

Processi cognitivi e apprendimento della chimica: uno studio pilota sulla popolazione universitaria a sviluppo tipico

**Francesca De Vita^a, Stefania Bufalino^b, Elena Ghibaudi^c, Renato Lombardo^d,
Antonella Maria Maggio^d, Anna Maria Re^e, Barbara Sini^e**

^aDipartimento di Chimica e Fisica, Università di Palermo; ^bDipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino; ^cDipartimento di Chimica, Università di Torino; ^dDipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche Chimiche e Farmaceutiche, Università di Palermo; ^eDipartimento di Psicologia, Università di Torino
e-mail: francesca.devita@unipa.it

Abstract. The national surveys have observed that Italian students perform significantly worst in the science field compared to their international peers. This is also true when we consider a particular subject, such as chemistry. This is partially explained by teaching practice since the Italian school context rarely allows the possibility to organise and implement interactive teaching strategies. Consequently, most of students learn chemistry by memorizing definitions without reaching a full understanding.

Moreover, professors do not have the opportunity to acquire knowledge about the cognitive processes involved in chemistry learning and the teaching strategies that might be used to overcome the conceptual difficulties of the discipline. In addition, they are not aware of the peculiar difficulties of students with Specific Learning Disorder (SLD) and the compensatory measures that could be carried out to improve their learning performance in the science field.

Therefore, the present project has the main goal of extending the knowledge on cognitive processes involved in chemistry learning of undergraduates' students, to design effective strategies and compensative measure that will improve students' chemistry learning ability. The present paper reports the results of a pilot investigation, which tested the adequacy of a chemistry learning test on a small sample of Italian undergraduate students.

Keywords: apprendimento della chimica; memoria di lavoro; università

1. Introduzione

Apprendere vuol dire integrare nuove informazioni con quelle pregresse (immagazzinate nella nostra mente nella memoria a lungo termine). Nelle discipline scientifiche ci sono ulteriori difficoltà:

- l'uso di molteplici canali di comunicazione sia uditivo-verbale (per esempio, una spiegazione) sia visivo-spaziale (per esempio, grafici, schematizzazioni o tabelle).

- l'aumentare del grado di scolarizzazione si associa ad un parallelo incremento del grado di astrazione.
- il muoversi con flessibilità tra il teorico-astratto e il reale-concreto.

La chimica nello specifico ha un'altra peculiarità: richiede di sapersi muovere tra tre livelli: macroscopico, sub-microscopico e simbolico [1]. Il suo apprendimento chiama in campo sia di processi cognitivi specifici (linguaggio, capacità di calcolo, procedure, conoscenze di natura teorica, etc.) sia processi di dominio-generale come la capacità di *problem-solving*,¹ l'attenzione, l'inibizione² e la memoria di lavoro [4-6]. Questi ultimi, anche nei gradi più alti di scolarizzazione, spiegano una quota minore, ma significativa, di varianza nella prestazione [7, 8]. Tra questi processi quello maggiormente indagato è la memoria di lavoro (ML):³ un sistema a capacità limitata che garantisce il mantenimento e la manipolazione di informazioni verbali e visuo-spaziali [9]. Quello spazio mentale in cui numeri, simboli e diagrammi vengono mantenuti, processati e manipolati nell'esecuzione di un problema [8]. Questo grazie a due sistemi di elaborazione dominio-specifico il *loop* fonologico (informazioni uditivo-verbali) e il taccuino visuo-spaziale (informazioni visive e/o spaziali), che sono interconnessi attraverso il lavoro del *buffer* episodico e coordinati da una componente dominio-generale: l'esecutivo centrale, un sistema di controllo attentivo a capacità limitata che media il fluire delle informazioni [9].

Gli studi sulla chimica evidenziano il ruolo rilevante della ML visuo-spaziale [10] nel predire il livello di apprendimento di un argomento di chimica. Altri autori [11-14], invece, hanno indagato più in generale, il ruolo del ragionamento visuo-spaziale e della capacità di visualizzazione, cioè un complesso di processi di formulazione, codifica e manipolazione mentale di forme tridimensionali [15]. Per esempio, Pribyl e Bodner [12] osservano su un campione di universitari/e che coloro che hanno maggiori abilità di ragionamento visuo-spaziale tendono a fare meglio nella prova di chimica, avendo una comprensione organica del problema e utilizzando la rappresentazione grafica per risolvere il problema (individuare il prodotto di una reazione chimica). Risultati analoghi sono stati recentemente confermati dallo studio di Sorby et al. [13], su un campione di universitari/e di ingegneria chimica.

