



Co-funded by
the European Union

Albero evolutivo della vita: definire relazioni filogenetiche



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





CONTENUTI

Introduzione	3
Esplorare: comprendere le relazioni evolutive e le origini comuni	4
1.1 Cos'è l'albero della vita?	4
1.2 Cos'è la filogenesi?	4
1.3 Evidenze raccolte per realizzare gli alberi filogenetici	7
1.4 Tratti omologhi e analoghi	7
1.5 Come leggere un albero filogenetico	8
1.6 Perché gli alberi filogenetici sono importanti	10
Eseguire: dalla classificazione alla definizione delle relazioni	10
2.1 Dalla teoria alla pratica: comprendere le relazioni in natura	10
2.2 Come la Realtà Aumentata supporta l'obiettivo di apprendimento	11
2.3 Esercizio pratico di AR: creare l'Albero della vita	11
2.4 L'apprendimento bio-ispirato nella pratica	11
2.5 Apprendimento collaborativo e basato sull'indagine	12
Potenziare: favorire il pensiero sistemico con la Realtà Aumentata	12
3.1 Perché la Realtà Aumentata favorisce l'apprendimento filogenetico	12
3.2 Rendere visibili le relazioni evolutive	12
3.3 Supporto all'indagine e al pensiero sistemico	12
3.4 Coinvolgimento e apprendimento inclusivo	13
Conclusioni	13
Riferimenti	15





(Fonte: immagine generata con l'AI)





Argomento generale del percorso di apprendimento	Biologia evolutiva e sistemi bio-ispirati
Nome specifico dell'unità di apprendimento	Albero evolutivo della vita: definire relazioni filogenetiche
Età degli utenti target	14-18 anni
Requisiti necessari per gli studenti	Conoscenza di base della biologia, compresi concetti come specie, adattamento ed evoluzione. È consigliata la familiarità con semplici strumenti digitali. Non è richiesta alcuna esperienza precedente nell'ambito della filogenesi o della Realtà Aumentata.
Descrizione dell'unità di apprendimento	Questa unità introduce gli studenti all'Albero della Vita, spiegando come le specie vengono classificate in base alle loro relazioni genetiche, morfologiche ed evolutive. Gli studenti esplorano come gli scienziati utilizzano la filogenesi per identificare le origini comuni e ricostruire le relazioni evolutive tra gli organismi. Per rendere il processo di apprendimento interattivo e coinvolgente, gli studenti utilizzano la Realtà Aumentata (AR) per costruire, interagire e analizzare un albero filogenetico. Attraverso attività pratiche di AR, gli studenti visualizzano le connessioni evolutive tra le specie, esplorano i modelli di divergenza e comprendono come l'adattamento e la selezione naturale contribuiscano alla biodiversità.
Argomenti e destinatari	Biologia, scienze evolutive, bioinformatica, Realtà Aumentata
Parole chiave	Filogenesi, albero della vita, relazioni evolutive, origine comune, biodiversità, tratti omologhi, Realtà Aumentata, bio-ispirazione, pensiero sistemico.
Conoscenze, abilità e competenze chiave che possono essere acquisite	• Comprensione dei principi filogenetici e delle relazioni evolutive • Capacità di interpretare e ricreare alberi filogenetici • Abilità nel confrontare i tratti biologici e nel valutare le evidenze • Sviluppo del pensiero sistemico e del ragionamento bio-ispirato • Esperienza con l'apprendimento collaborativo e basato sull'indagine supportato da AR
Risorse e supporti didattici utilizzati	• Piattaforme di Realtà Aumentata (es. Delightex) • Modelli biologici 3D (ad es. organismi e strutture evolutive su Sketchfab, Delightex) • Video didattici e risorse online sulla filogenesi • Dispositivi digitali (tablet, smartphone, computer) • Discussione guidata dall'insegnante e attività collaborative





Criteri di giudizio e valutazione

Gli studenti saranno valutati attraverso la partecipazione ad attività basate su AR, la realizzazione e l'interpretazione di alberi filogenetici e la loro abilità nel giustificare le relazioni evolutive utilizzando le evidenze. La valutazione si concentra sulla comprensione concettuale, sul ragionamento analitico, sulla collaborazione e sul pensiero riflessivo. La valutazione formativa è supportata dall'osservazione, dalla discussione e da attività basate su AR, mentre la valutazione finale include modelli e spiegazioni creati dagli studenti.

