



Co-funded by
the European Union

Immagina un futuro con un corpo bionico grazie alla realtà aumentata.



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."





SOMMARIO

• Introduzione.....	2
• Modulo esplora.....	3
• Abilità naturali:	3
• Integrazione della realtà aumentata (AR): potenziamento dell'apprendimento bio-ispirato.....	4
• La biologia come modello: collegare natura e tecnologia attraverso l'integrazione della realtà aumentata.....	4
• Realtà aumentata per comprendere le analogie biologiche e tecnologiche.....	5
• Ispirazione biomimetica per la robotica e l'intelligenza artificiale attraverso la realtà aumentata.....	6
• Materiali biologici per il corpo umano.....	7
• Realtà aumentata (AR) nella scienza dei materiali bioispirati.....	8
• Biomateriali multifunzionali e sostenibili.....	11
• Biosensori e loro applicazioni: una nuova dimensione con la realtà aumentata (AR).....	12
• Sensori bioelettronici: progressi nella diagnostica basata sulla realtà aumentata.....	13
• Realtà aumentata nello sviluppo e nell'addestramento di protesi bioniche.....	14
• Modulo Esegui: Tecnologie di visione bioispirate con realtà aumentata (AR).....	14
• Conclusione.....	18
• Riferimenti bibliografici	19





Argomento generale del percorso di apprendimento	Immagina il futuro con un corpo bionico
Nome specifico dell'unità didattica	Bioispirazione, innovazione e corpo umano
Età degli utenti target	14-18 anni
Requisiti per lo studente	Conoscenza di base di matematica, biologia, fisica e chimica. Accesso a dispositivi compatibili con la realtà aumentata (smartphone, tablet o occhiali per la realtà aumentata)
Descrizione dell'unità didattica	Questa unità introduce insegnanti e studenti alla bioispirazione attraverso un processo di apprendimento multidisciplinare, integrando la realtà aumentata (AR) per un'esperienza più coinvolgente e interattiva. • Gli studenti esploreranno come la natura ispiri soluzioni in biomedicina, robotica e protesi, utilizzando simulazioni in realtà aumentata per visualizzare le tecnologie bioispirate nelle applicazioni sul corpo umano. • Gli strumenti di realtà aumentata consentiranno agli utenti di interagire con modelli 3D di arti bionici, organi artificiali e materiali biomimetici. • Attraverso attività basate sulla realtà aumentata, gli studenti visualizzeranno e manipoleranno strutture molecolari, simuleranno la biomeccanica e osserveranno l'influenza della natura sulle innovazioni umane.





Oggetto: Materie coinvolte	Fisica, chimica, biologia, matematica
Parole chiave	Biologia, bioispirazione, biomimetica, biodesign, corpo umano, realtà aumentata
Qualifiche, competenze e conoscenze chiave che si possono acquisire	• Comprendere il ruolo della natura nell'innovazione scientifica • Esplorare soluzioni biomimetiche per le sfide del corpo umano • Esperienza pratica con applicazioni STEM basate sulla realtà aumentata • Sviluppare capacità di risoluzione dei problemi progettando soluzioni ispirate alla natura. • Coinvolgersi nell'apprendimento interdisciplinare attraverso contenuti potenziati dalla realtà aumentata.
Risorse e sussidi didattici utilizzati	• Applicazioni di realtà aumentata per l'apprendimento interattivo • Simulazioni 3D di progetti bioispirati (ad esempio, arti bionici, pelle sintetica) • Articoli scientifici, libri e piattaforme educative di realtà aumentata basate sul web • Video, animazioni e casi di studio virtuali • Risultati di webinar scientifici e interviste con esperti
Criteri di valutazione e valutazione	• Acquisizione di conoscenze e competenze valutate tramite quiz basati sulla realtà aumentata, attività interattive di risoluzione dei problemi e apprendimento basato su progetti. • Presentazioni degli studenti che mostrano i loro progetti ispirati alla natura e potenziati dalla realtà aumentata. • Valutazione del coinvolgimento e della comprensione tramite sistemi di feedback in tempo reale basati sulla realtà aumentata

Introduzione

Nel corso di milioni di anni, l'evoluzione ha plasmato la natura trasformandola in una fonte ineguagliabile di soluzioni altamente efficienti. Studiando e imitando i sistemi biologici, gli esseri umani hanno sviluppato tecnologie rivoluzionarie che migliorano le nostre vite. Dalla robotica alla medicina, l'innovazione bio-ispirata continua a spingere i confini del possibile.





Con l'avanzare della tecnologia, aumenta anche la nostra capacità di replicare e adattare i modelli della natura. Tuttavia, l'imitazione diretta non è sempre l'approccio più efficace. Ad esempio, sebbene gli uccelli abbiano ispirato il volo umano, gli aerei moderni non sbattono le ali, bensì sfruttano i principi dell'aerodinamica e dell'ingegneria per percorrere distanze maggiori e trasportare carichi più pesanti. Allo stesso modo, la locomozione su ruote ha rivoluzionato i trasporti, ma si scontra con le difficoltà di navigazione su terreni complessi, dove i robot a zampe, ispirati agli animali, potrebbero offrire soluzioni migliori.

Oggi, ingegneri e scienziati stanno progettando robot bioispirati che imitano la capacità di adattamento di gechi, polpi e libellule, robot in grado di aderire alle pareti, cambiare forma ed elaborare in modo efficiente ambienti 3D in tempo reale. Queste innovazioni offrono potenziali applicazioni che spaziano dall'esplorazione spaziale ai progressi in campo medico.

Grazie all'integrazione della Realtà Aumentata (AR), ora possiamo visualizzare, interagire e comprendere queste tecnologie bioispirate in modo più coinvolgente. L'AR permette agli studenti di esplorare modelli 3D di arti bionici, analizzare il movimento di robot bioispirati e osservare i meccanismi dei progetti più efficienti della natura, dando vita alla biomimetica come mai prima d'ora (Zhang et al., 2024).

Sebbene molti aspetti della biologia rimangano al di là della nostra comprensione, il campo della biomimetica continua ad evolversi, colmando il divario tra l'intelligenza naturale e l'innovazione umana [Bar-Cohen e Breazeal, 2003]. Attraverso questa esperienza di apprendimento potenziata dalla realtà aumentata, gli studenti potranno entrare in contatto diretto con la biomimetica, acquisendo una maggiore consapevolezza della fusione tra biologia, ingegneria e tecnologia nel plasmare il futuro.

Modulo Esplora:

Abilità legate alla natura: bioispirazione nella scienza e nella tecnologia

Il termine biomimetica, coniato da Otto H. Schmitt (Schmitt, 1969), si riferisce allo studio e all'imitazione dei metodi, dei meccanismi e dei processi della natura. Le capacità della natura spesso superano la tecnologia umana, offrendo ispirazione per soluzioni più efficienti, sostenibili e adattive (Bar-Cohen, 2005; Vincent, 2001). Gli organismi viventi non funzionano come progetti esatti, ma come sistemi adattivi, capaci di autoriparazione, evoluzione e ottimizzazione nel tempo. A differenza dei prodotti creati dall'uomo, che richiedono una duplicazione precisa, le strutture biologiche mantengono efficienza e funzionalità pur conservando variazioni individuali uniche all'interno di una specie. Questa intrinseca adattabilità fornisce un quadro di riferimento prezioso per i progressi tecnologici.

Uno degli aspetti più sorprendenti dei sistemi biologici è la loro architettura cellulare, che consente tolleranza ai guasti, autoriparazione e crescita. Se riuscissimo a sviluppare strutture biomimetiche composte da materiali autorinnovanti, potremmo progettare dispositivi adattivi e resilienti: un approccio che tradizionalmente sembrava fantascienza, ma che ora sta diventando sempre più realizzabile grazie alle tecnologie emergenti.





