



Co-funded by
the European Union

Reinventare le città: progettare spazi urbani biofili con la 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."





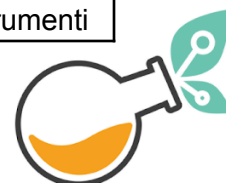
SOMMARIO

· Introduzione.....	2
· Che cos'è il design biofilico?.....	
· Concetti STEM coinvolti.....	7
· Che cosa sono i materiali sostenibili?.....	10
· Che cos'è il Design Thinking?.....	11
· Esecuzione: Applicazione del design biofilico nella pratica e prototipazione con la realtà aumentata.....	11
· Prototipazione AR: Visualizzare futuri urbani ispirati alla natura.....	13
· MIGLIORA – Padronanza di strumenti e concetti.....	15
· Strumenti AR consigliati per il design biofilico e l'apprendimento STEM.....	15
· Risorse.....	19





Argomento generale del percorso di apprendimento	Città biofile: progettazione urbana ispirata alla natura.
Nome specifico dell'unità didattica	Reimmaginare le città: progettare spazi urbani biofilici con la realtà aumentata
Età target degli utenti	14-18 anni
Prerequisiti per gli studenti	Conoscenze di base di scienze ambientali, biologia e geometria.
Descrizione dell'unità didattica	Questa unità didattica invita gli studenti a esplorare come la natura possa ispirare ambienti urbani sostenibili e più sani. Utilizzando strumenti di realtà aumentata, gli studenti visualizzeranno e interagiranno con elementi biofilici come tetti verdi, sistemi di illuminazione naturale e ventilazione ispirati agli ecosistemi. L'attività incoraggia il pensiero sistemico, la creatività e la capacità di risolvere problemi attraverso un apprendimento immersivo basato sulle discipline STEM.
Soggetto coinvolto	Scienze ambientali, biologia, fisica, matematica, tecnologia
Parole chiave	Design biofilico, pianificazione urbana, realtà aumentata, sostenibilità, biomimetica, apprendimento interattivo, innovazione ispirata alla natura
Competenze chiave, abilità, conoscenze che possono essere acquisite	Comprendere i principi della biofilia e le loro applicazioni in contesti urbani; applicare i concetti STEM alla progettazione di spazi sostenibili; sviluppare competenze di visualizzazione e prototipazione basate sulla realtà aumentata; migliorare la capacità di risoluzione dei problemi e il pensiero critico.
Risorse e strumenti didattici utilizzati	Strumenti di realtà aumentata (ad esempio, CoSpaces Edu, Assemblr EDU, Merge Cube, JigSpace), mappe e piani urbanistici, database scientifici, risorse visive, piattaforme online, casi di studio di città biofile.
Criteri di valutazione e valutazione	La valutazione si baserà sulla capacità degli studenti di applicare i concetti di design biofilico, integrare strumenti





	di realtà aumentata per comunicare le proprie idee e dimostrare la comprensione dei principi ambientali e scientifici attraverso presentazioni, prototipi digitali e feedback riflessivo.
--	---

Introduzione:

Con l'espansione e l'aumento della densità di popolazione nelle città globali, le persone si allontanano sempre più dagli ambienti naturali in cui l'essere umano si è evoluto. Le popolazioni urbane si trovano oggi ad affrontare sfide urgenti come l'inquinamento atmosferico, l'affaticamento mentale, l'isolamento sociale e l'intensificarsi dei cambiamenti climatici. Il design biofilico rappresenta una delle risposte più promettenti e supportate dalla ricerca a questi problemi, un approccio interdisciplinare che mira a reintegrare la natura nell'ambiente costruito.

Questo modulo formativo si propone di introdurre i partecipanti al design biofilico e alla sua rilevanza per gli spazi urbani, la sostenibilità e il benessere umano. Presenta fondamenti scientifici, casi di studio e un approccio progettuale per dimostrare come le soluzioni ispirate alla natura possano trasformare le città in modo più sano e sostenibile.