Introduzione

La vita sulla Terra è estremamente varia, eppure tutti gli organismi viventi sono collegati tra loro per mezzo dell'evoluzione. L'Albero della vita evolutivo aiuta gli scienziati a comprendere queste connessioni, rivelando l'origine condivisa e le relazioni evolutive. Questa unità introduce gli studenti al ragionamento filogenetico e mostra come gli scienziati riproducono e interpretano gli alberi evolutivi per spiegare la biodiversità.





Esplorare: comprendere le relazioni evolutive e le origini comuni

1.1 Cos'è l'albero della vita?

L'Albero della Vita è un modello scientifico che rappresenta le relazioni evolutive tra gli organismi. Anziché classificare le specie come “più” o “meno” evolute, mostra come tutti gli esseri viventi siano collegati da antenati comuni. Ogni ramo rappresenta un cambiamento evolutivo nel tempo.

1.2 Cos'è la filogenesi?

La filogenesi è lo studio delle relazioni evolutive tra gli organismi e di come le diverse specie siano collegate da un'origine comune. Gli scienziati ricorrono alla filogenesi per determinare la stretta parentela tra gli organismi, confrontando le **caratteristiche condivise**, come le caratteristiche anatomiche, i modelli di sviluppo e le **informazioni genetiche**. Le specie che condividono più tratti ereditati da un antenato comune sono considerate più strettamente imparentate.

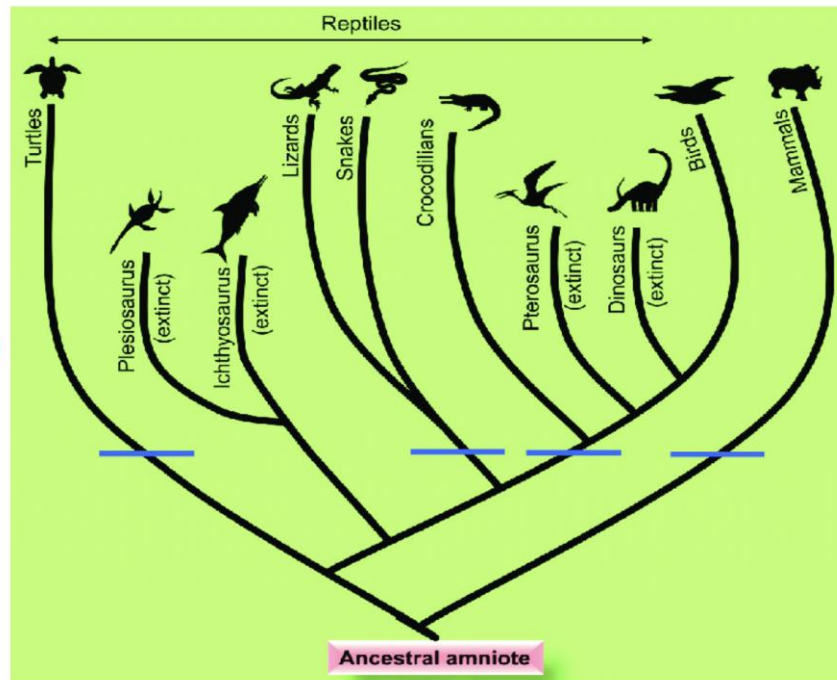
Gli alberi filogenetici sono modelli visivi che rappresentano queste relazioni. Non sono diagrammi fissi, ma **ipotesi scientifiche** basate sulle migliori evidenze disponibili in un determinato momento. Man mano che si rendono disponibili nuovi dati (come scoperte di fossili o progressi nell'analisi del DNA), gli alberi filogenetici possono essere rivisti e migliorati. Ciò rende la filogenesi un campo dinamico e basato sull'evidenza, in grado di riflettere l'evoluzione della comprensione scientifica nel tempo.

La comprensione della filogenesi aiuta gli scienziati a spiegare la biodiversità, a rintracciare le origini delle specie e a identificare i modelli evolutivi. Inoltre, insegna un importante principio scientifico: la **conoscenza biologica si costruisce attraverso il confronto, le evidenze e il continuo perfezionamento**, piuttosto che con risposte assolute o immutabili.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di filogenesi:

