

2. Modelli di riferimento per l'uso didattico della comunicazione visiva

Franco Landriscina

Premessa

In questo capitolo intendiamo selezionare i riferimenti teorici più significativi che attualmente la ricerca ci mette a disposizione per un impiego didattico efficace della comunicazione visiva. Ci soffermeremo in particolare sui possibili elementi di integrazione tra ricerca psicologico-cognitiva e Instructional Design. Dopo una parte preliminare che ha lo scopo fornire una cornice storica del rapporto tra pensiero e visualizzazione e di presentare alcune nozioni di base sui meccanismi della visione, mi soffermo su alcuni modelli emersi nell'ambito della psicologia cognitiva. Cerchiamo di dimostrare come dalla teoria di Mayer, riformulata nell'ambito della Teoria del Carico Cognitivo, possano derivare importanti riferimenti capaci di orientare il progettista didattico e l'educatore che si voglia avvalere di immagini o di multimedia. Se queste indicazioni sono prevalentemente significative in un'ottica di impiego "trasmissivo" della comunicazione visiva, ancor più interessanti appaiono gli studi sui modelli mentali, che forniscono esemplificazioni convincenti sul ruolo che la rappresentazione grafica può svolgere come sostegno alla strutturazione e ristrutturazione dei modelli mentali interni degli allievi.

Introduzione

Nonostante il ricorrente riconoscimento dell'importanza delle immagini nell'apprendimento, le ricerche in questo campo sono relativamente poco numerose. La scuola ha in genere privilegiato il ragionamento astratto e le capacità verbali rispetto alla rappresentazione visiva. Solo negli ultimi anni si sta assistendo a un ritorno di interesse per questo tema. Le ragioni di questo ritardo sono molteplici. Si deve, anzitutto, notare che nel corso dei secoli il rapporto fra immagine e pensiero è stato più volte fonte di opinioni contrapposte. Ne sono periodicamente nati accesi dibattiti fra chi vedeva nell'immaginazione una facoltà indispensabile per il pensiero e chi, invece, la riteneva inutile o controproducente (vedi scheda 1).

Scheda 1. Il controverso rapporto fra immagini e conoscenza

Già nel pensiero greco lo status dell'immagine non è sempre positivo. Per Platone, le immagini sono copie imperfette della realtà materiale, la quale è a sua volta la replica di idee contemplabili solo con l'intelletto. Per tale motivo, nello stato ideale di Platone non c'è posto per gli artisti. Al contrario, per Aristotele lo status dell'immagine rientra nella categoria dell'imitazione della natura (*mimesis*) e può fornire conoscenze valide e accettabili. Nella concezione aristotelica, i sensi sono considerati una fonte di conoscenza attendibile e quindi l'osservazione può fornire una via diretta alla verità. Nel trattato *Dell'anima*, il filosofo afferma che l'immaginazione (*phantasia*) è una funzione conoscitiva intermedia fra la sensazione e il pensiero: non può esserci pensiero senza immagine. Per Aristotele, l'immaginazione è una facoltà che interpreta attivamente i dati della percezione, anche visiva, e produce, immagazzina e recupera immagini. Questa facoltà, direttamente legata al senso della visione, riceverà un'inedita attenzione nel Rinascimento, dove pensatori come Marsilio Ficino proporranno una "mnemotecnica" consistente nel tracciare nella propria mente la struttura di un palazzo o di una città, e collocare in essa delle immagini corrispondenti alle conoscenze da memorizzare.

Nella scienza aristotelica, la conoscenza della natura poteva contare in modo diretto sull'osservazione empirica dei fenomeni. Negli erbari medievali, ad esempio, le piante non erano mai rappresentate isolatamente dal contesto di un terreno e di dettagli legati all'attività umana o al moto degli astri. Similmente, le stampe a incisione dell'età barocca sono ricche di scene naturalistiche minuziosamente illustrate in ogni particolare. Ad esempio, per descrivere il moto del proiettile di un cannone l'artista ricorreva a dettagli paesaggistici che oggi ci sembrano del tutto inutili ai fini della comprensione.

Con la nascita della scienza moderna la natura e la tecnica diventano sempre più guidate da leggi che vanno al di là della capacità dei sensi. Di conseguenza, lo stile delle immagini cambia drasticamente. Galileo, Cartesio e Newton erano abili disegnatori e usarono l'illustrazione per presentare le loro teorie. Sono però immagini che non hanno un referente percettivo nel mondo reale, che rappresentano ciò che non può essere visto, oggi diremmo dei modelli visivi. In particolare, con l'affermarsi della meccanica newtoniana, le apparenze degli oggetti non svolgono più alcun ruolo ma contano solo le masse e le forze che agiscono su di esse. Per rappresentare i concetti astratti di massa e forza, Newton ricorre quindi a punti e frecce, in modo analogo alla geometria. Per rappresentare il moto di un proiettile diventa così sufficiente il grafico della sua traiettoria, anticipando così gli schemi visivi astratti con cui oggi descriviamo sempre più spesso la realtà.

All'inizio del ventesimo secolo, ritroviamo la distinzione aristotelica fra sensazione, immaginazione e pensiero nelle teorie della nascente psicologia scientifica. Secondo lo strutturalismo (scuola psicologica che intendeva descrivere la struttura del pensiero in termini di elementi primitivi dell'esperienza mentale) le immagini sono una componente necessaria del pensiero, mentre per la scuola di Würzburg (che introdusse il metodo dell'introspezione) è possibile un pensiero senza immagini. Il dibattito proseguì fino all'avvento del comportamentismo, che mise da parte tutto ciò che era in odore di "mentalismo" per mettere al centro della ricerca psicologica lo studio dei comportamenti osservabili.

La comunità scientifica non ha sempre accettato l'immagine sullo stesso piano delle formule matematiche e della logica. Negli anni '20, il dibattito sulla

visualizzazione assunse toni molto accesi fra i fisici quantistici. Per Heisenberg, che aveva proposto un'interpretazione della fisica delle particelle elementari basata sul formalismo matematico astratto delle matrici, la visualizzazione non era di nessuna utilità per il progresso della fisica. Heisenberg sosteneva che l'elettrone in orbita intorno al nucleo non era solo "inosservabile" ma anche "invisualizzabile". Al contrario, per Schrödinger, che aveva proposto la teoria ondulatoria dell'elettrone, la visualizzabilità dei fenomeni non doveva essere abbandonata perché di aiuto alla scoperta scientifica. Fra coloro che in tempi recenti hanno contribuito a una valutazione positiva della visualizzazione come strumento di conoscenza vi è il matematico francese Jacques Hadamard, che nel suo libro del 1945 "La psicologia dell'invenzione in campo matematico", descrive il pensiero matematico come attività che in gran parte non si serve di parole ma di immagini mentali, portando l'esempio di famosi scienziati fra cui Albert Einstein.

Filosofi e psicologi hanno spesso cercato un'attività mentale "pura", cioè non legata ai sensi, fra cui appunto il senso della vista. La psicologia cognitiva, nata negli anni '60, ha inizialmente privilegiato lo studio dei processi della memoria e del ragionamento a quelli della visione. Negli anni '70, gli esperimenti di Shepard e Metzler sulla "rotazione mentale" di immagini riportarono l'attenzione dei ricercatori sugli aspetti visivi del pensiero (Shepard e Metzler 1971, Shepard, Cooper *et al.*, 1982). Subito dopo, Kosslyn e i suoi collaboratori produssero evidenze sperimentali per la "scansione mentale" di immagini (Kosslyn, 1973, 1980). Per Shepard e Kosslyn il pensiero può operare con processi di immaginazione visiva basati su proprietà spaziali e in grado di rappresentare l'informazione in modo "analogico", cioè diverso dal tipo di rappresentazione "digitale" proposta dalle teorie computazionali, basate sull'analogia fra mente e computer. Secondo le teorie computazionali, le immagini mentali sono basate su rappresentazioni sottostanti di tipo linguistico, senza nessuna proprietà visuo-spaziale, esattamente come avviene in un computer, dove sullo schermo si vedono delle immagini, ma nella memoria ci sono solo 0 e 1, interpretati come immagini da un programma (Pylyshin, 1973).

Oggi è opinione diffusa fra gli scienziati cognitivi che il cervello rappresenti le informazioni sia in modo analogico (quindi visivo) che simbolico (quindi verbale). Tuttavia, la natura esatta di queste rappresentazioni non è stata ancora determinata.

La percezione visiva

Secondo una concezione ingenua del senso comune, la visione consiste in una fedele riproduzione interna della realtà. Guardando davanti a noi, abbiamo l'impressione di cogliere come immagine tutto ciò che si trova di fronte ai nostri occhi. Possiamo chiamare questa concezione ingenua "visione passiva". La moderna scienza della visione fornisce però una diversa interpretazione (Findlay e Gilchrist 2003). In ogni istante, infatti, selezioniamo solo una piccola parte delle informazioni che ci circondano, vale a dire quelle che servono per svolgere il compito in cui siamo impegnati in quel momento. Le nostre capacità attentive sono limitate e le informazioni non collegate a quello che stiamo facendo sono velocemente rimpiazzate da altre informazioni.

I recettori della retina non sono distribuiti omogeneamente ma sono maggiormente presenti in una piccola zona centrale detta "fovea". L'acuità della visione in questa regione è molto buona, ma fuori di essa l'occhio umano è più sensibile al movimento che alla risoluzione dell'immagine. Ciononostante, abbiamo la sensazione di vivere in un mondo visivamente ben definito, perché i nostri occhi si spostano fino a tre o quattro volte in un secondo con movimenti di cui non siamo coscienti, che prendono il nome di "saccadi". Questi movimenti hanno lo scopo di portare sulla fovea la luce proveniente da un determinato punto dello spazio.

Durante il movimento degli occhi la visione è brevemente soppressa, e di conseguenza l'informazione visiva è formata da una serie di istantanee di punti diversi della scena, separate da brevi interruzioni. Il sistema visivo riesce però a integrare le informazioni da un movimento oculare all'altro mantenendo traccia per alcuni secondi delle posizioni già visitate. L'impressione soggettiva di percepire istantaneamente quello che abbiamo davanti agli occhi deriva perciò dal fatto che grazie ai movimenti oculari siamo in grado di campionare rapidamente un punto qualunque della scena. Questa nuova concezione della visione prende il nome di "visione attiva" (scheda 2). In questa concezione, la percezione visiva è un processo attivo e dinamico, che consiste essenzialmente in una serie di atti di attenzione (Ware, 2008). Come vedremo, ciò ha delle conseguenze anche sull'uso didattico della comunicazione visiva.