Nel corso dell'evoluzione, la natura ha sperimentato innumerevoli soluzioni alle sfide ambientali, perfezionando quelle di maggior successo. Questo processo naturale di tentativi ed errori ha portato a innovazioni in fisica, chimica, meccanica, scienza dei materiali, mobilità, sistemi di controllo e adattamento sensoriale. I principi di scalatura della natura, dalle nano e micro alle macro e mega strutture, dimostrano efficienza a tutti i livelli. La codifica genetica e i meccanismi di autoreplicazione hanno permesso agli organismi biologici di archiviare e trasferire i loro progressi evolutivi (Bar-Cohen, 2006).

I materiali biologici spesso superano i materiali artificiali in termini di resistenza, flessibilità ed efficienza. Ad esempio, seta, cuoio e lana (Carlson et al., 2005) possiedono proprietà superiori a molte alternative sintetiche. La struttura a nido d'ape, creata naturalmente dalle api, è un esempio del genio ingegneristico della natura: è leggera ma incredibilmente resistente, e ispira applicazioni in campo aerospaziale, architettonico e nella scienza dei materiali. Sebbene questi esempi evidenzino l'efficienza biologica, la sfida rimane quella di tradurre efficacemente questi progetti in tecnologie umane (Gordon, 1976).

Integrazione della realtà aumentata (AR): potenziare l'apprendimento bio-ispirato

L'integrazione della Realtà Aumentata (AR) offre un approccio trasformativo alla comprensione dell'efficienza e dell'adattamento biologico. Utilizzando simulazioni interattive in AR, studenti e ricercatori possono:

- Visualizzare e manipolare modelli 3D di strutture biologiche, come le strutture a nido d'ape, le fibre di seta di ragno e le impalcature simili alle ossa, consentendo analisi comparative con materiali sintetici.
- Interagire con materiali autoriparanti e adattivi in realtà aumentata per esplorare come i processi a livello cellulare potrebbero essere tradotti in ingegneria biomimetica.
- Sperimentare i processi evolutivi attraverso simulazioni basate sulla realtà aumentata, che dimostrano le strategie di risoluzione dei problemi della natura su diverse scale temporali.
- Sovrapporre annotazioni digitali a oggetti del mondo reale, confrontando modelli biologici con strutture artificiali in esperimenti in tempo reale.
- Utilizzare applicazioni di realtà aumentata potenziate dall'IA per simulare proprietà adattive dei materiali, dimostrando come i principi biomimetici possano migliorare la progettazione strutturale in architettura, robotica e aerospaziale (Bacca et al., 2014, Billingham et al., 2015).

Combinando la bioispirazione con la realtà aumentata, gli studenti possono superare l'apprendimento passivo e interagire attivamente con modelli dinamici e interattivi, colmando il divario tra l'intelligenza della natura e l'innovazione umana. Questo approccio digitale pratico potenzia l'educazione STEM e promuove la risoluzione creativa dei problemi, incoraggiando la prossima generazione di ingegneri e scienziati a sfruttare le strategie della natura per il progresso tecnologico.

La biologia come modello: un ponte tra natura e tecnologia attraverso l'integrazione della realtà aumentata.

La natura ha sviluppato un'enorme riserva di innovazioni che hanno superato con successo prove di praticità e durata in un ambiente in continua evoluzione. Queste soluzioni, perfezionate attraverso milioni di anni di evoluzione, rappresentano una preziosa fonte di ispirazione per i





progressi tecnologici. Per sfruttare appieno il potenziale della natura, è fondamentale instaurare solide collaborazioni interdisciplinari tra biologi e ingegneri. Questo approccio interdisciplinare facilita la trasformazione delle capacità biologiche in soluzioni tecniche pratiche, aprendo la strada a strumenti, meccanismi e sistemi bioispirati (Bar-Cohen, 2006).

Per analizzare la natura da una prospettiva tecnologica, le funzioni biologiche devono essere categorizzate in applicazioni tecnologiche. La tabella seguente fornisce esempi di sistemi biologici e dei loro analoghi tecnologici.

Biologia	Tecnologia	Bioingegneria, biomimetica, bionica e biomeccanica
Corpo	Sistema	Si stanno sviluppando sistemi con materiali e strutture multifunzionali che imitano le capacità dei sistemi biologici.
Scheletro e ossa	Struttura e montanti di supporto	Le strutture di supporto fanno parte di ogni sistema artificiale.
Cervello	Computer	Progressi nello sviluppo di computer che imitano il funzionamento del cervello umano
Servizi segreti	Intelligenza artificiale	Molti aspetti dell'intelligenza artificiale si sono ispirati alla biologia, tra cui la realtà aumentata, i sistemi autonomi, l'intelligenza artificiale, i sistemi esperti, la logica fuzzy, ecc.
Sensi	Sensori	La visione artificiale, il radar e altri rilevatori di prossimità hanno tutti analogie biologiche dirette. Tuttavia, le capacità dei sensori artificiali non sono neanche lontanamente paragonabili a quelle dei biosensori.
Muscoli	Attuatori	I polimeri elettroattivi sono attuatori funzionalmente simili ai muscoli naturali. L'utilizzo di materiali biologici per generare energia offrirà enormi vantaggi ai sistemi meccanici.
Elettrochimica	Batterie ricaricabili	
Produzione di energia		

Table 1: Characteristic similarities between biology and technical systems, source: Bar-Cohen, 2006

Realtà aumentata per la comprensione delle analogie biologiche e tecnologiche

I metodi di apprendimento tradizionali spesso faticano a illustrare efficacemente le complesse relazioni tra biologia e ingegneria. La realtà aumentata (AR) colma questa lacuna consentendo agli studenti di:

- Sovrapporre modelli 3D interattivi a oggetti del mondo reale, consentendo confronti in tempo reale tra strutture biologiche e sintetiche.





- Simulare modelli di apprendimento dell'IA ispirati all'intelligenza biologica, aiutando gli studenti a visualizzare le reti neurali e le funzioni cognitive (Billinghurst et al., 2015).
- Utilizzare strumenti di dissezione potenziati dalla realtà aumentata per esplorare i meccanismi sensoriali biologici e le loro controparti ingegnerizzate, come adesivi ispirati ai gechi e sensori visivi bioispirati.

Ispirazione biomimetica per la robotica e l'intelligenza artificiale attraverso la realtà aumentata

Molte delle capacità della natura sono modelli per la robotica avanzata, la scienza dei materiali e l'informatica. Ad esempio:

- Il cranio del picchio, in grado di assorbire gli urti, ha ispirato la progettazione di dispositivi di protezione e sistemi di smorzamento.
- La forza di adesione di van der Waals del geco ha permesso la creazione di adesivi a secco e robot rampicanti.
- La locomozione bioispirata ha migliorato l'agilità dei robot aerei, sottomarini e in grado di muoversi su terreni accidentati.
- Le strategie di movimento efficienti dal punto di vista energetico presenti in natura, come la capacità del camaleonte di rimodellare il proprio corpo o la flessibilità dei tessuti molli del polpo, influenzano le strutture robotiche che cambiano forma (Bar-Cohen, 2006).

Integrazione della realtà aumentata nella robotica biomimetica e nell'intelligenza artificiale

Sfruttando la realtà aumentata, studenti e ricercatori possono:

- Mettere alla prova i principi del movimento biomimetico in simulazioni basate sulla realtà aumentata, visualizzando come robot simili a gechi, polpi dal corpo molle o droni ispirati alle libellule si muovano e si adattino a diversi ambienti.
- Utilizzare dimostrazioni di biomeccanica basate sulla realtà aumentata per analizzare come gli arti robotici guidati dall'intelligenza artificiale imitano le strutture muscolari biologiche.
- Addestrare applicazioni di realtà aumentata basate sull'IA a rispondere a stimoli del mondo reale, replicando i processi decisionali biologici nei sistemi robotici (Dünser et al., 2012).

Dispositivi miniaturizzati bioispirati: la realtà aumentata per la progettazione delle tecnologie del futuro.