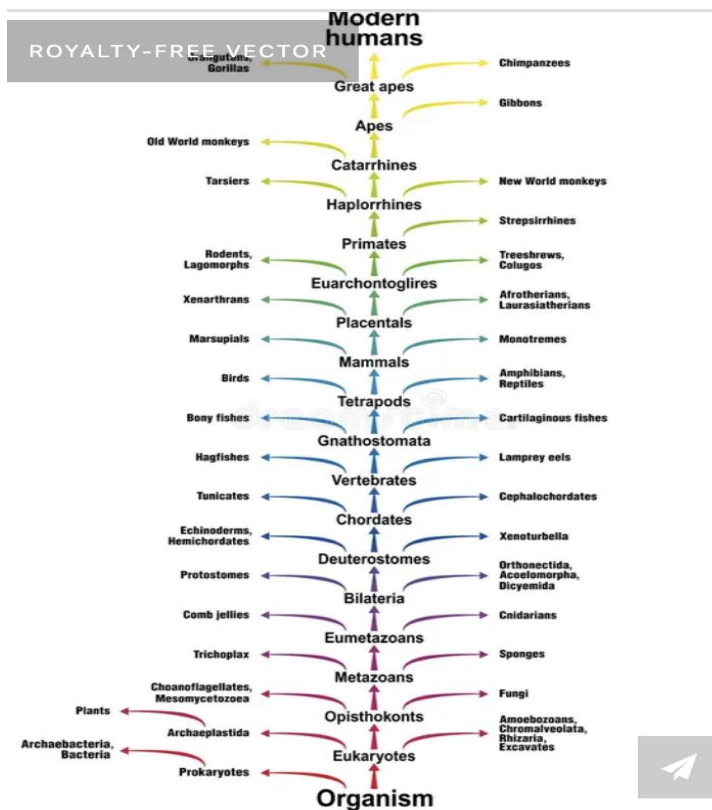
1. Albero della vita degli amnioti che comprende rettili, uccelli e mammiferi. Tutte queste classi di vertebrati si sono evolute dalla stessa forma ancestrale dei rettili che si trovano in fondo all'albero (Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Tree-of-life-of-amniotes-that-includes-reptiles-birds-and-mammals-All-these-classes-of_fig2_323780429)



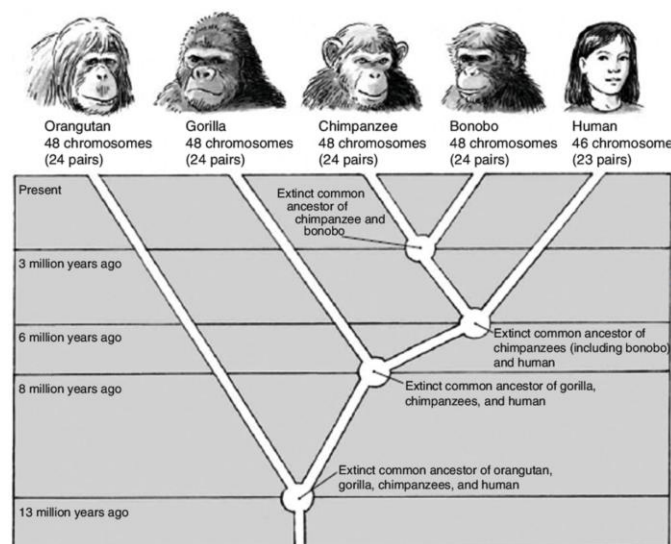


2. Albero della vita: Classificazione delle specie ed evoluzione umana. Albero della vita di tutti gli esseri viventi. Albero filogenetico della scienza biologica con ordini/sottordini del tronco e rami relativi alle diverse specie. Classificazione dagli organismi semplici all'uomo moderno. (Fonte: <https://www.dreamstime.com/tree-life-human-evolution-biology-species-classification-tree-life-all-living-beings-phylogenetic-tree-biological-image131543711>)





3. Storia filogenetica dei primati e delle scimmie viventi (Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Phylogenetic-history-of-the-Hominidae-living-apes-and-people-Dates-are-based-on-genomic-data-fig1_317314464)





1.3 Evidenze raccolte per realizzare gli alberi filogenetici

Le relazioni filogenetiche vengono ricostruite utilizzando diversi tipi di evidenze, tra cui:

- tratti morfologici (struttura e forma del corpo),
- reperti fossili,
- dati genetici e molecolari,
- caratteristiche comportamentali e di sviluppo.

Per favorire la comprensione di come vengono combinate queste diverse fonti di dati, gli studenti possono esplorare un breve video didattico (*vedi sotto*) che spiega visivamente come gli scienziati costruiscono gli alberi filogenetici avvalendosi di evidenze reali. Questa risorsa multimediale aiuta a chiarire i concetti astratti e prepara gli studenti alla definizione pratica delle relazioni evolutive nella fase seguente.

