Educazione / Formazione

Laboratorio sull'evoluzione basato sulla valorizzazione dell'elaborazione 3D di una fauna estinta dal sito del Royal Ontario Museum

Stefania Donadio

Scuola Don Milani, Istituto Onnicomprensivo annesso al Convitto Nazionale Cristoforo Colombo, Via Dino Bellucci, 4. I-16124 Genova. E-mail: stefania.donadio@gmail.com

Guido Ghezzi

Regione Liguria, Via Fieschi 15. I-16121 Genova. E-mail: wombat2k2@hotmail.com

RIASSUNTO

Per aiutare gli studenti ad affrontare i concetti relativi ai principi fondamentali dell'evoluzione della vita e le più recenti teorie sulla diffusione e l'estinzione dei piani corporei sono state utilizzate alcune elaborazioni tridimensionali, in forma di rendering morfologico statico e dinamico, nell'analisi dei fossili di una fauna cambriana estinta, nota come fauna di Burgess. Grazie all'analisi dei materiali digitali disponibili sul sito web del progetto "Burgess Shale" del Royal Ontario Museum in Canada (ROM), che consiste in immagini di fossili, ricostruzioni con rendering in 3D e video animati, gli studenti hanno studiato la vita, l'ambiente e le interazioni interspecifiche della fauna. Lo scopo era quello di far sperimentare agli studenti in modo laboratoriale le difficoltà specifiche nella metodologia dell'indagine paleontologica, come incompletezza dell'informazione e deformazione strutturale, in relazione al livello di competenze della scuola secondaria. Si sono riscontrate un'elevata attenzione e ampia partecipazione e, di conseguenza, sono state elaborate ottime ipotesi su alcuni quesiti specifici irrisolti, attualmente oggetto di studio nelle ricerche recenti di biologia evolutiva.

Parole chiave:

didattica delle scienze, evoluzione, simulazione 3D, laboratorio, competenze scientifiche.

ABSTRACT

Evolution laboratory based on the enhancement of 3D processing of extinct fauna from Royal Ontario Museum site

Three-dimensional elaboration in form of static and animated morphological rendering was used in order to help students approaching topics of the main principles of life evolution and most recent theories about body plans spreading and extinction, analyzing fossils of the extinct Cambrian fauna known as Burgess' fauna. Thanks to the analysis of digital materials available on the website of the "Burgess Shale" project of the Royal Ontario Museum in Canada (ROM), consisting in fossil's pictures, 3D reconstructions with rendering and animated videos, students studied the life, living environment and interspecific interactions. The aim was to make students elaborate in an experimental way about specific difficulties in the methodology of paleontological investigation, such as incomplete information and structural deformation, in relation with the skills of secondary school. A very high attention and wide participation were obtained and as a result excellent hypotheses were elaborated about some specific unsolved questions, actually discussed in up-to-date research on evolutionary biology.

Key words

science education, evolution, 3D simulation, laboratory, scientific skills.

INTRODUZIONE

Nella didattica delle scienze cosiddette "storiche" come la biologia e la geologia, sono note le difficoltà degli alunni nella gestione di concetti complessi o lontani dalla comune percezione quali, ad esempio, il tempo su scala geologica e i relativi ordini di grandezza (Gould, 1987; Tonon & Ferrero, 2001; Tonon et al., 2005), i meccanismi dell'evoluzione (Crivellaro & Sperduti, 2014; Stenlund & Tibell, 2019) e, nell'ambito di questa, il concetto di speciazione e i ruoli

di selezione e adattamento (Young & Young, 2003), variabilità, caso, ereditarietà (Trevisan, 2011). Secondo diverse analisi (Siniscalco et al., 2007) tali difficoltà, così come i risultati poco incoraggianti forniti dalle rilevazioni PISA (acronimo di Programme for International Student Assessment, un'indagine internazionale che oggi coinvolge più di 80 Paesi, promossa dall'OCSE, l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) sulle competenze scientifiche (INVALSI, 2006), sono da attribuire a scelte e stili didattici non efficaci. A questo si aggiunge il problema

Rappresentazione del dato	Dimen- sionalità del dato	Carattere visuale	Livello di difficoltà di lettura del dato	Tipologia di processo cognitivo richiesto per l'analisi del dato
Fotografia del fossile originale (v. fig. 1)	2D	Morfologia trasformata topologicamente	Molto elevato	Il dato per essere analizzato richiede elaborazione mentale complessa
Disegno schematico del vivente ricostruito su viste multiple (profilo, pianta) (v. fig. 2)	2D	Morfologia descritta separatamente su diversi piani spaziali	Elevato	Il dato per poter essere analizzato richiede una ricomposizione dell'immagine a partire da differenti linee di visuale
Immagine con rendering tridimensionale della ricostruzione del vivente (v. fig. 3)	3D	Morfologia descritta in modo incompleto, visto da un solo lato	Medio	Il dato per poter essere utilizzato richiede il completamento proiettivo
Immagine con rendering tridimensionale della ricostruzione del vivente, associata alla rotazione su più assi (animazione) (v. fig. 4)	3D	Morfologia descritta in modo completo	Basso	Il dato può essere utilizzato senza necessità della elaborazione ricostruttiva della morfologia
Animazione tridimensionale della ricostruzione del vivente e dei suoi movimenti (v. fig. 5)	3D Integrata	Morfologia descritta in modo completo e principali funzioni (movimento degli arti/appendici) descritte in modo completo	Molto basso	Il dato può essere utilizzato senza necessità della elaborazione ricostruttiva della morfologia e senza necessità di interpretazione delle principali funzionalità strutturali

Tab. 1. În base alla tipologia dei dati visivi acquisiti, si rilevano diversi livelli di difficoltà di lettura delle informazioni e in corrispondenza differenti processi cognitivi coinvolti nell'analisi dei dati.

dei libri di testo scolastici, spesso utilizzati come unico supporto per lo studio, non aggiornati sulle scoperte più recenti e sulle teorie più attuali.

