differiscono da studio a studio, di cui l'unico comune denominatore sono le abilità legate all'aritmetica di base.

Se vi è questa enorme varietà di ambiti e di approcci in matematica che va ad influenzare la natura della discalculia, è ragionevole pensare che si debba indagare nella direzione delle abilità cognitive per capire meglio questo disturbo: questa intuizione fortunatamente è stata esplorata in ricerca non solo per la discalculia ma per tutti i DSA, e un ottimo framework teorico al quale ci si aggancia per capire meglio i DSA è dato dalla ricerca sulla memoria di lavoro e sul carico cognitivo.

³Questi risultati rientrano nel nostro ragionamento poiché riguardano i numeri interi e positivi o cosiddetti *naturali*, i quali sono l'argomento principale che viene trattato quando si parla di capacità aritmetiche di base.

1.3 Il framework della memoria di lavoro e del carico cognitivo

In letteratura vi è un trend di ricerca che conferma il legame tra memoria di lavoro, carico cognitivo e DSA e, stando ad alcuni autori che vedremo in questa sezione, la memoria di lavoro è probabilmente collegata alla radice neurobiologica che sta alla base dei DSA. Per questa ragione faremo adesso un excursus su questi concetti.

Per memoria di lavoro si intende un sistema a capacità limitata di immagazzinamento e gestione di informazioni che la mente adopera mentre altri processi di controllo dell'attenzione o dell'informazione legati a quel sistema vengono attuati sulle informazioni immagazzinate; la memoria di lavoro quantifica la capacità di un individuo di preservare in mente informazioni relative ad un compito o un'azione da svolgere (Baddeley, 2000, 2012, 2020; Baddeley e Hitch, 1974). Per come è definita, la memoria di lavoro somiglia molto alla memoria a breve termine, ma da essa si distingue poiché nei processi legati alla memoria di lavoro vi è anche una componente attiva di attenzione.

Ad esempio, fa capo alla memoria di lavoro il tentativo di tenere a mente cifre o parole appena lette al netto di un contesto di distrazione come il rumore d'aula o altri elementi nel testo che sono distraenti, introducendo dunque una componente di attenzione che regola cosa conservare e cosa scartare dalla memoria di lavoro che nella memoria a breve termine non è necessariamente presente. Il processo con cui la memoria di lavoro opera è attivo e regolato e gli individui che performano compiti o azioni che coinvolgono tale sistema devono preservare in essa alcuni elementi e inibirne altri, rendendo dunque la regolazione la principale differenza tra la memoria di lavoro e la memoria a breve termine (Swanson, 1999, 2017, 2020; Baddeley, 2012; Cowan, 1997; Engle et al., 1999; Miyake et al., 2000; Unsworth e Engle, 2007).

Questo sistema cognitivo si manifesta nell'archiviazione temporanea e nella manipolazione di informazioni necessarie durante l'esecuzione di compiti cognitivi complessi come lettura, comprensione, ragionamento, apprendimento e risoluzione dei problemi. Dunque la memoria di lavoro ha un forte impatto su diverse aree della cognizione come la proprietà di linguaggio, la velocità di elaborazione delle informazioni, le capacità di scrittura e matematiche (Kontopoulou et al., 2024; Baddeley, 2000, 2010, 2020; Pham e Hasson, 2014).

Il legame con i DSA di questo costrutto è sia indiretto che diretto in ricerca: già da quanto finora detto si può intuire che la memoria di lavoro sia un sistema fondamentale per diverse abilità del campo scolastico. Questo legame non solo è verificato ma risulta essere un buon predittore di successo accademico in studi longitudinali che misurano la resa scolastica di studenti comparata alla memoria di lavoro che viene tra essi misurata (Dehn, 2008, 2020; Alloway e Alloway, 2010; Gathercole e Alloway, 2004).

Da questa intuizione diversi studi hanno preso le mosse per misurare la memoria di lavoro, il livello di intelligenza generale e la presenza di DSA: il quadro che emerge

con forza è che tra soggetti con DSA è presente un profilo di intelligenza nella norma e a volte lievemente sopra la norma, eppure essi presentano un deficit nella memoria di lavoro; questo trend è ampiamente studiato e verificato nei casi di dislessia e discalculia (Swanson, 1992, 1993, 2020; Swanson e Beebe-Frankenberger, 2004; Swanson e Fung, 2016; Swanson e Jerman, 2007; Attout e Majerus, 2015; Brandenburg et al., 2015; De Weerd et al., 2013; Demirdag, 2014; Passolunghi e Siegel, 2004; Peng et al., 2012; Wang e Gathercole, 2013).

Ma come opera questo sistema, e come viene modellizzato? Un primo modello di memoria di lavoro è stato stilato nel 1968 da Atkinson e Shiffrin, considerando la memoria di lavoro come una struttura legata alla memoria a breve termine che trae informazioni direttamente dalla sfera sensoriale, elabora gli stimoli ricevuti e li trasferisce in memoria a lungo termine dopo l'elaborazione. In questo loro modello dunque era la percezione sensoriale ad avere un impatto decisivo sulla cognizione in generale e nello specifico anche sull'apprendimento (Kontopoulou et al., 2024; Atkinson e Shiffrin, 1968; Baddeley, 2010; Logie e Cowan, 2015).

Questo modello non ha avuto però un grande riscontro empirico e nel 1974 Baddeley e Hitch introducono un nuovo modello a tre componenti per superare il modello del 1968. In questo nuovo modello tripartito la memoria di lavoro viene teorizzata come composta da tre componenti, in una specifica gerarchia dove una delle componenti controlla e regola le altre due.

La componente dominante opera come un sistema di controllo dell'attenzione e viene chiamata *esecutivo centrale* e ad essa in ruolo subordinato si affiancano due sistemi di archiviazione di informazioni a breve termine: per le informazioni di natura visiva e grafica il sistema che le gestisce è lo *sketchpad visuospatiale*, mentre per il contenuto di natura sonora e verbale abbiamo il *loop fonologico*.

Lo sketchpad visuospatiale manipola elementi quali forme, simboli o colori; il loop fonologico è specializzato nel caso di informazioni verbali e dunque immagazzina parole pronunciate a voce oppure provenienti dalla lettura; infine l'esecutivo centrale coordina i due sottosistemi e regola come l'attenzione viene suddivisa tra le informazioni in essi immagazzinate.

Ad oggi il modello tripartito della memoria di lavoro di Baddeley e Hitch risulta il più impiegato e verificato empiricamente dalla ricerca di settore, nonostante anche lo stesso Baddeley abbia provato ad introdurre un'altra componente in una revisione di questo modello sulla quale non ci soffermeremo, in quanto questa versione aggiornata del modello non ha avuto lo stesso riscontro empirico del modello originale (Kontopoulou et al., 2024; Alloway et al., 2004; Angelopoulou e Drigas, 2021; Baddeley e Logie, 1999; Baddeley, 2010, 2012; Baddeley e Hitch, 1974; Gathercole et al., 2004; Swanson, 2020).

Diamo qualche dettaglio in più su quali siano i compiti dell'esecutivo centrale: la sua caratteristica principale sta nei processi di controllo della memoria di lavoro.

Tali processi hanno diverse forme specifiche, tra cui il monitoraggio delle altre due componenti della memoria di lavoro, l'impiego di strategie di codifica e di recupero delle

informazioni che passano per la memoria di lavoro, la possibilità di indirizzare l'attenzione della persona su informazioni specifiche temporaneamente conservate nel loop fonologico o nello sketchpad visuospatiale, il recupero di informazioni dalla memoria a lungo termine correlate a quanto presente in memoria di lavoro, e così via.

Baddeley stesso traccia tre principali funzioni che l'esecutivo centrale svolge in termini di attenzione, in modo da ridurre l'ambiguità tra tutti questi processi e categorizzarli in base a quale funzione assolvono: queste tre funzioni consistono nel 1) raccogliere e focalizzare l'attenzione, 2) suddividerla tra diversi obiettivi o flussi di stimoli e 3) commutarla nel passaggio da un'attività a un'altra (Swanson, 2020; Baddeley e Logie, 1999; Baddeley, 2002, 2012; Kontopoulou et al., 2024; Miyake et al., 2000).

I ruoli delle altre due componenti sono più immediati: entrambe sono dei magazzini temporanei di informazione, specializzati a contenerne tipi diversi. Il loop fonologico è specializzato nel contenere informazioni verbali e sonore e lo sketchpad visuospatiale nel contenere informazioni grafiche e simboliche.

In particolare lo sketchpad visuospatiale sarebbe fondamentale nella percezione spaziale del soggetto sia in termini di immaginazione degli elementi che di orientamento nello spazio, fornendo una sorta di "interfaccia" che unifica elementi visivi, spaziali e cinestetici e che può agire come ponte tra la memoria a lungo termine e la percezione sensoriale per quel genere di informazioni che in mente vengono "visualizzate" (Swanson, 2020; Baddeley, 2000, 2002, 2003a, 2003b).

Chiarito come il modello funziona e quali siano le sue componenti, possiamo ora passare a dei risultati. Swanson, in una review estremamente approfondita (2020) di anni del suo lavoro di ricerca e di quello di diversi colleghi, fa specificatamente un focus sulla dislessia e sulla discalculia e sulle ricerche che misurano le prestazioni di memoria di lavoro in studenti che manifestano uno di questi disturbi o anche entrambi.

Non solo in questa review si verifica il trend generale che per questi studenti vi è sistematicamente un deficit della prestazione generale della memoria di lavoro, soprattutto in termini del controllo dei processi che regolano l'attenzione, ma si trovano anche i tratti specifici in cui il deficit si manifesta nei disturbi: l'autore trova infatti che per gli studenti con dislessia e discalculia il deficit si manifesta principalmente nel loop fonologico e nell'esecutivo centrale. Una differenza che emerge in maniera netta e che distingue i due disturbi starebbe nei deficit dello sketchpad visuospatiale: la ricerca sulla dislessia non ha dato risultati definitivi su una sua compromissione e i ricercatori tendono a concordare sull'ipotesi che questo sottosistema non presenti deficit per studenti con dislessia, mentre i risultati empirici confermerebbero la presenza di un deficit nello sketchpad visuospatiale per studenti con discalculia.

Swanson sottolinea come la performance generale sia spesso comparabile tra i due gruppi, tant'è che cerca le radici di una differenza tra dislessia e discalculia sia negli studi sul cervello mediante risonanze magnetiche, sia mediante una diversa interpretazione di come i sistemi della memoria di lavoro interagiscano col disturbo: ad esempio, l'autore commenta come la compromissione del loop fonologico possa sia spiegare le difficoltà

verbali che portano gli studenti con dislessia ad avere difficoltà di lettura, sia tutta la parte delle difficoltà matematiche che richiedono la verbalizzazione del ragionamento negli studenti con discalculia. Ciò che dunque emerge è un profilo di funzionamento tra studenti con dislessia e discalculia con una comune compromissione di abilità fonologiche e di attenzione e una diversa compromissione delle abilità visuospatiali, intatte negli studenti con dislessia e compromesse negli studenti con discalculia.

La review di Swanson è estremamente dettagliata e in questa tesi non vi è spazio per tutti i risultati che l'autore riporta, dunque qui diamo alcuni degli altri tratti salienti che esso ripercorre. Da studi che misurano la performance in modo quantitativo tra studenti con dislessia e discalculia separate non emerge differenza di performance significativa, anche se performano peggio degli studenti senza DSA e meglio degli studenti che hanno dislessia e discalculia in comorbidità.

Il deficit comune ai disturbi non pregiudicherebbe completamente tutto il sottosistema del loop fonologico e delle performance di intelligenza a esso correlato e secondo l'autore questo risultato è in linea con due idee che ricorrono sui DSA in ricerca: il fatto che gli studenti con DSA non abbiano una compromissione generale dell'intelligenza e il fatto che i DSA siano caratterizzati dal colpire aree estremamente specifiche della cognizione. La capacità della memoria di lavoro tra gli studenti con dislessia e discalculia è notevolmente compromessa, segnando una ridotta quantità di informazioni che essi possono gestire in memoria di lavoro rispetto agli studenti senza DSA.

Uno studio che conferma questo quadro ma con una misura specifica del profilo intellettuale degli studenti è quello di Toffalini e colleghi (2017), nel quale si indagano i dati relativi a 1049 studenti italiani con DSA per cercare di inquadrare la loro diversa performance su aree diverse dell'intelligenza generale.

Per fare ciò utilizzano il WISC-IV (nella versione adattata all'italiano), un test di intelligenza quantitativo che cerca però di misurare diversi aspetti invece di dare un unico valore riassuntivo come ad esempio nel più famoso test del quoziente intellettivo.

Con questo test gli autori riescono a dare un quadro dei diversi profili di funzionamento degli studenti con DSA dall'uso di quattro indici che essi misurano: VCI, PRI, WMI e PSI che rispettivamente quantificano la performance per abilità di comprensione verbale (Verbal Comprehension Index), il ragionamento visuo-percettivo (Perceptual Reasoning Index), la memoria di lavoro (Working Memory Index) e la velocità di processamento delle informazioni (Processing Speed Index). Possiamo vedere i dati relativi a quanto trovato da Toffalini e colleghi nella figura 1.1.

Gli autori trovano, nello specifico dei profili di dislessia e discalculia, una performance del tutto comparabile tra tutti gli indici ad eccezione dell'indice PRI sul ragionamento visuo-percettivo, dove registrano una performance migliore tra studenti con dislessia e peggiore tra studenti con discalculia, perfettamente in linea con il risultato di Swanson (2020).

Come possiamo vedere in figura i valori tra dislessia e discalculia producono lo stesso trend ad eccezione del PRI, con una notevole compromissione della memoria di lavoro e

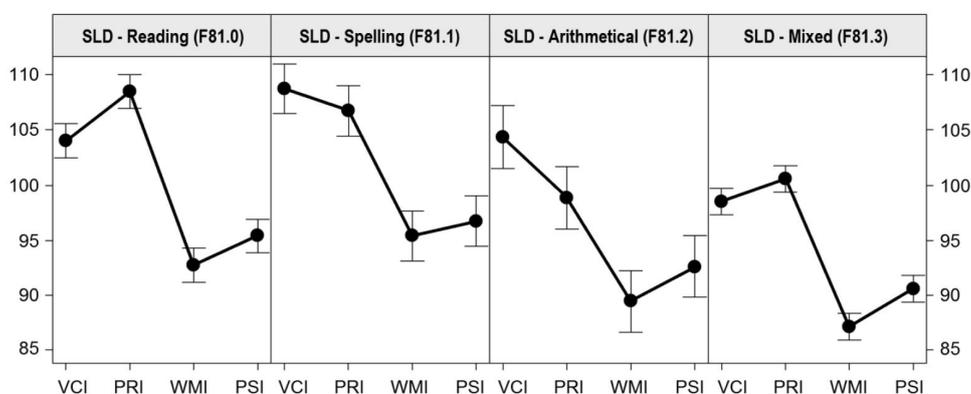


Figura 1.1: Andamento degli indici misurati da Toffalini et al., 2017 nei vari tipi di DSA, p. 5.

della velocità di processamento delle informazioni.

Il quadro che dunque emerge dalla teoria della memoria di lavoro ci fornisce un trend di tratti comuni e distintivi tra dislessia e discalculia, accomunate da un deficit nelle aree cognitive dell'attenzione e dell'elaborazione verbale e distinte nella percezione visuospatiale, dove la dislessia non sembra presentare questo particolare deficit che invece si manifesta nella discalculia. Questo trend si conferma non solo negli studi sinora citati ma anche in diversi altri lavori, tra cui citiamo l'articolo di Dehn (2020) sul rapporto tra dislessia e memoria di lavoro oppure la più dettagliata review di Agostini e colleghi (2022) sulle abilità cognitive specifiche e generali di studenti con discalculia e difficoltà matematica e il loro rapporto con la memoria di lavoro. Rimandiamo a questi articoli per avere dettagli sul tema e qui riportiamo soltanto la concordanza nei risultati generali finora descritti.

La teoria e i risultati sulla memoria di lavoro ci hanno permesso di identificare e comprendere meglio la dislessia e la discalculia, e questo quadro finora delineato si può espandere anche sul versante delle difficoltà che emergono da questi disturbi specifici: per fare ciò ci viene incontro un altro framework teorico collegato alla memoria di lavoro, ovvero il framework del carico cognitivo.

La teoria del carico cognitivo si inserisce nei filoni delle teorie sull'architettura cognitiva della mente e delle teorie dell'apprendimento. Elaborata per la prima volta da Sweller (1988), il suo scopo è quello di fornire linee guida nel campo dell'apprendimento, aiutando a comprendere i requisiti che i materiali di apprendimento richiedono e come questi influenzino il processo di acquisizione delle informazioni da parte degli studenti che di quel materiale usufruiscono: la teoria vuole essere uno strumento per gli insegnanti nel progettare al meglio l'impiego dei supporti didattici (Tricot et al., 2020; Sweller et al., 2011; Sweller, 2010, 2015, 2016).

Per questa ragione il carico cognitivo trova doppiamente posto in questa tesi non solo

per l'insight che può offrire sui DSA ma anche per il tema centrale dell'analisi del libro di testo di fisica in quanto strumento di apprendimento. Secondo questa teoria la quantità di informazione che è possibile acquisire da un materiale va intesa in termini di memoria di lavoro e sulla base della natura di quell'informazione, capendo quali domini cognitivi essa vada a sollecitare. Sulla base della memoria di lavoro è possibile distinguere tre tipi di carico cognitivo:

- Carico estraneo: questo è il carico cognitivo che sforza inutilmente le risorse dello studente in quanto non è significativo o necessario all'apprendimento dell'argomento in esame;
- Carico pertinente o rilevante: carico cognitivo direttamente correlato al cuore dell'argomento da insegnare, rappresenta lo sforzo necessario ma non per forza sufficiente ad acquisire ciò che si deve apprendere.
- Carico intrinseco: da distinguersi dal carico pertinente o rilevante, è dovuto alla non perfetta corrispondenza tra i contenuti da apprendere e le conoscenze a priori che lo studente possiede su quell'argomento, così come alle eventuali abilità che servono ad affrontare quei contenuti nelle quali magari lo studente non ha alta competenza oppure manifesta difficoltà. Non è a sua volta sufficiente all'apprendimento poiché si deve affiancare al carico pertinente ma resta necessario dovendo eventualmente compensare nello studente l'impatto che le conoscenze a priori e le abilità possedute provocano per l'apprendimento di un determinato argomento.

Usando questa distinzione, la teoria delinea un approccio ideale all'insegnamento: l'intervento didattico ideale si ha quando nello sviluppo e nell'impiego dei materiali di insegnamento si riesce ad eliminare del tutto il carico cognitivo estraneo, si prevede l'inevitabile carico cognitivo pertinente e si ottimizza il carico cognitivo intrinseco a partire dalle abilità dello studente e dalle sue conoscenze a priori (Emili, 2020; Clark et al., 2011; Sweller, 1988).

Un altro interessante spunto che la teoria offre sta nel categorizzare le abilità cognitive umane sulla base della dicotomia tra origine evoluzionistica/biologica e origine culturale. Premesso che non è una dicotomia perfetta e che tra queste due origini c'è sicuramente un livello di correlazione, è comunque utile indagare la provenienza di alcune abilità più dalla cultura che dalla nostra predisposizione biologica o viceversa.

Ad esempio, si era già detto nella sezione 1.2 di come l'acquisizione del numero e del conteggio e del subitizing siano abilità che acquisiamo automaticamente nel nostro sviluppo (a meno di deficit che vanno nella sfera della disabilità), a differenza di conoscenze matematiche decisamente più avanzate come ad esempio il calcolo differenziale e integrale o l'introduzione delle funzioni matematiche, che sollecitano abilità cognitive prodotte all'interno della nostra cultura.

Un esempio più immediato può essere la differenza tra la comprensione e l'espressione orale a differenza della comprensione e dell'espressione scritta: ciò che riguarda l'acquisizione della lingua orale è infatti un fenomeno che, a meno di disabilità, si sviluppa automaticamente nel bambino e nel suo percorso di sviluppo. Queste abilità possono anche essere insegnate ma poiché statisticamente esse vengono acquisite anche senza l'intervento educativo diretto e formalizzato (come ad esempio quello scolastico) non è rilevante che esse vengano insegnate per il loro sviluppo basilare. Ciò non è invece vero per le abilità scritte, le quali hanno bisogno di essere insegnate direttamente e allenate e raffinate nel corso di anni di istruzione diretta e formalizzata a questo scopo, al fine di ottenere in esse una resa culturalmente accettabile.

La distinzione tra questi concetti nella teoria del carico cognitivo viene fatta tramite le due categorie di abilità cognitive primarie e secondarie, a seconda che quelle abilità siano di origine evolutivistica o meno: nelle abilità primarie vi è indipendenza parziale o totale dal contesto culturale, dove invece nelle abilità secondarie la dipendenza dal contesto culturale è elevatissima. Dunque in questa categorizzazione, saper parlare e capire un linguaggio parlato sono abilità primarie, laddove saper leggere e scrivere sono abilità secondarie.

La distinzione è importante poiché si allinea bene con il quadro delineato dai DSA: questi sono infatti disturbi specifici dell'apprendimento e sono legati ad abilità cognitive che si manifestano principalmente in un setup scolastico (Tricot et al., 2020; Tricot e Sweller, 2014; Geary, 2008, 2012; Geary e Berch, 2016).

Dunque, in questa visione i DSA riguardano la sfera delle abilità cognitive secondarie, ed è tra esse che dobbiamo anticipare la presenza di carico cognitivo. Sempre richiamando l'esempio sul linguaggio, osserviamo come per l'acquisizione del parlato nello sviluppo di bambini neurotipici ci aspettiamo che essi inizino a parlare in età prescolare e senza intervento diretto "di esperti", dove invece per imparare a leggere e scrivere servirà un intervento didattico mirato negli anni della scuola primaria; inoltre, anche alla luce di quell'intervento potrebbero manifestarsi DSA come dislessia nel caso della lettura o disgrafia e/o disortografia nel caso della scrittura così come difficoltà legate a BES di altra natura.

Nella teoria si tracciano inoltre cinque principi su come l'apprendimento e più in generale lo sviluppo di un individuo si svolga, che Tricot e colleghi (2020) riassumono in:

- Principio di immagazzinamento dell'informazione: l'architettura cognitiva umana si basa sull'acquisizione di una grande mole di informazioni, e possiamo identificare la sede di questa mole nella memoria a lungo termine.
- Principio di acquisizione e riorganizzazione: la memoria a lungo termine viene pensata come un sito enorme da riempire, dunque nell'architettura cognitiva umana deve esserci un meccanismo che permetta di popolarla rapidamente. Gli individui fanno questo ascoltando altri individui, prendendo da loro ciò che sanno, imparando da fonti dirette e indirette (come quelle scritte) e imitando individui esperti.

L'informazione così acquisita deve poi essere riorganizzata e "armonizzata" con l'informazione pre-esistente nella memoria a lungo termine.

- Principio di casualità come origine generativa: quando gli altri non sono disponibili come fonti di informazione, possiamo generare in maniera autonoma l'informazione mediante procedure per "prova ed errore". Questo meccanismo è meno efficiente del primo ma è sempre possibile adoperarlo in assenza di alternative.
- Principio dei limiti stretti del cambiamento: l'informazione contenuta in memoria a lungo termine deve essere protetta da dimenticanze casuali quali rimozione o alterazione, dunque serve un meccanismo che assicuri che i cambiamenti apportati alla memoria a lungo termine non siano troppo rapidi e che verifichi la coerenza delle nuove informazioni con le precedenti. Tra i vari meccanismi disponibili nell'architettura cognitiva umana la memoria di lavoro è un buon candidato ad assolvere questo compito, poiché è caratterizzata dall'operare a capacità ridotta e in tempi non estesi, dovendo regolare l'attenzione in maniera attiva per operare, il che richiede uno sforzo che non può essere prolungato. Questi limiti sono dunque funzionali ad evitare che la memoria a lungo termine venga gravemente alterata o distrutta nelle sue funzionalità.
- Principio dei collegamenti ambientali: gli input provenienti dall'ambiente circostante permettono alla memoria di lavoro di recuperare informazioni correlate a tali input nella memoria a lungo termine, in modo da generare una risposta adeguata all'ambiente circostante. Non si teorizzano limiti specifici su quante informazioni la memoria di lavoro possa recuperare da quella a lungo termine. Questo principio è di particolare interesse poiché sta alla base del processo trasformativo che avviene nell'educazione: è l'ambiente coi suoi stimoli a permetterci di svilupparci e di compiere attività che senza quello stimolo non avremmo neppure contemplato.

Oltre a questi principi, la teoria descrive diversi altri effetti e fenomeni in termini di memoria che avvengono nei processi di apprendimento. Uno di particolare interesse è il fenomeno dell'*expertise reversal* (letteralmente l'inversione delle competenze) ed è basato molto sul principio dei collegamenti ambientali. In questo effetto l'accumulo di informazioni pertinenti in memoria a lungo termine ad un certo argomento o allo sviluppo di una certa competenza aumenta la disponibilità di risorse cognitive per gli studenti. Se dunque gli studenti hanno risorse cognitive limitate l'approccio più immediato per intervenire è quello di aumentare la loro competenza, fornendo ad esempio quelle informazioni e dunque caratterizzando quell'intervento come efficace.

Quando la competenza dello studente raggiunge un certo livello, l'efficacia dello stesso intervento di prima sarebbe ad esempio ridotta visto che non va ad apportare lo stesso beneficio che essa apportava nel caso di una competenza ridotta. Questo implica che lo stesso intervento educativo può essere più o meno efficace a seconda degli studenti

coinvolti e poiché non vi è alcun limite teorico a questo processo potremmo ipotizzare il caso estremo in cui per alcuni studenti lo stesso intervento didattico che risulta benefico può risultare neutrale o addirittura nocivo per studenti con una maggiore competenza; è interessante notare che in letteratura questo fenomeno è già stato identificato e osservato empiricamente, a riscontro della teoria (Tricot et al., 2020; Kalyuga et al., 2003; Kalyuga et al., 1998; Kalyuga e Renkl, 2010).

Questo effetto è estremamente importante da tenere in considerazione in quanto ci dice che con gli stessi materiali didattici nella stessa classe e con lo stesso intervento potremmo osservare risultati estremamente variegati di successo e fallimento. Diventa necessario diversificare l'intervento in base agli studenti che consideriamo in esame pur mantenendo lo stesso materiale didattico come fonte e modificando l'impiego che ne facciamo. Questa visione è promettente poiché si allinea coi ben noti principi di individualizzazione e personalizzazione didattica e spingono l'insegnante a dover tenere a mente le diverse situazioni di ognuno dei suoi studenti, che nella teoria del carico cognitivo vengono schematizzate nelle diverse risorse cognitive ad essi disponibili (Tricot et al., 2020; Tricot & Sweller, 2014; Kalyuga et al., 2001).

Avendo adesso un quadro generale degli studenti con BES e DSA e di come venga teorizzata la loro situazione e l'intervento nei loro confronti, si tratta di vedere nello specifico come ciò si coniughi con il libro di testo di fisica: bisogna dunque entrare in un nuovo filone di studi che indaghi il rapporto tra scienza e DSA per andare avanti nel nostro ragionamento.

Capitolo 2

Il rapporto tra le Scienze e i DSA

2.1 I DSA nella didattica della scienze

Come già anticipato, il nostro focus verterà principalmente sulla dislessia e sulla discalculia nell'analisi delle fonti, alla luce dello strumento che si è scelto di analizzare: il libro di testo di fisica, principale strumento di studio della disciplina. L'aver a che fare con un testo richiede le capacità di decodifica e comprensione di esso che provocano difficoltà nel soggetto con dislessia, e, per la natura del suo contenuto, il libro di fisica contiene inevitabilmente una pluralità di linguaggi tra cui quello formale e matematico che potrebbe anche sollecitare le difficoltà del soggetto con discalculia.

Il rapporto tra libro di testo e studenti con DSA e, più in generale, di insegnamento e/o apprendimento e studenti con DSA non è un tema particolarmente esplorato nella letteratura. Vi è dunque una lacuna sia nella teoria sia nella pratica su come adattare l'istruzione scientifica a studenti con DSA (Baurhoo, 2020; F. J. Brigham et al., 2011; Koomen, 2016; Martínez-Álvarez, 2017; M. A. Mastropieri et al., 2009; Trauth-Nare, 2016).

Baurhoo (2020) ha condotto un'analisi della letteratura per individuare i principali prodotti di ricerca sul tema nei principali giornali peer-reviewed del settore dell'educazione e della didattica scientifica, in particolare il *Journal of Learning Disabilities*, *Remedial and Special Education*, *Journal of Research in Science Teaching* e *Cultural Studies in Science Education* (si veda tabella 2.1). Il dato che emerge è allarmante: nella ricerca di settore dal 1990 al 2019 gli articoli usciti su questo argomento in questi quattro giornali sono in proporzione relativamente pochi sul totale degli articoli pubblicati.

Peer-reviewed Journals	Years	Total number of articles	Barriers faced by SWD	Barriers and strategies in career de for individuals with disabilities	Barriers and strategies to support teachers, schools, and parents in working with SWD	Teaching strategies for SWD	Theoretical, political, legal, ethical, historical, medical, aspects of disabilities	Studies not focusing on SWD ³
Journal of Learning Disabilities	1990 - 2019	121	11	6	20	32	46	6
Remedial and Special Education	1990-2019	230	10	5	55	77	51	32
Journal of Research in Science Teaching	1990-2019	20	0	0	5	0	0	15
Cultural Studies in Science Education	2006-2019	21	3	0	0	4	0	14

Figura 2.1: Dati relativi ad articoli sul tema degli studenti con disabilità che Baurhoo, 2020 riporta, p. 7.

La tabella 2.1 riporta un totale di 392 articoli usciti in quel periodo e discute i dati provenienti da articoli che parlano di “studenti con disabilità”: questo accade sia poiché ancora una volta in inglese i disturbi dell’apprendimento sono registrati con il termine “disabilità”, sia perché in questi articoli non sempre si distingue tra i DSA e altri disturbi o disabilità, rendendo dunque il numero di articoli che effettivamente trattino dei DSA minore di quanto qui riportato, un’ambiguità che anche l’autrice di questo studio commenta come negativa.

Tra questi 392 studi, 103 discutono possibili strategie di intervento per gli “studenti con disabilità”, 80 discutono gli ostacoli che le famiglie, la scuola o gli insegnanti incontrano nel ricevere supporto per intervenire sulla didattica degli “studenti con disabilità” e soltanto 24 articoli discutono di quali siano gli ostacoli all’apprendimento materiali che tali studenti incontrano.

Baurhoo inoltre sottolinea che tali ricerche producano risultati poco consistenti e a volte contraddittori, e sottolinea come senza indagini più approfondite su quest’ambito ogni intervento didattico volto a migliorare la condizione degli studenti con DSA risulterà limitato a causa della mancanza di informazioni teoricamente fondate e empiricamente verificate.

L’urgenza su questo tema non dovrebbe essere sottovalutata: come sottolinea anche l’autrice, gli studenti con DSA hanno una più alta probabilità di lasciare gli studi

prima del loro completamento e nelle discipline di ambito scientifico risultano essere sistematicamente indietro qualora comparati con i loro pari senza DSA.

Plasman e Gottfried (2018) hanno condotto un'analisi sui corsi STEM sperimentati nel contesto delle scuole secondarie statunitensi e hanno trovato che gli studenti che li scelgono hanno un tasso di abbandono scolastico inferiore rispetto ai pari che non li frequentano¹. Secondo gli autori è sia la natura applicata dei corsi che il contenuto scientifico che aiutano tali studenti e ne migliorano il problem solving in un contesto più concreto e meno astratto. Inoltre sottolineano l'importanza di dare ulteriore supporto agli studenti con DSA affinché traggano pieno vantaggio da questi corsi, mediante l'attuazione di strategie di individualizzazione e di personalizzazione didattica.

Le difficoltà nei corsi di carattere generale e nelle modalità di istruzione tradizionale influiscono anche sul numero di studenti con DSA che dopo la scuola dell'obbligo continuano gli studi nel settore STEM: negli Stati Uniti e in Canada, comparando gli studenti con DSA che proseguono gli studi oltre la scuola secondaria, si osserva nelle lauree nei settori STEM un maggior tasso di abbandono e una minore percentuale relativa di studenti con DSA sul totale dei frequentanti, mentre questi dati migliorano se comparati con popolazioni di studenti con DSA in lauree non STEM (Baurhoo, 2020; De Cesarei et al., 2014; National Science Foundation e National Center for Science and Engineering Statistics, 2017; Street et al., 2012; Thurston et al., 2017).

Nel nostro ordinamento e in diversi settori dell'educazione, l'istruzione è vista come un intervento dedicato a offrire opportunità a tutti gli studenti per aiutarli a fare scelte di vita proficue e nel potersi integrare con successo nel tessuto sociale che a sua volta dovrebbe essere inclusivo, e per fare ciò gli insegnanti debbono avere tutti gli strumenti e le conoscenze necessari ad apportare adattamenti alla didattica in modo che ogni studente, con BES o senza, riceva un apprendimento proficuo.

Questa affermazione incarna un trend generale nel mondo dell'educazione che vale anche per la formazione scientifica, con l'obiettivo di garantire agli studenti con DSA un livello di competenza e conoscenza al pari degli studenti senza DSA, i quali tendenzialmente performano meglio (F. J. Brigham et al., 2011; D. P. Baker, 2012). Quest'idea serve anche a riportare in primo piano la complessa natura dei problemi dell'insegnamento delle scienze agli studenti con BES e nello specifico con DSA. Anche se la ricerca non è ancora sufficiente ciò non intacca l'interesse al problema, che è vivo e sta spingendo sforzi in tutto il mondo per formare gli insegnanti di scienze e dare loro gli strumenti adeguati (McGinnis & Kahn, 2014).

Questi sforzi sono non soltanto guidati da un alto ideale ma anche dalla stretta necessità: risulta infatti che i docenti dell'area scientifica si sentano spesso impreparati a venire incontro a studenti con difficoltà legate ai DSA e che al contempo docenti di

¹Nel contesto della scuola secondaria statunitense vi è spesso un numero minimo di materie obbligatorie molto ristretto e gli studenti possono scegliere a loro discrezione quali corsi adottare, a differenza della scuola secondaria di secondo grado italiana dove si ha solo la possibilità di scegliere la scuola e l'indirizzo se essa offre più curricula.

sostegno sui BES si sentano impreparati ad intervenire nelle aree del contenuto scientifico e dunque nel rinforzo dell'insegnamento scientifico (Seifert e Espin, 2012; Fletcher et al., 2007; Fuchs et al., 2001; LaBerge e Samuels, 1974; National Reading Panel, 2000).

Spesso i docenti di ambito scientifico non hanno ricevuto formazione specifica nei casi di DSA e BES in generale e hanno dovuto compensare per conto loro, con ricerche personali e formazione sul campo dovuta alla diretta interazione con gli studenti con tali condizioni (McGinnis & Kahn, 2014; J. F. Cawley, 1994; Kahn & Lewis, 2014). I fattori che più sembrano produrre ostacoli all'insegnante interessato risultano essere la formazione specifica sui BES, le metodologie specifiche adottate nei corsi scientifici e il tempo e le risorse limitate (Villanueva et al., 2012; Wibowo et al., 2024; Cole e McLeskey, 1997; Gibbs, 2023; Letzel et al., 2023; Soodak et al., 1998; Zerai et al., 2023).

Patton, Polloway e Cronin (1990) hanno riportato una serie di risultati relativi all'istruzione scientifica e agli studenti con bisogni educativi speciali utili ad avere un dato sul problema: nel contesto statunitense dell'epoca oltre due quinti degli insegnanti di sostegno non ricevevano alcuna formazione in educazione scientifica, oltre un terzo degli studenti con BES in classi autonome non riceveva alcuna istruzione scientifica e quasi due terzi degli insegnanti di sostegno dei BES utilizzavano il libro di testo di educazione scientifica generale per insegnare come strumento principale della didattica.

La ricerca conferma il bisogno dell'inclusione nelle classi di tutti gli studenti, con BES o senza, come pratica di successo nella loro formazione; qui in Italia questa visione è legge, ma nel resto del mondo non è così e ancora le classi speciali sono una prassi che si verifica all'estero. Ciò vale anche per le classi scientifiche, dove non solo l'inclusività del contesto classe gioca un ruolo nel produrre istruzione efficace, ma è necessario considerare anche le peculiarità dell'istruzione scientifica che aggiunge un altro livello: un esempio per chiarire le idee può essere il contesto del laboratorio scientifico, che presenta al contempo nuove potenzialità e nuove sfide per una didattica inclusiva dovute al setting diverso dalla lezione tradizionale e al diverso modo in cui la scienza subentra nell'evento educativo. Ciò vale anche nel caso di altri BES che prescindono dai DSA nello specifico, come nel caso delle disabilità (McGinnis e Kahn, 2014; Ferguson e Asch, 1989; Hollowood et al., 1994; M. A. Mastropieri et al., 1998; McCann, 1998; McGinnis, 2000; National Council on Disability, 2011; Scruggs e Mastropieri, 1993).

In ricerca si sostiene che la materia scientifica funga da veicolo efficace per gli studenti con BES per impegnarsi nei compiti didattici poiché la maggior parte degli studenti, indipendentemente dal livello di rendimento, è in grado di sviluppare consapevolezza e interesse per se stessi e per il mondo che li circonda attraverso la scienza, il che avrebbe un effetto positivo nello stimolare la curiosità anche per ciò che riguarda i doveri scolastici. Nonostante questi buoni propositi, la performance degli studenti con BES è sistematicamente bassa se comparata ai pari senza BES (Villanueva et al., 2012; Anderman, 1998; Grigg et al., 2006; Steele, 2004).

Il benessere e la resa di studenti con DSA o altre disabilità migliorano molto nei contesti inclusivi, pur col bisogno di alcuni adattamenti nei loro confronti. La loro

presenza non comporta rallentamenti per il resto degli studenti senza BES ma invece produce enormi miglioramenti per le loro situazioni, e ciò si conferma anche nelle aree di contenuto come per le materie scientifiche (McGinnis & Kahn, 2014; E. T. Baker et al., 1995; Stainback et al., 1996).

I metodi di apprendimento incentrati sulla classe e i materiali uniformi spesso non considerano i bisogni di individualizzazione. Di conseguenza, gli studenti con BES spesso necessitano di aiuto per seguire le lezioni, si sentono lasciati indietro rispetto ai loro coetanei e sperimentano una diminuzione della motivazione ad apprendere; tali studenti hanno bisogno di più tempo per comprendere i concetti, di un focus personale più intensivo o di un adattamento dei materiali per soddisfare i loro stili di apprendimento (Wibowo et al., 2024; Kalaitzake, 2022; Strogilos et al., 2020; Usher et al., 2024).

Il divario tra le esigenze degli studenti con BES e i metodi di apprendimento convenzionali può avere un impatto a lungo termine sul loro sviluppo. Se non affrontato opportunamente, tale divario può produrre difficoltà di apprendimento nella forma di scarsa autostima, difficoltà di socializzazione e persino all'abbandono scolastico (Wibowo et al., 2024; Akbari e Sahibzada, 2020; Bonal e González, 2020).

Come tutti gli studenti, anche gli studenti con DSA beneficiano della personalizzazione della didattica alle loro necessità, non solo per venire incontro alle loro difficoltà e condizioni specifiche ma poiché ogni studente ha il suo stile di apprendimento e dunque le modifiche alla didattica agiscono su di essi su entrambi i piani. La modifica dell'intervento didattico e della presentazione dei contenuti mediante l'utilizzo di diversi stili di apprendimento (nell'ottica del principio della personalizzazione) può venire dunque incontro anche a studenti senza DSA e per tutto il contesto classe in generale (Demirdag, 2014; Goodnough, 2001).

In particolare Wibowo e colleghi (2024) insistono sul bisogno di effettuare l'individualizzazione didattica per poter implementare i diversi stili di apprendimento, e nel loro studio hanno sviluppato una strategia sperimentale di *system differential learning* con l'obiettivo di identificare e adattare i diversi stili di apprendimento degli studenti con DSA nell'educazione scientifica. I risultati suggeriscono che l'adozione di questo metodo abbia portato a risultati positivi, nella forma di un migliore coinvolgimento degli studenti con DSA e di una performance scolastica migliore; gli autori sostengono che il loro metodo sia stato in grado di rilevare e differenziare i diversi stili, come ad esempio quelli visivi da quelli uditivi da quelli cinestetico-motori, e ciò ha permesso di progettare attività scolastiche che sfruttassero tali preferenze.

La modifica dell'intervento didattico con l'uso di diversi stili di apprendimento è inoltre fondamentale non solo per insegnare agli studenti con DSA il contenuto scientifico in maniera efficace ma anche le strategie per affrontare la scienza in maniera efficace. Ciò si manifesta in diversi risultati, tra cui la spinta allo sviluppo della cognizione attiva e della metacognizione, la produzione nello studente di un maggiore coinvolgimento alla didattica e la prevenzione dell'impatto negativo che i DSA possono produrre in termi-

ni di sviluppo cognitivo e accademico degli studenti, qualora questi non siano trattati adeguatamente.

Brigham e colleghi (2011) ci danno un quadro su cosa voglia dire ad oggi fare scienza e conoscerla: tradizionalmente “fare scienza” si riferisce al metodo scientifico che spesso viene insegnato come un set specifico di regole e modi di fare storicamente affermati. “Conoscere la scienza” è visto come il possesso di un certo set di conoscenze al contempo accreditate e storicamente cristallizzate nei curriculum scolastici che vengono tradizionalmente proposti.

Negli ultimi 50 anni, sostengono gli autori, “conoscere la scienza” e “fare scienza” sono nei modi e negli obiettivi cambiati in modo drastico: il metodo scientifico si è gradualmente spostato da un’osservazione diretta con successiva analisi dei fenomeni del mondo all’uso di tecnologie sofisticate e matematica avanzata che aiutano lo scienziato nella fase di interpretazione del fenomeno, aggiungono la dimensione della simulazione computerizzata e permettono l’accesso ad ambiti sperimentali del reale inaccessibili all’uomo mediante i suoi soli sensi.

Volendo dare una definizione moderna di “competenza scientifica”, secondo Brigham e colleghi allo studente di oggi si richiede di avere, rispetto ad una disciplina scientifica, una familiarità con i suoi concetti, i suoi modelli e le sue teorie, una comprensione di come in tale disciplina la conoscenza viene scoperta e giustificata e la capacità di utilizzare con efficacia tali informazioni per affrontare nuove indagini personali. Per queste ragioni, gli autori sottolineano come questi obiettivi siano difficili da raggiungere già nel caso della didattica generale, senza neppure considerare le complicazioni che i DSA comportano, e sottolineano anch’essi l’impreparazione al compito che gli insegnanti manifestano.

Un altro nodo della questione sta nei tipi di interventi che si possono fare per venire incontro agli studenti con BES e DSA, spesso indicati in letteratura come adattamenti, accomodamenti o modifiche in maniera intercambiabile; riprendiamo da McGinnis e Kahn (2014) le loro distinzioni e definizioni. Gli “accomodamenti” sono servizi o supporti che riguardano il modo in cui gli studenti accedono al curriculum e all’istruzione o dimostrano l’apprendimento ricevuto; si distinguono in quanto non cambiano il contenuto o le aspettative di rendimento. Le “modifiche”, d’altro canto, adeguano il contenuto o le aspettative di rendimento della lezione o della valutazione al fine di rendere fattibile il successo per lo studente. Gli autori usano il termine “adattamenti” per riferirsi a entrambi i tipi di interventi contemporaneamente (McGinnis e Kahn, 2014; Finson et al., 2011; Nolet e McLaughlin, 2005).

Importante è anche definire il tipo di difficoltà specifiche che gli studenti con DSA incontrano, per comprendere al meglio come intervenire in modo efficace. Ritornando a Brigham e colleghi (2011), essi propongono un quadro di tali difficoltà: le distinguono anzitutto in radici primarie e secondarie, a seconda della loro provenienza. Le difficoltà di origini primarie sono legate alla natura stessa dei DSA, laddove quelle di origine secondaria sono una conseguenza del cattivo inquadramento della situazione dello studente con DSA nella sua prestazione scolastica.

Le barriere all'apprendimento specifico degli studenti con DSA sono complesse e multifattoriali. Guardando a come i DSA sono definiti, è ragionevole aspettarsi dagli studenti con DSA difficoltà di comprensione dei concetti più astratti o concentrazione (Wibowo et al., 2024; Chala et al., 2020; Lin, 2021); difficoltà nell'acquisire informazioni da lezioni, discussioni in classe, libri di testo; difficoltà con le parti più mnemoniche del curriculum scientifico o ad alto carattere matematico; difficoltà nell'espressione scritta e orale che intralciano la possibilità dello studente con DSA di manifestare la propria competenza (F. J. Brigham et al., 2011; Demirdag, 2014; Lerner e Kline, 2006; McNamara, 2007; Scruggs e Mastropieri, 1993).

Difficoltà ulteriori possono discendere da problemi nell'uso della memoria e nel recupero di informazioni già note, da problemi comportamentali e da problemi di motivazione e della percezione di sé nel ruolo di studenti (F. J. Brigham et al., 2011; Cutting e Denckla, 2003; Elbaum e Vaughn, 2003; Hallahan e Kauffman, 2004; Swanson e Zheng, 2014).

In letteratura si avoca molto l'utilizzo di approcci cooperativi, inquiry-based o comunque di stampo attivo, per contrastare queste difficoltà che spesso cozzano con la dinamica tradizionale della lezione frontale e poiché tali interventi si rivelano spesso proficui per studenti con BES (Demirdag, 2014; McGinnis e Kahn, 2014; J. R. Patton, 1995; Scruggs et al., 1993).

