

Sistemi complessi e didattica delle scienze

L'esperienza di SPAIS 2008

Paola Ambrogi*, Michele Antonio Floriano^o, Elena Ghibaudi[§]

*I.T.I.S. "L. Nobili" Reggio Emilia, SSIS Università di Modena e Reggio Emilia;

^oDip. Chimica Fisica, Università di Palermo;

[§]Dip. Chimica IFM, Università di Torino

Riassunto

Il discorso sulla complessità viene spesso descritto come "una rivoluzione silenziosa" che sta investendo campi di indagine lontanissimi tra loro e si pone in modo trasversale rispetto alla tradizionale divisione disciplinare tra mondo umanistico e scientifico. Esso nasce dalla critica al riduzionismo ontologico e si focalizza sui meccanismi che permettono il funzionamento di un sistema come "un tutto". Le conseguenze di questa critica sono sostanziali, in quanto investono l'approccio epistemico che ha caratterizzato tutta la scienza moderna, newtoniana e cartesiana, con ricadute sia sulla pratica della ricerca scientifica che sulla prassi didattica. L'edizione 2008 della Scuola di Aggiornamento Permanente per gli Insegnanti di Scienze (SPAIS), che ha avuto come oggetto "I sistemi complessi", è stata l'occasione per avviare un confronto tra insegnanti in merito alle implicazioni didattiche del discorso sulla complessità.

Abstract

The debate over complexity is often defined as "a silent revolution" that concerns very different fields of investigation and is transversal with respect to the traditional clearcut separation between the humanities and scientific disciplines. It rises from the criticism of ontological reductionisms and it is focused on the mechanisms that allows a system to function as a "whole". The consequences of such criticism are substantial, as they concern the epistemic approach that has characterized modern (newtonian and cartesian) science, with repercussions on both the praxis of scientific research and teaching. The 2008 edition of the "Scuola di Aggiornamento Permanente per gli Insegnanti di Scienze (SPAIS)" devoted to "Complex systems" gave occasion to a group of teachers of scientific disciplines for debating about the implications of the complex approach on the teaching activity.

La complessità: un oggetto di ricerca scientifica o umanistica?

Negli ultimi decenni, sia in ambito scientifico che umanistico, è emerso un concetto fortemente innovativo: quello di complessità. Esso nasce dalla critica al riduzionismo ontologico, in base al quale la conoscenza di un sistema si riconduce a quella delle parti che lo compongono. Le conseguenze di questa critica sono sostanziali, in quanto investono l'approccio epistemico che ha caratterizzato tutta la scienza moderna, newtoniana e cartesiana. Non per nulla, il dibattito sulla complessità viene spesso descritto come "una rivoluzione silenziosa". L'atteggiamento critico nasce dall'osservazione di fenomeni e problemi che non possono essere affrontati efficacemente adottando il tradizionale approccio riduzionista, capace di fornire informazioni sui costituenti di un sistema ma non di spiegarne il funzionamento collettivo. Ci riferiamo qui ai cosiddetti problemi non-lineari, ovvero quelli per i quali non vale il principio di sovrapposizione in quanto la loro soluzione non può essere ottenuta come somma di soluzioni più semplici quali, ad esempio, il rapporto non-lineare tra genotipo e fenotipo; il rapporto tra proprietà molecolari e proprietà atomiche; la termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio; il problema dei tre corpi; il rapporto tra il cervello e la mente (intesa come insieme di operazioni eseguite dal cervello come organo); il problema dell'auto-referenzialità e della circolarità, che si manifesta nei processi iterativi.

Secondo l'ottica complessa, in un sistema il tutto è più della somma delle parti, vuoi perché contiene informazione nuova, non presente nelle singole parti, vuoi perché le parti non sono distinguibili dal tutto; la relazione che intercorre tra l'insieme delle parti ed il sistema può essere paragonata a quella che intercorre tra un insieme di musicisti ed un'orchestra, oppure tra un insieme di animali e una mandria o uno sciame. Le proprietà peculiari del sistema considerato nel suo intero, che non sono riconoscibili a livelli più bassi di organizzazione, vengono dette *emergenti* e si originano dall'organizzazione del sistema stesso¹. Ciò è possibile in quanto un aspetto costitutivo dei sistemi complessi è la presenza di un intreccio dinamico di relazioni tra le parti, che segue logiche non lineari (meccanismi di feedback e circolarità), responsabili di fenomeni di auto-organizzazione e dell'emergere di proprietà e funzioni sistemiche che non