Scheda 2. La visione attiva

Chi o cosa decide dove lo sguardo si dirigerà in un determinato momento? A farlo sono due tipi di processi: bottom-up e top-down. In un processo bottom-up la percezione è guidata dalle configurazioni di luce che colpiscono la retina. Certe configurazioni (pattern) balzano all'occhio senza nessuno sforzo di attenzione da parte nostra. Gli effetti più forti di questo tipo si hanno quando un singolo oggetto differisce da altri oggetti che lo circondano per qualche caratteristica distintiva. Ad esempio, una linea inclinata verso destra in mezzo ad altre righe tutte orientate verso sinistra. Perché avviene questo? L'informazione arriva a un'area della corteccia visiva chiamata V1, localizzata nella corteccia occipitale. La funzione adattiva della visione è determinare cosa stiamo guardando e *dove si trova* rispetto a noi e agli altri oggetti. Per fare questo, dall'area V1 hanno origine due percorsi di elaborazione dell'informazione che hanno proprio questo compito. Circa cinque miliardi di neuroni elaborano in parallelo l'informazione, per estrarne delle caratteristiche di basso livello (feature). Gruppi di neuroni rispondono selettivamente a piccoli pacchetti di luce con determinate caratteristiche, comportandosi come dei canali sensibili alle feature. Il nostro sistema visivo è sintonizzato in modo naturale sui seguenti canali: orientamento, dimensione, contrasto, colore, profondità, direzione del movimento, convessità. L'informazione relativa alle feature è utilizzata per costruire dei pattern (ad es. semplici combinazioni di linee e colori). In un ulteriore stadio, localizzato nella corteccia temporale inferiore, i pattern formano degli oggetti. Questa modalità di funzionamento del sistema visivo ci consente di elaborare lo stimolo in modo globale, e quindi riconoscere gli oggetti come appartenenti a una categoria (es. tazza), e in modo locale, quindi identificare un particolare membro della categoria (es. la mia tazza). Un altro sistema di elaborazione dell'informazione, localizzato nella corteccia parietale posteriore, consente invece di determinare dove si trova un oggetto ed è per questo coinvolto nella pianificazione del movimento e nel controllo dello sguardo.

Queste fasi di elaborazione corrispondono a un flusso di informazioni dall'esterno all'interno. Un flusso altrettanto importante, però in direzione opposta, è quello dei processi top-down. In questi processi l'attenzione non è guidata dallo stimolo ma dalla natura del compito. Se dobbiamo cercare una tazza da tè nella credenza, i centri attentivi del cervello, localizzati nella corteccia prefrontale, invieranno dei segnali alla corteccia visiva per facilitare l'attività dei neuroni sensibili alle feature che caratterizzano la forma di una tazza.

Una volta individuato, un oggetto è automaticamente associato ai vari tipi di conoscenza che abbiamo di esso. Sappiamo, ad esempio, che si chiama "tazza", serve per bere, ha un certo peso, è fatto di certi materiali e così via. La pianificazione dei movimenti oculari dipende quindi anche dalle pre-conoscenze accumulate nelle esperienze precedenti. Non esiste un "omuncolo" seduto da qualche parte dentro il cervello che decide cosa guardare. Il processo è determinato momento per momento dall'interazione reciproca di processi bottom-up e top-down.

Il linguaggio visivo

I processi di elaborazione dell'informazione che avvengono nella visione costituiscono la base di quella sofisticata capacità umana di rappresentazione del mondo esterno, di comunicazione e di soluzione

di problemi che prende il nome di “linguaggio visivo”, di cui vedremo ora alcuni aspetti che riguardano anche l’apprendimento.

La caratteristica distintiva del linguaggio visivo è di utilizzare dei pattern che derivano dalla somiglianza con l’oggetto rappresentato. Questi pattern sono costituiti da segni grafici come punti, linee, frecce, e forme e dalle proprietà spaziali della loro disposizione, come la posizione e l’allineamento. La psicologia della Gestalt¹ ha investigato la disposizione della mente umana a percepire negli stimoli dei pattern in base a semplici regole, formulando al riguardo quelli che sono note come “leggi della Gestalt” o “principi di organizzazione” (tab. 2.1).

Tabella 2.1
Principi di organizzazione

Principio	Definizione	Esempio
<i>Pregnanza</i>	Le persone tendono a organizzare le loro esperienze nel modo più regolare, ordinato, simmetrico e semplice	Il simbolo delle Olimpiadi viene sempre percepito come composto da due file di cerchi
<i>Prossimità</i>	Le persone tendono a percepire come un'unità elementi vicini tra loro	In un sfilata militare i soldati allineati gli uni agli altri formano delle righe
<i>Similarità</i>	Le persone tendono a percepire come un'unità elementi simili tra loro	Allo stadio i tifosi riescono a formare delle scritte indossando magliette dello stesso colore
<i>Chiusura</i>	Le persone tendono a completare le parti mancanti di una figura chiusa per formare un'immagine completa	Paolo riconosce il personaggio di una foto a cui mancano dei pezzi
<i>Buona continuazione</i>	Quando c'è un'intersezione fra due o più oggetti, le persone tendono a percepire ogni oggetto come privo di interruzioni	Le linee che delimitano le carreggiate ad un incrocio stradale
<i>Destino comune</i>	Le persone tendono a percepire come un'unità elementi che si muovono nella stessa direzione e alla stessa velocità	Due stormi di uccelli che s'incrociano continuano a essere percepiti come stormi separati sulla base della direzione complessiva

¹ Scuola psicologica che si sviluppò in Germania agli inizi del ventesimo secolo, focalizzata sugli aspetti percettivi ed olistici del pensiero.

		del volo di ciascuno di essi
--	--	------------------------------

In modo suggestivo, la psicologa Barbara Tversky (2010) collega i principi della Gestalt alle azioni con cui già l'uomo preistorico organizzava lo spazio in cui viveva, raggruppando intorno a sé gli oggetti per facilitarne l'impiego, e che ancora oggi utilizziamo per organizzare la nostra vita di tutti i giorni. Ad esempio, il principio di somiglianza facilita la percezione dei libri che ordiniamo per collane in una libreria e quello di prossimità la percezione delle posate che mettiamo l'una vicino all'altra nel cassetto della cucina.

Il nostro sistema visivo ha una predisposizione naturale per esplorare il mondo in modo bidimensionale. Le due dimensioni, alto/basso e sinistra/destra, sono molto più facili da esplorare che la dimensione vicino/lontano della profondità. La nostra capacità di elaborazione di pattern visivi è dedicata quasi interamente alle due dimensioni del piano. Per questo motivo, nel linguaggio visivo le rappresentazioni bidimensionali, come schizzi, grafici e diagrammi, sono le più utilizzate e risultano in genere più comprensibili della grafica tridimensionale.

Alcuni aspetti del linguaggio visivo sono determinati dalle caratteristiche del sistema visivo mentre altri sono influenzati da fattori culturali. Ad esempio, quando il tempo è rappresentato con una linea, l'orientazione di tale linea è sempre orizzontale, indipendentemente dalla cultura. La direzione di incremento del tempo dipende invece da un fattore culturale, vale a dire la direzione della scrittura: il tempo scorre da sinistra a destra in alcune culture, da destra a sinistra in altre². La rappresentazione di quantità o preferenze non riflette invece differenze culturali. La direzione verso l'alto corrisponde sempre a "di più", quella verso il basso a "di meno". La ragione è da cercare nell'asimmetria verticale del nostro corpo e nel fatto che quando s'incrementa la quantità di qualcosa, ad esempio un mucchio di monete, se ne aumenta in genere anche l'altezza (Tversky 2010).

² Ancora più antica della rappresentazione lineare del tempo è quella circolare, collegata al moto del sole e delle stelle. Ne sono esempi il ciclo zodiacale e la medievale "ruota della fortuna".

Codice visivo e codice verbale a confronto

Nell'uso didattico delle immagini, queste non compaiono quasi mai isolatamente bensì accompagnate a un testo scritto, come nel caso di un libro, o parlato, come nel caso di una lezione o di un filmato. Si deve quindi considerare anche il rapporto fra l'informazione visiva e quella verbale. Cosa differenzia fra loro queste due forme di comunicazione? Quali contenuti sono comunicabili meglio in una forma che in un'altra? Abbiamo visto che il linguaggio visivo comunica dei significati attraverso pattern che hanno una relazione di somiglianza con l'oggetto rappresentato. Al contrario, il pensiero verbale è un sistema di simboli convenzionali e di regole per la loro combinazione. I simboli verbali non hanno nessuna somiglianza con l'oggetto che rappresentano. Ad esempio, la parola "tazza" non ha nessuna somiglianza con una tazza. Una certa confusione può derivare dal fatto che il linguaggio verbale non si esprime solo in modo parlato, ma può esprimersi anche in modo scritto o gestuale, quindi visivamente³. La codifica e l'elaborazione delle immagini sono però diverse da quelle delle parole, parlate o scritte. Il rapporto fra parole, immagini e pensiero è stato esaminato dallo psicologo canadese Allan Paivio nella sua teoria della doppia codifica, *dual-coding theory*, che come vedremo ha avuto una notevole influenza anche sulle moderne teorie dell'apprendimento multimediale (scheda 3).

Scheda 3. La teoria della doppia codifica

Per la teoria della doppia codifica (Paivio, 1971, 1990) l'informazione verbale e quella non verbale sono codificate dal sistema cognitivo umano in modo diverso ed elaborate in canali separati, indipendenti ma interconnessi. Le immagini sono codificate in modo analogico, cioè mantenendo una somiglianza con lo stimolo visivo, mentre l'informazione verbale, è rappresentata in modo simbolico, cioè da simboli convenzionali. I due sistemi sono però correlati: possiamo formarci l'immagine mentale di un albero e quindi descriverla con la parola "albero", oppure ascoltare la parola "albero" e quindi formarci una corrispondente immagine mentale.

