

Un percorso formativo per la didattica della scienza in scuole secondarie di primo e secondo grado

Eugenia Lucia Bossio
Università della Calabria

Abstract

L'innovazione delle metodologie pedagogiche pone un elevato ed eterogeneo numero di interrogativi. Questo lavoro presenta una ricerca volta alla realizzazione e all'applicazione di una metodologia per la didattica delle scienze e i risultati ottenuti da varie sperimentazioni in scuole secondarie di primo e secondo grado. L'obiettivo di tale ricerca è stato lo sviluppo armonico, coerente, replicabile, di ambienti di apprendimento di matrice costruttivista, per l'insegnamento di tematiche scientifiche avanzate. Ciò allo scopo di favorire non solo l'innovazione in ambito pedagogico, ma anche offrire agli studenti delle concrete opportunità di partecipazione e coinvolgimento in quello che sembra ormai essere un settore disciplinare, quello scientifico, fortemente in crisi per la poca capacità di attrarre e interessare, soprattutto le giovani generazioni. La ricerca qui presentata propone una concreta applicazione di alcune tecnologie educative integrate con forme d'insegnamento tradizionali al fine di promuovere la curiosità degli studenti verso l'apprendimento delle scienze. La metodologia sperimentata ha puntato sui risvolti educativi delle applicazioni informatiche e sulla manipolazione di strumenti per favorire il coinvolgimento degli allievi coniugando apprendimento e creatività.

Parole chiave: didattica della scienza, ambienti costruttivisti, tecnologie educative.

Summary

The innovation in educational methodologies offers a large and different number of questions. This paper presents a research that aims at develop and apply a methodology for teaching science. The results obtained in various experiments in secondary schools will be presented. The objective of this research was to develop harmonious, consistent, replicable learning environments, characterized by a constructivist approach, for teaching advanced scientific topics. The aim of this work was not only to promote the innovation in education, but also to offer opportunities at students for the involvement in science that nowadays seems to be a seriously depressed field. In the last years scientific topics are signed by the lack of capacity to attract and involve, especially the younger generation. The research here presented offers a practical application of some forms of educational technologies integrated with traditional teaching to promote students' curiosity towards learning science. The tested methodology has focused on the educational aspects of computer applications and manipulation of tools to facilitate the involvement of students,

Keywords: didactic of science, constructivist environments, educational technologies.

Introduzione

La ricerca in ambito psicopedagogico è stata da sempre interessata ai temi della didattica delle scienze. Non a caso, infatti, nel 1959, aveva luogo, a Woods Hole, negli Stati Uniti, promosso dall'Accademia Nazionale delle Scienze, un congresso che riunì circa trentacinque scienziati, uomini di cultura e pedagogisti per discutere sull'insegnamento scientifico. Lo scopo della conferenza (Bruner, 1993), non era elaborare programmi rivoluzionari, ma piuttosto valutare quali potessero essere gli approcci più idonei per giovani studenti che, cimentandosi nello studio delle discipline scientifiche, dovessero acquisire soprattutto il senso del contenuto e del metodo scientifico. Oggi come allora questo tema conserva una grande attualità. Secondo l'indagine OCSE-PISA del 2006¹ l'avanzamento scientifico e tecnologico è il fattore trainante per lo sviluppo socio economico delle nazioni e come tale ha bisogno di cittadini consapevoli del suo valore. La percezione diffusa, soprattutto tra i giovani, è, al contrario, che le scienze siano discipline avulse dal contesto reale, permeate solo da regole e formule spesso incomprensibili. E' per questo motivo che, sempre nella stessa indagine, si evidenzia come, più del 25% degli studenti italiani non raggiunga il livello di conoscenza scientifica e tecnologica di base. La ricerca pedagogica è, in tale contesto, strategica sia nell'ambito della didattica delle scienze, che nell'attuazione di percorsi formativi che fanno uso anche di strumenti che possono avere ricadute positive ai fini dell'apprendimento: la sperimentazione, la manipolazione, l'impostazione ludica, l'uso delle tecnologie informatiche e multimediali.

Il percorso didattico qui presentato è stato volto a valorizzare un apprendimento inteso non come memorizzazione delle informazioni, ma come comprensione per giungere a una reale capacità d'uso di strumenti e a una generalizzazione delle conoscenze acquisite. Lo scopo della sperimentazione è stato quello di rendere capaci i giovani di trasferire quanto appreso in contesti nuovi, concepire l'innovazione, acquisire un metodo, trasformando cioè in formazione e in cultura l'esperienza realizzata. Per questo motivo, si è pensato a un'offerta didattica diversificata che fosse in grado di elevare la qualità dell'intervento formativo fino ad abbracciare ciò che di persistente e duraturo c'è nella formazione scolastica: il metodo. E' lo stesso Morin ad affermare come l'acquisizione di un metodo durante un percorso formativo possa essere considerato come «un anello generatore nel quale i prodotti e gli effetti sono essi stessi produttori di ciò che li ha prodotti» (Morin, 2000). La metodologia sperimentata consiste in un percorso formativo che integra in maniera interdisciplinare:

- le teorie costruttiviste;
- i laboratori sperimentali;
- gli ambienti virtuali di apprendimento;

al fine di:

- elevare la qualità dell'intervento formativo;
- attivare la motivazione, l'entusiasmo e la partecipazione;
- tendere all'efficacia nell'apprendimento.

In questo contesto, i laboratori, intesi sia come spazi adeguatamente attrezzati per la sperimentazione sia come percorsi didattici, possono diventare efficaci ambienti di

¹ Si veda, in Internet: http://www.invalsi.it/invalsi/ri/pisa2006.php?page=pisa2006_it_05

apprendimento grazie alla capacità di stimolare il pensiero critico, l'acquisizione del metodo scientifico, e, in generale, il bagaglio culturale. In questi ambienti i partecipanti hanno l'opportunità di diventare intraprendenti, capaci di analizzare e comprendere il reale.