1. Con il termine "organizzazione" intendiamo quella condizione grazie alla quale le parti di un sistema, interagendo fra loro, generano all'interno del medesimo una struttura riconoscibile.

sono associabili ai singoli costituenti. Lo stesso termine “organizzazione” in questo contesto non va inteso in senso statico, come qualcosa di dato una volta per tutte, quanto come qualcosa che diviene continuamente e, in un certo senso, si “auto-crea” incessantemente, secondo un processo autopoietico [1]. E’ dunque implicita una visione dinamica del sistema, che viene identificato come soggetto depositario di informazione, la quale risiede a diversi livelli e in diversi gradi di contenuto.

Un primo tentativo di concettualizzare la complessità e di elaborare una “Teoria dei sistemi” si può far risalire a Von Bertalanffy (1940) ed è stato seguito dai contributi importanti e decisivi di studiosi appartenenti alle più svariate aree disciplinari: Robert Rosen e Nicholas Rashevsky (che si interessarono di biologia teoretica e di fisica), Ilya Prigogine (chimico fisico, studioso della termodinamica dei sistemi irreversibili), Alfred Lotka (matematico e chimico fisico, noto per i suoi studi sulla dinamica delle popolazioni), George Lakoff (un linguista), Fritjof Capra, (fisico di formazione, che ha molto lavorato sulla teoria dei sistemi), Edgar Morin (filosofo e sociologo, che ha fatto della transdisciplinarietà il metodo portante della sua analisi della realtà), solo per citarne alcuni. Questo breve elenco lascia trasparire il carattere intrinsecamente multidisciplinare del tema della complessità, che non si configura tanto come una teoria quanto come nuova prospettiva epistemologica la quale - prendendo le mosse dalla critica del paradigma riduzionista - rompe i confini tradizionali tra le discipline, nel tentativo di trovare soluzioni a problemi non convenzionali. Il presupposto fondante di tale prospettiva è che “la chiave per comprendere un sistema risiede negli schemi relazionali e nelle interazioni tra gli agenti del sistema”[2], in quanto sono le interdipendenze e le retroazioni tra gli elementi a creare l’intero. Di conseguenza, frammentando il sistema, il metodo analitico distrugge proprio ciò che sta cercando di comprendere.

Quale intreccio tra complessità e didattica?