Il design biofilico si basa su *subiofilie* che descrive l'innata tendenza umana a connettersi con la natura e altri sistemi viventi (Wilson, 1984). Piuttosto che limitarsi a incorporare piante decorative negli edifici, il design biofilico prevede l'integrazione ponderata di luce naturale, ventilazione, acqua, materiali, forme spaziali e sistemi ecologici nell'architettura e nella pianificazione degli spazi urbani. Studi hanno dimostrato che l'esposizione agli elementi naturali negli ambienti costruiti contribuisce a migliori risultati in termini di salute, riduzione dello stress, maggiore creatività e miglioramento delle funzioni cognitive (Kellert et al., 2008; Browning et al., 2014).

Questo legame è spesso assente nelle città contemporanee, dominate da superfici in cemento, illuminazione artificiale e strutture chiuse. La ricerca ha dimostrato che un accesso limitato a elementi naturali, come la luce naturale o la vista sul verde, può migliorare significativamente i tempi di recupero, l'umore e la capacità di attenzione. Ulrich (1984) ha scoperto che i pazienti in convalescenza dopo un intervento chirurgico in stanze d'ospedale con vista sugli alberi guarivano più velocemente e necessitavano di meno antidolorifici. Risultati simili, ottenuti da Li e Sullivan (2016), hanno dimostrato che gli studenti che si stavano riprendendo da affaticamento mentale ottenevano risultati migliori nei compiti quando avevano accesso a una vista sul verde esterno dall'aula.





Il design biofilico svolge un ruolo cruciale anche nella promozione della sostenibilità urbana. Migliora la gestione delle acque piovane attraverso paesaggi permeabili e infrastrutture verdi, mitiga il calore urbano grazie alla vegetazione e all'ombreggiatura, supporta la biodiversità reintroducendo nicchie ecologiche e riduce il consumo energetico attraverso strategie di illuminazione e ventilazione passive. Jamei et al. (2016) evidenziano come la geometria urbana e gli elementi naturali possano migliorare significativamente il comfort termico esterno, mentre Beatley (2016) sottolinea i benefici più ampi degli interventi biofilici in ambito di pianificazione urbana, nella creazione di comunità resilienti e vivibili.

Questo modulo esplora l'applicazione dei principi biofilici attraverso la lente delle discipline STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica). Affronta temi quali il supporto dei sistemi biologici alla biodiversità urbana, l'influenza della luce e del movimento dell'aria sul comfort e sull'efficienza energetica, l'ispirazione tratta dai modelli geometrici della natura per la progettazione strutturale e il supporto offerto da materiali sostenibili e strumenti digitali come la Realtà Aumentata (AR) per un'edilizia innovativa e rispettosa dell'ambiente. La natura interdisciplinare di questo approccio incoraggia la conoscenza tecnica, il pensiero critico e la capacità di risolvere problemi concreti, applicandoli alle sfide urbane del mondo reale.

La letteratura recente conferma che l'integrazione di elementi biofilici nella progettazione di edifici e spazi pubblici porta a benefici psicologici e fisiologici misurabili. Browning, Ryan e Clancy (2014) hanno identificato 14 modelli di design biofilico, come la luce dinamica, le forme naturali e il legame dei materiali con la natura, che influenzano positivamente la salute e la produttività sia negli ambienti di lavoro che in quelli di apprendimento.

Acquisendo familiarità con i concetti biofilici, gli studenti sono in grado di reimmaginare e prototipare spazi urbani che promuovano relazioni più profonde tra le persone e il loro ambiente. Che sia applicato a scuole, parchi, abitazioni o infrastrutture pubbliche, il design biofilico fornisce un quadro di riferimento per città più sostenibili e rigenerative, città che privilegiano l'integrità ecologica e il benessere umano.