La ricerca realizzata prende in esame un argomento che da decenni interessa fortemente la comunità scientifica internazionale: il caos. Questo tema, esplorato attraverso lo studio del circuito elettronico di Chua (Chua, 1992), è stato utilizzato come base per proporre un processo originale di costruzione della conoscenza in ambito scientifico a studenti molto giovani, e per sperimentare nuovi percorsi curriculari nell'ottica dell'integrazione di metodi tradizionali e nuove tecnologie educative. Tale sperimentazione ha origine dalla domanda se sia possibile insegnare la scienza a una platea non preparata, priva completamente delle infrastrutture e delle conoscenze fisico matematiche che sarebbero necessarie per una profonda comprensione del fenomeno del caos. In letteratura più autori sottolineano che le metodologie «immersive» implicano un miglioramento delle dinamiche percettive e cognitive (Aldrich, 2005; Krueger, 1992; Mitchell e Savill-Smith, 2004). D'altro canto non è detto però che ambienti di apprendimento tecnologici e innovativi garantiscano un'efficacia formativa, in altri termini, innovazione e tecnologia non sono sinonimi di educazione (Calvani, 2004). Attraverso l'attuazione di tale metodologia, si è tentato d'intervenire anche sul rapporto tra i giovani e la scienza proponendo loro di «mettere le mani» sui concetti, e, nello stesso tempo, superando l'approccio hands-on, nell'ottica di una concreta interazione dei saperi, impiegare sperimentalmente nuove tecnologie per la didattica e presentare contenuti educativi anche attraverso una veste ludica. Pur mantenendo il necessario rigore scientifico, i vari temi sono stati presentati in maniera semplificata, favorendo ampi spazi per dibattiti e confronti, il linguaggio è stato proporzionato anche a ragazzini undicenni, la proposta didattica è stata bilanciata in una successione di momenti di rigore, di gioco e di creatività. Si è cercato di attuare ciò che viene definito da Bruner «un curriculum a spirale». Lo scopo è stato accostarsi alla conoscenza con l'intento di renderla accessibile al discente impegnato nella soluzione di problemi secondo modalità di pensiero che egli già possedeva o che poteva, per così dire, costruirsi combinando modalità naturali di pensiero che non aveva ancora combinato in precedenza. Con questo spirito Bruner sostiene che ogni argomento può essere insegnato a ogni bambino di ogni età, basta solo farlo nella maniera corretta, adattando cioè il problema alle capacità del discente. Durante la sperimentazione, infatti, si è cercato d'invogliare l'interesse e la curiosità stimolando gli studenti a confrontarsi, mediante un approccio intuitivo, con i concetti fondamentali del caos, con esempi di fenomeni caotici esistenti in natura e con la varietà delle forme geometriche prodotte dalle traiettorie caotiche. In seguito, si è cercato di evolvere, quasi come una spirale, verso concetti definiti in maniera più rigorosa e approfondita. Inoltre, avvicinare temi scientifici avanzati in maniera piacevole e intuitiva significa richiamare alla mente le conoscenze già possedute dagli allievi; questo risulta efficace poiché, citando Ausubel, «il singolo fattore più importante che influenza l'apprendimento sono le conoscenze che lo studente già possiede» (Ausubel, 1995). In tal modo si è cercato di combinare efficacemente le strategie naturali e le strategie insegnate per far sì che la capacità di imparare potesse trarne beneficio (Calvani, 2011). Da un lato, si sono introdotti saperi compresi attraverso la verifica, la sperimentazione, i tentativi ripetuti, dall'altro si sono favoriti approcci basati sull'apprendimento per manipolazione, per approccio fisico diretto e, contemporaneamente, per approccio tecnologico digitale e mediato. Tutto ciò al fine di stimolare la motivazione attraverso l'uso di strumenti da manipolare e ambienti diversificati, ma connessi, da esplorare (Resnick, 2006). La

metodologia, inizialmente proposta nell'ambito della scuola media è stata successivamente ampliata alla scuola superiore e ha coinvolto più di cinquanta studenti.

Struttura del percorso didattico

Per indagare la possibilità di insegnare il fenomeno fisico del caos è stato progettato un metodo di apprendimento basato su quattro passi (Bilotta et al., 2010). La strategia realizzata ha tentato di suddividere il tema scientifico in specifici punti fondamentali. Si è scomposto, cioè, un compito complesso in tanti semplici al fine di consentire agli studenti, non in possesso di conoscenze fisico-matematiche adeguate sul tema, d'interagire ugualmente con gli oggetti caratteristici del caos, gli attrattori, scoprendone il fascino e la bellezza e sperimentando la costruzione del circuito di Chua. Il programma della metodologia realizzata prevede i seguenti passi:

- primo, denominato «Contestualizzazione» è stato volto a introdurre i concetti di base della teoria del caos e a delineare l'importanza che riveste il circuito di Chua in questo ambito della ricerca scientifica; per tale fase ci si è avvalsi di prodotti multimediali strutturati ad hoc;
- secondo, denominato «Costruzione» è stato orientato alla sperimentazione della costruzione del circuito di Chua;
- terzo, denominato «Simulazione» è stato orientato a far sì che i ragazzi simulassero la modifica e la creazione degli attrattori tridimensionali, utilizzando un pc e appositi software;
- quarto, denominato «Musica» ha riguardato principalmente la produzione di suoni e musiche mediante la simulazione numerica del modello del circuito di Chua, utilizzando un pc e un apposito software.

La sperimentazione didattica si è svolta in tre interventi: due hanno avuto la durata di 13 ore ciascuno, il terzo la durata di 30 ore. Il modello sperimentato due volte della durata di 13 ore, risulta standardizzabile e le attività educative possono essere rappresentate secondo tale schema.

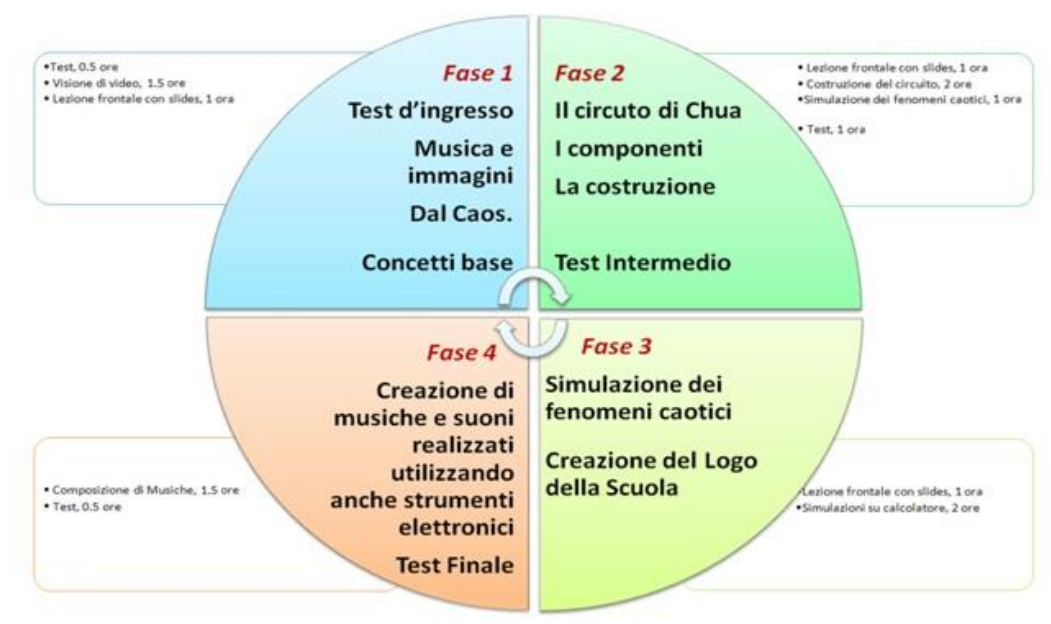


Fig. 1 – Organizzazione delle attività educative.