La critica al riduzionismo insita nel discorso sulla complessità ha forti ripercussioni anche sull’approccio tradizionale alla didattica delle scienze. A risultarne modificata è la stessa idea di scienza, se è vero quanto scrive Cerruti: “La comprensione degli allievi del grande fenomeno “scienza” passa anche attraverso la loro cognizione esatta delle relazioni che intercorrono fra le discipline scientifiche, matematica compresa”[3]; quindi, concependo la scienza stessa come sistema complesso, si fa giustizia di ogni pretesa riduzionista. Ciò spinge inesorabilmente verso un approccio integrato all’insegnamento delle scienze, se accettiamo l’idea che – citiamo ancora Cerruti – “l’indipendenza di una disciplina si articola a livello dell’organizzazione, dominata e regolata dalle relazioni epistemiche fondamentali proprie della disciplina stessa. Il rapporto con le altre discipline avviene attraverso le strutture e sarà tanto più forte quanto maggiore sarà l’accoppiamento strutturale. Le gerarchie scompaiono e alla classica successione *matematica* → *fisica* → *chimica* → *biologia* viene sostituito un habitat sociale (antropologico) *la cultura scientifica*, in cui le discipline convivono” [3]. E’ importante notare che questo approccio preserva *in toto* l’identità dei singoli ambiti disciplinari: ciò che viene rimesso in questione è la relazione tra le discipline. In nessun modo si auspica la fusione degli ambiti disciplinari in un tutto indistinto, ciò che rischierebbe di tradursi in una forma di “qualunquismo” scientifico, che condurrebbe al degrado della didattica delle scienze invece che alla sua valorizzazione. La sfida è ardua e implica una revisione del percorso di formazione degli insegnanti, in una direzione che garantisca la coesistenza di solide competenze disciplinari e di un’attitudine (sostanziale e non solo di tendenza) al confronto con le altre discipline. I vantaggi di un simile cambio di prospettiva sono palesi e ciò è particolarmente vero per le discipline chimiche. Infatti, la chimica è una scienza intrinsecamente sistemica se, come osserva G.Villani [4], “il concetto di sistema è collegabile a quello di molecola (principale concetto della chimica in ambito microscopico) e a quello di composto chimico”. Il comportamento delle specie chimiche è fortemente caratterizzato dall’intorno in quanto le diverse specie, pur dotate di identità definita, esplicano determinate proprietà solo in funzione della loro interazione con un ambiente specifico. Villani, nel suo recente testo “Complesso e organizzato” [5] fa notare come – dal punto di vista chimico - non sia corretto parlare genericamente di “idrogeno”, in quanto quello stesso atomo presenta proprietà sostanzialmente diverse a seconda del contesto molecolare in cui è collocato. E, per esemplificare, esamina la molecola di etanolo e confronta le proprietà chimiche dell’atomo di H legato all’ossigeno con quelle - chiaramente differenti - degli atomi di H presenti del gruppo metilenico o metilico della stessa molecola. La chimica è una “scienza di relazioni” e ciò la rende implicitamente una scienza sistemica, ovvero complessa. Ma il discorso può essere spinto ben oltre. J.M. Lehn [6] propone di ripensare la chimica come “scienza dell’informazione”, un’informazione codificata in chiave molecolare e supramolecolare, la quale è suscettibile di essere stoccata recuperata, elaborata e trasferita. Solo la capacità delle molecole di interagire tra loro operando una selezione (in senso darwinistico) in risposta a fattori intrinseci o estrinseci, può spiegare l’emergere di sistemi molecolari dinamici, dotati di capacità di auto-organizzazione e di proprietà adattive. Secondo Lehn, questa è la strada che ci porterà a spiegare l’emergere della vita dalla materia inanimata [7] e configura la chimica come snodo essenziale per la comprensione del problema “biologico” per eccellenza, ovvero la natura del fenomeno vita.

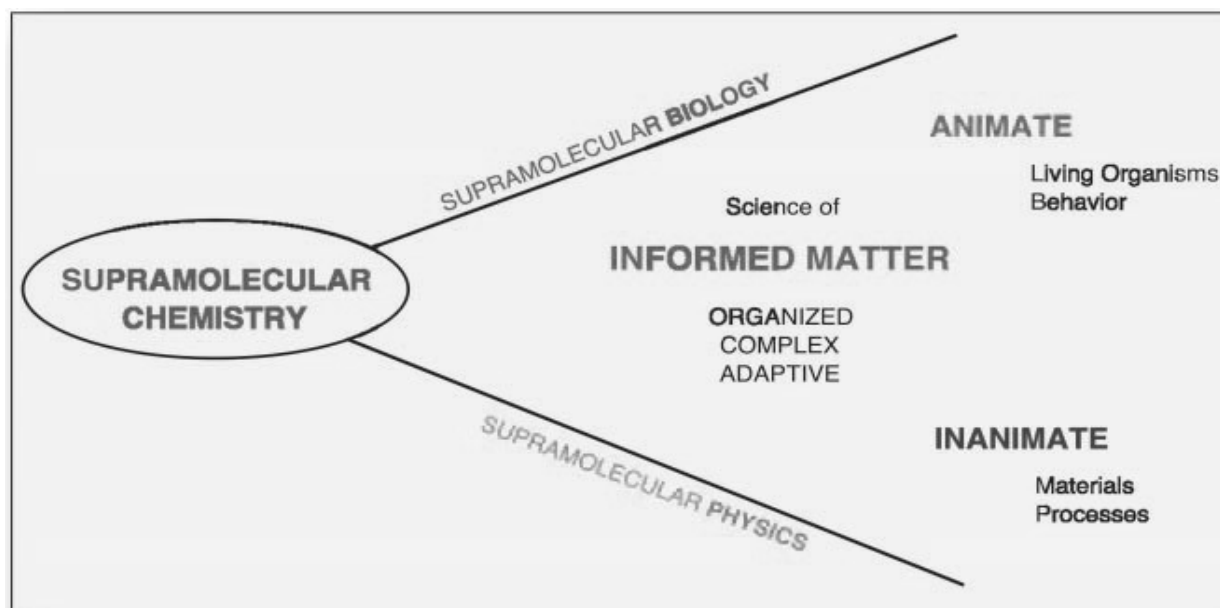


Fig. 1 – Il ruolo della chimica supramolecolare: un ponte tra fisica e biologia.
J.M. Lehn Science (2002) 295, p.2400

