



Methodologies and scenarios

# Ma si fanno i conti con il carico cognitivo?

Landriscina Franco  
U.S. Risorse Umane, Lloyd Adriatico, Trieste  
f.landriscina@libero.it

Parole chiave: carico cognitivo, apprendimento, multimedia.

## Abstract

Le applicazioni dell'e-learning alla scuola sono talvolta caratterizzate da un approccio principalmente tecnologico e dalla mancanza di modelli teorici e metodologie di Instructional design di riferimento. La teoria del carico cognitivo è un recente sviluppo nel campo dell'**Instructional design** che fornisce un insieme di principi di progettazione didattica applicabili ad un vasto insieme di situazioni e che consentono di migliorare l'efficienza dell'apprendimento e quindi la qualità didattica degli interventi. Il concetto di carico cognitivo si basa sull'interazione fra contenuti, studente e ambiente di apprendimento e, in particolare, sulle caratteristiche e i limiti dell'architettura cognitiva umana.

## 1 Introduzione

Nonostante la parola e-learning sia formata da due parti, la prima parte di essa, la “e” seguita dal trattino, riceve in genere molta più attenzione della seconda. Infatti, la componente tecnologica dell’e-learning (la “e” di **electronic**) finisce sovente per eccedere rispetto a quello pedagogico-didattico, rappresentata dalla parola **“learning”, cioè apprendimento**. Gli aspetti informatici e quelli legati agli “standard” sono senza dubbio importanti, però lo scopo principale di un intervento di e-learning dovrebbe essere quello di **favorire i processi di apprendimento** e consentire così il raggiungimento degli obiettivi didattici definiti in fase di progettazione. Inoltre, **a parità di apprendimento, anche il tempo necessario agli studenti per imparare e lo sforzo mentale che viene loro richiesto** sono fattori che andrebbero considerati con attenzione per passare dal livello della sperimentazione a quello di **un uso effettivo dell’e-learning**. Per favorire un intervento di questo tipo, l’ambito di riferimento diventa quello dell’Instructional design, inteso come complesso di metodologie e riferimenti teorici a cui richiamarsi per definire la migliore tipologia di intervento didattico (Calvani, 2005). In particolare, fra i riferimenti teorici di rilievo per l’Instructional design, sta assumendo sempre maggiore importanza **la Teoria del carico cognitivo** (Cognitive Load Theory) (Sweller et al., 1988). Essa fornisce un insieme di principi di progettazione didattica che si possono applicare ad ogni tipo di contenuti, media e studente. Tali principi, se applicati correttamente, consentono di creare **ambienti di apprendimento più efficienti**. Per l’e-learning passare dal terreno tecnologico a quello didattico significa fare i conti con le capacità e i limiti dell’architettura cognitiva umana, che dipendono a loro volta dalla struttura e dal funzionamento del cervello. L’istruzione è efficiente quando lavora in armonia con i processi di apprendimento, vale a dire quando prende in considerazione il modo in cui le persone selezionano le informazioni, organizzano e memorizzano la conoscenza, applicano quanto hanno appreso. La Teoria del carico cognitivo è basata sulla comprensione di tali processi che viene oggi fornita dalle scienze cognitive (Cognitive Science). Le scienze cognitive sono un campo di studio interdisciplinare a cui contribuiscono filosofia, psicologia, neuroscienze, linguistica, intelligenza artificiale e robotica. Non vanno confuse con il Cognitivismo, la teoria secondo la quale la mente umana è un sistema computazionale, cioè basato sugli stessi principi logico-matematici di funzionamento degli elaboratori elettronici. Da un paio di decenni, **le scienze cognitive non si identificano più con il cognitivismo**, in quanto **si sta affermando una diversa visione della mente, basata sull’interazione cervello-corpo-ambiente** (Embodied mind) (Clark, 1999; Pfeifer et al., 2006). In questo mutato quadro di riferimento teorico, l’elaborazione

delle informazioni gioca sempre un ruolo centrale, ma non è il tipo di elaborazione “algoritmica” dei primi modelli Human Information Processing, bensì un’elaborazione basata sui principi di funzionamento dei sistemi dinamici e della teoria della complessità.