Una delle sfide più significative nella biomimetica è la progettazione di dispositivi bioispirati in miniatura capaci di:

Volare con estrema agilità, come una libellula

Aggrapparsi su pareti lisce e ruvide, come un geco

Adattarsi alle strutture ambientali, come un camaleonte

Elaborare immagini 3D complesse in tempo reale, simili alla visione umana.

Recuperare mobilità energetica, miglioramento dell'efficienza energetica

Autoreplicare coltivando utilizzando risorse ambientali

Generare e immagazzinare energia chimica, rispecchiando i processi biologici





Progettazione e test di dispositivi miniaturizzati bioispirati mediante realtà aumentata.

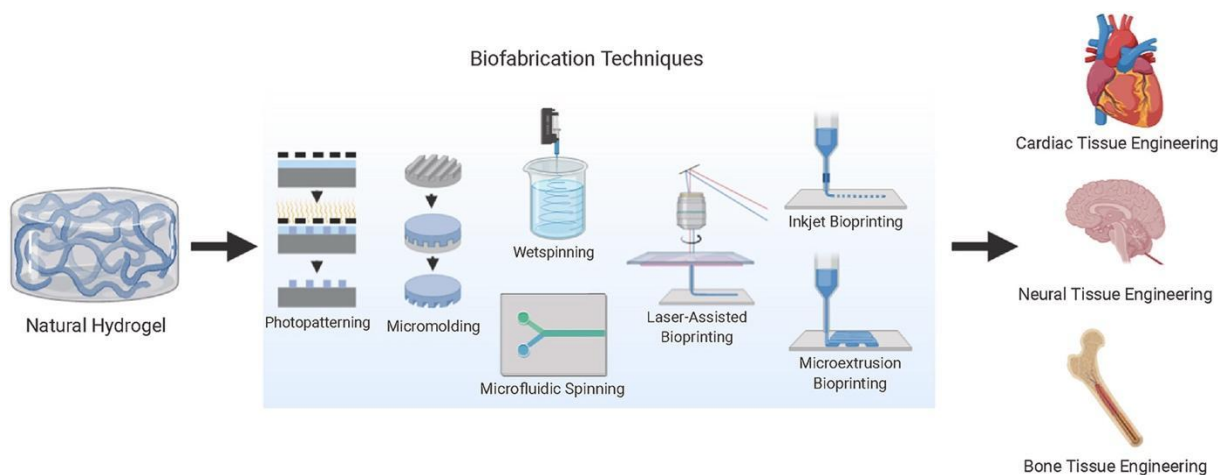
- La prototipazione in realtà aumentata consente l'interazione in tempo reale con modelli digitali di robot bioispirati, aiutando gli ingegneri a perfezionare i progetti prima della realizzazione fisica. produzione.
- I test sui sensori basati sulla realtà aumentata consentono agli studenti di analizzare virtualmente come i sensori biologici, come i baffi o il sonar, potrebbero migliorare la percezione robotica (Bacca et al., 2014).
- I biolaboratori di realtà virtuale che utilizzano la realtà aumentata (AR) consentono agli studenti di simulare soluzioni di accumulo di energia bioispirate, come batterie basate sulla fotosintesi o sistemi di alimentazione biologicamente efficienti.

Materiali biologici per il corpo umano:

La natura offre una vasta gamma di materiali con diverse funzioni, rappresentando una preziosa fonte di ispirazione per scienziati e ingegneri dei materiali. I materiali biologici costituiscono la base strutturale di tutti gli organismi viventi, consentendo alle cellule di funzionare, agli occhi di elaborare la luce, alle piante di rimanere erette e agli animali di muoversi in modo efficiente. Questi materiali naturali hanno ispirato l'uomo a sviluppare alternative sintetiche che migliorano la funzionalità quotidiana e i progressi tecnologici.

Dall'architettura all'ingegneria aerospaziale, le strutture bioispirate hanno rivoluzionato i processi di progettazione. Esempi includono strutture a nido d'ape leggere ma resistenti, materiali autoriparanti e compositi biodegradabili (Kemp, 2004; Nachtigall, 1998; Jeronimidis & Atkins, 1995). Pur essendo composti da un insieme limitato di componenti organici, i materiali naturali presentano proprietà notevoli come flessibilità, durabilità e adattabilità.

Al contrario, i materiali creati dall'uomo si sono storicamente basati su uno spettro più ampio di elementi chimici, portando allo sviluppo di leghe, polimeri e compositi. Tuttavia, la maggior parte dei materiali industriali richiede processi ad alta temperatura, una limitazione assente nei





materiali biologici. La natura, invece, costruisce in modo efficiente materiali complessi in condizioni ambientali attraverso una strutturazione gerarchica e la programmazione genetica (Lakes, 1993; Tirrell, 1994; Currey, 2005).

Realtà aumentata (AR) nella scienza dei materiali bioispirati

La complessità delle strutture dei materiali biologici spesso rende difficile studiarle con i metodi tradizionali. La realtà aumentata (AR) offre un approccio trasformativo per visualizzare, analizzare e sperimentare con i materiali biologici attraverso:

Creazione di modelli 3D interattivi di strutture biologiche come fibre di seta di ragno, strutture a nido d'ape e impalcature di tessuti molli.

La disponibilità di simulazioni dei materiali in tempo reale che consente agli utenti di modificare parametri come resistenza, elasticità e biodegradabilità per studiarne gli effetti.

La sovrapposizione di immagini microscopiche potenziate dalla realtà aumentata che aiuta gli studenti a esplorare le strutture biologiche su scala nano e micro (Bacca et al., 2014).

Lo sviluppo di applicazioni di test sui materiali basate sulla realtà aumentata per simulare lo stress meccanico, la durabilità e le proprietà di auto-riparazione dei materiali bioispirati (Billinghurst et al., 2015).

Il corpo umano è un laboratorio chimico che elabora sostanze chimiche naturali e le converte in energia, materiali da costruzione, scarti e varie strutture multifunzionali (Mann 1995). Gli esseri umani hanno riconosciuto i materiali naturali come fonti di cibo, abbigliamento, comfort, ecc., tra cui, per citarne alcuni, pelliccia, cuoio, miele, cera, latte e seta (Carlson et al. 2005). Sebbene alcune delle creature e degli insetti che producono questi materiali siano relativamente piccoli, possono produrne quantità sufficienti per il consumo umano nella produzione di massa (ad esempio, miele, seta e lana). L'uso di materiali naturali risale a migliaia di anni fa. La seta, prodotta per proteggere il bozzolo del baco da seta, possiede eccellenti proprietà come bellezza, resistenza e durata. Questi vantaggi sono stati riconosciuti dagli esseri umani e la necessità di produrli in qualsiasi quantità desiderata ha portato alla produzione di versioni artificiali e imitazioni. Le affascinanti capacità dei materiali naturali includono l'autoriparazione, l'autoreplicazione, la riconfigurabilità, l'equilibrio chimico e la multifunzionalità. Molti materiali artificiali vengono lavorati mediante riscaldamento e pressione, in contrasto con la natura, che opera sempre in condizioni ambientali normali.

La produzione di materiali biofabbricati genera un minimo di rifiuti e inquinamento, risultando principalmente biodegradabili e riciclabili dalla natura. Imparando a processare tali materiali, possiamo ampliare le nostre opzioni e migliorare la nostra capacità di produrre materiali riciclabili che proteggano meglio l'ambiente (Bar-Cohen, 2006).



La bioispirazione conduce direttamente a un'area scientifica che sta acquisendo sempre maggiore importanza e interesse: la scienza, e in particolare la scienza dei materiali, della materia soffice (Hamley IW, 2013). La scienza dei materiali si è sviluppata attorno alle strutture "dure" (durevoli, fisse nella forma e nella funzione, resistenti ai danni). La maggior parte dei sistemi biologici (persino le ossa, in una certa misura) sono "morbidi", ovvero elastici e facilmente deformabili. Questo tipo di materia è molto meno esplorato rispetto alla materia "dura" e, pertanto, offre opportunità per scoperte e invenzioni relativamente inesplorate (in ambito scientifico) e, allo stesso tempo, indipendenti dalla biologia e rilevanti per essa. Comprendere come gli organismi utilizzano la materia soffice, come muscoli, tendini, tessuti connettivi, membrane e nervi, offre un'enorme gamma di spunti per nuove scienze della materia soffice (Whitesides, 2015).