Ma, senza limitarsi all'ambito chimico, l'approccio complesso in ambito didattico va perseguito in quanto capace di restituire agli allievi un'immagine della realtà più credibile di quella offerta dal settarismo disciplinare. Il carattere intrinsecamente transdisciplinare di questa "filosofia della conoscenza" apre prospettive per l'adozione di metodologie d'insegnamento fondate su una profonda interazione tra ambiti disciplinari differenti, capace di superare anche la storica dicotomia tra discipline umanistiche e scientifiche, come osservato da C.P.Snow [8] che nel suo saggio su "Le due culture" metteva in guardia dai danni di tale separazione. Secondo E. Morin [9] "Le unità complesse, come l'essere umano o la società, sono multidimensionali: così, l'essere umano è nel contempo biologico, psichico, sociale, affettivo, razionale....La conoscenza pertinente deve riconoscere questa multidimensionalità..."; oggi appare sempre più evidente la necessità di un'unica Cultura che sani "un'inadeguatezza sempre più ampia, profonda e grave tra, da una parte, i nostri saperi disgiunti, frazionati, compartimentati e, dall'altra, realtà o problemi sempre più pluridisciplinari, trasversali, multidisciplinari, transnazionali, globali, planetari"[9]. Anche G. Giordano osserva che "Se tutto è collegato, allora tutto è necessario per comprendere la realtà....Nessuna spiegazione, quindi, se non per comodità pratica, può prescindere dalla reticolarietà del reale" [10]. D'altra parte, stando a quanto riportato dalla stampa e dai periodici, si direbbe che l'approccio sistemico alla realtà stia diventando parte del senso comune. Un articolo comparso su Newsweek nel gennaio 2008 [11] dedicato ad una analisi delle possibili cause del terrorismo suggerisce l'esistenza di relazioni tra violenza e tipo di formazione ricevuta; secondo alcuni psicologi, esisterebbe una correlazione tra il comportamento di questi individui ed una *forma mentis* derivante da una formazione accademica troppo tesa a sistematizzare e semplificare il mondo. Anche nell'analisi del popolare cartone animato "I Simpson" proposta da Marco Malaspina [12] si legge "...la scienza in "I Simpson" già lo sappiamo, riserva sempre qualche sorpresa. In fin dei conti, quella proposta dalla serie è una visione quanto mai ecologica, addirittura olistica, della società e della natura: ogni scelta, ogni azione, si ripercuote su tutto il sistema. Solo che mentre nell'ecologia (anche sociale, semplificata e un po' moralista) alla quale siamo ormai assuefatti le ripercussioni sono quasi sempre lineari e minacciose (se inquiniamo si sciolgono i ghiacci, se c'è troppa violenza in TV i ragazzini diventano aggressivi e così via), in "I Simpson" capita spesso che i processi siano meravigliosamente complessi".

Le potenzialità dell'approccio complesso sembrano essere state ben recepite ed illustrate dai documenti ministeriali contenenti le indicazioni per i curricula, ove si legge quanto segue [13]: "La sfida che la complessità prospetta alla scienza è soprattutto quella di esplorare e sviluppare il territorio dell'interdisciplinarietà, della multidimensionalità del reale, della complementarietà dei saperi. Nel nuovo paradigma della complessità, le diverse discipline si presentano come un sistema a rete, con correlazione e nodi multipli. In questo modo vengono superate tutte le chiusure disciplinari, tutte le dicotomie che finiscono per paralizzare la ricerca e per impedire la comprensione e la trasformazione della realtà."