Una simile impostazione incide in modo esiziale sulla percezione studentesca del metodo scientifico galileiano, ridotto a un mero concetto su carta e svuotato del proprio specifico valore applicativo (Driver, 1985). Più recentemente, l'utilizzo di nuove metodologie didattiche quali l'Inquiry Based Science Education (IBSE) (Franco, 2018), il costrutto stesso di competenza e la progettazione di curricola didattici rivolti al suo sviluppo hanno offerto nuove possibilità alla ricerca dell'efficacia di specifici contesti di apprendimento.

Nuove tecnologie didattiche come gli ambienti di apprendimento in realtà virtuale hanno permesso di sviluppare contesti in cui lo studente può immergersi direttamente nel "gioco di ruolo" del ricercatore, in esperienze che incrementano attenzione e motivazione, sviluppando competenze di problem solving, creatività, senso del sé, del proprio ruolo e delle regole da seguire, cooperazione e spirito di iniziativa (Boniello et al., 2014; Boniello et al., 2019).

La computer grafica, la modellizzazione, la rappresentazione e il rendering in 3D sono tecniche della geometria computazionale entrate ormai in molti ambiti disciplinari e didattici, come ad esempio nelle ricostruzioni del patrimonio artistico e culturale, nella geografia, nell'architettura (Mortara & Catalano, 2018). Nello specifico settore della paleontologia, tali metodologie offrono diversi vantaggi: oltre a fornire artefatti utili per la documentazione digitale, la conservazione e la presentazione al pubblico dei reperti come troviamo diffusamente nei musei, esse offrono

la possibilità di disporre di collezioni di forme viventi non più osservabili, perché ad esempio estinte e ricostruite a partire dai ritrovamenti fossili, fornendo un valido supporto visivo al lavoro di ricerca paleontologica.

Nel tentativo di superare le difficoltà concettuali tipiche delle discipline di cui sopra, di sperimentare un'unità di apprendimento innovativa nella scelta degli argomenti trattati e della metodologia, di adeguare la progettazione didattica alle indicazioni nazionali sul tema dell'educazione scientifica e anche a contenuti che comprendano le più recenti teorie, è stata progettata in una classe terza di scuola secondaria di primo grado una breve unità didattica di indagine sul possibile significato evolutivo di una fauna cambriana estinta, la fauna di Burgess (Gould, 1989). Nella scuola secondaria di primo grado Don Milani di Genova è attiva una sperimentazione su mandato ministeriale che le affida funzioni di formazione e di ricerca sperimentale rivolta al rinnovamento del sistema scolastico nazionale, pertanto dispone di laboratori didattici e di attrezzature informatiche in ogni aula (computer con schermo TV o LIM), batterie di tablet per gli studenti e connessione wi-fi. Inoltre per gli studenti vengono attivati ambienti di apprendimento online e le Google Suite for education: questa infrastruttura ha permesso l'utilizzo autonomo di materiali multimediali quali le citate ricostruzioni in 3D sviluppate sulla base delle testimonianze fossili. Il sito internet del Royal Ontario Museum (ROM) a Toronto in Canada (v. sito web 1) nella sezione "collezioni e ricerca" ospita il Burgess Shale Projects, un vero e proprio museo virtuale sullo Yoho National Park nella Columbia Britannica in Canada (v. sito web 2), che offre una collezione completa e ricca di materiale illustrativo, presentato in modo chiaro ed efficace, incentrato sulla fauna fossile di Burgess, ma contenente anche molti dati storici e geologici, schemi, fotografie in alta definizione dei reperti fossili e animazioni.

La precisa ricostruzione della fauna, del relativo ambiente di vita e dei diversi caratteri etologici ha permesso di approcciare concetti molto raffinati della biologia evolutiva, senza il rischio di misconcezioni e semplificazioni eccessive, e contemporaneamente di approfondire aspetti più specifici, prediligendo la presentazione della materia come un problema scientifico non risolto e pertanto incentivando un atteggiamento propositivo degli studenti, con l'implicito intento di sperimentare l'efficacia di una specifica metodologia didattica.

LE SCELTE OPERATE IN FASE DI PROGETTAZIONE: CONTENUTI E STRUMENTI

Nell'intento di illustrare agli studenti una corretta metodologia di approccio alle problematiche delle scienze osservative (o sperimentali) si è scelto di affrontare un tipico problema aperto: i modelli evolutivi della vita.

L'obiettivo, di per sé ambizioso, va considerato ancor più temerario quando la proposta sia diretta al livello della scuola secondaria di primo grado, in cui gli studenti di norma si confrontano con realtà didattiche incentrate sulla semplice trasmissione di nozioni, proponendo implicitamente, in particolare per le discipline scientifiche applicate, uno schema non aderente alla realtà del progredire delle conoscenze, dal tempo di Galileo Galilei basato sul metodo scientifico. Nella convinzione che l'importanza di un corretto inquadramento nel percorso didattico di tale metodologia debba essere considerata primaria e che l'abitudine all'uso di questo approccio non possa essere demandata ai successivi livelli scolastici, con il rischio di perdere l'unica possibilità di trasmetterla a chi non dovesse dedicarsi alla ricerca, si è inteso valutarne per via sperimentale l'efficacia sugli studenti di una classe di terza media.

La scelta dell'argomento, se da un lato può sfruttare la naturale curiosità per forme di vita non più rappresentate nel panorama attuale, dall'altro pone indubbie difficoltà nella reperibilità dei dati, i fossili, e nell'analisi di questi ultimi. Per rendere evidenti le potenzialità didattiche di questa proposta, si è scelta una fauna estinta dalle caratteristiche peculiari e lontane da riferimenti noti (dinosauri e similaria). Tale scelta ha comportato la conseguenza di una maggiore difficoltà di reperimento dei campioni da osservare e l'ulteriore complicazione legata alla necessità di dover disporre di un insieme organico di viventi

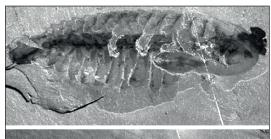




Fig. 1. Reperto fossile di Opabinia regalis

Royal Ontario Museum.

per permettere l'illustrazione e l'analisi dei rapporti vivente-vivente e vivente-ambiente, particolarmente utile per stimolare l'osservazione e la formulazione di ragionamenti complessi.