La sperimentazione è stata scandita in maniera da alternare fasi di lezioni frontali, sempre supportate dall'uso di prodotti multimediali sotto forma di presentazioni multimediali, video e sessioni d'ascolto di musiche. Le fasi 2, 3 e 4 sono state strutturate in maniera da consentire una partecipazione attiva e creativa degli studenti, che in prima persona o in gruppo sono stati coinvolti nello svolgimento di attività di produzione di artefatti fisici o digitali. Nel seguito si illustreranno le esperienze didattiche realizzate al fine anche di esporre e analizzare i risultati ottenuti e si analizzeranno più in dettaglio le principali fasi messe a punto durante la sperimentazione. Durante il primo passo, quello denominato «Contestualizzazione» è stato presentato il caos attraverso le immagini prodotte dal modello matematico del circuito di Chua. Utilizzando tale strumento si possono generare una varietà di attrattori strani², interpretabili anche in maniera artistica attraverso l'aggiunta del colore, delle luci, la variazione dello spessore delle linee o particolari tipi di rendering. Con l'obiettivo di catturare l'attenzione della classe e accrescere la voglia di creare autonomamente simili oggetti tridimensionali, sono stati presentati gli attrattori strani attraverso immagini e musiche inserite in un video realizzato ad hoc. I concetti di caos, di complessità, di natura frattale, sono stati introdotti attraverso una serie di esempi, ispirati principalmente a un celebre libro divulgativo: *Caos* di J. Gleick. L'attrattore strano di Lorenz, la mappa logistica, i fiocchi di neve di Von Kock, l'insieme di Mandelbrot (Mandelbrot, 1982) e altre importanti immagini dalla scienza (Barrow, 2009) sono state presentate tramite efficaci simulazioni e animazioni. Altri concetti riguardanti i sistemi complessi sono stati introdotti tramite dei video divulgativi, come per esempio, la spiegazione della dimensione frattale di un oggetto realizzata attraverso l'osservazione

² Si veda, in Internet, un video sul segnale di tensione proveniente dal circuito di Chua ossia la prima strada verso il caos, URL: <http://www.youtube.com/watch?v=4sj4J82EHLE>

della struttura di un cavolo ad opera dello stesso Mandelbrot (Peitgen et al., 1990). Alcuni concetti base della teoria del caos sono stati proposti utilizzando esempi di comportamento non lineare presenti nei fenomeni naturali. Durante questa fase gli studenti sono stati incoraggiati a:

- formulare domande che potessero fare emergere problemi sulla comprensione dei contenuti loro trasmessi;
- riflettere in gruppo sui dubbi e le perplessità;
- discutere assieme alla classe sulle problematiche esposte.

Durante il secondo passo denominato «Costruzione» è stata illustrata l'importanza del circuito di Chua, sono stati presentati i suoi componenti e i collegamenti necessari per costruirlo. Agli studenti sono stati forniti dei kit (fig. 2) con tutti i componenti per la sua costruzione:

- una basetta con lo schema circuitale stampato, sulla quale sono stati precedentemente saldati i potenziometri, gli amplificatori operazionali, i cavi audio e i cavi per le batterie;
- un foglio con tutti i componenti identificati attraverso la loro specifica denominazione, e, per le resistenze, anche attraverso la successione dei colori;
- Lo schema circuitale con i vari elementi da inserire messi in evidenza.



topologiche, sia presentati nella propria valenza tecnica. Per esempio, le resistenze hanno possibilità di essere distinte attraverso la serie di bande colorate sul rivestimento esterno, ciò è stato sfruttato dagli studenti sia per l'identificazione dei vari componenti, sia per l'individuazione del loro valore. Un simile discorso è stato condotto anche per i condensatori, l'induttanza, i potenziometri. In tale fase si è cercato di focalizzare l'attenzione degli studenti su:

- la manipolazione e l'acquisizione di una maggiore familiarità con i componenti circuitali;
- il collegamento dei vari componenti nella sequenza corretta;
- il ruolo che ciascuno dei componenti gioca per il corretto funzionamento del circuito.

Per il terzo passo denominato «Simulazione» sono stati forniti agli studenti vari software attraverso cui è stato possibile visualizzare, creare e modificare le forme tridimensionali degli attrattori. Alcune applicazioni sono state utilizzate anche per la produzione di suoni e musica. In particolare, un software reso disponibile sui calcolatori dei laboratori multimediali delle scuole ha permesso agli studenti di simulare l'evoluzione del circuito di Chua. L'attenzione degli studenti si è orientata non solo sui concetti astratti di simulazione di un sistema matematico, ma anche sulla possibilità di variare le forme grafiche generate attraverso la modifica dei parametri di controllo mediante un'accattivante interfaccia grafica. I risultati ottenuti dalla manipolazione degli attrattori sono sorprendenti e presentano delle sostanziali differenze qualitative a seconda che si valutino quelli prodotti dagli studenti di media o di liceo. L'obiettivo di tale fase è stato riflettere come dal modello fisico del circuito si possa dedurre il modello matematico e manipolare, attraverso un programma di computer, le serie di numeri prodotte. La matematica che sottende le strane geometrie visualizzate, modificate o create è diventata così interessante, creativa e attraente. In tale fase gli studenti sono stati stimolati nel:

- verificare attraverso l'uso del software le principali caratteristiche dei sistemi caotici (sensibilità alle condizioni iniziali, strutture frattali, biforcazioni, ecc.);
- sperimentare sul circuito tali comportamenti caratteristici;
- creare in autonomia immagini e originali modelli 3D variando i parametri di controllo del sistema.