## 2 La memoria umana: caratteristiche e limiti

È vero che non è più di moda imparare “a memoria”, però **impariamo**, pur sempre, **“con la memoria”**. Anche perché le scienze cognitive ci mostrano che la memoria non è semplicemente una “registrazione” delle informazioni provenienti dagli organi di senso ma **comporta la costruzione attiva di nuova conoscenza**. Tale costruzione richiede un collegamento attivo fra passato (quanto già si conosce), presente (quanto si sta conoscendo) e futuro (l’uso che si intende fare della nuova conoscenza). Il sistema della memoria è lo strumento che rende possibile questo collegamento. Per questi motivi, la teoria del carico cognitivo dà grande importanza al sistema della memoria, e in particolare al ruolo e ai limiti di quella componente di tale sistema nota con il nome di **memoria di lavoro** (working memory). Una delle funzioni della memoria di lavoro è di codificare, organizzare e integrare le informazioni per costruire rappresentazioni mentali della conoscenza, cioè **schemi**. Tutte le conoscenze e le capacità di una persona sono immagazzinate, in modo permanente, nella memoria a lungo termine in forma di schemi. Pur essendo la capacità della memoria praticamente infinita, essa è la componente passiva della memoria, mentre la **memoria di lavoro è la componente attiva**, in cui avviene il confronto fra le nuove informazioni e gli schemi già posseduti, e la costruzione di nuovi schemi. È sempre la memoria di lavoro che recupera dalla memoria a lungo termine gli schemi mentali da utilizzare per eseguire un compito o risolvere un problema. **Numerose ricerche mostrano il ruolo centrale della memoria di lavoro nell’apprendimento**, nella comprensione del linguaggio, nel ragionamento e nella risoluzione di problemi. Ora arrivano però le brutte notizie. La memoria di lavoro ha dei limiti piuttosto notevoli nella sua capacità di immagazzinamento e di elaborazione di nuove informazioni. **Se non viene mantenuta attivamente, con la ripetizione mentale, l’informazione decade rapidamente e scompare completamente dopo circa 20 secondi**. Inoltre, essa può contenere simultaneamente al massimo  $7 \pm 2$  elementi, chiamati “chunk” (Miller, 1956). Il **limite** non è nella quantità di informazione ma **nel numero di unità che possono essere elaborate in modo indipendente**. È importante sottolineare che **tale limite esiste solo per le nuove informazioni** o per quelle che devono essere elaborate in modo nuovo, non per le informazioni recuperate dalla memoria a lungo termine. Infatti, tali informazioni sono organizzate in schemi, ed ogni schema viene considerato come un elemento unitario.

### 3 Teoria del carico cognitivo e apprendimento

La teoria del carico cognitivo nasce, nei primi anni '80, dalle ricerche di John Sweller, dell'Università del Nuovo Galles del Sud, in Australia, sul rapporto fra problem solving e apprendimento (Sweller et al., 1985). Per la teoria del carico cognitivo, **l'apprendimento consiste nella costruzione di schemi mentali e nella loro automazione** (Sweller, 2003). Gli schemi sono rappresentazioni interne in grado di mediare fra le informazioni provenienti dall'ambiente e le aspettative del soggetto. Non sono strutture fisse ma configurazioni flessibili, che rispecchiano le regolarità dell'esperienza. La principale differenza fra un esperto e un non esperto consiste nel fatto che **l'esperto possiede un maggiore numero di schemi e nel loro livello di automaticità**. Ad esempio, quando un bambino deve imparare l'alfabeto, la comprensione di ogni singola lettera gli richiede un grande sforzo, in quanto ogni lettera può essere scritta in molti modi diversi. Col tempo, il bambino si costruirà, sulle base delle proprie rappresentazioni percettive e motorie, i propri schemi mentali di ciascuna lettera, e potrà così leggere più speditamente le parole, le quali diventeranno anch'esse degli schemi. Allo stesso modo, un giocatore di scacchi, uno scienziato o un meccanico, **hanno ciascuno sviluppato degli schemi specifici per il proprio campo, grazie ai quali sanno classificare e riconoscere le diverse situazioni che gli si presentano e agire di conseguenza**. I tutti i casi in cui devono essere costruiti nuovi schemi, **la memoria di lavoro svolge un ruolo di importanza decisiva**, in cui entra in gioco anche il carico cognitivo.