La combinazione di queste fonti di dati consente agli scienziati di creare modelli evolutivi più accurati e affidabili.

Video “[Intro to Cladograms and Phylogenetic Trees](https://www.youtube.com/watch?v=clQobFHFwcM)”
(<https://www.youtube.com/watch?v=clQobFHFwcM>)

Dopo aver osservato come gli scienziati utilizzano le evidenze per realizzare gli alberi filogenetici, gli studenti applicano gli stessi principi analizzando i tratti e sviluppando i propri modelli evolutivi con la Realtà Aumentata.

1.4 Tratti omologhi e analoghi

Non tutte le somiglianze tra organismi indicano strette relazioni evolutive. Alcuni tratti possono sembrare simili in apparenza, ma presentano origini evolutive molto diverse. Per questo motivo, nell'elaborazione degli alberi filogenetici, gli scienziati distinguono tra tratti **omologhi** e **analoghi**.

I **tratti omologhi** sono caratteristiche ereditate da un **antenato comune**, anche se oggi svolgono funzioni diverse. Ad esempio, gli arti anteriori di uomini, pipistrelli e balene hanno forme e usi diversi, ma condividono la stessa struttura ossea di base. Queste somiglianze forniscono una forte indicazione di un'origine comune e sono quindi molto preziose per ricostruire le relazioni evolutive.

I **tratti analoghi**, invece, svolgono funzioni simili ma si sono evoluti **in modo indipendente** in diversi lignaggi evolutivi. Ad esempio, le ali degli uccelli e degli insetti consentono entrambe il volo, ma si sono sviluppate da strutture ancestrali diverse. I tratti omologhi spesso nascono da pressioni ambientali simili piuttosto che da strette relazioni genetiche.

Comprendere la differenza tra tratti omologhi e analoghi risulta indispensabile per interpretare correttamente gli alberi filogenetici. Confondere i tratti analoghi con quelli omologhi può portare a



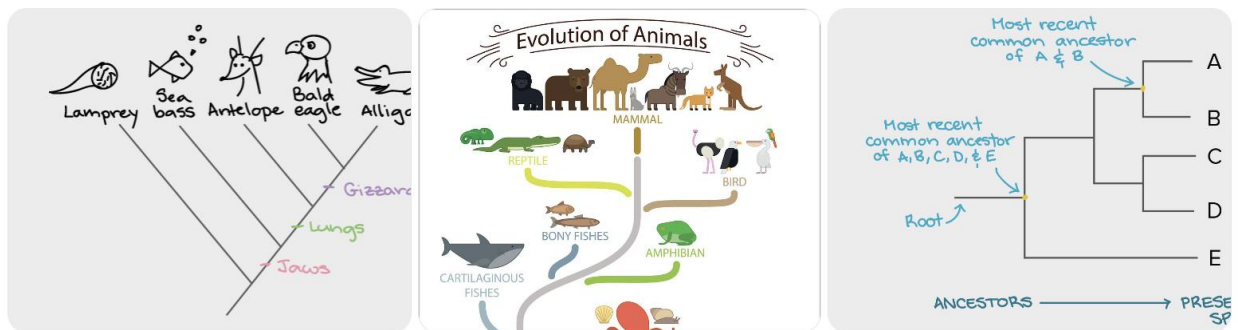


conclusioni errate sulla parentela. Analizzando attentamente quali tratti riflettono un'origine condivisa, gli scienziati sono in grado di costruire modelli di evoluzione più accurati e di capire meglio come le diverse forme di vita siano collegate tra loro.

1.5 Come leggere un albero filogenetico

Gli alberi filogenetici mostrano le relazioni evolutive attraverso modelli di ramificazione che rappresentano il modo in cui le specie si sono differenziate da antenati comuni nel corso del tempo. Ogni punto di ramificazione, o nodo, rappresenta un'origine comune condivisa dagli organismi che si diramano da esso. Le specie che condividono un antenato comune più recente sono considerate più strettamente imparentate di quelle il cui antenato comune si trova più in profondità nell'albero.

La lunghezza o la posizione dei rami non indica che un organismo sia più avanzato o “più evoluto” di un altro. I rami riflettono invece i modelli di divergenza evolutiva e la storia condivisa. Tutte le specie viventi che si trovano all'estremità dei rami si sono evolute per lo stesso periodo di tempo.