L'esperienza di SPAIS 2008

A fronte di uno scenario di idee incontestabilmente innovativo e potenzialmente fecondo, resta da capire come tradurre tutto ciò nella prassi didattica. Di questo si è discusso nel corso dell'edizione 2008 di SPAIS² (Scuola Permanente di Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze) dedicata al tema dei "Sistemi complessi". La natura intrinsecamente multi- ed interdisciplinare del tema prescelto ha trovato riscontro nella varietà di aree di appartenenza dei docenti iscritti alla scuola (Fig. 2), così come nei profili dei relatori, dal momento che la scuola ha visto alternarsi contributi di esperti in campi quali la filosofia, la chimica, la biologia, la fisica, l'ecologia, l'ingegneria, la matematica e l'immunologia.³

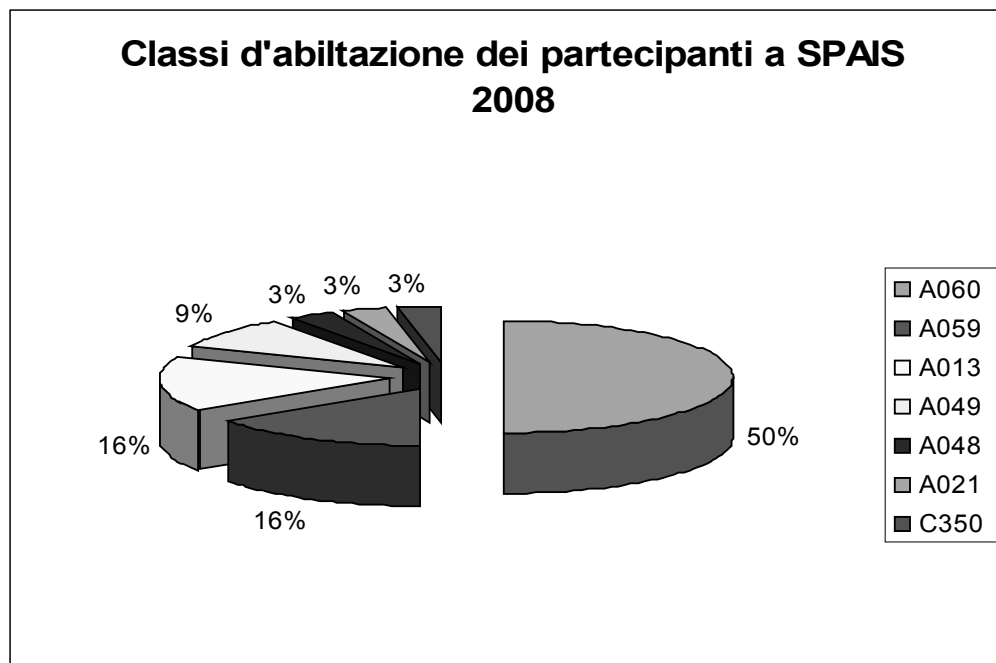


Fig.2 – Classi di abilitazione dei partecipanti a SPAIS2008

La scuola prevedeva l'alternanza di seminari, tenuti dai diversi relatori, con sessioni di lavoro di gruppo⁴ nel corso delle quali si è tentato di far emergere gli interrogativi e le riflessioni suscitate dagli interventi degli esperti nel pubblico di insegnanti e di stimolare i partecipanti ad individuare possibili vie di integrazione dell'approccio complesso con la didattica in aula e in laboratorio.

La prima sessione di lavori di gruppo e l'inerente discussione hanno consentito ai partecipanti di offrire una propria definizione del concetto di complessità e di quello di sistema. Ecco le principali proprietà individuate come peculiari dei sistemi complessi:

- Mutua interazione tra le parti, che modifica il sistema
- Proprietà emergenti (il tutto è diverso dalla somma delle parti)
- Evoluzione temporale e strutturale (il sistema è dinamico, l'organizzazione è un "processo")
- Auto-organizzazione
- Impredicibilità
- Non linearità

2. SPAIS 2008, 15-19 luglio 2008, Isnello (Pa) – organizzata dal prof. A.M. Floriano con i contributi di SCI-DiDiChim, AIC, AIF, ANISN, Università di Palermo e dell'Ufficio Scolastico Regionale della Regione

3. I seminari hanno avuto come oggetto i seguenti argomenti: Complessità e formazione (G. Gembillo); Il ruolo della chimica nelle scienze della complessità (G. Villani); Modelli per il Caos deterministico (A. Floriano); Dalle molecole alla chimica supramolecolare (V. Balzani); L'approccio complesso in biologia ed immunologia: la biologia dei sistemi e le reti biologiche (C. Franceschi); La rivoluzione scientifica ed epistemologica di Prigogine (G. Gembillo); Caos e frattali nei sistemi dinamici (L. D'Alessio); Biodiversità e complessità negli ecosistemi e nei sistemi naturali (M. Gatto, S. Riggio); Effetti indotti dal rumore nei sistemi complessi (B. Spagnolo); Econofisica (R. Mantegna); Complessità nell'alta tecnologia (U. Mastromatteo).