Ecco alcuni esempi di materiali biologici e delle loro specifiche:

- Fibre resistenti della ragnatela

Il ragno è uno dei migliori "ingegneri della produzione" in biologia e possiede un'incredibile capacità di produrre materiali. Tesse la sua tela con una fibra continua, robusta, insolubile e leggera, resistente alla pioggia, al vento e alla luce solare. È composta da fibre sottilissime, quasi invisibili, che svolgono la loro funzione di trappola per insetti. Il ragno ha a disposizione una quantità sufficiente di materia prima per tessere la sua tela su lunghe distanze intorno al corpo. Si possono spesso osservare tele di varie forme (incluse quelle piatte) tessute tra alberi distanti, e la loro estensione è sorprendentemente grande rispetto alle dimensioni del ragno. I recenti progressi nel campo delle nanotecnologie promettono la produzione di fibre sottili e continue con un'enorme resistenza. A tal fine, è stato sviluppato un processo di elettrofilatura (Dzenis 2004) che consente la produzione di fibre con un diametro di 2 μm a partire da soluzioni o fusi polimerici in campi elettrici intensi. Le nanofibre risultanti si sono dimostrate relativamente uniformi e non hanno richiesto una pulizia approfondita.

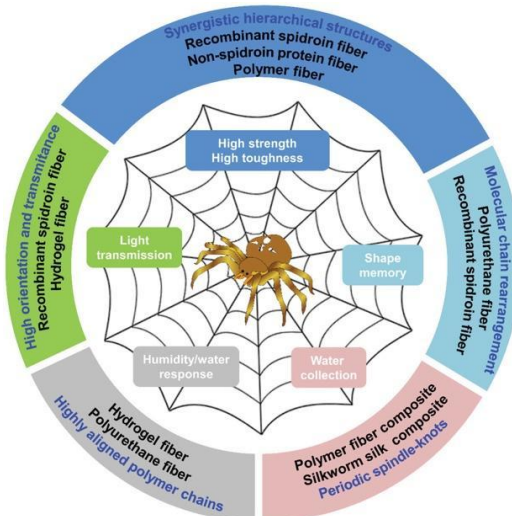


Figure 3: Spider's web, source: Jiatian & all, 2021



Applicazioni della realtà aumentata nella ricerca sulla seta di ragno

Le simulazioni 3D in realtà aumentata delle strutture della seta di ragno possono dimostrare le interazioni molecolari responsabili della sua resistenza e flessibilità. Le simulazioni di prove di trazione basate sulla realtà aumentata consentono agli studenti di sperimentare diverse modifiche dei biopolimeri per migliorare la produzione di seta artificiale.

- L'ape mellifera è produttrice di diversi materiali

L'ape produce il miele dal nettare che raccoglie dai fiori e costruisce un favo di cera. Un tempo le candele erano fatte di cera d'api, ma con l'avvento dell'industria petrolifera, ora sono prodotte principalmente con cera di cherosene (Bar-Cohen, 2006).

Applicazioni della realtà aumentata nell'ingegneria a nido d'ape

Gli strumenti di test in realtà aumentata virtuale consentono agli studenti di modificare le dimensioni delle celle a nido d'ape e di osservare in tempo reale i cambiamenti nella capacità portante. La modellazione comparativa in realtà aumentata può sovrapporre strutture a nido d'ape naturali a materiali reticolari ingegnerizzati, fornendo un'analisi comparativa dell'efficienza (Dünser et al., 2012).

- Materiali multifunzionali

L'utilizzo di materiali che svolgono molteplici funzioni consente alla natura di dotare i suoi esseri viventi di un peso corporeo inferiore. Molti ricercatori e ingegneri stanno esplorando i concetti di materiali e strutture multifunzionali (Nemat-Nasser et al. 2005). Si stanno compiendo sforzi crescenti per emulare questa proprietà utilizzando diverse discipline come la scienza dei materiali, la meccanica applicata, l'elettronica, la fotonica e la produzione.

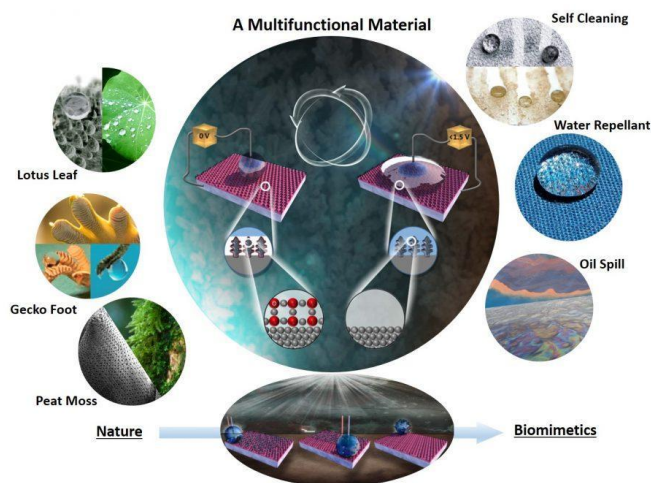


Figure 4: Multifunctional material Source: Zahiri &all, 2017

I materiali biologici morbidi, come muscoli, tessuti connettivi e membrane cellulari, offrono ispirazione per la robotica morbida bioingegnerizzata e per i materiali responsivi. Mentre la scienza dei materiali tradizionale si è concentrata sulle strutture rigide, il campo emergente della





scienza della materia soffice consente lo sviluppo di materiali altamente adattabili, elastici e multifunzionali (Hamley, 2013).

Realtà aumentata per l'esplorazione della materia soffice

La progettazione di biomateriali potenziata dalla realtà aumentata consente agli studenti di visualizzare e interagire con materiali morbidi e deformabili, simulandone il comportamento meccanico e chimico.

I test di robotica bioispirata in realtà aumentata possono modellare strutture flessibili simili a polpi che cambiano forma in risposta a stimoli ambientali.

Biomateriali multifunzionali e sostenibili

Una delle caratteristiche più straordinarie della natura è la sua capacità di sviluppare materiali multifunzionali che bilanciano prestazioni, efficienza energetica e sostenibilità. La moderna scienza dei materiali sta ora integrando la multifunzionalità bioispirata in applicazioni ingegneristiche, sanitarie e nanotecnologiche (Nemat-Nasser et al., 2005).

Realtà aumentata per l'innovazione sostenibile dei biomateriali

Gli strumenti di selezione di materiali ecologici basati sulla realtà aumentata consentono agli utenti di confrontare l'impatto ambientale dei materiali di origine biologica rispetto a quelli sintetici.

I simulatori di decomposizione in realtà aumentata virtuale possono dimostrare come i materiali biodegradabili si decompongono in diverse condizioni ambientali.

Lo studio dei materiali bioispirati ha apportato significativi progressi in ingegneria, medicina e sostenibilità. Tuttavia, i metodi tradizionali di analisi dei materiali spesso faticano a trasmettere la complessità delle strutture biologiche, limitandone l'accessibilità per ricercatori e studenti. La realtà aumentata (AR) si sta affermando come uno strumento rivoluzionario che colma questa lacuna, consentendo l'esplorazione interattiva, la sperimentazione virtuale e la simulazione digitale dei materiali bioispirati.

Recenti ricerche evidenziano il ruolo trasformativo della realtà aumentata (AR) nell'educazione alla biologia e alla scienza dei materiali. Una revisione sistematica sulla realtà aumentata nell'educazione biologica ha dimostrato come gli ambienti di apprendimento interattivi migliorino la comprensione da parte degli studenti di strutture biologiche complesse e materiali biomimetici. Allo stesso modo, uno studio del 2024 sui modelli AR bio-ispirati ha sviluppato un gemello digitale di *C. elegans*, consentendo agli utenti di visualizzare e manipolare l'attività neuronale e muscolare, illustrando come la realtà aumentata possa facilitare la sperimentazione biologica in tempo reale. (BioRxiv, 2024).