La scelta è caduta sulla fauna di Burgess, costituita da organismi marini pluricellulari dal corpo molle del periodo Cambriano rinvenuta da Charles D. Walcott nel 1909 sulle Rocky Mountain dello Yoho Park nella Columbia Britannica in Canada (Gould, 1989), in li-

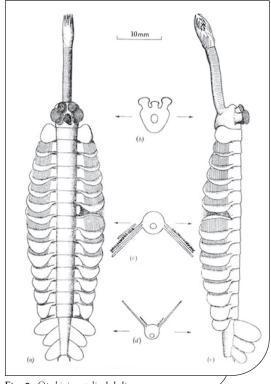


Fig. 2. Opabinia regalis dal disegno

di H. Whittington (Whittington, 1975).



Fig. 3. Immagine della ricostruzione con rendering 3D di *Opabinia regalis*, Royal Ontario Museum. Sono immediatamente evidenti e meglio identificabili importanti dettagli presenti nel disegno di figura 2 ma in esso rilevabili e interpretabili con difficoltà, quali ad esempio la curiosa presenza di branchie rivolte verso l'alto e associate alle appendici pinnate.

velli di sedimento fine (argilliti) che hanno consentito la conservazione dei più minuti particolari anche di organismi millimetrici. In conseguenza delle pressioni cui sono stati sottoposti nel corso dei circa 500 milioni di anni intercorsi fino al loro ritrovamento, tuttavia, i fossili di Burgess si presentano notevolmente deformati e compressi al punto da costituire strutture pressoché bidimensionali.

Dopo l'iniziale analisi di Walcott i fossili non sono più stati oggetto di ulteriori studi fino all'interpretazione effettuata negli anni '80 con tecniche e metodologie moderne che ne hanno rivelato la particolare importanza dal punto di vista evolutivo, compiutamente evidenziata dal paleontologo S.J. Gould (Gould, 1987).

Nella fase preparatoria dei materiali si è pertanto ragionato sulle difficoltà poste dalle citate specificità dei dati su cui gli studenti sarebbero stati chiamati a fare le loro analisi e osservazioni. La tabella 1 sintetizza quanto emerso: come si evidenzia, il percorso mentale necessario per passare dal dato alla sua interpretazione può anche essere di livello impegnativo, influendo negativamente, quindi, sulla concentrazione necessaria per l'interpretazione richiesta allo studente quando è chiamato a ragionare sul piano del significato biologico delle forme e delle strutture del vivente. In generale, il grado di incompletezza del dato influisce elevando la difficoltà di analisi e richiedendo processi mentali di crescente complessità (figg. 1-5). Tuttavia va osservato che tale relazione diretta non comporta necessariamente la conseguenza che oggetti particolarmente ricchi di dettagli agevolino la fase di analisi, imponendo all'attenzione di esaminatori non esperti aspetti specifici a scapito di altri di maggior rilevanza per il fine didattico. In quest'ottica assume particolare rilievo la selezione del materiale illustrativo, che deve essere tarato in funzione tanto del livello di scolarizzazione quanto del fine educativo proposto. Sulla base di queste considerazioni e volendo privilegiare l'aspetto di analisi/interpretazione delle peculiarità morfologiche della fauna e delle interazioni tra le specie rappresentate, si è scelto di utilizzare il materiale illustrativo messo a disposizione dal sito web del ROM, consistente sia in fotografie digitali ad alta definizione dei campioni originali dei fossili (utili per definire il legame con il dato scientifico grezzo) e sia in animazioni 3D dei viventi ricostruiti secondo le più aggiornate conoscenze e caratterizzate da un'elevata densità di informazioni. Il materiale è completato da sette filmati dedicati all'ambiente di vita, alle interazioni tra le varie specie di Burgess e all'ipotetico evento che potrebbe aver determinato il decesso degli organismi consentendone allo stesso tempo la conservazione post-mortem in condizioni ambientali e per un tempo sufficiente a dar luogo alla fossilizzazione. Il ruolo di questi filmati, in particolare, è stato essenziale per evidenziare:

- l'ambiente di vita della fauna;
- il comportamento di ogni specie descritta e alcune sue funzioni corporee;
- le interazioni tra le singole specie;
- il fenomeno causa della distruzione dell'associazione biologica e prodromico alla sua fossilizzazione.





Fig. 4. Due screenshot relativi ad altrettante viste dell'Opabinia regalis estratti dal filmato della rotazione

della ricostruzione con rendering 3D di figura 3. L'animazione mostra la rotazione sull'asse verticale e in senso antiorario, si notino i numerosi dettagli non rilevabili nella vista statica della tavola precedente, tra cui i due apici caudali simili a spine, la disposizione dei 5 occhi e la struttura dell'organo di prensione frontale, Royal Ontario Museum.

LE FASI DI LAVORO

Gli obiettivi didattico-educativi dell'attività sono stati: rafforzare l'educazione al ragionamento scientifico, in particolare per promuovere l'attivazione di competenze di osservazione, confronto e produzione di ipotesi e la verbalizzazione delle argomentazioni con uso del linguaggio specifico.

Le attività si sono svolte durante quattro incontri con la classe, per un totale di otto ore in presenza.

Nella realizzazione sono stati curati diversi aspetti didattici che riguardano la selezione dei contenuti e la scelta delle metodologie.