### 4 Carico cognitivo e apprendimento efficiente

Nei loro primi esperimenti, Sweller e collaboratori hanno mostrato che l'apprendimento è facilitato se, invece dei classici problemi, **allo studente vengono presentati dei problemi ad obiettivo libero (problemi che forniscono allo studente un obiettivo non specifico**, ad es. invece di chiedere di calcolare un angolo di una figura geometrica, chiedere di calcolare quanti più angoli possibili di quella figura) **o degli esempi guidati** (dimostrazioni che illustrano passo per passo la risoluzione di un problema o l'esecuzione di un compito). È per spiegare questi risultati che è stato introdotto il concetto di carico cognitivo (Sweller, 1988).

Il carico cognitivo è la quantità totale di attività mentale imposta alla memoria di lavoro in un dato istante. Se il carico cognitivo è troppo elevato, uno studente potrebbe non avere più risorse cognitive disponibili per l'apprendimento. Questo **può accadere perché i contenuti da studiare sono per lui molto complessi o perché la sua memoria di lavoro è impegnata per elaborare informazioni non rilevanti o estranee**. In questi casi, se uno studente non ha ancora

costruito gli schemi mentali necessari, **passare subito dalla teoria ai problemi può interferire con la creazione di tali schemi.** Anche **un carico cognitivo troppo basso può essere negativo** per l'apprendimento. Infatti, questo significherebbe che la memoria di lavoro non è utilizzata efficientemente per il compito di apprendimento. In questa situazione, **lo studente potrebbe sperimentare una mancanza di interesse** e distrarsi facilmente verso altri pensieri (specialmente se la materia non è di suo interesse). Esiste, quindi, anche un **carico cognitivo "buono"**, in quanto associato direttamente all'apprendimento: è quello "sforzo" mentale che tutti abbiamo provato nello studio di un argomento difficile, e che ci ha poi lasciato con la soddisfazione di aver capito (l'argomento che prima sembrava difficile, **dopo è diventato molto semplice**).

Quanto abbiamo detto finora, si traduce nella definizione di tre tipi di carico cognitivo: **intrinseco, estraneo e rilevante**, di cui riportiamo la definizione nella tabella 1.

<b>Carico cognitivo intrinseco</b>	<b>Carico cognitivo estraneo</b>	<b>Carico cognitivo rilevante</b>
È determinato dall'interazione fra la natura dei contenuti da apprendere e il livello di expertise dello studente.	È associato a processi che non sono direttamente necessari per l'apprendimento.	È associato a processi che sono direttamente rilevanti per l'apprendimento, come la costruzione e l'automazione di schemi.

Tabella 1. I tre tipi di carico cognitivo

L'obiettivo del **progettista didattico è diminuire il più possibile il carico cognitivo intrinseco e quello estraneo**, e allo stesso tempo **ottimizzare il carico cognitivo rilevante**. La teoria del carico cognitivo ha definito dei **principi di instructional design che aiutano a raggiungere questo obiettivo**. Essi sono il risultato di numerosi esperimenti nei quali, tipicamente, due gruppi di studenti devono apprendere gli stessi contenuti presentati con due diversi metodi o formati didattici. L'apprendimento nei due gruppi viene misurato attraverso test, di ricordo e di comprensione, e i risultati sono confrontati fra loro per vedere quale dei due gruppi ha appreso meglio. Nei primi anni '90, al gruppo di Sweller si è affiancato il gruppo di Jerome van Merriënboer, della Open University olandese. I ricercatori australiani e olandesi hanno sviluppato un metodo di misura dello sforzo mentale attraverso domande in cui si chiede agli studenti di valutare soggettivamente la difficoltà che hanno incontrato nello studio e nella risposta ai test (Paas et al., 1993). La valutazione congiunta di apprendimento e

sforzo mentale consente di valutare l'“efficienza dell'apprendimento”: a parità di risultati di apprendimento, un metodo didattico è più efficiente di un altro se richiede uno sforzo mentale minore. Ad esempio, nel grafico di fig. 1, il metodo didattico A è più efficiente di quello B in quanto **gli studenti ottengono risultati migliori con uno sforzo mentale minore**. In alcuni casi, i risultati della ricerca empirica hanno confermato pratiche utilizzate da tempo, precisandone però meglio gli ambiti di applicazione, in altri sono stati decisamente controtenenza e hanno mostrato l'inconsistenza di alcuni “miti” largamente diffusi.