Inoltre, lo sviluppo di applicazioni basate sulla realtà aumentata nelle scienze biomediche ha fornito strumenti interattivi per l'apprendimento di biomateriali, nanotecnologie e ingegneria tissutale. Queste applicazioni migliorano il coinvolgimento e la comprensione, dimostrando il potenziale della realtà aumentata per simulare processi biomimetici del mondo reale. (PMC, 2023).

Grazie alla realtà aumentata (AR), i futuri scienziati e ingegneri acquisiranno una comprensione più approfondita dei materiali bioispirati, il che porterà a innovazioni più efficienti, sostenibili e performanti. Offrendo un'interazione in tempo reale con strutture biomimetiche, la realtà aumentata promuove una nuova era dell'apprendimento digitale, migliorando in definitiva la scoperta e l'applicazione scientifica in molteplici campi.





Biosensori e loro applicazioni: una nuova dimensione con la realtà aumentata (AR)

Comprendere i biosensori e il loro ruolo nella tecnologia moderna

I sistemi sensoriali biologici sono eccezionalmente sensibili e funzionano a livello molecolare e quantistico per rilevare i cambiamenti ambientali. Questi meccanismi altamente evoluti sono alla base dei moderni biosensori, che imitano i processi biologici per monitorare, analizzare e rispondere agli stimoli esterni. I biosensori hanno rivoluzionato diversi settori, dalla sanità al monitoraggio ambientale, dalla sicurezza alla sicurezza alimentare. Nella nostra vita quotidiana, i sensori ispirati ai principi biologici sono onnipresenti: regolano la temperatura negli edifici, tracciano i movimenti nei sistemi di sicurezza, controllano i distributori senza contatto e monitorano i parametri vitali. Questi progressi hanno portato a continui miglioramenti in termini di sensibilità, efficienza e miniaturizzazione, consentendo ai biosensori di rilevare anche i più piccoli cambiamenti molecolari nell'ambiente circostante.

Tuttavia, mentre i biosensori continuano a progredire, le metodologie tradizionali di istruzione e ricerca spesso faticano a dimostrarne efficacemente la complessità. L'integrazione della realtà aumentata (AR) nella tecnologia dei biosensori rappresenta un approccio innovativo, che consente la visualizzazione e la simulazione interattive, migliorando sia l'apprendimento che l'applicazione nel mondo reale (Venkatesen et al., 2021).

La realtà aumentata (AR) come strumento per esplorare la tecnologia dei biosensori

La natura astratta dei meccanismi dei biosensori rende difficile studiarli utilizzando diagrammi bidimensionali statici o lezioni tradizionali. La realtà aumentata (AR) affronta questa sfida fornendo una visualizzazione immersiva, interattiva e in tempo reale delle funzioni dei biosensori.

Ad esempio, con la realtà aumentata gli utenti possono:

- Esplora modelli olografici 3D di biosensori, che consentono loro di interagire con le strutture dei sensori a livello molecolare, come le interazioni proteina-ligando nei dispositivi bioelettronici.
- Simula il processo di rilevamento dei biosensori, consentendo agli utenti di inserire diverse sostanze e osservare in tempo reale le risposte virtuali a stimoli chimici e biologici.
- Sovrapponendo la realtà aumentata a dati diagnostici reali, i professionisti del settore medico possono visualizzare come i biosensori analizzano i livelli di glucosio, rilevano le infezioni o monitorano la salute cardiovascolare.

Questo approccio interattivo migliora la comprensione concettuale e accresce la capacità di innovare e applicare le tecnologie dei biosensori in contesti reali.

Sensori bioelettronici: progressi nella diagnostica basata sulla realtà aumentata

Di recente, i biosensori si sono evoluti in dispositivi elettronici che imitano i sistemi sensoriali umani. Alcuni degli esempi più notevoli includono nasi e lingue elettroniche, che sono stati adattati con successo per applicazioni industriali e biomediche.

- I nasi elettronici (E-nose) replicano i recettori olfattivi umani, consentendo loro di rilevare e classificare odori, gas e composti volatili. Questi biosensori sono utilizzati nel monitoraggio della qualità dell'aria, nella sicurezza alimentare e nella diagnosi di malattie.





- Le lingue elettroniche (e-tongue) funzionano in modo simile, analizzando la composizione chimica dei liquidi, il che le rende utili per i test sui farmaci, il monitoraggio ambientale e il controllo della qualità delle bevande.

Il ruolo della realtà aumentata nel potenziamento della ricerca sui sensori bioelettronici

Grazie alla realtà aumentata, ricercatori e studenti possono simulare il processo di analisi chimica di nasi e lingue elettroniche, consentendo loro di:

- Visualizza le interazioni molecolari tra biosensori e composti chimici, aiutando gli utenti a comprendere come i sensori distinguono tra diverse sostanze.
- Interagisci con ambienti di realtà aumentata interattivi, dove la sovrapposizione di dati in tempo reale mostra come i biosensori analizzano i campioni d'aria per individuare gli inquinanti o rilevano il deterioramento dei prodotti alimentari.
-

Questa esperienza pratica favorisce una comprensione più approfondita delle capacità dei biosensori, consentendo a studenti e ricercatori di sviluppare nuove applicazioni per la tecnologia bioelettronica.

Polimeri intelligenti nell'ingegneria biomedica: realtà aumentata per la simulazione dei materiali

I biomateriali polimerici sono diventati essenziali negli impianti medici, nella medicina rigenerativa e nella somministrazione di farmaci. I polimeri intelligenti, come i biomateriali a base di citrato, sono progettati per biodegradarsi naturalmente all'interno del corpo, il che li rende ideali per applicazioni quali impianti temporanei e guarigione delle ferite (Tang et al., 2015).

- Applicazioni della realtà aumentata nella ricerca sui polimeri intelligenti

La tecnologia AR è stata utilizzata per migliorare la visualizzazione e la manipolazione di strutture molecolari complesse, aspetto cruciale nella ricerca sui polimeri. Uno studio pubblicato sul Journal of Chemical Information and Modeling illustra come l'AR consenta agli utenti di rappresentare e interagire con strutture chimiche tridimensionali (3D), facilitando una comprensione più approfondita delle configurazioni e dei comportamenti molecolari. Questa capacità permette agli scienziati di regolare proprietà come l'elasticità, i tassi di degradazione e la bioattività in esperimenti virtuali in tempo reale, accelerando così lo sviluppo dei materiali e riducendo la dipendenza dai metodi di laboratorio tradizionali (Fombona-Pascual et al., 2022).

Inoltre, una ricerca pubblicata sul Journal of Chemical Education illustra un flusso di lavoro per la generazione di modelli 3D di polimeri utilizzando la dinamica molecolare e il software Blender. Questi modelli possono essere ospitati su piattaforme come p3d.in, dove sono accessibili come rappresentazioni in realtà aumentata (AR). Tali strumenti consentono ai ricercatori di sovrapporre modelli di integrazione polimerica basati sulla realtà aumentata, permettendo di testare le interazioni dei biomateriali con i tessuti viventi prima dell'impianto (Roshandel et al., 2023).





Realtà aumentata nello sviluppo e nella formazione sulle protesi bioniche

La realtà aumentata (AR) si è dimostrata molto promettente nello sviluppo e nell'addestramento all'uso di protesi bioniche. Uno studio disponibile su ResearchGate presenta ARM Trainer, un sistema basato sulla realtà aumentata progettato per addestrare gli amputati all'utilizzo di protesi mioelettriche. Questo sistema offre agli utenti un metodo naturale e intuitivo per sviluppare il controllo muscolare, fornendo feedback aptico in tempo reale e simulazioni immersive. Tali ambienti di allenamento aiutano gli utenti ad adattarsi alla forza di presa, alla destrezza e ai tempi di reazione, migliorando la velocità di adattamento e l'esperienza d'uso.