1. ESPLORA – Comprendere il contesto e i concetti chiave

Che cos'è il design biofilico?

- Definizione e origine:

La biofilia può essere definita come amore per la vita o per i sistemi viventi. Si ipotizza che gli esseri umani abbiano un bisogno innato di entrare in contatto con il mondo che li circonda e siano naturalmente portati a farlo. Questa inclinazione è innata e, per quanto ne siamo attratti, possiamo anche esserne avversi. Ad esempio, potremmo desiderare naturalmente di stare all'aperto, al sole e al caldo di una giornata estiva, ma non vorremmo trovarci vicino a un serpente velenoso. Il design biofilico ci aiuta a scoprire come l'ambiente costruito potrebbe e dovrebbe essere radicalmente ripensato in base ai meccanismi fondamentali della mente umana (Vagal, 2020).





- In che modo il design biofilico apporta benefici agli esseri umani?

Negli ultimi 5.000 anni, l'ascesa dell'agricoltura su larga scala, della manifattura, della tecnologia, della produzione industriale, dell'ingegneria e della vita urbana moderna rappresenta solo un breve capitolo della storia umana. Nonostante questi progressi, essi non hanno sostituito i benefici derivanti dal vivere in armonia con l'ambiente naturale. Gran parte del nostro benessere emotivo, della nostra capacità di risolvere problemi, del nostro pensiero critico e delle nostre abilità creative derivano ancora da competenze e istinti sviluppati attraverso una profonda connessione con i sistemi naturali. Queste connessioni continuano a svolgere un ruolo vitale per la nostra salute, il nostro sviluppo e la nostra produttività (Kellert, 2015).

Il design biofilico offre vantaggi misurabili riconnettendo gli esseri umani con i modelli naturali e le esperienze sensoriali che hanno plasmato la nostra evoluzione nel corso dei millenni. Radicato nella nostra affinità biologica per la natura, un concetto noto come biofilia (Wilson, 1984), questo approccio progettuale riconosce che i nostri sistemi cognitivi, emotivi e fisiologici sono più adatti ad ambienti simili a quelli in cui gli esseri umani si sono evoluti, come foreste, savane e altri contesti naturali (Kellert et al., 2008).

Studi scientifici hanno dimostrato che anche una minima esposizione agli elementi naturali, come l'accesso alla luce del giorno, la vista del verde, l'aria fresca o l'interazione tattile con materiali organici, può migliorare significativamente il benessere psicologico. Questi benefici includono la riduzione dei livelli di stress, il miglioramento dell'umore, una maggiore creatività e un aumento delle prestazioni cognitive (Ulrich et al., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989). Il contatto con la natura è stato inoltre associato a tempi di recupero più rapidi in ambito sanitario, a una maggiore concentrazione in contesti educativi e a una maggiore soddisfazione lavorativa (Terrapin Bright Green, 2012).

Dal punto di vista della salute fisica, gli ambienti biofilici promuovono una migliore qualità dell'aria grazie alla ventilazione naturale, riducono l'inquinamento acustico integrando piante e materiali naturali e incoraggiano il movimento fisico attraverso spazi verdi ben progettati. L'esposizione alla luce naturale, soprattutto se in armonia con i ritmi circadiani, migliora la qualità del sonno e la vitalità generale (Van den Berg et al., 2010).

Oltre ai benefici individuali, il design biofilico favorisce il benessere sociale promuovendo un senso di appartenenza e di comunità. Gli spazi con elementi naturali come cortili, passeggiate e giardini pubblici sono più accoglienti e inclusivi, incoraggiando l'interazione, la collaborazione e le esperienze condivise (Beatley, 2011). Questi ambienti possono alimentare legami comunitari più forti e contribuire a creare contesti urbani più resilienti e socialmente coesi.