La teoria prevede che le parole che hanno come referente un oggetto concreto sono ricordate meglio di quelle astratte, perché sono codificate anche come immagine. Questa ipotesi è stata confermata in esperimenti di riconoscimento o di rievocazione libera. Gli esperimenti mostrano anche che le immagini sono a loro volta ricordate meglio delle parole concrete.

³ È il caso del linguaggio dei segni dei sordomuti, che è di tipo verbale anche se espresso visivamente.

Per Paivio, al sistema verbale e a quello non verbale corrispondono due distinti tipi di unità di informazione, chiamati rispettivamente logogeni e imageni. Le parole concrete si ricordano meglio di quelle astratte perché il sistema verbale attiva il sistema visivo attraverso delle connessioni referenziali fra logogeni e imageni. La distinzione fra un sistema visivo e uno verbale nei processi di memoria troverà uno sviluppo nel modello della memoria di lavoro di Baddeley (1992) in cui sono presenti due sottosistemi separati per questi due tipi di informazione (scheda 5).

Dal punto di vista funzionale, la distinzione più importante è che il sistema verbale è specializzato per l'elaborazione sequenziale, un'unità di informazione alla volta, mentre quello non verbale per l'elaborazione parallela, molte unità d'informazione in sincronia.

Nonostante si dica che “un'immagine vale mille parole”, ciò non è sempre vero. Alcuni tipi d'informazione si esprimono meglio in modo verbale che visivo. Provate a comunicare con un'immagine la frase: “Se domani pioverà allora dovremo rimandare la partita, altrimenti giocheremo”. La difficoltà deriva dal fatto che per comunicare azioni e intenzioni facciamo uso di operatori condizionali come “se”, “ma”, “allora”, “altrimenti”, “tuttavia”, “mentre” che non hanno un corrispettivo visivo. Un esempio di questa difficoltà è il fallimento del tentativo di trasformare un linguaggio di tipo verbale, quello dei linguaggi di programmazione in informatica, in uno visivo, quello dei diagrammi di flusso. Negli anni '80, l'uso dei diagrammi di flusso era diventato quasi obbligatorio. Col tempo ci si è però resi conto che altre tecniche, non visive, sono molto più facili da interpretare, come ad esempio la tecnica del “pseudo-codice”, in cui le istruzioni di programmazione sono scritte in modo simile al linguaggio di tutti i giorni (Ware 2008).

La comunicazione visiva

La comunicazione visiva è la comunicazione di informazioni e idee attraverso mezzi visibili. I suoi canali principali sono libri, riviste, cartelloni pubblicitari, film, programmi televisivi, computer e così via. La forma di comunicazione visiva più diffusa è l'immagine, statica o animata.

La comunicazione visiva è uno degli oggetti di indagine della semiotica, disciplina che ha per oggetto lo studio comparato dei segni. Senza entrare nel complesso ambito di questa disciplina (Gensini 2002)

ci limitiamo qui a ricordare l'utile distinzione fra diversi tipi di segno. In semiotica, il segno è tale in virtù dell'interazione fra un supporto materiale (veicolo segnico), un interpretante (soggetto) e un referente (oggetto esterno). Ciò significa che il rapporto fra segno e referente è sempre mediato da un'interpretazione del soggetto, nel nostro caso lo studente. In base alla relazione istituita fra segno e referente, si distinguono tre tipi di segni (tab. 2.2).

Tabella 2.2
Classificazione dei segni

Tipo di segno	Relazione segno-referente	Esempio
<i>Icona</i>	Somiglianza	Un disegno che rappresenta un gatto
<i>Indice</i>	Orientamento, contiguità o connessione con l'oggetto indicato	Un'indicazione di direzione Il livello del mercurio nella colonna di un termometro
<i>Simbolo</i>	Convenzione	Le lettere dell'alfabeto Il simbolo dell'Euro

Come si noterà, la distinzione fra icona e simbolo corrisponde a quella più generale fra immagini e parole. L'indice, deriva invece dalla comunicazione gestuale, pur avendo dei corrispettivi sia nel linguaggio verbale (l'uso di dimostrativi, pronomi e avverbi) che visivo (elementi grafici come frecce ed evidenziazioni). Non è infrequente trovare questi tre tipi di segno in un'unica immagine. Ad esempio, in un'illustrazione del ciclo dell'acqua, possiamo trovare la rappresentazione dell'ambiente (icone), frecce che indicano il movimento dell'acqua da una zona all'altra (indici) e scritte (simboli) (Fig. 2.1).

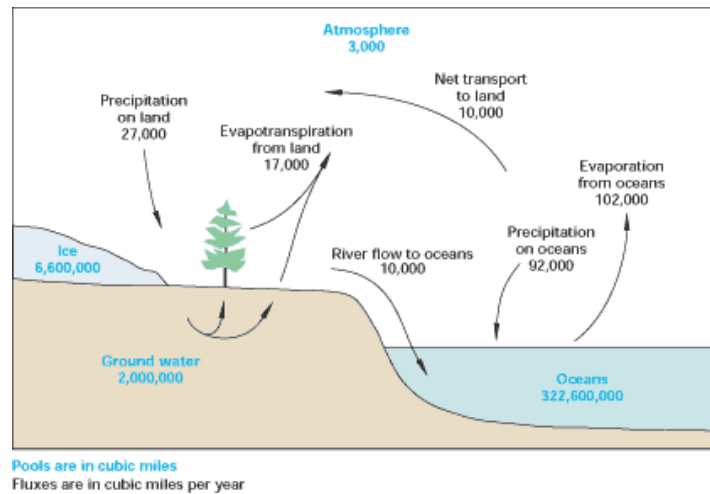


Fig. 2.1 Il ciclo dell'acqua (Fonte: US Geological Survey, Sito Web: www.usgs.gov).

L'attività professionale di creazione immagini per comunicare un messaggio specifico richiede specifiche tecniche di progettazione grafica, che costituiscono l'oggetto del *Graphic design*, una disciplina che si è sviluppata nel secolo scorso in collegamento con la necessità di comunicare in modo efficace una sempre maggiore quantità di informazioni a un sempre maggiore numero di persone (vedi Scheda 4).

Scheda 4. Le origini del Graphic design

Nel 1925, il filosofo austriaco Otto Neurath avviò un metodo di rappresentazione di informazioni sociali, scientifiche e storiche conosciuto come sistema Isotype (International System of Typographic Picture Education) o Metodo Viennese di Statistica Pittorica (Neurath e Kinross 2009). Il sistema era basato su pittogrammi, cioè immagini che rappresentano in modo conciso un'idea o un concetto. L'uso dei pittogrammi e di altre tecniche visive costituiva per Neurath e i suoi collaboratori un vero e proprio linguaggio visivo, da affiancare a quello testuale per mostrare fatti e informazioni complesse evitando dettagli fuorvianti.

Il sistema Isotype ebbe un notevole influsso sullo sviluppo della grafica in Inghilterra e negli Stati Uniti, in particolare nella rappresentazione di dati statistici ed economici e nella creazione di sistemi internazionali di simboli, come quelli degli aeroporti e della segnaletica stradale. La sua influenza è ancora viva nel campo della "infografica" (Tufte 1983, 1990) e nelle icone che troviamo sugli schermi dei computer e dei telefoni cellulari.

Collezioni di pittogrammi e pubblicazioni realizzate con questo metodo si possono trovare sui siti Web "Gerd Arntz Web Archive" (gerdarntz.org/) e "The Visual Telling of Stories" (www.fulltable.com/iso/index.htm).

In un progetto di comunicazione visiva, lo scopo del Graphic design è di facilitare attraverso l'uso di immagini compiti come:

- cercare un'informazione in un catalogo;
- identificare le parti di un oggetto;
- orientarsi in un edificio;
- comprendere il funzionamento di un dispositivo;
- individuare l'andamento dei dati in un grafico.

Il Graphic design si avvale di strumenti come la composizione, la tipografia, l'uso di codici visivi per identificare i livelli gerarchici dell'informazione. Una tecnica di Graphic design consiste nello scegliere le proprietà di un'immagine in modo da guidare i movimenti oculari di chi la guarda verso gli elementi su cui si vuole che si diriga la sua attenzione. In un'immagine, un elemento sarà tanto più distinguibile e attirerà l'attenzione quanto maggiore sarà la differenza fra le sue proprietà e quelle degli altri elementi per caratteristiche come orientamento, dimensione, colore, profondità, direzione del movimento o convessità (scheda 1). Ad esempio, quando i programmi di posta elettronica fanno comparire un riquadro nella parte inferiore dello schermo per avvisarci dell'arrivo di un messaggio utilizzano il movimento per attirare l'attenzione su un elemento fuori del punto di fissazione visiva. Sempre allo scopo di facilitare e orientare la percezione di un'immagine, nel Graphic design si fa un uso costante dei principi di organizzazione enunciati dalla psicologia della Gestalt (tab. 2.1). Ciò è significativo anche per l'uso didattico delle immagini, in quanto aspetti come la simmetria e la semplicità non sono artifici estetici ma mettono direttamente in gioco processi di pensiero legati all'apprendimento e alla risoluzione di problemi. Pur rientrando, come sottolineato da Calvani (Cap. 1), in un aspetto più "trasmissivo" che didattico, la conoscenza dei principi di base del Graphic design può quindi aiutare l'insegnante a creare materiali didattici più efficaci e a orientarsi fra le molteplici possibilità connesse alla visualizzazione delle informazioni⁴.

⁴ Per un'agevole introduzione a questi principi, vedi Williams (2004). Resnick (2003) offre un percorso sistematico di acquisizione delle tecniche del Graphic design. Alcuni

Immagini e didattica

Entriamo qui più specificatamente nell'ambito degli usi didattici delle immagini. A questo riguardo, può essere utile distinguere un aspetto *descrittivo*, relativo ai diversi tipi di immagini da utilizzare, da uno *prescrittivo*, relativo a quello che oggi si sa sull'uso didatticamente efficace delle immagini e sugli errori da evitare.

I riferimenti teorici e metodologici di maggiore rilievo a cui faremo riferimento sono:

- per la parte descrittiva: la tassonomia delle funzioni comunicative e psicologiche delle immagini proposta da Clark e Lyons (2010);
- per la parte prescrittiva: le teorie dell'apprendimento multimediale (Mayer 2005, Sweller 2010).

Infine, ci soffermeremo sulle teorie dell'apprendimento per cambiamento dei modelli mentali (Johnson-Laird 1998, Seel 2003).