Tra i contenuti si sono voluti approfondire i concetti di evoluzione e adattamento delle specie, il ruolo del caso, la dimensione temporale, le possibili cause dell'estinzione, con una prospettiva rivolta all'approccio delle teorie neodarwiniane (Eldredge & Gould, 1972). Tra le scelte metodologiche sono state previste:

- lezioni frontali in forma di seminario con l'insegnante nel ruolo di esperto, in alternanza a lezioni partecipate con spazio al dibattito e al confronto delle ipotesi con l'insegnante nel ruolo di mediatore o tutor:
- l'allestimento di laboratori fisici di osservazione di reperti con utilizzo di materiali originali e di fonti scritte, in un contesto rivolto al problem posing / problem solving;
- l'uso di laboratori virtuali per le fasi di indagine e ricerca, con osservazione di un ambiente ricostruito in realtà 3D; in particolare, la navigazione nel sito web del ROM dedicato alla fauna di Burgess con ricostruzioni 3D dei viventi, simulazione di ambienti, di interazioni tra le forme di vita e di eventi ricostruiti a partire dai dati paleontologici e paleogeografici.

La figura 6 mostra lo schema dell'intervento didattico, che si articola in cinque fasi. Le lezioni frontali sono state realizzate col supporto di una presentazione, condivisa con gli alunni, e con l'utilizzo dell'am-





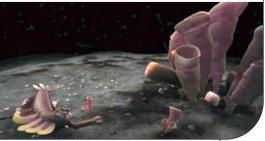


Fig. 5. Tre screenshot relativi ad altrettanti

momenti estratti dal filmato che illustra il movimento e gli atteggiamenti dell'Opabinia regalis. Si noti l'attitudine natatoria dell'animale, la posizione delle appendici laterali che indica un movimento ondulatorio, la flessibilità del corpo, aspetti non rilevabili dall'animazione cui si riferisce figura 4, Royal Ontario Museum.

biente di classe online (wikispaces) come diario di bordo, per aiutare i ragazzi a mantenere il filo conduttore del laboratorio, per condividere i link dei siti da visitare e fornire un'ulteriore mediazione dei contenuti per il lavoro a casa.

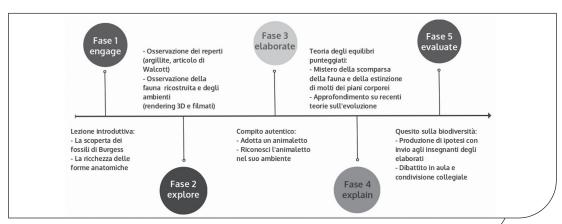


Fig. 6. Timeline dell'intervento didattico. Le fasi rispecchiano il modello IBSE: la fase di avvio, i laboratori

di osservazione della fauna con uso delle ricostruzioni, le tracce per gli elaborati degli studenti, la lezione conclusiva, la fase di rielaborazione degli apprendimenti attraverso un quesito aperto, condiviso con i docenti e sviluppato in dibattito collegiale.

Il supporto delle tecnologie informatiche ha svolto la funzione centrale di attivare e sostenere la partecipazione e di costruire un contesto cooperativo per la condivisione di ipotesi e conoscenze e una modalità interattiva di ricerca.

La struttura dell'attività ricalca quella delle fasi dell'Inquiry (Guskey, 1986). Nel dibattito conclusivo è stata utilizzata una metodologia tipica dell'IBSE, che prevede una domanda iniziale cui far seguire una fase esplorativa di investigazione scientifica da concludersi con la formulazione di risposte. Nel nostro caso gli studenti, non potendo allestire un esperimento fisico di test, hanno formulato le loro ipotesi ripercorrendo tutta l'attività, selezionando le informazioni reperibili nell'ambiente di classe e rielaborandole. Alla fase di produzione delle ipotesi "grezze" è seguito un primo momento di confronto con l'esperto (insegnanti) per la valutazione di un elaborato e il conclusivo dibattito collegiale.

In particolare si è scelto di utilizzare le G-Suite degli alunni (nello specifico la posta elettronica) per allestire una tavola rotonda virtuale ove confrontare, condividere e valutare le ipotesi.

Il supporto delle tecnologie informatiche ha svolto la funzione centrale di attivare e sostenere la partecipazione e di costruire un contesto cooperativo finalizzato alla condivisione di ipotesi e conoscenze e una modalità interattiva di ricerca.

ESEMPI DI ATTIVITÀ

In figura 7 è riportata, a titolo di esempio, una pagina dell'ambiente di apprendimento virtuale su wikispaces con un riepilogo dell'attività svolta in classe descritta dall'insegnante in forma di diario di bordo. L'intento è stato di focalizzare l'attenzione degli studenti sugli oggetti di studio grazie all'uso di domande-guida e al richiamo delle considerazioni svolte in classe e riportate nell'ambiente online: in particolare viene evidenziata la ricca varietà di piani corporei della fauna estinta e viene richiesto il confronto in termini di analogie/differenze con quelli della fauna odierna. Al fine di predisporre un compito da svolgersi lungo il percorso, si è pensato di mostrare ai ragazzi i filmati (fig. 8) che ricostruiscono l'ambiente di vita della fauna di Burgess lasciando loro il compito di riconoscere le specie descritte in aula e di commentare i comportamenti dei viventi e l'ambiente.

In questa fase sono state raccolte, selezionate e organizzate tutte le informazioni significative, mettendo così in atto un meccanismo per cui gli studenti, partendo dall'osservazione delle caratteristiche della fauna, hanno ricostruito le interazioni dei viventi con l'ambiente, le loro diverse modalità di spostamento e il loro comportamento.

Il compito assegnato alla classe consisteva in due consegne.

- L'adozione di una delle specie di Burgess studiate.
 "A ciascuno di voi è assegnato un animale di Burgess, dovete osservarlo con attenzione nel filmato di simulazione che trovate seguendo il link, descrivere come è fatto (anatomia) e ipotizzare come funzioni nel suo ambiente (fisiologia). Scrivete tutto sull'ambiente di classe o su un foglio a quadretti con nome e cognome da consegnare".
- La sua individuazione nell'ambiente marino visibile nelle animazioni. I filmati da visionare sulla fauna sono stati suddivisi in cinque categorie (pascolatori, filtratori, nuotatori, pradatori, scavatori) in accordo con l'attitudine delle specie protagoniste.