- Sei elementi del design biofilico

Il design biofilico è un approccio basato su evidenze scientifiche che integra elementi naturali negli ambienti costruiti per migliorare il benessere umano. Radicata nel concetto di biofilia, l'innata affinità dell'uomo per la natura, questa filosofia progettuale si è evoluta fino a





comprendere diversi modelli che ne guidano l'applicazione in architettura e pianificazione urbana.

Uno dei modelli fondamentali, sviluppato da Stephen R. Kellert, delinea sei elementi chiave del design biofilico:

1. Caratteristiche ambientali: Integrazione di elementi naturali come luce, aria, acqua, piante e materiali naturali.
2. Forme e figure naturali: utilizzo di forme biomorfe, frattali e modelli naturali.
3. Modelli e processi naturali: Integrazione di elementi che riflettono i ritmi, i cambiamenti e la variabilità sensoriale della natura.
4. Luce e spazio: progettare con luce naturale, illuminazione dinamica e variabilità spaziale per evocare esperienze naturali.
5. Relazioni basate sul territorio: Creare spazi che riflettano l'ecologia locale, la cultura e il senso di appartenenza.
6. Relazioni evolute tra uomo e natura: riconoscimento dei legami psicologici con la teoria del rifugio-prospettiva, la paura e il senso di meraviglia, e i benefici rigenerativi della natura.

Studi recenti hanno approfondito questi elementi, sottolineandone la rilevanza nelle pratiche progettuali contemporanee. Ad esempio, una revisione del 2023 di Wijesooriya et al. evidenzia l'integrazione dei modelli di progettazione biofilica con i criteri di progettazione sostenibile, sottolineando l'importanza di allineare i principi biofilici agli standard di prestazione ambientale.

Inoltre, la ricerca di Al Sayyed e Al-Azhari (2025) dimostra i benefici fisiologici degli elementi di design biofilico, come la luce naturale e la ventilazione, nel ridurre lo stress e migliorare il comfort negli ambienti residenziali. Questi risultati rafforzano l'importanza di integrare elementi biofilici per promuovere la salute e il benessere negli ambienti costruiti.

Comprendendo e applicando questi sei elementi, progettisti ed educatori possono creare spazi che favoriscano il legame tra uomo e natura e supportino le funzioni cognitive, il benessere emotivo e la salute generale.

- Biofilia e benessere:

L'affinità con la natura come inclinazione umana innata è alla base della teoria della biofilia; Wilson ha reso popolare questo termine nel 1984. Kellert e Calabrese (2015) hanno promosso la pratica del design biofilico, definendolo come un processo che offre una strategia di design sostenibile volta a interconnettere persone e natura sulla base di tre esperienze e ventiquattro attributi progettuali. Rafforzare questo legame con la natura riduce lo stress e migliora la salute e il benessere.

Poiché le persone trascorrono generalmente più tempo all'interno degli edifici che negli ambienti esterni, l'implementazione di un approccio di interior design biofilico è particolarmente importante. Tuttavia, questo argomento è ancora oggetto di ricerca e la letteratura in materia è piuttosto limitata. È innegabile che i principi e i processi di progettazione siano soggetti a





molteplici interpretazioni, il che può generare ambiguità. "Sebbene l'obiettivo del design biofilico sia chiaro, la sua comprensione e la sua applicazione lo sono meno" (Vagal, 2020).

Il design biofilico prende in considerazione altre forme di vita (Beatley, 2017) e funziona efficacemente in diversi contesti (Orman, 2017). Consiste in esperienze dirette, indirette e simboliche che favoriscono la connessione tra uomo e natura (Bewza, 2012). Le sue caratteristiche includono l'accesso a diverse tipologie di spazi con differenti qualità spaziali (Mangone et al., 2017), texture superficiali variegata, vetro, vista sul paesaggio, materiali naturali, colori caldi (Spivack e Rogelberg, 2010), piante, luce naturale, ventilazione, spazi aperti e finestre (Gray e Birrell, 2014).