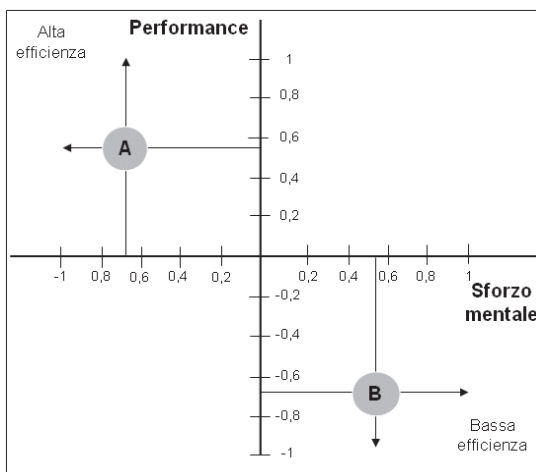


Fig. 1 Grafico di confronto dell'efficienza

## 5 Carico cognitivo e multimedia

La teoria del carico cognitivo non nasce occupandosi di multimedialità ma di problem solving e apprendimento di compiti complessi. I ricercatori si sono però presto accorti che **il formato in cui le informazioni sono presentate allo studente influenza i risultati di apprendimento** e hanno quindi concentrato la loro attenzione sullo studio di tali formati. Sono state così individuate una serie di situazioni in cui determinate modalità di impiego del **testo, della grafica e dell'audio hanno un effetto positivo o negativo sull'apprendimento**.<sup>1</sup>

Le informazioni presentate allo studente possono essere suddivise in verbali e non verbali. Gli elementi multimediali corrispondenti all'informazione verbale sono il **testo scritto e il testo parlato**; per l'informazione non verbale

<sup>1</sup> Ricerche e considerazioni simili sono state in seguito sviluppate anche da Richard Mayer, dell'Università della California, a Santa Barbara (Mayer, 2001).

sono tipicamente le **immagini e le animazioni**. Fra questi elementi esistono delle relazioni, che possono essere di tipo spaziale (ad esempio, un testo scritto può essere collocato vicino ad un'immagine o lontano da essa), temporale (ad esempio, un testo parlato può comparire prima, insieme o dopo un'immagine o un elemento animato) o semantico (ad esempio, un testo scritto e uno parlato possono fornire la stessa informazione o meno, un testo scritto e un'immagine possono essere compresi anche isolatamente oppure sono complementari). Nello schema della figura 2 proponiamo una rappresentazione semplificata delle **relazioni fra gli elementi multimediali da considerare per un corretta progettazione didattica**. Nei paragrafi che seguono descriveremo brevemente i principali effetti della multimedialità sul carico cognitivo.<sup>2</sup>

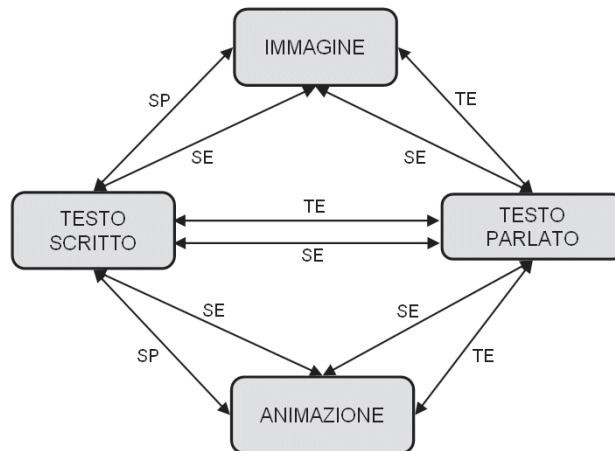


Fig. 2 Relazioni fra gli elementi multimediali

## 5. 1 Effetto dell'attenzione divisa

Uno dei primi effetti individuati analizzando il formato in cui sono presentate le informazioni è stato l'Effetto dell'attenzione divisa. Esso afferma che "La separazione di elementi che devono essere elaborati insieme per la comprensione provoca un carico cognitivo non necessario al processo di apprendimento". In altre parole, **l'apprendimento peggiora se lo studente deve dividere la sua attenzione fra due fonti di informazione entrambe necessarie per la comprensione**. La situazione più tipica di attenzione divisa è quella in cui un testo scritto è spazialmente separato dall'immagine corrispondente. Ci sono però molti altri casi di attenzione divisa, come, ad esempio, la separazione