Il quarto passo conclusivo della sperimentazione, denominato «Musica», ha condotto alla realizzazione di suoni e musica dal caos, grazie all'utilizzo di applicazioni realizzate ad hoc (Bossio et al., 2009). Le evoluzioni temporali dei sistemi caotici, rappresentate da una serie di numeri, possono essere convertite in una sequenza di note e produrre melodie. Gli studenti hanno inoltre sperimentato la creazione di musica dal caos anche utilizzando una tastiera MIDI³. Ciò ha dato loro la possibilità di modificare uno dei parametri di controllo del modello matematico, visualizzare e ascoltare come cambia il comportamento del circuito di Chua durante la sua evoluzione da uno stato stabile verso il caos. Tale transizione viene chiamata in termini tecnici «strada verso il caos» (Chua et al., 1993a; 1993b) e può essere rappresentata graficamente tramite un diagramma chiamato «mappa di biforcazione». I vari comportamenti del circuito di Chua dallo stato stabile, a quello periodico, fino alla transizione verso il caos, rappresentati dalla cosiddetta «spirale di

³ Con l'acronimo MIDI si intende Musical Instrument Digital Interface, si veda il sito Internet: <http://www.midi.org>

Chua» e dal «double scroll», sono stati analizzati tramite le immagini e i suoni generati. Gli studenti sono stati stimolati a:

- manipolare gli attrattori di Chua attraverso il software fornito e riflettere come alla variazione del valore dei parametri corrisponda una variazione nella forma visualizzata sullo schermo del computer;
- utilizzare il software per creare suoni attraverso gli attrattori precedentemente configurati;
- utilizzare altre applicazioni per realizzare composizioni musicali basate sugli attrattori;
- suonare tali composizioni con strumenti reali.

Durante una sperimentazione è stata svolta un'ulteriore attività: ciascuno studente ha realizzato in autonomia un approfondimento su un tema scelto tra diverse possibilità, realizzando archivi di immagini e suoni, presentazioni Power Point, sculture, disegni e altro.

Materiali

Si dedicherà ora un breve spazio per elencare i materiali utilizzati durante le sperimentazioni, suddivisi in materiali multimediali e attrezzature. Tra i supporti multimediali sono stati utilizzati:

- Video divulgativi sulla complessità, il caos, il circuito di Chua;
- Presentazioni Power Point;
- Modelli 3D degli attrattori caotici;
- Musiche;
- Software per l'oscilloscopio digitale;
- Software per la modifica e creazione di attrattori e musiche.

Le attrezzature utilizzate sono state:

- Kit per la costruzione del circuito di Chua;
- Strumenti musicali digitali: tastiera MIDI;
- Calcolatori.

Si è cercato di assicurare la fruizione singola da parte di tutti gli studenti dei materiali messi a disposizione, per tale motivo, tutti i computer presenti nelle aule multimediali sono stati dotati dei software necessari. Inoltre, vista l'esigua disponibilità dei kit forniti per la costruzione del circuito si è suddivisa la classe in gruppi di lavoro e, in seguito, ciascuno studente ha eseguito la costruzione individuale del circuito, ciò ha consentito anche la realizzazione di un breve filmato⁴.

⁴ Si veda, in Internet, un video su alcuni studenti che costruiscono il circuito, URL: http://www.youtube.com/watch?v=uHf_2ppHlfA

Partecipanti

La sperimentazione è stata ripetuta in tre differenti occasioni: una presso una scuola media, due presso un istituto superiore. Per semplificare si indicherà con Sperimentazione I, quella svolta presso la scuola media, Sperimentazione II, la prima sperimentazione svolta presso il liceo, Sperimentazione III la seconda sperimentazione svolta presso lo stesso istituto. Gli studenti erano provenienti da varie classi, così da formare gruppi eterogenei per fascia d'età e competenze. Nella tabella seguente, tab. 1, è presentato un quadro riassuntivo dei partecipanti, con la scansione dei vari dati di rilievo.

Sperimentazione	N° Studenti Tot.	N° Studenti – Età	N° Studenti – Età / Genere
I	26	9 – 11 anni	5 maschi – 4 femmine
		11 – 12 anni	7 maschi – 4 femmine
		3 – 13 anni	3 maschi – 3 femmine
II	15	2 – 16 anni	femmine
		8 – 17 anni	
		4 – 18 anni	
		1 – 19 anni	
III	18	5 – 16 anni	femmine
		3 – 17 anni	
		6 – 18 anni	2 maschi – 4 femmine
		4 – 19 anni	1 maschio – 3 femmine

Tab. 1 – Partecipanti alle sperimentazioni

Piano delle attività

Le sperimentazioni sono state sviluppate attraverso l'uso di supporti tecnologici: nell'aula multimediale ciascuno studente ha avuto, infatti, la possibilità di utilizzare un computer. Al termine di ciascuna fase sono stati effettuati i test di verifica. Facendo riferimento all'esperienza standardizzabile di 13 ore, si può sintetizzare la distribuzione di lezioni e laboratori come segue: 1.5 ore per la visualizzazione di video, 3 ore per la presentazione di slide, 2 ore per i test, 2 ore per la costruzione del circuito, 3 ore per la simulazione su pc, 1.5 ore per la composizione di musica. Ad eccezione del tempo impiegato per la visione dei video e l'esposizione di concetti base attraverso presentazioni multimediali (4.5 h), le rimanenti ore di attività (8.5 h) hanno coinvolto direttamente e in vario modo i ragazzi.

Inizialmente sono stati presentati i concetti introduttivi alla teoria del caos, in particolare sono state mostrate soprattutto immagini e suoni generati a partire da sistemi caotici. I test di verifica sono consistiti in una serie di dieci domande a risposta multipla. Durante il secondo passo, la costruzione del circuito è stata realizzata in gruppi. I test di verifica relativi a questa fase sono stati articolati in modo da verificare il raggiungimento di ciascun obiettivo. Ogni gruppo, alla conclusione della costruzione del circuito, ha

verificato in autonomia il funzionamento dello stesso. I test di verifica veri e propri, invece, sono stati sviluppati in tre momenti successivi. La terza parte, svolta interamente al computer, ha portato alla creazione da parte dei ragazzi di nuovi e colorati attrattori; ciascuno studente ha dimostrato l'acquisizione delle abilità necessarie per la manipolazione degli attrattori tridimensionali, il cambio di colore, di rendering, il salvataggio dei nuovi file, ecc. Durante tale test di verifica è stato possibile realizzare un archivio su ciascun calcolatore degli attrattori creati dagli studenti. Il quarto passo è stato sviluppato come il terzo attraverso l'utilizzo del computer.

