

## Sperimentare e simulare la fisica attraverso la manipolazione e l'uso di tecnologie didattiche

---

**Eugenia Lucia Bossio**

*Facoltà di Lettere e Filosofia, Università della Calabria*

### Abstract

---

Nell'ambito di una ricerca volta a investigare la possibilità di presentare la teoria del caos, un tema della fisica assai ostico per i non specialisti, a studenti di scuole medie e superiori, sono stati sviluppati e raccolti una serie di materiali didattici. Il presente lavoro descrive gli strumenti utilizzati per le sperimentazioni nelle scuole descritte in un altro articolo<sup>1</sup> contenuto in questo stesso numero della rivista. Le tematiche scientifiche sono state poste sotto una veste accattivante al fine di suscitare curiosità. Si è provveduto, inoltre, a strutturare i materiali didattici in maniera da proporre dei percorsi formativi poliedrici e diversificati anche tramite l'uso delle tecnologie informatiche. Lo sviluppo e la raccolta di applicativi multimediali, facilmente reperibili in rete, ha contribuito alla realizzazione di un pacchetto di strumenti che, nel suo insieme, consente un'applicazione didattica efficace realizzata più volte nel corso delle sperimentazioni compiute presso le scuole. Nel seguito saranno descritti gli elementi elettrici ed elettronici per la costruzione di un circuito elettronico che mostra un comportamento caotico e le varie operazioni necessarie per realizzarlo, gli strumenti informatici utili per la visualizzazione, su di un calcolatore, del segnale di tensione prodotto dal circuito, infine, i diversi software attraverso cui è possibile realizzare la simulazione del circuito elettronico e la visualizzazione delle traiettorie caotiche. Sono presentati, infine, i test di verifica e alcuni altri materiali didattici utilizzati durante le sperimentazioni già realizzate.

**Parole chiave:** Teoria del caos, circuito di Chua, tecnologie educative.

### Summary

---

A series of educational materials have been developed and collected during a research aimed to investigate the possibility to present a very advanced scientific topic such as chaos theory to secondary schools students. This work aims at present the equipments used for the experiments at schools that are described in an other paper (1) of this issue of the journal. The scientific topics have been presented to the students from an engaging point of view to arouse curiosity. The didactic materials have been organized in order to propose various and diversified training paths also based on a wide use of information technologies. The development and collection of multimedia applications, that are all easily available online, has contributed to the creation of a package of tools allowing an

---

<sup>1</sup> L'articolo a questo correlato è: Bossio E., Un percorso formativo per la didattica della scienza in scuole secondarie di primo e secondo grado, *Form@re*, Erickson.

effective didactic application already tested during several experiments in schools. In the paper we will describe the electrical and electronic elements needed to build an electronic circuit that shows a chaotic behavior. All the various steps necessary to achieve the voltage signal produced by the circuit will be also described. Moreover, the various software useful to simulate the electronic circuit and to display the chaotic trajectories will be presented. Finally, tests and some other didactic materials, that have been used during the application in the schools, will be described.

**Keywords:** Chaos Theory, Chua's circuit, Educational technology.

## Introduzione

Da sempre gli scienziati hanno profuso grandi energie affinché le loro scoperte potessero avere la massima diffusione. Questo sforzo acquista ancora più valore se i destinatari sono i giovani. In questo contesto, la riflessione proposta dallo scienziato britannico Stephen Hawking (Hawking, 2007) appare molto interessante. Egli afferma, infatti, che spiegare argomenti scientifici a studenti molto giovani possa risultare più semplice che farlo ad adulti, i primi hanno la mente libera da nozioni preconcepite e, spinti da una curiosità innata, non si imbarazzano nel porre domande. Anche il matematico Benoit Mandelbrot, meglio conosciuto come il fondatore e pioniere della geometria frattale (Mandelbrot, 1982), affermava che diffondere attraverso le immagini i risultati delle sue ricerche rappresentava, a suo modo di vedere, una grande occasione: mostrare come la matematica possa essere anche «bellezza». La sua invenzione, l'insieme di Mandelbrot, gli ha permesso di divulgare i risultati delle sue ricerche matematiche attraverso immagini e oggetti coinvolgenti e accattivanti. Più volte Mandelbrot ha sottolineato nei suoi lavori la necessità di sfruttare i nuovi media e gli strumenti tecnologici per mettere in risalto il lato artistico ed estetico della scienza e della matematica.

A diversi anni di distanza, si cerca di ripetere un tentativo del tutto simile: mostrare ai giovani le meraviglie della fisica e della matematica attraverso un tema scientifico molto affascinante come la teoria del caos. La varietà delle forme, le metafore e i prodotti artistici derivanti da un sistema caotico possono essere in grado di mostrare la scienza in un modo nuovo e accattivante, ossia anche come fonte per creazioni artistiche. Tentativi simili sono stati condotti da Gandhi (Gandhi et al., 2009) che ha introdotto studenti di scuola superiore alla sperimentazione sul caos attraverso la costruzione del circuito di Chua (Chua, 1992) e la simulazione mediante il software MultiSim. Il tentativo che si vuole fare, supera questa proposta in quanto articola una serie di strumenti e tecnologie per proporre sperimentalmente un percorso formativo didattico di matrice costruttivista. Tra i diversi sistemi non lineari esistenti, l'oscillatore Chua svolge un ruolo molto importante, poiché è stato oggetto di una grande quantità di ricerche scientifiche a partire dal 1984 (Matsumoto, 1984). Inoltre, il circuito di Chua è considerato uno strumento canonico nello studio del caos sia per ciò che riguarda gli aspetti ingegneristici, sia quelli fisici e matematici; ciò è tanto vero che questo circuito è stato definito da molti un paradigma di riferimento per gli studi sui sistemi dinamici non lineari (Madan, 1992). La sua costruzione risulta semplice e per questo ne era già stato ravvisato il suo potenziale uso didattico (Kennedy, 1992a). Molti fenomeni oscillatori che si manifestano in natura, nei circuiti elettronici o nei sistemi di elaborazione dei segnali, non riescono a essere descritti da sistemi lineari ma necessitano di modelli dinamici non lineari. Fino a qualche decennio fa, erroneamente, il paradigma riduzionista di stampo newtoniano è stato l'unica guida anche nello studio di tali sistemi non lineari. Per molti anni, non essendo stati sviluppati modelli teorico matematici, i fenomeni non lineari, pur manifestandosi nell'evidenza sperimentale, sono stati trascurati. Un esempio di questo tipo viene dagli studi realizzati su una lampada al neon da Van der Pool: durante gli esperimenti si evidenziavano delle irregolarità nel circuito, classificate come rumore e non ulteriormente approfondite. Sono dovuti trascorrere molti anni, sono stati necessari modelli matematici di sintesi su tali sistemi, ma, soprattutto, è stato fondamentale l'uso del calcolatore prima che questo rumore fosse spiegato con precisione matematica e certezza sperimentale (Chua, 1986). Negli ultimi cinquant'anni, i sistemi dinamici sono uno dei più dibattuti