Funzioni comunicative delle immagini

Delle indicazioni utili per orientarsi a scopo didattico fra i diversi tipi di immagine e sono fornite da Clark e Lyons (2010). Secondo le autrici, si deve anzitutto distinguere fra le *caratteristiche superficiali* di un'immagine e le sue *funzioni comunicative*. Le caratteristiche superficiali sono relative all'aspetto di un'immagine e al modo in cui è stata creata (tab. 2.3). Le caratteristiche superficiali influiscono solo marginalmente sull'efficacia didattica, ma possono condizionare la scelta degli strumenti tecnologici e quindi i costi a essi collegati.

Le funzioni comunicative sono invece relative agli aspetti "trasmissivi" dell'immagine, cioè a come essa trasmette informazioni (tab. 2.4).

esempi si possono vedere anche nel sito "Graphic Design: The New Basics" (www.gdbasics.com/).

Tabella 2.3

Caratteristiche superficiali delle immagini (adattato da Clark e Lyons, 2010)

Tipo	Caratteristica saliente
<i>Immagine statica</i>	Illustrazione
	Immagine fotografica
	Immagine modellizzata (generata al computer)
<i>Immagine animata</i>	Animazione
	Video
	Realtà virtuale

Tabella 2.4

Funzioni comunicative delle immagini (adattato da Clark e Lyons, 2010)

Funzione	Scopo	Esempio
<i>Decorativa</i>	Estetico o umoristico	L'immagine sulla copertina di un libro
<i>Rappresentativa</i>	Mostrare un oggetto o una situazione	Il disegno o la foto di un cane pastore tedesco
<i>Mnemonica</i>	Fornire indizi visivi per il ricordo di informazioni fattuali	La sagoma di un cane per ricordare il concetto "cane"
<i>Organizzativa</i>	Mostrare relazioni qualitative fra elementi	Un organizzatore grafico dei contenuti di una lezione
<i>Relazionale</i>	Mostrare relazioni quantitative fra due o più variabili	Un grafico matematico o statistico
<i>Trasformativa</i>	Mostrare i cambiamenti di un oggetto nello spazio o nel tempo	Le immagini per il montaggio di un mobile
<i>Interpretativa</i>	Illustrare una teoria o un processo	Un disegno semplificato della circolazione cardiaca

Funzioni psicologiche delle immagini

La considerazione delle sole funzioni comunicative non è di per sé sufficiente a valutare i diversi modi in cui un'immagine può favorire l'apprendimento. Come sottolineato da Calvani (cap. 1), se si parla di apprendimento significativo "cambiano le regole del gioco" e bisogna considerare più da vicino i processi cognitivi coinvolti nell'interazione fra studente e immagine. Clark e Lyons (2010) forniscono a questo scopo un'utile tassonomia delle funzioni psicologiche delle immagini (tab. 2.5). Nel seguito del capitolo ci soffermeremo in modo specifico

su due di queste funzioni: la minimizzazione del carico cognitivo e la costruzione di modelli mentali.

Tabella 2.5

Funzioni psicologiche delle immagini (adattato da Clark e Lyons, 2010)

Funzione	Scopo
<i>Supporto all'attenzione</i>	Attrarre l'attenzione sugli elementi visivamente importanti
<i>Attivazione della conoscenza</i>	Facilitare il recupero delle conoscenze pre-esistenti e l'integrazione delle nuove informazioni
<i>Minimizzazione del carico cognitivo</i>	Minimizzare il carico cognitivo estraneo imposto alla memoria di lavoro durante l'apprendimento
<i>Costruzione di modelli mentali</i>	Facilitare la costruzione di nuovi schemi mentali e la loro integrazione con quelli esistenti
<i>Supporto al transfer dell'apprendimento</i>	Rappresentare caratteristiche chiave dell'ambiente in cui si dovrà applicare quanto appreso
<i>Supporto alla motivazione</i>	Rendere il materiale interessante senza ostacolare l'apprendimento

L'apprendimento multimediale

La comprensione del rapporto fra immagini e apprendimento si è arricchita dei contributi di due teorie nate negli anni '90 e che hanno recentemente trovato grande diffusione:

- la teoria cognitiva dell'apprendimento multimediale, di Richard Mayer, della University of California di Santa Barbara;
- la teoria del carico cognitivo, di John Sweller, della University of New South Wales, in Australia.

Per semplicità, le indicheremo di seguito con gli acronimi dei loro nomi inglesi: MCLT (*Multimedia Cognitive Learning Theory*) e CLT (*Cognitive Learning Theory*).

Le due teorie sono molto simili. Entrambe partono da presupposti identici sulla natura dell'apprendimento e sulle caratteristiche del sistema cognitivo umano. Entrambe sono basate su evidenze empiriche raccolte in numerosi esperimenti di laboratorio. Differiscono, però, per il loro livello di approfondimento concettuale, in quanto la teoria di Mayer si limita a enunciare una serie di principi generali sui diversi formati di apprendimento multimediale, mentre quella di Sweller ha fornito, attraverso l'importante concetto di "carico cognitivo" una

chiave interpretativa di più vasta portata e di maggiore rilievo scientifico.

La teoria cognitiva dell'apprendimento multimediale

Mayer definisce “apprendimento multimediale” la costruzione di rappresentazioni mentali a partire da parole e immagini, dove le parole possono essere in forma di testo scritto o parlato e le immagini di illustrazioni, foto, animazioni o filmati.

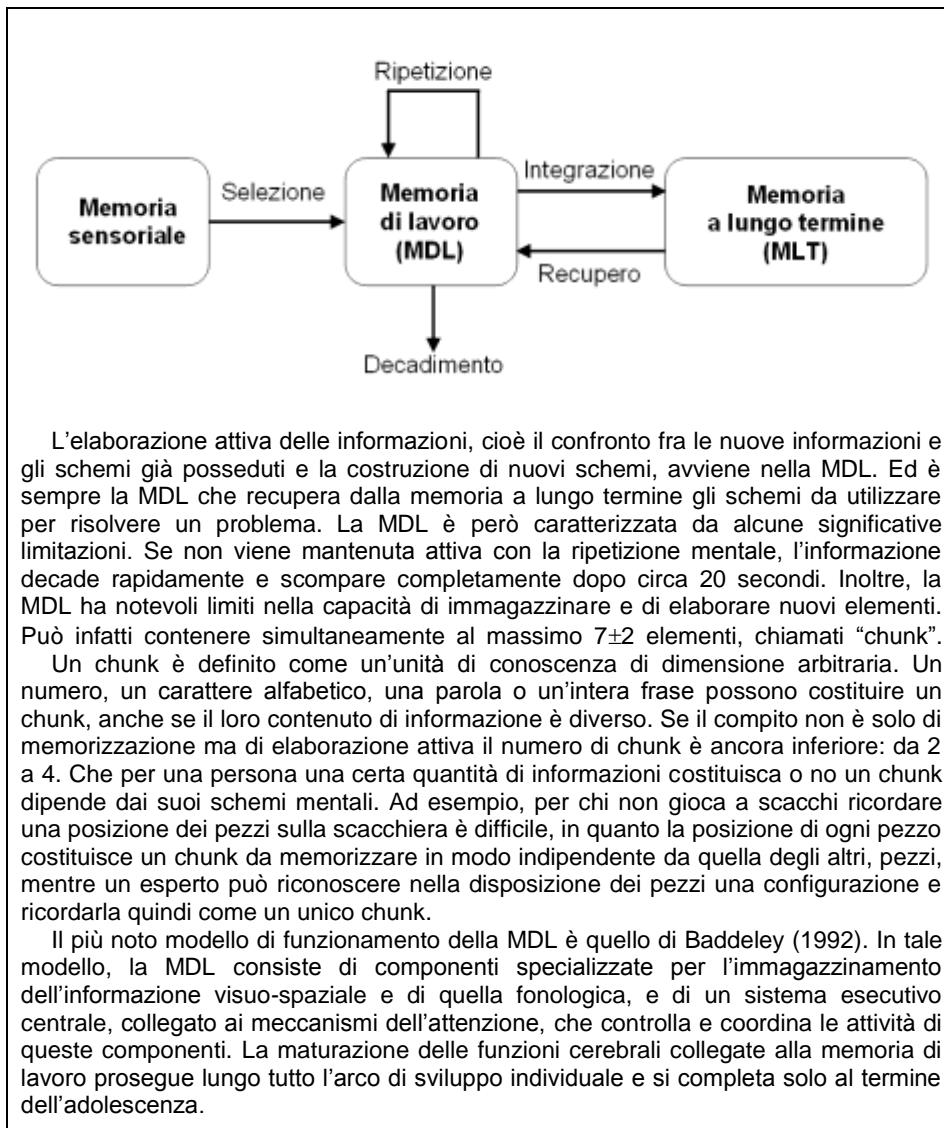
La MCLT si basa sulle seguenti ipotesi:

1. le rappresentazioni visive e verbali sono elaborate in canali separati;
2. la capacità di elaborazione dell'informazione di questi canali è limitata;
3. l'apprendimento ha luogo quando lo studente elabora attivamente le parole e le immagini rilevanti, vale a dire *seleziona* in ciascun canale delle informazioni rilevanti, le *organizza* in rappresentazioni coerenti e le *integra* fra loro e con le conoscenze già possedute.

Il primo punto proviene dalla teoria della doppia codifica di Paivio, vista in precedenza (scheda 3). Il secondo deriva invece dalle ricerche sulla memoria di lavoro, che hanno riconosciuto a questa componente della nostra memoria un ruolo attivo nell'elaborazione di nuove informazioni e quindi nell'apprendimento (scheda 4).

Scheda 5. La memoria di lavoro

La memoria di lavoro (MDL) è una componente attiva del nostro sistema della memoria. La sua funzione è di codificare, organizzare e integrare le nuove informazioni. Una delle conseguenze di questa elaborazione è la costruzione di schemi mentali, che possono essere immagazzinati in modo permanente nella memoria a lungo termine (MLT).



L'*elaborazione attiva* delle informazioni, cioè la loro selezione, organizzazione e integrazione, viene rappresentata nella MCLT con un modello visivo che mostra il flusso dell'informazione fra le diverse componenti del sistema della memoria (fig. 2.2)



Fig. 2.2 L'elaborazione attiva delle informazioni (adattato da Mayer 2003).