Procedura

La procedura attuata viene presentata attraverso una sequenza di immagini che mostrano le fasi svolte durante le tre sperimentazioni. Le presentazioni multimediali per l'introduzione dei concetti base sulla teoria del caos e del circuito di Chua sono state propedeutiche alla costruzione fisica del circuito da parte degli studenti (fig. 3). Ricevuti i kit e i materiali di supporto, sotto un'opportuna guida, i ragazzi sono stati in grado di realizzare il circuito eseguendo 10 operazioni (fig. 4). Successivamente hanno controllato il funzionamento del circuito collegandolo a un computer e verificando la visualizzazione del double scroll. I circuiti realizzati dai ragazzi sono risultati funzionanti in fase di verifica (fig. 5), da ciascuno è stato possibile visualizzare la prima strada al caos.



Fig. 3 Alcune immagini delle lezioni in aula.



Fig. 4 Costruzione del circuito di Chua in dieci operazioni.



Fig. 5 Alcune immagini della seconda fase: la costruzione del circuito.

La simulazione è stata realizzata grazie all'utilizzo di alcuni software reperibili liberamente in rete. La rappresentazione visiva degli attrattori fornisce oggetti tridimensionali che possono essere facilmente modificati attraverso la manipolazione dei parametri di controllo (fig. 6).



Fig. 6 Alcune immagini della terza fase: simulazione del circuito di Chua ai calcolatori.

Durante la fase conclusiva, gli studenti hanno verificato la possibilità di generare melodie e musiche dal caos. L'ascolto è stato possibile anche attraverso l'uso di strumenti musicali digitali (Rizzuti, 2009) basati sul circuito di Chua attraverso l'impiego di tastiere MIDI (fig. 7).



Fig. 7 Alcune immagini della quarta fase: evoluzione degli attrattori di Chua attraverso i suoni e le musiche.

I brani prodotti sono stati, inoltre, raccolti e archiviati, a testimonianza del fatto che imparare la fisica e la matematica non vuol dire solo e sempre utilizzare formule e applicare rigorosi teoremi, ma può voler dire anche divertirsi ed esprimere la propria creatività.

Prove di verifica

Le prove di verifica sono state redatte ad hoc in base ai contenuti delle lezioni condotte. Le finalità del test d'ingresso erano: la valutazione di conoscenze precedentemente acquisite sul caos e i sistemi complessi e sul significato di alcuni termini come: circuito elettrico, resistenza, fenomeno fisico. Una delle domande che ha fornito maggiori indicazioni sul grado di consapevolezza sugli argomenti trattati è stata quella relativa al significato del termine caos. Come era facile prevedere, per l'assoluta assenza nei curricula degli studenti di nozioni di questo tipo e per l'uso che si fa nel gergo comune di tale parola, nella quasi totalità delle risposte fornite dagli studenti, il termine caos viene assimilato al disordine. Inoltre, molte delle domande rivolte avevano lo scopo di verificare le capacità d'intuito e di orientamento dei ragazzi. Nel secondo test di verifica sono state proposte prove riguardanti principalmente le caratteristiche fondamentali del circuito, come per esempio, il riconoscimento e l'esatta collocazione degli elementi. Il terzo test, quello conclusivo, è stato strutturato in maniera da riepilogare tutto il contenuto del corso. Parte del test si concentrava, infatti, nuovamente sul circuito, il resto invece sulla parte relativa alla simulazione e alla creazione di musiche dal caos. Un approfondimento sui materiali utilizzati è proposto nell'articolo a questo collegato⁵.

Criteri di valutazione

Per quanto riguarda i criteri di valutazione si è scelto di attribuire un punteggio di 1 per ciascuna risposta esatta poiché i test sono stati strutturati sulla base di 10 domande; si è poi proceduto alla sommatoria dei punteggi. Per il test intermedio invece si è ricavato un risultato complessivo seguendo un criterio differente. In particolare, le parti II e III del test sono state valutate in base all'esattezza, alla completezza e alla chiarezza con un punteggio oscillante tra 0 e 10. La valutazione complessiva è stata calcolata tramite la media aritmetica fra i tre risultati. Gli archivi di attrattori e musiche realizzati dagli studenti, attraverso l'uso dei software forniti, non hanno costituito alcun ulteriore tassello valutativo, considerata la difficoltà di valutare la qualità di una simile realizzazione. Nonostante ciò è stato osservato come dopo poco tempo, quantificabile in circa 10 minuti, tutti gli studenti siano stati in grado di utilizzare proficuamente i software e rispondere ai compiti che venivano loro richiesti.

⁵ Si veda, in questo numero, l'articolo correlato: Sperimentare e simulare la fisica attraverso la manipolazione e l'uso di tecnologie didattiche.

Risultati

La sperimentazione condotta ha mostrato come sia possibile l'avvicinamento di ragazzi molto giovani ad argomenti e temi di ricerca avanzati. Il risultato più sorprendente lo si è avuto nella fase di costruzione del circuito che, a partire dai primi incontri, è stata attesa con grande curiosità dai ragazzi. La manipolazione di elementi mai visti prima, quelli elettrici, e il loro riconoscimento è stato percepito come un gioco. Allo stesso modo gli studenti hanno intuito l'importanza che il circuito riveste in ambito scientifico.

Sperimentazione I

Il test iniziale d'ingresso, dieci domande a risposta multipla, è stato necessario per capire il livello di conoscenza e d'intuito dei ragazzi. Dai risultati, fig. 8, presentati secondo una scala che va da 0 a 10, si può notare come solo il 3% abbia raggiunto il risultato massimo. Il motivo è legato al fatto che nell'87% dei casi la risposta sul senso comune attribuita alla parola caos è di «disordine» e non di «complessità».

I risultati del secondo test, articolato in tre fasi: domande a risposta multipla, riconoscimento e collocazione dei componenti elettrici, disegno dello schema circuitale, sono presentati in modo globale. Agli studenti sono stati sottoposti tre fogli in momenti distinti e successivi. I risultati mostrano un evidente incremento delle performance positive dei ragazzi. Il disegno dello schema del circuito di Chua e l'inserimento dei componenti sulla sua rappresentazione semplificata (fig. 9) sono stati realizzati con successo dagli studenti, che hanno ottenuto la massima valutazione rispettivamente in una percentuale pari all'85% (Parte II) e al 98% (Parte III). Le fasi della simulazione e della creazione di musiche dal caos hanno previsto anche attività di laboratorio durante le quali gli studenti hanno creato un archivio, memorizzando i nuovi attrattori e le musiche da loro realizzate (fig. 9). Nella fase di simulazione è stato anche creato da uno studente il logo della sua scuola, intitolata ad «Amerigo Vespucci»: un attrattore a forma di vela. I risultati del test finale evidenziano il successo della sperimentazione con il 50% degli studenti che ha totalizzato il punteggio massimo.