temi della scienza e promettono, anche nel nuovo secolo, di rimanere tali. Come già accennato, le scoperte scientifiche su questi sistemi influenzano non solo la matematica, ma anche altre discipline scientifiche, dalla fisica, alla chimica, la biologia, le neuroscienze, le discipline economiche, finanziarie e sociali, poiché forniscono nuovi paradigmi sull'analisi e la decodifica dei fenomeni naturali, l'evoluzione dei sistemi sociali, finanziari ed economici. Non a caso, infatti, si parla di pervasività del caos e i concetti approfonditi da questi studi hanno dato avvio anche a riflessioni filosofiche molto profonde e interessanti sui concetti di caso, caos, riduzionismo e determinismo. Le applicazioni sviluppate a partire da tali temi teorici hanno trovato un fiorente terreno di collaborazione con l'informatica, che ha reso possibile il calcolo numerico, la simulazione e la visualizzazione grafica di fenomeni che altrimenti sarebbero rimasti al di fuori delle possibilità di studio.

L'impiego di modelli matematici capaci di simulare comportamenti facilmente riscontrabili in natura offre la possibilità di riprodurre la ricchezza di tali fenomeni anche attraverso l'impiego di un calcolatore e di programmi appositamente realizzati. La simulazione consente di poter osservare come la modifica di opportuni parametri del modello matematico influisca sul tipo di comportamento del sistema simulato. In tal modo è quindi possibile seguire virtualmente le evoluzioni di un sistema caotico, così come sperimentare le diverse proprietà che caratterizzano questa famiglia di sistemi fisici. In questo contesto, gioca un ruolo fondamentale la visualizzazione scientifica. I sistemi dinamici, infatti, sono spesso rappresentati attraverso la visualizzazione scientifica, resi affascinanti e proposti al grande pubblico anche grazie agli effetti della grafica. Lo stesso Lorenz nel 1972 attirò l'attenzione della comunità scientifica proponendo un fondamentale concetto relativo ai sistemi caotici, cioè l'elevata sensibilità di questa famiglia di sistemi alla variazione delle condizioni iniziali, sotto forma di una domanda paradossale divenuta celebre: «does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?» (Lorenz, 1995). Lo scienziato del MIT si rese conto della necessità di semplificare un concetto matematico e utilizzò una rappresentazione visiva per presentare un problema complesso, fornendo un contributo eccellente su un nuovo metodo di approccio alle scoperte della scienza. In seguito, molti altri matematici e fisici hanno calcato il suo esempio divulgando le loro invenzioni attraverso l'uso di rappresentazioni visive. La visualizzazione scientifica fa uso di metodi attraverso cui possono essere create rappresentazioni visive di serie di dati numerici derivanti dalla realtà fisica (scientific visualization) (Card et al., 1999) o di informazioni (information visualization). Da più parti si sottolinea come tali metodi possono essere utilizzati per ampliare le capacità cognitive e per guidare la costruzione di modelli cognitivi per la comprensione (Johnson e Hansen, 2004). La visualizzazione scientifica può svolgere anche un ruolo centrale nell'apprendimento; in particolare, nell'insegnamento della scienza spesso, in assenza di tali strumenti, gli allievi mostrano molta più difficoltà nell'intraprendere compiti impegnativi d'interpretazione dei contenuti (Gilbert, 2005). Inoltre, la visualizzazione scientifica non fornisce solo tecniche e metodi computazionali per creare rappresentazioni visive e interattive dei dati, in altri termini, non è solo un dispositivo per il post trattamento dei dati, per la presentazione dei risultati e/o le conclusioni di un lavoro di ricerca, ma è anche uno strumento per l'analisi e un mezzo che può consentire la realizzazione di nuove scoperte, oppure ancora, uno strumento per comprendere meglio i fenomeni studiati. Le immagini, in questo caso quelle delle traiettorie caotiche,

denominate in termini tecnici attrattori<sup>2</sup>, spesso, fanno sì che l'invisibile diventi visibile e i modelli o le informazioni acquistino un significato concreto. Le immagini sono risorse di vita, strumenti di ricerca, forme di pensiero. L'uso delle immagini e, in generale, della multimedialità e della tecnologia, che si innestano dentro spazi di vita sempre più ampi, scardina gli «assoluti» della pedagogia verbocentrica. Non è necessario sapere parlare sulle immagini, spiegarle e, secondo il linguaggio della pedagogia ufficiale, decodificarle; le immagini, in generale, le comunicazioni visive, non hanno bisogno di grammatiche o storie poiché parlano anche a chi non sa parlarne (Maragliano, 2007). Le immagini sono create e manipolate allo stesso modo delle parole e in alcuni casi utilizzate in sostituzione a queste. Contrario al *modus operandi* corrente è invece l'uso che si fa delle immagini nella scuola e nei materiali didattici, prosegue ancora Maragliano; in un'affermazione forte ma efficace sostiene che alcuni testi scolastici, emblematicamente quelli di storia dell'arte, hanno una tale decodifica dell'immagine attraverso il testo che avrebbero modo d'esistere anche senza queste. Ritornando ai sistemi caotici, in molti casi le forme visualizzate attraverso la simulazione sono modificabili grazie alla manipolazione dei parametri di controllo del modello matematico e anche un utente non esperto può interagire con esse. In tal modo la visione e la conoscenza risultano intrinsecamente collegate. Da un lato, dunque, la visualizzazione è necessaria per la comprensione e l'analisi dei processi, dall'altro, grazie all'intervento della computer grafica, comunica contenuti e, a volte, incanta e stupisce l'utente finale. Molti anni di ricerche e sviluppi hanno consentito la messa a punto di sistemi computazionali per la visualizzazione delle serie numeriche derivanti da sistemi caotici. Questi, spesso, facendo uso di varie tecniche di computer grafica permettono all'utente non solo di esplorare i fenomeni caotici, ma di essere egli stesso creatore di modelli e immagini straordinarie.

Il presente lavoro illustra i diversi materiali utilizzati per realizzare tre sperimentazioni condotte in scuole medie e superiori. Ciò che si propone è un pacchetto didattico replicabile, sia da singoli, sia da classi interessate a realizzare un'esperienza simile. I materiali proposti spaziano dal kit per la realizzazione del circuito fisico, al software necessario a visualizzare il segnale caotico proveniente dal circuito, dagli applicativi per simulare il caos e sperimentare la creazione di traiettorie caotiche, fino ai test di verifica che possono essere condotti durante la sperimentazione.