Gli alberi filogenetici possono essere visualizzati in diversi formati, orizzontale, verticale o radiale, senza modificare le relazioni sottostanti. La rotazione o la riorganizzazione dei rami non altera il significato evolutivo dell'albero, purché l'ordine di ramificazione rimanga lo stesso. Capire come leggere correttamente questi alberi è essenziale per interpretare le relazioni evolutive e per costruire modelli filogenetici accurati.

Di seguito sono riportati esempi visivi di alberi filogenetici che illustrano come vengono rappresentate le relazioni evolutive tra diversi gruppi di organismi: :

1. Esempio 1: Quali specie sono più strettamente imparentate?

(Fonte: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/phylogeny/a/building-an-evolutionary-tree>;
<https://www.istockphoto.com/vector/biological-evolution-animals-scheme-gm500509454-80808691>;
<https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/phylogeny/a/phylogenetic-trees>)

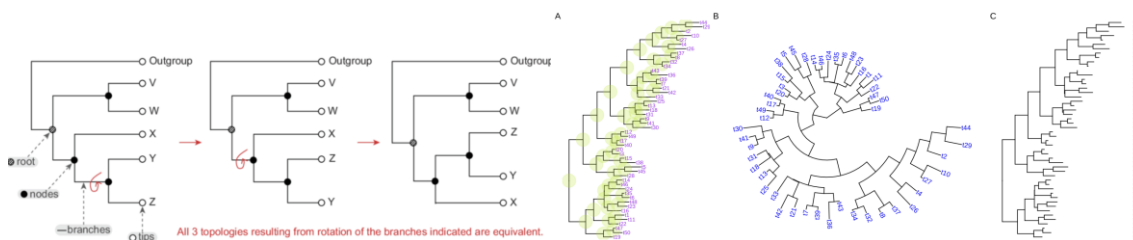




In questo albero filogenetico, le specie A e B condividono un **antenato comune più recente** rispetto alla specie C. Ciò significa che A e B sono più strettamente imparentate tra loro, anche se la specie C può avere un aspetto simile o vivere in un ambiente simile.

La vicinanza è determinata dagli antenati comuni, non dall'aspetto o dalla posizione sulla pagina.

2. Stesse relazioni, forme diverse degli alberi

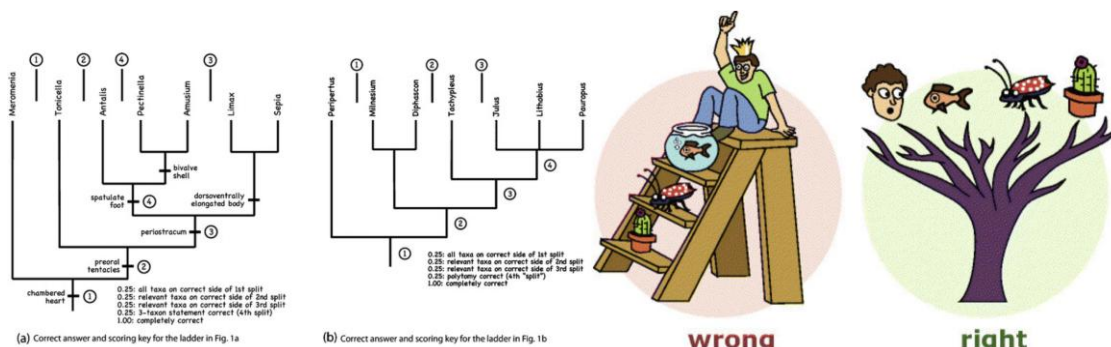


Fonte: https://www.researchgate.net/figure/The-different-parts-of-a-rooted-phylogenetic-tree-showing-the-root-branches-nodes-and_fig1_43022487; <https://yulab-smu.top/treedata-book/chapter4.html>; <https://users.ugent.be/~avierstr/principles/phylogeny.html>

Questi alberi hanno un aspetto diverso (orizzontale, verticale o radiale), ma rappresentano le **stesse relazioni evolutive**. La rotazione dei rami o della disposizione non altera il significato dell'albero, purché l'ordine delle ramificazioni rimanga invariato.

La forma dell'albero non modifica le relazioni evolutive.