Uno studio con questo focus è il lavoro di Pfeifer e colleghi (2023) che esplora l'apprendimento attivo e il modo in cui esso influisce sulle esperienze di studenti con DSA e ADHD iscritti a corsi STEM. Gli autori conducono interviste e raccolgono testimonianze di studenti di questi corsi con un focus sul vissuto in aula, registrando sia i risultati positivi sia le difficoltà che emergono dall'apprendimento attivo: questo a sua volta consiste in una serie di tecniche basate non sulla classica lezione frontale ma su progetti pratici condotti con un misto di lavori di gruppo e discussioni condivise.

Tra i risultati positivi emersi nello studio si sono evidenziati un aumento di motivazione e di interesse per la disciplina, una riduzione dei fattori di distrazione e una migliore gestione del tempo e della concentrazione. D'altro canto, nelle attività di gruppo gli stessi studenti hanno registrato difficoltà di interazione col resto del gruppo, difficoltà nel seguire istruzioni dinamiche e un maggior bisogno di supporto nell'organizzazione delle attività.

Un altro punto chiave che emerge nello stesso paper è quello di una maggiore self-advocacy, la capacità degli studenti di comunicare i propri bisogni e far valere la propria posizione in quanto protagonisti attivi e massimi esperti della propria condizione speciale nel contesto di apprendimento, derivante in questo caso da DSA e ADHD. Far valere la self-advocacy è estremamente importante nell'ottica di sottolineare il protagonismo degli studenti con BES e DSA nel capire la loro condizione nell'ambito scolastico e quali implicazioni essa abbia. Nello studio di Pfeifer e colleghi (2023) emerge il fatto che le dinamiche di gruppo e di partecipazione attiva hanno favorito la capacità degli studenti

di rappresentarsi e far valere i loro bisogni, laddove invece in dinamica di lezione frontale gli stessi faticano a chiedere adattamenti per le loro necessità.

Sono anche presenti diverse meta-analisi in letteratura concernenti la didattica della matematica e il suo adattamento nel caso di studenti con DSA: banalmente ciò è anche dovuto all'evidente cattiva performance degli studenti con DSA in ambito matematico, ben documentata rispetto ad altre discipline scientifiche in letteratura, come sostengono nel loro studio Gersten e colleghi (2009).

Gli autori hanno svolto una meta-analisi per fare il punto degli interventi didattici mirati all'istruzione matematica su studi condotti dal 1971 al 2007. Durante queste ricerche hanno tracciato quattro macrocategorie non esclusive nel quale inquadrare gli interventi descritti negli studi, ovvero: approcci all'istruzione o alla progettazione del curriculum; fornire feedback agli insegnanti relativamente alla resa didattica e alla valutazione formativa degli studenti per progettare meglio altri interventi; fornire feedback agli studenti con DSA relativamente alle loro prestazioni per spingerli all'autoregolazione; istruzione tra pari (peer instruction).

Lo studio dà i seguenti risultati: per tutti i tipi di intervento sul contenuto dell'istruzione gli autori trovano un impatto positivo o neutrale, con l'autoregolazione degli obiettivi degli studenti e la peer-instruction che producono effetti irrilevanti. Gli autori ipotizzano che l'eccessiva difficoltà e il livello di astrazione dei concetti matematici che gli studenti con DSA debbano affrontare non permetta loro di settare obiettivi in maniera efficace, per spiegare il primo risultato di approccio non negativo ma comunque non positivo. È interessante invece notare che la peer instruction produca sulle stesse aree di contenuto risultati positivi per studenti senza DSA che semplicemente performano male in matematica.

Gli autori sottolineano questa interessante differenza e la imputano sia al livello generalmente basso di capacità che gli studenti con DSA tendono a manifestare, sia a delle loro difficoltà intrinseche che l'istruzione tra pari non ha il potenziale di affrontare (Gersten et al., 2009; S. Baker et al., 2002).

In ultima sede Gersten e colleghi concludono che alcune osservazioni spesso presenti in linee guida sull'intervento sui DSA si confermano, come ad esempio l'affiancamento nella risoluzione dei problemi di una componente grafica, che lo scambio di feedback tra studenti e insegnanti ha effetti positivi nel rendere gli insegnanti più coscienti ma non aiuta gli studenti ad autoregolarsi e che tecniche che sembrano promettenti come la peer instruction devono sempre essere ulteriormente testate col dato di realtà per verificarne l'effettiva efficacia.

Jitendra e colleghi (2018) hanno condotto una meta-analisi più recente sempre con un focus su studenti con DSA e difficoltà matematiche, cercando di inquadrare nello specifico gli interventi più efficaci nella didattica di questi studenti e concentrandosi sulle scuole secondarie. In questo studio confermano alcuni dei risultati già sopra detti: registrano anzitutto che gli studenti con DSA performano sistematicamente peggio dei loro pari

senza DSA e che subiscono un rallentamento nel loro sviluppo matematico durante la scuola secondaria.

Tra le ragioni per cui ciò accade gli autori citano il contenuto matematico che diventa via via più astratto e difficile oppure il focus su skill più di basso livello da recuperare, impedendo di accedere a skill più avanzate come lo sviluppo del ragionamento; diventa impossibile passare a concetti per questi studenti più avanzati nel momento in cui ci sono skill più basilari da recuperare, come ad esempio le lacune sulle operazioni di base nella gestione dei numeri.

Gli autori trovano infine un effetto medio sull'istruzione degli studenti con DSA moderatamente positivo, e sottolineano che molti di questi interventi sono stati limitati nel tempo e sono durati meno di un anno, ma hanno prodotto effetti statistici comparabili ad uno sviluppo didattico equivalente di un anno di scuola, alla pari con quanto atteso per gli studenti senza DSA che non manifestano difficoltà scolastiche. Questo risultato sottolinea quanto sia promettente la possibilità di intervenire e approfondire le situazioni speciali degli studenti con DSA, progettando tali interventi con le loro specificità in mente.

2.2 Studi specifici sulla fisica e i DSA

Così come per il trend generale delle scienze, anche nella specificità degli studi concentrati sui DSA e la fisica la letteratura non è molto ampia (Tsigaridis et al., 2022; Chen e Whitehead, 2009; Thibault e Potvin, 2018; Vosniadou et al., 2018).

Un contributo importante sul tema è di Cauchi (2019) che cerca di fare un focus nella sua tesi sul legame tra dislessia e le scienze in generale in termini di verifica e dimostrazione delle conoscenze, riferendosi anche alla fisica. L'autrice discute innanzitutto alcune difficoltà degli studenti con dislessia con il formalismo fisico, il quale richiede agli studenti di scontrarsi con leggi, definizioni e formule quando essi già partono da difficoltà di lettura anche in contesti meno specifici.

Vi possono inoltre essere anche difficoltà di tali studenti in contesti tipici delle scienze come il contesto del laboratorio, parte essenziale di molte discipline STEM. Tale contesto può infatti presentare difficoltà nel caso del maggiore carico di attenzione da porre nelle attività laboratoriali, come l'applicazione delle istruzioni di un esperimento, la gestione del tempo e dello spazio nel laboratorio, la registrazione dei risultati e la presentazione di relazioni scritte.

Un altro elemento importante che l'autrice richiama risiede nelle difficoltà emotive: come in molte discipline scientifiche, porre domande in fisica è essenziale per comprendere la disciplina e i suoi concetti chiave, non solo come strumento di comprensione generico ma come parte attiva della disciplina. Il problema è che gli studenti con un profilo di dislessia tendono a manifestare un maggior livello di timidezza e di sensazione di

incompetenza che li frena dal partecipare attivamente alla lezione e può impedire loro di porre domande quando ne hanno bisogno.

Uno studio molto interessante è stato condotto da Papalexopoulos e colleghi (2008) in cui esplorano la costruzione di un testo scientifico sulla corrente elettrica con un focus su adolescenti con dislessia, inquadrando quattro criteri a partire dai quali hanno progettato e scritto un testo efficace per studenti con dislessia. Il testo è stato poi somministrato a studenti con e senza dislessia per paragonare le loro performance, formando dunque un gruppo sperimentale e un gruppo di controllo: il risultato emerso è che il testo riadattato seguendo quei criteri ha effettivamente prodotto un miglioramento nella comprensione degli studenti con dislessia.

Questi ultimi hanno saputo riconoscere i fenomeni fisici descritti, le quantità ad essi associate e le relazioni tra di esse ad un livello comparabile al gruppo di studenti senza dislessia. Gli studenti con dislessia del gruppo sperimentale hanno però manifestato una maggiore difficoltà con il riconoscimento delle unità di misura rispetto al gruppo di controllo.

Un altro risultato positivo legato all'uso del testo si è mostrato nelle funzioni mnemoniche; solitamente (come abbiamo visto per il legame tra memoria di lavoro e DSA, sezione 1.3) la performance legata all'uso della memoria negli studenti con dislessia è peggiore degli studenti senza, ma gli autori hanno trovato una performance mnemonica migliore negli studenti con dislessia sul testo sperimentale e comparabile al gruppo di controllo senza dislessia. Questi risultati sono promettenti nel credere che interventi sui testi mirati alla condizione degli studenti con DSA possano effettivamente migliorare la loro resa in fisica.

Ferentinou e colleghi (2009) hanno condotto uno studio concentrato su un singolo studente di nome Jimmy, la cui condizione diagnosticata è quella di problemi di lettura, problemi di ortografia (disgrafia), problemi nel raggiungere obiettivi, problemi di funzionamento sociale e mancanza di coinvolgimento nell'attuazione degli obiettivi scolastici. Lo studio voleva indagare l'impatto dell'uso della mappa concettuale come strumento di intervento didattico mirato ai studenti con DSA.

Studi precedenti sull'uso di mappe concettuali per l'insegnamento della scienza hanno dimostrato le potenzialità di questo strumento per stimolare l'interesse degli studenti (gli autori ad esempio citano Kwon e Cifuentes, 2009 oppure Rice et al., 1998) e la sua efficacia nel sostenere gli studenti a differenziare alcuni concetti scientifici.

Ferentinou e colleghi sottolineano inoltre la possibilità mediante uso di mappe concettuali di enfatizzare le relazioni tra i concetti, come ad esempio il legame tra il concetto di velocità e i concetti di spazio e tempo. Tra le potenzialità di questo strumento che essi inquadrano nella ricerca riportano: il modo strutturato e gerarchico di rappresentare i concetti; l'emergere di relazioni tra concetti e la varietà nella presentazione delle informazioni utilizzando una varietà di colori, immagini, forme, schizzi e grafici; la possibilità di apprendere la terminologia scientifica e consolidare nuove informazioni nella memoria a lungo termine; la possibilità di stimolare il coinvolgimento nel processo di insegnamento.

La ricerca di Ferentinou e colleghi (2009) è stata condotta in due fasi, una sperimentale e una di controllo. La differenza tra le due fasi consisteva nell'impiegare o meno le mappe concettuali durante la spiegazione dei concetti di un argomento spiegato allo studente, aiutandolo attivamente a costruirle. Il contenuto della fase sperimentale è stato il concetto di energia, suddiviso in quattro sequenze di istruzione: definizione di lavoro, lavoro prodotto da una forza costante, energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale. Il contenuto della fase di controllo è stato il concetto di pressione, strutturato in tre sequenze: pressione atmosferica, legge di Pascal e galleggiamento. Allo studente sono stati somministrati test per misurare la sua conoscenza su questi argomenti prima dello svolgersi delle fasi e dopo, ovvero pre-test e post-test.

Gli autori hanno osservato che la prestazione di Jimmy tra le due fasi migliora drasticamente con l'intervento delle mappe concettuali. In fase di controllo sui concetti di pressione lo studente ha mostrato solo un piccolo miglioramento tra pre e post test, passando da una valutazione del 50% al 60%, laddove invece nella fase sperimentale Jimmy ha mostrato un miglioramento drastico, passando dal 51% al 95% tra pre e post test.

Tuttavia, nonostante Jimmy abbia dimostrato maggiore competenza e dimestichezza coi concetti della fase sperimentale, durante l'intervista ha dimostrato di non aver nutrito un interesse maggiore sui concetti dell'energia dopo l'intervento. Un solo risultato su un singolo studente non ha valenza statistica, ma quantomeno permette di ipotizzare agli autori e a noi che le mappe concettuali possano essere uno strumento promettente per favorire la didattica della fisica per studenti con DSA; l'invito di Ferentinou e colleghi è quello di svolgere ulteriori studi in questa direzione.

Una review molto interessante è stata pubblicata recentemente da Kontopoulou e colleghi (2024). Essi hanno indagato il legame tra la memoria di lavoro e i DSA sia in generale, sia nella specificità della fisica e di come ciò si intersechi con le difficoltà derivanti da dislessia e discalculia. Come abbiamo visto in precedenza (capitolo 1), il legame tra deficit nella memoria di lavoro e i DSA è confermato in ricerca e da diversi autori si sospetta che la teoria della memoria di lavoro possa spiegare il funzionamento e l'origine dei DSA negli studenti.

Partendo da questa, gli autori sottolineano come la fisica sia un dominio accademico complesso da apprendere e richieda diverse capacità cognitive. Gli studenti devono comprendere il significato dei concetti scientifici correlati all'apprendimento di fatti scientifici astratti, teorie e leggi. Inoltre, viene chiesto loro di sviluppare capacità di ragionamento scientifico legate alla capacità di apprendere e applicare metodi delle scienze complessi come la generazione di ipotesi, la sperimentazione e la valutazione delle prove. Quindi, affinché uno studente sia in grado di apprendere il contenuto complesso e astratto della scienza, è necessario avere la capacità di utilizzare la logica e il pensiero astratto.

La fisica richiede la capacità di concettualizzare e risolvere problemi; per imparare la fisica, gli studenti devono acquisire conoscenze ad essi accessibili per poi utilizzarle. Di conseguenza, gli studenti che memorizzano nozioni di fisica senza comprenderne il significato o il contesto incontrano grandi difficoltà nell'applicare le proprie conoscenze

nella risoluzione dei problemi, la quale a sua volta richiede una comprensione concettuale combinata ad appropriate capacità matematiche e di ragionamento; l'apprendimento della fisica si basa sull'apprendimento della selezione e quindi dell'applicazione della conoscenza dei contenuti (fatti, teorie, idee) utilizzando il pensiero critico.

Richiamiamo dal capitolo 1 la teoria di Baddeley col modello tripartito della memoria di lavoro, le cui componenti principali sono il sistema esecutivo centrale, il loop fonologico e lo sketchpad visuospatiale. Kontopoulou e colleghi, oltre a richiamare implicazioni generali sui risultati di ricerca su queste tre componenti, descrivono alcuni risultati specifici: saltiamo la loro descrizione del funzionamento generale delle componenti, la quale è già stata descritta nella sezione 1.3 di questa tesi.

Gli autori analizzano nella loro review come le due componenti entrino in gioco partendo dai registri semantici che la fisica coinvolge. In fisica i fenomeni e i concetti scientifici astratti vengono analizzati e spiegati utilizzando diversi registri semantici di rappresentazione simbolica tra cui: l'uso di fatti empirici ed esperimenti; rappresentazioni grafiche come diagrammi temporali; modelli teorici; simboli matematici; numeri con unità; elementi dello spazio come raggi e frecce; elementi matematici quali formule, funzioni, equazioni e calcoli. Gli studenti devono dunque mettere in coerenza tra loro questi registri e imparare come le nozioni si trasformano nelle diverse rappresentazioni.

Per esempio, nella valutazione degli esperimenti, vengono utilizzati diagrammi e grafici sul piano, con l'aiuto dei quali vengono visualizzati i dati che sono stati registrati e inseriti nelle tabelle. Pertanto, questi grafici fungono da ponte tra un esperimento o un fenomeno e la formulazione algebrica di una legge fisica.

Le formule contengono termini algebrici con un significato fisico in cui ogni simbolo esprime una quantità reale e osservabile o definisce nuove quantità fisiche a partire dalle osservabili. Utilizzando le formule, in fisica si calcolano valori specifici di quantità e si fanno previsioni quantitative precise che possono essere valutate e verificate. Tra gli elementi matematici, la funzione in fisica richiama il pensiero funzionale, la percezione e l'utilizzo del cambiamento simultaneo delle quantità.

I grafici in questa visione sono essenziali perché forniscono un quadro generale della funzione nel suo insieme. Quando una formula viene considerata come una funzione, si devono individuare le variabili dipendenti e indipendenti e i parametri costanti e, una volta identificate le relazioni di dipendenza delle variabili e le tecniche matematiche, si può ottenere una maggiore conoscenza dei fenomeni fisici.

L'interpretazione e la comprensione nei modelli fisici di rappresentazioni grafiche e diagrammi richiedono capacità di elaborazione spaziale, in quanto sono forme di rappresentazioni visuospatiali. Per la risoluzione di problemi scientifici si deve fare uso di competenze quali la creazione di immagini che schematizzino lo spazio o che raffigurino concetti astratti, e poi subentra anche la competenza di saper trasformare spazialmente queste immagini mentali. La raffigurazione mentale di trasformazioni spaziali presuppone ad esempio la capacità di ruotare mentalmente le immagini, di collegare o correlare

vari elementi grafici e di separare le immagini in parti distinte per analizzare ciascuna parte in maniera singola e distaccata.

Da questa review di risultati, Kontopoulou e colleghi dunque ricavano che la fisica sia una disciplina esigente che richiede una combinazione di lavoro di lettura/linguaggio, procedure di comprensione (ragionamento logico) e analisi visuospaziali. Ciò significa che deve essere possibile per lo studente (con DSA e non) una competenza di lavoro mentale flessibile ed efficace in grado di guidare, coordinare ed eseguire tutte le procedure necessarie per risolvere i problemi di fisica e per avere successo in un compito così complicato la memoria di lavoro è fondamentale, ragion per cui gli studenti con DSA senza specifiche attenzioni sono svantaggiati nell'aver successo in fisica, e nello specifico le persone con dislessia e discalculia, pur manifestando profili specifici diversi nei deficit della memoria di lavoro, risultano complessivamente colpiti da queste peculiarità della disciplina.

Kontopoulou e colleghi arrivano addirittura a coniare il termine “disfisica” per via di queste evidenze e suggeriscono l'introduzione di questa nuova categoria tra i DSA: chi scrive non condivide la loro scelta su questa definizione che non si allinea col moderno quadro teorico sul funzionamento dei DSA² ma non può non sottolineare come il compito richiesto dalla fisica agli studenti con DSA sia arduo senza il giusto inquadramento e capisce dunque il sentimento dietro quella definizione.

Tsigaridis e colleghi (2022) hanno invece condotto un esperimento su piccola scala nel loro studio: in esso 20 studenti delle scuole superiori greche hanno completato una serie di test che misuravano capacità di funzioni esecutive (tra cui la memoria di lavoro e il matrix reasoning) e di risoluzione di problemi di fisica e matematica. I risultati ottenuti indicano correlazioni positive tra capacità di risoluzione di problemi di fisica e capacità matematiche e suggeriscono complesse intercorrelazioni tra la memoria di lavoro e il problem solving. Quando gli autori parlano di funzioni esecutive, si riferiscono ad una serie di abilità tra cui la capacità di valutare diversi approcci, controllare stimoli interni o esterni e il poter pianificare soluzioni a situazioni della vita quotidiana o a problemi avanzati.

Il lavoro degli autori è particolarmente significativo per il fatto che vi sia un legame forte tra funzioni esecutive e ragionamento fisico e a sua volta un forte legame tra funzioni esecutive e competenza matematica. Inoltre, come altri studi, si dimostra un forte legame tra la comprensione fisica e quella matematica. Quest'ultimo risultato è da un lato particolarmente prezioso per poter giustificare anche con il focus sulla fisica risultati che provengono da studi sulla matematica, ma dall'altro lato ciò va fatto con cautela: Tsigaridis e colleghi sottolineano l'importanza della specificità delle discipline scientifiche e le conseguenze di questa specificità.

²Come abbiamo visto nel capitolo 1, i DSA sono infatti inquadrati e spiegati più sul profilo del loro funzionamento generale, e in linea con la proposta del DSM 5 la categoria diagnostica di DSA è in realtà unica; i DSA si differenziano non in quanto condizioni intrinsecamente diverse ma come diversi modi in cui questo disturbo evolutivo si manifesta, secondo questa visione.

Ogni disciplina scientifica ha sì diversi elementi in comune con le altre scienze ma ha anche le sue peculiarità che la contraddistinguono e che dunque necessitano di didattiche diverse, e gli autori sottolineano dunque due conseguenze di questa unicità: il bisogno di condurre studi scientifici che non parlino di “scienza” in generale ma che abbiano per focus le singole discipline e l’obiettivo di superare l’idea di una performance scientifica non ben identificata ed estesa a tappeto su tutte le discipline scientifiche.

Nel loro ragionamento, Tsigaridis e colleghi inquadrano anche altri fattori interessanti per quanto riguarda l’apprendimento della fisica: tra questi richiamano il cambiamento concettuale, un noto fenomeno in didattica della fisica che indica il passaggio o raffinamento di conoscenze di senso comune radicate nell’esperienza quotidiana dello studente a conoscenze accreditate che fanno parte del corpus scientifico. Nel fare questo passaggio si compie uno sforzo notevole e vi sono diverse teorie che ne modellizzano il processo (ad esempio lo storico articolo di Posner et al., 1982 ma per chi volesse approfondire vi sono approcci più moderni, come ad esempio Levrini e Disessa, 2008). Il risultato che ci interessa riportare al fine della presente tesi è che in ricerca emerge la presenza nel cambiamento concettuale di funzioni di inibizione, le quali sono funzioni di carattere esecutivo.

Inoltre, siccome la fisica richiede l’apprendimento di specifiche modalità di problem solving come discusso sopra, Tsigaridis e colleghi concludono che il legame tra le funzioni esecutive e la memoria di lavoro con la fisica possa ritenersi condensato nel riuscire a inibire o integrare con successo la conoscenza a priori dello studente e nel poter affrontare e formulare con successo la risoluzione dei problemi fisici.

2.3 La lettura e la comprensione del testo

La didattica tradizionale è ad oggi principalmente condotta con modalità quali la lezione frontale o i compiti in casa, tutte metodologie con cui si fa istruzione scientifica nelle quali il libro di testo è lo strumento più adottato, un dato confermato al livello scolastico della scuola secondaria nelle ricerche di settore (Seifert & Espin, 2012; Bean et al., 1994; Moin et al., 2009)

Inoltre, in ricerca si conferma che ciò vale anche per la specificità degli studenti con BES e DSA, ovvero che per intervenire nell’istruzione scientifica degli studenti con DSA l’utilizzo del libro di testo rimane fondamentale e questo vale anche per le forme di metodologie didattiche tradizionalmente basate sul suo impiego quali la lezione frontale o i compiti per casa, nonostante ci sia l’invito da parte di diversi ricercatori di sperimentare altre forme di metodologia didattica di stampo più attivo (F. J. Brigham et al., 2011; Huber & Moore, 2002; McGinnis & Kahn, 2014; National Research Council, 2006; Scruggs et al., 1993).

Da questa evidenza confermata a più riprese nasce questa stessa tesi, poiché se l’uso del libro di testo è ancora così cardinale nell’istruzione scientifica vale la pena di

intervenire direttamente sui testi stessi per migliorare la didattica scientifica e offrire un intervento mirato al caso dei DSA. Come però anticipato anche nell'introduzione di questa tesi, questo non vuol dire che si deleghi ad un testo la responsabilità della comprensione o meno del contenuto scientifico: questa responsabilità ricade sempre e soprattutto sull'insegnante, il quale resta la figura principale del successo accademico degli studenti con DSA, dovendo svolgere il compito di garantire e facilitare l'inclusione di quest'ultimi nel contesto classe (Baurhoo, 2020; Hansen, 2013; Havel e Raymond, 2017; Jenson et al., 2011; Nguyen et al., 2006; Stegemann, 2016).

La ricerca conferma anche l'importanza di mettere gli insegnanti in condizione di poter effettuare adattamenti per studenti con BES; per "metterli in condizione" si intende sia la necessità di risorse fattuali quali il tempo o i materiali, sia di ambiente scolastico favorevole e cooperativo. Studi mostrano che tali adattamenti a detta degli insegnanti producono effetti positivi (McGinnis & Kahn, 2014; Fuchs et al., 1995; Scott et al., 1998).

La ricerca ha inoltre validato l'intervento di insegnanti che presentino il materiale in maniera entusiasmante, sia nel migliorare la ricezione del contenuto in sé che nella risposta comportamentale degli studenti coinvolti, i quali dimostrano maggiore interesse e partecipazione in risposta a tali approcci (F. J. Brigham et al., 2011; F. J. Brigham et al., 1992).

Per ciò che abbiamo visto sinora, è ragionevole aspettarsi che il testo scientifico crei difficoltà negli studenti con DSA, ed infatti tendenzialmente essi hanno meno successo in discipline scientifiche anche a causa dei testi (Scruggs e Mastropieri, 2007; Villanueva et al., 2012; Parmar et al., 1994; Shepard e Adjogah, 1994; Steele, 2004).

Questo problema trascende anche gli studenti con DSA e si estende ai BES in generale, anche a causa del compito arduo per l'insegnante: questo infatti dovrebbe avere dimestichezza e conoscenza dei vari tipi di condizioni, disturbi e disabilità che possono presentarsi, tenersi aggiornato sui vari materiali digitali e cartacei ad oggi esistenti e spesso con il difetto di offrire una "taglia unica" all'approccio didattico. La mancanza di variazione di approccio nei materiali e le enormi specificità che emergono tra i BES possono creare notevoli difficoltà di progettazione per l'insegnante (Villanueva et al., 2012; Pisha & Stahl, 2005; Rose & Meyer, 2002).

Un primo concetto importante da richiamare è dunque il processo di comprensione del testo, ovvero il processo mediante il quale lo studente e il lettore in generale acquisiscono informazioni dalla lettura di materiale scritto. Un modello semplificato di comprensione del testo prevede la decodifica del testo, la conoscenza delle parole e una rete generale di conoscenza come prerequisiti per un processo in due step, composto da una fase di lettura dove il lettore acquisisce le parole da interpretare dal materiale e una fase di acquisizione del significato dove il lettore interpreta il contenuto di tali parole³ (Botsas,

³Usando definizioni tipiche della semiotica, ciò vorrebbe dire avere una prima fase dove il lettore acquisisce il significante dal materiale scritto e una seconda fase dove estrae dal significante il significato che esso contiene.

2017; Kintsch, 1998; Sideridis et al., 2006; Snow, 2002).

Però, diversi studi in ricerca⁴ suggeriscono che bisogna complicare il modello aggiungendo una terza fase o livello di analisi, quello della cognizione e della metacognizione, in quanto i lettori abili dimostrano di fare uso di strategie ascrivibili ad esse, per esempio regolando i tempi di lettura, facendo previsioni sul contenuto, tornando a rileggere passi già letti e tutta una serie di strategie. In ricerca si conferma che la competenza di lettura è correlata positivamente con la conoscenza e l'impiego di strategie esplicite, dunque lettori abili dimostrano un uso efficace e ampio di tali strategie e lettori meno abili dimostrano un uso limitato o nullo e di basso livello nella prestazione di tali strategie (Botsas, 2017; L. Baker, 2002; Cain, 2009; Duke e Pearson, 2009; Kendeou et al., 2007; Pressley e Gaskins, 2006).

Ciò è particolarmente rilevante per gli studenti con DSA poiché essi si dimostrano spesso lettori poco strategici, sia nella pianificazione che nelle strategie scelte: tendono infatti a selezionare strategie più superficiali come il ritornare indietro nella lettura invece di strategie più avanzate come l'uso di riassunti o di pause di riflessione e dimostrano poca o assente regolazione sul tempo e i modi di lettura (Botsas, 2017; Berkeley et al., 2010; Botsas e Padeliaadu, 2000; Klingner et al., 2015; Pressley e Gaskins, 2006).

Inoltre, sulla resa generale in ricerca emerge che i livelli di lettura di studenti con DSA di scuola secondaria sono spesso di resa inferiore se comparati ai loro pari senza DSA, ad un livello che è paragonabile a quello di studenti di uno o più anni indietro nel percorso scolastico (Seifert e Espin, 2012; Deshler et al., 1982; Levin et al., 1985; Parmar et al., 1994; Warner et al., 1980).

Per dare una definizione più chiara, quando parliamo di strategie di lettura intendiamo una serie di azioni e pianificazioni che il lettore attua soprattutto quando la lettura diretta si fa più difficile; le strategie si distinguono dalle abilità di lettura generali che il lettore possiede e che attua senza porvi coscienza, ponendo dunque le strategie sul livello della metacognizione in quanto esse sono “procedurali, spinte da uno scopo, faticose, volontarie, essenziali e facilitative” (Mason e Hedin, 2011; Alexander et al., 1998; Craig e Yore, 1996).

Mason e Hedin in particolare (2011) mettono l'accento su quanto sia importante intervenire sulla dimensione cognitiva e metacognitiva dell'autoregolazione con gli studenti con DSA, non solo per i risultati positivi che essa comporta ma poiché senza interventi espliciti e diretti tali studenti tendono ad ignorarla. Sempre sul tema ma nell'ambito parallelo del problem solving matematico, risulta che gli studenti con DSA tendono a non pianificare e a combinare casualmente gli elementi di un problema (come ad esempio numeri in un problema di aritmetica o algebra) nella speranza di trovare una soluzione immediata, come sottolineano gli autori dalla loro review di altri studi di settore.

La verbalizzazione degli studenti (strategia che spinge gli studenti a ragionare ad alta voce) sembra produrre risultati positivi in questa direzione, aiutandoli a prendere

⁴Come alcuni studi che vedremo dopo tra cui il già sopracitato studio di Botsas (2017).

coscienza del loro ragionamento nel momento in cui essi vengono spinti ad esprimerlo. Anche le strategie euristiche (ovvero dove l'insegnante in maniera euristica inquadra i problemi e propone il modo di ragionare in alcune loro parti) producono un effetto positivo e sembrano andare nella direzione dell'autoregolazione (Gersten et al., 2009; Fuchs et al., 2003).

Dunque, possiamo concludere nel caso degli studenti con DSA che i problemi di lettura si manifestino su tutti e tre i livelli di comprensione del testo, ed è ragionevole aspettarsi difficoltà sul piano della lettura, della comprensione e della metacognizione: quest'ultima conclusione, per quanto si è appena visto, e le prime due basandosi sulle evidenze di carattere generale emerse nel capitolo 1.

Per questa ragione, spesso in letteratura si parla di intervenire sull'accessibilità stessa dei materiali di lettura per persone dislessiche o con DSA. Oldreive e Waight (2013) mettono in guardia su questa visione, in quanto è una misconcezione pensare ad un qualsiasi materiale come intrinsecamente accessibile o meno; ogni materiale è accessibile a un certo gruppo di individui o gruppi per il solo fatto di esistere. L'accessibilità assoluta, ovvero estesa a chiunque, non esiste, e gli autori ci invitano a pensarla in termini di due elementi: l'abilità richiesta a chi legge per comprendere il materiale e fino a che punto esso viene incontro alle necessità di chi lo legge nel modo in cui è fatto. Definiscono dunque l'informazione accessibile non come quella in qualche modo intrinsecamente chiara ma come quella per cui in fase di progettazione vi sia stato un tentativo esplicito di farla venire incontro alle necessità di persone con DSA.

Una prima linea di intervento, considerate soprattutto le specificità di studenti dislessici, è quella di migliorare la fluidità di lettura, ovvero la capacità del lettore di cogliere quante più parole possibili dal testo, legata dunque alla prima fase nel modello a tre fasi di cui parliamo sopra. Idealmente, favorire la fluidità di lettura permette allo studente di concentrare meno risorse cognitive sul compito della decodifica testuale e di concentrarsi sul contenuto e il significato del testo (Seifert e Espin, 2012; Fletcher et al., 2007; Fuchs et al., 2001; LaBerge e Samuels, 1974; Mercer et al., 2000).

Uno studio che apparentemente sembra contraddire questa idea è stato pubblicato da Cruz Neri e Retelsdorf (2022) in uno studio non focalizzato sul testo scientifico ma dai risultati comunque interessanti: lo studio in questione ha analizzato gli effetti della semplificazione linguistica di domande di verifica dell'ambito scientifico.

I risultati sono stati negativi: la sola semplificazione linguistica non ha portato ad alcun miglioramento sostanziale della resa degli studenti con DSA con difficoltà di lettura, registrando inoltre una resa di questi studenti sostanzialmente inferiore se paragonata a studenti dello stesso livello senza DSA. L'idea dello studio è dunque che se la complessità linguistica dei quesiti è elevata allora gli studenti perdono risorse cognitive soltanto per decifrare i quesiti, impedendo di poter dimostrare appieno la loro competenza scientifica. I risultati dello studio suggeriscono che questa visione è fin troppo semplicistica e che bisogna indagare oltre la banale semplificazione lessicale e sintattica dei quesiti per ottenere una migliore comprensione.

Chi scrive ritiene che questo risultato sottolinei ulteriormente l'importanza della dimensione cognitiva e metacognitiva nella comprensione del testo e che tale risultato possa essere interpretato nell'ottica di un approccio banale in quanto non va al nocciolo del problema, ovvero la presa di coscienza che la cognizione e la metacognizione implicano, e anticipa qui questa osservazione che verrà rinforzata da evidenze presenti nella prossima sezione del capitolo.

2.4 Il libro scientifico quale testo espositivo

Il testo scientifico è da anni analizzato in letteratura mediante la categoria del testo espositivo, che delinearono poiché il libro di testo di fisica è un suo sottocaso. Il testo espositivo è scritto col fine di comunicare dati, teorie e fatti nuovi o comunque non familiari, con una struttura spesso complessa e difficile da prevedere (Bakken & Whedon, 2002). Si contrappone in questo al testo narrativo, caratterizzato dallo scopo di comunicare una storia e che dunque lo rende lineare nella struttura e grosso modo prevedibile nello svolgimento della narrazione. Il testo espositivo ha l'obiettivo di spiegare e descrivere al lettore nuovo contenuto radicato nella verità e nell'evidenza empirica (Mason & Hedin, 2011; Graesser et al., 2002).

Mason e Hedin (2011) riprendono da Saenz e Fuchs (**saenz2002examining****saenz2002examining**) quattro caratteristiche che rendono il testo espositivo ostico per studenti con DSA: le strutture testuali non familiari, la densità concettuale, la complessità lessicale e il requisito di conoscenza a priori. L'abbondanza di strutture del testo è documentata in ricerca e da una review condotta dagli autori essi trovano: liste di nozioni, confronto e contrasto, sequenze temporali, sequenze procedurali, problema e soluzione, classificazioni, definizioni di concetti e relazioni di causa ed effetto (Mason e Hedin, 2011; Armbruster et al., 1987; Bakken e Whedon, 2002; Englert e Hiebert, 1984).

Il problema con questa enorme varietà sta nel fatto che gli studenti possano avere poca familiarità con esse e perdere il senso del discorso, non cogliendo gli elementi che la struttura tenta di esporre; in questo senso la conoscenza della struttura del testo o comunque la familiarità con essa è prerequisito estremamente importante per la lettura efficace di quel testo (Englert & Hiebert, 1984; Kintsch & Van Dijk, 1978). Dunque insegnare agli studenti con DSA le strutture che possono figurare nel testo espositivo o comunque allenarli in quella direzione può rendere tale testo più accessibile a tali studenti (Bakken & Whedon, 2002).

Per densità concettuale si intendono sia il tasso di apparizione di nuovi vocaboli e concetti nel testo, sia la comparsa di relazioni logiche e causali che via via divengono più astratte all'avanzare del testo stesso (Mason & Hedin, 2011; Dreher & Singer, 1989; Gersten et al., 2001). Questa peculiarità va a pesare sui problemi di lettura relativamente alla sfera del linguaggio, comportando uno sforzo su competenze di cui gli studenti con DSA sono spesso carenti (F. J. Brigham et al., 2011; F. Cawley & Parmar, 2001).

Purtroppo, il testo espositivo tendenzialmente non presenta in maniera consistente gli argomenti che vuole trasmettere, in quanto non fornisce abbastanza esempi o spiegazioni nell'ottica di spiegare concetti o passaggi legati alle idee principali (Mason & Hedin, 2011; Dornisch et al., 2011). Il testo espositivo adopera strutture testuali e una generale organizzazione che risultano imprevedibili e inconsistenti, differenziandosi in ciò notevolmente dal testo narrativo che invece risulta più lineare e prevedibile (Mason & Hedin, 2011; Bakken & Whedon, 2002).

Quando parliamo di complessità lessicale ci riferiamo alle difficoltà legate alla sfera del lessico e del vocabolario. Il testo espositivo presenta spesso paragrafi fin troppo densi a causa di parole non familiari, multisillabiche e di livello estremamente tecnico (Seifert e Espin, 2012; Shankweiler et al., 1996; Yager, 1983; Yovanoff et al., 2005); una possibile difficoltà legata ai vocaboli può scaturire dalla novità e dal livello tecnico dei termini (Mason & Hedin, 2011; Fang, 2006), mentre un'altra origine di ostacoli può discendere dal fatto che i termini nella frase risultino estremamente importanti ai fini del ragionamento ma non capaci di catturare l'attenzione del lettore, dunque passando inosservati (Mason & Hedin, 2011; Alexander & Jetton, 1996).

Queste evidenze sono delicate in quanto il lessico posseduto dagli studenti risulta essere un forte predittore di successo in area scientifica ed è un elemento critico per il successo accademico e la comprensione testuale; di anno scolastico in anno scolastico il vocabolario necessario cresce notevolmente e con esso cresce il requisito per poter stare al passo con le materie scientifiche (Mason e Hedin, 2011; Borsuk, 2010; Espin e Foegen, 1996; Roberts et al., 2008).

Se ciò non bastasse, si registra nello specifico degli studenti con DSA un gap nel lessico molto presto nel loro percorso di studi, e col tempo questo gap non fa che peggiorare; ciò genera un circolo vizioso che rende tali studenti soggetti ad una duplice difficoltà tra il vocabolario ignoto e l'intrinseca difficoltà dovuta al contenuto scientifico (Mason & Hedin, 2011; Ebberts & Denton, 2008).

Infine, parlando della conoscenza a priori ci si riferisce alle conoscenze pregresse di quella disciplina scientifica necessarie a poter affrontare un brano di testo espositivo. Sfortunatamente, spesso gli studenti con DSA possiedono conoscenza a priori scarsa o inesistente assieme a difficoltà di lettura e con concetti particolarmente astratti, il che complica ulteriormente il quadro della loro comprensione (Botsas, 2017; Gersten et al., 2001; Saenz & Fuchs, 2002).

Purtroppo è comune che studenti con DSA affrontino il contenuto scientifico con una conoscenza a priori insufficiente o arricchita di misconcezioni (Mason & Hedin, 2011; McCormick, 1992). Questa carenza di conoscenza a priori aggrava la situazione degli studenti con DSA, poiché insegnare contenuto scientifico che non sia al livello di ciò che essi conoscono può produrre effetti controproducenti in termini di impiego di risorse cognitive e abilità metacognitive. Infatti, tali studenti possono abituarsi a questa carenza di comprensione e abituarsi all'aspettativa di ottenere sistematicamente una cattiva com-

preensione, rinforzando dunque pessimi comportamenti (Mason & Hedin, 2011; Otero, 2002).

Intervenire sui testi scientifici stessi è dunque cruciale alla luce di queste loro peculiarità negative: ad oggi nella scuola ci si aspetta dagli studenti che siano capaci di consultare questi testi in maniera indipendente e di trarne informazioni, ma con questo scopo spesso i libri scientifici pongono ulteriori ostacoli poiché risultano scritti male, falliscono nel fornire adeguatamente definizioni e lessico e sono organizzati in modo inconsistente (Seifert e Espin, 2012; Armbruster, 1984; M. A. Mastropieri et al., 2003; M. A. Mastropieri et al., 2006; Scruggs e Mastropieri, 2007). Relativamente alla complessità lessicale e alla conoscenza a priori vi sono enormi ostacoli nel testo espositivo per studenti con DSA (F. J. Brigham et al., 2011; F. Brigham et al., 2007) e limitarsi ad mettere gli studenti con DSA alla pari con studenti senza DSA riguardo la conoscenza a priori non basta e non produce risultati significativi (Mason & Hedin, 2011; Carr & Thompson, 1996).

Dopo aver inquadrato il problema, come intervenire allora? Una prima osservazione è sicuramente quella di favorire la cognizione e la metacognizione. Studenti con DSA che affrontano il testo espositivo adoperando strategie di riassunto e di inquadramento di strutture nel testo hanno dato una performance migliore di altri studenti con DSA non istruiti in questo compito (Armbruster et al., 1987). Quando studenti con DSA sono invece messi alla prova sul testo espositivo e confrontati con pari senza DSA, tendono a fare più fatica, coscienti di dover fare uno sforzo maggiore nel regolare le loro limitate risorse di memoria di lavoro ma incapaci da soli di attuare strategie, laddove gli studenti senza DSA tendono ad accusare pure la difficoltà intrinseca del testo espositivo ma possono attuare strategie di monitoraggio sulla lettura per facilitarsi il compito (Botsas, 2017).

L'uso di strategie cognitive e metacognitive favorisce una migliore comprensione del contenuto scientifico nel testo espositivo (Botsas, 2017; L. Baker, 2002; Duke e Pearson, 2009; Kendeou et al., 2007) ed insegnare agli studenti esplicitamente tali strategie fa sviluppare loro tali dimensioni per ottenere questo miglioramento, portando a risultati decisamente promettenti (Mason e Hedin, 2011; M. A. Mastropieri e Scruggs, 1997; Berkeley et al., 2010; Gajria et al., 2007; Jitendra et al., 2011).

Per parlarne in maniera più esplicita, strategie mirate al riassunto e alla comprensione di idee principali producono effetti modesti su studenti con DSA, che però si incrementano in risultati importanti nel momento in cui si aggiungono strategie di autoregolazione. Questo tipo di strategie possono consistere in step di riflessione come la lettura di un paragrafo, la comprensione di esso e il tentativo di dire a parole proprie cosa intendesse; oppure possono consistere in strategie dove si inquadrano esplicitamente l'idea principale e i dettagli ininfluenti. Questo tipo di interventi sono modesti ma diventano importanti qualora allo studente con DSA si aggiunga la dimensione dell'automonitoraggio, ovvero un controllo cognitivo e metacognitivo su come quelle informazioni vengono acquisite, per esempio se sono coerenti col resto delle conoscenze possedute, se, rileggendo tali idee,

abbiano senso e così via (Mason e Hedin, 2011; Brown e Day, 1983; E. S. Ellis e Graves, 1990; Gajria et al., 2007; Gajria e Salvia, 1992; Graves, 1986; Graves e Levin, 1989; Jitendra et al., 2000; Wong e Jones, 1982).

Un altro risultato promettente sta nell'anticipare la struttura stessa del testo espositivo, in quanto ciò aiuta gli studenti con DSA ad effettuare una lettura più proficua; in questi interventi si rende esplicito allo studente quando il testo ad esempio presenti una lista di fatti o una sequenza temporale o una singola idea principale. Risultati di ricerca dimostrano una comprensione del testo migliorata in termini di richiamo immediato e a lungo termine delle idee che il testo voleva comunicare qualora gli studenti vengano istruiti in questa direzione (Mason e Hedin, 2011; Bakken et al., 1997; Gajria et al., 2007; Williams et al., 2004; Williams et al., 2005).

Un'altra linea di intervento può stare nei miglioramenti del testo; questi possiamo definirli come prassi e routine legate al testo mirate a migliorare specifiche performance degli studenti relativamente a comprensione, richiamo, organizzazione e identificazione del contenuto del testo; tra le strutture organizzative nello specifico si identificano elementi grafici quali mappe concettuali oppure elementi che riorganizzano l'informazione in "unità di studio" come la suddivisione in paragrafi (Mason & Hedin, 2011; Lenz et al., 1994).

Infatti, vi sono evidenze sul fatto che l'organizzazione spaziale del testo espositivo sia fondamentale per il successo di tale apprendimento; interventi in questa direzione hanno dato risultati promettenti, migliorando il richiamo di informazioni chiave da parte di studenti con DSA (F. J. Brigham et al., 2011; F. Brigham, 1992).

Anche l'uso di organizzatori grafici come box per le formule o grafici opportunamente posizionati sembrano produrre risultati positivi (F. J. Brigham et al., 2011; Bergerud et al., 1988; Bulgren et al., 2002; T. Lovitt et al., 1986; T. C. Lovitt e Horton, 1994; Scruggs, Mastropieri, Berkeley et al., 2010) e l'evidenziatura di elementi chiave nel testo quali domande o obiettivi di apprendimento o box con glossario aiuta gli studenti con DSA con l'organizzazione delle informazioni (Demirdag, 2014; MacArthur e Haynes, 1995; Mason e Hedin, 2011; Polloway et al., 2005; Salend, 2005). Con una migliore capacità organizzativa gli studenti con DSA hanno una possibilità di rivedere conoscenze pregresse, chiarire lo scopo della lettura e rivedere vocabolario scientifico astratto e difficile prima di certe componenti di lettura a loro assegnate (Demirdag, 2014; Friend e Bursuck, 2002).

Anche l'uso di elementi mnemonici nel testo o di tecniche in questa direzione è stato validato in ricerca (F. J. Brigham et al., 2011; M. A. Mastropieri et al., 1985). L'uso di tecniche mnemoniche come sigle di memorizzazione e interventi simili producono risultati significativi nel migliorare la performance di studenti con DSA con il testo espositivo; tali strategie sono esplicite e se confrontate con la memorizzazione classica, ovvero priva di approcci consapevoli, risultano essere molto più efficaci (Mason e Hedin, 2011; Bulgren et al., 1997; Scruggs e Mastropieri, 2000; Scruggs, Mastropieri, Berkeley et al., 2010; Terrill et al., 2004). Altri elementi efficaci nel migliorare il testo possono consistere in

analogie o strutture testuali la cui funzione sia quella di creare connessioni tra il testo e la conoscenza dello studente (Mason & Hedin, 2011; M. Mastropieri & Scruggs, 1994).