### **Sperimentare il caos attraverso la manipolazione e la simulazione**

Una serie di materiali didattici possono essere utilizzati per sperimentare il caos sia da un punto di vista fisico che virtuale. La costruzione della conoscenza è frutto del funzionamento cognitivo individuale, delle esperienze personali e delle loro interpretazioni (Jonassen, 1991), si può parlare di ambienti di tipo costruttivista, solo se questi consentono di creare uno spazio per comunicare e riflettere, piuttosto che imporre l'interpretazione di tali esperienze da parte degli educatori. La progettazione di ambienti di apprendimento costruttivista, basati o meno sull'uso di tecnologie informatiche, è stata caratterizzata da diversi contributi, tra questi, quello offerto da Jonassen (Jonassen, 1994) è sembrato essere un modello di riferimento adeguato alla strutturazione delle

---

<sup>2</sup> Si veda, in Internet, gli attrattori generati dal circuito di Chua, URL: <http://www.youtube.com/watch?v=4sj4J82EHLE>

sperimentazioni condotte. Le risorse, le funzioni e gli strumenti che permettono la progettazione di attività didattiche ispirate dall'approccio costruttivista sono:

1. L'individuazione di un oggetto concreto su cui si desidera organizzare l'attività di tipo risolutivo, questo può consistere in una situazione problematica, un progetto, un compito, una domanda; progettare, cioè, il nucleo dell'ambiente problematico, intorno al quale si sviluppano tutte le attività di apprendimento successivo. Tale azione deve comprendere la presenza simultanea di tre «spazi»:
  - a) Lo spazio del contesto, in cui si colloca il problema, che definisce l'insieme dei fattori ambientali, sociali e lavorativi che lo determinano;
  - b) Lo spazio della rappresentazione del problema, che deve stimolare, motivare e coinvolgere il discente;
  - c) lo spazio della manipolazione, che consente allo studente attraverso un'investigazione conoscitiva di interagire, attraverso modifiche, prove ed esplorazioni concrete, con gli oggetti, reali o virtuali che siano.
2. Un certo numero di casi correlati al problema;
3. Le risorse di tipo informativo, messe a disposizione con la finalità di arricchire e sostenere le basi di conoscenza possedute;
4. Gli strumenti per le attività di tipo cognitivo, denotati anche come strumenti per la costruzione della conoscenza; cioè i mind tools che sono al servizio della mente, aiutando ad amplificare la portata del nostro pensiero e a esternalizzare i nostri ambienti mentali, per rendere visibili i nostri modi di pensare; inoltre sono utilizzati per analizzare i problemi e rappresentano modelli per facilitare il processo di apprendimento e supportare i discenti nella creazione di nuove categorie mentali. I Mind tools consentono al discente di trasformarsi in progettista della conoscenza e apprendere insieme alla tecnologia e non dalla tecnologia;
5. Gli strumenti per la collaborazione e per la comunicazione;
6. Il supporto per il contesto sociale, che consente l'adattamento allo specifico contesto in cui concretamente si opera nelle attività che prevedono le interazioni con l'ambiente.

Tra le fasi descritte quella di scaffolding rappresenta la matrice attorno cui si è sviluppata la metodologia che sta alla base delle sperimentazioni proposte. La creazione di un'impalcatura procedurale delinea, infatti, la possibilità di approcciare anche temi scientifici avanzati, da parte di chi posseda o meno le conoscenze fisico-matematiche che questi richiederebbero. In particolare, i materiali necessari sono:

- video e presentazioni che permettono di introdurre il tema del caos considerando, per esempio, come questo sia presente in molti fenomeni della natura, favorendo così la creazione di un contesto di riferimento;
- software per visualizzare le traiettorie caotiche e per creare musiche e suoni, offrendo in tal modo una rappresentazione visiva e auditiva del problema e cercando di stimolare curiosità e motivazione;
- il circuito elettronico caotico, prevedendo un'esperienza di manipolazione e utilizzando mind tools per la sua costruzione e la verifica del suo comportamento;
- una serie diversificata di istruzioni per realizzare in autonomia elaborati, presentazioni, artefatti, oggetti artistici che abbiano come tema centrale il caos, offrendo cioè una serie di strumenti per la collaborazione, la comunicazione e le interazioni con l'ambiente.

In sintesi, le fasi della sperimentazione sono quattro così definite: contestualizzazione del fenomeno fisico del caos, costruzione del circuito elettronico caotico, simulazione dei modelli matematici caotici attraverso software e, infine, creazione di oggetti tridimensionali, disegni, sculture, musiche o video per la comunicazione di quanto appreso.

### Kit per la costruzione del circuito di Chua

Se da un punto di vista teorico cognitivo ci si basa sui paradigmi dell'approccio costruttivista, dal punto di vista puramente tecnico scientifico si prendono in considerazione i principi fondamentali della teoria dei circuiti elettrici e dell'elettronica dei sistemi non lineari. Il circuito di Chua è stato oggetto di una semplificazione strutturale che lo ha condotto, nel corso di diversi anni, ad assumere una forma semplificata rispetto a quella concepita in origine. Quella presa in considerazione è, in particolare, la configurazione introdotta da Kennedy nel 1992 (Kennedy, 1992b) che utilizza due amplificatori operazionali per realizzare il diodo di Chua, elemento elettronico che determina la non linearità nel circuito. Partendo dallo schema di costruzione del circuito nella fig. 1, i passi per comporlo sono ventuno, contando anche l'operazione finale che fornisce una differenza di potenziale collegando dei cavi ai poli di una batteria (Bilotta e Pantano, 2008).