- Esempio di design biofilico:

1- Apple Park, California, Stati Uniti

Il nuovo campus di Apple è ampiamente considerato uno dei principali esempi di design biofilico. La struttura a forma di ciambella riprende le curve naturali presenti in natura e porta la luce negli uffici da ogni angolazione. Un nuovo bosco di 9.000 alberi circonda inoltre il campus.

2- Bosco Verticale, Milan, Italy

Trovare la natura in un appartamento in un grattacielo sembra un'utopia, ma potrebbe essere proprio l'iniezione di vita biofilica di cui le città densamente popolate hanno bisogno. Dopo secoli di consuetudine che ha distinto l'ambiente urbano da quello selvaggio, due grattacieli residenziali a Milano hanno ribaltato il paradigma proponendo una nuova ecologia sociale all'interno della facciata degli edifici e offrendo un'opzione di accesso alla natura in un contesto ultra-urbano.



Bosco Verticale, progettato dall'architetto Stefano Boeri, è stato inaugurato nel 2014 per offrire ai residenti un'alternativa ai quartieri residenziali unifamiliari della periferia. Boeri ha immaginato





uno spazio di scambio pubblico tra vicini attraverso un terrazzo sulla facciata esterna dell'edificio. In questo spazio, i residenti avrebbero potuto godere di una vista sulla natura, di un accesso diretto alla vegetazione e dell'opportunità di scambiarsi opinioni sul giardinaggio, sulle piante e sulla fauna selvatica. Basandosi sull'intimità compatta della tradizione del giardinaggio, Bosco Verticale estende l'abitudine milanese del giardino pensile a un bene di utilità pubblica, trasformandolo in una vera e propria foresta all'interno di un edificio nel cuore della città.

3- Villaggio dell'Ammiragliato

Kampung Admiralty offre un caso di studio su come la natura possa essere un elemento primario di questi edifici residenziali. Anche questo complesso offre ai residenti orti e giardini sui tetti. I diversi livelli dell'edificio gestiscono progressivamente le acque piovane che attraversano il sito. L'edificio ha prosperato nei tre anni trascorsi dalla sua apertura ai residenti.



Concetti STEM coinvolti:

Il design biofilico è intrinsecamente multidisciplinare, traendo ispirazione dai processi e dalle forme della natura per valorizzare l'ambiente costruito in modo da favorire la salute umana, l'equilibrio ecologico e la ricchezza estetica. L'integrazione delle discipline STEM (scienza, tecnologia, ingegneria e matematica) nel design biofilico permette agli studenti di esplorare e applicare competenze concrete, confrontandosi al contempo con le sfide della sostenibilità e la consapevolezza ambientale.

Ogni disciplina STEM offre una prospettiva unica per comprendere e applicare soluzioni ispirate alla natura:





- La biologia approfondisce la nostra comprensione dei sistemi naturali, degli ecosistemi e della biodiversità, elemento essenziale per progettare ambienti che interagiscano in armonia con gli organismi viventi.
- La fisica ci aiuta a esplorare il comportamento delle forze naturali come la luce, il flusso d'aria e il trasferimento di energia, tutte influenti sul comfort e sull'efficienza ambientale.
- La matematica fornisce gli strumenti per riconoscere e applicare schemi naturali, come la simmetria, i frattali e la sequenza di Fibonacci, che spesso guidano la forma e le proporzioni nella progettazione ispirata alla natura.
- La tecnologia permette agli studenti di sperimentare materiali innovativi e strumenti digitali, come la realtà aumentata (AR), per prototipare e visualizzare spazi sostenibili e integrati con la natura.

Attraverso questo approccio, gli studenti acquisiscono esperienza pratica nell'osservazione scientifica, nel pensiero critico, nel ragionamento spaziale e nell'alfabetizzazione ecologica. Questi collegamenti favoriscono lo sviluppo di competenze tecniche e una maggiore consapevolezza del ruolo della natura nella risoluzione delle sfide progettuali incentrate sull'uomo, creando un ponte tra istruzione, innovazione e sostenibilità.