In conclusione, la disamina della letteratura mostra che gli studi che investigano il ruolo dei processi cognitivi in gioco nell'apprendimento della chimica sono pochi nel panorama internazionale e, addirittura, nulli nel panorama uni-

¹ Processo cognitivo che permette all'individuo di superare una difficoltà o di raggiungere un obiettivo grazie all'intervento di ulteriori processi cognitivi di ordine superiore come il ragionamento e il pensiero creativo [2].

² Processo cognitivo che garantisce alla persona la possibilità di ritardare e/o di sopprimere una risposta o un comportamento, in funzione di determinate richieste ambientali/contextuali [3].

³ All'interno della cornice teorica di riferimento della psicologia cognitiva.

versitario italiano. Pertanto, questo studio pilota rappresenta un primo tentativo di indagare i processi cognitivi che entrano in gioco nell'apprendimento della chimica nella popolazione universitaria. Attraverso un'analisi di correlazione, abbiamo esplorato la relazione tra le diverse componenti della ML e la prestazione di studenti/studentesse impegnati/e in una prova di chimica, costruita *ad hoc* per questa sperimentazione.

2. Metodo

2.1. Partecipanti

L'indagine ha coinvolto un campione composto da 39 universitari/e iscritti/e a un corso triennale di area scientifica presso il Politecnico di Torino o l'Università degli Studi di Palermo, che hanno partecipato alla prova di chimica. Di questi il 51.28% (21 persone) hanno aderito anche al momento di approfondimento sui processi cognitivi. Pertanto, il campione su cui è stata condotta l'analisi di correlazione è composto da 20 persone (15 maschi e 5 femmine) di età media 20,98 anni ($DS= 2.74$).

I partecipanti sono tutti/e iscritti/e a corsi di laurea scientifici, in cui la chimica è un insegnamento di servizio. Hanno aderito alla sperimentazione su base volontaria e senza ricevere alcun compenso.

2.2. Procedura

La sperimentazione era suddivisa in due momenti svolti in presenza e in modalità collettiva:

- un incontro (1 ora circa), in cui veniva somministrata una prova di apprendimento di chimica e un breve questionario per la raccolta delle informazioni anagrafiche (età, genere, corso di laurea frequentato);
- un incontro di valutazione dei processi cognitivi (2 ore circa) in cui sono state presentate prove di ML verbale e visuo-spaziale e un breve questionario per valutare gli stili cognitivi.

La video-lezione e il test per valutare il livello di apprendimento sono state costruite *ad hoc* per la sperimentazione, richiedendo un importante sforzo collettivo. L'obiettivo era quello di creare uno strumento ripetibile per le diverse somministrazioni e il più oggettivo possibile (per questo la scelta di registrarlo prima della somministrazione).

2.3. Strumenti

2.3.1. ML verbale

- a) Prova di span di parole [16], in cui il/la partecipante ascolta delle liste, a lunghezza crescente, di parole che deve ricordare nel corretto ordine di presentazione. La prova si articola in otto livelli a difficoltà crescente a partire dal livello 2 (due parole per ogni lista) fino al livello 9 (nove

parole per ogni lista); ogni livello prevedeva due trial. Per questa prova è stato attribuito un punteggio complessivo dato dalla somma delle parole correttamente riportate per ogni lista.

- b) Listening Span Task (LST) [17] che consiste nell'ascoltare blocchi con un numero di frasi crescente (da livello 2, due frasi a livello 6, sei frasi), giudicando di volta in volta la veridicità dei singoli enunciati e nel rievocare, al termine del blocco di frasi, l'ultima parola di ciascun enunciato nel corretto ordine di presentazione. Anche in questa prova è stato attribuito un punteggio in relazione al numero complessivo di parole correttamente ricordate.

Le due prove si differenziano in quanto la prima richiede solo il mantenimento dell'informazione, mentre la seconda richiede anche una manipolazione dell'informazione.