LA FAUNA DI BURGESS 1° LEZIONE

A questo link troverai la presentazione utilizzata stamattina in classe. Seguendo il racconto del ritrovamento dei fossili nell'area dello Yoho Park (Canada), abbiamo scoperto cosa sono i fossili, come si formano e quale tipo di informazione possono darci.

Abbiamo anche capito perché le prime forme di vita si svilupparono in ambiente acquatico, più in generale in una sostanza liquida (...te lo ricordi? Scrivilo qui).

Questi fossili sono molto antichi, appartengono a viventi del Cambriano, oggi estinti. E' molto interessante osservarli nei dettagli, per capire come si muovevano, come cacciavano o si nutrivano, di quali arti o organi erano dotati per vivere nel mare: abitavano infatti il fondale a circa 30-40 m di profondità in una zona ancora illuminata dalla luce solare.

La cosa sorprendente è stata osservare invece che forme di vita estremamente semplici, come ci aspetteremmo, una grande varietà che non è presente negli animali di oggi.



Per esempio: code a tre punte come quelle di un aereo; animali con 5 occhi o con un unico arto centrale, posto sul davanti per prendere il cibo; animali che nuotano all'indietro come i calamari, che si muovono con un sistema che sembra fatto da piccoli cingoli, o con zampe, o che strisciano, che usano antenne e pinne; animali con una forma antica /iniziale di spina dorsale; animali con stomaco multiplo, che trasportano le uova sulla schiena. Ci siamo chiesti infine perché scomparvero e perché quelli attuali non gli assomigliano.

Wikispaces part of tes

 $\frac{\text{Fig. 7. Il racconto della prima lezione riportato sull'ambiente online di classe secondo la modalità}{\text{del diario di bordo.}}$

"Guardate i filmati seguenti che rappresentano la ricostruzione 3D degli animali della fauna di Burgess nel loro ambiente naturale. Cercate l'animale che vi è stato assegnato e osservate con attenzione cosa sta facendo e in generale l'ambiente simulato". L'idea di adottare una specie dalle caratteristiche insolite e di rilevarne i dettagli di anatomia e fisiologia è funzionale a elevare partecipazione e coinvolgimento. Come esempio di descrizione, ecco il contributo articolato e dettagliato di un'alunna, Anita: "Il corpo della Pikaia ha la forma di un fuso un po' compresso ai lati. La testa è piccola e presenta due piccoli buchi ai lati e porta come due antenne molto sottili. Non sono sicura che avesse gli occhi. Oltre ad una pinna dorsale che veniva utilizzata per la locomozione in acqua, e una serie di almeno nove appendici come delle zampette disposte da tutti e due i lati, non ci sono altre caratteristiche esterne. Possedeva una struttura che lo percorreva dal capo all'estremità della coda, detta notocorda, che è l'antenata della colonna vertebrale. La Pikaia nuotava sopra il fondo marino usando la pinna, probabilmente si cibava delle piccole particelle presenti nell'acqua grazie ai due piccoli buchi ai lati della testa, dato che si sono trovate delle tracce di un apparato digerente". La Pikaia ha riscosso un grande successo tra gli studenti, per essere stato il cordato più antico che si conosca avendo posseduto una notocorda, cioè una struttura flessibile con funzione di sostegno che dà il nome al nostro phylum di appartenenza e dalla quale si è evoluta la colonna vertebrale.

Nella fase successiva, si è cercato di mettere gli studenti nelle condizioni di ragionare e cercare soluzioni a un problema complesso e stimolante quale la repentina scomparsa della fauna di Burgess, un'associazione di viventi tanto ricca in termini di biodiversità. In risposta alla domanda, gli studenti hanno dato vita al dibattito, che ha previsto come fase propedeutica la produzione di ipotesi e la loro autovalutazione attraverso il confronto via email con gli insegnanti. La traccia del dibattito faceva riferimento alla fauna di Burgess quale importante esempio di biodiversità, poi rivolgeva agli studenti il quesito: "Perchè la vita in 500 milioni di anni non ha più presentato un'esplosione di forme e di piani corporei così grande? È come se si fosse giocata quasi tutte le sue carte in quel breve momento per poi addormentarsi lasciando che solo alcune forme reduci dessero origine al mondo biologico successivo, fino ad oggi". La consegna si concludeva con la considerazione che questo è il più grande interrogativo che Burgess ci ha lasciato in eredità ed è forse uno degli enigmi più accattivanti della paleontologia, e con la richiesta di formulare un'ipotesi per spiegare il fenomeno, alla luce di quanto studiato.

L'insegnante ha lasciato agli studenti il tempo necessario senza suggerire o anticipare soluzioni. Successivamente, in classe, si è avviato il confronto con gli studenti mettendo in gioco tutte le ipotesi formulate e valorizzando la bontà di ciascuna.

ESITI: LE IPOTESI PRODOTTE

Gli esiti riguardano innanzitutto la produzione delle ipotesi scientifiche sulla domanda di fine percorso relativa alla biodiversità di Burgess e la qualità delle argomentazioni al proposito. Le ventitré ipotesi sono state suddivise in funzione di una loro somiglianza o coerenza e raggruppate in quattro tipologie di argomentazioni. Il panorama delle formulazioni

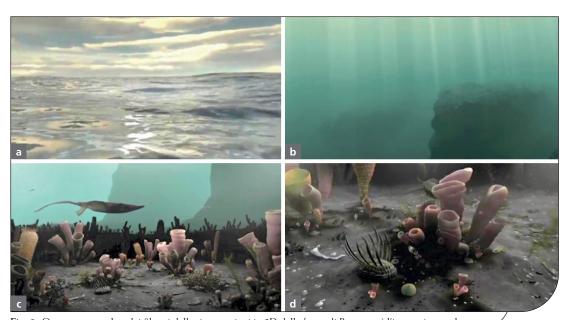


Fig. 8. Quattro screenshot dei filmati delle ricostruzioni in 3D della fauna di Burgess: a) l'immersione nel mare, b) la discesa lungo una falesia sottomarina, c) il sottostante fondale, d) un dettaglio dell'associazione biologica.