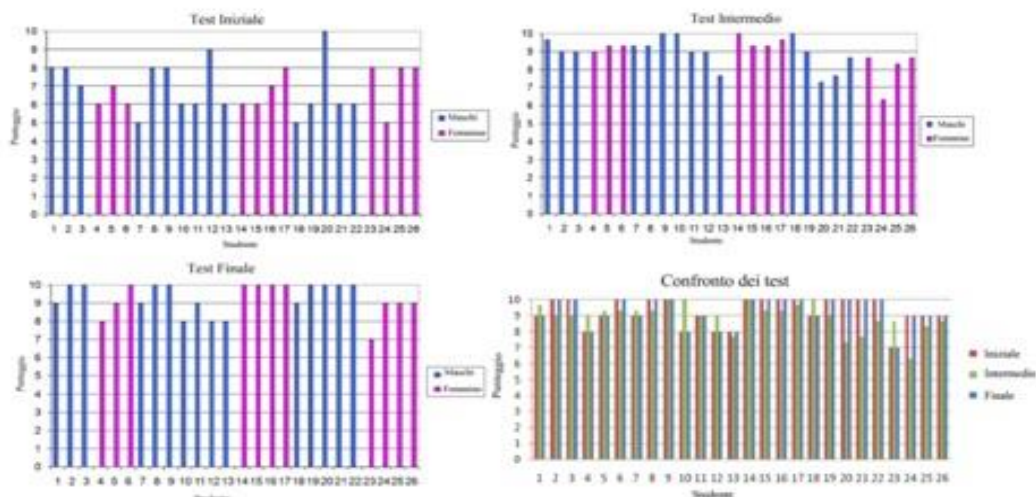


Fig. 8 Risultati dei test.

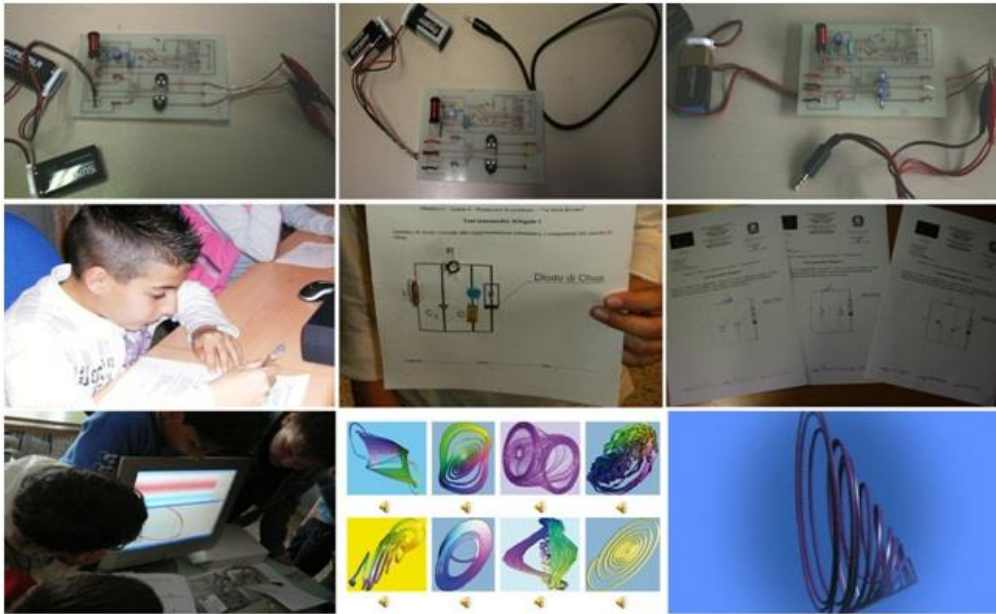


Fig. 9 Alcune realizzazioni degli studenti; studenti impegnati nella compilazione dei test.

Comparando i risultati dei test relativi alle varie fasi iniziale, intermedia e finale, si può considerare che l'obiettivo della sperimentazione sia stato pienamente raggiunto. I risultati mostrano una crescente risposta positiva, ciò a dimostrazione di come la consapevolezza e la comprensione siano aumentate durante il suo svolgimento. Tale studio dimostra come un argomento scientifico avanzato possa risultare non solo accessibile, ma avere anche un certo successo. Si deve annotare, inoltre, come i partecipanti alla sperimentazione abbiano mostrato molto entusiasmo e un alto livello di interesse e curiosità. Da riportare, perché ampiamente significativa è l'esclamazione «ecco il caos!» di uno studente alla vista del double scroll prodotto dal circuito. Un altro studente ha invece chiesto di potere avere la lista dei componenti necessari per costruire il circuito a casa durante le vacanze estive. Molto interesse ha suscitato anche la fase di simulazione evidenziando che i software utilizzati risultano essere semplici ed efficaci. Dopo pochi minuti di interazione tutti gli studenti sono stati in grado di creare e modificare le forme caotiche, generando un archivio di immagini riportato solo in parte nel presente articolo. Si sono realizzati, infine, gli obiettivi di rendere consapevoli gli studenti di quanto quotidianamente in natura siano presenti i fenomeni caotici e di acquisire conoscenza attraverso la manipolazione sul circuito di Chua e sulla sua simulazione.

Sperimentazione II

La seconda sperimentazione, del tutto simile alla prima, è stata realizzata presso la scuola superiore e ha avuto una durata di 13 ore. Le lezioni in aula hanno preceduto la costruzione fisica del circuito. Come nel primo esperimento, tutti i circuiti costruiti hanno funzionato correttamente, consentendo la visualizzazione della prima strada verso il caos. La figura 10 mostra i risultati delle prove iniziali, intermedie e finali dei test somministrati agli studenti. L'analisi dei risultati mostra che l'attività di costruzione del

circuito ha raggiunto un altissimo livello di comprensione. I risultati dei test finali sono stati eccellenti. Il 50% della classe ha risposto correttamente a tutte le domande.