4. Le sessioni di gruppo di SPAIS2008 sono state condotte da Paola Ambrogi e Elena Ghibaudo

Sistemi complessi e didattica delle scienze

Intorno al termine “sistema” si è sviluppata una vivace discussione, che ha fatto emergere vari interrogativi: un sistema può essere semplice o il concetto di sistema implica necessariamente la complessità? Un sistema semplice è reso tale dall’assenza di retroazione? Oppure è una idealizzazione? La classificazione di un sistema come “semplice” o “complesso” dipende dal nostro grado di conoscenza del sistema stesso? Qual è il ruolo delle interazioni tra le parti di un sistema nel definirne la complessità? Esistono livelli distinti di complessità? La presenza di proprietà emergenti è essenziale per riconoscere un sistema come complesso? E l’impredicibilità? Si è inoltre affrontato il problema della complessità dei manufatti artificiali (macchine) rispetto a quella dei sistemi naturali; il rapporto tra una complessità che si ritrova a diverse scale ed i frattali, con le loro proprietà di autosimilarità; la presenza di dinamiche interne al sistema complesso (meccanismi di retroazione) che lo modificano e lo fanno evolvere; la non linearità ed il conseguente rapporto non più biunivoco tra cause ed effetti.

Interpellati sull’importanza/opportunità di affrontare in classe il discorso sulla complessità e di incrementare la collaborazione tra discipline differenti, la maggior parte degli insegnanti si è dichiarata convinta della necessità di un approccio didattico aperto ad una visione d’insieme della realtà, basata anche sulla collaborazione tra le discipline; ma ha altrettanto fermamente sottolineato la difficoltà di tradurre in prassi didattica questo tipo di approccio e di visione del mondo, come si evince dalle Figure 3 e 4.