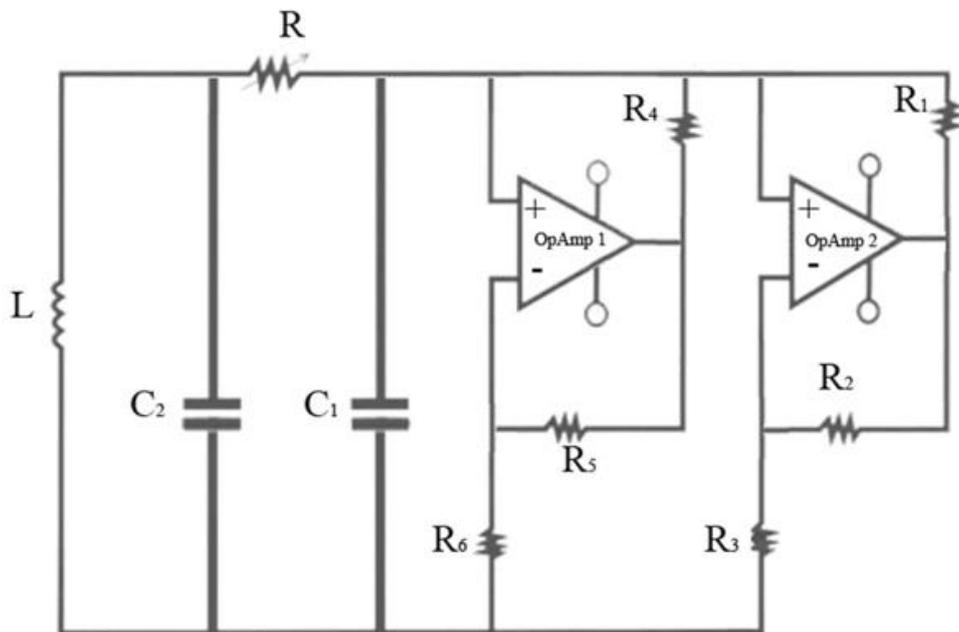


Fig. 1 – Schema del circuito.

Seguendo però le operazioni passo dopo passo, la realizzazione pratica di un simile approccio è possibile solo se si utilizza una comune basetta millefori, ben nota a chi si occupa di elettronica. Ma questo non è l'unico modo per approcciare la costruzione del sistema. Le basette millefori, infatti, pur consentendo una sequenza precisa nei

collegamenti dei poli tra i vari elementi, non assicurano la permanenza stabile degli stessi nelle sedi. Poiché le connessioni tra gli elementi circuitali sono molto sensibili, si è preferito utilizzare un approccio capace di eliminare qualsiasi possibilità di movimento dei capi di ciascun componente elettronico. La saldatura di alcuni elementi e il posizionamento di piedini, anch'essi saldati, è stata la condizione per procedere alla costruzione del circuito. Il funzionamento e di conseguenza la visualizzazione del segnale di tensione caratteristico, il cosiddetto double scroll<sup>3</sup>, come già sottolineato, è dipendente dalle condizioni al contorno entro cui si sviluppano le manipolazioni degli elementi circuitali. Volendo proporre una semplificazione concettuale di ciò, si può dire che il fenomeno caotico è, in genere, fortemente dipendente dalle condizioni iniziali e dal valore assunto dai parametri caratteristici del sistema; allo stesso modo, il funzionamento del circuito di Chua, quindi la visibilità o meno dell'attrattore double scroll, è fortemente dipendente dalla precisione con cui vengono collocati sulla basetta gli elementi che lo compongono. Analizzando la composizione del circuito e la strategia utilizzata per creare del materiale didatticamente fruibile per gli studenti, si può considerare come tale esperienza possa essere realizzata sostenendo una spesa di circa cinque euro. Il circuito è composto da quattro elementi lineari (due condensatori C1 e C2, un induttore L, un potenziometro R) e un elemento non lineare, definito diodo di Chua e composto da amplificatori operazionali e resistenze. Utilizzando una basetta con le tracce del circuito prestampato e alcuni elementi già saldati, la serie di operazioni da fare da parte dell'utente si riducono a dieci. Per far sì che gli elementi da inserire per completare il circuito risultino ben visibili si è pensato di realizzare ad hoc un'immagine costituita da un circuito già composto, evidenziando con degli ingrandimenti i componenti del kit per completarlo, e la loro esatta collocazione per permettere un riconoscimento agevole dei vari elementi e una rapida focalizzazione degli stessi. Quest'immagine costituisce l'elemento trainante ed essenziale nella messa a punto dei vari mind tools per la costruzione del circuito. La semplificazione concettuale che ha consentito la realizzazione del kit per la costruzione del circuito parte dalle idee, già in parte anticipate, di:

- utilizzare una basetta con lo schema circuitale prestampato;
- realizzare dei fori entro cui saldare i piedini di supporto per ciascun elemento del circuito;
- saldare, con un saldatore a stagno, tutti i piedini di supporto dei vari elementi;
- saldare alcuni componenti di difficile manipolazione da parte di inesperti, come per esempio: gli amplificatori operazionali, i potenziometri, i cavi per gli ingressi batterie e le uscite audio;
- fornire agli sperimentatori gli elementi mancanti e gli strumenti per collocarli, richiedendo il loro riconoscimento e l'esatto posizionamento sulla basetta.

Partendo da tale semplificazione è stato realizzato e proposto nelle sperimentazioni già realizzate, un kit così composto: una basetta circuitale con diversi componenti e i piedini già saldati sulla scheda per collocare gli elementi mancanti, componenti elettrici mancanti, schema per il riconoscimento degli elementi mancanti e per l'individuazione del loro posizionamento, fig. 2. L'impiego del kit per la costruzione del circuito, il riconoscimento e la manipolazione dei componenti elettrici si è rivelato essere nelle sperimentazioni realizzate un forte stimolo per gli studenti, in quanto ha fornito una

---

<sup>3</sup> Si veda, in Internet, l'attrattore double scroll generato dal circuito di Chua, URL: <http://www.youtube.com/watch?v=4sj4J82EHLE>

combinazione fra analisi, risoluzione e verifica empirica di un problema, incrementando la comprensione dell'oggetto in studio e la capacità di gestire compiti abbastanza complessi. I componenti necessari per la composizione del circuito sono riportati in tabella 1, per ciascuno sono indicati quelli pre-saldati e quelli contenuti nel kit.