Confrontando i risultati delle prove iniziale, intermedio e finale, si può notare un costante miglioramento nella comprensione dei contenuti e una maggiore capacità nell'utilizzo degli strumenti forniti. Nella figura 11 sono mostrate alcune immagini create dalle studentesse.

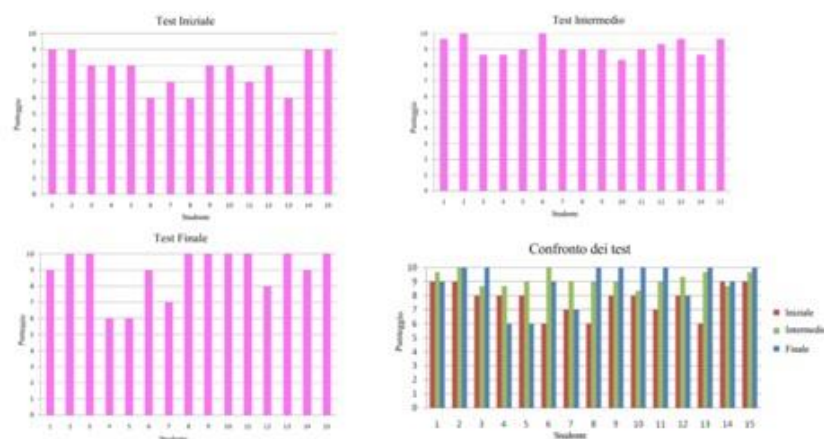


Fig. 10 Risultati dei test.



Fig. 11-Alcune immagini realizzate dalle studentesse.

Sperimentazione III

Durante le prime due sperimentazioni si è adottato uno stesso modulo organizzativo. Per la terza sperimentazione, si è pensato di ampliare la trattazione, soprattutto incoraggiati dagli studenti che hanno mostrato molto interesse ad approfondire argomenti riguardanti specifici temi introdotti durante il corso. Tale sperimentazione, della durata di trenta ore, ha visto quindi la realizzazione di due moduli, un primo organizzato esattamente come i precedenti, un secondo modulo, di approfondimento, dedicato ad altri nuovi contenuti. Molti partecipanti hanno avuto la possibilità di utilizzare i materiali da loro elaborati durante l'esame orale nella prova finale di diploma. Sono stati introdotti nuovi contenuti di insegnamento: una rivisitazione in chiave teatrale dell'invenzione del circuito di Chua, la scoperta dei memristors (Strukov et al., 2008) a 37 anni dalla prima ipotesi circa la loro esistenza avanzata da Chua (Chua, 1971), esperimenti in cui gli studenti hanno interagito con gli attrattori in ambienti virtuali, l'uso di sistemi caotici per comporre musica e creare strumenti musicali virtuali, l'uso del circuito per la produzione di oggetti di design rappresentati attraverso la grafica 2-D, concetti di base sugli automi cellulari e le reti neurali (Chua e Roska, 1993). Ciascuno studente, a valle del primo modulo di sperimentazione e prima del test finale, ha avuto la possibilità di realizzare un proprio elaborato sulla ricerca condotta approfondendo un tema scelto a piacere tra quelli proposti, fig. 12. La valutazione degli elaborati presentati dagli studenti è stata qualitativa e ha evidenziato come, in opposizione ai luoghi comuni su una minore attitudine verso la scienza del sesso femminile, si possa di fatto rafforzare un sempre maggiore coinvolgimento delle donne nella ricerca, stimolando curiosità e approfondimenti. Gli studenti hanno creato un archivio con elaborazioni personali e originali sotto forma di video⁶, presentazioni multimediali, sculture, immagini, modelli tridimensionali, suoni e musiche.



Fig. 12 Alcune prodotti creati dagli studenti.

⁶ Si veda, in Internet, a titolo di esempio un video su alcune evoluzioni caotiche realizzato da una studentessa, URL: <http://www.youtube.com/watch?v=Xhy8-a6C4i8>



Fig. 13 Studentesse che creano un attrattore con un filo di ferro.

Alcune studentesse hanno realizzato con il filo di ferro alcune sculture di attrattori, fig. 12. Dall'analisi dei risultati, fig. 13, emerge una sostanziale conferma sul successo della sperimentazione, e si sottolinea una novità qualitativa interessante: la classe sottoposta sia alla metodologia standardizzata che all' integrazione con nuovi contenuti e approfondimenti ha raggiunto, nella prova finale, migliori risultati.

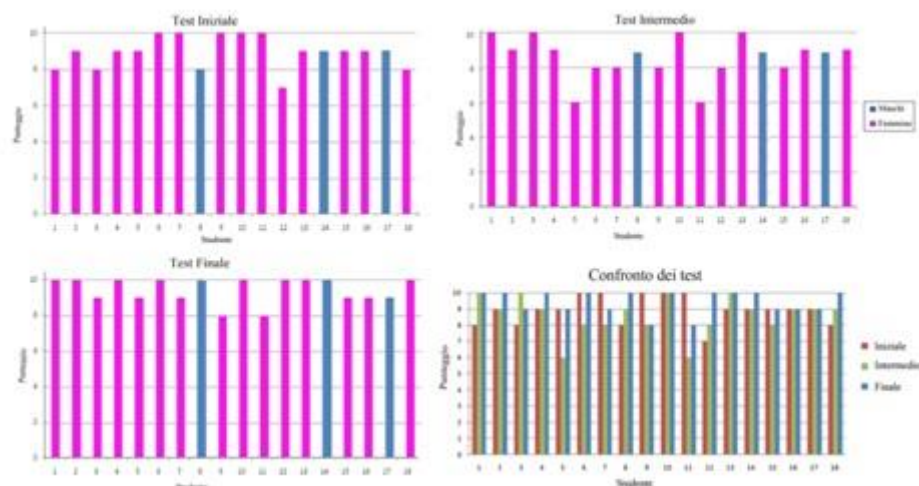


Fig. 14 Risultati dei test.

La richiesta di un'elaborazione personale su temi riguardanti il caos e la complessità ha permesso agli studenti di esprimere al meglio creatività, interesse e motivazione.