3. Equivoco: l'evoluzione non è una scala



(Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Tree-format-translations-for-the-ladders-shown-in-Figs-1a-b-along-with-the-associated_fig3_226685940)





Questo confronto evidenzia un fraintendimento comune. Spesso l'evoluzione viene erroneamente rappresentata come una scala o una progressione lineare. In realtà, l'evoluzione funziona attraverso la **ramificazione**, in cui più lignaggi si evolvono simultaneamente da origini comuni.

Tutte le specie all'estremità dell'albero sono ugualmente evolute.

1.6 Perché gli alberi filogenetici sono importanti

Gli alberi filogenetici aiutano gli scienziati a:

- comprendere la biodiversità e l'evoluzione,
- rintracciare le origini delle patologie,
- supportare gli sforzi di preservazione,
- ispirare soluzioni bio-ispirate nella scienza e nella tecnologia.

Eseguire: dalla classificazione alla definizione delle relazioni

In questa sezione, gli studenti passano dall'apprendimento dei concetti evolutivi alla loro applicazione attiva. Invece di memorizzare le classificazioni, gli studenti analizzano i tratti condivisi e le evidenze evolutive per costruire relazioni tra gli organismi.

2.1 Dalla teoria alla pratica: comprendere le relazioni in natura

L'Albero della vita evolutivo dimostra come la natura organizzi la diversità attraverso parentele ramificate e origini condivise. In questa sezione, gli studenti passano dai concetti teorici all'**applicazione pratica**, esplorando come gli scienziati utilizzano le evidenze per determinare le relazioni evolutive tra gli organismi.

Piuttosto che memorizzare i sistemi di classificazione, gli studenti adottano una **prospettiva bio-ispirata**, considerando l'evoluzione come un processo dinamico in cui semplici tratti biologici generano complesse strutture relazionali. Questo approccio riflette il modo in cui i sistemi naturali ispirano i moderni metodi di organizzazione delle informazioni nella scienza, nella tecnologia e nel design.





2.2 Come la Realtà Aumentata supporta l'obiettivo di apprendimento

L'obiettivo principale di questa unità è aiutare gli studenti a comprendere la filogenesi come un sistema di relazioni, non come una gerarchia lineare. La Realtà Aumentata (AR) supporta questo obiettivo consentendo agli studenti di costruire, interagire e visualizzare alberi filogenetici nello spazio tridimensionale.

Attraverso attività basate su AR, gli studenti possono:

- collocare gli organismi imparentati tra loro,
- visualizzare i punti di ramificazione come antenati comuni,
- testare diverse configurazioni di alberi in base alle evidenze,
- osservare come le variazioni dei dati influiscono sulla struttura complessiva.

Questo trasforma gli alberi filogenetici da diagrammi statici a modelli scientifici interattivi.

2.3 Esercizio pratico di AR: creare l'Albero della vita

Esempio di attività: "Creare un albero filogenetico".

Gli studenti lavorano individualmente o in piccoli gruppi per analizzare un organismo o un gruppo di organismi selezionati. Utilizzando gli strumenti AR, ogni studente crea una rappresentazione che include tratti chiave come la morfologia, l'habitat o le informazioni genetiche.

Questi contributi individuali vengono poi combinati in un albero filogenetico condiviso dalla classe, dove gli studenti decidono in modo collaborativo:

- in quali punti dovrebbero trovarsi le ramificazioni,
- quali organismi condividono gli antenati comuni più recenti,
- quali tratti forniscono le più solide evidenze di parentela.

Questo processo enfatizza il ragionamento, il confronto e la spiegazione piuttosto che le risposte corrette o errate.

2.4 L'apprendimento bio-ispirato nella pratica

La realizzazione di un albero filogenetico riflette un principio fondamentale di bio-ispirazione: i sistemi complessi emergono da regole semplici e ripetute. Ordinando gli organismi in base a tratti condivisi, gli studenti sperimentano come la natura generi una diversità strutturata senza un controllo centrale.

Questo principio è direttamente applicabile:

- al pensiero sistemico,
- all'organizzazione dei dati,
- alla progettazione di reti,
- all'intelligenza artificiale e
- all'informatica bio-ispirata.





2.5 Apprendimento collaborativo e basato sull'indagine

Durante la fase "Eseguire", gli studenti si impegnano in:

- discussione e dibattito sulle evidenze,
- verifica delle ipotesi riorganizzando i vari rami,
- prendere decisioni in collaborazione per costruire l'albero condiviso.

Questo approccio basato sull'indagine rispecchia la pratica scientifica reale e supporta lo sviluppo del pensiero critico, della comunicazione e del lavoro di squadra.