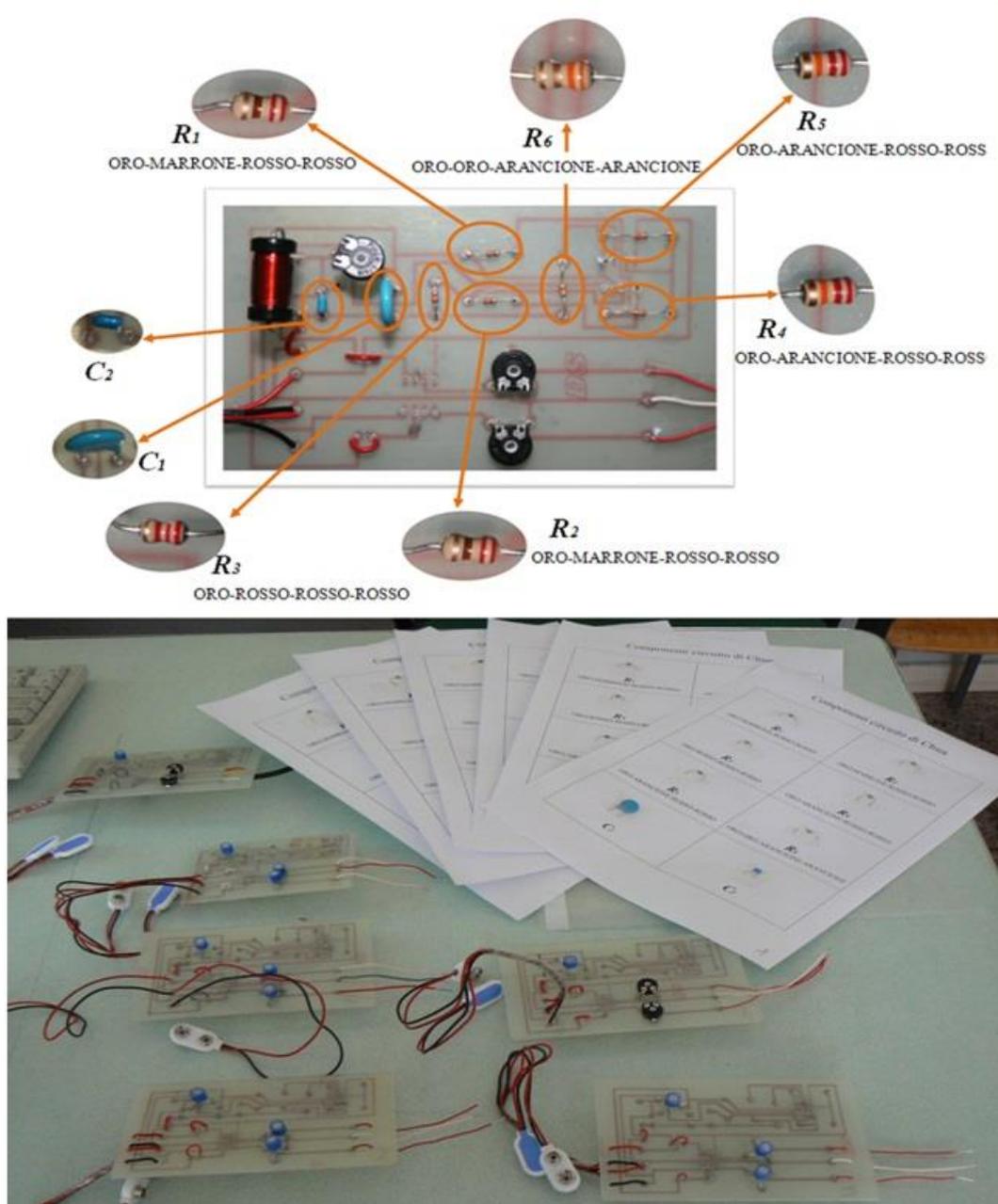


Fig. 2 – Schema e Kit per la costruzione del circuito.

| Componente, grandezza, simbolo          | Quantità | Kit/Pre-saldato |
|---|----------|-----------------|
| Condensatore, 10 nF, $C_1$              | 1        | Kit             |
| Condensatore, 100 nF, $C_2$             | 1        | Kit             |
| Induttanza, 18 mH, L                    | 1        | Kit             |
| Resistore, 220 $\Omega$ , $R_1$ , $R_2$ | 2        | Kit             |
| Resistore, 2.2k $\Omega$ , $R_3$        | 1        | Kit             |
| Resistore, 22k $\Omega$ , $R_4$ , $R_5$ | 2        | Kit             |
| Resistore, 3.3k $\Omega$ , $R_6$        | 1        | Kit             |
| Potenziometro, 2k                       | 3        | Saldato         |
| Batterie, 9 V                           | 2        | Kit             |
| Op-Amp, TL082                           | 2        | Saldato         |
| Cavo connessione batterie               | 1        | Saldato         |
| Spina uscita audio                      | 1        | Saldato         |

Tab. 1 – Elementi circuitali, distinta base

Tutti gli elementi che costituiscono il circuito possono essere inseriti anche se loro valore nominale si presenta con un'approssimazione in eccesso e/o in difetto pari al 5% rispetto a quello riportato in tabella. La visualizzazione del segnale di tensione può avvenire attraverso la connessione del circuito a un calcolatore e l'uso di un software, Osqoop, che simula un oscilloscopio, fig. 3.

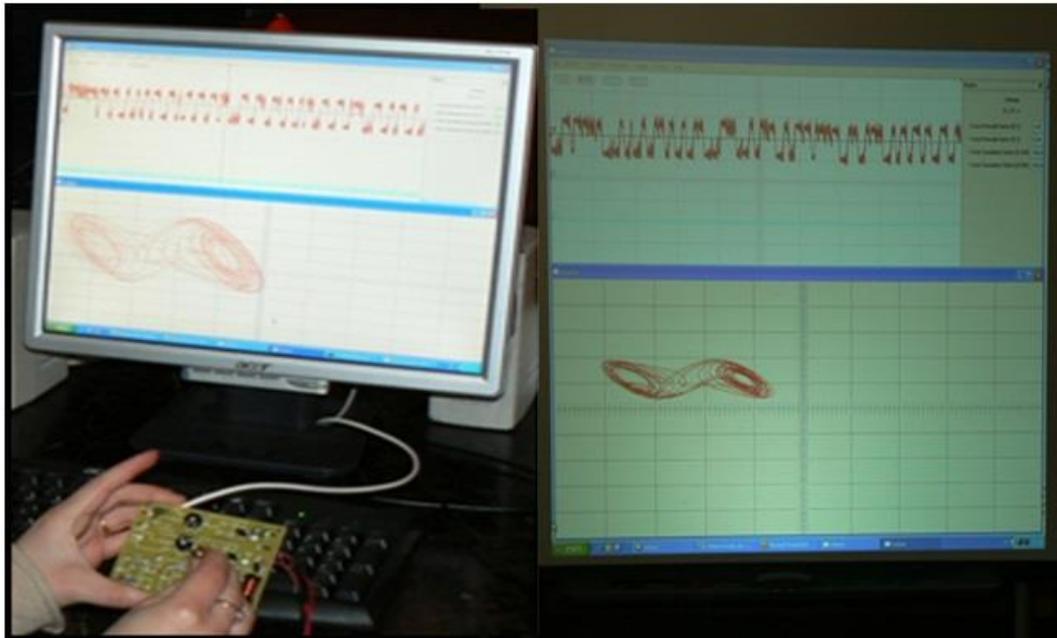


Fig. 3 – Il segnale di tensione dal circuito attraverso Osqoop.

Il software, liberamente reperibile in rete, ha un'interfaccia semplice e intuitiva dalla quale, se tutti gli elementi sono stati collocati nella maniera corretta, sarà possibile visualizzare l'attrattore caratteristico del sistema di Chua, il cosiddetto double scroll.