Favorire la conoscenza di vocabolario di settore relativamente a una certa area di contenuto migliora in positivo la lettura e la comprensione del testo, dunque un altro intervento potenzialmente efficace può essere quello di potenziare attivamente il lessico scientifico degli studenti e di includere nei testi elementi quali glossari che favoriscano l'acquisizione e il richiamo dei termini tecnici (Seifert e Espin, 2012; Bryant et al., 2003; Cassidy e Cassidy, 2007; International Reading Association, 2003; Van den Broek et al., 2005).

Riportiamo infine da Papalexopoulous e colleghi (2008) i criteri che hanno inquadrato nella ricerca per costruire il loro testo sperimentale, i cui risultati dello studio abbiamo già riportato in una sezione precedente e che ricordiamo che avessero prodotto un risultato positivo in studenti con dislessia nell'affrontare un testo di fisica adattato. Quella qui inclusa è una traduzione il più letterale possibile per fare da chiusura al gruppo di interventi legati alla modifica e alla progettazione dei testi:

- “Criterio 1: La parte verbale del testo dovrebbe includere parole familiari agli studenti con dislessia in modo da poterle riconoscere facilmente e andare oltre le loro pessime capacità mnemoniche (Ornstein & Carstensen, 1991; Nelson & Warrington, 1980; Howes et al., 2003)
- Criterio 2: l'informazione della parte verbale dovrebbe essere contenuta anche nella parte raffigurativa, così che ambo gli emisferi degli studenti con dislessia vengano stimolati. (Bakker, 1992) Nel caso di parole che simbolizzano concetti fisici difficili, la rappresentazione ottica degli elementi di base di tali concetti è una soluzione proposta (McCoy, 1988).
- Criterio 3: le immagini del testo dovrebbero essere semplici ed esplicite così che gli studenti non incontrino difficoltà di lettura (Reid et al., 1983; Seitz e Scheerer, 1983; Rakow e Gee, 1987). Le immagini dovrebbero avere le seguenti caratteristiche: a) Un disegno abbozzato è preferibile invece delle fotografie e dovrebbe spiegare le informazioni incluse nella parte verbale delle domande (Drewniak e Kunz, 1992). b) La differenza tra le dimensioni degli oggetti rappresentati e di quelli in natura dovrebbe essere minima (Newton, 1984). c) I simboli delle quantità fisiche che rappresentano più di un significato dovrebbero essere chiariti (Stylianidou et al., 2001)
- Criterio 4: L'organizzazione e la presentazione dell'informazione inclusa nelle parti verbale e raffigurativa del testo dovrebbe avere le seguenti caratteristiche: a) L'informazione dovrebbe essere organizzata con lo scopo di enfatizzare i concetti di base del testo; in questo modo, il cervello degli studenti mantiene i concetti

nella memoria a lungo termine come informazioni estremamente importanti (Ornstein e Carstensen, 1991; Fields, 2005). b) se possibile, l'informazione dovrebbe essere rappresentata in forme alternative come tabelle o dati, diagrammi e così via (McCoy, 1988; Trott, 2003).”

Anche accomodamenti che utilizzino la multimedialità e un diverso accesso ai materiali hanno un grosso potenziale. Lewis e colleghi (2010) hanno esplorato l'accessibilità di un testo di matematica fornendo a due gruppi, controllo e sperimentale, una copia cartacea e una copia in accesso virtuale dello stesso testo, per venire incontro a studenti con DSA; lo studio ha registrato un miglior accesso alla fonte in versione digitale sia mediante indagini mirate che con i voti ad alcune verifiche. Gli autori sottolineano come la leggibilità di un testo sia un requisito chiave per la sua fruibilità e i software text-to-speech aiutino in questo obiettivo nei casi di dislessia più gravi.

Più la gravità delle difficoltà col libro di testo di matematica derivanti da DSA peggiorano, più il beneficio che viene tratto nell'uso di software text-to-speech si fa sentire, alleviando la fase di decodifica testuale alla quale si deve dedicare meno tempo, potendosi focalizzare sul contenuto sbloccando risorse di memoria di lavoro e dunque alleviando il carico cognitivo dello studente (P. Lewis et al., 2010; A. Lewis, 2001; Raskind & Higgins, 1995).

La ricerca sul testo espositivo ci ha dunque permesso di poter fare un quadro più dettagliato della situazione e di preparare la strada alla successiva analisi dei libri di testo. Chi scrive però deve sottolineare ancora una volta come sia necessario in ricerca approfondire rispettivamente il tema del rapporto tra scienza e DSA, il tema del rapporto tra fisica e DSA e il tema del libro di testo di fisica nelle sue specificità.

Bisogna ancora una volta sottolineare come siano necessari interventi sul fare educazione scientifica e sulla lettura specificatamente per ogni area di contenuto ed evitando di guardare alla scienza come ad un unico blocco. Interventi mirati sulla lettura di studenti con DSA in una specifica area di lettura non si trasferiscono automaticamente tra altre aree e dunque rischiano di non essere proficui se generalizzati senza criterio (Seifert & Espin, 2012; Biancarosa & Snow, 2006; F. Cawley & Parmar, 2001).

Cionondimeno, con le informazioni sinora presentate e un quadro generale della situazione in mente, proseguiamo adesso a presentare lo strumento di analisi per i libri di testo e le sue applicazioni nei capitoli successivi.

Capitolo 3

La dimensione linguistica e lo strumento di analisi del libro di testo

3.1 La nascita dello strumento di analisi: una proposta linguistica

Finora in questa tesi abbiamo tracciato un quadro teorico che riguarda i DSA nelle loro generalità e nelle specificità che riguardano il rapporto con la fisica e le scienze. Lo scopo di questa ricostruzione è quello di poter applicare queste nozioni ad una lettura critica del libro di testo di fisica. In letteratura non sono stati trovati lavori che hanno approfondito l'inclusività e l'accessibilità dei testi di fisica mediante uso di specifici strumenti.

Per provare ad intervenire su questa mancanza lo strumento di analisi sviluppato non è stato costruito da zero, ma si è ripreso il lavoro di Polverini (2022). Nella sua tesi l'autrice ha sviluppato una lente di analisi per analizzare i testi di fisica relativamente all'argomento del moto parabolico per indagare quali immagini di disciplina e interdisciplinarietà tra matematica e fisica emergessero dal testo. Lo strumento sviluppato analizzava il testo sia attraverso una lente epistemica sia linguistica.

La lente epistemica è stata costruita partendo da un quadro teorico nell'ambito della Natura della Scienza (Nature of Science, NOS) sviluppato in filosofia della scienza (Irzik e Nola, 2011) e poi ricontestualizzato nella ricerca in didattica della scienza (Erduran et al., 2014): il Family Resemblance Approach. Questo quadro ha permesso di indagare se e quali caratteristiche tipiche della fisica fossero riconoscibili nel testo. In figura 3.1 si riporta la lente sviluppata nella tesi per quanto riguarda la dimensione linguistica, che è il punto di partenza per la realizzazione della lente per l'analisi critica dei testi scolastici.

Levels	Questions	Analytic focus	Goals
Textual	<ul style="list-style-type: none"> - How does the information develop? - What codes, in addition to the natural language, are present? What functions do they have? How do they dialogue with the main written text? - Is there information that remains implicit? 	<ul style="list-style-type: none"> - Observation of the text in its information blocks (i.e. paragraphs); - Observation of how the various codes interact with each other. 	<ul style="list-style-type: none"> - Check what images of the disciplines emerge.
Syntactic	<ul style="list-style-type: none"> - Does the paratactic or hypotactic structure prevail? - What types of subordinates are present in the text? - What relationships are established between the various clauses of information? 	<ul style="list-style-type: none"> - Analysis of grammar and syntax of clauses. 	<ul style="list-style-type: none"> - Point out the structure of information and its richness.
Lexical	<ul style="list-style-type: none"> - Which physics' words are technical terms? Which are mathematical terms? - Which highlighted technical terms do occur most frequently? - What are the most frequent verbs? What kind of verbs are they? What meanings do they convey? 	<ul style="list-style-type: none"> - Use of a dictionary, to check all the potential meanings of a term and also its fields; - Count words and verbs and analyse their meaning and frequency; - Analysis of portions of text containing technical terms from different fields. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cluster and quantify the presence of technical terms relating to physics, mathematics, or positioned in their boundaries; - Observe what images of the disciplines emerge from the used verbs.

Figura 3.1: La lente di analisi originale, sviluppata da Polverini (2022), p. 34.

Il testo esiste fondamentalmente sul piano linguistico come strumento didattico e dunque va affrontato da quel punto di vista per poter essere interpretato correttamente.

L'analisi che dunque viene svolta da Polverini (2022) si svolge mediante tre dimensioni specifiche, relativamente a contenuto, lessico e sintassi. Richiamiamo dalla tesi le definizioni:

- **Livello testuale.** È il livello dove è possibile osservare la progressione tematica e la struttura generale del testo, e come essa descrive l'intreccio della matematica e della fisica. Abbiamo osservato la progressione tematica (se sia lineare o meno), l'uso dei connettivi, la ripetizione, il contenuto implicito, ecc.. Questo livello può evidenziare come diverse parti del testo comunicano tra loro al fine di consegnare al destinatario il significato che era previsto.
- **Livello sintattico.** È il livello che rivela la prevalenza di coordinate o subordinate e, dunque, indica la complessità dell'argomentazione proposta, i collegamenti logici tra diverse porzioni delle frasi e del testo.
- **Livello lessicale.** È il livello costituito da una particolare terminologia utilizzata nel testo, ed è fondamentale per osservare il lessico scientifico e la sua appartenenza alle diverse discipline. Questo livello può dirci, in approssimazione di prim'ordine, quanto del lessico delle diverse discipline sia presente e quali siano queste discipline; inoltre, questa analisi permette di considerare ulteriormente se e quali termini appartengano ad una o più discipline. Un'attenzione particolare è stata rivolta al tipo di verbi usati e come essi esprimano una certa immagine delle discipline.

Polverini (2022) si concentra anche sulle peculiarità del linguaggio scientifico, con l'obiettivo di individuare gli elementi che caratterizzano le scienze come discipline. A tal fine, conduce un'analisi approfondita della successione tematica del testo, distinguendo i temi e gli ambiti di elaborazione propri della matematica e della fisica.

La presente tesi riparte dallo strumento realizzato nella tesi e dai tre livelli con lo scopo di rielaborare la lente per valutare il carico cognitivo che elementi del testo possono comportare o alleviare. Prima di presentare come la lente è stata adattata per fare una lettura critica del carico cognitivo che il libro di testo di fisica comporta, riportiamo nella prossima sezione degli studi che mettono in luce nella teoria sui DSA temi relativi al focus linguistico sui testi, in modo da poter rispondere alla seguente domanda di ricerca: come possiamo misurare il carico cognitivo che la lettura del libro di testo di fisica provoca nello studente con DSA? Alla luce di queste informazioni nelle sezioni successive stabiliremo il diverso significato delle dimensioni linguistiche e la forma finale della lente di analisi, condensando i risultati emersi dalla ricerca finora elaborata in questi tre capitoli.

3.2 I DSA, le difficoltà sul piano linguistico, le dimensioni di analisi

In ricerca il legame tra le abilità linguistiche e la dislessia sono stati indagati ampiamente, e il consenso comune di diversi studi attribuisce le difficoltà che si manifestano nella dislessia non soltanto al conclamato deficit fonologico ma anche a tutta una serie di abilità cognitive legate alla sfera del linguaggio (Sevcenco et al., 2014; Bar-Shalom et al., 1993; Fiorin et al., 2010; Mann et al., 1984; Smith et al., 1989; Stein et al., 1984; Tunmer et al., 1988; Tunmer e Hoover, 2017; Tunmer et al., 1987; Vellutino et al., 1979; Vender et al., 2011; Wiseheart et al., 2009).

La natura di questo legame non è affatto banale, e questa considerazione complica il quadro della comprensione del testo. Le abilità di decodifica del lettore sono largamente legate alle sue abilità fonologiche, che come abbiamo già sottolineato risultano compromesse nel soggetto con dislessia. A sua volta, lo sviluppo di queste abilità fonologiche è correlato alle abilità di decodifica, rendendo l'influenza tra le due sfere non lineare: non si può stabilire quale delle due sia la causa e quale sia l'effetto essendovi un feedback tra queste abilità, una reciprocità intrinseca.

Inoltre, la comprensione delle frasi scritte dipende da una varietà di fattori estremamente ampia, dove troviamo anche ma non solo il processamento fonologico e le risorse di memoria di lavoro, che nei lettori con dislessia sono deficitarie (Leikin e Bouskila, 2004; Brady e Shankweiler, 1991; Breznitz e Leikin, 2000; Deutsch e Bentin, 1996; Ferstl e Flores, 1999; Fowler, 1988; Perfetti et al., 1999; Shankweiler et al., 1992; Shankweiler et al., 1995; Stanovich e Siegel, 1994; Stanovich e Stanovich, 1995; Wagner et al., 1994).

Negli studenti con dislessia che non beneficiano di un intervento specifico, la limitata pratica della lettura determina un effetto di retroazione, contribuendo a un ulteriore aggravamento delle difficoltà. Lo sviluppo linguistico è una forma di conoscenza primaria nel quadro teorico del carico cognitivo e tende a svilupparsi autonomamente dall'influenza culturale, almeno ad un livello base delle abilità linguistiche. Però, sappiamo ad oggi che la lettura influenza lo sviluppo cognitivo dello studente e delle sue abilità linguistiche avanzate: in altri termini, la difficoltà di lettura dello studente con dislessia che non viene trattata adeguatamente produce a cascata non solo future difficoltà di lettura ma anche un impatto negativo sullo sviluppo cognitivo dello studente con dislessia (Casalis et al., 2013; Vellutino et al., 1979).

Come abbiamo già anticipato nel capitolo 2, un modo per poter affrontare questi fattori che si influenzano a vicenda è di modellizzare il processo di comprensione del testo in un certo numero di step. Un approccio intuitivo ma ingenuo è quello di un modello a due step: un primo step di decodifica di parole e frasi e un secondo step di acquisizione del significato. Un approccio simile risulta ingenuo poiché si perde l'impatto degli aspetti cognitivi e metacognitivi, quali l'uso di conoscenze a priori, la regolazione dell'attenzione, l'impiego della memoria di lavoro e dunque l'impatto del carico cognitivo

e la presenza di strategie che massimizzino l'efficacia di lettura, che in ricerca sono ben documentate tra gli studenti con un'alta competenza di lettura (Katz et al., 2016; Adams, 1990; Cromley e Azevedo, 2007; Cutting e Scarborough, 2006; Gough e Tunmer, 1986; Kintsch, 1994; Perfetti, 1985).

Dal punto di vista del carico cognitivo, sappiamo che la comprensione del testo è biologicamente secondaria, ovvero un processo influenzato pesantemente dal contesto culturale e che non si forma in autonomia nello sviluppo dello studente. Anche in questo quadro ciò implica la presenza nella lettura di processi cognitivi di alto livello. Per sviluppare comprensione del testo, lo studente deve costruire in mente una rappresentazione coerente e solida di ciò che il testo sta provando a comunicare: in questo processo di costruzione del significato il lettore deve impiegare non soltanto fatti già noti ma deve richiamare una struttura di conoscenze pregressa che si caratterizza non soltanto per i contenuti ma anche nei legami relativi tra le informazioni che compongono questa struttura. Un processo così avanzato ha un importante impatto sulla memoria di lavoro del lettore e dunque comporta un non trascurabile carico cognitivo che dunque colpisce tutti gli studenti con DSA nello specifico.

Nel caso particolare degli studenti con dislessia bisogna anche considerare le capacità fonologiche e lessicali nella valutazione del carico cognitivo, poiché l'identificazione delle parole richiede un carico cognitivo che nei lettori senza difficoltà di lettura lascia più risorse cognitive a disposizione del processo d'inserimento delle nuove informazioni che il testo comunica nella rete di conoscenze che lo studente ha già a disposizione (Tricot et al., 2020; Florit e Cain, 2011; Snowling, 2013; Van Den Broek et al., 2005; Van Dijk, Kintsch et al., 1983; Vellutino et al., 2007; Ziegler e Goswami, 2005).

Dunque è necessario introdurre lo step della cognizione e della metacognizione nel modello della comprensione del testo per due ragioni, una di natura empirica e l'altra di natura teorica. Empiricamente gli studenti con DSA dimostrano sistematicamente una scarsa competenza nelle strategie di studio qualora paragonati a studenti della stessa età che non hanno DSA, e questo vale anche per il processo di lettura: gli studenti con DSA dimostrano un uso ridotto di strategie avanzate qualora paragonati a lettori della stessa età, e a loro volta gli studenti abili nella competenza di lettura dimostrano un uso sistematico di strategie di lettura che accompagnano la semplice decodifica del testo (Katz et al., 2016; Brown, 2017; Garner e Kraus, 1981; Palincsar e Brown, 1987; Stone e Conca, 1993).

Teoricamente, questa discrepanza è in linea con l'impatto che il deficit di memoria di lavoro produce negli studenti con DSA, i quali devono affrontare un carico cognitivo intrinsecamente superiore ai loro pari senza DSA, in un processo a sua volta non lineare: la migliore competenza di lettura coadiuva un maggiore sviluppo cognitivo sulle aree legate alla lettura che genera un circolo virtuoso negli studenti senza DSA e senza altri BES, laddove invece per gli studenti con DSA e/o dislessia il circolo è vizioso nel peggiorare la loro competenza di lettura e rallentare lo sviluppo di abilità cognitive ad essa legate. Per tutti gli studenti è dunque necessario intervenire sulle abilità cognitive e sulla

metacognizione, e il fatto che gli studenti con DSA soffrano maggiormente di difficoltà in queste aree deve essere un ulteriore incentivo alla personalizzazione dell'intervento didattico nei loro confronti, per alleviare in essi il carico cognitivo che scaturisce dal loro DSA (Katz et al., 2016; Camahalan, 2006; L. K. Chan e Cole, 1986; Deshler e Hock, 2007; Graves, 1986; Pressley et al., 1989; Schunk e Rice, 1992).

Prima di proseguire è però necessaria una precisazione: buona parte della letteratura che segue è di origine internazionale e dunque non riguarda l'italiano come caso di studio: questi risultati sono comunque preziosi in quanto è ciò che si trova in un quadro teorico dove la ricerca va approfondita, ma non potendo traslarli perfettamente alla nostra lingua bisogna prendere questi risultati *cum grano salis* nella loro valenza assoluta.

Nel capitolo 1, introducendo la definizione di dislessia, abbiamo discusso una visione della lettura che utilizza la parola singola come unità di misura della lettura; ad esempio quando abbiamo richiamato le due vie di accesso alla lettura che Emili (2020) richiamava abbiamo di fatto usato la parola come un unicum o come insieme di sillabe e lettere nella sua analisi. Già questo approccio suggerisce, tra le dimensioni che Polverini, 2022 richiama, di attenzionare i risultati sul piano lessicale che emergono nella letteratura di settore.

Sul filone degli studi sul lessico troviamo lo studio di Gala e Ziegler (2016), nel quale essi indagano la complessità lessicale che i singoli termini possono avere sulla leggibilità di un testo, sia per bambini con dislessia sia per bambini con gravi difficoltà di lettura non necessariamente legate ad un DSA. Il loro studio ha per oggetto la lingua francese e, per indagare l'impatto lessicale che i termini possono avere in essa, gli autori preparano due testi: un originale e una rielaborazione dell'originale con termini semplificati in termini di lunghezza dei vocaboli e di sillabe nel vocabolo.

Entrambi i testi sono stati somministrati agli studenti e si sono misurati i tempi di lettura e il numero di errori che gli studenti facevano. Nonostante il ridotto campione di studenti analizzato, ovvero dieci bambini, i risultati degli autori si rivelano promettenti poiché essi rilevano un minor numero di errori di lettura e un aumento della velocità di lettura sui testi semplificati rispetto ai testi originali.

Gli autori inoltre ipotizzano dai loro risultati che la complessità lessicale scaturisse da parole lunghe (ovvero oltre i sette caratteri), da parole con una corrispondenza irregolare tra grafema e fonema (opacità linguistica del francese, di cui l'italiano non soffre) e da parole con strutture sillabiche poco comuni.

Un'altra autrice che si è occupata degli aspetti lessicali è Rello, di cui qui riportiamo due diversi studi (Rello, Baeza-Yates, Dempere-Marco et al., 2013; Rello, Baeza-Yates, Bott et al., 2013), entrambi incentrati sulla semplificazione lessicale. Nel primo studio, Rello e colleghi (2013) indagano una coppia di testi in spagnolo di cui un originale e una sua versione semplificata su un gruppo di 46 persone.

I partecipanti all'esperimento consistono in 23 persone con dislessia e 23 persone senza DSA, come gruppo di controllo, e il testo modificato consisteva in una versione dell'originale dove le parole più lunghe in termini di caratteri venivano sostituite da parole

più corte e dove veniva aumentata la frequenza di alcuni specifici sinonimi per esprimere la stessa parola, aumentando dunque il numero di volte che quel termine specifico veniva presentato al lettore. A questo punto sia il testo originale che il testo semplificato sono stati somministrati al gruppo con dislessia e al gruppo di controllo, e a seguire Rello e colleghi hanno misurato i tempi di lettura di ogni singolo termine per ogni partecipante mediante eye tracking e hanno poi condotto interviste per indagare la difficoltà percepita dai partecipanti e la comprensione del testo.

Dal confronto dei dati misurati, gli autori riportano diversi risultati: per il gruppo di controllo vi è una moderata differenza di performance tra i due testi, laddove invece per i lettori con dislessia il testo semplificato risulta più semplice da leggere in maniera notevole. Approfondendo poi i risultati di misura sui tempi per i singoli termini sinonimi e da un meticoloso confronto tra i due testi, gli autori concludono che tra termini lunghi e corti e tra termini poco frequenti e molto frequenti vi è una rilevabile differenza di performance nella lettura dei soggetti con dislessia: i termini più corti facilitano la rapidità di lettura e migliorano la comprensione, e i termini ripetuti/a maggior frequenza hanno aumentato la leggibilità della frase in generale.

Gli autori dunque concludono che presentare un testo con semplificazioni in termini di lunghezza delle parole e di frequenza relativa della comparsa di sinonimi migliora drasticamente l'accessibilità e la comprensione del testo nei lettori con dislessia e non solo non comporta un ostacolo per lettori senza dislessia ma porta a modesti miglioramenti anche per loro.

Dal punto di vista del carico cognitivo, possiamo aggiungere che questi risultati sono in linea con la riduzione del carico cognitivo estraneo, in quanto si vanno ad eliminare termini che per il soggetto con dislessia sono particolarmente difficili da leggere ma non sono davvero necessari all'esposizione, potendo favorire sinonimi più corti e più frequenti nel testo che non alterano il significato complessivo ma alleviano notevolmente il carico cognitivo del lettore con dislessia.

Nell'altro studio del 2013, Rello e altri colleghi conducono un'indagine del tutto simile a quella già presentata, sia nella metodologia che negli argomenti di indagine, su un gruppo di 96 persone, 47 con dislessia e 49 senza DSA, mettendo alla prova due testi, uno originale e una sua versione semplificata.

Come nello studio precedente, gli autori ottengono gli stessi risultati dello studio precedente in termini della semplificazione per lunghezza e per frequenza dei termini. Nello studio, gli autori testano una versione digitale del testo con un software che offre sinonimi sulle parole, permettendo all'utente di rivedere un qualsiasi termine che esso non capisca e di vedere delle alternative di significato, se esso lo richiede. Gli autori hanno dunque mostrato l'efficacia dello strumento digitale, confrontandolo anche rispetto alle altre due forme del testo, quella originale e quella semplificata ma non interattiva.

Da questi ultimi due studi e dallo studio di Gala e Ziegler (2016) traiamo dunque la conferma che un lessico fatto di termini non troppo lunghi e che si presentino frequentemente aiuta ad alleviare il carico cognitivo della lettura negli studenti con dislessia e

non impatta negativamente la lettura degli studenti senza DSA, uno spunto che facciamo nostro per la costruzione della nostra analisi.

Sempre dal piano linguistico tracciato da Polverini (2022) bisogna attenzionare un altro livello tra gli studi sul tema, ovvero il livello sintattico. Presentiamo a seguire alcuni studi che hanno proprio questo focus per capire l'impatto della sintassi sulla lettura degli studenti con DSA.

Uno degli studi più comprensivi sul tema è quello di Chan (2015), relativamente alle categorie sintattiche che creino più difficoltà negli studenti con dislessia che affrontano il cinese. L'autrice ha condotto un test di comprensione della lettura di frasi con un focus su dieci tipi di strutture sintattiche con studenti dislessici e non dislessici della scuola primaria. I risultati del test indicano che i bambini cinesi con dislessia erano significativamente meno competenti rispetto ai loro pari senza dislessia nella comprensione delle frasi. Il deficit sintattico dei bambini si è manifestato soprattutto con alcuni tipi di struttura sintattica, permettendo all'autrice di proporre una categorizzazione di queste strutture in base alla difficoltà che esse implicano.

Prima di questa analisi, l'autrice riporta alcuni risultati da altri studi sul legame tra abilità sintattiche in altre lingue, poiché come essa stessa riporta la maggior parte degli studi sulle difficoltà linguistiche del cinese per studenti con dislessia ha un focus sull'ampio lessico di questa lingua, mettendo però la grammatica e la sintassi in secondo piano. Il dato che l'autrice riporta è che nella letteratura internazionale è ben confermata la presenza di deficit sintattici tra bambini, adolescenti e pure adulti con dislessia, suggerendo una persistenza temporale notevole e dal grave impatto, in quanto la capacità sintattica è fortemente legata alla competenza della lettura di qualsiasi soggetto, con o senza dislessia.

Tra le dieci strutture, l'autrice inquadra: frasi in forma attiva, frasi in forma passiva, frasi con singola negazione, frasi con doppia negazione, periodi di due proposizioni coordinate, periodi di due proposizioni di cui una subordinata, proposizioni relative all'oggetto della principale, proposizioni relative al soggetto della principale, frasi con una costruzione seriale dei verbi, periodi con una proposizione soggettiva.

Queste strutture sono state inserite in frasi di prova somministrate a due gruppi di bambini, il gruppo sperimentale dei bambini con dislessia e il gruppo di controllo dei bambini senza dislessia. Tra i primi risultati, anche prevedibili, vi è che la performance di lettura dei bambini con dislessia è risultata sistematicamente peggiore dei bambini senza dislessia e che alcune strutture sintattiche particolarmente complesse hanno provocato difficoltà in ambo i gruppi.

Il risultato più interessante dello studio è che l'autrice categorizza quali siano le strutture sintattiche che hanno dato più difficoltà agli studenti con dislessia: Chan (2015) registra che le strutture dove i bambini con dislessia hanno avuto difficoltà comparabile al gruppo di controllo sono le frasi attive, i periodi con coordinazione, le frasi con costruzione seriale dei verbi e i periodi con proposizione soggettiva. Con tutte le altre strutture

sintattiche la performance dimostrata dagli studenti con dislessia si è rivelata nettamente peggiore del gruppo di controllo.

Dunque, da questo studio possiamo tracciare alcune strutture sintattiche che possono presentare un enorme carico cognitivo sugli studenti con dislessia: tra queste riportiamo i periodi con subordinazione (o ipotassi) invece della coordinazione (o paratassi), le frasi con negazioni singole o doppie invece delle forme affermative, le frasi in forma passiva invece della forma attiva. Possiamo includere il focus dell'autrice sulle subordinate relative direttamente all'ipotassi in generale, trattandosi di sottocasi della subordinazione.

Diversi altri studi che abbiamo indagato hanno questa stessa struttura argomentativa, dove gli autori inquadrano una o più strutture sintattiche da indagare, la testano su un gruppo di controllo di individui senza dislessia e un gruppo sperimentale di individui con dislessia e dalla discrepanza della performance valutano quanto quella struttura causi una difficoltà specifica in individui con dislessia. Per questa ragione, invece di ripetere queste stesse considerazioni in ogni prossima citazione, riporteremo quali siano i tratti salienti dei seguenti studi sulla sintassi che li distinguono dagli altri, come la lingua in esame, la struttura sintattica indagata o altre considerazioni teoriche.

Uno di questi studi è quello di Casalis e colleghe (2013); tra gli aspetti che lo diversificano abbiamo il fatto che le autrici abbiano scelto di avere due gruppi di controllo, che la lingua in esame sia il francese e che i test sulla competenza sintattica siano stati due.

I test sulla sintassi sono stati condotti in due modalità. Una prima modalità standardizzata utilizzando una batteria di test sintattici per il francese (il test ECOSSE-p), che ha testato nei tre gruppi sia le abilità scritte che quelle orali e che in particolare ha mostrato come negli studenti con dislessia il deficit sintattico si manifestasse principalmente nella lettura e non nell'ascolto, la cui performance era alla pari col gruppo di controllo di coetanei.

Nel secondo test le autrici hanno messo alla prova la comprensione di subordinate relative mediante l'uso di marker linguistici, nella forma di simboli che nel testo indicano l'inflessione su alcune lettere, poiché in francese ciò è utile a capire le relazioni tra le parti del periodo. Da questo test né il gruppo di coetanei né il gruppo sperimentale hanno fatto uso di tali marker, a differenza degli studenti più grandi, segno che l'uso di questi marker d'inflessione sia un'abilità sintattica particolarmente avanzata e non specifica agli studenti con dislessia.

Le autrici costruiscono un ampio stato dell'arte in letteratura mettendo in luce il rapporto tra dislessia evolutiva e deficit sintattico, secondo l'idea che ci sia un effetto di feedback negativo tra il mancato sviluppo di abilità sintattiche per la poca capacità di leggere e fare pratica e la difficoltà nel leggere poiché le difficoltà sintattiche aggiungono carico cognitivo a questo compito.

Un altro effetto che le autrici riportano è la possibilità di avere un impatto sulle capacità orali degli studenti con dislessia, che tenderebbero secondo altri studi a non usare nel parlato alcune strutture sintattiche: un'esperienza di lettura impoverita può infatti limitare lo sviluppo dell'elaborazione sintattica, poiché alcune strutture complesse

hanno maggiori probabilità di emergere più nello scritto che nel parlato a detta delle autrici. Questo risultato è da attenzionare poiché è in apparente contraddizione con quanto abbiamo sinora riportato, ovvero la specificità della dislessia relativamente alla dimensione della lettura.

Abbiamo finora argomentato che l'espressione orale del linguaggio fa capo ad abilità cognitive primarie dal punto di vista biologico, laddove la lettura e il linguaggio scritto sono abilità secondarie, e i DSA si manifestano solo in queste aree secondarie che sono influenzate dalla cultura e che non si sviluppano autonomamente. Si può però argomentare che le strutture sintattiche più complesse e avanzate non siano necessariamente parte delle abilità cognitive primarie e che invece siano il prodotto del nostro sviluppo culturale. In questo quadro ciò vorrebbe dire che anche queste abilità ricadono nel dominio delle abilità secondarie dove i DSA si manifestano e dunque ha senso che gli individui con dislessia possano avere difficoltà anche orali qualora radicate in questo dominio.

Un ulteriore contributo di Casalis e colleghe è l'interpretazione delle difficoltà con alcuni costrutti sintattici attraverso il framework della memoria di lavoro e del carico cognitivo. In particolare riportano alcuni studi dove si chiedeva a lettori poco competenti di abbinare alcune frasi legate logicamente tra loro sia mediante la lettura, sia provando ad abbinarle ad immagini. Ciò che si osservava è che gli studenti che nell'abbinamento tra sole frasi dimostrano scarsa competenza si rivelano più abili nell'abbinamento frase-immagine, e le autrici lo interpretano attraverso l'alleggerimento del carico cognitivo.

Uno studio che utilizza questa metodologia d'indagine e che può darci altre indicazioni sul carico cognitivo della sintassi è quello di Wiseheart e colleghe (2009). In questo studio le autrici pongono il focus sulla comprensione del testo e dell'impatto fonologico e sintattico che questo ha sugli studenti con dislessia. Per fare ciò le autrici testano su due gruppi un task di abbinamento tra immagini e frasi; le autrici non volevano soltanto indagare la complessità sintattica di alcuni costrutti ma anche il carico cognitivo che ricadeva sulla memoria di lavoro degli studenti. Nel caso della complessità sintattica, in linea con altri studi che abbiamo visto, le autrici misurano l'accuratezza e il tempo di risposta in funzione al tipo di struttura sintattica presentata, e trovano che gli studenti con dislessia hanno maggiori difficoltà sulle frasi passive invece delle attive e sulle subordinate relative.

Gli studenti coinvolti in questo studio erano studenti universitari e alcuni di essi con dislessia avevano performance accademiche alte: anche per questi studenti generalmente competenti, il deficit sintattico si è manifestato, e per le autrici questo è il segno che questo tipo di difficoltà sia una caratteristica intrinseca della dislessia. Nel caso del carico cognitivo, le autrici indagano se e come il processamento delle frasi richiesto agli studenti con dislessia aumenti il carico cognitivo e interpretano la difficoltà manifestata dagli studenti con dislessia come un segno dell'aumentato carico cognitivo dovuto alla sintassi più complicata.

Inoltre, le autrici utilizzano la struttura facilitante e più accessibile dell'abbinamento immagini-frasi per ricollegarsi al modello di Baddeley sulla memoria di lavoro, ipotizzan-

do che il deficit sintattico non sia originato da una delle specifiche componenti ma che dipenda da diverse parti della memoria di lavoro in contemporanea. Questo è dovuto al fatto che il task di abbinamento sicuramente aggiunge lo stimolo visuale al carico cognitivo ma riduce notevolmente lo stimolo verbale e scritto che è così problematico per gli studenti con dislessia. Questo consente al carico cognitivo della sintassi di manifestarsi in modo autonomo. Se esso fosse strettamente legato al carico cognitivo della sola componente verbale, si dovrebbe osservare una riduzione del peso sintattico nel compito di abbinamento tra immagini e frasi, in quanto il carico cognitivo verbale risulta attenuato. Invece il carico cognitivo della sintassi rimane intatto e si presenta anche in questo caso, e per questa ragione le autrici ipotizzano che il carico cognitivo della sintassi complessa non riguardi soltanto la sfera verbale ma che si estenda oltre essa.

Un'altro studio che indaga il rapporto tra carico cognitivo e subordinate relative è stato condotto da Sevcenco e colleghe (2014). La lingua in esame in questo caso è il rumeno e come risultato si è ottenuta una performance peggiore del gruppo di studenti con dislessia qualora confrontati col gruppo di controllo sull'uso di queste subordinate, pur sottolineando che, anche per il gruppo di controllo di studenti senza dislessia, l'uso di queste subordinate non è stato del tutto privo di difficoltà. Inoltre, le autrici hanno analizzato l'uso di queste subordinate in entrambi i gruppi, riscontrando lo stesso tipo di errori o l'adozione di strategie volte a evitare l'impiego di tale struttura sintattica.

Infine, nello studio di Leikin e Bouskila (2004) la lingua in esame è stata l'ebraico e le strutture sintattiche indagate erano diverse: frasi in forma attiva, frasi in forma passiva, proposizioni coordinate, subordinate relative sia legate al soggetto che all'oggetto. Gli autori hanno poi misurato il livello di comprensione testuale e l'abilità sintattica mediante misura degli errori commessi oppure con un task di abbinamento di immagini alle frasi; inoltre, hanno anche sondato altri aspetti cognitivi di carattere generale come la memoria di lavoro degli studenti. Ciò che trovano è che gli studenti con dislessia performano sistematicamente peggio rispetto al gruppo di controllo. Nel discutere i loro risultati, gli autori concludono che vi sia dunque la presenza di un deficit sintattico che accompagna il deficit fonologico e il deficit di memoria di lavoro negli studenti con dislessia, e che questi aspetti generino serie difficoltà nella comprensione del testo degli studenti con dislessia.

Chiudendo dunque il quadro della dimensione sintattica, rimane da esplorare la dimensione che nella tesi di Polverini (2022) veniva definita "testuale". Nella sua tesi, l'autrice inquadra in questa dimensione la progressione tematica del testo, la presenza delle idee e la loro ripetizione, come l'esposizione viene presentata, la presenza dei diversi registri semantici ecc... Nella nostra analisi in questa dimensione trovano posto anche gli aspetti cognitivi e metacognitivi del ragionamento, e dunque dobbiamo separare dalla dimensione testuale questi aspetti poiché in letteratura abbiamo visto quanto sia ritenuto importante nella comprensione del testo aggiungere questa dimensione di analisi, dunque non possiamo esimerci dal fare lo stesso qui (si veda capitolo 2).

Quindi, introduciamo qui il livello cognitivo e metacognitivo accanto all'originale livello testuale per porre il focus su questi aspetti che del contenuto ci interessano per

la valutazione del carico cognitivo. Richiamiamo inoltre un articolo già presentato che è quello di Swanson (2020) per poter attenzionare gli aspetti della memoria di lavoro che occorre inquadrare per la nuova dimensione, e presenteremo poi lo studio di Katz e colleghe (2016) per offrire un framework teorico che ci dia le basi per costruire le nuove domande da includere in questo nuovo strumento.

Avevamo riportato lo studio di Swanson (2020) nella sezione 1.3 per ricostruire il quadro teorico della memoria di lavoro. Questo studio è una review estremamente ampia di risultati sul tema della memoria di lavoro con il focus sulla dislessia e sulla discalculia e riportare tutti gli spunti e gli approfondimenti che fa è al di fuori del focus di questa tesi. Ma tra i vari risultati che l'autore riporta vi è anche una serie di osservazioni sull'intervento al problem solving per studenti con discalculia. Swanson (2020) richiama alcuni studi sull'intervento didattico che ha condotto personalmente e con altri colleghi, relativamente a problemi scritti di matematica: l'intervento era focalizzato su delle lezioni dove si insegnava agli studenti con discalculia delle strategie di problem solving.

Lo studio indaga l'impatto della memoria di lavoro su questo processo. Questo impatto è stato inteso vedendo le strategie di problem solving come processi in funzione del carico cognitivo e della capacità di memoria di lavoro. Quando diciamo "in funzione di", intendiamo che Swanson voleva appunto tracciare un legame funzionale tra una strategia di problem solving e queste altre due variabili, ovvero il carico cognitivo che tale strategia costa allo studente e l'impatto sulla capacità di memoria di lavoro. Inoltre, quando parliamo di capacità di memoria di lavoro intendiamo la quantità di informazione che la memoria di lavoro può gestire.

La linea di intervento scelta per queste lezioni è quella di un ragionamento guidato: l'idea è di insegnare agli studenti come affrontare il problema in maniera euristica, schematizzando la situazione e individuando gli elementi chiave da quelli ininfluenti alla sua risoluzione. In particolare, per guidare gli studenti l'autore ha costruito il testo del problema in modo da segnalare gli elementi chiave, le domande che il problema pone e quale situazione emerge dalle domande.

L'autore riporta che in letteratura questa segnalazione è pensata come una facilitazione alla risoluzione del problema in quanto aiuta lo studente a ricostruire un modello che emerge dal problema, ad avere accesso alle informazioni che il problema offre in modo da facilitare la schematizzare di una situazione e inserire in maniera coerente dei dati in questa situazione. Un altro elemento che Swanson (2020) mette in luce è l'importanza della rappresentazione visuo-schematica, ovvero di trasformare le informazioni che il problema offre in uno schema visivo che sia integrato nel contesto spaziale che il problema suggerisce e che lo studente schematizza.

L'idea è che la riorganizzazione delle informazioni stimoli i processi attenzionali e comporti un certo carico cognitivo. Tuttavia, separare le parti testuali da quelle visive favorisce un'elaborazione differenziata nella memoria di lavoro: il riordino delle informazioni attiva l'esecutivo centrale, le componenti verbali stimolano il loop fonologico e quelle visive lo sketchpad visuospatiale. In altri termini, con l'uso della schematizzazio-

ne verbale e visuale di un problema si può ridurre il carico cognitivo che esso comporta poiché si eliminano gli elementi superflui e si riorganizzano gli elementi che devono essere elaborati per categorie che attivano diverse aree della memoria di lavoro, evitando un carico cognitivo superfluo dovuto a interferenze o a una stimolazione eccessiva dei suoi processi attenzionali.

Inoltre, nelle lezioni del suo intervento sperimentale, l'autore ha valutato l'efficacia della strategia aumentando gradualmente gli elementi irrilevanti nei problemi affrontati dagli studenti. In altre parole, mentre insegnava loro a schematizzare i problemi, introduceva maggiori distrattori per verificare in che modo la memoria di lavoro fosse sollecitata e se questa strategia migliorasse realmente le capacità di problem solving. Tra i principali risultati, l'autore riporta che gli studenti con una maggiore memoria di lavoro hanno ottenuto prestazioni superiori in tutti i test. Inoltre, tra i partecipanti con discalculia, l'uso delle schematizzazioni ha determinato miglioramenti significativi rispetto ai gruppi di studenti con discalculia a cui queste strategie erano state insegnate solo parzialmente o non erano state affatto introdotte. Lo studio includeva anche gruppi di controllo senza DSA per garantire un confronto più preciso.

Questo studio non permette solo di approfondire la discalculia ma fornisce anche un'indicazione su come il carico cognitivo operi nelle diverse rappresentazioni: le informazioni che un testo presenta al lettore infatti generano carico cognitivo rilevante dovuto alle informazioni stesse ma anche carico cognitivo intrinseco dovuto alla riorganizzazione di tali informazioni in uno schema coerente e nel dover armonizzare le diverse rappresentazioni verbali, visive, simboliche, ecc. che il testo presenta. Dunque si può eliminare il carico estraneo se il testo non presenta informazioni superflue al ragionamento e si può ridurre il carico intrinseco se nelle diverse rappresentazioni che il testo presenta l'informazione è coerente e se l'informazione presentata è anche riordinata in uno schema logico pertinente all'argomento in esame.

L'ultimo studio che citiamo in questa sezione approfondisce il rapporto tra cognizione e metacognizione. Lo studio di Katz e colleghe (2016) analizza strategie per migliorare l'accessibilità dei testi scritti per gli studenti con dislessia, con un focus specifico sul testo espositivo.. In questo studio, viene presentato il framework teorico denominato "Schema 6P" (figura 3.2).

In questo quadro le autrici individuano sei aspetti legati alle abilità cognitive e metacognitive che facilitano una lettura efficace del testo espositivo, sia per gli studenti con dislessia che, più in generale, per quelli con o senza BES. In particolare, il framework consente di identificare e descrivere gli elementi che caratterizzano il terzo step della lettura e che emergono nei lettori competenti, permettendone così l'applicazione anche nella lettura critica dei testi di fisica. Le sei P in questione sono:

- **Prior Knowledge**, Conoscenza a priori - La lettura di un testo espositivo coinvolge pesantemente le conoscenze a priori possedute dallo studente.

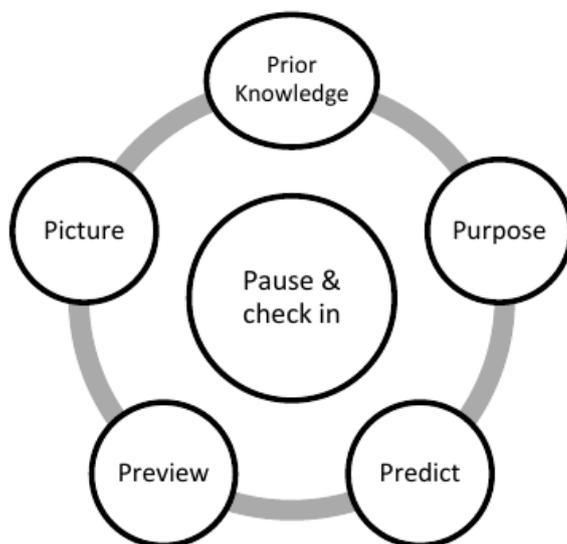


Figura 3.2: il framework teorico denominato “Schema 6P” da Katz et al., 2016, p. 79.

- Purpose, Scopo - La lettura efficace è tale quando è guidata da uno scopo specifico, ovvero lo studente è in grado di determinare perché sta leggendo quella specifica frase o paragrafo e a quale fine il testo serve.
- Preview, Anticipazione del contenuto - La lettura è un compito generalmente faticoso per gli studenti con dislessia e questa difficoltà aumenta nel caso del testo espositivo. Un modo per alleviare questo carico cognitivo è di mettere lo studente nella posizione di anticipare dove il testo vuole andare a parare col ragionamento, in modo da permettere allo studente di avere già chiaro in che senso vadano intese le informazioni che il testo comunica.
- Predict, Anticipazione del ragionamento - Fare predizioni su quale sarà il contenuto che segue nella lettura prima ancora di visionarlo permette di effettuare il processo di lettura in una modalità più coinvolgente e attiva. Ciò vale anche nel caso in cui le predizioni non siano necessariamente corrette, in quanto il fatto stesso di provare a predire cosa il testo sta per dirci crea un senso di curiosità sulle informazioni che seguiranno.
- Picture, Schematizzazione - Creare un'immagine coerente delle informazioni che il testo vuole comunicare è fondamentale affinché allo studente arrivi un set di informazioni coerente e solido e la struttura in cui queste informazioni dimostrano tale coerenza è proprio lo schema logico dove esse si manifestano. Riuscire a costruire una schematizzazione coerente è dunque importantissimo per massimizzare l'efficacia del testo espositivo.

- **Pause to Check In, Pausa di riflessione** - Sappiamo che gli studenti con dislessia e più in generale con DSA tendono a non monitorare i loro processi attenzionali e dunque a non controllare in maniera esplicita il modo in cui leggono le varie parti del testo, laddove questo comportamento è proprio quello che si registra nei lettori più abili. I lettori più abili fanno frequentemente pause di riflessione per controllare se quello che stanno capendo abbia senso e tendono a farlo soprattutto dove è necessario farlo, ovvero nelle parti più difficili. Stimolare dunque la pausa negli studenti con dislessia e con DSA è un importante intervento per aiutarli nella lettura del testo espositivo.