Conclusioni

I processi dell'apprendimento sono influenzati non solo dalle diverse funzioni cognitive, quali la memoria, la capacità d'attenzione, di ragionamento, ma anche da fattori emotivi e motivazionali. Lo studio qui presentato si focalizza sugli aspetti metodologici per la costruzione di ambienti di insegnamento/apprendimento che promuovano il pensiero critico degli alunni. Educare, soprattutto giovani studenti, alla complessità risulta

indispensabile per la formazione individuale. L'impalcatura teorica è quella costruttivista, che guida gli studenti verso modalità di ragionamento che attivano sia il pensiero critico, sia le competenze metacognitive. Per realizzare ciò si è proceduto all'allestimento di una metodologia che potesse stimolare gli studenti nell'apprendimento della teoria del caos. Sono stati a questo scopo allestiti dei laboratori sperimentali che comprendessero sia uno spazio adeguatamente attrezzato per la sperimentazione, sia percorsi didattici per favorire un apprendimento attivo. Ciò anche nell'ottica di un rinnovamento della didattica e dell'applicazione di modelli pedagogici di matrice costruttivista. Le esperienze sono state replicate più volte e la raccolta dei dati per la valutazione è tale da tracciare un quadro fortemente positivo e porre tale metodologia come riferimento sia per ciò che concerne l'evoluzione dei ruoli nella complessità psicopedagogica, sia per un reale rinnovamento metodologico nella didattica delle scienze. L'obiettivo delle sperimentazioni condotte è stato principalmente di avvicinare gli studenti verso un argomento scientifico non presente nei loro curricula: il caos.

I risultati ottenuti evidenziano il successo delle sperimentazioni: i ragazzi hanno acquisito consapevolezza sul significato scientifico della parola «caos» e hanno percorso, attraverso la manipolazione, un processo di acquisizione dei concetti fondamentali legati a questa materia. La capacità creativa degli studenti è stata pienamente espressa attraverso la realizzazione dei modelli tridimensionali degli attrattori, dei suoni e delle musiche e dei materiali multimediali. Gli studenti hanno mostrato grande coinvolgimento durante lo svolgimento di tutte le fasi della sperimentazione. Dall'analisi dei risultati ottenuti si rileva che il metodo d'insegnamento messo a punto risulta efficiente ed efficace. L'attenzione dei ragazzi è stata dapprima catturata attraverso la visione di immagini e l'ascolto di musiche, ciò ha fatto nascere curiosità e stimolo a realizzare personalmente simili oggetti. Successivamente, attraverso la fase di costruzione del circuito gli studenti sono stati collegati direttamente allo strumento scientifico, il circuito di Chua, in grado di mostrare il comportamento caotico. Ciò ha permesso la riduzione dell'astrazione degli argomenti trattati. L'approccio alla scienza è diventato in questo modo rilassato, creativo e stimolante. Infine, la simulazione ha permesso ai ragazzi di sperimentare la scienza attraverso un mezzo familiare: il computer. L'apprendimento è stato veloce, intuitivo, piacevole e facilitato da strumenti fisici e tecnologici. Tutto ciò ha permesso la realizzazione di un reale percorso di conoscenza del fenomeno scientifico del caos. I lavori futuri possono essere diretti verso un consolidamento delle tecniche di insegnamento con il coinvolgimento di studenti appartenenti a fasce d'età più ampie. Ulteriori sviluppi possono aversi anche nella standardizzazione dei kit e degli strumenti utilizzati per veicolare la conoscenza sul circuito di Chua e il caos.

Bibliografia

- Aldrich C. (2005), *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy, e-Learning and Other Educational Experiences*, San Francisco, Pfeiffer.
- Ausubel D. (1995), *Educazione e processi cognitivi*, Franco Angeli Editore.
- Barrow J. (2009), *Le immagini della scienza*, Milano, Mondadori.
- Bilotta E., Bossio E. e Pantano P. (2010), Chaos at school: Chua's circuit for students in junior and senior high school, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 20, n. 3., pp. 1-28.

- Bruner J. (1993), *Il processo educativo. Dopo Dewey*, Armando Editore.
- Bossio E. e Rizzuti C. (2009), *An Interactive Virtual Environment to Learn Chaos*. Atti del convegno «International Technology, Education and Development Conference», Valencia, Edited by L. Gómez Chova, D. Martí Belenguer e I. Candel Torres, pp. 4531-4538.
- Calvani A. (2004), *Che cos'è la tecnologia dell'educazione*, Carocci Editore.
- Calvani A. (2011), *Principi dell'istruzione e strategie per insegnare*, Carocci Editore.
- Chua L.O. (1971), Memristor-the missing circuit element, *IEEE Trans. Circuit Th.*, vol.18, pp. 507-519.
- Chua L.O. (1992), The genesis of Chua's circuit, «Archiv fur Elektronik und Uebertragungstechnik», vol. 46, pp. 250-257.
- Chua L.O. e Roska T. (1993), The CNN paradigm, *IEEE Trans. Circuits Syst. I: Fund. Th. Appl.*, vol.40, pp. 147-156.
- Chua L.O., Wu C.W., Huang A. e Zhong G.Q. (1993a), A universal circuit for studying and generating chaos- Part I: Routes to chaos, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 40, pp. 732-744.
- Chua L.O., Wu C.W., Huang A. e Zhong G.Q. (1993b), A universal circuit for studying and generating chaos. II. Strange attractors, *IEEE Trans. Circuits Syst. I: Fund. Th. Appl.*, vol. 40, pp. 745-761.
- Krueger M. (1992), *Artificial Reality*, Addison Wesley.
- Mandelbrot B. (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, New York, W. H. Freeman and Co.
- Mitchell A. e Savill-Smith C. (2004), *The Use of Computer and Videogames for Learning: A Review of the Literature*, Learning and Skills Development Agency, Trowbridge, Wiltshire.
- Morin E. (2000), *La testa ben fatta*, Raffaello Cortina Editore.
- Peitgen H.O., Jürgens H., Saupe D. e Zahlten C. (1990), Video film, *Fractals*, An Animated Discussion, New York, W.H. Freeman and Company. Ed. Italiana (1991), I frattali. Illustrati da E. Lorenz e B. Mandelbrot; in un film di H.O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe e C. Zahlten, Le Scienze, Milano, Mondadori Video.
- Resnick M. (2006), Computer as paintbrush: Technology, play, and the creative society, in *Play = Learning: How Play Motivates and Enhances Children's Cognitive and Social-Emotional Growth*, eds. Singer D., Golikoff R. e Hirsh-Pasek K., Oxford University Press, Oxford, 2006.
- Rizzuti C. (2009), *Generazione di suoni e musiche mediante sistemi caotici*. Atti del convegno «XVII Colloquio di Informatica Musicale», Venezia, pp. 131-137.
- Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R. e Williams R.S. (2008), The missing memristor found, *Nature*, vol.453, pp. 80-83.