### **Applicativi per simulare il fenomeno caotico**

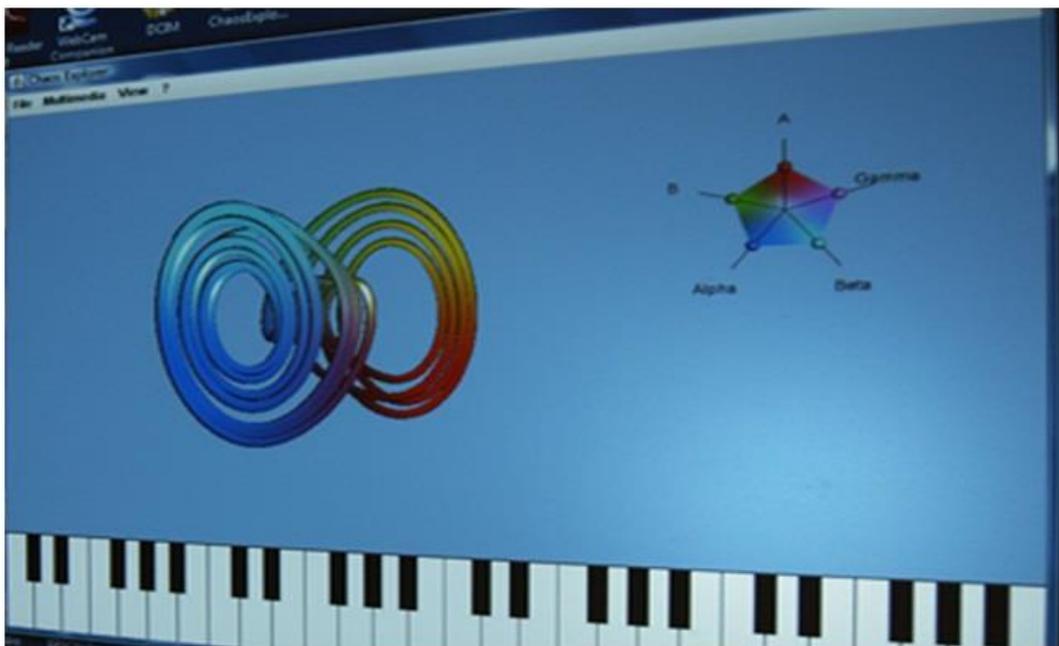
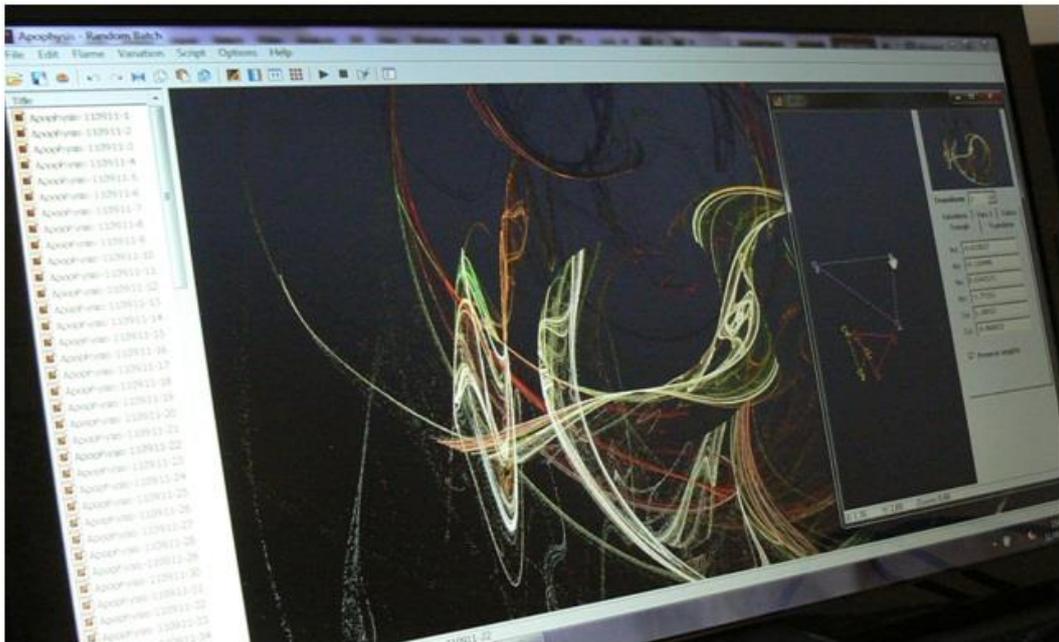
Un sistema dinamico è caratterizzato da una legge matematica ben definita che ne stabilisce la sua evoluzione nel tempo. Lo spazio delle fasi, ossia lo spazio matematico costituito da un certo numero di variabili proprie del sistema che consentono di definire in maniera univoca il suo stato, e la legge matematica che descrive la sua evoluzione temporale rappresentano le due componenti essenziali che costituiscono un sistema dinamico. Nel caso in esame si stanno considerando sistemi dinamici continui, in cui la legge matematica fondante è di natura continua. Matematicamente il circuito di Chua è descritto da un sistema di equazioni differenziali. Senza introdurre la specificità del modello matematico, ciò che interessa ai fini della trattazione è la semplificazione logica secondo cui sistemi complessi di tale genere possono essere esplorati visivamente attraverso la modifica dei parametri di controllo che fungono da mediatori tra l'utente e il modello matematico che rappresenta il sistema caotico. Il caso particolare del circuito di Chua riesce quindi a coniugare: la fisica, o meglio l'ingegneria, rappresentata dal circuito elettronico, e la matematica, ossia la simulazione, rappresentata dalla visualizzazione scientifica degli attrattori. Non sempre però si può essere in presenza di modelli fisici la cui derivazione matematica viene poi a essere oggetto dell'interazione dell'utente. Molto più frequentemente il modello matematico caotico esiste anche senza un'evidenza fisica. Sistemi caotici come quelli già richiamati, per esempio quello di Lorenz, esistono solo nella loro espressione matematica, ma non sono supportati da evidenze fisiche, ecco perché il circuito di Chua assume una valenza così grande: propone un modello fisico di un fenomeno macroscopico esistente in natura, il caos, fino a quel momento studiato solo a livello matematico e/o computazionale. A fronte di quanto detto, l'uso di applicazioni multimediali può essere molto efficace per comprendere il fenomeno caotico, a tale scopo si introdurranno di seguito alcuni software, liberamente scaricabili dalla rete. Quelli presentati sono applicativi di semplice utilizzo anche perché, con il passare del tempo, le interfacce sono state basate prevalentemente su finestre, menù a tendine e icone, presentando modalità d'interazione che facilitano molto la comprensione e ne agevolano l'uso anche per chi non ha competenze tecniche. I software per la simulazione sono: Apophysis<sup>4</sup>, ChaosExplorer<sup>5</sup>, Chaoscope<sup>6</sup>, rispettivamente figg. 4, 5, 6.