Lo schema proposto dalle autrici aiuta a riconoscere la dimensione cognitiva e metacognitiva, oltre a comprenderne il ruolo nell'interpretazione del testo. Questo ci permette di integrare tali aspetti analitici con quelli già individuati nei capitoli precedenti. Dopo aver fornito tutti i riferimenti teorici necessari, possiamo dunque presentare la struttura della lente di analisi che guiderà la lettura critica dei testi.

3.3 Dagli studi alla revisione della lente

La versione dello strumento di analisi (o lente) presentata in questa tesi è un adattamento dello strumento d'analisi di Polverini (2022), modificato in funzione degli obiettivi e degli argomenti trattati.

Una prima precisazione da fare riguarda la dimensione dell'analisi tematica: per quanto visto nel capitolo 1, il carico cognitivo associato a uno specifico argomento rientra nel carico pertinente e, di conseguenza, non può essere modificato se non attraverso la scelta di un argomento con un diverso carico pertinente. Stabilire se un argomento vada affrontato o meno o se vada modificata la sua presentazione pur mantenendo gli obiettivi didattici per gli studenti con BES e DSA è un argomento ampio e dibattuto che qui non possiamo affrontare, e rimandiamo alle questioni della personalizzazione e dell'individualizzazione didattica e all'uso degli strumenti compensativi e delle dispense didattiche per chi volesse approfondire (di cui ad esempio si trova una discussione dettagliata in Pavone et al., 2015).

Qui evidenziamo un principio fondamentale: evitare determinati argomenti, salvo nei casi di stretta necessità, non rappresenta una strategia didattica efficace per gli studenti con BES e DSA. L'intervento dovrebbe invece concentrarsi sulle modalità di presentazione e trattazione di tali concetti. In termini di carico cognitivo ciò significa eliminare completamente il carico estraneo e alleviare, per quanto possibile, il carico intrinseco, non rinunciando all'argomento e dunque preparandosi ad un ineliminabile carico pertinente. Dall'altro lato, la progressione tematica ha a sua volta un contenuto importante di carico cognitivo che non possiamo trascurare: sia per l'intrinseca difficoltà di certi argomenti (la cui natura è epistemologica), sia per l'eventuale presenza di impliciti che

la presentazione di certe idee può comportare, sia per l'eventuale difficoltà che scaturisce da come tali argomenti siano legati logicamente nella presentazione.

Alla luce di quanto detto è necessario ridefinire i livelli linguistici, poiché la loro interpretazione è diversa rispetto alla proposta originale di Polverini (2022). Definiamo dunque i seguenti livelli:

- Livello testuale - è il livello che presenta la progressione tematica del testo e analizza il carico cognitivo dovuto alla presenza di eventuali impliciti.
- Livello lessicale - è il livello che analizza il carico cognitivo dovuto alla complessità dei termini che il testo impiega, sulla base di caratteristiche quali la lunghezza del termine, la specificità del gergo, e così via.
- Livello sintattico - è il livello che analizza il carico cognitivo dovuto alla sintassi delle frasi, analizzando il carico cognitivo che scaturisce dalle strutture grammaticali come coordinazione o subordinazione, presenza di frasi negative, presenza di forme passive, e così via.
- Livello cognitivo e metacognitivo - è il livello che analizza il carico cognitivo dovuto al ragionamento e alla presentazione del testo: il modo in cui il ragionamento si svolge, se i diversi registri semantici quali parole, equazioni o grafici sono tra loro coerenti, se il testo evidenzia i punti chiave o stimola alla riflessione sul contenuto, e via dicendo.

Chiarite queste definizioni, presentiamo infine la tabella contenente la riformulazione delle domande utilizzate per l'analisi dei libri di testo. La lente in tabella 3.1 è stata rielaborata per trasformare i risultati emersi dalla letteratura in domande per leggere criticamente un testo e ritrovare in esso, mediante i tre livelli linguistici, i suoi punti di forza e di debolezza quando esso viene applicato come strumento didattico all'insegnamento della fisica per studenti con DSA.

Nella sezione seguente vedremo un'applicazione diretta di questa lente di analisi ad un brano di testo tratto dal Walker (2020, Pearson). L'analisi completa sia del Walker che dell'Amaldi (2012, Zanichelli) verrà presentata nel capitolo 4. Come già anticipato nell'introduzione, lo scopo di questa lettura critica non è quello di "fare una classifica" del libro migliore o peggiore, ma quello di poter analizzare un testo e poter riconoscere se un suo elemento in termini di carico cognitivo sullo studente con DSA può risultare neutrale, facilitante o nocivo al processo di apprendimento.

Questa lettura critica serve infatti all'insegnante, il quale è in ultima sede il principale responsabile del processo di apprendimento e di adattamento didattico del testo ai suoi studenti: un elemento testuale che potrebbe generare un carico cognitivo superfluo può essere reso meno gravoso dall'insegnante, a condizione che ne riconosca gli ostacoli e lo presenti in modo differente. Così come un elemento del testo che risulti

facilitante non sortirà un grande effetto se non vi è l'insegnante a sfruttarlo al meglio nella sua trasposizione didattica del testo, elevandone gli aspetti positivi e impiegandoli apertamente.

Un'ultima precisazione va fatta su una specifica soglia posta nella tabella: si è optato per considerare i vocaboli lunghi quelli che superano le dieci lettere. Questa soglia è stata stabilita seguendo il lavoro di Barton e colleghi (2014) in una review estremamente comprensiva sul carico cognitivo che la frequenza e il numero di caratteri comporti sul tempo di lettura di un termine. Da una lettura attenta, si vede che intorno agli 8-9 caratteri il tempo di lettura su soggetti con dislessia aumenta notevolmente. Piazzando la nostra soglia a 10 caratteri e considerando lunghi i vocaboli a partire dagli 11 caratteri possiamo dunque ritenere i termini oltre tale soglia particolarmente ostici in termini di carico cognitivo in maniera compatibile con la ricerca riportata.

Per quanto riguarda il registro matematico, nei brani analizzati spesso questo si palesa con simboli letterali (come ad esempio la distanza x), con rappresentazioni numeriche (come ad esempio il secolo dell'800 oppure la presenza di 4 corpuscoli) e con vere e proprie equazioni: i simboli letterali sono stati analizzati assieme alle equazioni nel livello cognitivo e metacognitivo, poiché nella loro presentazione subentra la dimensione dell'interpretazione del simbolo matematico e del suo ruolo nelle equazioni e spesso, alla presenza di questi simboli, si accompagnano spiegazioni a parole del loro ruolo. Per le cifre invece spesso questo trattamento non viene fatto ed la cifra viene data come elemento che si interpreta da sé. Si è scelto dunque di includerle nella dimensione lessicale. Presentiamo dunque nella tabella 3.1 la Lente di analisi.

Tabella 3.1: La lente di analisi.

Domande	Focus e Scopi	Criticità
Livello testuale		
Qual è il tema principale del paragrafo o sezione in esame?	Esporre in maniera chiara il contenuto di ogni sezione è necessario per poter analizzare come il tema sia esposto	Il carico cognitivo dovuto alla scelta di un certo argomento è fissato e non può essere cambiato se non cambiando argomento
Rispetto al tema principale, vi sono argomenti o temi impliciti che emergono nel paragrafo o sezione in esame?	La presenza di impliciti crea un ulteriore carico cognitivo nella loro estrapolazione o il rischio che quei temi vengano completamente non recepiti dal lettore	
Qual è la progressione tematica dell'intero capitolo? Vi sono collegamenti tra le sezioni?	La struttura dell'argomentazione crea un ulteriore livello di analisi da attenzionare	
Livello lessicale		
Qual è la frequenza relativa di vocaboli corti rispetto a quelli lunghi?	Le parole corte facilitano la lettura del soggetto con dislessia	
Qual è la frequenza relativa di cifre e numeri nel testo?	La presenza di cifre da tradurre in parole complica la lettura del soggetto con discalculia	In un testo di fisica è inevitabile avere la presenza di cifre e valori numerici
Vi è presenza di vocaboli poco usati nel linguaggio comune, come ad esempio termini tecnici?	Le parole frequenti facilitano la lettura del soggetto con dislessia, laddove le parole più rare sono più difficili da elaborare	In un testo di fisica è inevitabile avere la presenza di termini tecnici
Sono presenti nel testo elementi come glossari? Oppure il testo spiega eventualmente il significato dei termini poco frequenti in qualsiasi altro modo?	Come sopra	
Livello sintattico		

Tabella 3.1: La lente di analisi.

Domande	Focus e Scopi	Criticità
Per i periodi composti prevale la paratassi o l'ipotassi? Nel caso di ipotassi, è necessaria al ragionamento la presenza di quelle subordinate?	Caratteristica del soggetto con dislessia che emerge da diversi studi è la difficoltà ad affrontare nel livello scritto le strutture sintattiche più complesse dal punto di vista del carico cognitivo, di cui i periodi dove prevale l'ipotassi sono un esempi	
Nei periodi composti, quali sono i vari sottotipi di subordinata che compaiono?	Nella ricerca di settore si vede come alcune subordinate presentino diversi livelli di carico cognitivo	La ricerca di settore non è esaustiva e diversi tipi di subordinata ad oggi non sono stati analizzati
Prevale l'uso di frasi in forma attiva o passiva? Nel caso di frasi passive, la loro presenza è necessaria al ragionamento?	Le forme passive presentano un maggiore carico cognitivo rispetto alle attive	Nella ricerca esaminata nulla si dice sulle forme riflessive, la terza possibilità oltre le attive e le passive
Vi sono frasi in forma negativa? La loro presenza è necessaria?	Le forme negative presentano un maggiore carico cognitivo rispetto alle affermative	
Livello cognitivo e metacognitivo		
Oltre al linguaggio scritto quali altri registri semantici sono presenti (grafico, simbolico...)? Se vi è più di un registro semantico, l'informazione presentata è coerente tra le diverse rappresentazioni?	L'esposizione che fa uso di più registri semantici rischia di creare carico cognitivo estraneo; è importante che vi sia coerenza tra le informazioni presentate per ridurre il carico cognitivo	

Tabella 3.1: La lente di analisi.

Domande	Focus e Scopi	Criticità
Nel caso specifico del registro matematico, sono presenti equazioni? Se sì, il testo le spiega e le interpreta?	La lettura e l'interpretazione delle equazioni crea enormi difficoltà negli studenti con discalculia, se il testo opera apertamente questa spiegazione può alleviare significativamente il carico cognitivo	Il testo di fisica fa necessariamente uso di equazioni e l'interpretazione del loro contenuto fa parte della competenza fisica
Il paragrafo o la sezione presentano titoli? Sono esplicativi del contenuto che si affronta? Permettono di anticipare di cosa si parlerà nel testo?	L'anticipazione/predizione del contenuto di lettura è una delle strategie avanzate per una lettura efficace, la coerenza tra titolo e testo riguarda invece la riduzione del carico cognitivo	
Sono presenti elementi riassuntivi, come frasi di sintesi o box delle equazioni? Nella presentazione ci si sofferma a riassumere i risultati o il ragionamento?	Il riassunto è una delle strategie avanzate per una lettura efficace, questo tipo di elementi aiutano sia fornendo in sé riassunti di contenuto, sia atenzionando quali siano i concetti chiave	
La presentazione richiama parole già note o conoscenze pregresse necessarie? I collegamenti a preve conoscenze utili sono espliciti?	L'uso di conoscenze pregresse è una delle strategie avanzate per una lettura efficace	Nel testo espositivo è caratteristica una forte presenza di nozioni pregresse date per scontate che creano una gerarchia tra argomenti e dunque forzano l'ordine con cui bisogna incontrarli
Il testo riesce ad effettuare collegamenti con l'esperienza quotidiana o ad esporre con chiarezza il modello in esame?	La modellizzazione e il collegamento a esempi comprensibili è una delle strategie avanzate per una lettura efficace	La conoscenza di senso comune entra a volte in conflitto con la conoscenza scientifica accreditata ed è fonte di misconcezioni

Tabella 3.1: La lente di analisi.

Domande	Focus e Scopi	Criticità
Sono presenti nel testo domande che invitano alla riflessione o qualsiasi altro elemento con un simile scopo, come esempi svolti, richiami a nozioni correlate, curiosità e simili?	La pausa di riflessione è una delle strategie avanzate per una lettura efficace, elementi del genere la stimolano	

3.4 La calibrazione della lente: un esempio di applicazione

Riportiamo un estratto da esaminare dal *Fondamenti di Fisica* di James S. Walker (2020, Pearson) come esempio svolto di come la lente può essere applicata alla lettura critica:

“3. La legge di Coulomb

La legge che descrive la forza con cui interagiscono le cariche elettriche fu formulata per la prima volta da Coulomb, verso la fine del ‘700. Il risultato trovato da Coulomb è incredibilmente semplice. Supponiamo che una carica puntiforme ideale q_1 si trovi a una distanza r da un’altra carica puntiforme q_2 , entrambe in quiete (per questa ragione in questi casi si parla di forza elettrostatica). Secondo la legge di Coulomb, l’intensità della forza elettrostatica tra le cariche è direttamente proporzionale al prodotto delle cariche prese in valore assoluto, $|q_1||q_2|$, e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.” (p. 551)

Diamo inoltre una descrizione della presentazione grafica di altri elementi che accompagnano questo brano. Subito dopo i due punti si trova un box in giallo che presenta la legge di Coulomb:

“LEGGE DI COULOMB PER LA FORZA ELETTROSTATICA TRA CARICHE PUNTIFORMI

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad [5]$$

Nel SI si misura in newton (N).” (p. 551)

Accanto a destra di questo brano e del box contenente l'equazione troviamo due box che presentano altri contenuti in breve: un box nominato "LABORATORIO" che invita a consultare un elemento chiamato Laboratorio 47 sulla Legge di Coulomb e un box nominato "CONCETTO CHIAVE 2" che riporta come funziona l'attrazione tra cariche dicendo "Cariche dello stesso segno si respingono. Cariche di segno opposto si attraggono".

Iniziamo la nostra analisi dalla dimensione lessicale. Tra il testo principale e il box che lo accompagnano abbiamo 141 parole e tra di esse riportiamo la presenza di 10 termini lunghi (interagiscono, incredibilmente, elettrostatica, direttamente proporzionale, inversamente proporzionale, ELETTROSTATICA, LABORATORIO), 4 cifre (3., '700, 47, 2) e 33 termini tecnici che compaiono da soli o in locuzione (legge, forza, cariche elettriche, carica puntiforme ideale, carica puntiforme, in quiete, forza elettrostatica, l'intensità, forza elettrostatica, cariche, direttamente proporzionale, valore assoluto, inversamente proporzionale, quadrato, LEGGE, SI, newton).

L'impatto maggiore al carico cognitivo lessicale è dunque dato dai termini tecnici, che rappresentano il 23% dei termini totali, a discapito di un 7% dovuto ai termini lunghi e ad un 3% dovuto alle cifre. Si noti inoltre che le categorie dei termini tecnici e lunghi possono intersecarsi, come nel caso del termine "elettrostatica" che è contemporaneamente lungo e tecnico.

Di questi termini è diverso l'impatto che hanno sul carico cognitivo: la frequenza con cui lo studente incontra questi termini può comunque creare un livello di familiarità parziale. Dunque ciò renderebbe alcuni termini tecnici comunque più accessibili, come ad esempio per i concetti provenienti da ambiti specifici come la meccanica che però ricorrono estremamente spesso in trattazioni di altri concetti (come in questo caso solo forza) o sempre dello stesso ambito del capitolo poiché provenienti dall'elettromagnetismo (come carica, elettriche, elettrostatica...).

Nel contesto del libro, questi termini ricorrono con elevata frequenza, sia per l'uso diffuso di concetti come le forze o i vettori, sia perché nel capitolo e nei paragrafi precedenti sono stati introdotti e spiegati in modo adeguato. Ad esempio, cosa siano le cariche e come si formino è un concetto che il Walker presenta in maniera estremamente approfondita prima di presentare questo estratto, affrontando in diversi paragrafi come i corpi si possano caricare e cosa siano le cariche.

Questo tipo di ragionamento ha però un rovescio della medaglia: si dà per scontato che lo studente ricordi tutto perfettamente nella presentazione degli argomenti che il libro fa o che l'insegnante ha svolto in passato. Questo non è mai vero per tutti gli studenti, con o senza DSA. Nel caso specifico degli studenti con DSA abbiamo visto che in letteratura è comprovato che essi abbiano una rete di conoscenze a priori più debole dei loro pari senza DSA. Dare dunque per scontato che i termini tecnici anche più frequenti siano automaticamente capiti è un'assunzione sbagliata e nell'intervento didattico mirato l'insegnante dovrebbe anzitutto assicurarsi di ridefinire tutti i concetti che possano essere utili ad una spiegazione.

Nel caso in esame e sul piano lessicale, per l'insegnante che voglia spiegare la legge di Coulomb sarebbe sicuramente utile assicurarsi che gli studenti abbiano in mente cosa si intende per carica, per forza e per proporzionalità, fornendo di nuovo delle definizioni degli elementi lessicali che vengono citati dal testo o durante l'esposizione dell'argomento.

Per altre parole invece si può evitare di impiegarle: in questo caso abbiamo l'esempio dell'avverbio "incredibilmente", che è molto lungo e non è necessario all'esposizione, e dunque potrebbe essere sostituito da un sinonimo o da una locuzione avverbiale che coinvolga parole più brevi. Invece di dire "incredibilmente semplice" si potrebbe ad esempio dire "molto semplice", ottenendo lo stesso significato con una espressione più facile da decodificare.

Dell'ultimo elemento che la dimensione lessicale tocca, registriamo che la pagina non presenta un glossario ma nel contesto del brano in esame ciò non è neppure strettamente necessario: il testo infatti definisce già nello svolgimento il significato dei termini nuovi, come ad esempio quando introduce il significato di "forza elettrostatica" poiché ha appena spiegato che le cariche coinvolte sono considerate ferme.

Passiamo alla dimensione sintattica. Poniamo l'esempio del primo periodo:

"La legge che descrive la forza con cui interagiscono le cariche elettriche fu formulata per la prima volta da Coulomb, verso la fine del '700."

Poniamo sotto diversi colori le varie proposizioni. In viola abbiamo la proposizione reggente, in rosso una prima subordinata relativa legata al soggetto della reggente, in blu una subordinata modale retta dalla prima subordinata e in verde una proposizione incidentale in quanto separata da virgola. Su quattro proposizioni che incontriamo abbiamo dunque un periodo dove domina l'ipotesi, poiché abbiamo una proposizione reggente, due subordinate e una incidentale. Per quanto riguarda altri elementi da attenzionare per il carico cognitivo registriamo l'assenza di proposizioni in forma negativa e la presenza di una proposizione in forma passiva, che in questo caso è proprio la reggente.

Ai fini dell'analisi sintattica, possiamo come sopra includere anche le frasi presenti nei box finché formino periodi di senso compiuto: ad esempio non ha senso includere il titolo del box dell'equazione ma è possibile introdurre nella conta delle proposizioni il periodo semplice "Nel SI si misura in newton (N).", il quale contribuisce al computo delle proposizioni aggiungendone solo una al totale: in quanto unica proposizione di un periodo semplice questa frase non contribuisce alla coordinazione o alla subordinazione, è in forma affermativa e riflessiva, che tecnicamente non conta né come passiva, né come attiva (e noi contiamo le passive).

Abbiamo deciso di contare nelle varie dimensioni dell'analisi anche i termini e le proposizioni dei box per una semplicissima ragione: se il testo li presenta il lettore può leggerli, e se li legge anche le parole di quegli elementi presentano un carico cognitivo da valutare sotto i vari profili inquadri dalla lente.

L'esempio che abbiamo mostrato sopra esplicita come sono stati raccolti i dati a seguire: abbiamo applicato la stessa procedura al resto del brano e senza ripetere l'analisi del periodo frase per frase presentiamo direttamente i risultati. Sul brano intero, regi-

striamo un totale di 4 periodi composti. Tra tutti i periodi troviamo 16 proposizioni di cui 5 sono subordinate e 3 sono coordinate, e nel resto del totale abbiamo proposizioni semplici, principali o incidentali. Sulla base di questi dati, si può concludere che in questo brano prevalga l'ipotassi, con il 31% di proposizioni subordinate rispetto al 19% di coordinate sul totale delle proposizioni analizzate.

Sebbene le subordinate siano più numerose, la differenza non risulta particolarmente marcata. Per quanto riguarda la presenza di forma negativa si registra che nessuna proposizione incontrata è in forma negativa, essendo tutte e 16 le proposizioni affermative. Per quanto riguarda la presenza di forma passiva registriamo 3 proposizioni passive a fronte delle altre 13 che risultano in forma riflessiva o attiva.

Visto il brano con una prevalenza di ipotassi che potrebbe aumentare il carico cognitivo per uno studente con DSA, l'insegnante dovrebbe valutare la possibilità di elaborare una versione della stessa esposizione con una sintassi semplificata. Un brano semplificato sintatticamente potrebbe dunque essere una valida alternativa per studenti con DSA per affrontare lo studio autonomo del testo. La completa assenza di forme negative e la bassa presenza di forme passive è un buon segnale e ci spinge a concludere che la semplificazione sintattica andrebbe svolta presentando periodi con meno subordinazione, fin dove possibile.

Infine passiamo alla dimensione cognitiva e metacognitiva. La prima osservazione da fare è quella dei registri che il testo presenta accanto a quello scritto: nel caso del brano in esame abbiamo diversi elementi che fanno parte del registro semantico matematico, nello specifico delle variabili che compaiono nel testo ($q_1, r, q_2, |q_1||q_2|$) e nel box l'equazione della legge stessa. L'informazione racchiusa tra questi simboli e la legge è adeguatamente esplicitata dal testo: quando introduce ognuna delle variabili il testo dà prima una spiegazione diretta del contenuto di quella variabile ("una carica puntiforme ideale q_1 ", "una distanza r "...) non lasciando alcuna ambiguità sul loro significato, e prima di introdurre la legge di Coulomb nella sua forma scalare il testo mette esplicitamente in luce i rapporti di proporzionalità diretta e inversa che vi sono tra la forza elettrostatica e le cariche e la distanza reciproca.

Dunque, nessuno degli elementi del registro matematico risulta superfluo al ragionamento o non viene esplicitato nel registro verbale e possiamo concludere che l'informazione sia presentata in maniera chiara e coerente tra i registri semantici proposti. Per quanto riguarda il titolo di sezione, "La legge di Coulomb", da un lato si sottolinea che nella presentazione proposta la legge di Coulomb è effettivamente esplorata e presentata in maniera esaustiva, mantenendo dunque "la promessa" che il titolo di sezione pone. Dall'altro lato però un titolo del genere non è predittivo del contenuto del brano: chi non conosca già la legge di Coulomb non avrebbe modo di sapere che il contenuto del brano avrebbe descritto la forza elettrostatica tra cariche puntiformi.

Esempi di titoli che avrebbero potuto stimolare l'anticipazione dello studente sarebbero potuti essere "La forza elettrostatica: la legge di Coulomb" o "La legge di Coulomb relativa alla forza elettrostatica", in quanto danno elementi per poter predire che il testo

tratterà di una forza e che questa ha a che fare con l'elettrostatica, un termine che non è del tutto trasparente ma che suggerisce che vi sia qualcosa a che fare con l'ambito elettrico e con una qualche grandezza in condizioni di staticità. L'insegnante che voglia stimolare la riflessione anticipata e la curiosità degli studenti potrebbe ripensare i titoli delle proprie lezioni in questa chiave, racchiudendo in essi elementi che permettano di anticipare di cosa si parlerà durante l'esposizione.

Nel caso di box riassuntivi o che mettano in luce nozioni chiave, nel brano che abbiamo scelto abbiamo due esempi: il box stesso dell'equazione che racchiude tutte le informazioni anticipate sulla forza di Coulomb nella sua forma scalare e il box denominato "CONCETTO CHIAVE 2" che ricorda brevemente come funzionano attrazione e repulsione tra cariche elettriche. L'esposizione richiama adeguatamente le informazioni riassuntive, e questa è una pratica che nella ricerca di settore migliora notevolmente l'acquisizione delle nozioni che il testo vuole comunicare, pratica efficace per studenti con DSA.

L'esposizione richiama inoltre conoscenze pregresse, come già anticipato nella dimensione lessicale. Queste sono visibili sia su nozioni già viste prima di questo brano relativamente alle cariche e alla loro attrazione/repulsione, a concetti che solitamente sono già stati visti ampiamente in meccanica ("in quiete", "puntiforme", "forza"...) oppure a concetti matematici su cui il ragionamento poggia (la proporzionalità diretta e inversa, il valore assoluto, il quadrato...). Il brano in esame richiama adeguatamente ciò che occorre sapere sulle cariche mediante il box "CONCETTO CHIAVE 2" ma nella sua esposizione dà per scontata la conoscenza dei termini e delle locuzioni relativi alla meccanica o alle operazioni matematiche.

Nella struttura del libro di testo che l'esposizione venga fatta in questo modo ha senso: questi concetti ricorrono spesso e il testo completo li richiama in sezioni o capitoli precedenti che lo studente può andare a consultare ancora una volta, per rinfrescare le sue nozioni. Per la nostra analisi però questa situazione è allo stesso tempo prevedibile e nociva. Prevedibile perché nella letteratura riportata si è visto che il testo espositivo ha una forte struttura gerarchica tra le nozioni che richiama e richiede una solida base di conoscenze pregresse per andare avanti con i nuovi concetti. Nociva perché questa forte propedeuticità di conoscenze a priori si scontra col dato di realtà degli studenti con DSA che hanno sistematicamente una rete di conoscenze a priori più debole.

In questo senso non è ragionevole proporre una modifica sostanziale ai testi in sé, ai quali magari potrebbe fare bene introdurre più spesso elementi di richiamo brevi come il box "CONCETTO CHIAVE 2" che abbiamo visto sopra, ma sicuramente l'insegnante può intervenire in questa direzione nella sua trasposizione didattica di questi stessi concetti, tenendo a mente che gli studenti con DSA (e non solo loro) avranno bisogno di quel promemoria a conoscenze che il testo dà per assodate.

Per quanto riguarda la modellizzazione e i collegamenti con l'esperienza quotidiana, possiamo argomentare che il testo modella con successo come funziona l'interazione tra cariche in condizioni statiche con la proposta della legge di Coulomb, e che chiaramente

non contenga nel brano in esame nessun parallelo con il quotidiano o con situazioni immediatamente accessibili allo studente. Il che non è necessariamente un male ma un fattore su cui porre attenzione: se da un lato l'accesso a esperienze note e immediatamente accessibili offre una migliore accessibilità a concetti a volte astratti, sappiamo che spesso la conoscenza di senso comune entra in conflitto con la conoscenza che i testi di fisica propongono come accreditata, e nel conflitto tra le due possono generarsi misconcezioni che penalizzano la comprensione del contenuto fisico.

In altri termini, la presenza di una chiara modellizzazione e di collegamenti al quotidiano offre punti di forza e di debolezza, e qualora nel testo si presentino esempi di questo tipo l'insegnante deve avere l'accortezza di sfruttare il loro potenziale didattico senza cascare nelle misconcezioni. Dunque nel rilevare che non vi sono collegamenti col quotidiano nel brano in esame stiamo rilevando una mancata occasione di rendere la forza elettrostatica più accessibile ma anche il fatto che il ragionamento così come proposto possa anche dare meno spazio alle misconcezioni.

Infine, per quanto riguarda elementi che stimolino la pausa di riflessione e/o l'applicazione di quanto sinora visto, registriamo che in questo brano non vi sia nulla del genere. Questi elementi sono preziosi sul piano della regolazione dell'attenzione per la loro possibilità di rivedere in una diversa chiave quanto appena esposto dal testo e per fare materialmente una digressione dal ragionamento. Il punto di vantaggio di queste pause sta proprio nel fatto che siano forzate, in quanto gli studenti con DSA sono tendenzialmente meno competenti nella regolazione dei processi attenzionali.

Il fatto che nel brano in esame manchi esplicitamente un elemento simile può diventare un'occasione per l'insegnante a introdurre nella sua trasposizione didattica una pausa di riflessione, proponendo un'applicazione della legge di Coulomb, facendo domande alla classe su quanto sinora esposto o anche semplicemente proponendo un breve silenzio per riflettere su quanto esposto, tutti stratagemmi atti a rompere il ritmo del ragionamento che poi può essere ripreso in un secondo momento.

Seguendo quanto fatto per questo brano, la lente è stata sistematicamente applicata per analizzare alcuni estratti del Walker (2020, Pearson) e dell'Amaldi (2012, Zanichelli) come esempio di ciò che emerge nell'applicazione a dei testi concreti. I risultati principali di questa analisi sono presentati nel capitolo 4.

Capitolo 4

L'analisi dei testi: un esempio e i risultati

4.1 Il testo da analizzare: criteri di selezione dei brani dai libri

La prima questione da affrontare nella nostra analisi riguarda la scelta degli argomenti da trattare e la successiva estrapolazione dei brani da due testi che abbiamo scelto. I testi in questione sono *l'Amaldi per i licei scientifici. blu* di Ugo Amaldi (2012, Zanichelli) e il *Fondamenti di Fisica* di James S. Walker (2020, Pearson), due libri di testo che si utilizzano nelle scuole secondarie di secondo grado. La scelta di questi testi è stata fatta poiché sono comunemente adottati nel curriculum scolastico italiano per insegnare la fisica. Scopo dell'analisi è condurre una lettura critica del testo, finalizzata a valutarne l'efficacia nei confronti di studenti con DSA e a individuare possibili strategie di rielaborazione testuale volte a diminuirne il carico cognitivo.

Si è scelto di analizzare i capitoli riguardanti il campo elettrico: gli argomenti specifici che abbiamo selezionato riguardano la legge di Coulomb sulla forza elettrostatica, la descrizione della forza elettrostatica tra cariche e la definizione del campo elettrico a partire da questa. Dunque i capitoli che abbiamo analizzato sono rispettivamente il capitolo 23 dal Walker e i capitoli 18 e 19 dall'Amaldi. L'analisi ha riguardato ogni parte accessibile al lettore e compatibile coi criteri della lente: sono dunque stati analizzati il testo principale volto ad introdurre i contenuti, le figure e le loro didascalie e le parti di testo dedicate agli esercizi.

In particolare, si sono selezionate dal Walker le pagine dalla 545 alla 574, mentre per l'Amaldi gli intervalli vanno da pg. 626 a pg. 642 e da pg. 656 a pg. 678. Nelle prossime sezioni riportiamo i risultati dell'analisi condotta su questi testi, attraverso la lente introdotta nella sezione 3.3.

Anticipiamo da subito una scelta convenzionale: durante l'analisi sintattica è stato comune che alcuni periodi iniziassero a fine pagina senza essere conclusi, continuando nella pagina successiva. In questo caso il periodo viene comunque considerato come appartenente alla pagina dove inizia e si arriva al primo punto fermo della pagina successiva per chiuderlo. Da quel punto fermo in poi inizia la conta dei periodi della pagina a seguire, per quanto riguarda la scelta di analizzare periodi che siano di senso compiuto.

4.2 Il capitolo 23 del Walker

4.2.1 Dimensione testuale

Il capitolo 23 del Walker apre il tema col titolo “Cariche elettriche, forze e campi”. È composto da 30 pagine di cui una introduttiva e 29 pagine suddivise in sette paragrafi. Ogni paragrafo ha un titolo sintetico del contenuto e spesso ma non sempre sono presenti sottotitoli che accompagnano alcuni sottoparagrafi e il loro contenuto in maniera più esplicita.

La pagina introduttiva presenta un primo elenco numerato di concetti chiave, dove in quattro voci presenta alcune proprietà della carica elettrica, del campo elettrico e del flusso di quest'ultimo. In particolare, l'autore riporta:

1. “Le cariche elettriche si presentano in quantità discrete e di due tipi: positivo e negativo
2. Cariche dello stesso segno si respingono. Cariche di segno opposto si attraggono
3. Il campo elettrico punta nel verso della forza subita da una carica positiva in presenza di quel campo
4. Il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa è proporzionale alla carica racchiusa all'interno di tale superficie”

Questi elementi ricorrono poi nelle pagine successive: il testo presenta dei box a lato di alcune pagine citando letteralmente queste stesse frasi, localizzando dunque il punto in cui ci si aspetta che lo studente debba aver acquisito le conoscenze fissate come obiettivo.

La pagina introduttiva poi presenta l'immagine di un pezzo di ambra e una didascalia che racconta di come i greci scoprirono fenomeni di ambito elettrico mediante questo materiale. Procede poi con un brano che contestualizza la presenza di cariche elettriche nella nostra vita in quanto esse esistono negli atomi e producono interazioni elettriche anche tra atomi, tra molecole e nel comporre la materia in generale e conclude con una breve descrizione del contenuto del capitolo e un elenco dei sette paragrafi principali:

1. “La carica elettrica

2. Isolanti e conduttori
3. La legge di Coulomb
4. Il campo elettrico
5. Le linee del campo elettrico
6. La schermatura e la carica per induzione
7. Il flusso del campo elettrico e la legge di Gauss”

I paragrafi che seguono sono ben marcati da questi titoli e la suddivisione degli argomenti tra di essi viene rispettata in maniera netta. Il contenuto di ogni paragrafo può a sua volta essere strutturato in sottoparagrafi nella maggior parte dei paragrafi: la presenza di sottotitoli o di box che evidenzino a lato il contenuto dei sottoparagrafi è presente in maniera frequente nel testo, per quasi tutto il capitolo, anche se la struttura con cui i paragrafi si presentano non è prevedibile. Alcuni paragrafi non hanno sottoparagrafi, altri hanno un testo senza sottoparagrafo collegato al titolo di paragrafo e poi altri sottotitoli, altri ancora hanno un titolo di paragrafo, un brevissimo testo introduttivo e subito un sottoparagrafo a seguire.

In ogni paragrafo frasi e blocchi di periodi sono legati da connettivi logici che sottolineano lo svolgersi del ragionamento: sono spesso presenti congiunzioni (ad esempio “poiché”, “infatti”, “perciò”...), avverbi (“Innanzitutto”, “Inoltre”, “Poi”...) o locuzioni (“Il fatto che”, “In questi casi”, “Ad esempio”, “In particolare”...) che vanno a sottolineare l'avvicinarsi del ragionamento tra i vari periodi che si susseguono all'interno dei paragrafi. Gli argomenti vengono presentati seguendo una progressione organica, agganciando ogni nuovo argomento al precedente.

Il testo ripete spesso i termini fisici relativi ai concetti che sta trattando ed evita, per quanto possibile, l'uso di pronomi che sottintendano tali termini: le frasi, dunque, individuano in maniera chiara i concetti fisici che espongono e le grandezze coinvolte evitando sottintesi nella presentazione dei soggetti di ogni predicato e le frasi si susseguono in maniera fluida nel ragionamento.

La coerenza concettuale del testo è alta: salti logici o argomenti non correlati ai precedenti non sono del tutto assenti ma risultano sporadici. Tendenzialmente il testo presenta in ogni sua parte un concetto legato logicamente al precedente, in quanto risultato del ragionamento finora condotto in quella che è di fatto una struttura lineare, e non sono presenti evidenti contraddizioni nel testo.

Il livello di conoscenze propedeutiche che il testo presuppone come prerequisito riguardano soprattutto la sfera della matematica o della meccanica relativamente alla fisica: ad esempio, il testo dà per scontate conoscenze e termini relativi ai vettori (il loro modulo, il verso, cosa sia la direzione radiale...), ciò che riguarda rapporti di diretta o inversa proporzionalità oppure nozioni relative alle forze o alla cinematica (le leggi di

Newton, formule relative all'accelerazione, proprietà generali delle forze...). Se vi sono conseguenze nel ragionamento che dipendono da tali conoscenze, non è detto che il libro spieghi il passaggio logico e può commettere salti nel ragionamento che vengono dati per scontati.

Per le grandezze e i concetti invece legati all'argomento esposto nel capitolo come le cariche elettriche o la forza o il campo elettrici, il capitolo non dà nulla per scontato e definisce ampiamente questi concetti, corredando le spiegazioni nel testo con box riassuntivi, elementi evidenziati come parole in grassetto, esempi svolti ed esercizi guidati passaggio per passaggio. Il testo stesso, trascurando questi elementi aggiuntivi, spiega nel dettaglio ogni argomentazione legata all'ambito delle grandezze elettriche in maniera esplicita.

Il capitolo presenta infatti la forte presenza di altri elementi oltre il testo principale che si strutturano in box evidenziati, esercizi, figure con didascalia, esempi svolti, concetti chiave o altri elementi posti alla maggiore attenzione del lettore. I due registri semantici che figurano oltre quello testuale sono il registro grafico (che si manifesta in figure e diagrammi) e il registro matematico (che si manifesta nelle equazioni). Le informazioni tra i registri non sono mai superflue o esposte in maniera parziale, dimostrando un'alta coerenza tra di essi e un completamento logico tra i vari elementi oltre il testo principale che il libro espone.

Possiamo dunque concludere che il testo in esame presupponga un lettore preparato sugli argomenti propedeutici al capitolo e che non abbia lacune su tali concetti, ma per quanto riguarda gli argomenti stessi del capitolo il testo aiuta anche il lettore in difficoltà spiegando con una varietà di approcci, esempi e registri gli stessi concetti nel dettaglio. Dunque se la difficoltà del lettore è localizzata solo sul capitolo in esame, possiamo affermare che il capitolo sia accomodante verso eventuali difficoltà del lettore, ma se tali difficoltà si legano a concetti del piano matematico o di ambito meccanico allora il libro presuppone un certo livello di autonomia e di conoscenze a priori che il lettore deve possedere o recuperare in modo autonomo.

Facciamo ora un focus sull'articolazione del contenuto dei suddetti paragrafi facendo eventualmente approfondimenti su eventuali impliciti: il primo paragrafo è intitolato "la carica elettrica", e dopo alcune pagine di esposizione presenta altri due sottoparagrafi intitolati "La separazione delle cariche" e "La polarizzazione". Il paragrafo introduce la carica storicamente, facendo un richiamo agli esperimenti dei greci a partire dal 600 a. C. sull'ambra sfregata su pellicce e la sua capacità di attrarre oggetti di piccole dimensioni. Il paragrafo poi procede a fare una presentazione più moderna, passando a esempi di esperimenti di sfregamento fatti con sbarrette di materiali quali il PVC o il vetro.

Dall'attrazione o repulsione reciproca di questi materiali si deduce l'esistenza di due stati fondamentali di elettricità: viene qui presentata la convenzione di Franklin di battezzare questi stati "carica positiva" e "carica negativa" e il fatto che ciò abbia una valenza matematica, in quanto il bilanciamento delle cariche produce l'esistenza dei corpi neutri e il loro sbilanciamento porta all'elettrizzazione in positivo o in negativo.

Come esempio di ente elettricamente neutro viene presentato l'atomo, del quale viene dato un modello moderno, riconoscibile dal nucleo positivo localizzato al centro e dalla nuvola di elettroni negativa che lo circonda. Si presenta la carica fondamentale dell'elettrone e il fatto che ogni elettrone abbia sempre questo valore fisso di carica, e nel dare il valore viene introdotta l'unità del Coulomb. La sezione poi procede ad elencare le proprietà delle particelle che compongono l'atomo, nello specifico i valori di massa dell'elettrone, del protone e del neutrone e spiegando che essi hanno cariche rispettive $-e$, $+e$ e 0 .

Fornito questo modello, incontriamo il sottoparagrafo nominato "la separazione delle cariche". In esso, il testo procede a presentare l'idea della conservazione della carica elettrica: se prima sembrava che la carica si creasse, il testo argomenta, adesso invece possiamo supporre che essa venga trasferita, e il testo procede a spiegare come lo sfregamento proceda di fatto a trasferire elettroni. A questo punto si usa questa considerazione per presentare la legge di conservazione della carica elettrica, spiegando come la carica non si crei e non si distrugga e che a trasferirsi siano gli elettroni poiché i nuclei dei solidi e i nucleoni che li compongono siano fissi in posizione e difficilmente separabili.

Il paragrafo a questo punto introduce la definizione di ione, spiegando come gli atomi divengano ioni quando perdono o acquistano elettroni, e spiega come i diversi materiali siano caratterizzati attraverso il numero di elettroni che possono perdere o acquisire, producendo diversi livelli di ionizzazione/elettrizzazione. Il testo a questo punto fa ancora altri esempi di carica per sfregamento, spiegando che essa ha il nome tecnico di effetto triboelettrico, e spiega come anche il fenomeno quotidiano dei fulmini possa essere spiegato con la separazione delle cariche, argomentando che tra le nubi e il suolo si crei una enorme separazione di cariche che poi il fulmine riunisce. Il sottoparagrafo si chiude infine con una citazione all'esperimento di Millikan e alla quantizzazione della carica, spiegando come la carica in natura sia sempre un multiplo intero di e .

Segue poi il sottoparagrafo intitolato "La polarizzazione", nel quale si spiega come alcuni corpi possano produrre fenomeni elettrici pur possedendo una carica totale nulla: viene presentata una serie di esempi concreti in alcune figure, e in una di esse si vede una sbarretta positiva che attrae una serie di atomi rappresentati come dipoli oblungi, deformati per via dell'attrazione della porzione negativa dell'atomo. Il termine "dipolo" non viene menzionato esplicitamente, ma si introduce il concetto di carica per polarizzazione, descritta come il risultato della deformazione e del riorientamento degli atomi provocati da un oggetto carico. Viene inoltre spiegato come questo fenomeno giustifichi l'attrazione esercitata dalle sbarrette cariche sugli oggetti leggeri, in quanto questi ultimi subiscono un processo di polarizzazione.

Il secondo paragrafo, "Isolanti e conduttori", si rivela breve poiché lascia già dopo una pagina spazio al paragrafo successivo e non possiede sottoparagrafi. Il paragrafo si apre con la descrizione di un esperimento di sfregamento dove una sbarretta di ambra viene sfregata su una pelliccia e viene definita isolante poiché la carica rimane localizzata nel punto di contatto e non è libera di muoversi nel resto della sbarretta.

Vengono poi presentati i conduttori come materiali nei quali la carica è libera invece di muoversi liberamente e distribuirsi, definendo dunque isolanti e conduttori in termini di mobilità interna delle cariche. Si fa un focus microscopico su tale mobilità citando gli elettroni di conduzione e spiegando che i materiali conduttori hanno tali elettroni meno legati e distanti dal nucleo, spiegando dunque la differenza tra i tipi di materiali in termini di elettroni liberi. Si citano poi i semiconduttori in quanto materiali con proprietà intermedie e la loro possibilità di mostrare diversi livelli di conducibilità elettrica, che viene presentata come ragione del loro impiego nel settore dell'elettronica e dei computer.

Vengono poi citati i fotoconduttori, facendo l'esempio del selenio: un materiale che esposto alla luce si comporta come conduttore ma che al buio si comporta invece come isolante. Si fa poi l'esempio di fotocopiatrici e stampanti laser, spiegando come il selenio e questa sua proprietà vengano impiegati in tali applicazioni poiché illuminando le parti chiare di un documento da scansionare quelle riflettono più luce rispetto alle parti scure e il selenio viene stimolato diversamente da questi diversi livelli di illuminazione, potendo dunque digitalizzare questa informazione nelle fotocopie o per poter depositare il toner che produce le stampe di una stampante laser.

Il terzo paragrafo, "La legge di Coulomb" segue la stessa struttura della prima con un testo immediato e poi due sottoparagrafi titolati "Sovrapposizione delle forze" e "La distribuzione delle cariche elettriche su una sfera". Il paragrafo si apre con il citare Coulomb in quanto scopritore della legge e poi si passa a una descrizione prima a parole e poi in formalismo matematico della legge: si espone la proporzionalità della forza elettrostatica diretta rispetto ai moduli delle cariche coinvolte e inversamente quadratica alla distanza relativa tra cariche, e poi si dà la forma scalare della legge. Il testo poi esprime il valore della costante di proporzionalità k che figura nell'equazione e si sofferma a discutere l'azione del vettore forza sulla retta che congiunge le due cariche nello spazio. Con questa specificazione il testo allora presenta la forma vettoriale della legge di Coulomb e si sofferma nello spiegare ogni singolo termine che figura in essa, sia nel significato dei simboli che nella dipendenza del verso finale della forza dal segno delle cariche. Viene poi richiamato il fatto che anche per questa forza vale la terza legge di Newton, la quale viene rapidamente spiegata in un esempio tra cariche.

Il paragrafo presenta poi un'analogia meccanica, comparando le similitudini e le differenze tra la legge di Coulomb sulla forza elettrostatica e la legge di Newton sulla gravitazione universale (ovvero l'attrazione tra masse). Il testo fa inoltre un esempio di applicazione sul ruolo di tali forze a livello di dimensioni tipicamente astronomiche e poi di dimensioni tipicamente atomiche.

Nel primo caso argomenta rapidamente che i corpi tipici dell'astronomia sono tendenzialmente elettricamente neutri e dotati di masse importanti, ed è per questo che la gravità gioca in essa un ruolo fondamentale. Nel caso delle dimensioni atomiche il testo dichiara che avviene l'esatto contrario e fa un calcolo numerico esplicito, comparando le forze gravitazionali ed elettriche che si verificano nel sistema atomo di idrogeno tra il singolo protone e il singolo elettrone del sistema, e mostrando che la forza gravitazionale

risulta essere 39 ordini di grandezza inferiore a quella elettrica.