Inoltre, una ricerca pubblicata nella biblioteca digitale IEEE Xplore discute lo sviluppo di uno strumento di realtà aumentata (AR) a supporto dell'insegnamento della chimica, che, pur essendo focalizzato sulla didattica chimica, sottolinea la più ampia applicabilità dell'AR nel migliorare la comprensione di strutture e sistemi complessi. Questo strumento consente la visualizzazione di strutture molecolari in 3D, fornendo un'esperienza di apprendimento interattiva che può essere tradotta nell'addestramento protesico simulando l'interazione dei componenti protesici a livello molecolare (Maier e Klinker, 2013). Nel loro insieme, questi studi dimostrano l'efficacia della realtà aumentata nel fornire esperienze interattive, in tempo reale e immersive che migliorano sia la brillante ricerca sui polimeri sia la formazione sulle protesi bioniche.

Modulo Esegui: Tecnologie di visione bioispirate con realtà aumentata (AR)

Panoptes e l'occhio bionico: un nuovo approccio all'apprendimento con la realtà aumentata

La vista è la principale modalità sensoriale per molti organismi e i sistemi visivi biologici hanno a lungo ispirato innovazioni ingegneristiche. La comprensione di come la vista viene elaborata nel sistema nervoso dei mammiferi ha portato a progressi rivoluzionari nella tecnologia degli occhi bionici e nei sistemi di visione robotica.

Il nostro nuovo approccio, la Realtà Aumentata (AR), migliora questa esperienza di apprendimento fornendo visualizzazioni interattive in 3D di sistemi visivi biologici e artificiali. La AR consente agli studenti di analizzare come le informazioni visive vengono catturate, elaborate e interpretate nei sistemi naturali e ingegnerizzati, favorendo una comprensione più approfondita e pratica del design bioispirato (Venkatesen et al., 2021).

Sperimentazione nella percezione visiva potenziata dalla realtà aumentata

In questa attività, gli studenti partecipano a un esperimento interattivo con un modello per mappare la risposta del campo visivo di un occhio robotico Panoptes. Ispirato ad Argo Panoptes, il gigante guardiano onniveggente con cento occhi della mitologia greca, questo sistema è una piattaforma bioispirata per lo studio della visione robotica e delle protesi retiniche. Grazie alle simulazioni potenziate dalla realtà aumentata, gli studenti possono:

- Interagire con modelli 3D del sistema visivo umano, ripercorrendo il modo in cui la luce viene catturata, trasmessa e interpretata nella corteccia visiva primaria.





- Simulare malattie oculari come la retinite pigmentosa e la degenerazione maculare per comprendere come la compromissione della vista influisca sulla percezione.
- Sovrapporre visualizzazioni in realtà aumentata in tempo reale al sistema Panoptes, illustrando come diversi stimoli ottici influenzino l'elaborazione visiva robotica e biologica.
-

Queste esperienze interattive di realtà aumentata consentono agli studenti di sperimentare con stimoli visivi, modificare le configurazioni dei sensori e osservare come i percorsi neurali rispondono a diversi modelli di luce, simulando la ricerca neuroscientifica nel mondo reale (Venkatesen et al., 2021).

Collegamento tecnico: Realtà aumentata per lo studio delle protesi retiniche e il ripristino della vista

La vista degli animali è un sistema naturale straordinario, che funge da modello per gli ingegneri che sviluppano protesi retiniche: impianti artificiali progettati per ripristinare la vista in individui con danni alle cellule fotorecetttrici. Questi dispositivi biomedici stimolano direttamente le cellule del nervo ottico, bypassando le aree retiniche non funzionanti per ricreare la percezione visiva. Grazie ai moduli di formazione medica basati sulla realtà aumentata, studenti e ricercatori possono:

- Manipolare modelli in realtà aumentata di impianti retinici per esplorarne la progettazione strutturale e la funzionalità.
- Simulare applicazioni reali di sistemi di visione bionica, come le interfacce oculari protesiche basate sulla realtà aumentata.
- Analizzare la trasmissione del segnale nervoso ottico tramite sovrapposizioni interattive in realtà aumentata, mappando il modo in cui i dati visivi vengono convertiti in impulsi neurali.
-

Integrando la realtà aumentata nella ricerca sull'occhio bionico, gli studenti possono partecipare ad ambienti di test virtuali che replicano le condizioni cliniche, migliorando la loro comprensione delle tecnologie di ripristino della vista (Anderson e Bischof, 2014).

Obiettivi di apprendimento con integrazione della realtà aumentata

Dopo questo esercizio potenziato dalla realtà aumentata, gli studenti dovrebbero essere in grado di:

- Spiegare il percorso visivo e il suo ruolo nell'elaborazione degli stimoli luminosi.
- Interpretare i dati sperimentali utilizzando istogrammi AR interattivi e grafici visivi.
- Analizzare la sensibilità spaziale della corteccia visiva, applicandola allo sviluppo della visione robotica.
- Confrontare la visione umana con i sistemi ottici bio-ispirati utilizzando simulazioni basate sulla realtà aumentata.

Introduzione e motivazione: migliorare l'apprendimento visivo con la realtà aumentata

La vista gioca un ruolo dominante nella percezione umana, influenzando il modo in cui interpretiamo e interagiamo con l'ambiente circostante. Le somiglianze tra la visione biologica e i sistemi ottici basati su telecamere offrono spunti preziosi per gli ingegneri che sviluppano sensori bioispirati.





Grazie alla realtà aumentata, gli studenti possono:

- Confrontare in tempo reale il funzionamento dell'occhio umano e dell'obiettivo di una fotocamera, sovrapponendo modelli ottici a oggetti del mondo reale.
- Immaginare come la luce viene rifratta e focalizzata all'interno dell'occhio, ripercorrendo il suo percorso dalla cornea alla retina.
- Interagirei con un campo visivo simulato, regolando luminosità, contrasto e messa a fuoco per riprodurre diverse condizioni di illuminazione.

Grazie all'integrazione di sovrapposizioni digitali interattive, gli studenti possono sperimentare in prima persona la scienza della visione, migliorando la loro capacità di collegare i principi biologici alle innovazioni tecnologiche.

Configurazione sperimentale con supporto AR

Il sistema di visione robotica Panoptes è un dispositivo ottico bioispirato utilizzato per modellare e analizzare il campo visivo nei sistemi di visione artificiale. L'esperimento simula il modo in cui diverse sorgenti luminose interagiscono con i sensori di visione, consentendo agli studenti di mappare la sensibilità spaziale attraverso una sequenza controllata di stimoli visivi.

Nuove funzionalità di sperimentazione basate sulla realtà aumentata

- Mappatura del campo visivo basata sulla realtà aumentata: gli studenti possono sovrapporre digitalmente grafici di sensibilità spaziale al sistema Panoptes per osservare come i diversi orientamenti della luce influenzano la percezione.
- Simulazioni virtuali di tracciamento della luce: la realtà aumentata fornisce un feedback in tempo reale su come gli occhi robotici si adattano ai cambiamenti di illuminazione e contrasto.
- Elaborazione dei segnali neurali in realtà aumentata: modelli interattivi di realtà aumentata dimostrano come i segnali retinici vengono trasmessi alla corteccia visiva, confrontando le vie visive sane con quelle compromesse.

Queste applicazioni AR avanzate consentono agli studenti di modificare le condizioni sperimentali in tempo reale, migliorando la loro comprensione dell'elaborazione visiva, dell'ottimizzazione dei sensori e dell'analisi dei dati (Venkatesen et al., 2021).

La procedura con miglioramenti AR

Prima dell'attività

- Preparare visualizzazioni 3D in realtà aumentata dell'occhio umano, dei sistemi di visione robotica e delle vie neurali.
- Configurare i modelli di visione robotica di Panoptes, garantendo la compatibilità con gli strumenti di mappatura visiva assistita dalla realtà aumentata.
- Fornire agli studenti fogli di lavoro digitali per l'annotazione e l'analisi dei dati in tempo reale.