Tipologia dell'ipotesi	Fattore determinante	Descrizione	
Ambientale	Natura ostile	Ipotizza che il mondo all'epoca del Cambriano fosse molto più ostile alla vita rispetto a quello odierno e afferma che la vita abbia così tante necessità ("pretese") per cui non è stato affatto semplice per gli animali sopravvivere e l'estinzione avvenuta era inevitabile. Oggi il mondo sembra più ospitale, con meno catastrofi, con una natura più sotto controllo.	
Antropica	Mutamenti indotti dall'uomo	Ritiene che oggi non ci sia bisogno di tanta biodiversità perché la Terra è dominata dall'uomo che è "molto ingombrante" e si è preso tutti gli spazi naturali. L'ambiente di oggi, inoltre, è diverso perché l'uomo l'ha modificato a proprio vantaggio e a discapito della molteplicità delle specie, così facendo ha cambiato le regole del gioco e accentuato la tendenza all'estinzione. Chissà se non possa avvenire un'inversione di tendenza e possano in futuro prodursi associazioni di viventi sempre più ricche in termini di biodiversità? Ma l'uomo ha compromesso per sempre le condizioni ambientali e climatiche che hanno favorito le specie precedenti. Ci si chiede "ma quando l'uomo sarà estinto ci saranno altre specie umane?".	
Matematico- statistica	Probabilità di sopravvivenza	L'ipotesi è che nel periodo Cambriano ci sia stata un'esplosione di forme così grande proprio per dare la possibilità ad alcune di queste forme di vita di andare avanti. È come il branco dei pesci che se è molto numeroso permette a qualche pesce di salvarsi dall'attacco di un predatore. Se le forme fossero state poche non avrebbero avuto le stesse possibilità.	
Dubitativo- scettica	Mancanza di sufficienti informazioni	Afferma che potrebbero esserci stati altri diversi cambiamenti di forme di cui non abbiamo traccia. È anche difficile rispondere vista la limitata percezione del tempo che abbiamo noi.	

Tab. 2. Le quattro tipologie di ipotesi formulate dagli studenti (con le loro parole) sul quesito conclusivo.

(tab. 2) varia da ipotesi che abbiamo ritenuto banali e fortemente condizionate dal senso comune o dall'esperienza quotidiana, come quelle ambientale e antropica, a elaborazioni più raffinate e inclusive della complessità soggiacente, come quella dubitativa, fino ad alcune sorprendentemente realistiche nella motivazione scientifica considerata l'età degli alunni e formalmente corrette nel modello teorico, come quella matematico-statistica.

Nella tabella le ipotesi sono state riportate secondo un ordine crescente in termini di capacità di mettere in relazione eventi e fenomeni, all'interno di un modello teorico, e argomentare utilizzando il linguaggio scientifico. L'ipotesi di tipo matematico-statistica è interessante, anche se finalistica: nella discussione in classe si è voluto raffinarla apportando una minima correzione: se la vita non avesse dato luogo all'esplosione del Cambriano oggi non avremmo alcuna forma di vita. Il che significherebbe che la vita sulla Terra ha una sola modalità di propagarsi e permanere, attraverso un'esplosione iniziale che esplori il maggior numero di piani corporei possibili, e con una sorta di "riserva di soccorso" cui ricorrere nel caso di un evento seguito da effetti globali di crollo nella biodiversità, ad esempio un'estinzione di massa. L'ipotesi dubitativa è perfettamente centrata sul carattere di estrema parzialità che ha la documentazione paleontologica e quindi anche la conseguente conoscenza umana, che era uno degli obiettivi educativi alla base della proposta didattica.

Nelle altre ipotesi si rilevano alcune ingenuità, quali la mancanza della corretta percezione della proporzione tra scala temporale relativa alle epoche geologiche e quella relativa alla permanenza della specie umana; in conseguenza di ciò alcuni confronti ri-

sultano poco verosimili. Assume particolare rilievo, considerata la specifica impronta di apertura verso la metodologia propria delle scienze sperimentali che si è voluta dare alla presente esperienza, la considerazione che la centralità dell'uomo (ipotesi antropica) si conferma come presupposto difficile da scardinare e fortemente limitativo, come anche la tendenza a utilizzare quale esclusivo termine di confronto l'attuale assetto del "mondo" e il relativo livello tecnologico e grado di civilizzazione.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'intento del percorso didattico è stato sperimentare una metodologia di apprendimento che permettesse di sviluppare competenze di ricerca scientifica, approcciando concetti complessi e attivando competenze specifiche come individuare problematiche di carattere scientifico, dare una spiegazione argomentata dei fenomeni, metterli in relazione ed elaborare ipotesi.

Sul piano cognitivo si è riscontrato un apprendimento coerente con gli obiettivi: è emersa con chiarezza la comprensione del fenomeno dell'estinzione in possibile relazione ai concetti di vantaggio e di adattamento alle variazioni ambientali e, in riferimento alla fauna di Burgess, alla scomparsa di buona parte dei piani corporei (fig. 9).

La scelta di lavorare sulla biodiversità, intesa come numero di specie, ha fatto sì che gli studenti ragionassero su un meccanismo di tipo "additivo" della vita cui si contrappongono meccanismi "sottrattivi", come ad esempio l'estinzione, regolati anche dal caso.

Basandosi sull'analisi dei dati forniti dai fossili di Burgess, al classico modello di albero dell'evoluzione

delle specie, il gradualismo filetico, si è contrapposto quello del "prato", con lo sviluppo in parallelo di differenti piani corporei come altrettanti "fili d'erba su cui l'estinzione agisce falcidiandone la maggior parte, la cosiddetta "decimazione", proposta da S.J. Gould (Gould, 1989) (fig. 10).

A livello macroevolutivo è stato messo a confronto il modello di S.J. Gould caratterizzato da un'iniziale "esplosione" filetica e da una successiva speciazione differenziatasi dai piani corporei sopravvissuti alla decimazione (Gould, 1989) con quello del classico "cono a diversità crescente" cui tradizionalmente si riferiscono i testi scolastici (fig. 11).