A questo punto il testo fa una digressione su un esempio svolto citando l'atomo di Bohr, modellizzando l'atomo di idrogeno con esso e descrivendo, sia a parole che con una figura, un nucleo composto da un singolo protone attorno al quale orbita un elettrone su una specifica orbita circolare. L'esempio calcola la forza di attrazione tra i due e spiega che quella sarebbe responsabile di tenere l'elettrone in orbita, ma il libro sorvola sul fatto che non è chiaro poiché l'elettrone non dovrebbe invece collassare nel nucleo per via dell'attrazione tra cariche opposte o quale sia il fenomeno che tiene l'elettrone in orbita, né si cita il fatto che Bohr immaginasse delle orbite specifiche e quantizzate sulle quali gli elettroni sono vincolati. Questa omissione di fatto è un implicito che il libro non commenta e dove compie un salto logico che dallo studente attento potrebbe essere dedotto.

La sezione procede poi con il sottoparagrafo "Sovrapposizione delle forze" dove viene esposto tale principio in virtù della vettorialità delle forze: poiché le forze hanno una natura vettoriale, se una carica interagisce con più di una carica alla volta la forza risultante è la somma vettoriale delle singole forze a due a due. Il libro descrive questo fatto prima a parole e poi con tre esempi svolti e un problema di verifica.

Incontriamo poi l'ultimo sottoparagrafo, intitolato "La distribuzione delle cariche elettriche su una sfera". In esso il testo espone il fatto che la legge di Coulomb possa essere applicata anche a corpi estesi e non soltanto alle cariche puntiformi. Viene fatto l'esempio di una carica distribuita uniformemente dalla sfera e viene considerata una carica puntiforme nella regione esterna alla sfera, dichiarando che la superficie sfera carica si comporta come se la carica fosse concentrata nel centro della sfera. Come ciò venga dimostrato non viene esposto dal libro, citando "procedimenti matematici appropriati" e "metodi del calcolo integrale" come ragione di questo risultato ma senza presentare alcuna dimostrazione in merito. Possiamo considerare questa scelta come un esempio di implicito sul piano matematico, anche se è chiaro che il calcolo integrale necessario a raggiungere questo risultato sia al di fuori del livello di competenze dello studente atteso dal libro.

Arriviamo dunque al quarto paragrafo, intitolato "Il campo elettrico", il quale dopo l'atteso sottoparagrafo introduttivo presenta due sottoparagrafi intitolati "Il campo elettrico di una carica puntiforme" e "Sovrapposizione dei campi". Il testo inizia col citare il concetto di campo di forze in fisica e procede immediatamente a definirlo nel caso elettrico, introducendo la carica di prova e la forza di cui essa risente in ogni punto dello spazio per definire il valore del campo in ogni punto. Si introduce formalmente il campo come la forza per unità di carica e il testo a questo punto chiarisce un paio di potenziali impliciti: specifica infatti che il campo è definito a prescindere dal fatto che la carica di prova senta la forza dovuta a una sola carica o a un gruppo di esse e chiarisce che la carica di prova deve essere piccola abbastanza da non provocare forze percettibili nelle cariche che generano il campo. Il testo procede a questo punto col dare alcune caratteristiche vettoriali del campo come il suo verso e il modulo, e il suo legame con la forza elettrica.

Dopo un esempio svolto, si procede a fare l'esempio dell'elettrodialisi e del fatto che in questo processo si usino campi elettrici per purificare l'acqua, sfruttando il fatto che i minerali disciolti in essa si separino in ioni carichi elettricamente che mediante il campo possono essere separati dall'acqua mediante membrane.

A questo punto incontriamo il sottoparagrafo "Il campo elettrico di una carica puntiforme", il quale viene presentato come il caso più semplice per fare un esempio di campo: il testo ne deduce rapidamente la forma a partire dalla legge di Coulomb tra la sorgente e la carica di prova e dividendo la forza risultante per la carica di prova. Il sottoparagrafo si conclude con qualche considerazione sull'equazione così ricavata e lascia subito spazio al sottoparagrafo successivo, intitolato "Sovrapposizione dei campi". In esso il testo richiama il principio di sovrapposizione nel caso delle forze elettriche e spiega come lo stesso si possa fare per il campo elettrico, per via della somma vettoriale dei vari campi che agiscono su una carica. A questo punto il testo si sofferma a considerare il caso di un campo generato da due cariche positive con stessa intensità e il calcolo del campo che generano in un punto equidistante da entrambe e non sulla congiungente. Il testo pone un sistema di assi cartesiani sul quale valutare le componenti del campo che calcola esplicitamente, presentando dunque la sovrapposizione dei campi direttamente con un esempio di calcolo concreto.

Dopo questo esempio, seguono alcuni esempi guidati e di verifica e poi il testo presenta alcuni esempi di applicazione del campo elettrico a creature acquatiche, in una sezione del testo con un titoletto a lato chiamata "pesci elettrici" (che, specifichiamo, non conta come sottoparagrafo). In essa il testo fa alcuni esempi di specie che usano il campo elettrico come strumento di orientamento durante gli spostamenti (nel caso dei Mormiridi) o come strumento di difesa per generare scariche (nel caso delle anguille). Viene anche poi fatto l'esempio degli squali e di un dispositivo che sfrutta la loro sensibilità ai campi elettrici chiamato SharkPOD: questo serve a proteggere i sommozzatori dalla presenza degli squali e consiste in una coppia di elettrodi da collegare al sommozzatore, i quali generano un enorme campo elettrico che repelle gli squali. Il sottoparagrafo si chiude col citare il fatto che tale dispositivo sia stato usato durante le olimpiadi del 2000 con successo.

Segue poi il quinto paragrafo, che si intitola "Le linee del campo elettrico" e possiede un singolo sottoparagrafo chiamato "Condensatori a facce piane parallele". Il paragrafo si apre con una considerazione legata ai diagrammi dove sono rappresentati alcuni vettori di campo e il fatto che ciò possa far "venire la tentazione" (*sic*) di rappresentare il campo mediante linee che congiungano tali vettori. Viene poi riportato un esempio di semi polarizzati che si allineano nella direzione del campo e formano dunque una visualizzazione empirica della presenza del campo a causa della polarizzazione di tali semi. Sulla base di queste il paragrafo definisce dunque l'idea della linea di campo e fornisce le regole convenzionali con cui di solito si rappresentano le linee (l'allineamento col campo, il partire da sorgenti positive e il finire verso pozzi negativi, la maggiore densità delle linee che è proporzionale alla maggiore intensità del campo). Dopo aver

presentato tali regole, il testo si sofferma nel dettaglio a spiegare come debbano essere applicate per poter rappresentare il campo mediante le linee e poi fornisce degli esempi grafici nel caso di alcune configurazioni con cariche puntiformi singole o con coppie di esse. Nello specifico viene presentata anche la configurazione dove le cariche sono separate spazialmente, di stesso modulo e segno opposto e si definisce apertamente tale sistema come il dipolo elettrico. Con esso il sistema spiega il caso di oggetti neutri che si polarizzano, come alcune molecole, in quanto la somma delle cariche è nulla ma il campo attorno al dipolo rimane comunque presente.

Incontriamo ora il sottoparagrafo “Condensatori a facce piane parallele”, dove il testo prima introduce il caso di una lastra piana e carica e il campo che si genera attorno ad essa come esempio di campo semplice e costante. Combinando poi una coppia di queste lastre presenta il caso del condensatore a facce piane parallele, mostrando che il campo al suo interno risulti uniforme e specificando che ciò si tratta di un caso ideale, poiché nel caso reale il campo è grossomodo uniforme solo nella regione interna del condensatore. Dopo un esempio svolto con un condensatore, il paragrafo si chiude facendo l'esempio dei pannelli fotovoltaici e spiegando che il suo comportamento è analogo a quello di un condensatore come quello appena visto, con due lastre separate da uno strato isolante. Si accenna poi al suo funzionamento in maniera vaga e rapida, spiegando che se illuminato le cariche passano da una lastra all'altra producendo una corrente elettrica, concetto che in questo capitolo non viene trattato e che il testo promette di trattare in un capitolo successivo.

Il sesto paragrafo ha per titolo “La schermatura e la carica per induzione. Presenta del testo immediatamente dopo il titolo e due sottoparagrafi titolati “La schermatura elettrostatica” e “La carica per induzione”. Il paragrafo si apre con una discussione delle cariche all'interno di un conduttore ideale, considerando una sfera conduttrice carica e ragionando su come la carica si distribuisca su di essa. Il testo anticipa da subito che essa si distribuisce solo sulla sua superficie e poi giustifica questo risultato deducendolo a ritroso: considera una situazione con un conduttore il cui volume abbia una distribuzione uniforme di carica e ragiona sul fatto che le cariche interne risentirebbero di una repulsione dovuta alle cariche ad esse vicine nel volume interno dell'oggetto, e poiché esse sono libere di muoversi allora devono potersi allontanare a vicenda e spingersi alla maggiore distanza reciproca possibile, il che implica che le cariche si distribuiranno sulla superficie del conduttore. Perciò, il libro conclude che se troviamo della carica in eccesso su un conduttore e in equilibrio non possiamo che trovarla sulla superficie esterna. Il libro poi specifica che tale conduttore potrebbe essere cavo e avere superfici interne, ma che in quel caso vale comunque la regola appena enunciata.

Incontriamo poi il sottoparagrafo titolato “La schermatura elettrostatica”. In esso, dalla regola appena esposta, il testo deduce che all'interno del conduttore non possa esservi un campo elettrico nella regione interna di un conduttore: come sopra, la regola viene prima anticipata e viene dimostrata dopo, in questo caso ragionando sul fatto che se vi fosse un campo in quella regione gli elettroni liberi si muoverebbero a causa del

campo in modo da annullarlo, portando all'equilibrio le cariche. Il testo presenta a questo punto il fenomeno della schermatura nei conduttori, spiegando come essi annullino il campo interno al loro volume quando immersi in un campo esterno, facendo l'esempio di una sfera conduttrice: il libro mostra sia col testo che con una figura che nella sfera gli elettroni devono muoversi verso la porzione positiva del campo, generando sulle superfici della sfera delle cariche indotte, negative in una regione e positive nella porzione opposta che fanno finire le linee sulla superficie carica negativamente e che le fanno ripartire dalla porzione positiva, lasciando la porzione interna priva di campo. Il libro spiega come ciò valga anche per superfici cave e come questo fenomeno sia impiegato per schermare apparecchiature elettriche da campi esterni che potrebbero interferire. Il testo poi anticipa e dimostra la proprietà dei conduttori di avere linee di campo perpendicolari alla superficie stessa, spiegando che se così non fosse il campo avrebbe una componente parallela alla superficie la quale metterebbe le cariche in movimento. Ancora una volta il ragionamento viene ricondotto ad una situazione "per assurdo" e la condizione di equilibrio nei conduttori viene usata come presupposto per giustificare queste proprietà.

Il sottoparagrafo poi presenta con alcuni esempi applicati. Il libro introduce rapidamente l'effetto punta senza citarlo apertamente, come conseguenza della perpendicolarità delle linee di campo che porta in prossimità delle punte conduttrici ad avere campi più intensi. Da questa considerazione prima giustifica l'uso dei parafulmini fatti mediante punta acuminata in quanto il campo intenso sulla punta attrarrebbe le cariche liberate dal fulmine stesso. Sempre su questa considerazione presenta il fenomeno dei fuochi di Sant'Elmo, aloni luminosi che si verificano sugli alberi delle barche per un flusso di cariche attorno ad essi.

Infine l'ultimo esempio applicato che il libro porta riguarda i purificatori dell'aria mediante precipitatori elettrostatici, dispositivi che prima caricano alcune particelle da filtrare come particelle di fumo, e poi, usando l'effetto punta, le attirano per isolarle dall'aria e accumularle attorno alle punte.

Il sottoparagrafo si chiude infine con una considerazione sulla unidirezionalità della schermatura dei conduttori, ovvero il fatto che schermano dall'esterno verso l'interno ma non viceversa, presentando il caso di un guscio conduttivo che contiene una singola carica positiva e dimostrando che, seppur all'interno del conduttore il campo si annulli, per via di come le cariche si distribuiscono sul conduttore avviene che il campo interno viene comunicato dal conduttore verso la regione esterna e dunque di fatto non venga schermato.

"La carica per induzione" è il sottoparagrafo successivo, e come il titolo preannuncia in questo testo viene presentato tale fenomeno considerando una sbarretta carica e una sfera conduttrice inizialmente isolata. Alla sfera viene avvicinata la sbarretta negativa e successivamente un filo viene collegato alla regione opposta alla sbarretta per mettere a terra il conduttore e scaricare gli elettroni indotti, lasciando dunque sulla sfera una carica indotta positiva. Il testo in questo punto definisce il concetto di messa a terra e la capacità della Terra di ricevere o dare un numero enorme di elettroni. Si spiega infine

che a differenza della carica per contatto, la carica indotta è sempre opposta alla carica che l'ha indotta.

Il settimo paragrafo è intitolato “Il flusso del campo elettrico e la legge di Gauss” e dopo un brevissimo testo introduttivo passa subito ad un sottoparagrafo intitolato “Il flusso del campo elettrico”, seguito poi dal sottoparagrafo “La legge di Gauss” e dal sottoparagrafo “Calcolo del flusso del campo elettrico nel caso generale”. Ci ritroviamo dunque quasi subito nel sottoparagrafo “Il flusso del campo elettrico”, dove il testo propone l'immagine delle linee di campo come di frecce che fluiscono attraverso superfici, pur specificando che di fatto non c'è alcun campo o sostanza che fluisca, ma che ciò è solo un'utile analogia. Il testo procede a definire il flusso come prodotto tra superficie esposta alle linee di campo e linee di campo che la attraversano, prendendo il caso banale di un piano come superficie e valutando il valore del flusso al variare dell'inclinazione tra piano e linee di campo. Definisce poi la convenzione che per superfici chiuse il flusso sia positivo per le linee uscenti e negativo per le linee entranti nel volume racchiuso dalla superficie e a questo punto inizia immediatamente il sottoparagrafo intitolato “La legge di Gauss”.

Il testo propone una situazione molto semplice: il campo di una carica puntiforme positiva e una superficie sferica chiusa che racchiuda la carica al suo centro, con l'obiettivo di calcolare il flusso di tale configurazione. Con tale calcolo il testo dimostra immediatamente che il flusso di questo campo è proporzionale alla carica interna, mostrando l'equazione in questione prima in funzione della costante elettrica k e poi introducendo la permittività del vuoto ϵ_0 e riscrivendola in termini di quest'altra costante. A questo punto il libro sottolinea la proporzionalità tra flusso e valore della carica interna e generalizza il risultato a superfici chiuse qualsiasi, secondo il ragionamento che anche se cambia la forma di tale superficie non cambia il numero di linee che attraversano la superficie e dunque il flusso deve coincidere al valore così trovato. Il testo dunque presenta questo risultato ora generale come legge di Gauss e specifica che il segno della carica interna influenza pure il segno del flusso, sempre per via delle linee che in base al segno diventano entranti o uscenti.

Il testo prosegue con un esempio svolto dove considera una carica esterna alla superficie chiusa e argomenta che poiché ogni linea da essa proveniente è sia entrante che uscente di base non contribuisce al flusso su tale superficie, a riprova della legge di Gauss e del suo considerare solo le cariche interne.

Il testo a questo punto discute l'utilità di tale legge dal punto di vista pratico, ovvero nel caso di distribuzioni di carica con simmetrie semplici delle quali si voglia ricavare il campo. Come primo esempio di questa applicazione considera un guscio sferico conduttore cavo e una carica positiva ad esso concentrica. Il testo si sofferma nel calcolo a considerare la porzione cava interna, la porzione del guscio con volume solido e la porzione esterna al conduttore nel caso di tre superfici gaussiane concentriche di adeguato raggio per ricadere in queste zone, e tramite una discussione sulla carica interna e alla fine trova un risultato che era già stato anticipato in paragrafi precedenti: che nelle regioni di spazio libero il campo è dato dalla carica puntiforme, mentre nel volume interno

del conduttore non vi è campo, per via della carica indotta. Lo stesso esempio viene dunque qui ripresentato ma trattato sotto un altro approccio.

Un altro esempio che il testo propone è quello di una lastra infinita di carica, per il quale trova il valore atteso di campo costante mediante una superficie gaussiana cilindrica: tale superficie viene bisecata dal piano infinito, e tramite ancora una volta l'applicazione della legge di Gauss anche qui viene ritrovato un risultato già citato, ovvero che il campo di questa distribuzione sia costante, come già si era visto nel paragrafo 5.

Infine, il testo propone l'ultimo sottoparagrafo che è intitolato "Calcolo del flusso del campo elettrico nel caso generale". In quest'ultimo caso il testo non fa altro che definire gradualmente il concetto generale di flusso in fisica quale integrale di superficie del campo elettrico. Per fare ciò, prima introduce il vettore superficie e discute il fatto che sulla generica superficie questo vettore risulti variabile: per ricondursi al caso sinora noto, allora viene introdotto innanzitutto il caso di un campo uniforme e in quel caso basta ricondursi al prodotto scalare tra i vettori campo e superficie per ottenere il flusso. Il testo poi considera l'evenienza più generale di campo non uniforme, e definisce gli step dell'integrazione senza chiamarla come tale: invita a suddividere la superficie in tante sottoparti tali da avere il esse un valore di campo uniforme, di calcolare tutti i flussi parziali così risultanti e poi di sommarli per ottenere il flusso totale. Che questo sia un processo di integrazione viene citato apertamente dal testo, che chiude il sottoparagrafo dicendo che quando il numero di suddivisioni diventa infinito e le superfici diventano infinitesime allora otteniamo il valore esatto del flusso che è un integrale di superficie, citato sia letteralmente che con l'espressione formale:

$$\Phi(E) = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}.$$

La varietà tematica che il capitolo presenta è notevole: il testo presenta esempi storici (gli esperimenti dei greci, la convenzione di Franklin...), esempi quotidiani (il funzionamento dei parafulmini, gli esperimenti per sfregamento...), applicazioni tecnologiche (stampanti, pannelli solari, elettronica e computer...) e curiosità legate all'argomento (i fuochi di Sant'Elmo, le specie acquatiche e le loro proprietà elettriche...) oltre alla trattazione relativa al contenuto fisico intrinseco degli argomenti sinora esposti, dando al testo una mole di spunti e di diversi punti di vista sul contenuto fisico proposto e proponendo diversi esempi di contestualizzazione delle leggi fisiche sinora esposte.

Da un'attenta analisi dell'esposizione argomentativa, non risultano sistematicamente impliciti relativamente al contenuto fisico degli argomenti presentati in questo capitolo, ovvero tutto ciò che riguarda il campo elettrico, la forza elettrica, le cariche e via dicendo. Quasi tutti gli argomenti vengono adeguatamente introdotti e ogni proprietà o conseguenza che discende dalle definizioni poste viene argomentata in maniera trasparente, lasciando soltanto sporadicamente sottintesi. Gli eventuali impliciti presenti sono sporadici: poiché il loro peso sul carico cognitivo non può essere trascurato essi sono

stati esposti mano a mano che venivano incontrati, ma ciò non deve indurre a pensare che il testo li presenti sistematicamente.

4.2.2 Dimensione lessicale

Nelle pagine prese in esame, il Walker presenta un totale di 14654 termini, di cui il 4,1% sono termini lunghi (604 in totale), il 3,4% sono cifre (499 in totale) e il 10,9% sono termini tecnici (1595 in totale): si noti bene che le categorie di termini lunghi e tecnici non sono esclusive, e che un termine può risultare contemporaneamente più lungo della soglia dei 10 caratteri e della sfera tecnica (ad esempio, nel capitolo in esame ciò è successo con il termine elettrostatica che viene contato sia come lungo che come tecnico). I termini che risultano contemporaneamente tecnici e lunghi consistono nell'1,6% sul totale (ovvero 226), ed escludendo questi dagli altri conteggi abbiamo il 2,6% di termini lunghi non tecnici (375 in totale) e il 9,3% di termini tecnici non lunghi (1366 in totale). La distribuzione totale la si può osservare alla figura 4.1 e, in ogni caso, il maggior impatto che il testo esercita con le sue scelte lessicali sta nel piano dei termini tecnici.

Tra i termini tecnici, alcuni esercitano un impatto maggiore di altri sul carico cognitivo, poiché possiamo distinguere tra i termini che il libro presenta e definisce nella stessa esposizione del testo e tra quelli che invece sono stati trattati in sezioni e capitoli precedenti oppure sono di ambiti affini come la matematica o la chimica.

Tra i 1595 termini tecnici registrati, il 59,2% erano presentati e spiegati nei brani analizzati (944 in totale) e il 40,8% (651 in totale) erano dati per scontati o non ben definiti dall'esposizione, come possiamo vedere nella figura 4.2.

Ad esempio, tra i termini ritenuti come spiegati abbiamo termini relativi al campo e alle forze elettriche (campo, carica, elettrostatica...) oppure termini relativi a proprietà di quelle grandezze (attrazione, repulsione, sovrapposizione dei campi) oppure termini relativi alla chimica che però il capitolo tratta nel modello atomico che presenta (atomo, protone, elettrone...).

Tra i termini non ben definiti dall'esposizione abbiamo termini di ambito matematico (direttamente/inversamente proporzionale, prodotto, quadrato...), concetti matematici spesso ricorrenti in ambito fisico (vettore, versore, radiale...), concetti provenienti da altre branche della fisica e affini alla chimica che il libro non tratta (orbita, idrogeno, selenio...) e così via. Specifichiamo infine che i termini in esame potevano comparire da soli o in locuzione, da un punto di vista strettamente grammaticale.

Percentuali dei tipi lessicali sul totale

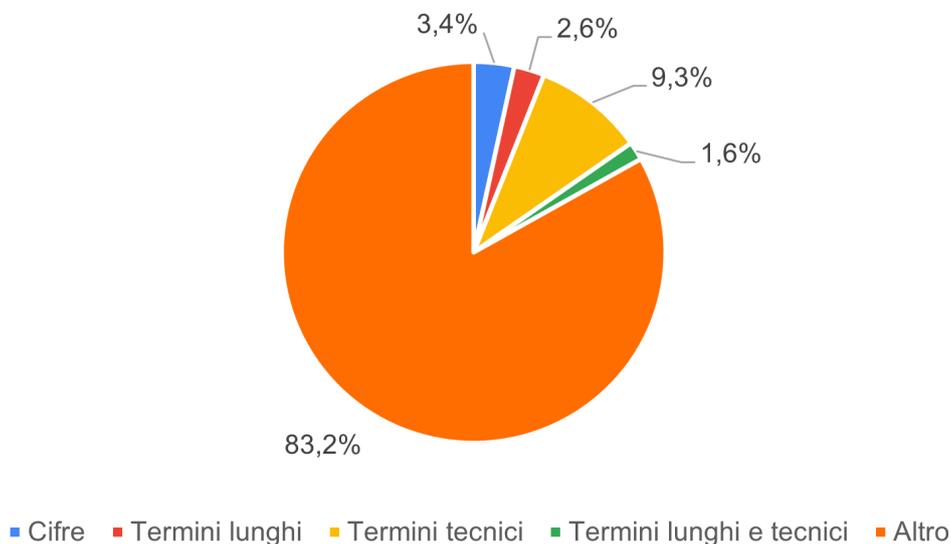


Figura 4.1: Distribuzione dei vari tipi di termini sul totale. In questa figura sono esclusi dalle categorie dei lunghi e dei tecnici i termini contemporaneamente lunghi e tecnici, rappresentati a parte nella loro categoria.

Termini tecnici sul totale

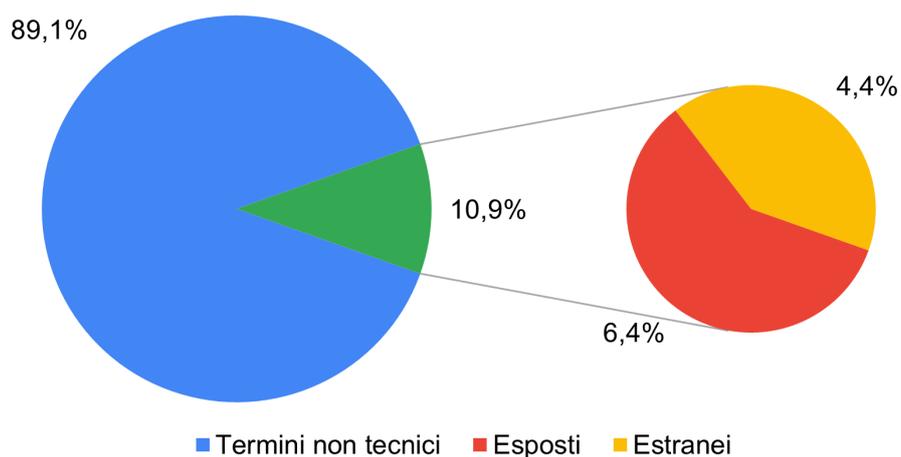


Figura 4.2: Distribuzione dei termini tecnici sul totale, distinguendoli tra quelli esposti nel capitolo in esame o quelli estranei rispetto ad esso.

4.2.3 Dimensione sintattica

Nelle pagine analizzate sono stati registrati 221 periodi semplici e 532 periodi complessi, rispettivamente il 29,3% e il 70,7%; ricordiamo che per periodo semplice intendiamo un periodo composto da una sola proposizione, altrimenti se vi sono altre proposizioni oltre la principale si parla di complessi. Tra questi ultimi sono state registrate 1472 proposizioni, di cui 532 principali che reggono il periodo (il 36,1%), 95 incidentali (il 6,5%), 150 coordinate (il 10,2%) e 695 subordinate (il 47,2%), dati riassunti nella figura 4.3.

La percentuale di subordinate è dunque quasi cinque volte tanto quella delle coordinate, il che ci permette di concludere che in queste pagine sia predominante l'ipotassi rispetto alla paratassi e che sul piano sintattico vi sia un forte impatto sul carico cognitivo dovuto a questa alta presenza di subordinazione.

Tra le subordinate rilevate, abbiamo al primo posto le relative (201 in totale), seguite dalle oggettive (104 in totale), dalle condizionali (68 in totale) e dalle causali (53 in totale). Sempre tra queste rileviamo la completa assenza di alcuni sottotipi, di cui neppure un esempio si è manifestato, relativamente ai sottotipi delle aggiuntive, delle avversative, delle eccettuative e delle esclusive. Questi risultati ed altri possono essere consultati alla figura 4.4.

Per quanto riguarda la forma delle proposizioni esaminate, l'8,2% delle proposizioni sono in forma passiva (139 in totale), laddove le riflessive sono il 9,2% (155 in totale) e le attive sono l'82,6% (1399 in totale). In questo caso è la forma passiva che esercita tra queste forme il maggior carico cognitivo, dunque le proposizioni del Walker risultano esercitare un basso carico cognitivo dovuto alla forma passiva.

L'altro caso da attenzionare riguarda la presenza di forme negative o attive: in questo caso il 2,0% risulta in forma negativa (34 in totale), laddove le attive risultano essere il 98,0% (1659 in totale). Qui ad esercitare il carico cognitivo maggiore sono le forme negative, dunque per i dati appena visti possiamo concludere che il carico cognitivo dovuto alle forme negative sia relativamente trascurabile. Questi dati sono riassunti nella figura 4.5.

Percentuale delle proposizioni nei periodi complessi

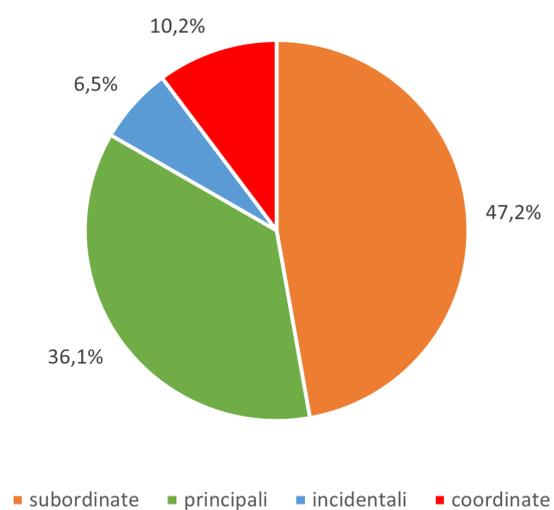


Figura 4.3: Percentuali delle proposizioni che compaiono nei periodi complessi.

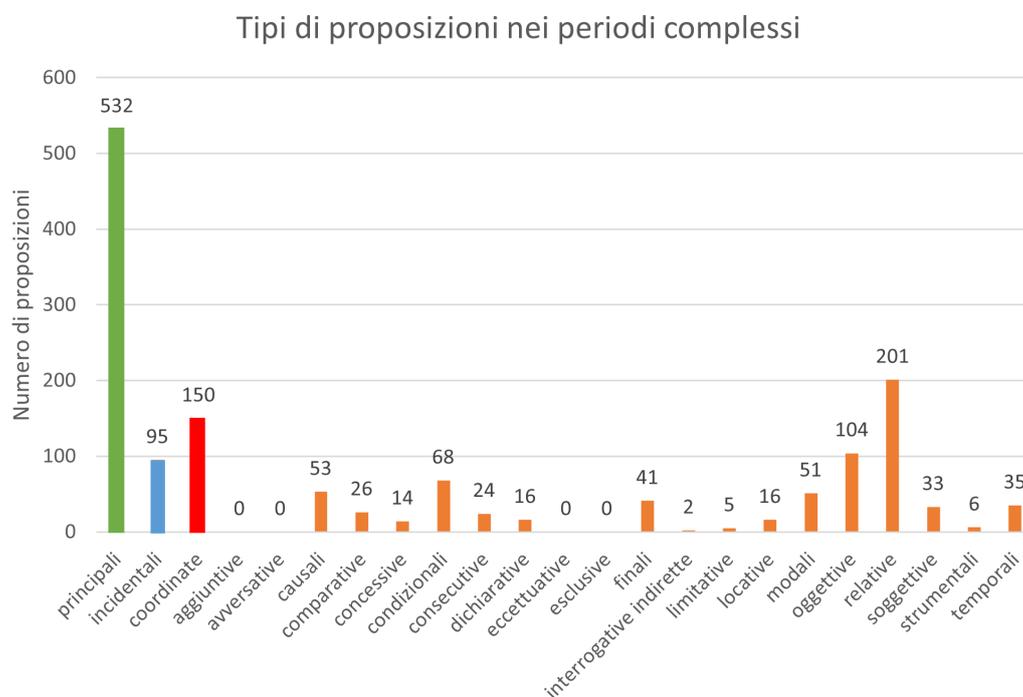
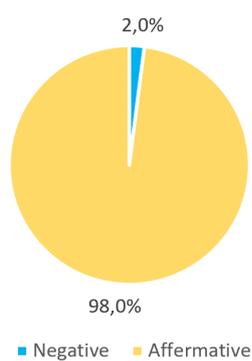


Figura 4.4: Diagramma a barre dei tipi di proposizioni che compaiono nei periodi complessi; in arancione vi sono tutti i sottotipi di subordinata, distinti.

Proposizioni in forma negativa/affermativa



Proposizioni in forma passiva/riflessiva/attiva

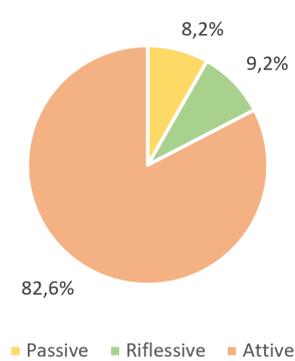


Figura 4.5: Percentuali di proposizioni in forma negativa o affermativa e di proposizioni in forma passiva, riflessiva o attiva.

4.2.4 Dimensione cognitiva e metacognitiva

Il primo punto che abbiamo registrato è la diversa presenza di registri semantici. Su 30 pagine analizzate, in tutte e 30 vi era la presenza di almeno un altro registro semantico tra quello matematico (variabili simboliche, formule, equazioni) e quello grafico (diagrammi cartesiani, grafici di modellizzazione), se non entrambi. In tutte le pagine possiamo inoltre osservare che le informazioni presentate tra i vari registri sono coerenti, in quanto nel registro semantico verbale ciò che è schematizzato negli altri registri è presentato e spiegato a dovere e vi sono rimandi diretti tra i diversi registri (come frasi del tipo “come mostra la figura. . .” oppure “come indica l’equazione. . .”).

Si è inoltre valutato se i titoli dei paragrafi che compaiono nei brani sono coerenti con l’esposizione e se permettono di fare previsioni sul contenuto: su 30 pagine complessive in tutte e 30 il contenuto è coerente con il titolo di sezione o di paragrafo, ma in 18 soltanto il titolo è predittivo del contenuto che sarebbe stato trattato. L’esempio di un titolo non predittivo è stato fatto nella sezione 3.4 di questa tesi relativamente alla legge di Coulomb, appunto chiamato “La legge di Coulomb”: come avevamo già detto in precedenza, un titolo del genere non è predittivo poiché il lettore deve sapere già quale sia il contenuto fisico della legge di Coulomb per sapere che si parlerà di *forze elettrostatiche*, e che l’inclusione nel titolo di queste due parole permetterebbe al lettore di farsi da subito un’idea, seppur approssimativa, del contenuto del paragrafo.

Soltanto in 11 delle 30 pagine vi sono collegamenti con l’esperienza quotidiana e in 10 di esse compaiono argomenti per i quali è forte la propedeuticità a concetti che vengono dati per scontati tra le conoscenze del lettore. Ricordiamo che i collegamenti con la realtà quotidiana rappresentano un elemento ambivalente: da un lato favoriscono la familiarizzazione con il contenuto, dall’altro possono generare misconcezioni. Al contrario, la forte dipendenza da concetti a priori è una caratteristica attesa in questo tipo di testi, ma se non viene adeguatamente considerata può avere un impatto negativo.

Dunque il Walker nei brani scelti lascia poco spazio a possibili misconcezioni provenienti dalla conoscenza di senso comune ma presenta anche una bassa familiarità per lo studente, e richiede un alto livello di conoscenza a priori, specialmente relativa alla modellizzazione matematica di concetti fisici, per capire adeguatamente il testo.

Registriamo infine che nelle 30 pagine esaminate, 18 presentano elementi che propongono pause di riflessione dal ragionamento principale, come nel caso di esempi svolti o domande di verifica, e 21 hanno elementi che riassumono i risultati importanti come box di equazioni o di concetti chiave. Dunque l’organizzazione del testo presenta spesso elementi che favoriscono una riflessione più consapevole sugli stessi concetti e che hanno un alto potenziale da parte dell’insegnante per favorire lo sviluppo e il rinforzo di strategie di studio cognitive e metacognitive.

4.3 Il capitolo 18 dell'Amaldi

4.3.1 Dimensione testuale

Il capitolo 18 dell'Amaldi consiste di 17 pagine, suddivise in sette paragrafi con relativi sottoparagrafi i cui titoli sono esposti successivamente. La struttura di questi paragrafi e sottoparagrafi non è consistente, dove per *consistenza* intendiamo lo spazio in righe o capoversi che viene dato ad un certo sottoparagrafo: a volte questi paragrafi si aprono con del testo immediato dopo il titolo di paragrafo, a volte si aprono direttamente non presentando sottoparagrafi, e la lunghezza di tali sezioni non è uniforme, variando da paragrafo a paragrafo e da sottoparagrafo a sottoparagrafo. Alcuni sottoparagrafi si espandono soltanto per porzioni di testo che occupano meno della metà di una pagina, altri invece possono arrivare alla lunghezza di due pagine.

Il contenuto di tali paragrafi e sottoparagrafi è coerente coi titoli e nel momento in cui l'argomento vira da essi il testo presenta immediatamente un nuovo sottotitolo, mantenendo la suddivisione in maniera netta. La progressione tematica degli argomenti non sempre risulta organica: vi sono collegamenti che risultano essere di senso tra le parti del testo, ma il contenuto di altre parti risulta invece giustapposto rispetto a ciò che anticipa.

Vedremo a breve come si articola il contenuto del capitolo, ma anticipiamo da subito un esempio: a pagina 627 il testo si apre con un esempio di elettrizzazione tra sbarre che porta a fenomeni di attrazione e repulsione. Si passa dunque al sottoparagrafo successivo chiamato "L'ipotesi di Franklin" che si ricollega a quanto detto esplicitamente (con la frase "Possiamo spiegare questo fenomeno facendo l'ipotesi che esistano due tipi di elettricità, o di *cariche elettriche*.") il che è un esempio di collegamento organico.

Ma successivamente nella stessa pagina si passa al sottoparagrafo "Il modello microscopico" dove vengono citati Thomson, la scoperta dell'elettrone e l'esistenza di elettroni e protoni negli atomi. Per quanto logicamente il senso di questa parte sia di spiegare l'origine microscopica delle due cariche ipotizzate da Franklin, il testo giustappone questa informazione alla precedente senza particolari collegamenti testuali o argomentativi, producendo una transizione discontinua tra le due parti.

La coesione tra i periodi risulta debole, poiché i legami sintattici sono poco marcati. I collegamenti tra le frasi sono affidati prevalentemente a connettivi discorsivi, come avverbi (ad esempio "prima", "dopo", "inoltre") e locuzioni avverbiali (quali "in seguito", "per esempio", "all'inizio"), mentre l'uso di congiunzioni per connettere direttamente i periodi è quasi del tutto assente. Questa caratteristica del testo lo rende poco fluido, dando l'impressione di una serie di considerazioni spezzate e poco coese tra loro.

Ciononostante, i salti logici tra i vari elementi sono sporadici, e in linea di massima le considerazioni presentate dal testo si susseguono in una struttura lineare dove ogni nuova considerazione poggia su ciò che è immediatamente precedente: da un punto di vista logico dunque l'argomentazione risulta coerente, anche se ciò non viene riflesso dalla

fluidità del testo. Le varie parti della presentazione contribuiscono ad aggiungere elementi che non sono ingiustificati ma neppure ripetuti, giustificando così la loro presenza sul piano logico. Le spiegazioni sono coerenti con le considerazioni che il testo svolge e gli esempi che esso porta rafforzano quanto esposto, anche tra i vari registri semantici: anche qui troviamo altri due registri oltre quello testuale, ovvero quello matematico e quello grafico, e l'informazione esposta tra i vari registri è sempre coerente e mai superflua o fonte di confusione. Il contenuto dei vari registri semantici si completa dunque tra di essi in maniera organica.

Il livello di conoscenze propedeutiche che il testo si aspetta è relativamente basso. Anche qui gli esempi di conoscenze a priori che vengono presupposti nello studente riguardano principalmente la sfera dei concetti matematici o la sfera dei concetti provenienti dalla meccanica, ma a differenza di quanto abbiamo visto nel Walker, il capitolo 18 dell'Amaldi limita al minimo le conoscenze date per scontate nello studente, e quando occorre richiamare conoscenze di altri ambiti al di fuori del capitolo si sofferma a fare digressioni su quegli argomenti spiegando nel dettaglio anche ciò che riguarda contenuti che al lettore dovrebbero essere già noti prima della lettura di tale capitolo.

Possiamo concludere che l'Amaldi è alla portata anche dello studente con maggiori difficoltà e presuppone il caso peggiore, quello di un lettore che sappia veramente poco dell'argomento in esame, dando ad esso una esposizione che lo accompagni anche attraverso le lacune su aree che sarebbero propedeutiche al capitolo.

Passiamo adesso ad una presentazione sintetica del contenuto del capitolo, paragrafo per paragrafo. A differenza del Walker, non ci soffermeremo nel presentare nello specifico il contenuto dei sottoparagrafi ma riferiremo tutto al paragrafo: questo perché i paragrafi e le sezioni di testo dell'Amaldi sono molto stringate se confrontate con il Walker, dunque risulta un testo più breve in ogni parte.

Il primo paragrafo si intitola "L'elettrizzazione per strofinio", e possiede due sottoparagrafi titolati "L'ipotesi di Franklin" e "Il modello microscopico". Il testo si apre con l'esperimento di un pettine di plastica sfregato con della lana che riesce ad attirare oggetti piccoli e leggeri, "come palline di polistirolo o pezzetti di carta". Il testo definisce dunque un corpo come elettrizzato in base alla sua capacità di attrarre piccoli oggetti, e spiega come diversi oggetti possano elettrizzarsi mediante strofinio. Viene poi proposto l'esempio storico dei greci e dei loro esperimenti di strofinio con l'ambra, spiegando che si tratta di resina fossilizzata.

Il testo a questo punto propone la situazione di avvicinare tra loro sbarrette che siano entrambe elettrizzate, e riporta il risultato che materiali uguali tendono a respingersi e materiali diversi possono sia respingersi che attarsi.

Viene dunque introdotta l'ipotesi di Franklin, dell'esistenza di due tipi di cariche dette positiva e negativa, e la regola che cariche opposte si attraggano e cariche opposte si respingano. Si passa poi al presentare un modello microscopico, citando la scoperta storica da parte di Thomson dell'elettrone e il fatto che negli atomi sia stata scoperta la presenza degli elettroni e dei protoni. Il testo spiega poi che gli atomi risultano

elettricamente neutri perché protoni ed elettroni hanno segni opposti, cariche dello stesso modulo e numero di elettroni e protoni che coincide. Sulla base di questa evidenza, si spiega che i corpi sono tendenzialmente neutri perché composti da un gran numero di atomi neutri, e che lo stato di carica negativo o positivo dipende dallo squilibrio tra le particelle cariche sopraccitate.

Citando il fatto che i protoni non sono liberi di muoversi poiché legati insieme ai neutroni nel nucleo, il testo spiega dunque che sono gli elettroni a spostarsi tra i corpi e che durante lo strofinio tra i corpi il loro movimento da un corpo all'altro genera lo stato di carica. Viene rapidamente citata la conservazione della carica senza chiamarla come tale, affermando che prima dello strofinio i corpi erano neutri e che dopo di esso gli stessi elettroni si sono semplicemente trasferiti, e dopo questa considerazione il testo produce alcuni esempi. Un primo esempio è quello di un'automobile durante una giornata secca che si carica per attrito con l'aria o lo sfregamento di un maglione di pile con lo schienale di una poltrona in materiale sintetico, situazioni che possono portare alla scintilla.

Il testo ritorna al caso dell'aria secca, spiegando che in ambienti freddi l'aria ha umidità pari a zero e che l'aria secca non disperda le cariche come fa l'aria umida. Questa evidenza viene usata per presentare il caso del Polo Sud e delle sue stazioni scientifiche, dove occorrono strutture per scaricare l'elettricità statica che altrimenti col contatto tra persone o con materiali metallici porterebbe a forti scosse elettriche: è interessante notare la presenza di un paio di impliciti qui. Il testo infatti non spiega che quelle strutture servono a scaricare a terra la carica che via via si accumula o il fatto che il contatto con il metallo o con le altre persone porti a scariche sia dovuto alla loro conducibilità, fatti su cui il testo si limita a sorvolare. Anche se il secondo implicito si può ritenere di valore parziale, poiché il paragrafo che segue subito dopo riguarda proprio la conducibilità dei materiali.

Infatti, il secondo paragrafo è chiamato "I conduttori e gli isolanti" e possiede i sottoparagrafi "Il modello microscopico" e "L'elettrizzazione per contatto". Il testo parte dall'esempio di materiali come gomma o vetro che, caricati per strofinio, si elettrizzano, mentre lo stesso non vale sempre per oggetti di metallo. Il testo procede col considerare l'esempio di un cucchiaino di metallo caricato per strofinio e impugnato prima a mani nude e poi con un guanto di gomma, sottolineando che solo in questo secondo caso sembra che il cucchiaino riesca a trattenere la carica che ha acquisito, mentre nel primo la perde. Vengono dunque definiti gli isolanti come quei materiali che quando caricati per strofinio si caricano sempre, e i conduttori come quegli oggetti che si comportano diversamente. Vediamo anche qui, come per la definizione di elettrizzazione, che il testo propone una definizione sperimentale di questi concetti. Il testo poi chiarisce che la distinzione dei materiali in queste categorie non è assoluta e che ci sono diverse sostanze che possono essere ritenute isolanti o conduttrici fino ad un certo punto, mentre altre sostanze risultano essere estremamente isolanti o conduttrici.

Il testo passa anche qui ad una modellizzazione microscopica, proponendo quelle che chiama "ipotesi": il fatto che negli isolanti tutte le cariche siano fisse e vincolate,

mentre che nei conduttori vi possano essere cariche libere, che vengono identificate con gli elettroni. Il testo a questo punto ritorna all'esempio del cucchiaio e spiega che anche il nostro corpo è un conduttore mentre il guanto di plastica è isolante, dunque se il cucchiaio è impugnato a mani nude la carica che acquisisce fluisce attraverso il corpo fino al suolo, mentre i guanti impediscono agli elettroni di passare e lasciano carico il cucchiaio. Anche qui vi è un implicito: non si spiega cosa sia la messa a terra, che è implicata nell'esempio, o il perché la carica debba fluire verso il suolo, essendo la terra capace sia di fornire che di assorbire un gran numero di elettroni.

Il testo procede a fare l'esempio dei cavi sospesi sui tralicci che conservano gli elettroni in moto nel cavo grazie a isolatori su cui il cavo poggia per essere isolato dal traliccio. Dopo questo esempio, il testo passa a spiegare l'elettrizzazione per contatto, facendo l'esempio di due conduttori opportunamente maneggiati con manici isolanti, di cui uno carico e uno scarico, che una volta posti a contatto risultano entrambi carichi. Il testo spiega dunque che i conduttori possono essere caricati anche per contatto e che questo metodo di elettrizzazione permetta di suddividere la carica in n parti uguali usando n corpi di cui uno carico e gli altri scarichi messi tra loro a contatto.

Incontriamo poi il terzo paragrafo, che ha per titolo "La definizione operativa della carica elettrica" e presenta i tre sottoparagrafi "La misura della carica elettrica", "Il coulomb" e "Conservazione della carica elettrica". Il paragrafo si apre introducendo l'elettroscopio a foglie, descrivendo come l'apparato è composto nel dettaglio e poi spiegando il principio di funzionamento: il fatto che quando l'elettroscopio è messo a contatto con un oggetto carico, le foglie dell'elettroscopio si caricano della stessa carica e si divaricano. Con questa evidenza, il libro fornisce una definizione operativa: gli oggetti carichi sono quelli che fanno divaricare le foglie di un elettroscopio.