Con gli studenti (Giorni 1 e 2)

Fase 1: Esplorare la scienza della visione con la realtà aumentata





- Gli studenti utilizzano strumenti di realtà aumentata per esaminare come la luce attraversa l'occhio e interagisce con le cellule fotorecetttrici.
- Gli ambienti di realtà aumentata simulati illustrano come le disabilità visive influenzino la percezione della profondità e la sensibilità al contrasto.

Fase 2: Esperimento di mappatura visiva potenziata dalla realtà aumentata

- Gli studenti conducono esperimenti a scatola nera con Panoptes, registrando come diverse orientazioni della luce stimolano i sensori robotici.
- Le sovrapposizioni in realtà aumentata forniscono un feedback visivo in tempo reale, evidenziando le zone di attivazione dei sensori e i dati in uscita.

Fase 3: Analisi e interpretazione dei dati tramite AR

- Gli studenti rappresentano graficamente i risultati sperimentali utilizzando istogrammi assistiti dalla realtà aumentata, confrontando le risposte visive biologiche e robotiche.
- Le simulazioni in realtà aumentata basate sull'intelligenza artificiale elaborano grandi insiemi di dati, aiutando gli studenti a estrarre informazioni significative dai loro risultati.

Valutazione e accertamento

Per valutare i risultati dell'apprendimento, gli studenti dovranno:

- Rispondere a dei quiz preliminari e finali per valutare la comprensione della differenza tra visione biologica e visione artificiale.
- Utilizzare strumenti di analisi visiva basati sulla realtà aumentata per interpretare i grafici di risposta dei sensori in tempo reale.
- Partecipare a discussioni interattive su come la realtà aumentata migliora la ricerca sull'occhio bionico e le applicazioni della visione robotica.

Conclusione: Il futuro della realtà aumentata nella scienza della visione

L'integrazione della realtà aumentata (AR) nella ricerca sulla visione bioispirata trasforma il modo in cui gli studenti apprendono, sperimentano e innovano. Attraverso simulazioni 3D immersive, mappatura visiva interattiva e analisi basate sull'intelligenza artificiale, la realtà aumentata colma il divario tra la scienza della visione biologica e i sistemi ottici ingegnerizzati. Grazie all'apprendimento pratico potenziato dalla realtà aumentata, la prossima generazione di scienziati e ingegneri sarà meglio preparata a sviluppare tecnologie avanzate di visione bionica, sensori robotici basati sull'intelligenza artificiale e interfacce ottiche aumentate, plasmando il futuro dell'innovazione bioispirata.

Fase	Descrizione
Esplorare	- Indagine e scoperta Gli studenti studiano strutture ispirate alla natura (ad esempio, la seta di ragno, i tentacoli di un polpo, il favo).
	- Inquadramento dei contenuti Gli insegnanti introducono i concetti fondamentali delle discipline STEM, ispirandosi alla natura, attraverso letture selezionate, visualizzazioni in realtà aumentata e casi di studio tratti dal mondo reale.





	- Identificazione dei bisogni Valutare le conoscenze pregresse degli studenti in ambito scientifico e la loro familiarità con gli strumenti di realtà aumentata per poter differenziare l'insegnamento.
Eseguire	- Lezioni immersive in realtà aumentata Implementare moduli in cui gli studenti interagiscono con modelli in realtà aumentata di sistemi bionici (ad esempio, arti, occhi, organi). - Progettazione di progetti STEM Gli studenti creano, testano e perfezionano i propri prototipi biomimetici (ad esempio, sistemi di adesione ispirati al geco o sensori di visione) utilizzando ambienti di realtà aumentata. - Feedback formativo Insegnanti e colleghi forniscono feedback attraverso la revisione delle presentazioni e l'interazione in tempo reale con i dati in realtà aumentata.
Migliorare	Integrazione AR: - Simulazioni ad alta fedeltà Gli studenti esplorano biosistemi complessi utilizzando ambienti di realtà aumentata dettagliati (ad esempio, percorsi visivi, robotica morbida, materiali auto-riparanti). - Annotazione e manipolazione AR Sovrapporre etichette digitali e consentire modifiche strutturali in tempo reale per comprendere la biofunzionalità. - Interazione avanzata Utilizza strumenti di realtà aumentata basati su gesti o attivati dalla voce per un coinvolgimento più profondo. Contenuti ludicizzati: - Punti e distintivi iGuadagna punti risolvendo enigmi biomeccanici, identificando analoghi biologici o completando sfide AR STEM. - Avanzamento di livello Avanza attraverso i livelli delle missioni in realtà aumentata (ad esempio, dalla costruzione di semplici parti bioniche alla progettazione di sistemi per tutto il corpo). - Sfide di squadra Partecipa a missioni collaborative in realtà aumentata per risolvere problemi di bioingegneria reali. Valutazioni basate sulla realtà aumentata: - Quiz interattivi Completare le attività utilizzando strumenti di realtà aumentata (ad esempio, abbinare funzioni biologiche ad analoghi ingegnerizzati in un laboratorio virtuale). - Compiti di prestazione Presentare modelli di sistemi bionici progettati dagli studenti, arricchiti da realtà aumentata, e spiegarne la funzione, il processo di progettazione e l'ispirazione biologica. - Sistemi di feedback in tempo reale Utilizza analisi e dashboard in realtà aumentata per monitorare i progressi di apprendimento e il coinvolgimento.

Riferimenti:

Abriata.L.A, 2018, Towards Commodity, Web-Based Augmented Reality Applications for Research and Education in Chemistry and Structural Biology, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.08332>

Alkhabra.Y.A, Ibrahim.U.M, Alkhabra.S.A, 2023, Augmented reality technology in enhancing learning retention and critical thinking according to STEAM program, <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01650-w>

Allin S, Eckel E, Markham H, Brewer BR. Recent trends in the development and evaluation of assistive robotics for manipulation. Phys Med Rehabil Clin N Am 2010;21: 59e77.

Anderson.f, Bischof.W, 2014, Augmented reality improves myoelectric prosthesis training, <https://doi.org/10.1515/ijdh-2014-0327>

Autumn K, Sitti M, Liang Y A, Peattie A M, Hanen W R, Sponberg S, Kenny T W, Fearing R, Israelachvili J N and Full R J 2002 Evidence for van der Waals attachment by gecko foot-hairs inspires design of synthetic adhesive Proc. Natl Acad. Sci. USA 99 12252-6.





- Autumn K and Peattie A M 2003 Mechanisms of adhesion in geckos J. Integr. Comp. Biol. 42 1081-90.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. Educational Technology & Society, 17 (4), 133–149.
- Bar-Cohen Y., and C. Breazeal (Eds), "Biologically-Inspired Intelligent Robots", SPIE Press, Vol. PM122, ISBN 0-8194-4872-9 (May 2003), pp. 1-393.
- Bar-Cohen Y 2005b Current and future developments in artificial muscles using electroactive polymers (EAP) Expert Rev. Med. Devices J. Future Drugs 2 731-40.
- Bar-Cohen Y 2005 Biomimetics-Biologically Inspired Technologies (Boca Raton, FL: CRC Press) pp. 1-552 Currey J.D. Materials science-hierarchies in biomineral structures. Science. 2005;309:253-254. doi: 10.1126/science.1113954. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Bar-Cohen Y 2006 Biomimetics- using nature to inspire human innovation. Bioinspiration & Biomimetics. doi:10.1088/1748-3182/1/1/P01.
- Bartlett P N and Gardner J W 1999 Electronic Noses: Principles and Applications (Oxford: Oxford University Press) pp. 1-264.
- Bialek W 1987 Physical limits of sensation and perception Ann. Rev. Biophys. Biophys. Chem. 16 455-78.
- Billinghamurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented Reality in the Classroom. Computer, 45, 56-63. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.111>
- Brandacher G, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, et al. The Innsbruck hand transplant program: update at 8 years after the first transplant. Transplant Proc 2009;41:491e4.
- Carlson J, Ghaey S, Moran S, Tran C A and Kaplan D L 2005 Biological materials in engineering mechanisms Biomimetics-Biologically Inspired Technologies (Boca Raton,FL: CRC Press) chapter 14, pp 365-80.
- Carleigh Samson, ITL Program, College of Engineering, University of Colorado Boulder 2015.
- Craven M A and Gardner J W 1996 Electronic noses - development and future prospects Trends Anal. Chem. 15 486-93.
- Denise W. Carlso, ITL Program, College of Engineering, University of Colorado Boulder 2015.
- Dickinson T A, White J, Kauer J S and Walt D R 1998 Current trends in artificial nose technology Trends Biotechnol. 16 250-8.
- Dünser,A, Walker,L, Horner,H, Bentall,D, 2012,Creating Interactive Physics Education Books with Augmented Reality.
- Dzenis Y 2004 Spinning continuous fibers for nanotechnology Science 304 1917-9.