Potenziare: favorire il pensiero sistemico con la Realtà Aumentata

3.1 Perché la Realtà Aumentata favorisce l'apprendimento filogenetico

Gli alberi filogenetici sono astratti e difficili da comprendere utilizzando immagini statiche. La Realtà Aumentata trasforma questi diagrammi in strutture interattive che gli studenti possono esplorare, riorganizzare e analizzare nello spazio reale.

3.2 Rendere visibili le relazioni evolutive

L'AR permette agli studenti di:

- visualizzare le relazioni di ramificazione in 3D,
- osservare più chiaramente le somiglianze e le differenze,
- comprendere l'origine comune attraverso il posizionamento spaziale.

Questo supporta una comprensione concettuale più profonda.

3.3 Supporto all'indagine e al pensiero sistemico

Interagendo con i modelli AR, gli studenti verificano le ipotesi ed esplorano gli scenari "E se...". Questo approccio basato sull'indagine rafforza il pensiero sistemico e rispecchia il modo in cui gli scienziati lavorano con le informazioni sull'evoluzione.





3.4 Coinvolgimento e apprendimento inclusivo

L'AR supporta molteplici stili di apprendimento combinando elementi visivi, spaziali e interattivi. Ciò rende i principi filogenetici più accessibili e coinvolgenti per gli studenti più diversi.

Conclusioni

Attraverso la fase “Esplorare”, gli studenti hanno sviluppato una comprensione fondamentale della filogenesi e dell'Albero della vita evolutivo. Nella fase “Eseguire” hanno applicato queste conoscenze analizzando i tratti e costruendo relazioni evolutive. La fase “Potenziare” ha dimostrato come la Realtà Aumentata trasformi i modelli evolutivi astratti in esperienze di apprendimento interattive. Insieme, queste fasi evidenziano come il pensiero bio-ispirato aiuti a spiegare l'organizzazione della vita e incoraggi l'ulteriore esplorazione della scienza evolutiva.





Fase	Descrizione
Esplorare	Ricerca e scoperta: gli studenti esplorano il concetto di Albero della vita evolutivo e di filogenesi esaminando come gli scienziati identificano le relazioni evolutive tra gli organismi. Attraverso letture guidate, esempi visivi e risorse multimediali, gli studenti studiano l'origine comune, i modelli di ramificazione e i tipi di evidenze utilizzate per ricostruire la storia evolutiva.
	Sviluppo dei contenuti: i contenuti sono sviluppati intorno ai concetti chiave della filogenesi, tra cui antenati comuni, tratti omologhi e analoghi e interpretazione degli alberi filogenetici. I materiali didattici sottolineano l'evoluzione come un processo ramificato e basato su evidenze piuttosto che come una progressione lineare, preparando gli studenti all'applicazione pratica nelle fasi successive.
	Analisi dei bisogni: questa fase affronta le difficoltà comuni degli studenti nella comprensione di diagrammi evolutivi astratti, nell'interpretazione delle relazioni di ramificazione e nella distinzione tra somiglianza e parentela. Gli approcci visivi e interattivi sono identificati come necessari per supportare la comprensione, ridurre eventuali fraintendimenti e preparare gli studenti a costruire i propri modelli filogenetici.
Eseguire	Implementazione del programma: l'unità è implementata attraverso lezioni di biologia basate sull'indagine e allineate con i programmi di studio di livello secondario sull'evoluzione, la biodiversità e la classificazione. Gli studenti applicano le conoscenze teoriche analizzando i tratti e le prove evolutive, rafforzando gli obiettivi curricolari relativi al ragionamento scientifico e al pensiero sistemico.
	Esercizi interattivi: gli studenti partecipano ad attività pratiche supportate da AR in cui analizzano individualmente o in collaborazione gli organismi e costruiscono un albero filogenetico condiviso. Utilizzando modelli 3D ed elementi interattivi, gli studenti confrontano i tratti, determinano i punti di ramificazione e giustificano le relazioni evolutive sulla base delle evidenze.
	Raccolta di feedback: il feedback viene raccolto attraverso l'osservazione dell'insegnante, la discussione tra pari e brevi attività di riflessione. Gli studenti ricevono un feedback formativo durante la realizzazione degli alberi filogenetici, consentendo loro di rivedere il proprio ragionamento e migliorare la propria comprensione attraverso il dialogo e l'iterazione.
Potenziare	Integrazione AR: la Realtà Aumentata è integrata per visualizzare gli alberi filogenetici come strutture tridimensionali e interattive. L'AR consente agli studenti di manipolare i rami, esplorare le origini comuni e organizzare spazialmente gli organismi, rendendo tangibili e più facili da comprendere le relazioni evolutive astratte.
	Apprendimento interattivo: attraverso l'interazione con l'AR, gli studenti esplorano, testano e interagiscono attivamente con i modelli filogenetici. Ciò supporta l'apprendimento basato sull'indagine, incoraggia la verifica delle ipotesi e approfondisce la comprensione concettuale consentendo agli studenti di confrontarsi direttamente con i dati e le relazioni evolutive.