Mayer e collaboratori hanno condotto numerosi esperimenti in cui si confrontano i risultati di apprendimento di due gruppi di studenti, che devono apprendere gli stessi contenuti presentati in formati diversi. I ricercatori sono partiti dal caso più semplice, il confronto fra un formato solo testo e uno con testo e immagine, per poi esaminare con gradualità situazioni più complesse. Cosa succede se l'immagine si arricchisce di dettagli? Se il testo si trova lontano dall'immagine o vicino a essa? Se un testo scritto è sostituito da un identico testo parlato?

Uno dei principali contributi di Mayer è di aver evidenziato l'effetto negativo sull'apprendimento dei cosiddetti "dettagli seducenti", cioè testi, immagini o suoni non direttamente collegati al contenuto da apprendere. In una serie di ormai classici esperimenti, Mayer e collaboratori hanno proposto a gruppi diversi di studenti presentazioni multimediali di spiegazione del meccanismo di formazione dei fulmini (Harp e Mayer 1998; Mayer, Heiser e Lonn 2001; Moreno e Mayer 2000). Ad esempio, in una presentazione la spiegazione avveniva con un'animazione concisa e accompagnata da una narrazione audio che commentava le fasi di formazione del fulmine; in un'altra la narrazione audio conteneva anche delle frasi interessanti sui fulmini, suoni e musiche di accompagnamento. La successiva prestazione in un test di comprensione del contenuto è risultata sensibilmente migliore per gli studenti del gruppo che aveva visto la presentazione concisa rispetto al gruppo che aveva visto la presentazione arricchita di dettagli.

Questi e altri esperimenti simili sono all'origine del "Principio di coerenza" formulato da Mayer, il quale afferma che l'uso di testi, immagini e suoni irrilevanti o gratuiti peggiora l'apprendimento.



Fig. 2.3 Multimedia sulla formazione dei fulmini (adattata da Harp e Mayer, 1998)

Perché s'incontrano così frequentemente dettagli seduttivi? Uno dei motivi, è che si pensa rendano il materiale più interessante e quindi lo studente più motivato ad apprendere. Tuttavia, non si può pensare all'interesse solo come una generica esperienza di eccitazione emotiva. L'interesse è un processo che dipende dal significato dell'informazione per chi la riceve. Si deve perciò distinguere un interesse emotivo da uno cognitivo (Kintsch 1980). L'interesse cognitivo, al contrario di quello emozionale, deriva dalla soddisfazione dello studente nel capire quello che gli è presentato. Un modo per favorirlo è di aiutare lo studente ad attivare le sue preconoscenze e quindi a selezionare, integrare e organizzare le nuove informazioni. L'uso di dettagli seduttivi non è solo inefficace, ma anche peggiorativo dell'apprendimento, non solo perché distraente, ma perché danneggia la coerenza di una spiegazione, rendendo quindi più difficile per lo studente costruirsi un modello mentale adeguato. Ciò non significa che non si devono mai utilizzare immagini di tipo decorativo, è sufficiente distinguere le situazioni in cui si presentano informazioni pertinenti all'obiettivo didattico (su cui quindi lo studente sarà valutato) da quelle in cui si presentano informazioni di introduzione o di supporto a un argomento. È altresì necessario distinguere le immagini decorative, cioè a solo scopo estetico o umoristico e prive di rapporto col testo, da immagini con funzione psicologica di attivazione della conoscenza o di supporto alla motivazione (tab. 2.5) Nelle parole di Clark e Lyons (2010), la

funzione di attivazione della conoscenza consiste nel facilitare il recupero delle conoscenze pre-esistenti e l'integrazione delle nuove informazioni, la funzione di motivazione nel rendere il materiale interessante senza ostacolare l'apprendimento. I dettagli seducenti, invece, interferiscono con il compito di apprendimento e sono quindi sempre da evitare.

Mayer ha formulato anche una serie di altri principi, che possono essere di aiuto nella progettazione multimediale (tab. 2.6).

Tabella 2.6

Principi della teoria cognitiva dell'apprendimento multimediale

Principio	Descrizione
<i>Principio di multimedialità</i>	Le persone apprendono meglio da parole e immagini piuttosto che da sole parole
<i>Principio di coerenza</i>	Le persone apprendono meglio quando sono esclusi materiali estranei al compito
<i>Principio di contiguità</i>	Le persone apprendono meglio quando parole e immagini corrispondenti sono presentate vicine fra loro nella pagina o nel tempo
<i>Principio di segnalazione</i>	Le persone apprendono meglio quando alle immagini sono aggiunti degli indicatori visivi che evidenziano l'organizzazione del materiale
<i>Principio di modalità</i>	Le persone apprendono meglio quando le parole di un messaggio multimediale sono parlate invece che scritte
<i>Principio di ridondanza</i>	Le persone apprendono meglio da immagini e testo parlato che da immagini, narrazione e testo scritto
<i>Principio di segmentazione</i>	Le persone apprendono meglio quando un messaggio multimediale è presentato in segmenti controllabili piuttosto che in modo continuo

Alcuni di questi principi si sono rivelati troppo generici per essere utilizzati in tutte le circostanze. Se si pensa, ad esempio, all'affermazione "Le persone apprendono meglio da parole e immagini piuttosto che da sole parole" (principio di multimedialità) appare subito evidente come questa affermazione possa solo avere un tenue valore di orientamento generale e come ci siano facili obiezioni che la ricerca (ma anche il semplice buon senso) può subito avanzare. Il rapporto tra immagine e testo si può, infatti, articolare in una varietà di modi su cui

non intendiamo qui soffermarci⁵. Ci basti accennare al fatto che bisogna tener conto intanto dei casi in cui l'immagine non ha alcuna pertinenza con il testo, come quelli che rientrano nelle tipologie dell'immagine decorativa cui abbiamo detto. Oltre ciò, ci sono i casi di immagine ridondante (in cui questa si sovrappone al testo) o in cui tra immagine e testo si crea un effetto di "divisione dell'attenzione" (vedi più avanti), tutte situazioni negative ai fini dell'apprendimento. Siamo quindi di fronte ad un campo articolato, riguardo al quale la Teoria del Carico Cognitivo fornisce indicazioni più precise di quelle presenti nella teoria di Mayer.

La teoria del carico cognitivo

L'assunto di base della CLT è che l'apprendimento consiste nella costruzione di schemi mentali. Gli schemi mentali sono strutture cognitive della memoria a lungo termine che consentono allo studente di capire le nuove informazioni che gli sono presentate collegandole alle conoscenze che egli già possiede (Rumelhart 1980). Per la CLT, l'apprendimento può essere ottimizzato se lo studente impiega efficientemente la sua memoria di lavoro nella costruzione degli schemi mentali richiesti dal compito di apprendimento. Al riguardo, Sweller ha introdotto l'importante concetto di *carico cognitivo*, definito come la quantità totale di attività mentale imposta alla memoria di lavoro in un determinato momento. Il carico cognitivo corrisponde allo sforzo mentale percepito dallo studente e quindi alla difficoltà soggettiva del compito d'apprendimento.

Si deve sottolineare che il carico cognitivo non è sempre dannoso per l'apprendimento, che può essere ostacolato sia da un carico cognitivo troppo alto che troppo basso. Quest'ultimo caso può verificarsi se per lo studente il compito di apprendimento è troppo semplice o se gli è fornito un aiuto eccessivo. In relazione al compito di apprendimento, il carico cognitivo può, infatti, essere di tre tipi: estraneo, intrinseco e pertinente (tab. 2.7).

Tabella 2.7

Tipi di carico cognitivo

⁵ Per una trattazione analitica della questione, vedi Paoletti (2011).

Estraneo	Intrinseco	Pertinente
È associato a processi che non sono direttamente necessari per l'apprendimento	È determinato dall'interazione fra la natura dei contenuti da apprendere e le preconoscenze dello studente	È associato a processi che sono direttamente rilevanti per l'apprendimento come la costruzione e l'automazione di schemi nella MDL

La CLT si è inizialmente focalizzata sulla riduzione del carico cognitivo estraneo. Così come abbiamo visto per la MCLT, anche nella CLT sono stati compiuti numerosi esperimenti per confrontare l'efficienza di formati didattici alternativi. Sono stati così evidenziati una serie di effetti legati a specifiche combinazioni di immagine, testo scritto e testo parlato.

Di particolare interesse per l'uso didattico della comunicazione visiva sono:

- l'effetto dell'attenzione divisa;
- l'effetto della modalità;
- l'effetto della ridondanza;
- l'effetto inverso dell'expertise.

Effetto dell'attenzione divisa

L'effetto dell'attenzione divisa afferma che la separazione di elementi che devono essere elaborati insieme per la comprensione provoca un carico cognitivo non necessario al processo di apprendimento.

Ciò significa che l'apprendimento peggiora se lo studente deve dividere la sua attenzione fra due fonti di informazione entrambe necessarie per la comprensione. L'effetto dell'attenzione divisa è una delle cause più frequenti di carico cognitivo estraneo. La situazione più tipica è quella in cui un testo scritto non si trova vicino all'immagine corrispondente. In una delle sue prime ricerche, Sweller (1998) si era reso conto che il formato in cui era presentato un problema di algebra o di geometria ne influenzava la facilità di soluzione. Ad esempio, risultava più facile risolvere il problema se il testo non era separato dalla figura geometrica ma integrato in essa. La separazione può essere anche temporale, come quando un testo parlato compare dopo l'immagine o il testo scritto a cui si riferisce. L'effetto si verifica anche

quando studiando un libro uno studente deve distogliere la sua attenzione dalla pagina che sta leggendo per consultare delle note collocate in fondo al volume. Oppure, quando un docente utilizza in aula delle slide in PowerPoint con un testo molto fitto che legge ad alta voce, perché così l'attenzione degli studenti si divide fra leggere il testo delle slide e ascoltare il docente. I principi di coerenza, contiguità e segnalazione, visti in precedenza, si possono anche interpretare come modi per ridurre l'effetto dell'attenzione divisa (tab. 2.8).