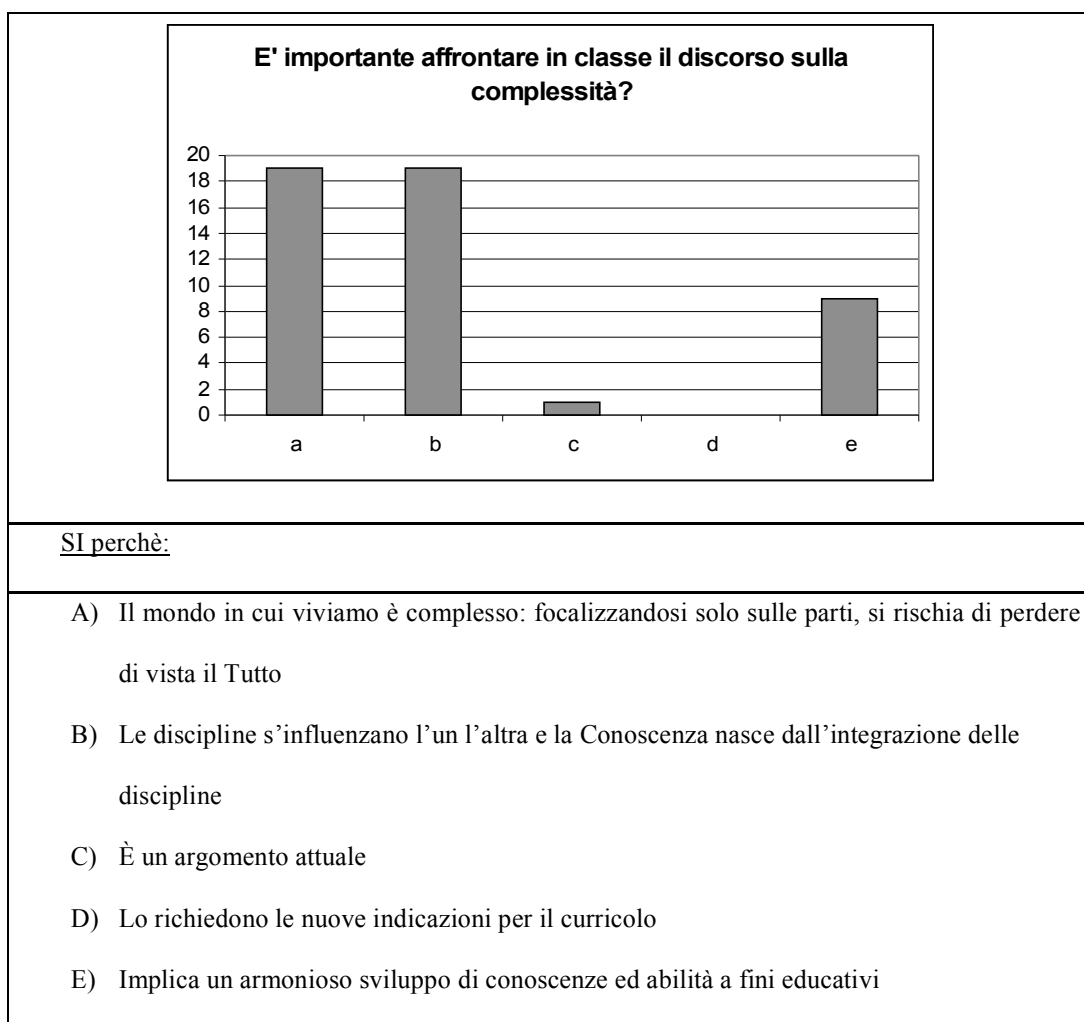


Fig.3 – La complessità in classe: risposte ad un questionario

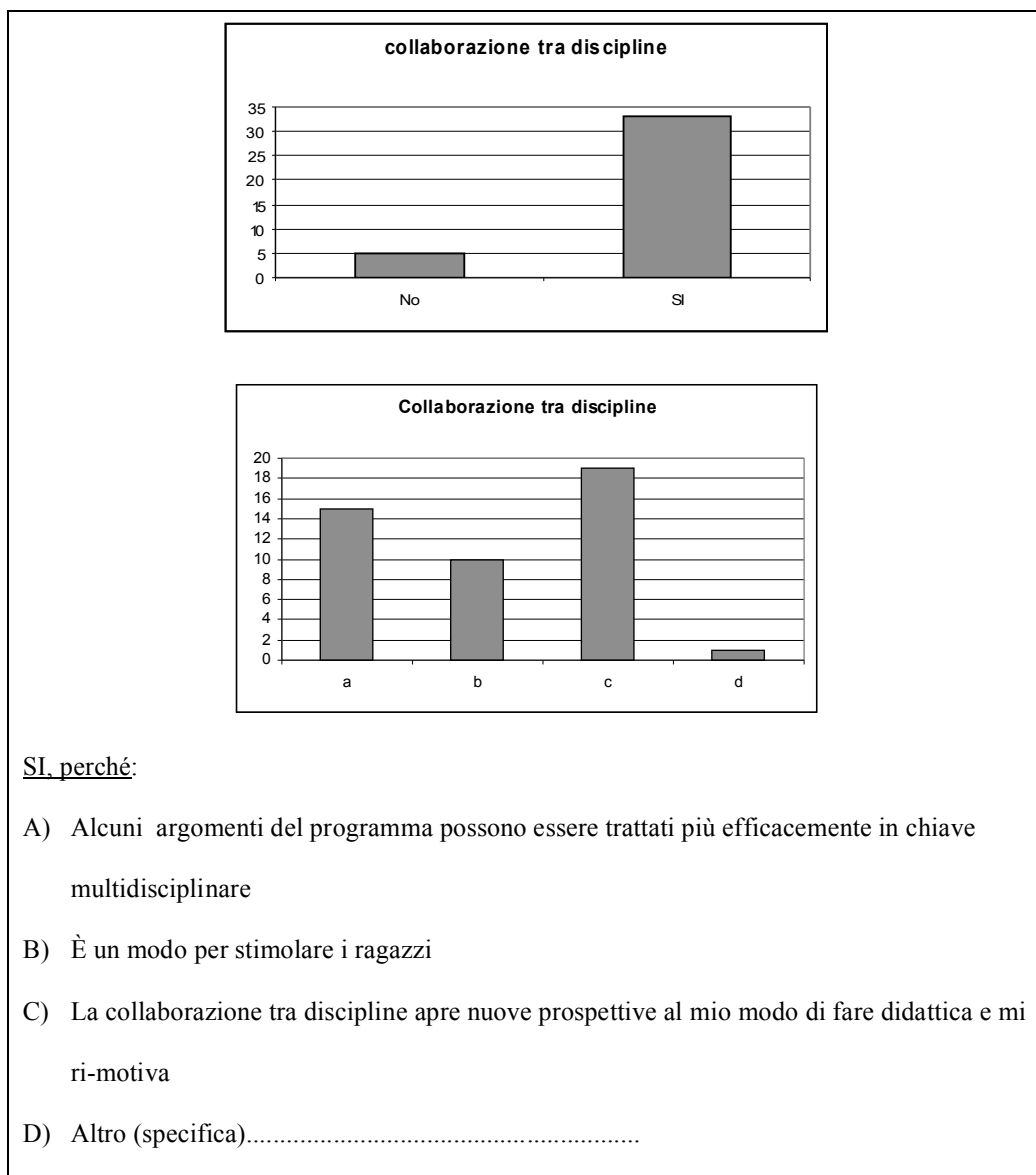


Fig.4 – La collaborazione tra discipline: risposte ad un questionario

La discussione che ne è seguita ha fatto emergere tutta la difficoltà di far evolvere l'approccio didattico multidisciplinare in un approccio sistemico, che si fonda sulla coscienza dell'interazione a rete delle discipline e sul loro intreccio interdisciplinare. Si è tuttavia osservato un progressivo aumento di attenzione circa il fatto che l'attuale visione riduzionista della realtà sembra inadeguata a descrivere un numero crescente di fenomeni e che la comunità scientifica si sta orientando verso una lettura olistica della realtà. Ciò ha messo in evidenza la discrasia esistente tra l'attuale approccio didattico, eccessivamente focalizzato sulle singole discipline, e l'emergere di una cultura a rete all'interno della quale le discipline si armonizzano e dialogano tra loro.

L'introduzione dell'approccio complesso in ambito didattico resta dunque un problema aperto, in quanto si scontra con difficoltà di ordine pratico e concettuale. Tra le maggiori difficoltà di ordine pratico vi è il fatto che l'approccio interdisciplinare implica disponibilità alla collaborazione tra colleghi di discipline diverse e questo, a detta dei partecipanti alla scuola estiva, è un obiettivo la cui difficoltà di realizzazione pare aumentare salendo di grado scolare.