2.3.2. *ML visuo-spaziale*

- c) Prova Matrici [17] che consiste nell'osservare una matrice composta da celle bianche e grigie per un tempo limitato. Successivamente al/alla partecipante viene presentata la medesima matrice con il compito di indicare/rievocare le celle grigie osservate. All'aumentare del grado di difficoltà, aumenta il numero di celle grigie (da livello 2, due celle grigie, fino al livello 11, undici celle grigie) e ciascun livello prevede tre prove. Il punteggio complessivo è ottenuto sommando il numero del livello delle tre matrici con maggiore complessità completati correttamente.
- d) Prova Puzzle [17] che si articola in nove livelli, ciascuno composto da tre prove. Il/la partecipante osserva per un paio di secondi un oggetto e successivamente lo vede scomposto in più pezzi numerati (il numero dipende dal livello di difficoltà). Il compito è ricomporre la figura all'interno di una matrice, riportando il numero corrispondente nella casella corretta. Il punteggio è dato dalla somma dei tre tentativi, con il maggiore livello di difficoltà, correttamente svolti.

Le due prove differiscono in quanto la prima richiede esclusivamente il mantenimento dell'informazione, mentre la seconda richiede una manipolazione.

2.3.3. *Questionario sugli stili cognitivi*

Si tratta di un questionario auto-somministrato composto da nove affermazioni [18]. Il/la partecipante esprime il grado di accordo o la frequenza di un comportamento su una scala Likert (da 1 "per niente/mai" a 5 "moltissimo/sempre"). Il punteggio complessivo del questionario si ottiene facendo la media aritmetica dei singoli quesiti. Il numero ottenuto viene poi standardizzato in punteggio z ($M = 0$, $DS = 1$), consultando media e deviazione standard riportate nel manuale. La conversione in punteggi z serve per l'individuazione dello

stile cognitivo prevalente, infatti: $z < -0,50$ è tendenzialmente visuo-spaziale, mentre $z > +0,50$ è tendenzialmente verbale.

2.3.4. Prova di chimica

Questa prova è stata costruita *ad hoc* per la presente sperimentazione, seguendo la struttura che viene utilizzata nella Prova di Apprendimento [18] per la valutazione della popolazione universitaria. Abbiamo scelto di utilizzare una video-lezione perché più simile a quello che gli/le studenti/studentesse esperiscono nel contesto universitario nell'apprendimento di questa disciplina. Si è scelto il tema dei cristalli liquidi, perché si presta a una rapida esposizione e non richiede un bagaglio di conoscenze concettuali altamente specifico. Inoltre, è un argomento che non rientra nei programmi dei corsi di chimica generale che gli/le partecipanti si sono trovati ad affrontare durante il loro percorso di studi: ciò consente di evitare che una precedente spiegazione possa influire sull'esito della prova. Ciascuno assiste alla video-lezione, avendo a disposizione le *slide* e potendo prendere appunti. Appunti e *slide* restano a disposizione nella fase di studio individuale (10 minuti), ma non durante il quiz finale. Il test si compone di 10 domande a risposta multipla: 5 verbali (con domande e alternative di risposta fornite in forma verbale) e 5 visive (con domande poste in modalità verbale e alternative di risposta poste in modalità visiva).

3. Analisi dei dati

In primo luogo, è stata condotta un'analisi qualitativa sulla prova di apprendimento di chimica, per valutare il grado di correttezza di ciascuna risposta e il corretto bilanciamento delle risposte rispetto al grado di difficoltà. Successivamente è stata condotta un'analisi di correlazione tra le prove standardizzate e l'esito nella prova di apprendimento di chimica.

4. Risultati

4.1. Analisi qualitativa della prova di apprendimento di chimica

Sono state calcolate le statistiche descrittive della prestazione complessiva alla prova e della prestazione nelle domande verbali e quelle visuo-spaziali (Tabella 1). In seguito, è stata fatta un'analisi qualitativa delle risposte date alle singole domande: le domande sono ben bilanciate per grado di complessità e per nessuna domanda si osservano effetto pavimento (= nessuno è in grado di dare la risposta corretta) o effetto tetto (= tutti rispondono correttamente). Infatti, mediamente le domande hanno una percentuale di correttezza del 50% circa (Tabella 1). Alcune domande presentano un minor grado di difficoltà e ottengono una percentuale di risposte corrette superiore alla media (quesiti 2 e 4 verbali e questo 3 visuo-spaziale). Analogamente alcune domande sono caratterizzate da un livello di complessità superiore alla media (quesito 5 verbale, e quesiti 1 e la 4 visuo-spaziali).