Tabella 2.8

Collegamento fra principi di Mayer e attenzione divisa

Principio	Azione	Conseguenza
<i>Coerenza</i>	Escludere materiali estranei al compito	Riduce la possibilità che lo studente divida la sua attenzione fra gli elementi significativi e quelli irrilevanti
<i>Contiguità</i>	Presentare parole e immagini corrispondenti vicine fra loro nella pagina o nel tempo	Riduce la possibilità che lo studente divida la sua attenzione fra parole e immagini lontane fra loro
<i>Segnalazione</i>	Aggiungere alle immagini degli indicatori visivi per evidenziare l'organizzazione del materiale	Aiuta a focalizzare l'attenzione sugli elementi a cui fa riferimento il testo scritto o parlato

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 se una fonte d'informazione è presentata in modo visivo e l'altra in modo uditivo.

Come si noterà, si tratta di una formulazione più circostanziata del principio di modalità di Mayer, secondo il quale le persone apprendono meglio quando le parole di un messaggio multimediale sono parlate invece che scritte. La CLT specifica che ciò avviene solo se il testo parlato è indispensabile per la comprensione dell'immagine. Inoltre, se un'immagine è complessa, l'effetto della modalità ha luogo solo se durante la spiegazione in 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. In caso contrario lo studente deve esplorare visivamente l'immagine per cercare l'elemento di cui si sta parlando in quel momento e l'audio può quindi non essere efficace ai fini della comprensione. Questo effetto può essere spiegato con il trasferimento di parte del carico cognitivo dalla componente visiva a quella uditiva della memoria di lavoro.

Effetto della ridondanza

L'effetto della ridondanza afferma che l'apprendimento peggiora se lo studente deve elaborare simultaneamente due fonti di informazioni che hanno lo stesso contenuto.

Si può avere una situazione di questo tipo 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 scritto⁶. Questo effetto va contro la credenza diffusa che la ridondanza migliori sempre l'apprendimento, per giustificare la quale si fa talvolta riferimento al fatto che alcune persone preferirebbero leggere e altre ascoltare. In realtà, se una delle due fonti di contenuto non è indispensabile la sua presenza provoca più probabilmente un'interferenza con la costruzione di schemi nella memoria di lavoro e quindi può peggiorare l'apprendimento.

Effetto inverso dell'expertise

L'effetto inverso dell'expertise afferma che i metodi didattici che aiutano l'apprendimento dei novizi possono avere un effetto negativo sull'apprendimento degli esperti.

Questo effetto è una delle evidenze più significative della teoria del carico cognitivo. Esso vale 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. Ciò avviene perché l'esperto possiede già degli schemi mentali con i quali organizzare le informazioni che gli sono presentate. L'effetto inverso dell'expertise ha come conseguenza pratica che un

⁶ Caso quest'ultimo purtroppo ricorrente in molti corsi e-learning multimediali.

formato didattico va sempre valutato alla luce delle preconoscenze dello studente.

Ci siamo finora occupati esclusivamente del carico cognitivo estraneo. Come comportarsi con quello intrinseco? Qual è la sua relazione con l'uso didattico della comunicazione visiva? Poiché dipende dalla difficoltà che il contenuto presenta per lo studente, il carico cognitivo intrinseco non può essere semplicemente ridotto, ma deve essere adattato alle caratteristiche individuali dello studente. Ciò può essere fatto utilizzando delle opportune tecniche di presentazione dell'informazione (tab. 2.9).

Tabella 2.9

Come adattare il carico cognitivo intrinseco alle caratteristiche dello studente

Tecnica	Definizione	Esempio
<i>Segmentazione</i>	Suddividere i contenuti in modo da favorire l'apprendimento	Prima di spiegare il funzionamento del freno di un'auto nel suo complesso, un insegnante descrive le parti che compongono il sistema e le loro funzionalità
<i>Sequencing</i>	Presentare le informazioni seguendo un certo ordine	Per spiegare il ciclo dell'acqua, un insegnante presenta una per volta le parti dell'immagine seguendo la direzione delle frecce
<i>Pacing</i>	Consentire allo studente il controllo del ritmo di presentazione delle informazioni	Assistendo a un filmato sulla divisione cellulare, uno studente può in qualsiasi momento fermare la presentazione, rivederne una parte o andare direttamente a una sequenza di suo interesse.

Linee guida di progettazione multimediale

Da quanto abbiamo visto finora, appare evidente che le teorie dell'apprendimento multimediale sono in grado di offrire a insegnanti e progettisti di grafica per la didattica delle utili linee guida.

Riepiloghiamo di seguito quelle di più diretta rilevanza per l'uso didattico della comunicazione visiva:

- utilizzare in linea generale parole e immagini piuttosto che solo parole (con le precisazioni cui abbiamo già fatto riferimento);

- inserire solo testi e immagini rilevanti per l'apprendimento;
- se un testo scritto funge da supporto a un'immagine collocarlo vicino a questa;
- evitare di presentare simultaneamente parole e immagini che hanno lo stesso contenuto;
- se un testo è indispensabile per la comprensione di un'immagine presentarlo come testo parlato invece che come testo scritto;
- evitare un testo parlato come identica lettura di un lungo passaggio di testo sullo schermo;
- sincronizzare l'audio con i corrispondenti elementi dell'immagine;
- aggiungere a immagini complesse degli indicatori visivi come frecce ed evidenziazioni per focalizzare l'attenzione sulle parti rilevanti;
- spiegare un'immagine complessa presentandone una parte alla volta;
- rendere possibile il controllo da parte dello studente di animazioni e filmati, con la possibilità di pause e ripetizioni.

Si deve sottolineare che queste linee guida non sono precetti da seguire rigidamente, ma vanno piuttosto considerate come segnalatori di possibili aree critiche per l'apprendimento, da valutare nelle diverse situazioni. Di fronte alla scelta fra formati didattici alternativi, si dovrà tenere conto di come gli effetti descritti dalla CLT influiscono sulla memoria di lavoro e quindi sull'efficienza dell'apprendimento in un determinato contesto.

Immagini e modelli mentali

Dopo esserci soffermati sul carico cognitivo, ci occupiamo ora della costruzione di modelli mentali, una delle funzioni psicologiche delle immagini considerate da Clark e Lyons nella loro tassonomia (tab. 2.5). È una funzione di estrema rilevanza didattica, in quanto collegata all'apprendimento di concetti e teorie scientifiche. Com'è noto, gli studenti si affacciano allo studio delle scienze con pre-concezioni e teorie ingenuie che ostacolano l'apprendimento (Driver et al. 1993). Modelli errati di fenomeni come il principio di inerzia, il calore, il

movimento della Terra, la respirazione, la circolazione sanguigna, la teoria dell'evoluzione persistono anche di fronte alla presentazione di evidenze contrarie e continuano talvolta a permanere fino all'università. In questi casi, l'apprendimento non richiede solo l'acquisizione di nuove conoscenze ma un cambiamento dei modelli mentali dello studente (Vosniadou, 1999). Vediamo quindi di capire meglio cosa sono i modelli mentali e che rapporto hanno con la didattica e la comunicazione visiva.

I modelli mentali sono rappresentazioni interne che le persone utilizzano ordinariamente per la comprensione, il ragionamento e la previsione (Johnson-Laird 1983, Gentner e Stevens 1983). Hanno la proprietà di essere incompleti e in costante evoluzione, di poter contenere errori e contraddizioni, di poter essere usati anche se incorretti. Vengono costruiti "al volo" sulla base di un fitto scambio fra le informazioni elaborate nella memoria di lavoro e quelle contenute negli schemi della memoria a lungo termine. Non sono immagazzinati immediatamente ma devono essere ricostruiti più volte per diventare essi stessi degli schemi, cioè per essere appresi. Da un punto di vista didattico, rappresentano la continuità fra ciò che si apprende e ciò che si è già appreso.

Ai fini dell'uso didattico della comunicazione visiva è importante il fatto che i modelli mentali sono rappresentazioni di tipo analogico. Hanno quindi, come le immagini, una relazione di somiglianza con l'oggetto o la situazione che rappresentano. La somiglianza non è però di tipo pittorico ma strutturale, come in un diagramma. Per la loro natura dinamica, i modelli mentali sono anche stati paragonati ad animazioni e a simulazioni (Landriscina 2012). Non deve quindi sorprendere che uno dei modi migliori per comunicare, condividere e modificare i propri modelli mentali sia proprio quello di utilizzare delle immagini.

L'uso di modelli visivi svolge un ruolo centrale nella scoperta scientifica e nella concettualizzazione di teorie ed esperimenti (scheda 1). Sono esempi di modelli visivi le linee di forza intorno a un magnete, il modello planetario dell'atomo, la molecola del benzene, la doppia elica del DNA, le immagini del funzionamento degli organi del corpo umano. Per Massironi (2002) questo tipo di immagini sono visualizzazioni di ipotesi, nate nella mente degli scienziati in particolari momenti di creatività, e per questo le chiama "ipotesigrafie".

Esaminando il ruolo delle illustrazioni nei testi scientifici, Mayer e Gallini (1990) definiscono “immagini esplicative” quelle immagini che hanno la funzione di aiutare il lettore a formarsi un modello mentale di quanto spiegato nel testo.

Secondo gli autori, tali immagini sono efficaci quando:

- il testo fornisce una spiegazione del funzionamento del sistema e non solo una serie di informazioni fattuali;
- il compito di apprendimento richiede la comprensione causale, non la memorizzazione;
- le illustrazioni mostrano sia la struttura del sistema sia il comportamento delle sue parti;
- gli studenti hanno scarse preconoscenze del sistema.

Altri ricercatori hanno recentemente condotto esperimenti per identificare le caratteristiche di un buon modello visivo. I risultati di questi esperimenti mostrano che le rappresentazioni più semplici sono in genere più efficaci di quelle complesse e che le immagini statiche sono più efficaci delle animazioni, specialmente per studenti con basso livello di conoscenza dell’argomento. Ad esempio, Butcher (2006) ha confrontato la comprensione della circolazione cardiaca in tre condizioni: 1) solo testo; 2) testo e disegno schematico; 3) testo e immagine realistica (fig. 2.4). Entrambi i formati con immagine si sono dimostrati più efficaci di quello solo testuale. Tuttavia, l’immagine semplificata si è rivelata più efficace di quella realistica, con un effetto più marcato per studenti con minore preconoscenze.