Elkhoury.K, Morsink.M, Sanchez-Gonzalez.L, Kahn.C, Tamayol.A, Arab-Tehrany.E.2021. Biofabrication of natural hydrogels for cardiac, neural, and bone tissue engineering applications. *Bioactive Materials*.Volume 6,Issue 11.

Fombona-Pascual.A, Fombona.J, Vicente.R, 2022, Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures, DOI: 10.1021/acs.jcim.1c01255

Gordon J E 1976 *The New Science of Strong Materials, or Why You Don't Fall Through the Floor* 2nd edn (London: Pelican-Penguin) pp 1-287.

George M. Whitesides. 2015. bioinspiration: something for everyone. *Interface Focus* 5: 20150031. <http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2015.0031>.

Hamley IW. 2013 *Introduction to soft matter: synthetic and biological self-assembling materials*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Inc. Iconographic database 1665, Warburg Institute Library, UK.

Jaehwan.K, Hyang-Ki.K, Seung-Bok.C .2002. a hybrid inchworm linear motor. *Mechatronics*.Volume 12,Issue 4. [https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(01\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(01)00016-2).

Jeronimidis G, Atkins A.G. *Mechanics of biological materials and structures-Nature's lessons for the engineer*. J. Mech. Eng. Sci. 1995;209:221-235 [Google Scholar].

Jiatian Li, Sitong Li, Jiayi Huang, Abdul Qadeer Khan, Baigang An, Xiang Zhou, Zunfeng Liu, Meifang Zhu.2021. Spider Silk-Inspired Artificial Fibers.*Advanced Science*.<https://doi.org/10.1002/advs.202103965>

Jones JW, Gruber SA, Barker JH, Breidenbach WC. Successful hand transplantation. One-year follow-up. Louisville Hand Transplant Team. *N Engl J Med* 2000;343:468e73.

Kemp, M. 2004 Structural intuitions and metamorphic thinking in art, architecture and science. In *Metamorph-9th Int. Architecture Exhibition Focus*, pp. 30-43. Fondazione La Biennale di Venezia.

Kwang Lee.E, Yoo.H and Hwan Lee.C.2020. Advanced materials and assembly strategies for wearable biosensors: A Review. *Biosensors - Current and Novel Strategies for Biosensing*. DOI: 10.5772/intechopen.94451.

Lakes R. Materials with structural hierarchy. *Nature*. 1993;361:511-515. doi: 10.1038/361511a0. [CrossRef] [Google Scholar] Lawrence Livermore National Laboratory 2010.

Maier.P, Klinker.G, 2013, Augmented Chemical Reactions: An Augmented Reality Tool to support Chemistry Teaching, 978-1-4799-2741-8/13/\$31.00 IEEE

Mann S 1995 *Biomimetic Materials Chemistry* (New York: Wiley) pp. 1-400.

Margreiter R, Brandacher G, Ninkovic M, Steurer W, Kreczy A, Schneeberger S. A two-hand transplant can be worthwhile! *Transplantation* 2002;74:85e90.

Nachtigall W. Springer; Berlin, Germany: 1998. *Bionics basics and examples for engineers and scientists*.





Nagle H T, Gutierrez-Osuna R and Schiffman S S 1998 The how and why of electronic noses IEEE Spectrum pp 22-38.

Nemat-Nasser S, Nemat-Nasser S, Plaisted T, Starr A and Vakil-Amirkhizi A 2005 Multifunctional materials Biomimetics-Biologically Inspired Technologies (Boca Raton, FL: CRC Press) chapter 12, pp 309-40.

Regents of the University of Colorado; Original © 2013 Polytechnic Institute of New York University. Panoptes and the Bionic Eye© 2013.

Russell S J and Norvig P 2003 Artificial Intelligence: A Modern Approach (Harlow: Pearson Education) pp. 1-1132.

Tirrell D.A. National Academy Press; Washington, DC: 1994. Hierarchical structures in biology as a guide to new materials technologies.

Tran.R, Yang.J, Ameer.G.A, 2015, Citrate-Based Biomaterials and Their Applications in Regenerative Engineering, doi: [10.1146/annurev-matsci-070214-020815](https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070214-020815)

Schmitt O H 1969 Some interesting and useful biomimetic transforms Proc. 3rd Int. Biophysics Congress (Boston, MA, 29 Aug. to 3 Sept.) p. 297.

Szema R and Lee L P 2005 Biologically Inspired Optical Systems Biomimetics-Biologically Inspired Technologies (Boca Raton, FL: CRC Press) Chapter 11, pp. 291-308

Roshandel.H, Shammami.M, Lin.S, Wong.Y.P, Diaconescu.P.L, 2023, App-Free Method for Visualization of Polymers in 3D and Augmented Reality, DOI: [10.1021/acs.jchemed.2c01131](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01131)

Trumpis.M, Polytechnic Institute of NYU 2013

Venkatesen.M, Mohan.H, Ryan.J, Scürch.C.M, Nolan.G.P, Frakes.D.H, Coskun.A.F,2021, Virtual and augmented reality for biomedical applications, PMCID: PMC8324499 PMID: [34337564](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34337564/)

Vincent J F V 2001 Stealing ideas from nature Deployable Structures ed S Pellegrino (Vienna: Springer) Chapter 3, pp. 51-8.

Vlasov Y and Legin A 1998 Non-selective chemical sensors in analytical chemistry: from the "electronic nose" to the "electronic tongue" J. Anal. Chem. 361 255-66.

Wasilewski.T, Kamysz.W, Gębicki.J.2020. Bioelectronic tongue: current status and perspectives. Biosensors and Bioelectronics.Volume 150 <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111923>

Wikimedia Commons 2009

Wu Y, Zhoul D, Spinks G M, Innis P C, Megill W M and Wallace G G 2005 TITAN: a conducting polymer-based microfluidic pump Smart Mater. Struct. 14 1511-6.

Yee Ng.H, Alvin Lee.K, Kuo.C, Shen.Y.2018. bioprinting of artificial blood vessels. Int J Bioprint, 4(2): 140. <http://dx.doi.org/10.18063/IJB.v4i2.140>





Zahiri.B, Kumar Sow.P, Haow Kung.C, Mérida.W. 2017. active control of wettability from superhydrophobic to superhydrophilic by electrochemical change of oxidation state in a low voltage range. Advanced Materials Interfaces. <https://doi.org/10.1002/admi.201700121>

Zhang.Y, Feijoo-Garcia.M, Gu.Y, Poescu.V, Benes.B, J.Magana.A, 2024, Virtual and Augmented Reality in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: An Umbrella Review, <https://doi.org/10.3390/info15090515>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Field_of_view.svgZ

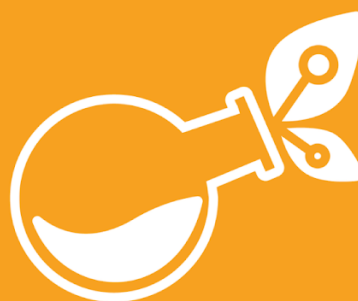
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Visualcortex.gif>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gabor-ocr.png>





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.