---

<sup>4</sup> Si veda, in Internet: <http://apophysis.org>

<sup>5</sup> Si veda, in Internet: <http://chua.unical.it/download>

<sup>6</sup> Si veda, in Internet: <http://www.chaoscope.org>



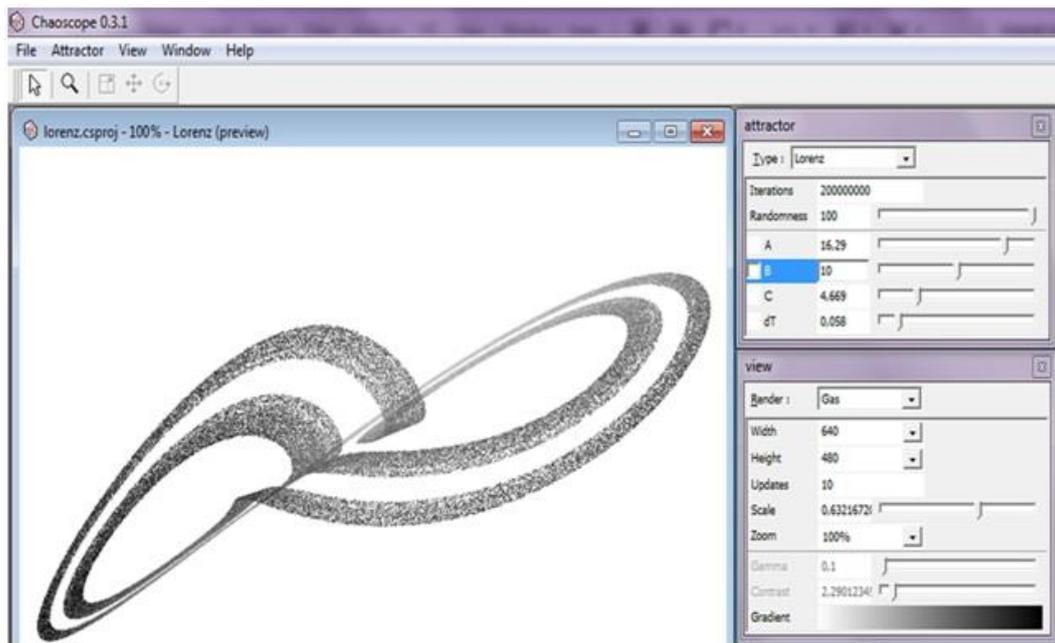


Fig. 4, 5, 6 – Applicativi per la simulazione di sistemi caotici e complessi.

Si tratta di applicazioni che permettono rispettivamente la modifica e la visualizzazione in tempo reale: di strutture frattali, di attrattori derivanti dal modello matematico di Chua e di attrattori strani 3D derivanti da vari modelli matematici. Nel caso del secondo software è possibile anche la modifica o creazione di suoni o musiche collegate alle traiettorie caotiche. Tutti presentano un'interfaccia molto intuitiva che in pochi minuti consente all'utente un'efficace interazione. Naturalmente il significato di tale esperienza deve essere introdotta a monte, in modo che le operazioni che l'utente compie non risultino mera espressione di una manipolazione casuale, modificando gli oggetti visualizzati, immagini spesso spettacolari di attrattori, di frattali o di attrattori con struttura frattale; l'utente deve avere consapevolezza che si tratti di espressioni visuali di fenomeni scientifici. Le forme che si possono creare sono varie, così come i rendering stravaganti consentiti dai programmi. Gli studenti, nelle sperimentazioni realizzate, hanno mostrato molta curiosità ed entusiasmo e si sono cimentati con ottimi risultati nella creazione di immagini e video a partire dalle manipolazioni virtuali delle forme tridimensionali caotiche.

### Materiali per la sperimentazione didattica e test di verifica

Un approfondimento va dedicato ad alcuni materiali didattici e alle prove di verifica, redatti ad hoc in base ai contenuti delle lezioni condotte. Sono state allestite una serie di presentazioni multimediali per introdurre: i concetti fondamentali sulla teoria del caos, vari esempi di sistemi complessi, il circuito di Chua e la sua costruzione, la simulazione. Inoltre, sono state realizzate sceneggiature e alcuni spezzoni di video per spiegare dei concetti di non semplice comprensione, come per esempio il concetto di mappa di biforcazione oppure il processo che rende possibile realizzare musiche da un sistema

caotico. Il test d'ingresso consta di dieci domande a risposta multipla sul significato di alcuni termini riguardanti il circuito elettronico, i fenomeni fisici, alcune proprietà caratteristiche dei fenomeni complessi. Il test introduce alcuni termini ampiamente trattati e approfonditi nel prosieguo della sperimentazione, per esempio proprio quelli di complessità e caos. Il secondo test deve essere proposto a valle della sperimentazione sulla costruzione del circuito di Chua. La prova di verifica è articolata in tre parti per poter verificare i diversi contenuti: i concetti base sulla teoria del caos, l'astrazione concettuale legata allo schema che rappresenta il circuito, il riconoscimento e l'esatta collocazione degli elementi del circuito. Per valutare l'acquisizione di alcuni concetti, verificare l'efficacia dell'intervento formativo e l'eventuale correzione dell'approccio metodologico, molte domande del primo test sono state riproposte nel secondo. È il caso, per esempio, del significato della parola caos o degli elementi che costituiscono il circuito. Le parti II e III del test di verifica intermedio sono state pensate per valutare l'avvenuta acquisizione di abilità legate alla manipolazione del circuito e dei suoi componenti. Si è voluto in tale modo verificarne anche l'efficacia: quanto la manipolazione e la costruzione del circuito potesse influire sull'effettivo riconoscimento dei componenti circuitali e la riproduzione della loro rappresentazione simbolica. Il terzo test, quello conclusivo, è strutturato in maniera da riepilogare tutto il contenuto del corso. Parte del test si concentra, infatti, nuovamente sul circuito: il riconoscimento di un componente, il completamento dello schema circuitale, l'individuazione di un componente mancante. Il resto del test è finalizzato alla verifica dell'apprendimento sulla parte relativa alla simulazione: cosa significhi simulare un sistema matematico, quale sia l'uso di alcune funzioni del software ChaosExplorer, come si procede per fare una specifica operazione. Alcune domande riguardano la verifica sulla comprensione di cosa significhi variare uno o più parametri di controllo e che effetti ha sull'evoluzione del sistema caotico dallo stato di quiete fino al caos. Infine, le ultime domande vertono sulla realizzazione di musica richiedendo, in particolare, di riconoscere alcuni stimoli sonori che caratterizzano l'evoluzione verso il caos del sistema.