Tabella 1. Descrittive delle risposte corrette alla prova di chimica

	Risposte corrette	
	<i>M</i>	<i>DS</i>
Punteggio totale	5,41	2,11
Domande Verbali	3,15	1,20
Domande visive	2,26	1,29

4.2. Analisi di correlazione tra la prova di apprendimento di chimica e i test standardizzati

L'analisi di correlazione tra la prova di apprendimento e i test standardizzati è stata condotta solo sul campione di 20 studenti/studentesse e viene riportata in Tabella 2.

Tabella 2. Correlazioni tra i test standardizzati e la prova di apprendimento di chimica (N= 20)

	1	2	3	4	5	6	7
1. Span di parole (parole rievocate)	1						
2. LST (parole rievocate)	0,33	1					
3. Matrici	0,53*	0,23	1				
4. Puzzle	0,00	0,10	-0,31	1			
5. Prova di chimica Totale	0,43	0,46*	0,23	0,46*	1		
6. Prova di chimica Dom. Verbali	0,59*	0,30	0,16	0,45	0,81**	1	
7. Prova di chimica Dom. Visive	0,10	0,37	0,31	0,21	0,76**	0,30	1

Nota: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$

Infine, la prestazione nella prova di chimica è stata messa in correlazione con il punteggio ottenuto nel questionario sulla valutazione degli stili cognitivi. Le correlazioni riscontrate risultano buone, seppur non statisticamente significative in quanto il campione considerato è molto piccolo e la significatività è legata alla numerosità campionaria. Tuttavia, il valore della correlazione che è

stato osservato è rilevante: in particolare, la prestazione nelle domande verbali correla positivamente ($r = 0,32$) con il punteggio al questionario, mentre quella nelle domande visuo-spaziali correla negativamente ($r = -0,37$).

5. Discussione

Questa prima indagine pilota ha permesso di testare l'adeguatezza di una prova costruita *ad hoc* per valutare l'apprendimento di un argomento di chimica da parte di un campione di universitari/e e di esplorare – sia pure su un piccolo campione – la relazione tra la prestazione in tale prova e quella in alcuni test standardizzati per la valutazione della ML.

La prova risulta adeguatamente strutturata in quanto non si rilevano effetto tetto né pavimento. Le domande che hanno fatto registrare un più alto numero di risposte corrette comportano la mera rievocazione dell'informazione o sono connesse al bagaglio di conoscenze della geometria vettoriale (concetto di direttore e normale del piano). Invece, i quesiti sbagliati con maggiore frequenza presuppongono una comprensione profonda della spiegazione, che garantisce non solo il recupero delle nozioni, ma anche la loro manipolazione. Tale dato è coerente con l'osservazione che i compiti che richiedono mantenimento e manipolazione dell'informazione sono cognitivamente più complessi [19]. In altri termini, questa operazione comporta un carico maggiore sulle risorse della ML specialmente quelle dell'esecutivo centrale.⁴ Questi risultati sono confermati anche dalle analisi di correlazione che evidenziano come la prestazione complessiva della prova correla positivamente e significativamente con le prove LST e Puzzle (entrambe prove che hanno un carico maggiore sull'esecutivo centrale). Inoltre, tali risultati confermano quanto precedentemente osservato negli studi che hanno coinvolto gli adolescenti [10] e aiutano a comprendere meglio il ruolo giocato della ML nell'apprendimento della chimica nella popolazione universitaria. Infine, l'analisi di correlazione tra la tipologia di domanda nella prova di chimica e il punteggio nel questionario di valutazione dello stile cognitivo, sembra suggerire che coloro che hanno uno stile tendenzialmente verbale ottengono migliori risultati nelle domande verbali, mentre quelli che hanno uno stile tendenzialmente visuo-spaziale tendono a prestare meglio nelle domande visuo-spaziali. Questi primi risultati, sebbene non generalizzabili, sono rilevanti in quanto rappresentano un primo tentativo di colmare una lacuna di ricerca e confermano la necessità di proseguire questa indagine. Il limite rappresentato dalla scarsa numerosità del campione è parzialmente attribuibile al fatto che la raccolta dati è avvenuta interamente in presenza, al di fuori dell'orario scolastico e su base volontaria.

In conclusione, questo lavoro è un tentativo di aprire un varco verso l'approfondimento degli specifici processi cognitivi che entrano in gioco nell'appren-

⁴ Componente di tipo dominio-generale della memoria di lavoro, ovvero un sistema di controllo attentivo (a capacità limitata) che media il flusso di informazioni verbali e visuo-spaziali [9].

dimento della chimica. L'obiettivo a lungo termine è la sperimentazione di strategie didattiche e l'individuazione di strumenti compensativi che appellandosi a questi processi cognitivi possano facilitare l'apprendimento della chimica.