<sup>2</sup> Per una trattazione più dettagliata, ed alcuni esempi, vedi Landricina (2007) e Clark et al. (2006).

fra il testo principale e le note in un libro, o la lettura di un manuale d'uso di un programma che contemporaneamente richiede di guardare lo schermo per cercare i comandi descritti. Il fenomeno dell'attenzione divisa può anche essere utilizzato per spiegare un altro effetto evidenziato in numerose occasioni, vale a dire che **l'uso di testi, immagini e suoni irrilevanti o gratuiti peggiora l'apprendimento**. In questo caso, l'attenzione si divide fra i contenuti e informazioni che non hanno a che vedere con essi, cioè incoerenti con i processi di apprendimento. Come sottolineato da Calvani «Gli studenti rimangono evidentemente attratti dagli effetti spettacolari che si producono ai loro “click” in un ambiente multimediale; la loro attenzione è così assorbita dalla curiosità di vedere l'effetto da tralasciare la comprensione delle informazioni che vengono presentate [...]» (Calvani, 2007, p. XX).

## 5. 2 Effetto della modalità

L'Effetto della modalità afferma che **“Quando agli studenti sono presentate due fonti di informazione, che si riferiscono l'una all'altra e che non sono comprensibili isolatamente, l'apprendimento migliora quando una fonte di informazione è presentata in modo visivo e l'altra in modo uditivo”**. Questo effetto può essere spiegato con il trasferimento di parte del carico cognitivo dal canale visivo al canale uditivo.

L'effetto della modalità ha luogo solo se la spiegazione è indispensabile per la comprensione dell'immagine e se l'immagine non è troppo complessa. Se un'immagine è complessa, lo studente deve esplorarla visivamente: l'effetto della modalità ha luogo solo se durante la spiegazione audio l'attenzione dello studente è focalizzata con l'ausilio di indicatori visivi sulla parte dell'immagine di cui si sta parlando in quel momento. **Non è quindi sempre vero che la spiegazione di un'immagine con un testo narrato in audio invece che scritto migliora l'apprendimento**. Infine, vale la pena ricordare che la registrazione di un commento audio di qualità professionale è un'attività costosa, per cui bisognerebbe anche valutare, nei casi specifici, se il vantaggio didattico che può derivare dall'inserimento dell'audio è proporzionato ai costi di sviluppo.

## 5. 3 Effetto della ridondanza

**L'Effetto della ridondanza** afferma che **“L'apprendimento peggiora se lo studente deve elaborare simultaneamente due fonti di informazione che hanno lo stesso contenuto”**. Questo effetto è uno dei più controintuitivi dalla teoria del carico cognitivo, in quanto è **contrario alla credenza secondo la quale la ridondanza delle fonti di informazione ha un effetto positivo** sull'apprendimento (in genere motivata con la giustificazione che alcune persone preferiscono



leggere, altre guardare l'immagine, altre ascoltare). In realtà, considerando i meccanismi di funzionamento della memoria di lavoro diventa facilmente comprensibile che **la ridondanza provoca un carico cognitivo estraneo al processo di apprendimento**. Si ha una situazione di questo tipo, ad esempio, quando un testo scritto o parlato non è necessario per la comprensione di un'immagine, o quando il testo parlato si limita a leggere un identico testo presente sullo schermo (quest'ultima situazione è purtroppo molto diffusa).

#### 5. 4 Interazioni fra gli effetti

Un caso particolare è quello del rapporto fra un testo scritto ed un eventuale testo parlato. In questa situazione gli effetti finora presentati interagiscono fra loro. **Se testo scritto e parlato sono identici si ha una situazione di ridondanza, da evitare perché peggiorativa dell'apprendimento**. Invece, se il testo scritto è in forma di parole chiave o brevi segmenti di frase, il testo scritto può aiutare la comprensione e l'organizzazione del testo ascoltato in audio (Mayer e Moreno, 2002). Le parole che compaiono a video devono però essere presenti anche in audio e gli elementi testuali devono comparire in sincronia con i segmenti audio corrispondenti.