Contenuti gamificati:

- **Punti e riconoscimenti:** gli studenti guadagnano punti per la corretta collocazione degli organismi, l'identificazione di tratti comuni e la giustificazione delle relazioni evolutive. Riconoscimenti come “*Esploratore della filogenesi*” o “*Architetto dell'albero della vita*” riconoscono i risultati e i progressi ottenuti.

- **Classifiche** le classifiche di classe (facoltative) mostrano i progressi individuali o di gruppo, incoraggiando una competizione amichevole e un impegno costante senza enfatizzare la classifica rispetto all'apprendimento.

- **Sfide e livelli:** le attività di apprendimento sono strutturate come missioni evolutive, in cui gli studenti avanzano attraverso livelli di complessità crescente, dall'identificazione di tratti semplici alla costruzione di alberi filogenetici completi.

- **Premi per l'esplorazione:** punti cliccabili interattivi AR nascosti, pannelli informativi bonus o punti aggiuntivi premiano gli studenti che esplorano i modelli in modo più approfondito o forniscono spiegazioni ben supportate, favorendo la curiosità e l'approfondimento.

- **Attività collaborative gamificate:** gli studenti lavorano in piccoli gruppi per risolvere sfide come la risoluzione di evidenze contrastanti o il perfezionamento di un albero filogenetico condiviso. La collaborazione supporta la comunicazione, il ragionamento collettivo e la risoluzione condivisa dei problemi.

Valutazione basata su AR: gli studenti sono valutati attraverso attività basati sull'AR che richiedono loro di costruire, interpretare e spiegare alberi filogenetici. La valutazione si concentra sull'accuratezza delle relazioni, sulla qualità del ragionamento basato sull'evidenza e sulla capacità di riflettere sui processi evolutivi. Queste valutazioni supportano sia la valutazione formativa che quella sommativa all'interno di un ambiente di apprendimento interattivo.

Riferimenti

- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2021). *Campbell Biology* (12th ed.). Pearson Education.
- University of California Museum of Paleontology. (n.d.). *Understanding Evolution*. <https://evolution.berkeley.edu>
- Tree of Life Web Project. (n.d.). *The Tree of Life*. <http://tolweb.org>
- National Research Council. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Academies Press.
- OECD. (2017). *Innovative Learning Environments*. OECD Publishing.
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41–49.





- Wang, Y., & Li, G. (2020). Applications of augmented reality in science education: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 23(3), 108–122.
- Sketchfab. *Scientific 3D models for education*. <https://sketchfab.com>
- Deligtex. Gallery. <https://edu.delightex.com/>
- Next Generation Science Standards Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. National Academies Press.
- Building the tree. Understanding Evolution. <https://evolution.berkeley.edu/evolution-101/the-history-of-life-looking-at-the-patterns/building-the-tree/>

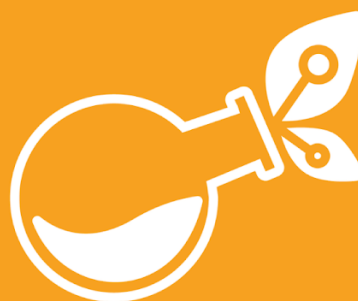
Gli strumenti basati su AI (ChatGPT, Perplexity AI e NotebookLM) sono stati utilizzati per supportare la stesura dei contenuti, la sintesi della ricerca e l'organizzazione del materiale iniziale durante lo sviluppo di questa unità didattica:

- OpenAI. *ChatGPT* (modello linguistico di grandi dimensioni). <https://chat.openai.com>
- *Perplexity AI* [assistente di ricerca e analisi alimentato dall'intelligenza artificiale]. <https://www.perplexity.ai>
- Google *NotebookLM* [strumento di ricerca e presa di appunti alimentato dall'intelligenza artificiale]. <https://notebooklm.google.com>





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU

AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.