Il testo poi spiega come l'elettroscopio possa essere tarato, ponendo una scala angolare in esso e misurando l'intensità della carica in proporzione all'angolo di divaricazione delle foglie, e poi viene introdotto il coulomb come unità SI della carica, a partire dalla carica dell'elettrone. Viene dato il valore di questa carica in coulomb e si specifica che tutti gli elettroni hanno questo valore, e che ogni carica che esiste nell'universo è un multiplo intero di questa "carica elettrica elementare". Il testo chiude il paragrafo presentando la legge di conservazione della carica, rifacendo l'esempio di una carica per strofinio e spiegando che la carica che si trasferisce tra i corpi non si crea ma si sposta e che nell'universo la carica totale si mantiene sempre costante.

Il quarto paragrafo è intitolato "La legge di Coulomb", ed è suddiviso in quattro sottoparagrafi chiamati "Direzione e verso della forza", "La costante dielettrica", "Il principio di sovrapposizione" e "La forza elettrica e la forza gravitazionale". Il testo presenta immediatamente la legge, prima con una descrizione a parole delle proporzionalità rispetto alle cariche e alla distanza tra esse, e poi dando la formula della legge in versione scalare. Si presenta la costante di proporzionalità k_0 della legge come una costante naturale che è determinata sperimentalmente e il testo spiega poi nel dettaglio la proporzionalità quadratica inversa di questa forza rispetto alla distanza tra le cariche, presentando diversi

esempi a parole, numerici e grafici di come la forza scali con il quadrato della distanza.

Con un esempio svolto viene presentata l'evidenza della mole enorme del coulomb come unità, mostrando che la forza generata da due cariche di 1 C ciascuna sia in modulo dell'ordine di grandezza dei 10^{10} N, spiegando che le cariche reali sono milionesimi o miliardesimi di questo valore.

Il testo si sofferma a spiegare come funzionino la direzione e il verso della forza, relativamente alle cariche e poi procede a definire la costante dielettrica nel vuoto ϵ_0 , il suo legame con k_0 e la formula della legge di Coulomb riscritta in funzione di ϵ_0 . Viene poi presentato il principio di sovrapposizione della forza elettrostatica come risultato sperimentale e spiegando che funziona come somma vettoriale delle singole forze, e il testo passa immediatamente ad una analogia meccanica, presentando la legge gravitazionale di Newton tra due masse. Il paragrafo si chiude con un'ampia discussione delle analogie e delle differenze tra queste due forze, presentate prima come un elenco di fatti e poi con una tabella riassuntiva che descrive le peculiarità della forza elettrica e della forza gravitazionale.

Il quinto paragrafo si intitola "L'esperimento di Coulomb" e non possiede sottoparagrafi. In esso troviamo un'accurata descrizione dell'apparato e dell'esperimento storico che Coulomb condusse mediante bilancia di torsione per trovare la legge omonima. Il paragrafo descrive nel dettaglio come in questo apparato vi fosse una bilancia di torsione collegata a un'asta con una sfera conduttrice e una di contrappeso e un'altra sferetta conduttrice posta in prossimità di quella sospesa alla bilancia. Caricando le due sferette con una carica di stesso segno si osserva una repulsione tra esse che genera un momento di torsione: il sistema si porta all'equilibrio una volta compiuta la rotazione, dunque il momento torcente dovuto alla forza elettrica e quello di richiamo dovuto alla bilancia si devono equilibrare. Il libro mostra sia con figure che con equazioni questo bilanciamento, trovando che il momento elettrico è proporzionale al braccio della forza per la forza di Coulomb e che il momento di torsione è proporzionale all'angolo misurato sulla bilancia e moltiplicato per una costante tipica del filo, dunque dall'equiparazione di questi due momenti e con qualche passaggio il libro dimostra che la forza elettrica che si manifesta nel sistema è proporzionale all'angolo di torsione raggiunto all'equilibrio, e che dunque l'apparato permette una misura diretta del modulo della forza. Il testo dunque presenta le verifiche che Coulomb fece con questo apparato, relativamente alla diretta proporzionalità del modulo della forza rispetto all'intensità delle cariche e alla dipendenza quadratica inversa rispetto alla distanza tra i centri delle sferette, dimostrando dunque sperimentalmente la formula data per la legge di Coulomb.

Incontriamo dunque il sesto paragrafo, che ha per titolo "La forza di Coulomb nella materia" e ha un solo sottoparagrafo con titolo "La costante dielettrica assoluta". Il paragrafo si apre con l'evidenza che nei mezzi isolanti il modulo della forza di coulomb è ridotto rispetto alla forza che agisce nel vuoto, e presenta la costante dielettrica relativa ϵ_r come rapporto tra la forza nel vuoto e la forza nel mezzo. Il testo si sofferma a discutere il fatto che sia un numero puro che caratterizza gli isolanti e che col suo utilizzo si possa

generalizzare la legge sinora trovata anche al caso dei mezzi materiali. Questi due casi vengono poi riuniti introducendo la costante dielettrica assoluta ϵ e dando la legge di Coulomb in funzione di essa, ragionando sul fatto che se siamo nel vuoto allora ϵ si riduce a ϵ_0 , altrimenti in tutti gli altri casi la forza così scritta coincide con quella nel mezzo. In chiusura del paragrafo il testo presenta una serie di valori caratteristici di diversi isolanti, un esempio svolto e il fatto che l'aria abbia un valore di ϵ_r prossimo a 1, rendendola dunque nelle applicazioni pratiche analoga al vuoto.

Il settimo paragrafo è intitolato "L'elettrizzazione per induzione" e ha due sottoparagrafi con titoli "L'elettroforo di Volta" e "La polarizzazione". Il paragrafo si apre con una situazione applicata, quella di una bacchetta carica avvicinata a una sfera di metallo scarica, la quale si avvicina per effetto dell'induzione che disloca le cariche sulla sua superficie. Il testo descrive il processo nel dettaglio degli step con cui la sfera ha la dislocazione delle cariche opposte a quelle della sbarretta che poi risultano attratte e spostano il corpo, e giustifica la poca influenza delle cariche dello stesso segno ma all'altro capo della sfera con la dipendenza dalla distanza della legge di Coulomb, che rende le cariche più sensibili alle cariche ad esse più vicine.

Il testo dunque definisce l'induzione come una "ridistribuzione di carica" su un conduttore neutro, e dopo spiega come mantenere la carica così indotta usando un dito poggiato sul capo opposto alla bacchetta per scaricare le cariche lì localizzate e lasciare la sfera carica. A differenza dell'altro caso dove la messa a terra è stata citata come implicito qua non è così, poiché il testo stavolta spiega che il suolo può accumulare grandi quantità di carica e definisce esplicitamente la messa a terra di un conduttore. Il paragrafo poi procede a presentare l'elettroforo di Volta come esempio di apparato che sfrutta l'induzione per caricare un disco conduttore poggiato su un supporto isolante caricato per strofinio. Il testo poi procede a presentare una tabella riassuntiva dei tre metodi di elettrizzazione sinora presentati (strofinio, contatto, induzione), dando alcune caratteristiche di ogni processo e dei materiali sui quali agiscono.

Il paragrafo e il capitolo si chiudono infine con la presentazione della polarizzazione, spiegando che negli isolanti, pur non avendo cariche libere che possono delocalizzarsi, è comunque possibile avere una "ridistribuzione di carica", la quale è descritta come "piccola ma diffusa" e viene spiegata in termini di cariche di segno opposto che si orientano seppur rimanendo vincolate. Il testo usa in una coppia di figure la classica illustrazione del dipolo oblungo, ma non chiama questi oggetti come tali ma li descrive come "molecole" delle quali gli elettroni vengono attratti, suggerendo dunque che tali molecole si orientino così per questa ragione. Ciò non è necessariamente un implicito, visto che anche la spiegazione di una molecola polarizzata è conforme con quelle illustrazioni, ma bisogna dire che il testo non cita apertamente il riorientarsi di queste molecole o la loro deformazione, parlando solo in termini generici di "ridistribuzione" in isolanti neutri per definire la polarizzazione, il che può comportare un implicito: se le cariche sono vincolate come fanno a riorientarsi? In questa descrizione tale processo non è chiaro.

La varietà tematica del capitolo è ridotta: domina tra tutti il contenuto strettamente

fisico, declinato sia da un punto di vista più teorico e concettuale (le leggi e il ragionamento fisico su di esse, la descrizione delle equazioni...) che da un punto di vista più applicativo e sperimentale (la descrizione di esperimenti semplici, la ricostruzione di apparati ed esperimenti storici...). A questo si accompagna qualche timido esempio di casi quotidiani (attrazione di pezzetti di carta, il caso del Polo Sud e dell'aria secca nel generare elettricità statica...) ma questi argomenti sono tutt'al più cenni che occupano poco spazio nella trattazione del capitolo.

Dopo aver analizzato la progressione tematica, neppure in questo capitolo risultano sistematicamente impliciti, e a differenza di quanto visto col Walker ciò vale per gli argomenti che non sono strettamente trattati nel capitolo, come ad esempio i concetti matematici (di cui un esempio palese qui è sulla proporzionalità) o i richiami di meccanica (in questo capitolo soprattutto la legge di Newton). Il testo risulta estremamente accessibile anche per gli studenti più deboli dal punto di vista dei temi e del ragionamento, lasciando poco spazio ad ambiguità nella sua trattazione lineare dei temi che si susseguono.

4.3.2 Dimensione lessicale

Le pagine del capitolo 18 dell'Amaldi presentano 4627 termini in totale, e tra di essi troviamo 253 termini lunghi (il 5,5%), 148 cifre (il 3,2%) e 483 termini tecnici (il 10,4%). Anche qui risultano esservi termini all'intersezione tra le categorie dei lunghi e dei tecnici che sono 135 in totale (il 2,9%), ed escludendo questi i termini lunghi non tecnici sono 118 (il 2,6%) e quelli tecnici non lunghi sono 348 (il 7,5%). Le percentuali complessive si trovano alla figura 4.6. e anche qui troviamo che il maggior impatto sul piano lessicale è ancora una volta dato dai termini tecnici. In questa categoria anche qui possiamo distinguere tra i termini estranei al contesto del capitolo e quelli che risultano contestualizzati: tra i 483 termini tecnici, il 68,1% risultano contestualizzati nel capitolo (329 in totale) e il 31,9% sono invece estranei (154 in totale). Come vediamo anche nella figura 4.7, la percentuale di termini contestualizzati risulta maggiore di quella del Walker, a riflettere il fatto che il testo presenta un minore requisito di conoscenze a priori, un dato per l'Amaldi già incontrato nella dimensione testuale e che vedremo che tornerà pure nella dimensione cognitiva e metacognitiva. Anche qui il grosso dei termini che il capitolo contestualizza rimangono quelli della sfera fisica relativa a cariche e legge di Coulomb (carica, forza elettrica, strofinio...) o di termini relativi alle proprietà fisiche di tali grandezze (sovrapposizione, attrazione, repulsione...) o termini relativi alla chimica che compaiono spiegati nel modello microscopico (atomo, protone, elettrone...) ma stavolta troviamo anche termini di ambito matematico che risultano contestualizzati ampiamente (proporzionalità diretta, inversamente quadratica...). I termini che invece l'esposizione assume per dati riguardano soprattutto i concetti di natura matematica che ricorrono in ambito fisico (vettore, verso, direzione, radiale...).

Percentuali dei tipi lessicali sul totale

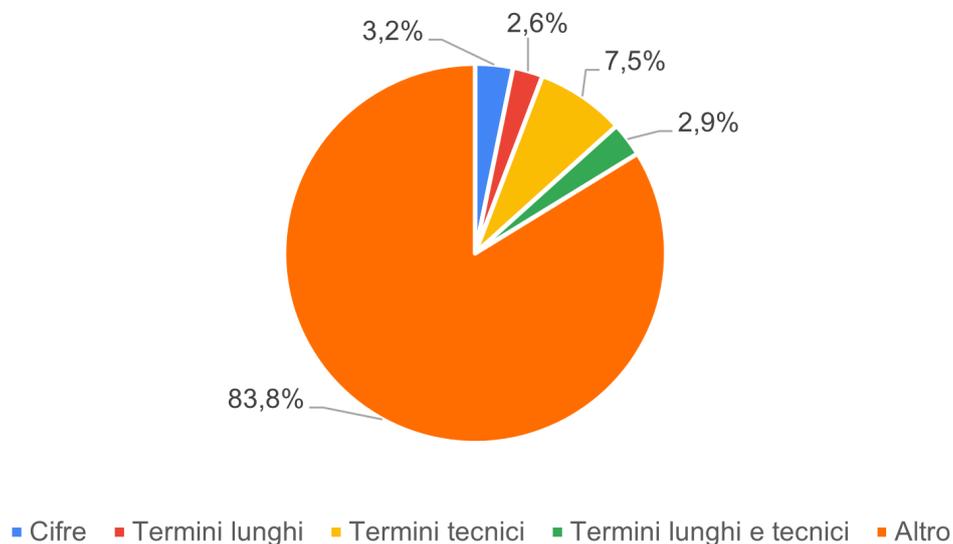


Figura 4.6: Distribuzione dei vari tipi di termini sul totale. In questa figura sono esclusi dalle categorie dei lunghi e dei tecnici i termini contemporaneamente lunghi e tecnici, rappresentati a parte nella loro categoria.

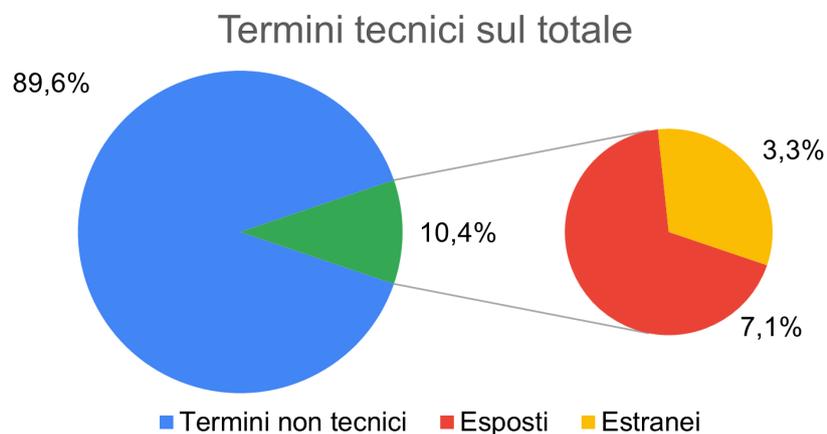


Figura 4.7: Distribuzione dei termini tecnici sul totale, distinguendoli tra quelli esposti nel capitolo in esame o quelli estranei rispetto ad esso.

4.3.3 Dimensione sintattica

Si registrano tra le pagine analizzate 51 periodi semplici e 196 periodi complessi, ovvero in percentuale il 20,6% e il 79,4% rispettivamente. Nei periodi complessi si trovano 549 proposizioni, di cui 196 principali che reggono il periodo (il 35,7%), 56 incidentali (il 10,2%), 59 coordinate (il 10,7%) e 238 subordinate (il 43,4%): queste percentuali sono riassunte alla figura 4.8.

Anche qui domina l'ipotassi, con la percentuale delle subordinate che risulta essere quattro volte tanto quella delle coordinate, potendo concludere che anche il capitolo 18 dell'Amaldi crei un carico cognitivo in termini di subordinazione non indifferente.

Alla figura 4.9 possiamo trovare esposte le varietà di proposizioni che figurano nei periodi complessi, con i vari sottotipi di subordinate riportati esplicitamente. Abbiamo tra queste al primo posto le relative (96 in totale), seguite dalle oggettive (31 in totale), dalle condizionali (27 in totale) e dalle modali (21). Vi sono inoltre dei sottotipi che mai compaiono, ovvero le aggiuntive, le avversative, le esclusive, le limitative e le locative. Notiamo dei trend simili a quanto visto nel caso del Walker: anche in quel caso le relative erano le subordinate più importanti, seguite dalle oggettive al secondo posto e le condizionali al terzo, con la differenza delle causali al quarto posto invece delle modali; e anche nel Walker non risultavano esservi esempi di subordinate aggiuntive, avversative o esclusive.

Per quanto riguarda le forme di tali proposizioni, troviamo il 6,0% di proposizioni in forma passiva (36 in totale) contro il 15,5% di riflessive (93 in totale) e il 78,5% di attive (471 in totale). Ricordando che sono le passive ad esercitare il maggior carico cognitivo, concludiamo che anche il capitolo 18 dell'Amaldi abbia un carico cognitivo basso per via di questa forma.

Sempre per la forma, abbiamo il 3,5% di proposizioni in forma negativa (21 in totale) contro il 96,5% in forma attiva (579 in totale). Possiamo dunque ritenere anche qui il carico cognitivo dovuto alle forme negative come trascurabile, vista la loro bassissima incidenza nel testo; un riassunto di queste percentuali è raffigurato nella figura 4.10.

Percentuale delle proposizioni nei periodi complessi

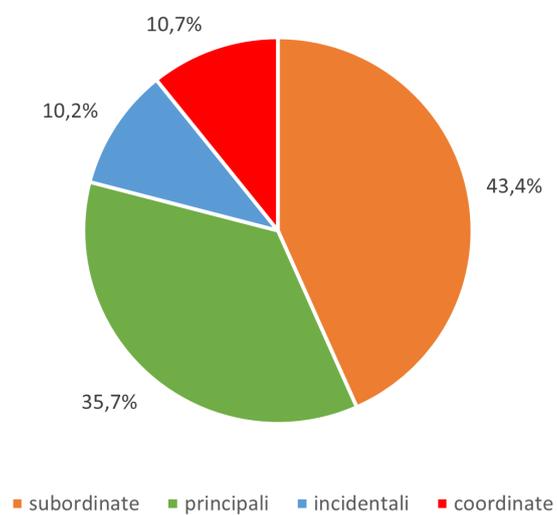


Figura 4.8: Percentuali delle proposizioni che compaiono nei periodi complessi.

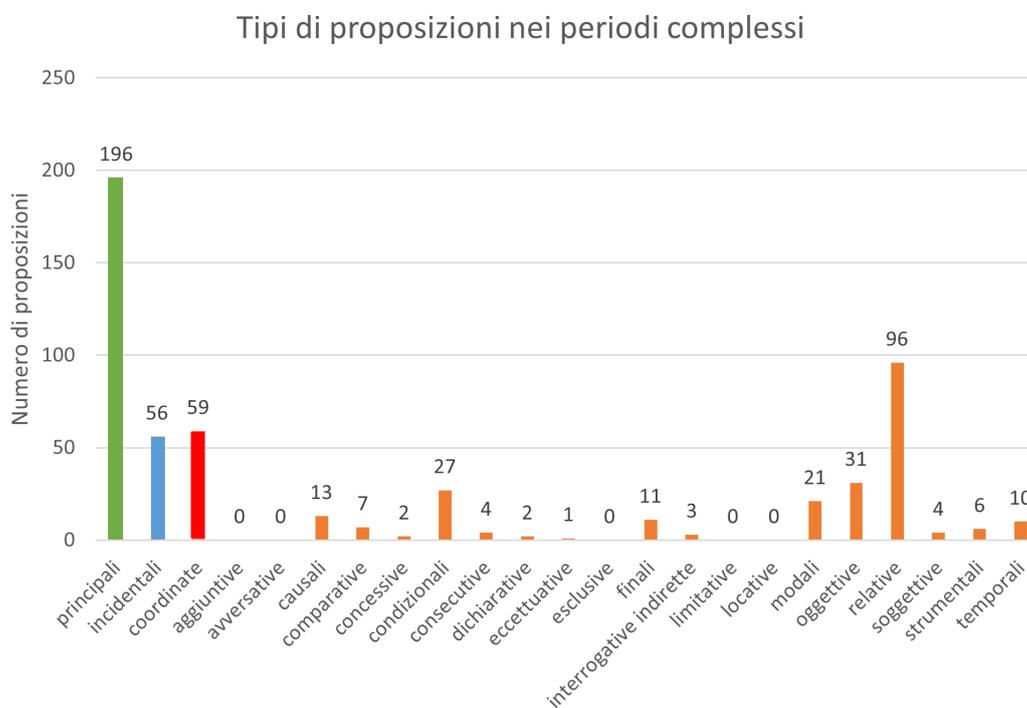
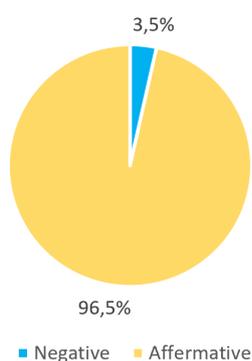


Figura 4.9: Diagramma a barre dei tipi di proposizioni che compaiono nei periodi complessi; in arancione vi sono tutti i sottotipi di subordinata, distinti.

Proposizioni in forma negativa/affermativa



Proposizioni in forma passiva/riflessiva/attiva

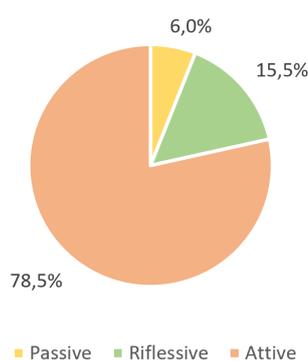


Figura 4.10: Percentuali di proposizioni in forma negativa o affermativa e di proposizioni in forma passiva, riflessiva o attiva.

4.3.4 Dimensione cognitiva e metacognitiva

Anche in questo capitolo si osserva la presenza di diversi registri semantici. Sulle 17 pagine in esame, in tutte e 17 si può trovare oltre al registro testuale almeno uno tra i registri grafico (diagrammi, grafici, fotografie...) e matematico (equazioni, variabili simboliche...) e spesso si trovano entrambi in coincidenza. L'informazione presentata tra i vari registri è coesa, non vi sono mai elementi superflui che potrebbero portare a confusione ma ogni elemento tra i vari registri si completa a vicenda con gli altri, anche con richiami diretti come quelli del testo che collega il contenuto verbale a ciò che sta nei diagrammi o nelle equazioni (sempre con frasi come “come si vede in figura” o “come mostra l'equazione”). I titoli dei paragrafi risultano coerenti col contenuto presentato in tutte le pagine esaminate, però i titoli sono effettivamente predittivi soltanto in 11 pagine.

Il numero di pagine con collegamenti al quotidiano o ad altri ambiti familiari allo studente è ridotto, attestandosi soltanto a 8 pagine sul totale. Per ragioni già argomentate nella sottosezione 4.2.4, possiamo concludere che l'Amaldi renda trascurabile la possibilità di avere misconcezioni visto il basso contenuto basato sull'esperienza comune, ma che dall'altro lato questa trattazione renda il contenuto esposto meno familiare e dunque meno accessibile da parte dello studente.

In termini di concetti a priori il capitolo performa estremamente bene, esibendo soltanto 2 pagine dove la propedeuticità agli argomenti passati sia elevata, rendendo dunque il testo estremamente accessibile anche agli studenti più carenti di reti di conoscenza forti.

Aggiungiamo inoltre che nelle pagine esaminate, soltanto in 2 sono presenti elementi che interrompono il ragionamento, in questo caso esempi svolti, mentre ricorrono spesso elementi che mettano in evidenza i risultati del ragionamento (in 16 delle 17 pagine). L'Amaldi dunque è trasparente nel modo in cui organizza l'informazione e i risultati ma perde l'occasione di offrire spunti di riflessione e pause forzate al ragionamento, un elemento estremamente benefico per gli studenti con DSA e le loro difficoltà legate ai processi attenzionali che purtroppo qui risulta assente.

4.4 Il capitolo 19 dell'Amaldi

4.4.1 Dimensione testuale

Le considerazioni di carattere generale relativamente all'articolazione del contenuto, alla struttura degli argomenti, alla fluidità del testo, alle coesioni concettuali e testuale e al livello dei presupposti che il capitolo 19 presenta sono le stesse di quanto si è visto sopra, per quanto riguarda il capitolo 18 visto alla sottosezione 4.3.1.

Qui sottolineiamo il fatto che questo risultato fosse prevedibile: si tratta di due capitoli dello stesso libro di testo. Non deve dunque stupire che la struttura argomentativa

sia la stessa in tutte le sue caratteristiche, considerando che questa è frutto della stessa cifra stilistica con cui l'Amaldi è stato scritto. Passiamo allora immediatamente al focus su argomenti presentati ed eventuali impliciti del capitolo in esame. Il capitolo 19 dell'Amaldi presenta 23 pagine, di cui 22 strutturate in 8 paragrafi, ognuno con un numero variabile di sottoparagrafi a delimitare gli argomenti presentati, e una pagina di approfondimento matematico che presenta i concetti di campi vettoriale e scalare.

Il primo paragrafo è intitolato "Il vettore campo elettrico" e possiede i due sottoparagrafi "Definizione del vettore campo elettrico" e "Il calcolo della forza". Il paragrafo si apre col sottolineare che quella tra cariche è una forza a distanza, esattamente come quella gravitazionale e riprendendo dunque l'analogia meccanica già introdotta nel capitolo 18. Il capitolo afferma che non sia chiaro in apparenza come la presenza di un corpo in un certo punto possa produrre un'interazione in un corpo situato altrove, senza un mezzo che comunichi l'interazione, e introduce il concetto di campo per rimediare a questa difficoltà. Il campo elettrico viene introdotto secondo due idee di presupposto: la presenza di una carica modifica lo spazio che la circonda, dove altre cariche possono trovarsi e la forza elettrica subita da una carica è frutto di questa modifica alle proprietà dello spazio che essa attraversa. Una carica dunque genera un campo e lo spazio che la circonda è sede di quel campo, e per fissare questa idea il testo propone la metafora del telo elastico: si immagina una sfera massiccia posta al centro di un telo elastico, che si deforma sotto il suo peso, e se altre sfere vengono poste sul telo allora esse ricadono verso la sfera centrale poiché essa ha deformato il telo. Le cariche che generano il campo (sfera centrale) dunque modificano lo spazio circostante (il telo) e altre cariche nelle loro vicinanze risentono di tale modifica (la deformazione del telo) che comunica l'interazione a distanza. L'Amaldi sceglie dunque il problema della comunicazione delle forze a distanza come giustificazione per introdurre il campo elettrico.

A questo punto si definisce il vettore campo che un sistema di n cariche puntiformi genera, e il testo introduce la carica di prova, specificando le scelte convenzionali di considerarla puntiforme, positiva e piccola abbastanza da non modificare la distribuzione che si deve indagare mediante essa. A partire da essa, si definisce il vettore campo elettrico in un punto P come il rapporto tra il vettore forza di cui la carica di prova risente in quel punto e il modulo della carica di prova, con la specifica che ciò si fa per ottenere una "grandezza unitaria" nel senso di indipendente dallo specifico valore della carica che si adopera. Il testo propone anche un esperimento mentale, considerando la situazione di una carica nota collegata ad un dinamometro, che piazzata in un certo punto dunque rivela il modulo del campo dal rapporto di forza e carica e direzione e verso del vettore in base allo spostamento che essa compie. Il paragrafo si chiude spiegando come poter calcolare la forza a partire dal campo, affermando che il modulo si ricava dal prodotto tra carica e campo, la direzione del vettore è la stessa essendo vettori paralleli e che il verso della forza rispetto al campo dipende dal segno della carica: per cariche positive il verso è concorde, per cariche negative è discorde.

Il secondo paragrafo ha per titolo "Il campo elettrico di una carica puntiforme"

e ha un singolo sottoparagrafo “Campo elettrico di più cariche puntiformi”. Si apre discutendo il caso del campo di una singola carica puntiforme come il caso più semplice da considerare, e mediante la legge di Coulomb e la definizione appena data si ricava la formula in questione. Il testo poi specifica che tale valore è ridotto nel caso di un mezzo isolante rispetto al caso della forza nel vuoto e sottolineando la dipendenza del modulo del campo dalla carica che lo genera e dall'inverso del quadrato della distanza del punto che si considera. Si discute pure il verso del campo, che è uscente per una carica generatrice positiva e entrante per una carica negativa. Il testo poi procede a considerare il caso di più cariche puntiformi e fa l'esempio del campo generato da due cariche positive, e poiché il campo è un vettore si dichiara che il campo complessivo è dato dalla regola del parallelogramma applicata ai campi generati dalle singole cariche, per sommarne i vettori. Il testo sottolinea che la presenza di una carica non altera il campo generato dalle altre poiché esse sono considerate fisse in posizione, ma non spiega perché debbano rimanere fisse: registriamo dunque la presenza di un implicito, poiché porre delle cariche a distanze relative può portare lo studente attento a chiedersi perché non debbano risentire delle forze reciproche, e il testo non dà spiegazioni in merito (come ad esempio l'idea di fissare il tempo e di considerare la situazione in uno specifico istante, giustificando così l'immobilità delle cariche, oppure la scelta di considerare le sorgenti del campo fisse per convenzione).

Sorvolando su questo implicito, il testo richiama il principio di sovrapposizione delle forze elettrostatiche e da esso va a ricavare tramite equazioni il principio di sovrapposizione dei campi: scrive infatti la forza totale risultante su una carica come la somma di n forze dovute alle n sorgenti e divide ambo i membri per il valore della carica di prova, ottenendo un'espressione che mostra il campo totale come la somma di n campi dovuti alle n sorgenti. Si giustifica dunque il principio di sovrapposizione dei campi per dimostrazione matematica diretta.

Troviamo dunque il terzo paragrafo, chiamato “Le linee del campo elettrico”: esso possiede i tre sottoparagrafi “Costruzione delle linee di campo”, “Il campo di una carica puntiforme” e “Il campo di due cariche puntiformi”. Si apre la discussione considerando un bagno d'olio con dei fili da cucito immersi in esso, e questo sistema viene usato per rivelare le linee di campo di una sorgente Q : il testo presenta sia una fotografia in bianco e nero di questa situazione che due diagrammi che mostrano le molecole del filo che si polarizzano nella direzione del campo e la schematizzazione del campo mediante linee che seguano la direzione dei fili. Queste linee vengono definite come linee di campo e si specifica che non esistano davvero, ma che siano una “costruzione che serve per visualizzare il campo elettrico”.

Il testo procede a spiegare come si costruiscano tali linee, ma prima di affrontare questa parte dell'argomentazione, che si apre a pagina 661 e si conclude a pagina 663, dobbiamo fare una digressione sul contenuto della pagina 662, la quale è una pagina di approfondimento disconnessa rispetto al testo principale: essa presenta il titolo “Campi vettoriali e campi scalari” e possiede tre paragrafi intitolati “L'applicazione tra insiemi”, “I

campi vettoriali” e “I campi scalari”. In questa pagina il testo introduce il concetto dei campi matematici parlando del campo elettrico come una relazione che assegna a ogni punto dello spazio un vettore. Proceede dunque a descrivere il concetto di applicazione tra insiemi, dando la classica definizione di funzione, di immagine, di dominio e di codominio e presentando una rappresentazione di questi concetti anche mediante un diagramma di Eulero-Venn. Il testo procede poi a definire il concetto di campo vettoriale come un'applicazione tra un sottoinsieme di \mathbb{R}^3 che rappresenta i punti di una regione di spazio tridimensionale e l'insieme \mathcal{V}_3 dei vettori in tale regione. Il testo si sofferma a discutere nel dettaglio questa definizione matematica usando le definizioni anticipate prima e poi fa degli esempi fisici di campi vettoriali con il campo elettrico, il campo gravitazionale e il campo delle velocità di un fluido in movimento, presentando in questo caso anche un diagramma che mostra un fiume che scorre tra due rive con alcuni vettori velocità rappresentati in alcuni punti. Il testo poi argomenta che in fisica il concetto di campo vettoriale ha applicazione ampia e anticipa che un altro esempio che verrà incontrato in seguito è quello del campo magnetico, e poi passa all'ultimo paragrafo dove si presenta invece il caso dei campi scalari. Qui il testo fa gli esempi dei campi di pressione e temperatura come informazioni legate alle previsioni del tempo e spiega che di fatto ciò coincide ad assegnare ad ogni punto di una regione di spazio un valore scalare di una certa grandezza fisica, dunque nel caso dei campi scalari si ha l'applicazione da \mathbb{R}^3 a \mathbb{R} . La pagina si chiude con un ultimo esempio di campo scalare utilizzato nello studio dell'atmosfera, il campo di densità.

Dopo questa pagina di digressione, si ritorna alla trattazione principale del capitolo. Come avevamo anticipato, si tratta della costruzione delle linee di campo: il testo apre questo argomento considerando la costruzione di una linea spezzata. Nello specifico, esso considera una successione di punti nello spazio, separati da un intervallo di distanza fissato, costruiti nel modo seguente: si considera il primo punto, si rappresenta il vettore campo in quel punto, ci si sposta nella direzione e nel verso del campo di un tratto Δs nello spazio e lì si fissa il secondo punto, e l'operazione si ripete da capo a partire dal nuovo punto. Il testo a questo punto propone l'idea di far tendere Δs a zero, il che produrrebbe una linea di campo continua e tangente in ogni punto al campo elettrico. Questa è dunque la costruzione di una curva continua nel quale rimane però implicito il perché si dovrebbe ottenere che in ogni punto della curva così ottenuta il campo risulti tangente: questo implicito è di natura matematica, poiché consiste nella costruzione della tangente a una curva come limite di una secante tra due punti la cui distanza diventi infinitesima. Risulta chiaro che entrare nei dettagli del procedimento matematico del passaggio a limite potrebbe essere un focus eccessivo per il capitolo in esame e l'approccio adottato, più descrittivo e vago, eviti questo problema, ma rimane il fatto che la conclusione del ragionamento resti ingiustificata e l'implicito non possa dunque essere trascurato. Il testo a questo punto discute l'arbitrarietà della densità delle linee di campo, argomentando che se si disegnavano linee per ogni vettore ne servirebbe una per ogni punto e dunque il diagramma sarebbe un unico blocco monocoloro privo di significato.

Il testo dunque presenta un riassunto delle proprietà finora dedotte sulle linee di campo e poi procede a discutere nel dettaglio le linee di campo di cariche puntiformi, descrivendole sia a parole che con dei diagrammi. Si mostrano linee uscenti dalla carica positiva e entranti nella negativa, con la densità delle linee che aumenta in prossimità delle cariche dove il campo è più intenso, giustificando dunque graficamente la regola secondo cui densità delle linee è proporzionale al modulo del campo. Il paragrafo si chiude col considerare una configurazione con due cariche puntiformi, discutendo il caso tra due cariche opposte e quello tra due cariche positive, e mediante un ragionamento basato sul verso entrante o uscente delle linee in base al segno e al campo nel caso di singola carica appena visto, propone dei diagrammi dove la rappresentazione delle linee di campo è conseguenza di quelle regole.

Il quarto paragrafo è intitolato “Il flusso di un campo vettoriale attraverso una superficie” ed ha un solo sottoparagrafo con titolo “Il vettore superficie”. Il testo si apre con un richiamo al concetto di portata di un fluido relativamente alla meccanica dei fluidi, definendola come il rapporto tra il volume di un fluido che passa attraverso una superficie e il tempo in cui esso la attraversa. Il testo considera poi il caso di una superficie piana a diverse inclinazioni per valutare il valore della portata, presentando il caso del vettore velocità del fluido e superficie ortogonali (portata massima), il caso di superficie e velocità paralleli (portata nulla) e il caso di un angolo generico tra superficie e velocità. Il testo deduce con un ragionamento trigonometrico la componente di velocità ortogonale in questo caso, che è il modulo della velocità per il coseno dell'angolo di inclinazione, e poi calcola la portata come la somma di due portate, scomposte sulle componenti ortogonale e parallela al piano della velocità. Con questo spezzamento nelle due componenti la portata viene calcolata come prodotto non nullo per la componente ortogonale e nullo per quella parallela, e dunque la portata totale, somma di questi due contributi, risulta essere il prodotto tra superficie, modulo della velocità e coseno dell'angolo. Il risultato così ottenuto è di fatto una forma implicita del prodotto scalare tra i vettori velocità e superficie, ma è interessante notare che l'Amaldi invece di introdurre il vettore superficie e dare subito il prodotto scalare scelga una dimostrazione che parte da due casi particolari e considerazioni geometriche.

Il vettore superficie viene poi definito nella porzione di testo successiva, dando le regole tradizionali di perpendicolarità alla superficie, modulo pari all'area e verso uscente nel caso di superfici chiuse, e solo a questo punto la portata viene presentata come il prodotto scalare di cui sopra. Il paragrafo si chiude con l'introduzione, nel caso del fluido, del flusso del vettore velocità e ripropone la stessa identica formula della portata, ma stavolta riferita al simbolo Φ_S .

Il quinto paragrafo ha per titolo “Il flusso del campo elettrico e il teorema di Gauss” e presenta due sottoparagrafi intitolati “Il teorema di Gauss per il campo elettrico” e “Dimostrazione del teorema di Gauss”. Il testo richiama la formula del flusso appena vista per il fluido e dichiara che può essere applicata a qualsiasi campo vettoriale, e dunque procede a definire il flusso del campo elettrico come prodotto scalare del vettore

campo per il vettore superficie.

Il testo procede immediatamente a considerare il caso di una superficie di forma qualsiasi sulla quale il campo possa non essere uniforme, e anche qui come nel Walker si inizia a costruire il procedimento dell'integrazione di superficie: si suddivide la superficie in porzioni così piccole da poter essere considerate grossomodo piane e col campo su di esse grossomodo uniforme, si calcola il flusso di ognuna di queste piccole superfici e si sommano tutti questi contributi per ottenere il flusso complessivo. A differenza del Walker però, l'Amaldi non esplicita che questo procedimento sia di fatto una integrazione e si limita a presentare il flusso totale come la sommatoria di n flussi elementari così come nominati. Il testo procede poi a introdurre immediatamente il teorema di Gauss, dichiarando che quest'ultimo scoprì un importante teorema sul flusso di campo elettrico e poi procede a darne l'enunciato, prima in forma testuale e poi in forma matematica.

Si procede poi alla dimostrazione del teorema, ponendosi nel caso di una superficie gaussiana sferica con al centro una singola carica positiva: questa viene suddivisa in piccole porzioni considerate piane, sulle quali il campo risulta costante in modulo poiché tutte queste superfici sono a distanza r dal centro carico, e il testo procede dunque a sommare questi n contributi e a mettere in evidenza alla somma il valore di campo elettrico costante. Tutti i contributi di superficie così sommati danno la superficie totale della sfera, la cui formula viene data esplicitamente e moltiplicata per il valore di campo di una singola carica puntiforme, e il prodotto restituisce così esattamente la formula attesa del teorema di Gauss che il libro ha già presentato. Notiamo anche qui che di fatto è stata usata ancora una volta una integrazione di superficie come metodo di dimostrazione, seppur non venga nominata come tale e i passaggi logici ne vengano spiegati esplicitamente.

Da qui inizia il sesto paragrafo, chiamato "Il campo elettrico generato da una distribuzione piana infinita di carica" e che ha due sottoparagrafi, rispettivamente "Proprietà di simmetria del campo elettrico generato dal piano infinito di carica" e "Il modulo del campo elettrico generato da un piano infinito di carica". Il testo inizia col ribadire che il teorema di Gauss vale per qualsiasi configurazione interna delle cariche e per qualsiasi superficie chiusa, e solo in un trafiletto a lato il testo ragiona sul fatto che deformando la sfera su cui è stato dimostrato il teorema ad una forma qualsiasi non cambia il numero di linee da essa uscenti o entranti e dunque per questo il flusso deve coincidere.

Il testo poi annuncia che tale teorema è utile per trovare il campo di distribuzioni di carica con particolari simmetrie, e considera il caso di un piano infinito di carica positiva con distribuzione uniforme. Qui il testo annuncia la forma del campo che si intende trovare, ovvero modulo uniforme per ogni punto non sul piano, verso uscente e direzione perpendicolare, e poi ne presenta la tipica formula con la densità di carica superficiale, che viene subito dopo definita. Il testo sottolinea poi che l'uniformità del campo così generato è visibile dall'assenza della distanza r dalla formula e propone l'analogia della forza peso sulla superficie terrestre come campo analogo. Il testo rinforza questa evidenza anche in termini di linee di campo, osservando che esse in questo casi risultano parallele

ed equidistanziate dal piano carico sul quale sono ortogonali, e che dunque hanno densità di linee uniforme ovunque nello spazio, ovvero campo costante in quelle regioni.

Il testo a questo punto si prepara a dimostrare questa formula e per fare ciò inizia a ragionare sulla simmetria del sistema. In particolare il testo elenca:

- “in ogni punto P che non appartiene al piano di carica, il vettore campo elettrico è perpendicolare al piano stesso;
- il vettore campo elettrico è lo stesso in tutti i punti che hanno la stessa distanza dal piano di carica e che stanno dalla stessa parte rispetto a esso;
- due punti che si trovano, alla stessa distanza, da parti opposte rispetto alla distribuzione di carica hanno campi elettrici uguali in modulo e in direzione, e opposti in verso.”

Il testo si sofferma dunque a dimostrare nel dettaglio ognuna di queste tre proprietà, ponendo una figura con un piano ortogonale al piano di carica e posto come piano di simmetria, e usando questi elementi geometrici e con considerazioni su riflessioni e traslazioni rispetto a questi piani dimostra le tre proprietà anticipate. Troviamo dunque una argomentazione caratterizzata da un forte approccio geometrico e basato sulle trasformazioni nello spazio per giustificare la configurazione del campo.

Il testo a questo punto procede a dimostrare la formula anticipata e con un approccio standard costruisce una superficie gaussiana cilindrica e bisecata dal piano di carica. Ragionando sulle varie porzioni di carica, di campo e di superficie nel volume del cilindro il testo descrive, sia a parole che con le equazioni, come si ricavi la formula che alla fine viene trovata e dunque dimostrata, chiudendo così il paragrafo.

Il settimo paragrafo ha per titolo “Altri campi elettrici con particolari simmetrie” ed è suddiviso in tre sottoparagrafi, intitolati “Distribuzione lineare infinita di carica”, “Campo elettrico all'esterno di una distribuzione sferica di carica” e “Analogia con il campo gravitazionale”. In esso vengono passati in rassegna alcuni risultati notevoli di formule di campo elettrico: troviamo come primo esempio il campo generato da un filo infinito di carica, e il testo propone prima un inquadramento del sistema fisico in esame, poi una descrizione a parole di come vadano direzione e verso del vettore, e infine propone la nota formula dove compare la densità lineare di carica, che viene subito dopo definita.

La struttura della definizione si ripete anche negli altri casi, ovvero una prima descrizione del sistema fisico considerato, poi la descrizione a parole di direzione e verso del vettore campo, la presentazione della formula matematica che regola l'intensità del modulo e infine una precisazione su alcuni elementi di tale formula e sulla configurazione fisica in esame.

Gli altri due casi che vengono presentati seguendo questo stesso canovaccio sono il campo all'esterno di una distribuzione di sfera carica e il campo all'interno di una sfera omogenea di carica, proponendo anche qui le note formule di questi casi. Il paragrafo

si chiude con un altro richiamo all'analogia meccanica: si propone ancora una volta la formula della legge di Newton e si propone l'analogia con i due casi di distribuzione sferica appena visti: il testo specifica infatti che il campo sulla Terra all'esterno del pianeta va, con buona approssimazione, come se la massa del pianeta fosse tutta al centro; mentre all'interno del pianeta il campo è nullo al centro e inizia a crescere linearmente mano a mano che si procede nella direzione radiale verso l'esterno, esattamente come nel caso delle formule per il campo elettrico. Infine, un trafiletto che accompagna questo testo specifica che la forma della Terra non sia esattamente sferica e dunque che non si applichino esattamente le proprietà matematiche esposte nel caso della sfera carica ma che ciò che è detto valga come approssimazione.

L'ottavo paragrafo è intitolato "Dimostrazione delle formule relative ai campi elettrici con particolari simmetrie" e possiede i tre sottoparagrafi "Il campo di una distribuzione lineare infinita di carica", "Il campo esterno a una sfera di carica" e "Il campo all'interno di una distribuzione sferica omogenea di carica". Anche questo paragrafo segue un canovaccio per i suoi sottoparagrafi e viene anche descritto apertamente nel testo che introduce il paragrafo: si procede ad utilizzare il teorema di Gauss per dimostrare le tre formule date nel paragrafo precedente, partendo in primis dalle simmetrie geometriche dei punti del sistema carico, si sceglie una superficie gaussiana opportuna a tali simmetrie ed infine su di essa si usano il teorema di Gauss e il calcolo diretto del flusso per ricavare il modulo di campo.

La struttura così descritta viene seguita pedissequamente nei tre casi che il testo propone: nel caso del filo infinito di carica il testo apre col considerare le simmetrie su un piano perpendicolare al filo, su una rotazione del filo attorno a sé stesso e di una traslazione del filo lungo la direzione stessa del filo, e da queste considerazioni conclude che la superficie che sfrutta al massimo questa situazione sia un cilindro costruito attorno al filo, in modo che il filo passi attraverso i centri delle basi di tale cilindro. Con questa scelta, il testo descrive con ampio dettaglio il calcolo del flusso sulle basi e sulla superficie laterale del cilindro, aprendo con un lungo elenco di considerazioni sui vari passaggi che poi accompagnano le equazioni con cui si svolge il calcolo, fino ad arrivare alla formula finale.

Con la stessa struttura argomentativa vengono presentati i casi relativi alla sfera carica: in ambo i casi le simmetrie sono le stesse, quelle rispetto ad un piano che passi per il centro della sfera e rispetto ad una rotazione qualunque attorno a tale centro, e la scelta di superficie gaussiana risulta essere a sua volta una sfera, in un caso di raggio maggiore della sfera carica e nell'altro lato minore, in modo da ricadere in un caso nella regione esterna e nell'altro nella regione interna della distribuzione di carica. Dopo alcune considerazioni sulla superficie e alcuni passaggi matematici il testo propone le formule finali, dichiarando in tutti i casi che quanto visto nel paragrafo precedente è ora dimostrato.