Una delle scoperte più singolari della teoria del carico cognitivo è quella dell'Effetto inverso dell'expertise, per il quale "I metodi didattici che aiutano l'apprendimento dei novizi possono avere un effetto negativo sull'apprendimento degli esperti". Questo vale un po' per tutti gli effetti che abbiamo visto finora. Ad esempio, laddove per uno studente non esperto un testo parlato può essere migliore di un testo scritto, per un esperto può essere meglio il contrario. Questo fatto ha conseguenze non indifferenti per la didattica ed è collegato al tema dell'e-learning adattivo (Kaliuga et al., 2003).

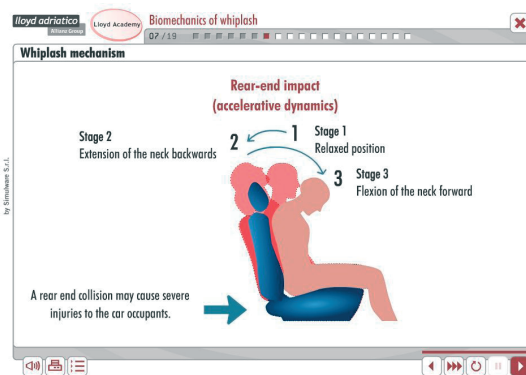


Fig. 3 Esempio di schermata multimediale (fonte Lloyd Adriatico e Simulware).

L'immagine di figura 3 mostra una schermata di un corso multimediale in cui sono stati applicate alcune delle linee guida derivate dalla teoria del carico cognitivo. L'argomento è il "colpo di frusta" negli incidenti stradali. L'immagine (un'animazione di tipo anatomico) è complessa, e non comprensibile isolatamente, per cui è presente un commento audio di spiegazione (per avvalersi dell'effetto di modalità). Il testo scritto non è identico al testo parlato ma consiste di brevi frasi descrittive (per evitare l'effetto della ridondanza) e compare in diversi punti dello schermo, in corrispondenza delle diverse parti dell'immagine (per evitare l'effetto dell'attenzione divisa).

## 6 Carico cognitivo e problem solving

Il carico cognitivo estraneo non dipende solo dal modo in cui sono utilizzati gli elementi multimediali ma anche dai metodi didattici alla base di un ambiente di apprendimento. Ad esempio, **per studenti ancora non esperti, sostituire i problemi presentati convenzionalmente con esempi guidati migliora l'efficienza dell'apprendimento.** La strategia consigliata è quella del backward fading, che consiste nel **passaggio graduale da esempi guidati a problemi**, passando per una fase intermedia di problemi da completare e fornendo via via un numero minore di passi completati. In questa metodologia, si possono trovare dei punti di contatto con il concetto di scaffolding in altri modelli didattici, come ad esempio la teoria dell'apprendistato cognitivo (Collins, 1991). La teoria del carico cognitivo è invece estremamente **critica verso quei metodi di apprendimento "autentico" che mettono subito lo studente in una situazione con un livello di complessità paragonabile ad una situazione reale** (Kirschner, 2006).

## 7 Altri modi per facilitare l'apprendimento

Recentemente, l'attenzione dei ricercatori si è spostata dai metodi per ridurre il carico cognitivo estraneo (che abbiamo visto finora) a quelli per ridurre il carico cognitivo intrinseco (che dipende dalla complessità per lo studente dei contenuti) e per ottimizzare il carico cognitivo rilevante (positivo, perché direttamente collegato alla costruzione di nuovi schemi e quindi all'apprendimento) (Van Merriënboer et al., 2005).

Le variabili su cui è possibile intervenire per ridurre il carico cognitivo intrinseco sono la **segmentazione dei contenuti**, **l'ordine in cui si decide di presentarli** allo studente (sequencing) e il **livello di controllo dello studente sul ritmo di presentazione** delle informazioni (pacing). La segmentazione dei contenuti in maniera da favorire i processi di apprendimento è particolarmente importante quando lo studente deve apprendere processi o procedure complesse: in questi casi, l'elaborazione può essere facilitata **isolando la presenta-**

zione dei singoli elementi da quella delle loro relazioni reciproche. Il pacing è particolarmente importante per ambienti multimediali in cui sono presenti animazioni e filmati.