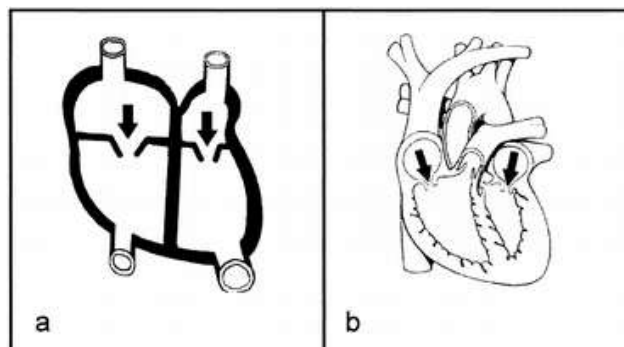


Fig. 2.4 Rappresentazione schematica e più realistica della circolazione cardiaca (adattato da Butcher, 2006)

Scheiter e coll. (2008) hanno trovato semplici animazioni schematiche del processo della mitosi cellulare più efficaci di filmati dello stesso fenomeno ripresi al microscopio. Mayer e coll. (2005) hanno confrontato sequenze di immagini statiche e animazioni nella comprensione di fenomeni atmosferici, rilevando anche in questo caso una maggiore efficacia delle immagini statiche sulle animazioni⁷.

Nello studio di un fenomeno naturale o artificiale, lo studente si costruisce un proprio modello mentale a partire dal testo di un libro o dalle spiegazioni dell'insegnante. Chiedergli di rappresentare il fenomeno con un disegno e di descrivere l'immagine realizzata è un modo per rendere esplicito il suo modello mentale e quindi diagnosticare il suo grado di comprensione concettuale. Non è necessario che le immagini siano di qualità artistica; semplici schizzi a matita sono un modo efficace per comunicare, esplorare e rivedere i propri pensieri, un vero e proprio strumento cognitivo, che non richiede computer o lavagne luminose (Tversky e Suwa 2009). Ad esempio, Butcher (2006) ha chiesto a studenti universitari di disegnare e scrivere una descrizione della circolazione sanguigna nel cuore. Molti dei disegni e delle descrizioni riflettevano modelli mentali inesatti del flusso sanguigno, ignorando ad esempio il ruolo dei polmoni (fig. 2.5).

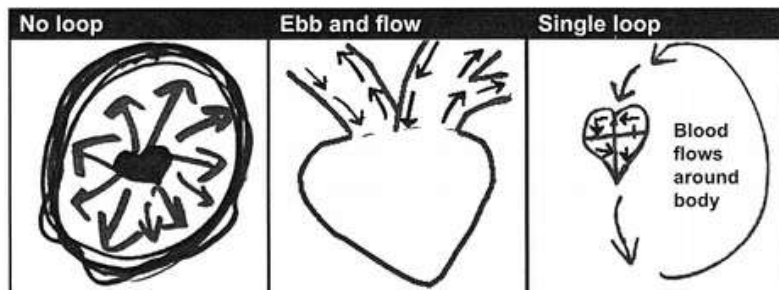


Fig. 2.5 Rappresentazione visiva di modelli mentali incorretti della circolazione (adattato da Butcher, 2006)

⁷ Le immagini statiche sono in genere più efficaci delle animazioni perché queste ultime trasmettono una grande quantità di informazioni ma in modo transitorio, mentre le immagini statiche consentono allo studente di rivedere e esplorare l'immagine nel tempo che preferisce.

Lo psicologo tedesco Norbert Seel (2003) ha formulato una teoria dell'apprendimento e dell'istruzione centrate su modelli (*Model-Centered Learning and Instruction*), in cui l'apprendimento è descritto come una progressione di modelli mentali, da uno stato iniziale, caratterizzato dalle pre-concezioni dello studente, a uno stato desiderato finale, che costituisce il target dell'istruzione. Seguendo questo schema, le immagini prodotte dagli studenti possono essere utilizzate per stimolare una progressiva raffinazione dei loro mentali modelli. L'insegnante può discutere con la classe un'immagine, evidenziare con delle domande le ragioni per cui l'immagine non è una descrizione soddisfacente del fenomeno, far creare una nuova immagine che tenga conto di quanto emerso dall'analisi della prima, in un processo iterativo in cui le immagini servono sia rappresentare idee sia a stimolarne delle nuove. Sono a questo riguardo significative le esperienze pilota condotte da Clement e collaboratori in alcune scuole americane (Clement 2007, Núñez-Oviedo e Clement 2003) nell'ambito del progetto di ricerca "Visual Modeling Strategies In Science Teaching". La figura 2.6 mostra alcune delle immagini generate dagli studenti di una scuola media in una progressione di modelli della respirazione costruiti insieme all'insegnante.

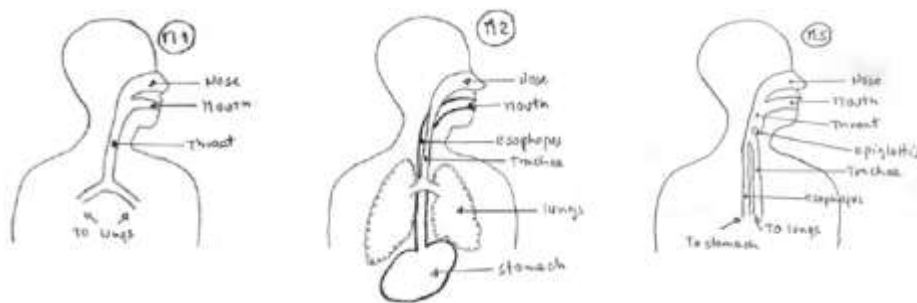


Fig. 2.6 Progressione di immagini corrispondenti a modelli mentali sulla respirazione (adattato da Núñez-Oviedo e Clement, 2003)

Fra immagine e modello mentale può così crearsi una relazione di rinforzo circolare mediata dalla spiegazione verbale e dalla discussione fra studenti e insegnante (fig. 2.7).



Fig. 2.7 Relazione circolare fra immagine e modello mentale.

Riferimenti come questi evidenziano l'importanza che l'attenzione degli educatori sia orientata a considerare l'impiego di immagini e diagrammi come un supporto per un avvicinamento graduale dei propri modelli mentali ingenui a quelli scientificamente corretti, in un'ottica dinamica e costruttiva, aspetto già sottolineato nel capitolo 1.

Conclusion

In questo capitolo abbiamo cercato di individuare riferimenti teorici significativi per un impiego didattico efficace della comunicazione visiva rivolgendo la nostra attenzione ai possibili punti di integrazione tra ricerca psicologico-cognitiva e Instructional Design.

I concetti più importanti che abbiamo messo in risalto possono essere così sintetizzati:

- il problema del rapporto tra immaginazione e pensiero è stato oggetto di accesi dibattiti sin dai tempi antichi; se l'impiego delle immagini a supporto della conoscenza scientifica ha visto un grande sviluppo da Galileo in poi, la disputa tra scienziati che ritengono la visualizzazione una componente importante del pensiero e della scoperta scientifica e coloro che la ritengono di scarsa utilità, poiché la scienza si serve preferenzialmente di un simbolismo formale, continua fino ad oggi.

- Gli studi sulla percezione visiva hanno dimostrato che la visione è sempre un processo attivo, attraverso cui vengono selezionate una ridotta parte delle informazioni che ci circondano, con processi bottom-up, guidati dallo stimolo, e top-down, guidati dal compito.

- Nell'ambito degli studi psicologici sulla percezione una svolta fondamentale si è avuta con la Gestalt che ha formulato una serie di leggi o principi di organizzazione (*Pregnanza, Prossimità, Similarità, Chiusura, Buona continuità, Destino comune*). Questi principi hanno anche influenzato lo sviluppo del Graphic Design una disciplina che si è sviluppata mossa dalla necessità di trovare modi di comunicare in modo quanto più efficace e che fornisce utili indicazioni anche per la progettazione didattica.

- Il rapporto tra parole, immagini e pensiero è stato esaminato più recentemente dallo psicologo canadese Allan Paivio nella sua teoria della doppia codifica, *dual-coding theory*. Nel suo modello, l'informazione verbale e quella non verbale sono codificate dal sistema cognitivo umano in modo diverso ed elaborate in canali separati, indipendenti ma interconnessi. Le immagini sono codificate in modo analogico, mentre l'informazione verbale, è rappresentata in modo simbolico, cioè da simboli convenzionali combinati fra loro in base a regole di sintassi.

- La comunicazione visiva è uno dei temi di indagine della semiotica, disciplina che ha per oggetto lo studio comparato dei segni. In semiotica, il segno è tale in virtù dell'interazione fra un supporto materiale (veicolo segnico), un interpretante (soggetto) e un referente (oggetto esterno). La semiotica distingue tre tipi di segni: icona, indice, simbolo.

- Nell'ambito degli usi didattici delle immagini è utile distinguere un aspetto *descrittivo*, relativo ai diversi tipi di immagini da utilizzare, da uno *prescrittivo*, relativo a quello che oggi si sa sull'uso didatticamente efficace delle immagini e sugli errori da evitare.

- Negli aspetti descrittivi, rientrano le classificazioni di Clark e Lyons che distinguono fra le *caratteristiche superficiali* di un'immagine, le sue *funzioni comunicative* e le *funzioni psicologiche*

- Le caratteristiche superficiali riguardano l'aspetto di un'immagine e il modo in cui è stata creata e possono condizionare la scelta degli strumenti tecnologici e quindi i costi a essi collegati. Le funzioni comunicative riguardano gli aspetti "trasmissivi" dell'immagine, cioè il modo in cui trasmette informazioni, si hanno quindi immagini con funzione *Decorativa, Rappresentativa, Mnemonica, Organizzativa, Relazionale, Trasformativa, Interpretativa*.

- Più importanti didatticamente sono le funzioni psicologiche, vale a dire: *Supporto all'attenzione, Attivazione della conoscenza, Minimizzazione del carico cognitivo, Costruzione di modelli mentali, Supporto al transfer dell'apprendimento, Supporto alla motivazione*.

- Sugli aspetti prescrittivi, delle utili indicazioni sono fornite dalla teoria cognitiva dell'apprendimento multimediale, di Mayer, e dalla teoria del carico cognitivo. Entrambe hanno come punto di partenza l'architettura cognitiva umana, in particolare l'elaborazione dell'informazione visiva e verbale in canali separati e i limiti della memoria di lavoro, questi ultimi particolarmente rilevanti nel periodo dello sviluppo e fino all'adolescenza.