Riferimenti

- [1] A. H. Johnstone, Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *J. Comput. Assist. Learn.*, 1991, **7**(2), 75–83 (<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>).
- [2] American Psychological Association: Problem-Solving, *APA Dictionary of Psychology*.
- [3] American Psychological Association: Inhibition, *APA Dictionary of Psychology*.
- [4] R. Bull, G. Scerif, Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory, *Dev. Neuropsychol.*, 2001, **19**(3), 273–293 (https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3).
- [5] R. D. Latzman, N. Elkovitch, J. Young, L. A. Clark, The contribution of executive functioning to academic achievement among male adolescents, *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 2010, **32**(5), 455–462 (<https://doi.org/10.1080/13803390903164363>).
- [6] H. L. St Clair-Thompson, S. E. Gathercole, Executive functions and achievements in school: shifting, updating, inhibition, and working memory, *Q. J. Exp. Psychol.*, 2006, **59**(4), 745–759 (<https://doi.org/10.1080/17470210500162854>).
- [7] M. Berkowitz, E. Stern, Which cognitive abilities make the difference? Predicting academic achievements in advanced STEM studies, *J. Intell.*, 2018, **6**(4), 48 (<https://doi.org/10.3390/jintelligence6040048>).
- [8] D. H. Uttal, C. A. Cohen, Chapter Four - Spatial thinking and STEM education: when, why, and how?, in *The Psychology of Learning and Motivation* (B. H. Ross, Ed.), Academic Press, 2012; Vol. 57, pp 147–181 (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2>).
- [9] A. D. Baddeley, The episodic buffer: a new component of working memory?, *Trends Cogn. Sci.*, 2000, **4**(11), 417–423 ([https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)).
- [10] S. M. Rhodes, J. N. Booth, L. E. Palmer, R. A. Blythe, M. Delibegovic, N. J. Wheate, Executive functions predict conceptual learning of science, *Br. J. Dev. Psychol.*, 2016, **34**(2), 261–275 (<https://doi.org/10.1111/bjdp.12129>).
- [11] C. S. Carter, M. A. Larussa, G. M. Bodner, A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of General Chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, 1987, **24**(7), 645–657 (<https://doi.org/10.1002/tea.3660240705>).
- [12] J. R. Pribyl, G. M. Bodner, Spatial ability and its role in Organic Chemistry:

- a study of four organic courses, *J. Res. Sci. Teach.*, 1987, **24**(3), 229–240 (<https://doi.org/10.1002/tea.3660240304>).
- [13] S. A. Sorby, G. Duffy, N. Loney, An examination of the role of spatial ability in the process of problem solving in Chemical Engineering, *Australas. J. Eng. Educ.*, 2020, **25**(1), 55–65 (<https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1785653>).
- [14] H.-K. Wu, P. Shah, Exploring visuospatial thinking in chemistry learning, *Sci. Educ.*, 2004, **88**(3), 465–492 (<https://doi.org/10.1002/sce.10126>).
- [15] J. B. Carroll, *Human cognitive abilities: a survey of factor-analytic studies*, Cambridge University Press, 1993 (<https://doi.org/10.1017/CBO9780511571312>).
- [16] H. Spinnler, G. Tognoni, Standardizzazione e taratura italiana dei test neuropsicologici, *Italy J. Neurol. Sci.*, 1987, **6**, 1–120.
- [17] R. De Beni, E. Borella, B. Carretti, C. Marigo, L. A. Nava, *BAC. Portfolio per la valutazione del benessere e delle abilità cognitive nell'età adulta e avanzata*, Giunti OS, 2008.
- [18] R. De Beni, C. Zamperlin, C. Meneghetti, C. Cornoldi, M. Fabris, G. D. M. Tona, A. Moè, *Test AMOS-abilità e motivazione allo studio: prove di valutazione e orientamento per la scuola secondaria di secondo grado e l'università: Nuova Edizione*, Edizioni Centro Studi Erickson, 2014.
- [19] E. A. Crone, C. Wendelken, S. Donohue, L. van Leijenhorst, S. A. Bunge, Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2006, **103**(24), 9315–9320 (<https://doi.org/10.1073/pnas.0510088103>).