Fra i metodi consigliati per ottimizzare il carico cognitivo rilevante, citiamo il metodo dei problemi a contesto variato (varied context examples), che consiste nel presentare allo studente dei problemi superficialmente diversi ma strutturalmente simili fra loro (l'obiettivo è facilitare la costruzione di schemi mentali flessibili, basati su principi generali e applicabili in contesti diversi), i metodi che stimolano e facilitano la ripetizione mentale (per facilitare l'automazione degli schemi mentali acquisiti) e l'immaginazione attiva (Clark et al. 2006).

## 8 Conclusione

La progettazione e lo sviluppo di corsi e-learning di elevata qualità didattica richiede la conoscenza e l'applicazione di principi di Instructional Design. In questo ambito, la teoria del carico cognitivo fornisce delle indicazioni operative di facile ed immediata applicazione. Tali indicazioni sono basate sui risultati delle Scienze cognitive e su una solida ricerca empirica. Esse consentono quindi a progettisti didattici e multimediali di prendere decisioni più funzionali all'apprendimento. Il passaggio da una visione principalmente tecnologica dell'e-learning ad una visione orientata all'efficienza dell'apprendimento comporta una maggiore focalizzazione sull'interazione fra struttura dei contenuti (cosa imparare), architettura cognitiva umana (come si impara) e ambiente di apprendimento (dove si impara). Si possono così con maggiore probabilità evitare gli errori e le false partenze che possono talvolta caratterizzare il rapporto fra tecnologia e apprendimento.

## BIBLIOGRAFIA

---

- Baddeley A. (1992), *La memoria umana. Teoria e pratica*, Editore Il Mulino, Bologna.
- Calvani A. (2007), *ICT e scuola. Processi cognitivi ed ecologia dell'apprendere*, in: Calvani A., (a cura di), *Tecnologia, scuola, processi cognitivi. Per una ecologia dell'apprendere*. 15-54, Milano, FrancoAngeli.
- Clark A. (1999), *Dare corpo alla mente*, McGraw-Hill Companies.
- Clark R. C., Nguyen F., Sweller J. (2006), *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load*, Jossey-Bass Pfeiffer.
- Collins, A. (1991). *Cognitive apprenticeship and instructional technology*. In Idol L. & Jones B. F. (Eds.), *Educational values and cognitive instruction: Implications for reform*, 121-138). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kalyuga S., Ayres P., Chandler P., Sweller J. (2003), *The expertise reversal effect*, *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kirschner P. A., Sweller J., Clark R. E. (2006), *Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching*, *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Mayer R. E. (2001), *Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York.
- Mayer R. E. e Moreno R. (2002), *Verbal redundancy in multimedia learning: when reading helps listening*, *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 153-155.
- Landriscina F. (2007), *Carico cognitivo e impiego della tecnologia per apprendere*, in: Calvani A., (a cura di), *Tecnologia, scuola, processi cognitivi. Per una ecologia dell'apprendere*, 55-78, Milano, FrancoAngeli.
- Miller G. A. (1956), *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*, *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Paas F., Van Merriënboer J. J. G. (1993), *The efficiency of instructional conditions: an approach to combine mental effort and performance measures*, *Human Factors* (35), 737-743.
- Pfeifer R., Bongard J. C. (2006), *How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence*, The MIT Press.
- Sweller J. (1988), *Cognitive load during problem solving: Effects on learning*, *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller J., (2003) *Evolution of human cognitive architecture*, in: Ross, B. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 43, 215-266, San Diego, Academic Press.
- Sweller J., Cooper G. A. (1985), *The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra*, *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.
- Sweller J., Van Merriënboer J. J. G., Paas F. (1988), *Cognitive architecture and instructional design*, *Educ. Psychol. Rev.*, 10, 251-296.
- Van Merriënboer J. J. G., Sweller J. (2005), *Cognitive load theory and complex learning*, *Educ. Psychol. Rev.*, 17, 147-177.