- I limiti della memoria di lavoro riguardano sia l'aspetto temporale (le informazioni se non mantenute attive con la ripetizione decadono rapidamente) che, cosa ancora più importante, la capacità di elaborare simultaneamente informazioni diverse.

- In aggiunta a quanto sopra, Mayer sottolinea che l'apprendimento ha luogo quando lo studente elabora attivamente le parole e le immagini rilevanti, vale a dire seleziona in ciascun canale delle informazioni rilevanti, le organizza in rappresentazioni coerenti e le integra fra loro e con le conoscenze già possedute. Mayer e i suoi collaboratori hanno eseguito numerosi esperimenti per valutare l'efficacia didattica di formati multimediali diversi, derivandone alcuni utili principi di

progettazione multimediale: *Multimedialità, Coerenza, Contiguità, Segnalazione, Modalità, Ridondanza, Segmentazione*.

- La Teoria del Carico Cognitivo approfondisce e sviluppa le indicazioni di Mayer, rendendole meno generiche e prendendo in considerazione anche il tipo di contenuto, il compito di apprendimento e le preconoscenze dello studente. La teoria introduce l'importante concetto di *carico cognitivo*, definito come la quantità totale di attività mentale imposta alla memoria di lavoro in un determinato momento. Il carico cognitivo corrisponde allo sforzo mentale percepito dallo studente e quindi alla difficoltà soggettiva del compito d'apprendimento.

- Il carico cognitivo non è di per sé dannoso per l'apprendimento, che può essere ostacolato sia da un carico cognitivo troppo alto che troppo basso. Quest'ultimo caso può verificarsi se per lo studente il compito di apprendimento è troppo semplice o se gli è fornito un aiuto eccessivo.

- In relazione al compito di apprendimento, si distinguono tre tipi di carico cognitivo: *Estraneo, Intrinseco e Pertinente*, solo il primo dei quali è sempre dannoso e deve essere quanto più possibile ridotto. Il carico cognitivo intrinseco e quello pertinente devono essere invece adattati e ottimizzati in funzione dello specifico contesto di apprendimento.

- Come indicazione per la progettazione multimediale, la teoria del carico cognitivo descrive una serie di effetti, fra cui: l'*Effetto dell'attenzione divisa*, l'*Effetto della modalità*, l'*Effetto della ridondanza* e l'*Effetto inverso dell'expertise*.

- Se le indicazioni sopra riportate sono prevalentemente significative in un'ottica di apprendimento per acquisizione di nuove informazioni, ancor più interessanti appaiono gli studi sui modelli mentali, che offrono indicazioni teoriche e pratiche in quei casi in cui l'apprendimento richiede un cambiamento concettuale più profondo, come ad esempio nello studio di teorie e concetti scientifici.

Capitolo in: Calvani A. (a cura di) (2012). *Principi di comunicazione visiva e multimediale*. Roma: Carocci.

- Nel quadro della *Model-Centered Learning and Instruction*, l'apprendimento è descritto come una progressione di modelli mentali, da uno stato iniziale, caratterizzato dalle pre-concezioni dello studente, a uno stato desiderato finale, il modello concettuale che costituisce il target dell'istruzione

- Da quest'orientamento di studi emergono interessanti indicazioni per l'utilizzo della comunicazione visiva intesa sia come rappresentazione di fenomeni e sistemi sia come produzione di immagini da parte degli studenti per diagnosticare il loro livello di comprensione concettuale e stimolare una progressiva raffinazione dei loro mentali modelli.

Bibliografia

- Ausubel D. P. (2004), *Educazione e processi cognitivi. Guida psicologica per gli insegnanti*, Milano, Franco Angeli.
- Ayres P., Marcus N., Chan C., Qian N. (2009), Learning hand manipulative tasks: When instructional animations are superior to equivalent static representations, *Computers in Human Behavior*, 25, 348-353.
- Baddeley A. (1992), *La memoria umana. Teoria e pratica*, Bologna, Il Mulino.
- Butcher K.R. (2006), Learning from text with diagrams: Promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology*, 98 (1), 182-197.
- Clark R.C., Lyons C. (2010), *Graphics for Learning: Proven Guidelines for Planning, Designing, and Evaluating Visuals in Training Materials*, Jossey-Bass Pfeiffer.
- Clement J.J. (2000). Model based learning as a key research area for science education, *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement J.J. (2007), Student/Teacher Co-constuction of Visualizable models in Large Group Discussion. In: Clement J. J., Rea-Ramirez M. A., *Model Based Learning and Instruction in Science*, Springer, pp. 11-22..
- Driver R., Squires A., Rushworth P. Wood-Robinson V. (1993), *Making Sense of Secondary Science*, London: Routledge.
- Findlay J.M., Gilchrist I.D. (2003), *Active Vision: The Psychology of Looking and Seeing*, New York: Oxford University Press.
- Gentner D., Stevens A. (1983), *Mental Models*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gensini S. (2002), *Elementi di semiotica*, Roma: Carocci editore.
- Harp S.F., Mayer R.E. (1997), The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest, *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 92-102.
- Harp S.F., Mayer R.E. (1998), How seductive details do their damage: a theory of cognitive interest in science learning, *Journal of Educational Psychology*, 90, 414-434.

Capitolo in: Calvani A. (a cura di) (2012). *Principi di comunicazione visiva e multimediale*. Roma: Carocci.

- Heiser J., Tversky B. (2006), Arrows in Comprehending and Producing Mechanical Diagrams. *Cognitive Science*, 30: 581.
- Johnson-Laird P.N. (1980), Mental Models in Cognitive Science, *Cognitive Science*, 4, 71-115.
- Jonassen, D. H., & Cho, Y. H. (2008). Externalizing mental models with mindtools. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & M. Spector (Eds.), *Understanding models for learning and instruction: Essays in honor of Norbert M. Seel* (pp. 145-159). Springer: New York.
- Kintsch W. (1980), Learning from text, levels of comprehension, or: Why anyone would read a story anyway, *Poetics*, 9, 87-89.
- Kosslyn S.M., Thompson W.L., Ganis G. (2006), *The Case for Mental Imagery*, New York: Oxford University Press.
- Landriscina, F. (2012). Simulation and learning: the role of mental models. In Norbert Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. New York: Springer.
- Landriscina F. (2009), *Apprendere con le simulazioni*, Trento: Edizioni Erickson.
- Landriscina F. (2006), Carico cognitivo e impiego della tecnologia per apprendere. In: A. Calvani (a cura di), *Tecnologia, scuola, processi cognitivi. Per una ecologia dell'apprendere*, Milano, F. Angeli.
- Massironi M. (2002), *Psychology of Graphic Images. Seeing, Drawing, Communicating*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayer R.E. (2009), *Multimedia Learning*, 2nd edition, Cambridge University Press.
- Mayer, R.E. (2003), The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media, *Learning and Instruction*, 13, 125–139.
- Mayer R.E., Gallini J.K (1990), When is an Illustration Worth Ten Thousand Words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Mayer R. E. Heiser J., Lonn S. (2001), “Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding”, *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187-198.
- Moreno R. e Mayer R. E. (2000), “A coherence effect in multimedia learning: The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional messages”, *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 117-125.
- Neurath M., Kinross R. (2009), *The Transformer: Principles of Making Isotype Charts*, Princeton Architectural Press.
- Núñez-Oviedo, M.C., Clement, J. (2003), Model competition: a strategy based on model based teaching and learning theory, *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching Conference*, Philadelphia, PA.
- Núñez-Oviedo, M.C., Clement, J. (2008), A Competition Strategy and Other Modes for Developing Mental Models in Large Group Discussion. In John J. Clement e Mary Anne Rea-Ramirez, *Model Based Learning and Instruction in Science*, NY: Springer, 117-138.
- Paivio, A (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart, and Winston
- Paivio A. (1990), *Mental representations. A Dual Coding Approach*. NY: Oxford University Press.
- Plass J.L., Moreno R., Brünken R. (Eds.) (2010), *Cognitive Load Theory*, NY: Cambridge University Press.
- Paoletti G. (2011), *Comprendere testi con figure*, Milano: F. Angeli.

Capitolo in: Calvani A. (a cura di) (2012). *Principi di comunicazione visiva e multimediale*. Roma: Carocci.

- Pylyshyn Z.W. (1973), What the Mind's Eye Tells the Mind's Brain: A Critique of Mental Imagery. *Psychology Bulletin*, 80:1-24.
- Rumelhart, D.E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R.J. Spiro, B.Bruce, & W.F. Brewer (eds.), *Theoretical Issues in Reading and Comprehension*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Resnick E. (2003), *Design for Communication: Conceptual Graphic Design Basics*, John Wiley & Sons.
- Scheiter K., Gerjets P., Huk T., Imhof B., Kammerer Y. (2009), The effects of realism in learning with dynamic visualizations. *Learning and Instruction*, 19 (6), 481-494.
- Seel N.M. (2003), Model-Centered Learning and Instruction, *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1, pp. 59-85.
- Sweller J. (1988), Cognitive load during problem solving: Effects on learning, *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller J. (2010), Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In Plass J.L., Moreno R., Brünken R. (Eds.), *Cognitive Load Theory*, NY: Cambridge University Press.
- Tufte E. R. (1983), *The visual display of quantitative information*. Cheshire, CT: Graphics Press.
- Tufte E. R. (1990), *Envisioning information*. Cheshire, CT: Graphics press.
- Tversky, B., Heiser, J., Lozano, S., MacKenzie, R., Morrison, J. (2007). Enriching animations. In R. Lowe and W. Schnotz (Editors). *Learning with animation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tversky B. (2010), Visualizing Thought, *Topics in Cognitive Science*, Article first published online: 19 AUG 2010.
- Tversky, B. and Suwa, M. (2009). Thinking with sketches. In A. Markman (Editor), *Tools for innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Vosniadou, S. (1999), Conceptual change research: State of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou, M. Carretero (Eds), *New Perspectives on Conceptual Change*, Elsevier, pp. 3-13.
- Ware C. (2008), *Visual Thinking for Design*, Morgan Kaufman/Elsevier.
- Wong A., Marcus N., Ayres P., Smith L., Cooper G.A., Paas F., & Sweller J. (2009), Instructional animations can be superior to statics when learning human motor skills, *Computers in Human Behavior*, 25, 339-347.