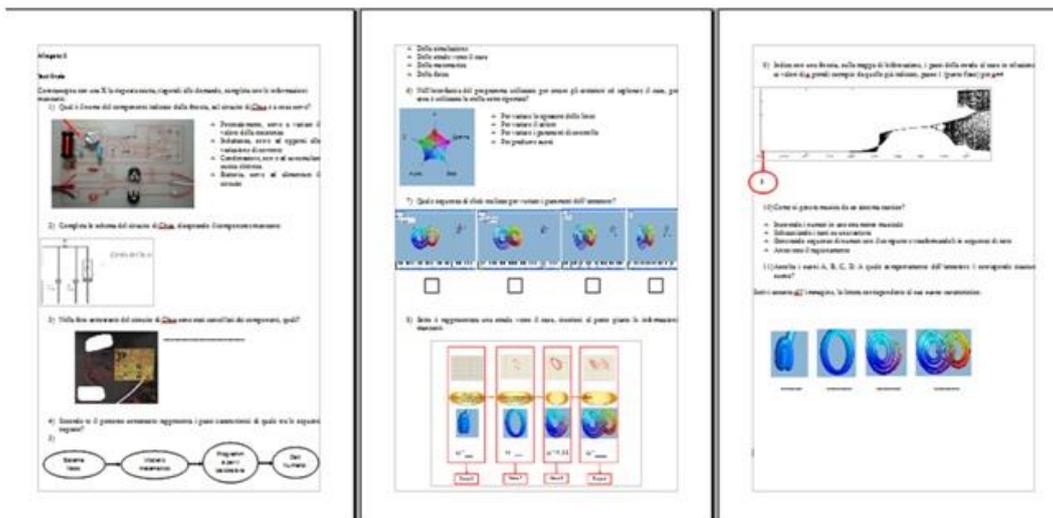


Fig. 7 Test di verifica

## Conclusioni

La didattica attraversa oggi una fase di rinnovamento, imposta soprattutto dal costante e sempre più ampio utilizzo delle tecnologie. Rinnovare però non è da intendersi come utilizzo indiscriminato, ad esempio, di strumenti tecnologici, ma come articolazione delle complessità in modo mirato e originale, per rendere i contenuti insegnati più interessanti e suscitare curiosità e motivazione. Sono stati proposti in questo articolo una serie di materiali di supporto per realizzare un percorso formativo in ambito scientifico. La didattica della scienza consente di sperimentare nuovi modi e linguaggi per parlare, soprattutto ai giovani, in maniera rinnovata. In particolare, alcuni temi della ricerca scientifica, come il caos, permettono di elaborare una serie di materiali e applicazioni multimediali costruendo e sperimentando metodi per presentare ai e alle giovani una scienza non edulcorata, priva delle sue componenti dinamiche, conflittuali, una scienza non in pillole, avulsa dal contesto di origine, ma ricca di esempi applicativi e confronti multidisciplinari. Presentare la ricchezza e l'articolazione della ricerca scientifica, assieme anche all'inevitabile componente di incertezza, base e alimento del metodo scientifico, proponendo un percorso di studio, di partecipazione e di confronto è stato l'obiettivo principale che ha guidato l'attività di elaborazione delle risorse didattiche che si sono arricchite man mano come un mosaico di elementi preziosissimi. Costruire spazi e percorsi per favorire l'incontro tra i giovani e la scienza è un po' come costruire dei laboratori in cui chi apprende diventa parte del processo e protagonista di una comprensione della scienza che possa portare chiunque a diventare un «piccolo inventore». Il caos è proposto attraverso una serie di materiali multimediali: video, musiche, presentazioni; e attraverso la costruzione di un circuito elettronico. Inoltre, è stato proposto l'uso di alcuni software, liberamente reperibili in rete, per simulare e modificare le forme caotiche, elaborando suoni e combinando la rappresentazione visiva e quella auditiva del fenomeno caotico. La sperimentazione didattica già realizzata di tali strumenti getta basi ottimistiche per il prosieguo del loro impiego, anche non necessariamente e strettamente in ambiti scolastici.

## Bibliografia

- Bilotta E. e Pantano P. (2008), *A Gallery of Chua Attractors*, Singapore, World Scientific.
- Card S.K., Mackinlay J. e Shneiderman B. (1999), *Readings in Information Visualization – Using Vision to Think*, Morgan Kaufman Publishers.
- Chua L.O. e Kennedy M.P. (1986), Van der Pool and Chaos, *IEEE Trans. Circuits syst.*, vol. 33, n. 10, pp. 974-980.
- Chua L.O. (1992), A zoo of strange attractors from the canonical Chua circuits, *Proc. 35th Midwest Symp. Circuits and Systems*, pp. 916-926.
- Gandhi G., Cserey G., Zbrozek J. e Roska T. (2009), Anyone can build Chua's circuit: Hands-on experience with chaos theory for high school students, *Int. J. Bifurcation and Chaos*, vol.19.
- Gilbert J.K. (2005), Visualization: A metacognitive skill in science and science education, in *Visualization in Science Education*, Springer.

- Hawking S. e Hawking L. (2007), *La chiave segreta per l' universo*, Mondadori.
- Johnson C.R. e Hansen C.D. (2004), *The Visualization Handbook*, New York, Academic Press.
- Jonassen D.H. (1994), Thinking technology, toward a costructivistic design model, in *Educational technology*, pp. 34-37.
- Jonassen D.H. (1991), Objectivism versus constructivism: do we need a new philosophical paradigm?, *Educational Technology Research and Development*, vol. 39, n. 3, pp. 5-14.
- Kennedy M.P. (1992a), Experimental chaos via Chua's circuit, in *Proc. first experimental Chaos Conf.*, pp.340-351.
- Kennedy M.P. (1992b), Robust Op-amp Realization of Chua's Circuit, *Frequenz*, vol. 46, n. 3, pp. 66-80.
- Lorenz E.N. (1995), *The essence of Chaos*, The Jessie and John Danz Lecture Series.
- Madan R.N. (1992), *Chua's circuit – A paradigm for chaos*, Singapore, World Scientific.
- Mandelbrot B. (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, New York, W.H. Freeman and Co.
- Maragliano R. (2007), *Nuovo manuale di didattica multimediale*, Laterza.
- Matsumoto T. (1984), A chaotic attractor from Chua's circuit, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 12, pp. 1055-1058.