Il capitolo si chiude infine con una tabella a pagina 678 che presenta ancora una volta il caso dell'analogia meccanica del campo elettrico con il campo gravitazionale. In questa

tabella si elencano risultati dimostrati durante tutto il capitolo relativamente a diverse proprietà del campo (sorgenti, definizione, linee di campo per una o due cariche...) e mostrando accanto i casi analoghi nel caso del campo gravitazionale.

Come per il capitolo 18, anche qui la varietà tematica del capitolo è ridotta, presentando una preponderanza di argomenti legati all'ambito della stretta trattazione fisica con pochissimi esempi quotidiani o di altri ambiti. A differenza del capitolo 18, nel capitolo 19 troviamo anche un bel po' di spazio dato alla matematica: il testo possiede qui dimostrazioni più strutturate e con un livello di formalismo non indifferente, il quale si manifesta nei passaggi algebrici delle equazioni e nel ragionamento spaziale e geometrico, con l'ampio risalto su ragionamenti di simmetria relativamente a trasformazioni geometriche. Non possiamo inoltre ignorare l'intera pagina di approfondimento dedicata alla definizione formale di campi vettoriali e scalari, a riprova della maggiore impronta matematica che questo capitolo ha rispetto agli altri due analizzati.

Si conferma lo stesso trend degli impliciti che abbiamo osservato nel capitolo 18 anche nel capitolo 19: impliciti sporadici non mancano ma il testo si comporta grossomodo bene, dando veramente poco per scontato nella sua argomentazione lineare e richiamando ogni eventuale presupposto necessario a capire la dimostrazione in esame, e ciò si verifica per la sfera della matematica (simmetrie geometriche, direzione e verso dei vettori campo...), per i richiami di fisica al di fuori del capitolo in esame (la portata di un fluido, l'analogia meccanica gravitazionale...) e per ciò che riguarda il capitolo stesso relativamente al campo elettrico.

4.4.2 Dimensione lessicale

Tra le pagine del capitolo 19 l'Amaldi presenta complessivamente 7266 termini, di cui il 3,8% sono termini lunghi (278 in totale), il 3,2% sono cifre (231 in totale) e il 9,7% sono termini tecnici (703 in totale). I termini all'intersezione tra le categorie di lunghi e tecnici risultano essere il 2,0% (143 in totale), lasciando dunque 1,9% di termini lunghi non tecnici (135 in totale) e 7,7% di termini tecnici non lunghi (560 in totale). Questi dati sono riassunti in figura 4.11 e ancora una volta si riconferma il trend per il quale i termini tecnici consistono nella fetta più pesante sul carico cognitivo.

Tra questi, sul totale dei 703 registrati, il 52,8% erano presentati e contestualizzati nel capitolo (371 in totale) e il 47,2% (332 in totale) erano dati per scontati o non ben definiti dall'esposizione, come possiamo vedere in figura 4.12.

Si riconfermano i trend al capitolo 18 dell'Amaldi per ciò che riguarda le categorie dei termini tecnici esposti oppure estranei che si incontrano: per non ripetere quanto detto, invitiamo il lettore a consultare la sottosezione 4.3.2 sopra esposta per rivedere tali categorie. Notiamo invece che la percentuale di termini tecnici estranei è qui più alta, visto che negli ultimi paragrafi di questo capitolo compare una trattazione matematica molto più approfondita e che cita diversi termini relativi alla sfera dell'insiemistica e delle funzioni (campo vettoriale, scalare, applicazione tra insiemi...) oppure relativamente

alla geometria e alle trasformazioni (simmetria, rotazione, traslazione...) in quanto termini meno contestualizzati nel capitolo.

Percentuali dei tipi lessicali sul totale

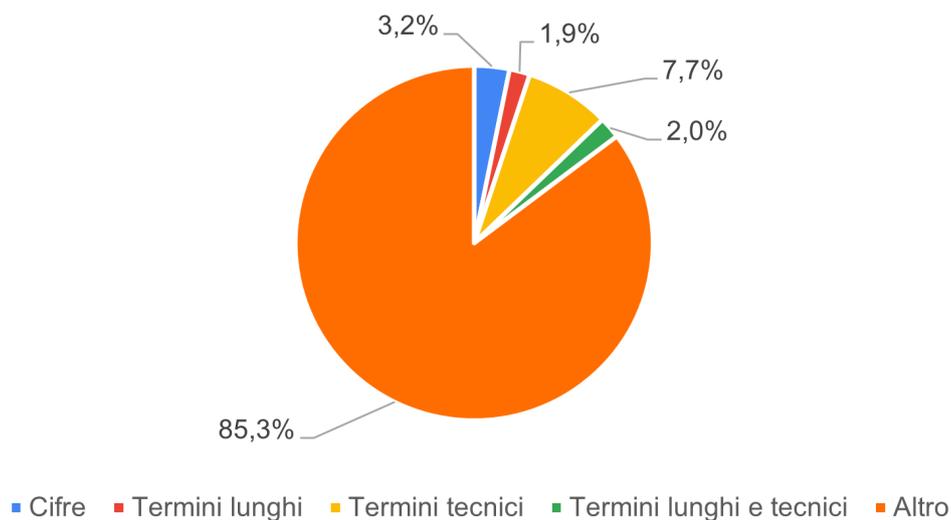


Figura 4.11: Distribuzione dei vari tipi di termini sul totale. In questa figura sono esclusi dalle categorie dei lunghi e dei tecnici i termini contemporaneamente lunghi e tecnici, rappresentati a parte nella loro categoria.

Termini tecnici sul totale

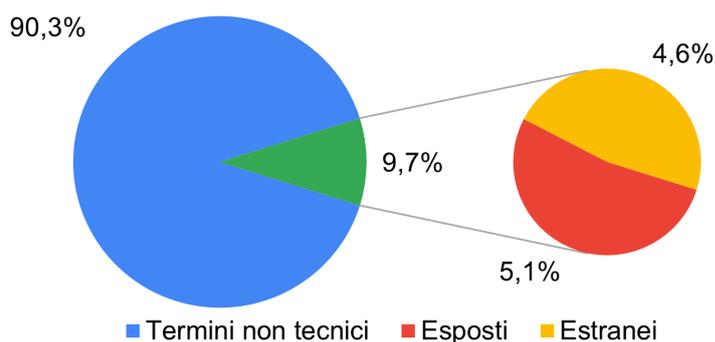


Figura 4.12: Distribuzione dei termini tecnici sul totale, distinguendoli tra quelli esposti nel capitolo in esame o quelli estranei rispetto ad esso.

4.4.3 Dimensione sintattica

Nelle pagine in esame abbiamo trovato 83 periodi semplici e 236 periodi complessi, rispettivamente il 26,0% e il 74,0%; tra questi sono state registrate 711 proposizioni, di cui 236 principali che reggono il periodo (il 33,2%), 58 incidentali (l'8,2%), 67 coordinate (il 9,4%) e 350 subordinate (il 49,2%), percentuali che troviamo riassunte nella figura 4.13.

La percentuale di subordinate si riconferma quasi cinque volte tanto quella delle coordinate, dunque anche stavolta domina l'ipotassi e dunque si ha un carico cognitivo non trascurabile dovuto all'abbondanza di proposizioni subordinate.

Per quanto riguarda i vari tipi di subordinate, li troviamo espressi in figura 4.14: al primo posto tra di esse troviamo le relative (162 proposizioni), seguite dalle oggettive (43 proposizioni), dalle condizionali (37 proposizioni) e da causali e modali a pari merito al quarto posto (in ambo i casi, 20 proposizioni). Vi sono sottotipi invece del tutto assenti, ovvero le aggiuntive, le avversative, le eccettuative, le esclusive e le limitative. Anche qui ritornano trend già visti per gli altri due capitoli analizzati, relativamente alle subordinate più frequenti (relative, oggettive e condizionali nell'ordine) e di quelle invece completamente assenti (aggiuntive, avversative ed esclusive).

Per quanto riguarda le forme, iniziamo col dire che il 6,8% delle proposizioni erano in forma passiva (54 in totale), contro l'11,2% in forma riflessiva (89 in totale) e l'82,0% in forma attiva (651 in totale), potendo dunque concludere che le forme passive in questi brani esercitano un carico cognitivo ridotto ma non trascurabile.

Sempre sulle forme, il 3,1% risultano in forma negativa (25 in totale) contro il 96,9% in forma attiva (769 in totale): dunque, possiamo ritenere anche per questo capitolo che il carico cognitivo dovuto alle forme negative sia trascurabile. I dati sulle forme delle proposizioni sono riassunti alla figura 4.15.

Percentuale delle proposizioni nei periodi complessi

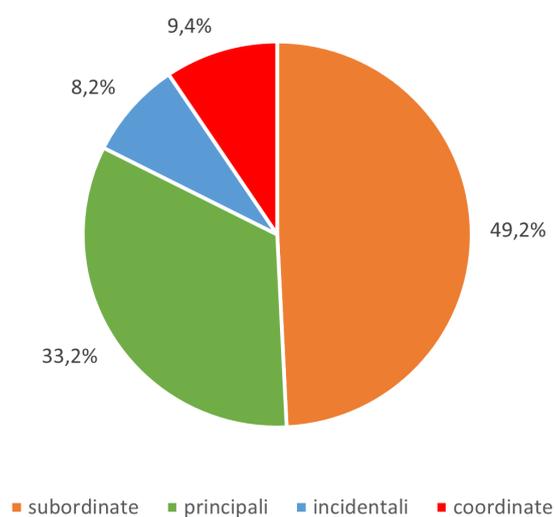


Figura 4.13: Percentuali delle proposizioni che compaiono nei periodi complessi.

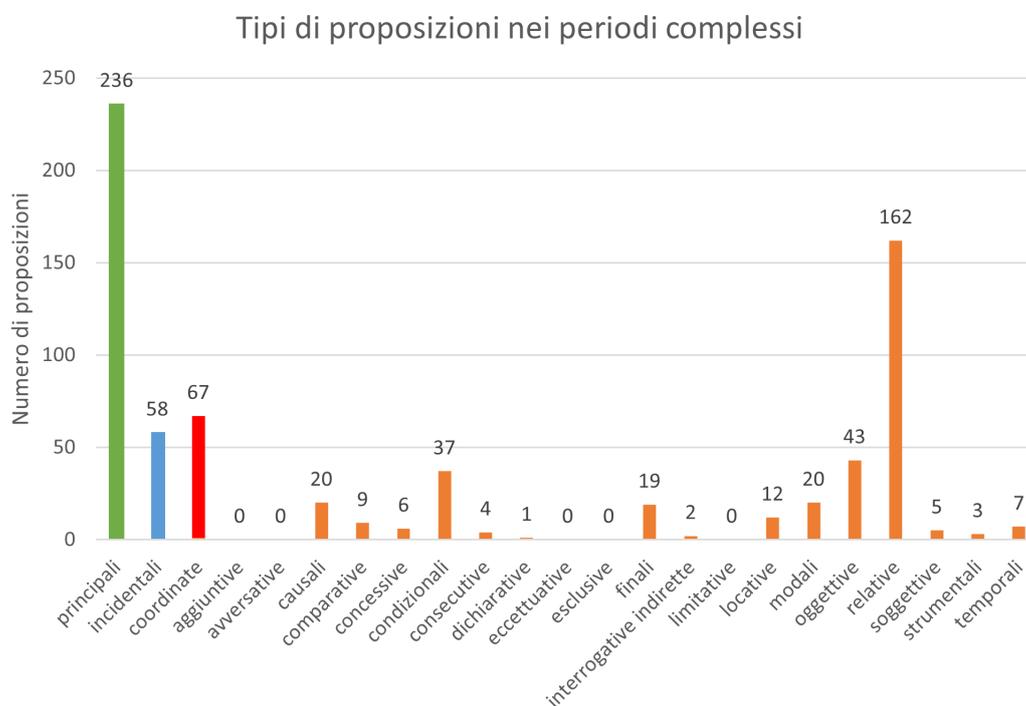


Figura 4.14: Diagramma a barre dei tipi di proposizioni che compaiono nei periodi complessi; in arancione vi sono tutti i sottotipi di subordinata, distinti.

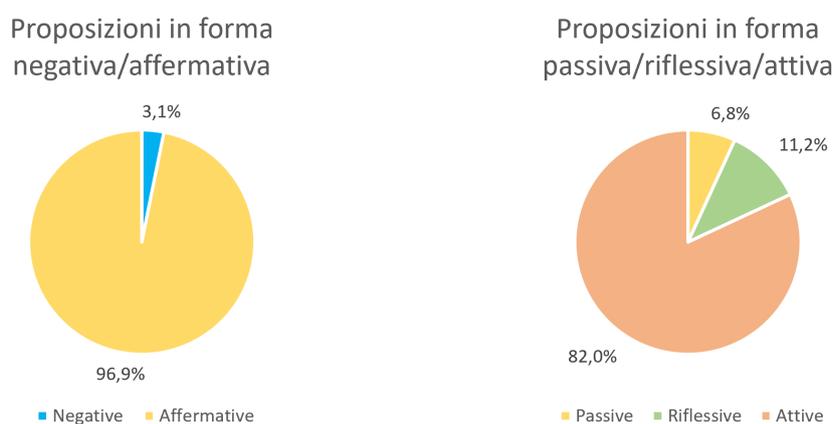


Figura 4.15: Percentuali di proposizioni in forma negativa o affermativa e di proposizioni in forma passiva, riflessiva o attiva.

4.4.4 Dimensione cognitiva e metacognitiva

Ancora una volta vi è la conferma della diversa presenza di registri semantici. Su 23 pagine analizzate, in tutte e 23 vi era la presenza di almeno un altro registro semantico tra quello matematico e quello grafico, spesso entrambi contemporaneamente presenti. La coerenza dell'informazione contenuta tra i registri si riconferma pure qui, dando all'informazione che il capitolo presenta una solida coesione semantica.

I titoli dei paragrafi sono coesi col contenuto e in tutte e 23 le pagine si ritrova un contenuto coerente con ciò che i titoli anticipano, e i titoli risultano predittivi in 19 pagine, dando dunque al capitolo un punto di forza nel poter stimolare attraverso di essi la capacità di predizione del contenuto del testo che segue.

Sul totale, solo 2 pagine presentano collegamenti quotidiani e in 5 di esse si ritrovano collegamenti col quotidiano, confermando il trend già visto nel capitolo 18 (sezione 4.3.4). Si riconferma dunque un testo che non dà molto spazio a misconcezioni, che di converso può dare allo studente poca familiarità coi concetti esposti e che nell'esposizione risulta comunque estremamente trasparente, visto il basso livello di concetti che vengono dati per scontati tra le conoscenze dello studente.

Infine, nelle 23 pagine analizzate osserviamo che 4 di esse contengono esempi svolti e 22 di esse hanno elementi di evidenziazione dei risultati e dei punti chiave del ragionamento: come per il capitolo 18 si ha nel capitolo 19 un'esposizione molto chiara nel mettere in evidenza i punti salienti che lo studente deve attenzionare ma che non stimola a digressioni o pause di riflessione, che ribadiamo ancora una volta essere uno strumento molto prezioso per stimolare la regolazione dei processi attenzionali dello studente, che nel caso degli studenti con DSA è un punto debole sul quale l'insegnante deve intervenire.

4.5 Considerazioni sui risultati

Consideriamo adesso somiglianze, differenze e punti salienti relativamente ai capitoli per discutere i risultati trovati. Prima ancora di passare alle dimensioni della lente, notiamo da un confronto dei risultati che il capitolo del Walker risulta più denso in confronto all'Amaldi: su 30 pagine in questo testo abbiamo registrato 14654 termini complessivi, contro i 4267 nelle 17 pagine del capitolo 18 dell'Amaldi e i 7266 del capitolo 19, su 23 pagine. Abbiamo dunque un numero medio di termini per pagina che si attesta sui 482 per il capitolo 23 del Walker, di 251 per il 18 dell'Amaldi e di 315 per il 19. Questo conferma anche l'impressione che il capitolo 19 sia relativamente più denso del 18 nel contesto dell'Amaldi, ma che entrambi comportino una lettura meno densa del Walker.

Questa considerazione non è un punto di favore o demerito per nessuno dei due testi in esame, ma getta luce sul "peso specifico" che una pagina ha: spesso la pagina nel contesto scolastico viene utilizzata come unità di misura per stabilire quanto esporre a lezione o lasciare per casa agli studenti come compito individuale. Ragionare sul fatto

che per diversi testi la densità con cui espongono non è la stessa è un modo per esporre un altro fattore che l'insegnante dovrebbe attenzionare quando va a tarare la lunghezza di una lezione o il peso dei compiti per casa. Considerare che ogni libro e ogni brano hanno un numero a sé di parole non direttamente rappresentato dalla pagina va considerato quando si stima il carico cognitivo dei compiti per casa e delle lezioni in classe.

Passiamo dunque dalla dimensione testuale: in termini di struttura del capitolo, una prima differenza evidente ha riguardato la presenza della pagina introduttiva: il Walker infatti ne presenta una, a differenza dell'Amaldi che apre entrambi i suoi capitoli direttamente col testo principale della trattazione. Come abbiamo già visto durante l'analisi, in questa pagina introduttiva il capitolo analizzato dal Walker coglie l'occasione per anticipare la struttura del capitolo e dare alcuni cenni degli argomenti che in esso vengono trattati. L'uso di una pagina introduttiva può diventare un ottimo stimolo per spingere gli studenti a compiere predizioni sul contenuto del capitolo prima ancora di iniziare la lettura del corpo principale, e come abbiamo visto dalla ricerca di settore stimolare la predizione è una strategia efficace per produrre una lettura più proficua per lo studente (e.g., Katz et al., 2016).

Il Walker, inoltre, presenta una scrittura più coesa dell'Amaldi grazie a un uso abbondante di connettivi logici, tra cui spiccano le congiunzioni, che contribuiscono a creare un testo più fluido nella lettura. L'Amaldi invece presenta una scrittura più frammentaria, dove la progressione degli argomenti non sempre risulta organica ma appare giustapposta.

Per quanto riguarda gli argomenti, l'uso dei collegamenti all'esperienza quotidiana è ampio nel caso del Walker e tra il moderato e il trascurabile per l'Amaldi: quei collegamenti sono infatti spesso ambivalenti per le ragioni che abbiamo già esposto, e dunque l'uso con moderazione può essere una via efficace per mitigare le misconcezioni che potrebbero scaturire da essi, pur pagando il prezzo di presentare argomenti che per gli studenti sono distanti dall'esperienza quotidiana. In questo senso può essere l'insegnante a compensare nella sua esposizione degli argomenti, potendo anche intervenire attivamente sulle eventuali misconcezioni che possano emergere.

Un trend prevedibile riguarda la somiglianza tra i due capitoli presi dall'Amaldi: non sono perfettamente sovrapponibili, e nell'analisi dettagliata degli argomenti abbiamo visto che il capitolo 19 presenta un'impronta più matematica rispetto al 18, ma a parte questa vistosa differenza abbiamo registrato diverse somiglianze sotto tutte e quattro le dimensioni di analisi. Il risultato non sorprende poiché si tratta di due capitoli tra loro ravvicinati nella trattazione dello stesso libro di testo, e questa somiglianza si può interpretare come l'emergere dello stile di scrittura che caratterizza l'Amaldi, così verificato in maniera incrociata.

Relativamente alla dimensione lessicale, si osserva in tutti e tre i capitoli la predominanza dei termini tecnici come maggiore fonte di carico cognitivo. Questo dato conferma una delle aspettative sul testo espositivo che avevamo incontrato, ovvero la presenza importante di un linguaggio settoriale e tecnico (e.g., Mason e Hedin, 2011 oppure Seifert e Espin, 2012). Il carico cognitivo di questo uso abbondante di termini tecnici può essere

però alleviato se quei termini vengono contestualizzati correttamente nel testo: da questo punto di vista il capitolo che performa meglio sui tre visti è il capitolo 18 dell'Amaldi. Facendo riferimento alle figure 4.2, 4.7 e 4.12, osserviamo infatti che in esso la maggior parte dei termini tecnici (il 7,1%) risultano opportunamente contestualizzati dal testo, laddove invece per il capitolo 19 dello stesso testo e per il Walker troviamo percentuali di termini contestualizzati comparabili (il 5,1% e il 6,4% rispettivamente).

Passando alla dimensione sintattica, in entrambi i testi si è riscontrata una predominanza della ipotassi rispetto alla paratassi, che può rappresentare un potenziale ostacolo dal punto di vista sintattico, mitigato dalla bassa presenza di altri elementi sintattici critici come le frasi in forma passiva e negativa. Nei testi analizzati infatti le proposizioni erano principalmente in forma affermativa e riflessiva oppure attiva, forme sintattiche che nella letteratura esaminata provocano un minore carico cognitivo negli studenti quando comparate con forme passive e forme negative (e.g., C. Chan, 2015).

Dai diagrammi a barre rappresentati nelle figure 4.4, 4.9 e 4.14 è interessante notare che la distribuzione di subordinate sui vari sottotipi sembra essere simile tra tutti e tre i capitoli. Tra le somiglianze abbiamo già notato notiamo come in tutti e tre i casi il tipo di subordinata più frequente risulti essere la relativa, con le oggettive che si piazzano al secondo posto e le condizionali al terzo posto sempre per frequenza. Ritorna anche il fatto che vi siano alcuni tipi di subordinate che non figurano in nessuno dei capitoli: nello specifico trattasi delle subordinate aggiuntive, delle avversative e delle eccettuative, di cui non abbiamo rilevato alcun esempio.

Passiamo ora alla dimensione cognitiva e metacognitiva. Un aspetto in cui il Walker sembra performare meglio è quello dell'uso abbondante di elementi nel testo (come ad esempio blocchi di verifica oppure esercizi svolti) atti a stimolare pause di riflessione e digressioni nello studente, un'altra strategia che nella letteratura di settore (e.g., Katz et al., 2016) si dimostra legata a una lettura efficace e una possibile linea di intervento per migliorare le capacità degli studenti con DSA.

Un punto interessante riguarda poi la propedeuticità degli argomenti: per il Walker tale propedeuticità si è rivelata in maniera più preponderante, a differenza dell'Amaldi dove nel capitolo 19 tale requisito risulta moderato ed è notevolmente ridotto nel capitolo 18. Questo dato si riflette pure nella presentazione delle dimostrazioni: l'Amaldi presenta un basso requisito di concetti a priori per capire lo svolgersi del ragionamento e presenta delle argomentazioni in un certo senso pedanti nel sottolineare le premesse al ragionamento, accompagnando dunque anche gli studenti più in difficoltà nel capire ogni passaggio, a differenza del Walker che sulla sfera di altre branche della fisica o degli argomenti matematici ricorrenti in fisica richiede un certo livello di propedeuticità nei confronti dello studente.

Ciò che ci si aspetta dalla letteratura analizzata sul testo espositivo è una forte struttura gerarchica tra gli argomenti che si susseguono (e.g., Mason e Hedin, 2011); dunque, era lecito attendersi dei testi con forte propedeuticità a concetti passati, ed è interessante notare che il Walker e il capitolo 19 dell'Amaldi confermino questo trend,

laddove invece il capitolo 18 dell'Amaldi si pone in controtendenza al dato generale sul testo espositivo. In ogni caso, l'invito è ancora una volta all'insegnante attento di fare per quanto possibile richiami alle nozioni necessarie ad introdurre i nuovi argomenti, poiché soprattutto per gli studenti con DSA questa struttura gerarchica dei libri e delle nozioni stesse si scontra duramente con una loro sistematica debolezza nelle reti dei concetti a priori (e.g., Botsas, 2017 oppure Tricot et al., 2020), ed è una delle direzioni in cui un intervento mirato al loro recupero deve necessariamente andare.

Un elemento in controtendenza rispetto agli studi finora analizzati riguarda l'impiego di registri semantici differenti. Se da un lato è vero che la variazione nelle modalità di presentazione di uno stesso concetto può incrementare il carico cognitivo complessivo, dall'altro rappresenta anche una strategia didattica efficace, in particolare per gli studenti con DSA, in quanto consente di rispondere alla diversità degli stili cognitivi e di apprendimento (e.g., Demirdag, 2014). La pluralità dei registri, dunque, può costituire un punto di forza, a patto che le informazioni veicolate risultino tra loro coerenti; in caso contrario, essa rischia di generare disorientamento e compromettere la comprensibilità complessiva del messaggio.

Per questo possiamo concludere che, in tutti e tre i capitoli analizzati, l'uso dei diversi registri semantici sia ben fatto, in quanto l'informazione che i brani espongono si è dimostrata ubiquamente coerente in tutti i registri, il che permette di raccogliere i benefici di un approccio multi-semantico come quello che entrambi i libri propongono.

Infine, evidenziamo un ulteriore elemento comune ai tre capitoli analizzati: ciascuno presenta una struttura argomentativa lineare. Il discorso si sviluppa a partire da una premessa, seguita da una sua giustificazione, per poi procedere con riflessioni che si innestano coerentemente su quanto appena esposto. Tale andamento produce una progressione ordinata degli argomenti, priva di salti logici o connessioni non lineari tra i paragrafi.

Una struttura del genere linearizza il ragionamento in una semplice sequenza di fatti ed evidenze che produce una rete di conoscenze semplice da acquisire; si potrebbe pensare, seguendo una linea di senso comune, che questa struttura semplificata possa aiutare a ridurre il carico cognitivo del testo così strutturato, e alcune linee guida sulla scrittura di testi accessibili sembrano andare in questa direzione (e.g. Commissione europea, Direzione generale della Traduzione e Field, 2015). Ma un dato che è emerso dalla letteratura di settore e dall'attuale visione di ricerca è che gli studenti con DSA soffrono di una rete di conoscenze a priori che è impoverita (e.g., Botsas, 2017 oppure Tricot et al., 2020) per via delle ragioni già presentate nei capitoli precedenti. Viene dunque da chiedersi se la presentazione di un ragionamento semplificato sia effettivamente quella più efficace per operare il miglior intervento per gli studenti con DSA. Come può rinforzarsi una rete di conoscenze impoverita se gli unici esempi di progressione di concetti che vengono presentati a questi studenti sono a loro volta impoveriti e banalizzati?

Chiaro è che per gli studenti con DSA provare ad affrontare un ragionamento con una struttura più articolata comporta sia dei limiti che delle sfide maggiori se messi a

confronto con i loro pari senza DSA. I limiti sono quelli dati dalle caratteristiche dei disturbi che obbligano a dover alterare gli obiettivi didattici con delle dispense, e le difficoltà nascono dalle condizioni specifiche che abbiamo in precedenza esaminato, ma bisognerebbe chiedersi se per l'insegnante che voglia davvero attuare il recupero e il rinforzo degli studenti con DSA non valga la pena di pagare il prezzo maggiore di questa sfida e provare a presentare argomentazioni più articolate, nei modi e nei mezzi consoni ai bisogni degli studenti con DSA ma senza neppure rinunciare ad un certo livello di sfida e problematicità che devono stimolare tali studenti al loro progresso.

Conclusioni

Nel lavoro di ricerca condotto per la presente tesi abbiamo indagato nel dettaglio quale sia lo stato dell'arte della letteratura di settore relativamente ai DSA e al loro rapporto con le discipline scientifiche, con il focus specifico della Fisica.

Abbiamo ripercorso anzitutto la storia del dibattito sui BES e sui DSA e il loro inquadramento più ampio nella Pedagogia e nella Didattica, fornendo l'odierno inquadramento teorico in termini di carico cognitivo e memoria di lavoro, un framework che si è rivelato fondamentale per porre le basi dell'analisi nei capitoli 3 e 4.

Una possibile linea di indagine che emerge dagli studi analizzati riguarda la questione della definizione della discalculia: abbiamo visto come in alcuni studi di area delle scienze cognitive (e.g. K. E. Lewis e Fisher, 2016 oppure Agostini et al., 2022) emerga la chiarezza che tale disturbo si manifesti in una scarsa resa scolastica nell'ambito matematico che è resistente all'intervento didattico, ma gli elementi caratterizzanti per porre una definizione del disturbo ad oggi non risultano ancora individuati e dunque andrebbero ulteriormente indagati in ricerca.

È stata successivamente analizzata la letteratura di ricerca nell'ambito della didattica delle scienze, inquadrando gli studi relativi al rapporto tra DSA e discipline scientifiche in generale, e tra DSA e Fisica in particolare. A supporto dell'analisi, abbiamo inoltre adottato il modello del Testo Espositivo come riferimento per l'esame delle caratteristiche comunicative e strutturali dei materiali didattici.

Si era visto come in letteratura vi siano ancora pochi lavori che indagano il legame tra le discipline scientifiche e i DSA, un fenomeno che ricade inevitabilmente anche sulla Fisica. Gli studi che si possono reperire spesso presentano presupposti, metodologie e risultati diversi, rendendo difficile, per un docente di fisica, navigare la pluralità dei risultati e adottare nuove strategie per supportare l'apprendimento di questo tipo di studenti. Un maggiore sviluppo della ricerca di settore non porterebbe soltanto ad una migliorata comprensione del tema ma offrirebbe la possibilità di poter sviluppare interventi didattici mirati in Didattica della Fisica nel caso dei DSA.

Si è poi data forma allo strumento di analisi nel capitolo 3, a partire dal lavoro di Polverini (2022) nella costruzione della sua lente di analisi linguistica ed epistemologica che è stata una preziosa base per costruire la nostra lente. Partendo dai risultati dalla letteratura relativi agli aspetti linguistici del carico cognitivo, abbiamo proposto una

versione modificata della lente di analisi utile ai nostri fini e ne è stato dato un esempio di applicazione.

Un altro rischio denotato dalla nostra indagine è di trattare tutte le scienze come un'unica entità amorfa, cancellando completamente le differenze che le caratterizzano. Chi scrive preme sul bisogno di indagare in ricerca i legami specifici dei DSA nelle discipline scientifiche specifiche, poiché la didattica di ogni disciplina scientifica risente diversamente delle peculiarità di quella specifica disciplina: mescolare queste diverse discipline sotto un non ben categorizzato “ambito scientifico” rischia di produrre poco beneficio, e i futuri studi dovrebbero tenere conto di ciò.

Infine, nel capitolo 4 la lente è stata applicata a tre capitoli provenienti da due libri di testo scolastici, *Physics* di James S. Walker (2020, Pearson) e *l'Amaldi per i licei scientifici.blu* di Ugo Amaldi (2012, Zanichelli). Tramite l'uso sistematico della lente sono stati ricavati e presentati i dati relativi alle quattro dimensioni della lente: in primo luogo, si è analizzata la struttura del testo e il contenuto dell'argomentazione con focus sugli impliciti per la dimensione testuale e a seguire si sono analizzati i vari tipi lessicali che figurano tra i termini del testo e il loro carico cognitivo nella dimensione lessicale. Si è dop analizzata la quantità di periodi semplici e composti e la struttura di quest'ultimi, analizzando la varietà delle proposizioni che li compongono con un focus sui vari sottotipi di subordinate nella dimensione sintattica; infine, si è indagata la varietà e la coerenza dei registri semantici e degli elementi del testo quali box di esercizio, figure con didascalia, esempi svolti e così via, analizzando come la loro struttura e la loro composizione aumenti o diminuisca il carico cognitivo nella dimensione cognitiva e metacognitiva.

Ancora una volta, ribadiamo che nella lettura dei risultati di questa analisi non si dovrebbe ritenere il libro di testo come uno strumento autonomo, sia quando esso presenta dei punti di forza che di debolezza. Quei punti rimarranno inerti se non vi sarà l'insegnante a sfruttarli nella sua trasposizione didattica, valorizzando quelli positivi e ponendo attenzione su quelli negativi. Ma perché ciò avvenga è fondamentale che l'insegnante possa effettivamente riconoscere quali siano gli elementi da attenzionare e le dimensioni nelle quali essi manifestano il carico cognitivo, ed è qui che uno strumento come il nostro entra in gioco, pur con i suoi limiti e punti di criticità.

Lo strumento è anche stato arricchito con la possibilità di integrare futuri insight dalla ricerca: in questa direzione va, ad esempio, la scelta di analizzare anche i diversi tipi di subordinate. Avevamo visto nel capitolo 3 che ci sono alcuni studi che hanno indagato il carico cognitivo di alcuni specifici sottotipi di subordinata (e.g. C. Chan, 2015 oppure Sevcenco et al., 2014). Ad oggi manca un'indagine sistematica sul carico cognitivo relativo ai vari tipi di subordinata, ma i risultati parziali che abbiamo analizzato suggeriscono che tra diversi tipi di subordinate ve ne siano alcune di impatto maggiore rispetto ad altre: invitiamo dunque la ricerca di settore a indagare in questa direzione, in quanto questi dati fornirebbero un maggiore insight su ciò che avviene sintatticamente nel testo.

Inoltre, ricerche maggiori e condotte su scala sistematica offrirebbero anche agli inse-

gnanti la possibilità di formarsi a dovere e poter intervenire come si deve, e la loro azione è il nodo cruciale dove davvero si deve intervenire per garantire la corretta preparazione degli studenti con DSA. Questo invito è dettato anche da un altro dei dati che ricorreva durante l'indagine teorica, ovvero la generale difficoltà rilevata tra gli insegnanti nel poter affrontare studenti con BES e DSA, il che è emerso anche nel caso degli insegnanti di discipline scientifiche (e.g. Seifert e Espin, 2012 oppure Villanueva et al., 2012). La formazione degli insegnanti di tali discipline su questi temi è dunque caldamente consigliata per migliorare l'azione didattica verso studenti con BES e DSA.

In ultimo, chiudiamo questa dissertazione con due immagini che hanno guidato lo spirito di questa tesi: la prima è quella di uno studente con DSA che si appresti a fare i compiti del giorno, aprendo il libro di Fisica per studiare le pagine assegnate, e prepararsi ad un compito che spesso per lo studente con DSA che studi in autonomia si rivela arduo. La seconda è quella di un insegnante di Fisica che prepari la sua lezione da portare in classe per il giorno dopo, aprendo il testo che ha deciso di adottare per quell'anno e decidendo come affrontare le pagine in esame, pensando a tutti i suoi studenti, soprattutto quelli con maggiori difficoltà. In ognuna di queste pagine la ricerca raccolta, le conclusioni raggiunte, le scelte di campo che sono state fatte e la forma dell'analisi che si è raggiunta sono state guidate dallo spirito di aiutare quelle due categorie che ogni giorno nel contesto scolastico si sforzano: gli studenti con DSA a fare del loro meglio pur con le loro difficoltà specifiche e gli insegnanti a trarre il massimo dal gruppo classe e dai singoli studenti. L'intento di chi scrive è stato quello di fornire uno strumento in più all'insegnante preoccupato su questi temi e la speranza di un beneficio per gli studenti con DSA che per anni del loro percorso si cimentano con la Fisica e con i suoi libri di testo.

Bibliografia

- Adams, M. J. (1990). Beginning to read.
- Agostini, F., Zoccolotti, P., & Casagrande, M. (2022). Domain-general cognitive skills in children with mathematical difficulties and dyscalculia: A systematic review of the literature. *Brain sciences*, *12*(2), 239.
- Agrillo, C., Piffer, L., & Bisazza, A. (2011). Number versus continuous quantity in numerosity judgments by fish. *Cognition*, *119*(2), 281–287.
- Akbari, O., & Sahibzada, J. (2020). Students' self-confidence and its impacts on their learning process. *American International Journal of Social Science Research*, *5*(1), 1–15.
- Alexander, P. A., Graham, S., & Harris, K. R. (1998). A perspective on strategy research: Progress and prospects. *Educational psychology review*, *10*, 129–154.
- Alexander, P. A., & Jetton, T. L. (1996). The role of importance and interest in the processing of text. *Educational psychology review*, *8*, 89–121.
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of experimental child psychology*, *106*(1), 20–29.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of experimental child psychology*, *87*(2), 85–106.
- Amaldi, U. (2012). *l'Amaldi per i licei scientifici.blu*. Zanichelli editore.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. American psychiatric association.
- Anderman, E. M. (1998). The middle school experience: Effects on the math and science achievement of adolescents with LD. *Journal of Learning Disabilities*, *31*(2), 128–138.
- Angelopoulou, E., & Drigas, A. (2021). Working memory, attention and their relationship: A theoretical overview. *Research, Society and Development*, *10*(5), e46410515288–e46410515288.
- Armbruster, B. B. (1984). The problem of “inconsiderate texts” (G. G. Duffy, L. R. Roehler & J. Mason, Cur.). *Theoretical issues in reading comprehension*, 202–217.

- Armbruster, B. B., Anderson, T. H., & Ostertag, J. (1987). Does text structure/summarization instruction facilitate learning from expository text? *Reading research quarterly*, 331–346.
- Armstrong, F., Armstrong, D., & Barton, L. (2000). *Inclusive education: Policy, contexts and comparative perspectives*. Routledge.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In *Psychology of learning and motivation* (pp. 89–195). Elsevier.
- Attout, L., & Majerus, S. (2015). Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology*, 21(4), 432–450.
- Baddeley, A., & Logie, R. H. (1999). Working memory, attention and their relationship: A theoretical overview (A. Miyake & P. Shah, Cur.), 28–61. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.00>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. (2002). Is working memory still working? *European psychologist*, 7(2), 85.
- Baddeley, A. (2003a). Working memory and language: An overview. *Journal of communication disorders*, 36(3), 189–208.
- Baddeley, A. (2003b). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4(10), 829–839.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136–R140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63(1), 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. (2020). Working memory. *Memory*, 71–111.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47–89). Elsevier.
- Baker, D. P. (2012). The Invisible Hand of World Education Culture: Thoughts for Policy Makers 1. In *Handbook of education policy research* (pp. 958–968). Routledge.
- Baker, E. T., et al. (1995). The effects of inclusion on learning. *Educational leadership*, 52(4), 33–35.
- Baker, L. (2002). Metacognition in comprehension instruction. *Comprehension instruction: Research-based best practices*, 77–95.
- Baker, S., Gersten, R., & Lee, D. (2002). A synthesis of empirical research on teaching mathematics to low-achieving students, 51–73.
- Bakken, J. P., Mastropieri, M. A., & Scruggs, T. E. (1997). Reading comprehension of expository science material and students with learning disabilities: A comparison of strategies. *The Journal of Special Education*, 31(3), 300–324.
- Bakken, J. P., & Whedon, C. K. (2002). Teaching text structure to improve reading comprehension. *Intervention in School and Clinic*, 37(4), 229.

- Bakker, D. J. (1992). Neuropsychological classification and treatment of dyslexia. *Journal of learning disabilities*, 25(2), 102–109.
- Bar-Shalom, E. G., Crain, S., & Shankweiler, D. (1993). A comparison of comprehension and production abilities of good and poor readers. *Applied Psycholinguistics*, 14(2), 197–227.
- Barton, J. J., Hanif, H. M., Eklinder Björnström, L., & Hills, C. (2014). The word-length effect in reading: A review. *Cognitive neuropsychology*, 31(5-6), 378–412.
- Battaglia, A. (2004). *Figli per sempre. La cura educativa del disabile mentale*. Carocci Faber.
- Baurhoo, N. (2020). Science teaching and learning: Exploring barriers by science students with learning disabilities and their science instructors in a CEGEP setting.
- Bean, R. M., Zigmond, N., & Hartman, D. K. (1994). Adapted use of social studies textbooks in elementary classrooms: Views of classroom teachers. *Remedial and Special Education*, 15(4), 216–226.
- Berch, D. B., & Mazzocco, M. M. (2007). Why is math so hard for some children. *The nature and origins of mathematical learning difficulties and disabilities*, 397–414.
- Bergerud, D., Lovitt, T. C., & Horton, S. (1988). The effectiveness of textbook adaptations in life science for high school students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 21(2), 70–76.
- Berkeley, S., Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2010). Reading comprehension instruction for students with learning disabilities, 1995–2006: A meta-analysis. *Remedial and Special Education*, 31(6), 423–436.
- Biancarosa, G., & Snow, C. E. (2006). *Reading next - A vision for action and research in middle and high school literacy: A report from Carnegie Corporation of New York*. Alliance for Excellent Education.
- Bonal, X., & González, S. (2020). The impact of lockdown on the learning gap: family and school divisions in times of crisis. *International review of education*, 66(5), 635–655.
- Booth, T., & Ainscow, M. (2011). *Nuovo Index per l'inclusione. Percorsi di apprendimento e partecipazione a scuola*. Erickson.
- Borsuk, E. R. (2010). Examination of an administrator-read vocabulary-matching measure as an indicator of science achievement. *Assessment for Effective Intervention*, 35(3), 168–177.
- Botsas, G., & Padelia, S. (2000). Reading comprehension metacognitive strategies. *Learning and instruction of Greek as first and second language*, 128–141.
- Botsas, G. (2017). Differences in strategy use in the reading comprehension of narrative and science texts among students with and without learning disabilities. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 15(1), 139–162.
- Brady, S., & Shankweiler, D. (1991). Phonological processes in literacy.
- Brandenburg, J., Kleszczewski, J., Fischbach, A., Schuchardt, K., Büttner, G., & Haselhorn, M. (2015). Working memory in children with learning disabilities in reading

- versus spelling: Searching for overlapping and specific cognitive factors. *Journal of learning disabilities*, 48(6), 622–634.
- Breznitz, Z., & Leikin, M. (2000). Syntactic processing of Hebrew sentences in normal and dyslexic readers: Electrophysiological evidence. *The Journal of genetic psychology*, 161(3), 359–380.
- Brigham, F. (1992). Spatial learning and instruction of students with learning disabilities (T. Scruggs & M. Mastropieri, Cur.). *Advances in learning and behavioral disabilities*, 7, 57–85.
- Brigham, F., Berkley, S., Simpkins, P., & Brigham, M. (2007). Comprehension strategy instruction (Alert No. 12). Reston, VA: Division for Learning Disabilities & Division for Research of the Council for Exceptional Children.
- Brigham, F. J., Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (1992). Teacher enthusiasm in learning disabilities classrooms: effects on learning and behavior. *Learning Disabilities Research & Practice*.
- Brigham, F. J., Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2011). Science education and students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 26(4), 223–232.
- Brown, A. L. (2017). Metacognitive development and reading. In *Theoretical issues in reading comprehension* (pp. 453–482). Routledge.
- Brown, A. L., & Day, J. D. (1983). Macrorules for summarizing texts: The development of expertise. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 22(1), 1–14.
- Bryant, D. P., Goodwin, M., Bryant, B. R., & Higgins, K. (2003). Vocabulary instruction for students with learning disabilities: A review of the research. *Learning Disability Quarterly*, 26(2), 117–128.
- Bulgren, J. A., Deshler, D. D., & Schumaker, J. B. (1997). Use of a recall enhancement routine and strategies in inclusive secondary classes. *Learning Disabilities Research & Practice*.
- Bulgren, J. A., Lenz, B. K., Schumaker, J. B., Deshler, D. D., & Marquis, J. G. (2002). The use and effectiveness of a comparison routine in diverse secondary content classrooms. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 356.
- Butterworth, B., & Laurillard, D. (2010). Low numeracy and dyscalculia: identification and intervention. *Zdm*, 42, 527–539.
- Butterworth, B., Varma, S., & Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: From Brain to Education. *Science*, 332(6033), 1049–1053. <https://doi.org/10.1126/science.1201536>
- Cain, K. (2009). Children's reading comprehension difficulties: a consideration of the precursors and consequences. In *Contemporary perspectives on reading and spelling* (pp. 71–87). Routledge.
- Camahalan, F. (2006). Effects of a metacognitive reading program the reading achievement and metacognitive strategies of students with cases of dyslexia. *Reading Improvement*, 43, 77–93.

- Canevaro, A. (2012). Il segreto della pipa e i pericoli degli specialismi. *Handicap e Scuola*, (166), 4–8.
- Canevaro, A. (2013). *Scuola inclusiva e mondo più giusto*. Erickson.
- Carr, S. C., & Thompson, B. (1996). The effects of prior knowledge and schema activation strategies on the inferential reading comprehension of children with and without learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 19(1), 48–61.
- Casalis, S., Leuwers, C., & Hilton, H. (2013). Syntactic comprehension in reading and listening: A study with French children with dyslexia. *Journal of learning disabilities*, 46(3), 210–219.
- Cassidy, J., & Cassidy, D. (2007). Adolescent literacy: The hottest topic. *Reading Today*, 24, 9–13.
- Cauchi, M. (2019). *Bystanders no more: Science assessment strategies for students with a profile of dyslexia* (Tesi di laurea). University of Malta.
- Cawley, F., & Parmar, R. S. (2001). Literacy proficiency and science for students with learning disabilities. *Reading & Writing Quarterly*, 17(2), 105–125.
- Cawley, J. F. (1994). Science for students with disabilities. *Remedial and Special Education*, 15(2), 67–71.
- Chala, A. A., Kedir, I., & Wami, S. (2020). Secondary school students' beliefs towards learning physics and its influencing factors. *Research on Humanities and Social Sciences*, 10(7), 37–49.
- Chan, C. (2015). Syntactic Deficit and Sentence Comprehension of Chinese Dyslexic Children. *International Journal of Linguistics & Communication*, 3(1), 32–7.
- Chan, L. K., & Cole, P. G. (1986). The effects of comprehension monitoring training on the reading competence of learning disabled and regular class students. *Remedial and Special Education*, 7(4), 33–40.
- Chen, W.-C., & Whitehead, R. (2009). Understanding physics in relation to working memory. *Research in Science & Technological Education*, 27(2), 151–160.
- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2011). *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*. John Wiley & Sons.
- Cole, C., & McLeskey, J. (1997). Secondary inclusion programs for students with mild disabilities. *Focus on Exceptional children*, 29(6), 1–15.
- Commissione europea, Direzione generale della Traduzione & Field, Z. (2015). *Scrivere chiaro*. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea. <https://doi.org/doi/10.2782/478661>
- Cornoldi, C. (2007). *Difficoltà e disturbi dell'apprendimento*. Il Mulino.
- Cornoldi, C. (2009). *I neuroni della lettura*. Raffaello Cortina.
- Cowan, N. (1997). The development of working memory (pp. 163–199). (N. Cowan, Ed.)
- Craig, M. T., & Yore, L. D. (1996). Middle school students' awareness of strategies for resolving comprehension difficulties in science reading. *Journal of Research and Development in Education*, 29(4), 226–38.