Il meccanismo alla base del cambiamento evolutivo, il fenomeno della speciazione, è stato modellizzato riferendosi alla teoria formulata da S.J. Gould e da N. Eldredge e denominata "teoria degli equilibri punteggiati" (Eldredge & Gould, 1972). Essa ipotizza che il

cambiamento evolutivo sia caratterizzato da lunghi periodi di stasi, in cui la specie rimane pressoché immutata, alternati/punteggiati da fasi di cambiamento rapido (fig. 12).

Il tentativo didattico è stato incentrato su concetti complessi, tuttora discussi e in continuo aggiornamento (Eldredge, 1995), campo di studio di una specifica branca della biologia evoluzionistica e inquadrati nel più ampio panorama della cosiddetta "filosofia della biologia", disciplina tipicamente affrontata con una visione superiore e una riflessione ad ampio spettro sulle problematiche (Pievani, 2005). La scelta di approcciare un problema scientifico "aperto" (Russo, 2000) ha inteso conseguire un duplice scopo:

 elevare quanto più possibile il livello quantitativo e qualitativo dell'attenzione dei ragazzi su un argomento complesso;

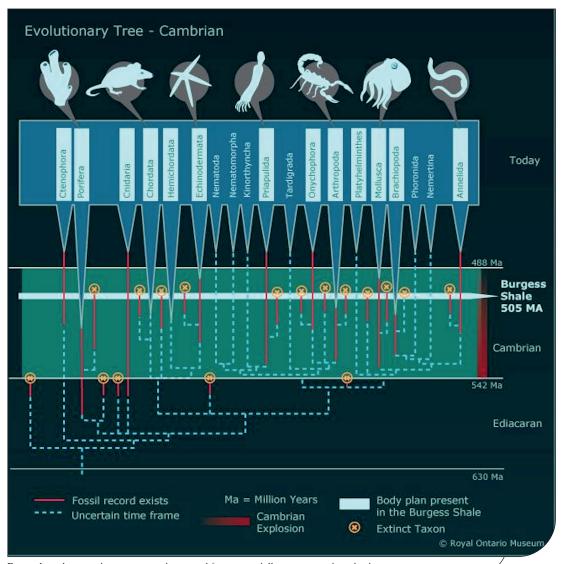


Fig. 9. Lo schema utilizzato per evidenziare il fenomeno della scomparsa di molti dei piani corporei presenti nella fauna di Burgess (fonte Royal Ontario Museum).

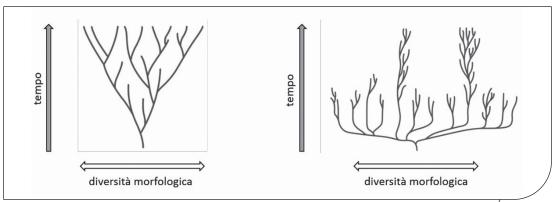


Fig. 10. Il tradizionale modello dell'albero a ramificazione progressiva (sinistra) e il modello della diversificazione e decimazione proposto da S.J. Gould (adattato da Gould S.J., 1989).

 trasmettere l'idea del carattere "provvisorio" delle teorie scientifiche, del loro valore "non dogmatico" e della loro evoluzione per successivi "aggiornamenti"

Nonostante la complessità del quadro concettuale, vista la partecipazione diffusa e attiva degli studenti, è stato possibile riscontrare motivazione e interesse pur a fronte della loro età e del livello di scolarizzazione, a riprova che argomenti "evoluti" possono (e dovrebbero, a opinione degli autori) entrare a buon diritto nelle proposte educative mirate alle scuole secondarie di primo grado facendo leva sull'efficacia di specifiche modalità propositive.

Nella fase di dibattito alcuni studenti si sono messi nelle condizioni di "ragionare in negativo" ("E se non fosse andata così?"), con l'intento di mettere in discussione le relazioni proposte e formulare ipotesi alternative in un processo circolare di elaborazione di dati e nuovi problemi: l'importanza di porsi domande e cercare risposte a esse non consiste soltanto nel dimostrare affermazioni, ma piuttosto nell'indagare su di esse, come previsto nel metodo IBSE. La partecipazione attiva, la significatività delle rifles-

sioni e dei contributi rielaborati confermano la com-

prensione della complessità delle relazioni temporali, degli effetti del caso nell'evoluzione e nella dinamica dei fenomeni e quindi nella loro correlazione.

Il percorso didattico progettato ha fatto emergere, inoltre, la possibilità di affrontare i nodi concettuali della teoria: la selezione e la variabilità dei caratteri morfologici, l'adattamento, l'importanza della dimensione temporale, l'ereditarietà, il ruolo della casualità e degli eventi naturali impulsivi catastrofici. Non si è trattato semplicemente di un laboratorio fisico, inteso come uno spazio che disponga di materiali e di strumentazione per elaborare dati, ma di un laboratorio didattico virtuale, con utilizzo di documentazione digitale e di ambienti di lavoro online. Sebbene un laboratorio di realtà virtuale abbia caratteristiche tecnologiche differenti, si è voluto riprodurre quei fattori che, come diversi autori mostrano (Mestre & Fuchs, 2006), intervengono nel favorire l'apprendimento perché sviluppano interesse ed empatia con ovvio impatto cognitivo: l'immersione nell'ambiente che si sta osservando e l'interazione con esso. Nel nostro caso, si è inteso creare un coinvolgimento di tipo immersivo nelle fasi del compito e del quesito conclusivo, quando, alle richieste di adottare un organismo

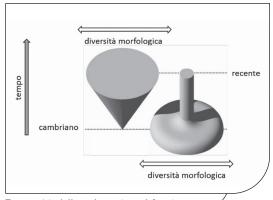


Fig. 11. Modelli evolutivi (semplificati)
a confronto: a sinistra il modello del cono a diversità
crescente a destra il modello "invertito" proposto
da S.J. Gould (adattato da Oyston et al., 2016).