E tuttavia si fa strada la convinzione che la complessità, lungi dal rappresentare un nuovo argomento da aggiungere ai già sovraccarichi curricula didattici, può essere pensata come un'opportunità irripetibile per rinnovare pratiche didattiche talora obsolete, aumentandone l'efficacia, e come uno strumento capace di offrire ai docenti nuove motivazioni per il proprio intervento educativo e formativo.

Bibliografia

- [1] H.R. Maturana, F.J. Varela, *L'albero della conoscenza*, (1987) Milano, Garzanti [titolo originale: *El árbol del conocimiento*, 1984]
- [2] R. Anderson et al., *Qual. Health Res.* (2005) **15**, 669-685
- [3] L. Cerruti, *La Chimica nella Scuola* (2004) **2**, 37-44
- [4] G. Villani, *La Chimica nella scuola* (2005) **4**, 88-97
- [5] G. Villani, *Complesso e organizzato* (2008) Franco Angeli Ed.
- [6] <http://www.rsc.org/publishing/journals/CS/article.asp?doi=b616752g>
- [7] J.M. Lehn *Chem. Soc. Rev.* (2007) **36**, 151-160; J.M. Lehn *Science* (2002) **295**, 2400-2403; in quest'ultimo articolo si legge "Self-organization is the driving force that led to the evolution of the biological world from inanimate matter [...]. Supramolecular chemistry provides ways and means for progressively unraveling the complexification of matter through self-organisation"
- [8] C.P. Snow "Le due culture" (1970) Ed. Feltrinelli (1970)
- [9] E. Morin "I sette saperi necessari all'educazione del futuro" (2001), Ed Raffaello Cortina p. 37
- [10] G. Giordano "Scienza, complessità, specialismo" *Complessità* (2007) **I**, p.116
- [11] P.Falby *Extreme profession*, Newsweek Dec.31 2007/Jan. 7 2008, p.5
- [12] M. Malaspina *La scienza dei Simpson* (2007) Sironi Ed., p.136
- [13] Ministero della Pubblica Istruzione, Commissione ministeriale per la riorganizzazione degli Istituti Tecnici e Professionali, Documento finale, Roma, 3 marzo 2008