- Cromley, J. G., & Azevedo, R. (2007). Testing and refining the direct and inferential mediation model of reading comprehension. *Journal of educational psychology, 99*(2), 311.
- Cruz Neri, N., & Retelsdorf, J. (2022). Do Students With Specific Learning Disorders With Impairments in Reading Benefit From Linguistic Simplification of Test Items in Science? *Exceptional Children, 89*(1), 23–41.
- Cunningham, A. E., & Stanovich, K. E. (2001). What reading does for the mind. *Journal of direct instruction, 1*(2), 137–149.
- Cutting, L. E., & Denckla, M. B. (2003). Attention: Relationships between attention-deficit hyperactivity disorder and learning disabilities.
- Cutting, L. E., & Scarborough, H. S. (2006). Prediction of reading comprehension: Relative contributions of word recognition, language proficiency, and other cognitive skills can depend on how comprehension is measured. *Scientific studies of reading, 10*(3), 277–299.
- De Cesarei, A., et al. (2014). Disclosure of disability by university students: Development of a study protocol. *Open Journal of Social Sciences, 2*(08), 71.
- De Weerd, F., Desoete, A., & Roeyers, H. (2013). Working memory in children with reading disabilities and/or mathematical disabilities. *Journal of learning disabilities, 46*(5), 461–472.
- Decreto del Presidente della Repubblica 8 marzo 1999, n. 275, Regolamento recante norme in materia di autonomia delle istituzioni scolastiche, ai sensi dell'art. 21 della legge 15 marzo 1997, n. 59. (1999).
- Dehn, M. J. (2008). *Working memory and academic learning: Assessment and intervention*. John Wiley & Sons.
- Dehn, M. J. (2020). Working Memory and Dyslexia. *eHearsay, 28*.
- Demirdag, S. (2014). Effective teaching strategies: science learning and students with learning disabilities. *International Journal of Teaching and Education, 2*(2), 45–52.
- Deshler, D. D., & Hock, M. F. (2007). Adolescent literacy: Where we are, where we need to go. *Shaping literacy achievement: Research we have, research we need, 9812*.
- Deshler, D. D., Schumaker, J. B., Alley, G. R., Warner, M. M., & Clark, F. L. (1982). Learning Disabilities in Adolescents and Young Adult Populations: Research Implications Part 1.
- Deutsch, A., & Bentin, S. (1996). Attention factors mediating syntactic deficiency in reading-disabled children. *Journal of experimental child psychology, 63*(2), 386–415.
- Dornisch, M., Sperling, R. A., & Zeruth, J. A. (2011). The effects of levels of elaboration on learners' strategic processing of text. *Instructional Science, 39*, 1–26.
- Dreher, M. J., & Singer, H. (1989). Friendly texts and text-friendly teachers. *Theory into practice, 28*(2), 98–104.

- Drewniak, U., & Kunz, G. C. (1992). Verstehensrelevante Bilder in Lehrtexten. Ihre Verarbeitung, ihre Funktion und ihre Bedeutung für die Förderung des Lernens mit Texten. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 6(1), 69–62.
- Duke, N. K., & Pearson, P. D. (2009). Effective practices for developing reading comprehension. *Journal of education*, 189(1-2), 107–122.
- Earnest, D. (2015). From number lines to graphs in the coordinate plane: Investigating problem solving across mathematical representations. *Cognition and Instruction*, 33(1), 46–87.
- Ebbers, S. M., & Denton, C. A. (2008). A root awakening: Vocabulary instruction for older students with reading difficulties. *Learning Disabilities Research & Practice*, 23(2), 90–102.
- Elbaum, B., & Vaughn, S. (2003). Self-concept and students with learning disabilities.
- Ellis, A., & Young, A. (1986). Human cognitive neuropsychology: A textbook with readings.
- Ellis, E. S., & Graves, A. W. (1990). Teaching rural students with learning disabilities: A paraphrasing strategy to increase comprehension of main ideas. *Rural Special Education Quarterly*, 10(2), 2–10.
- Emili, E. A. (2020). *Dislessia. Progettualità educative e risorse compensative*.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of experimental psychology: General*, 128(3), 309.
- Englert, C. S., & Hiebert, E. H. (1984). Children's developing awareness of text structures in expository materials. *Journal of educational psychology*, 76(1), 65.
- Erduran, S., Dagher, Z. R., Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing nature of science for science education*. Springer.
- Espin, C. A., & Foegen, A. (1996). Validity of general outcome measures for predicting secondary students' performance on content-area tasks. *Exceptional Children*, 62(6), 497–514.
- Fang, Z. (2006). The language demands of science reading in middle school. *International journal of science education*, 28(5), 491–520.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307–314.
- Ferentinou, A., Papalexopoulos, P. F., & Vavougiou, D. (2009). Teaching Mechanics To Students With Learning Disabilities: A Case Study In Greece. *Problems of Education in the 21st Century*, 15, 78.
- Ferguson, P. M., & Asch, A. (1989). Lessons from life: Personal and parental perspectives on school, childhood, and disability. *Teachers College Record*, 90(6), 108–140.
- Ferstl, E. C., & Flores, G., d'Arcais. (1999). The reading of words and sentences. *Language comprehension: A biological perspective*, 175–210.
- Finson, K. D., Ormsbee, C. K., & Jensen, M. M. (2011). *Differentiating science instruction and assessment for learners with special needs, K 8*. Corwin Press.

- Fiorin, G., et al. (2010). *Meaning and dyslexia: a study on pronouns, aspect, and quantification*. LOT.
- Fletcher, J. M., Lyon, L. S., G. R. nad Fuchs, & Barnes, M. A. (2007). Learning disabilities: From identification to intervention.
- Florit, E., & Cain, K. (2011). The simple view of reading: Is it valid for different types of alphabetic orthographies? *Educational Psychology Review*, 23, 553–576.
- Fowler, A. E. (1988). Grammaticality judgments and reading skill in grade 2. *Annals of Dyslexia*, 38(1), 73–94.
- Friend, M., & Bursuck, W. D. (2002). *Including students with special needs: A practical guide for classroom teachers*. ERIC.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Hamlett, C. L., Phillips, N. B., & Karns, K. (1995). General educators' specialized adaptation for students with learning disabilities. *Exceptional children*, 61(5), 440–459.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Hosp, M. K., & Jenkins, J. R. (2001). Oral reading fluency as an indicator of reading competence: A theoretical, empirical, and historical analysis. In *The role of fluency in reading competence, assessment, and instruction* (pp. 239–256). Routledge.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Prentice, K., Burch, M., Hamlett, C. L., Owen, R., & Schroeter, K. (2003). Enhancing third-grade student' mathematical problem solving with self-regulated learning strategies. *Journal of educational psychology*, 95(2), 306.
- Gajria, M., Jitendra, A. K., Sood, S., & Sacks, G. (2007). Improving comprehension of expository text in students with LD: A research synthesis. *Journal of learning disabilities*, 40(3), 210–225.
- Gajria, M., & Salvia, J. (1992). The effects of summarization instruction on text comprehension of students with learning disabilities. *Exceptional Children*, 58(6), 508–516.
- Gala, N., & Ziegler, J. (2016). Reducing lexical complexity as a tool to increase text accessibility for children with dyslexia. *Proceedings of the Workshop on Computational Linguistics for Linguistic Complexity (CL4LC)*, 59–66.
- Garland, A., Low, J., & Burns, K. C. (2012). Large quantity discrimination by North Island robins (*Petroica longipes*). *Animal cognition*, 15, 1129–1140.
- Garner, R., & Kraus, C. (1981). Good and poor comprehender differences in knowing and regulating reading behaviors. *Educational Research Quarterly*.
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2004). Working memory and classroom learning. *Dyslexia Review*, 15, 4–9.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental psychology*, 40(2), 177.
- Geary, D. C. (2007). An evolutionary perspective on learning disability in mathematics. *Developmental neuropsychology*, 32(1), 471–519.

- Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational psychologist*, *43*(4), 179–195.
- Geary, D. C. (2012). Evolutionary educational psychology. (K. Harris, S. Graham & T. Urdan, Cur.). *APA Educational Psychology Handbook*, *1*, 597–621.
- Geary, D. C., & Berch, D. B. (2016). Evolution and children's cognitive and academic development. In *Evolutionary perspectives on child development and education* (pp. 217–249). Springer.
- Gersten, R., Chard, D. J., Jayanthi, M., Baker, S. K., Morphy, P., & Flojo, J. (2009). Mathematics instruction for students with learning disabilities: A meta-analysis of instructional components. *Review of educational research*, *79*(3), 1202–1242.
- Gersten, R., Fuchs, L. S., Williams, J. P., & Baker, S. (2001). Teaching reading comprehension strategies to students with learning disabilities: A review of research. *Review of educational research*, *71*(2), 279–320.
- Gibbs, K. (2023). Voices in practice: challenges to implementing differentiated instruction by teachers and school leaders in an Australian mainstream secondary school. *The Australian Educational Researcher*, *50*(4), 1217–1232.
- Goodnough, K. (2001). Multiple intelligences theory: A framework for personalizing science curricula. *School science and Mathematics*, *101*(4), 180–193.
- Gough, P. B., & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and special education*, *7*(1), 6–10.
- Graesser, A. C., Leon, J. A., & Otero, J. (2002). Introduction to the psychology of science text comprehension. In J. Otero, J. A. Leon & A. C. Graesser (Cur.), *The psychology of science text comprehension* (pp. 1–18). Erlbaum.
- Graves, A. W. (1986). Effects of direct instruction and metacomprehension training on finding main ideas. *Learning Disabilities Research*.
- Graves, A. W., & Levin, J. R. (1989). Comparison of Monitoring and Mnemonic Text-Processing Strategies in Learning Disabled Students. *Learning Disability Quarterly*, *12*(3), 232–236.
- Grigg, W. S., Lauko, M. A., & Brockway, D. M. (2006). *The Nation's Report Card, Science 2005: Assessment of Student Performance in Grades 4, 8, and 12*. US Department of Education, National Center for Education Statistics.
- Gross, H. J., Pahl, M., Si, A., Zhu, H., Tautz, J., & Zhang, S. (2009). Number-based visual generalisation in the honeybee. *PloS one*, *4*(1), e4263.
- Gullick, M. M., & Wolford, G. (2014). Brain systems involved in arithmetic with positive versus negative numbers. *Human Brain Mapping*, *35*(2), 539–551.
- Gullick, M. M., Wolford, G., & Temple, E. (2012). Understanding less than nothing: Neural distance effects for negative numbers. *Neuroimage*, *62*(1), 542–554.
- Hallahan, D. P., & Kauffman, J. M. (2004). *Learning disabilities: Foundations, characteristics, and effective teaching*. Allyn & Bacon.
- Hansen, K. D. (2013). *College instructors' preparedness to teach students with learning disabilities*. The University of Western Ontario (Canada).

- Harris, M., & Coltheart, M. (1986). Language processing in children and adults: An introduction.
- Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1445), 829–833.
- Havel, A., & Raymond, O. (2017). The inclusion of students with disabilities in Quebec colleges. *College documentation bulletin*, # 18, June 2017.
- Hollowood, T. M., Salisbury, C. L., Rainforth, B., & Palombaro, M. M. (1994). Use of instructional time in classrooms serving students with and without severe disabilities. *Exceptional children*, 61(3), 242–252.
- Howes, N.-L., Bigler, E. D., Burlingame, G. M., & Lawson, J. S. (2003). Memory performance of children with dyslexia: A comparative analysis of theoretical perspectives. *Journal of Learning Disabilities*, 36(3), 230–246.
- Huber, R. A., & Moore, C. J. (2002). High stakes testing and science learning assessment. *Science Educator*, 11(1), 18.
- International Reading Association. (2003). *International reading association's summary of the national reading panel report*. <http://www.reading.org/advocacy/nrp/chapter4.html>
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & education*, 20, 591–607.
- ISTAT. (2020). L'integrazione degli alunni con disabilità nelle scuole primarie e secondarie di primo grado statali e non statali. www.istat.it/it/files//2020/02/Alunni-con-disabilita-2018-19.pdf
- Jansen, B. R., Hofman, A. D., Straatemeier, M., van Bers, B. M., Raijmakers, M. E., & van der Maas, H. L. (2014). The role of pattern recognition in children's exact enumeration of small numbers. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(2), 178–194.
- Jenson, R. J., Petri, A. N., Day, A. D., Truman, K. Z., & Duffy, K. (2011). Perceptions of self-efficacy among STEM students with disabilities. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 24(4), 269–283.
- Jitendra, A. K., Burgess, C., & Gajria, M. (2011). Cognitive strategy instruction for improving expository text comprehension of students with learning disabilities: The quality of evidence. *Exceptional children*, 77(2), 135–159.
- Jitendra, A. K., Kay Hoppes, M., & Xin, Y. P. (2000). Enhancing main idea comprehension for students with learning problems: The role of a summarization strategy and self-monitoring instruction. *The Journal of Special Education*, 34(3), 127–139.
- Jitendra, A. K., Lein, A. E., Im, S.-h., Alghamdi, A. A., Hefte, S. B., & Mouanoutoua, J. (2018). Mathematical interventions for secondary students with learning disabilities and mathematics difficulties: A meta-analysis. *Exceptional children*, 84(2), 177–196.

- Kahn, S., & Lewis, A. R. (2014). Survey on teaching science to K-12 students with disabilities: Teacher preparedness and attitudes. *Journal of Science Teacher Education*, *25*, 885–910.
- Kalaitzake, M. (2022). Structural power without the structure: A class-centered challenge to new structural power formulations. *Politics & Society*, *50*(4), 655–687.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, *38*(1), 23–31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human factors*, *40*(1), 1–17.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of educational psychology*, *93*(3), 579.
- Kalyuga, S., & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effect and its instructional implications: Introduction to the special issue. *Instructional Science*, *38*, 209–215.
- Katz, L. A., Fallon, K. A., & Pierson, J. M. (2016). Helping Students with Dyslexia Learn How to Learn from Written Texts. *eHearsay*, 76.
- Kaufmann, L., Mazzocco, M. M., Dowker, A., von Aster, M., Göbel, S. M., Grabner, R. H., Henik, A., Jordan, N. C., Karmiloff-Smith, A. D., Kucian, K., et al. (2013). Dyscalculia from a developmental and differential perspective.
- Kendeou, P., Van Den Broek, P., White, M. J., & Lynch, J. (2007). Comprehension in preschool and early elementary children: Skill development and strategy interventions. *Reading comprehension strategies: Theories, interventions, and technologies*, 27–45.
- Kintsch, W. (1994). Text comprehension, memory, and learning. *American psychologist*, *49*(4), 294.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge university press.
- Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological review*, *85*(5), 363.
- Klingner, J. K., Vaughn, S., & Boardman, A. (2015). *Teaching reading comprehension to students with learning difficulties*. Guilford Publications.
- Kontopoulou, M.-T. L., Drigas, A., & Reisis, D. I. (2024). Dysphysics. An additional specific learning disability that occurs in individuals with dyslexia or/and dyscalculia. *Scientific Electronic Archives*, *18*(1).
- Koomen, M. H. (2016). Inclusive science education: Learning from Wizard. *Cultural Studies of Science Education*, *11*, 293–325.
- Krajcsi, A., Szabó, E., & Mórocz, I. Á. (2013). Subitizing is sensitive to the arrangement of objects. *Experimental psychology*.
- Krusche, P., Uller, C., & Dicke, U. (2010). Quantity discrimination in salamanders. *Journal of Experimental Biology*, *213*(11), 1822–1828.

- Kucian, K., & von Aster, M. (2015). Developmental dyscalculia. *European journal of pediatrics*, 174, 1–13.
- Kwon, S. Y., & Cifuentes, L. (2009). The comparative effect of individually-constructed vs. collaboratively-constructed computer-based concept maps. *Computers & Education*, 52(2), 365–375.
- LaBerge, D., & Samuels, S. J. (1974). Toward a theory of automatic information processing in reading. *Cognitive psychology*, 6(2), 293–323.
- Legge 4 Agosto 1977, n. 517. Norme sulla valutazione degli alunni e sull'abolizione degli esami di riparazione nonché altre norme di modifica dell'ordinamento scolastico. (1977).
- Legge 5 febbraio 1992, n. 104. Legge-quadro per l'assistenza, l'integrazione sociale e i diritti delle persone handicappate. (1992).
- Legge 8 ottobre 2010, n. 170. Nuove norme in materia di disturbi specifici di apprendimento in ambito scolastico. (2010).
- Leikin, M., & Bouskila, O. A. (2004). Expression of syntactic complexity in sentence comprehension: A comparison between dyslexic and regular readers. *Reading and Writing*, 17, 801–822.
- Lenz, B. A., Bulgren, J. A., Schumaker, J. B., Deshler, D. D., & Boudah, D. A. (1994). The unit-organizer routine. *Journal of Educational Psychology*.
- Lerner, J. W., & Kline, F. (2006). Learning disabilities and related disorders: Characteristics and teaching strategies. (*No Title*).
- Letzel, V., Pozas, M., & Schneider, C. (2023). Challenging but positive!—An exploration into teacher attitude profiles towards differentiated instruction (DI) in Germany. *British Journal of Educational Psychology*, 93(1), 1–16.
- Levin, E. K., Zigmond, N., & Birch, J. W. (1985). A follow-up study of 52 learning disabled adolescents. *Journal of Learning Disabilities*, 18(1), 2–7.
- Livrini, O., & Disessa, A. A. (2008). How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 4(1), 010107.
- Lewis, A. (2001). Reflections on interviewing children and young people as a method of inquiry in exploring their perspectives on integration/inclusion. *Journal of Research in Special Educational Needs*.
- Lewis, K. E., & Fisher, M. B. (2016). Taking stock of 40 years of research on mathematical learning disability: Methodological issues and future directions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 47(4), 338–371.
- Lewis, P., Noble, S., & Soiffer, N. (2010). Using accessible math textbooks with students who have learning disabilities. *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 139–146.
- Lin, T.-J. (2021). Multi-dimensional explorations into the relationships between high school students' science learning self-efficacy and engagement. *International Journal of Science Education*, 43(8), 1193–1207.

- Logie, R. H., & Cowan, N. (2015). Perspectives on working memory: introduction to the special issue. *Memory & Cognition*, *43*, 315–324.
- Lovitt, T., Rudsit, J., Jenkins, J., Pious, C., & Benedetti, D. (1986). Adapting science materials for regular and learning disabled seventh graders. *Remedial and Special Education*, *7*(1), 31–39.
- Lovitt, T. C., & Horton, S. V. (1994). Strategies for adapting science textbooks for youth with learning disabilities. *Remedial and Special Education*, *15*(2), 105–116.
- MacArthur, C. A., & Haynes, J. B. (1995). Student Assistant for Learning from Text (SALT) A hypermedia reading aid. *Journal of Learning Disabilities*, *28*(3), 150–159.
- Mann, V. A., Shankweiler, D., & Smith, S. T. (1984). The association between comprehension of spoken sentences and early reading ability: The role of phonetic representation. *Journal of Child Language*, *11*(3), 627–643.
- Martínez-Álvarez, P. (2017). Special ways of knowing in science: Expansive learning opportunities with bilingual children with learning disabilities. *Cultural Studies of Science Education*, *12*(3), 521–553.
- Mason, L. H., & Hedin, L. R. (2011). Reading science text: Challenges for students with learning disabilities and considerations for teachers. *Learning Disabilities Research & Practice*, *26*(4), 214–222.
- Mastropieri, M., & Scruggs, T. (1994). Text versus hands-on science curriculum. *Remedial & Special Education*, *15*(2), 72–85.
- Mastropieri, M. A., Berkeley, S., McDuffie, K. A., Graff, H., Marshak, L., Connors, N. A., Diamond, C. M., Simpkins, P., Bowdey, F. R., Fulcher, A., et al. (2009). What is published in the field of special education? An analysis of 11 prominent journals. *Exceptional Children*, *76*(1), 95–109.
- Mastropieri, M. A., & Scruggs, T. E. (1997). Best practices in promoting reading comprehension in students with learning disabilities 1976 to 1996. *Remedial and Special Education*, *18*(4), 198–213.
- Mastropieri, M. A., Scruggs, T. E., & Graetz, J. E. (2003). Reading comprehension instruction for secondary students: Challenges for struggling students and teachers. *Learning disability quarterly*, *26*(2), 103–116.
- Mastropieri, M. A., Scruggs, T. E., & Levin, J. R. (1985). Mnemonic strategy instruction with learning disabled adolescents. *Journal of Learning Disabilities*, *18*(2), 94–100.
- Mastropieri, M. A., Scruggs, T. E., Mantzicopoulos, P., Sturgeon, A., Goodwin, L., & Chung, S. (1998). “A place where living things affect and depend on each other”: Qualitative and quantitative outcomes associated with inclusive science teaching. *Science Education*, *82*(2), 163–179.
- Mastropieri, M. A., Scruggs, T. E., Norland, J. J., Berkeley, S., McDuffie, K., Tornquist, E. H., & Connors, N. (2006). Differentiated curriculum enhancement in inclusive

- middle school science: Effects on classroom and high-stakes tests. *The Journal of Special Education*, 40(3), 130–137.
- Mazzocco, M. M., & Myers, G. F. (2003). Complexities in identifying and defining mathematics learning disability in the primary school-age years. *Annals of dyslexia*, 53, 218–253.
- McCann, W. S. (1998). Science classrooms for students with special needs.
- McCormick, S. (1992). Disabled readers' erroneous responses to inferential comprehension questions: Description and analysis. *Reading Research Quarterly*, 55–77.
- McCoy, L. (1988). Coping with dyslexia. *The Science Teacher*, 55(8), 25–27.
- McGinnis, J. R. (2000). Teaching science as inquiry for students with disabilities. *Inquiring into inquiry learning and teaching in science*, 425–433.
- McGinnis, J. R., & Kahn, S. (2014). Special Needs and Talents in Science Learning¹. In *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 223–245). Routledge.
- McNamara, B. E. (2007). Learning disabilities: Bridging the gap between research and classroom practice. (*No Title*).
- Mercer, C. D., Campbell, K. U., Miller, M. D., Mercer, K. D., & Lane, H. B. (2000). Effects of a reading fluency intervention for middle schoolers with specific learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 15(4), 179–189.
- MIUR. (2011). Linee guida per il diritto allo studio degli alunni e degli studenti con Disturbi specifici di apprendimento, allegate al D.M. 12 luglio 2011.
- MIUR. (2012). Direttiva del 27 dicembre. Strumenti di intervento per alunni con bisogni educativi speciali e organizzazione territoriale per l'inclusione scolastica.
- MIUR. (2013). Circolare Ministeriale 6 marzo 2013, n. 8. Strumenti di intervento per gli alunni con bisogni educativi speciali (BES).
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49–100.
- Moin, L. J., Magiera, K., & Zigmond, N. (2009). Instructional activities and group work in the US inclusive high school co-taught science class. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(4), 677–697.
- National Council on Disability. (2011). *A letter to Secretary Duncan regarding forthcoming NCLB waivers*.
- National Reading Panel. (2000). *Teaching children to read: An evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction*. Washington, DC, National Institute of Child Health and Human Development.
- National Research Council. (2006). *Systems for state science assessment* (M. R. Wilson & M. W. Bertenthal, Cur.). Washington, DC, National Academies Press.

- National Science Foundation & National Center for Science and Engineering Statistics. (2017). *Women, Minorities, and Persons with Disabilities in Science and Engineering: 2017. Special Report NSF 17-310*. Arlington, VA.
- Nelson, H. E., & Warrington, E. K. (1980). An investigation of memory functions in dyslexic children. *British journal of Psychology*, *71*(4), 487–503.
- Newton, D. P. (1984). A way of classifying and measuring some aspects of the illustration style of textbooks. *PLET: Programmed Learning & Educational Technology*, *21*(1), 21–27.
- Nguyen, M. N., Fichten, C. S., Barile, M., & Lévesque, J. A. (2006). Facilitateurs et obstacles à la réussite des étudiants handicapés. *Pédagogie collégiale Vol. 19, no 4, été 2006*.
- Nocera, S. (2001). *Il diritto all'integrazione nella scuola dell'autonomia*. Erickson.
- Nolet, V., & McLaughlin, M. J. (2005). *Accessing the general curriculum: Including students with disabilities in standards-based reform*. Corwin Press.
- OECD-CERI. (1995). L'Intégration scolaire des élèves à besoins particuliers, Paris.
- OECD-CERI. (2000). Besoins éducatifs particuliers. Statistiques et indicateurs, Paris Cedex.
- OECD-CERI & Deluca, M. (2011). Provision of educational resources for students with disabilities, learning difficulties and disadvantages. *Programma Education FGA Working Paper*, (39).
- Oldreive, W., & Waight, M. (2013). Enabling access to information by people with learning disabilities. *Tizard Learning Disability Review*, *18*(1), 5–15.
- OMS. (1980). International classification of impairments, disabilities, and handicaps - ICIDH.
- OMS. (2001). International classification of functioning, disability and health - ICF.
- OMS. (2022). ICD-11: International classification of diseases (11th revision). <https://icd.who.int/>
- Ornstein, R., & Carstensen, L. (1991). *Psychology. The Study of Human Experience*. Harcourt Brace.
- Otero, J. (2002). Noticing and fixing difficulties while understanding science texts. *The psychology of science text comprehension*, *1*, 281–307.
- Palincsar, A. S., & Brown, D. A. (1987). Enhancing instructional time through attention to metacognition. *Journal of learning disabilities*, *20*(2), 66–75.
- Papalexopoulos, P. F., Vavougiou, D., Vlachos, F., & Karapetsas, A. B. (2008). The Investigation of the Effectiveness of the Criteria for the Construction of a Physics Text for Students with Dyslexia: The Case of the Electric Current. *Themes in science and technology education*, *1*(1), 91–106.
- Parmar, R. S., Deluca, C. B., & Janczak, T. M. (1994). Investigations into the relationship between science and language abilities of students with mild disabilities. *Remedial and Special Education*, *15*(2), 117–126.

- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of experimental child psychology*, 88(4), 348–367.
- Patton, J. R. (1995). Teaching science to students with special needs. *Teaching Exceptional Children*, 27(4), 4–6.
- Patton, J., Polloway, E., & Cronin, M. (1990). A survey of special education teachers relative to science for the handicapped. *Unpublished manuscript, University of Hawaii*.
- Paulesu, E., Démonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., et al. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, 291(5511), 2165–2167.
- Pavone, M. R., et al. (2010). *Dall'esclusione all'inclusione. Lo sguardo della pedagogia speciale*. Mondadori Università.
- Pavone, M. R. (2014). *L'inclusione educativa. Indicazioni pedagogiche per la disabilità*. Mondadori Università.
- Pavone, M. R., et al. (2015). *Scuola e bisogni educativi speciali*. Mondadori Università.
- Peng, P., Congying, S., Beilei, L., & Sha, T. (2012). Phonological storage and executive function deficits in children with mathematics difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(4), 452–466.
- Perfetti, C. A. (1985). *Reading ability*. oxford university Press.
- Perfetti, C. A., et al. (1999). Comprehending written language: A blueprint of the reader. *The neurocognition of language*, 167, 208.
- Pfeifer, M. A., Cordero, J. J., & Stanton, J. D. (2023). What I wish my instructor knew: How active learning influences the classroom experiences and self-advocacy of STEM majors with ADHD and specific learning disabilities. *CBE—Life Sciences Education*, 22(1), ar2.
- Pham, A. V., & Hasson, R. M. (2014). Verbal and visuospatial working memory as predictors of children's reading ability. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29(5), 467–477.
- Pisha, B., & Stahl, S. (2005). The promise of new learning environments for students with disabilities. *Intervention in School and Clinic*, 41(2), 67–75.
- Plasman, J. S., & Gottfried, M. A. (2018). Applied STEM coursework, high school dropout rates, and students with learning disabilities. *Educational policy*, 32(5), 664–696.
- Polloway, E. A., Patton, J. R., & Serna, L. (2005). Strategies for teaching learners with special needs.
- Polverini, G. (2022). *Exploring interdisciplinarity between physics and mathematics: the design of a linguistic and an epistemological tool for analysing texts about the parabolic motion* (Tesi di dottorato). Master thesis in Physics, Alma Mater Studiorum—University of Bologna.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., Gertzog, W. A., et al. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, *66*(2), 211–227.
- Pressley, M., & Gaskins, I. W. (2006). Metacognitively competent reading comprehension is constructively responsive reading: How can such reading be developed in students? *Metacognition and learning*, *1*, 99–113.
- Pressley, M., Goodchild, F., Fleet, J., Zajchowski, R., & Evans, E. D. (1989). The challenges of classroom strategy instruction. *The Elementary School Journal*, *89*(3), 301–342.
- Rakow, S. J., & Gee, T. C. (1987). Test Science, Not Reading. *Science Teacher*, *54*(2), 28–31.
- Raskind, M. H., & Higgins, E. (1995). Effects of speech synthesis on the proofreading efficiency of postsecondary students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, *18*(2), 141–158.
- Reid, D., Briggs, N., & Beveridge, M. (1983). The effect of picture upon the readability of a school science topic. *British Journal of Educational Psychology*, *53*(3), 327–335.
- Rello, L., Baeza-Yates, R., Bott, S., & Saggion, H. (2013). Simplify or help? Text simplification strategies for people with dyslexia. *Proceedings of the 10th international cross-disciplinary conference on web accessibility*, 1–10.
- Rello, L., Baeza-Yates, R., Dempere-Marco, L., & Saggion, H. (2013). Frequent words improve readability and short words improve understandability for people with dyslexia. *Human-Computer Interaction—INTERACT 2013: 14th IFIP TC 13 International Conference, Cape Town, South Africa, September 2-6, 2013, Proceedings, Part IV 14*, 203–219.
- Rice, D. C., Ryan, J. M., & Samson, S. M. (1998). Using concept maps to assess student learning in the science classroom: Must different methods compete? *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *35*(10), 1103–1127.
- Roberts, G., Torgesen, J. K., Boardman, A., & Scammacca, N. (2008). Evidence-based strategies for reading instruction of older students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, *23*(2), 63–69.
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*. ERIC.
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, *102*(3), 361–395.
- Rugani, R., Fontanari, L., Simoni, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2009). Arithmetic in newborn chicks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *276*(1666), 2451–2460.

- Saenz, L. M., & Fuchs, L. S. (2002). Examining the reading difficulty of secondary students with learning disabilities: Expository versus narrative text. *Remedial and Special Education, 23*(1), 31–41.
- Salend, S. J. (2005). Creating inclusive classrooms: Effective and reflective practices.
- Schunk, D. H., & Rice, J. M. (1992). Influence of reading-comprehension strategy information on children's achievement outcomes. *Learning Disability Quarterly, 15*(1), 51–64.
- Scott, B. J., Vitale, M. R., & Masten, W. G. (1998). Implementing instructional adaptations for students with disabilities in inclusive classrooms: A literature review. *Remedial and special education, 19*(2), 106–119.
- Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (1993). Current approaches to science education: Implications for mainstream instruction of students with disabilities. *Remedial and Special Education, 14*(1), 15–24.
- Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2000). The effectiveness of mnemonic instruction for students with learning and behavior problems: An update and research synthesis. *Journal of Behavioral education, 10*, 163–173.
- Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2007). Science learning in special education: The case for constructed versus instructed learning. *Exceptionality, 15*(2), 57–74.
- Scruggs, T. E., Mastropieri, M. A., Bakken, J. P., & Brigham, F. J. (1993). Reading versus doing: The relative effects of textbook-based and inquiry-oriented approaches to science learning in special education classrooms. *The Journal of Special Education, 27*(1), 1–15.
- Scruggs, T. E., Mastropieri, M. A., Berkeley, S., & Graetz, J. E. (2010). Do special education interventions improve learning of secondary content? A meta-analysis. *Remedial and Special Education, 31*(6), 437–449.
- Scruggs, T. E., Mastropieri, M. A., Berkeley, S. L., & Marshak, L. (2010). Mnemonic strategies: Evidence-based practice and practice-based evidence. *Intervention in School and Clinic, 46*(2), 79–86.
- Seifert, K., & Espin, C. (2012). Improving reading of science text for secondary students with learning disabilities: Effects of text reading, vocabulary learning, and combined approaches to instruction. *Learning Disability Quarterly, 35*(4), 236–247.
- Seitz, S., & Scheerer, J. (1983). *Learning Disabilities: Introduction and Strategies for College Teaching*.
- Sevcenco, A., Avram, L., Stoicescu, I., Costa, J., Fiéis, A., Freitas, M., Lobo, M., & Santos, A. (2014). Relative clauses: A linguistic marker of developmental dyslexia in Romanian. *New directions in the acquisition of romance languages: Selected proceedings of the romance Turn V*, 285–301.
- Shankweiler, D., Crain, S., Brady, S., & Macaruso, P. (1992). Identifying the causes of reading disability. *Reading acquisition*.

- Shankweiler, D., Crain, S., Katz, L., Fowler, A., Liberman, A., Brady, S., Thornton, R., Lundquist, E., Dreyer, L., Fletcher, J., et al. (1995). Cognitive profiles of reading-disabled children: Comparison of language skills in phonology, morphology, and syntax. *Psychological Science, 6*(3), 149–156.
- Shankweiler, D., Lundquist, E., Dreyer, L. G., & Dickinson, C. C. (1996). Reading and spelling difficulties in high school students: Causes and consequences. *Reading and Writing, 8*, 267–294.
- Shepard, T., & Adjogah, S. (1994). Science performance of students with learning disabilities on language-based measures. *Learning Disabilities Research & Practice.*
- Sideridis, G. D., Mouzaki, A., Simos, P., & Protopapas, A. (2006). Classification of students with reading comprehension difficulties: The roles of motivation, affect, and psychopathology. *Learning disability quarterly, 29*(3), 159–180.
- Smith, S. T., Macaruso, P., Shankweiler, D., & Crain, S. (1989). Syntactic comprehension in young poor readers. *Applied psycholinguistics, 10*(4), 429–454.
- Snow, C. (2002). *Reading for understanding: Toward an R&D program in reading comprehension.* Rand Corporation.
- Snowling, M. J. (2013). Early identification and interventions for dyslexia: a contemporary view. *Journal of Research in Special Educational Needs, 13*(1), 7–14.
- Soodak, L. C., Podell, D. M., & Lehman, L. R. (1998). Teacher, student, and school attributes as predictors of teachers' responses to inclusion. *The Journal of Special Education, 31*(4), 480–497.
- Spinelli, D., De Luca, M., Di Filippo, G., Mancini, M., Martelli, M., & Zoccolotti, P. (2005). Length effect in word naming in reading: Role of reading experience and reading deficit in Italian readers. *Developmental neuropsychology, 27*(2), 217–235.
- Stafylidou, S., & Vosniadou, S. (2004). The development of students' understanding of the numerical value of fractions. *Learning and instruction, 14*(5), 503–518.
- Stainback, W., Stainback, S., & Stefanich, G. (1996). Learning together in inclusive classrooms: What about the curriculum? *TEACHING Exceptional children, 28*(3), 14–19.
- Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of educational psychology, 86*(1), 24.
- Stanovich, K. E., & Stanovich, P. J. (1995). How research might inform the debate about early reading acquisition. *Journal of research in reading.*
- Steele, M. M. (2004). Teaching science to students with learning problems in the elementary classroom. *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth, 49*(1), 19–21.
- Stegemann, K. C. (2016). Learning disabilities in Canada. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal, 14*(1), 53–62.

- Stein, C. L., Cairns, H. S., & Zurif, E. B. (1984). Sentence comprehension limitations related to syntactic deficits in reading-disabled children. *Applied Psycholinguistics*, 5(4), 305–322.
- Stella, G., & Cerruti Biondino, E. (2002). La dislessia evolutiva lungo l'arco della scolarità obbligatoria. In *Neuropsicologia dello sviluppo*. Il Mulino.
- Stone, C., & Conca, L. (1993). The origin of strategy deficits in children with learning disabilities: A social constructivist perspective. *Strategy assessment and instruction for students with learning disabilities: From theory to practice*, 23–59.
- Street, C. D., Koff, R., Fields, H., Kuehne, L., Handlin, L., Getty, M., & Parker, D. R. (2012). Expanding Access to STEM for At-Risk Learners: A New Application of Universal Design for Instruction. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 25(4), 363–375.
- Strogilos, V., Avramidis, E., Voulagka, A., & Tragoulia, E. (2020). Differentiated instruction for students with disabilities in early childhood co-taught classrooms: types and quality of modifications. *International Journal of Inclusive Education*, 24(4), 443–461.
- Stylianidou, F., Ormerod, F., & Ogborn, J. (2001). Reading physics textbook pictures about 'energy': pupils' difficulties and teachers' reactions. Elsevier.
- Swanson, H. L. (1992). Generality and modifiability of working memory among skilled and less skilled readers. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 473.
- Swanson, H. L. (1993). Working memory in learning disability subgroups. *Journal of experimental child psychology*, 56(1), 87–114.
- Swanson, H. L. (1999). What develops in working memory? A life span perspective. *Developmental psychology*, 35(4), 986.
- Swanson, H. L. (2017). Verbal and visual-spatial working memory: What develops over a life span? *Developmental Psychology*, 53(5), 971.
- Swanson, H. L. (2020). Specific learning disabilities as a working memory deficit: A model revisited. *Handbook of educational psychology and students with special needs*, 19–51.
- Swanson, H. L., & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of educational psychology*, 96(3), 471.
- Swanson, H. L., & Fung, W. (2016). Working memory components and problem-solving accuracy: Are there multiple pathways? *Journal of Educational Psychology*, 108(8), 1153.
- Swanson, H. L., & Jerman, O. (2007). The influence of working memory on reading growth in subgroups of children with reading disabilities. *Journal of experimental child psychology*, 96(4), 249–283.
- Swanson, H. L., & Zheng, X. (2014). Memory difficulties in children and adults with learning disabilities.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.

- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257–285.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational psychology review*, 22, 123–138.
- Sweller, J. (2015). In academe, what is learned, and how is it learned? *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 190–194.
- Sweller, J. (2016). Story of a research program. *Education Review*, 23.
- Terrill, M. C., Scruggs, T. E., & Mastropieri, M. A. (2004). SAT vocabulary instruction for high school students with learning disabilities. *Intervention in School and Clinic*, 39(5), 288–294.
- Thibault, F., & Potvin, P. (2018). Executive function as a predictor of physics-related conceptual change.
- Thurston, L. P., Shuman, C., Middendorf, B. J., & Johnson, C. (2017). Postsecondary stem education for students with disabilities: Lessons learned from a decade of NSF funding. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 30(1), 49–60.
- Toffalini, E., Giofrè, D., & Cornoldi, C. (2017). Strengths and weaknesses in the intellectual profile of different subtypes of specific learning disorder: A study on 1,049 diagnosed children. *Clinical Psychological Science*, 5(2), 402–409.
- Trauth-Nare, A. (2016). Re-envisioning scientific literacy as relational, participatory thinking and doing. *Cultural Studies of Science Education*, 11, 327–334.
- Tressoldi, P. (1996). L'evoluzione della lettura e della scrittura dalla 2^a elementare alla 3^a media. *Età evolutiva*, 43–55.
- Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational psychology review*, 26, 265–283.
- Tricot, A., Vandenbroucke, G., & Sweller, J. (2020). Using cognitive load theory to improve text comprehension for students with dyslexia. In *Handbook of educational psychology and students with special needs* (pp. 339–362). Routledge.
- Trott, C. (2003). Mathematics support for dyslexic students. *MSOR Connections*, 3(4), 17–20.
- Tsigaridis, K. G., Wang, R., & Ellefson, M. R. (2022). The Intercorrelation Between Executive Function, Physics Problem Solving, Mathematical, and Matrix Reasoning Skills: Reflections from a Small-Scale Experiment.
- Tunmer, W. E., Herriman, M. L., & Nesdale, A. R. (1988). Metalinguistic abilities and beginning reading. *Reading research quarterly*, 134–158.
- Tunmer, W. E., & Hoover, W. A. (2017). Cognitive and linguistic factors in learning to read. In *Reading acquisition* (pp. 175–214). Routledge.
- Tunmer, W. E., Nesdale, A. R., & Wright, A. D. (1987). Syntactic awareness and reading acquisition. *British Journal of Developmental Psychology*, 5(1), 25–34.
- UNESCO. (1994). The Salamanca statement and framework for action on special needs education.
- UNESCO. (1997). International Standard Classification of Education - ISCED, Paris.

- UNESCO. (2005). *Guidelines for Inclusion: Ensuring Access to Education for All*, Paris.
- UNESCO. (2006). *Education for All: Report*, Paris.
- UNESCO. (2008). *Inclusive Education: the Way of the Future*, Geneva, 25-28 November.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). On the division of short-term and working memory: an examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological bulletin*, *133*(6), 1038.
- Usher, E. L., Golding, J. M., Han, J., Griffiths, C. S., McGavran, M. B., Brown, C. S., & Sheehan, E. A. (2024). Psychology students' motivation and learning in response to the shift to remote instruction during COVID-19. *Scholarship of teaching and learning in psychology*, *10*(1), 16.
- Van Den Broek, P., Kendeou, P., Kremer, K., Lynch, J., Butler, J., White, M. J., & Lorch, E. P. (2005). Assessment of comprehension abilities in young children. In *Children's reading comprehension and assessment* (pp. 125–148). Routledge.
- Van den Broek, P., Rapp, D. N., & Kendeou, P. (2005). Integrating memory-based and constructionist processes in accounts of reading comprehension. *Discourse processes*, *39*(2-3), 299–316.
- Van Dijk, T. A., Kintsch, W., et al. (1983). Strategies of discourse comprehension.
- Vellutino, F. R., et al. (1979). *Dyslexia: Theory and research*.
- Vellutino, F. R., Tunmer, W. E., Jaccard, J. J., & Chen, R. (2007). Components of reading ability: Multivariate evidence for a convergent skills model of reading development. *Scientific studies of reading*, *11*(1), 3–32.
- Vender, M., et al. (2011). *Disentangling Dyslexia-Phonological and Processing Impairment in Developmental Dyslexia*.
- Villanueva, M. G., Taylor, J., Therrien, W., & Hand, B. (2012). Science education for students with special needs. *Studies in Science Education*, *48*(2), 187–215.
- Vosniadou, S., Pnevmatikos, D., Makris, N., Lepenioti, D., Eikospentaki, K., Chountala, A., & Kyrianakis, G. (2018). The recruitment of shifting and inhibition in on-line science and mathematics tasks. *Cognitive Science*, *42*(6), 1860–1886.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., & Rashotte, C. A. (1994). Development of reading-related phonological processing abilities: New evidence of bidirectional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental psychology*, *30*(1), 73.
- Walker, J. S., & Organtini, G. (2020). *Fondamenti di Fisica*. Pearson.
- Wang, S., & Gathercole, S. E. (2013). Working memory deficits in children with reading difficulties: Memory span and dual task coordination. *Journal of experimental child psychology*, *115*(1), 188–197.
- Warner, M. M., Schumaker, J. B., Alley, G. R., & Deshler, D. D. (1980). Learning disabled adolescents in the public schools: Are they different from other low achievers? *Exceptional Education Quarterly*, *1*(2), 27–36.
- Warnock, M. (1978). *Special educational needs: Report of the committee of enquiry into the education of handicapped children and young people* (Vol. 7212). Stationery Office Books (TSO).

- Warnock, M., Norwich, B., & Terzi, L. (2010). *Special educational needs: A new look*. A&C Black.
- Wibowo, F. C., Nasbey, H., Suprihatin, S., Kusuma, A. A. K., Darman, D. R., & Costu, B. (2024). System differential learning for detecting learning styles in science education for students with learning disabilities. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(6), 1849–1869.
- Williams, J. P., Hall, K. M., & Lauer, K. D. (2004). Teaching expository text structure to young at-risk learners: Building the basics of comprehension instruction. *Exceptionality*, 12(3), 129–144.
- Williams, J. P., Hall, K. M., Lauer, K. D., Stafford, K. B., DeSisto, L. A., & deCani, J. S. (2005). Expository Text Comprehension in the Primary Grade Classroom. *Journal of Educational Psychology*, 97(4), 538.
- Wiseheart, R., Altmann, L. J., Park, H., & Lombardino, L. J. (2009). Sentence comprehension in young adults with developmental dyslexia. *Annals of dyslexia*, 59, 151–167.
- Wong, B. Y., & Jones, W. (1982). Increasing metacomprehension in learning disabled and normally achieving students through self-questioning training. *Learning Disability Quarterly*, 5(3), 228–240.
- Yager, R. E. (1983). The importance of terminology in teaching K-12 science. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(6), 577–588.
- Yovanoff, P., Duesbery, L., Alonzo, J., & Tindal, G. (2005). Grade-level invariance of a theoretical causal structure predicting reading comprehension with vocabulary and oral reading fluency. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 24(3), 4–12.
- Zerai, D., Eskelä-Haapanen, S., Posti-Ahokas, H., & Vehkakoski, T. (2023). The meanings of differentiated instruction in the narratives of Eritrean teachers. *Pedagogy, Culture & Society*, 31(3), 419–437.
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological bulletin*, 131(1), 3.
- Ziegler, J. C., Perry, C., Ma-Wyatt, A., Ladner, D., & Schulte-Körne, G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of experimental child psychology*, 86(3), 169–193.
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2014). Modelling reading development through phonological decoding and self-teaching: Implications for dyslexia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20120397.