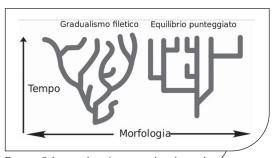


Fig. 12. Schema sul confronto tra il tradizionale modello evolutivo di tipo graduale (darwiniano) e il modello degli equilibri punteggiati, secondo il quale l'evoluzione è sostanzialmente basata su lunghi periodi di stasi, ove nelle specie esistenti non vi sono accenni di evoluzione, associati a repentine e brevi spinte evolutive, modulate da eventi "dirompenti" per cui le nuove specie compaiono improvvisamente e si differenziano velocemente.

estinto, di individuarlo nei filmati che ricostruivano l'ambiente, ipotizzando anche il suo adattamento, e ipotizzare una spiegazione per la scomparsa dei numerosi piani corporei, sono seguite risposte puntuali e ampiamente partecipate. L'aspetto formativo si è arricchito grazie alle esperienze emotive, positive, che hanno favorito il consolidamento dei concetti.

Le ricostruzioni in 3D disponibili nel museo virtuale presente sul sito web del ROM hanno permesso l'allestimento di un contesto di apprendimento attivo, sfruttando le potenzialità didattiche della multimedialità, l'ambiente di classe virtuale, la naturale predisposizione dei ragazzi ad "entrare" nelle ambientazioni animate e il confronto con gli insegnanti che ha migliorato sensibilmente la motivazione e la partecipazione.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Sylvia M. Pagdin del Vancouver School Board e il dott. Antonio Rey della Società Entomologica Italiana per il contributo a questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

BONIELLO A., LANCELOTTI L., MACARIO M., REALDON G., STROPPA P., 2014. Didattica delle scienze della Terra: l'esperienza di Unicam Earth. *Bricks Online Journal*, 1: 29-41.

BONIELLO A., PARIS E., SANTOIANNI F., 2019. Virtual Worlds in Geoscience Education: Learning Strategies and Learning 3D Environments. In: Panconesi G., Guida M. (eds.), Handbook of Research on Collaborative Teaching Practice in Virtual Learning Environments. IGI Global, Hershey (PA), pp. 781-800.

CRIVELLARO F., SPERDUTI A., 2014. Accepting and understanding evolution in Italy: a case study from a selected public attending a Darwin Day celebration. *Evolution: Education and Outreach*, 7: 13

DRIVER R., 1985. The pupil as scientist? Open University Press, Buckingham (UK) e Philadelphia (PA).

ELDREDGE N., GOULD S.J., 1972. Punctuated equilibra: an alternative to phyletic gradualism. In: Schopf T.J.M. (ed.), Models in Paleobiology. Freeman, Cooper and Company, San Francisco, pp. 82-115.

ELDREDGE N., 1995. Reinventing Darwin. The Great Debate at the High Table of Evolutionary Theory. John Wiley & Sons, New York.

FRANCO R., 2018. L'approccio IBSE nella didattica attiva delle Scienze della Terra. *Educare.it*, 18: 5-12.

GOULD S.J., 1987. Time's arrow, time's cycle. Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time. Harvard University Press, Cambridge (MA).

GOULD S.J., 1989. Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History. W.W. Norton, New York.

GUSKEY T.R., 1986. Staff development and the process of teacher change. *Educational researcher*, 15(5): 5-12.

INVALSI, 2006. Le competenze in lettura, matematica e scienze degli studenti quindicenni italiani. Rapporto Nazionale Pisa 2006. Armando Editore, Roma.

MESTRE D.R., FUCHS P., 2006. Immersion et presence. In: Fuchs P., Moreau G., Berthoz A., Vercher J.L. (eds.), *Le traite de la realite virtuelle*. Ecole des Mines de Paris, Paris, pp. 309-338.

MORTARA M., CATALANO C.E., 2018. 3D virtual environments as effective learning contexts for cultural heritage. *Italian Journal of Educational Technology*, 26(2): 5-21

OYSTON J.W., HUGHES M., GERBER S., WILLS M.A., 2016. Why should we investigate the morphological disparity of plant clades? *Annals of Botany*, 117(5): 859-879.

PIEVANI T., 2005. Introduzione alla filosofia della biologia. Laterza, Roma.

RUSSO L., 2000. Segmenti e bastoncini. Feltrinelli, Milano. SINISCALCO M.T., BOLLETTA R., MAYER M., POZIO S., 2007. Le valutazioni internazionali e la scuola italiana. Zanichelli, Bologna.

STENLUND J.I., TIBELL L.A.E., 2019. Visualizing macroevolutionary timescales: students' comprehension of different temporal representations in an animation. *Evolution: Education and Outreach*, 12: 8.

TONON M., FERRERO E., PROVERA A., 2005. Esperienze di fruizione didattica e di valorizzazione di alcuni affioramenti fossiliferi del Monferrato. *Rendiconti del Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 2: 229-241.

TONON M., FERRERO E., 2001, Riflessioni epistemologiche sul concetto di fossile e fossilizzazione: rappresentazioni mentali degli insegnanti della scuola primaria in formazione e in servizio. *Giornale di Geologia*, 62: 157-163.

TREVISAN T., 2011. Metodologie didattiche nell'insegnamento della teoria evoluzionistica. Master Thesis, University of Padua (http://paduaresearch.cab.unipd.it/3558/1/).

YOUNG H.J., YOUNG T.P., 2003. A hands-on exercise to demonstrate evolution by natural selection & genetic drift. *American Biology Teacher*, 65(6): 444-448.

WHITTINGTON H.B., 1975. The Enigmatic Animal Opabinia regalis, Middle Cambrian, Burgess Shale, British Columbia. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 271(910): 1-43.

Siti web (ultimo accesso 06.10.2019)

1) Royal Ontario Museum (ROM) https://www.rom.on.ca/en

2) Burgess Shale Projects https://burgess-shale.rom.on.ca/en/

Submitted: September 10th, 2019 - Accepted: October 7th, 2019 Published: December 11th, 2019