Studi recenti sottolineano il potere dell'apprendimento STEM basato sulla natura nel promuovere la creatività, il benessere e la responsabilità ambientale tra i giovani studenti (ad esempio, Wijesooriya et al., 2023; Al Sayyed & Al-Azhari, 2025). Queste esperienze diventano ancora più coinvolgenti ed efficaci se supportate da tecnologie interattive come la realtà aumentata (AR).

- Sistemi naturali ed ecosistemi (Biologia)

Il design biofilico integra sistemi ed ecosistemi naturali negli ambienti urbani per migliorare il benessere umano e l'equilibrio ecologico. Gli spazi urbani possono imitare gli habitat naturali incorporando tetti verdi, giardini verticali e corridoi di biodiversità, promuovendo l'equilibrio ambientale e benefici psicologici.

Recenti ricerche evidenziano l'importanza della biodiversità negli ambienti urbani. Ad esempio, lo studio "Integrazione del design biofilico: migliorare la sostenibilità e il benessere umano nell'architettura moderna" analizza come l'integrazione di elementi naturali nella progettazione architettonica possa migliorare la salute mentale e la sostenibilità ambientale.

Inoltre, le aree urbane possono ospitare un livello sorprendente di biodiversità e fornire ecosistemi unici a varie scale. La natura urbana offre il potenziale per creare la necessaria connettività ecologica attraverso paesaggi frammentati, ridurre l'impronta ambientale pro capite e nutrire ecosistemi resilienti ai cambiamenti climatici.https://www.nlc.org/article/2025/04/09/catalyzing-biodiversity-on-buildings/?utm_source=chatgpt.com).

L'implementazione del design biofilico, soprattutto nelle aree urbanizzate, può talvolta comportare conseguenze negative indesiderate per gli ecosistemi naturali. Pertanto, un'attenta pianificazione e considerazione sono essenziali per garantire che l'integrazione di elementi





naturali nella progettazione urbana supporti e migliori gli ecosistemi esistenti anziché alterarli (Szewrański et al., 2024).

L'integrazione di sistemi naturali nella progettazione urbana apporta benefici all'ambiente e supporta la salute umana. Studi hanno dimostrato che l'esposizione ad ambienti naturali può ridurre lo stress, migliorare le funzioni cognitive e aumentare la produttività sul posto di lavoro (Senthil & Jayalakshmi, 2025).

Gli studenti possono apprezzare l'interconnessione tra salute umana ed ecologica comprendendo e applicando i principi dei sistemi naturali e degli ecosistemi nella progettazione urbana. Questa conoscenza consente loro di creare spazi urbani che non siano solo sostenibili ma anche favorevole al benessere di tutti gli abitanti.

- Luce e ventilazione (Fisica)

Luce e ventilazione sono elementi fisici fondamentali nella progettazione biofilica, in quanto influenzano direttamente il comfort, la salute e la produttività umana. Comprendere la fisica alla base della luce naturale e del flusso d'aria consente di creare ambienti costruiti in armonia con i processi naturali, migliorando il benessere degli occupanti e la sostenibilità ambientale.

Luce naturale

La luce naturale, o illuminazione diurna, svolge un ruolo cruciale nella regolazione dei ritmi circadiani umani, essenziali per il mantenimento di un sonno regolare, dell'equilibrio ormonale e della salute generale. L'uso strategico della luce naturale in architettura implica la considerazione dell'orientamento dell'edificio, del posizionamento delle finestre e delle superfici riflettenti per massimizzare la penetrazione della luce riducendo al minimo l'abbagliamento e l'accumulo di calore.

Recenti ricerche evidenziano i benefici derivanti dall'integrazione della luce naturale nella progettazione degli edifici. Ad esempio, uno studio pubblicato su *Frontiers in Virtual Reality* ha dimostrato che gli ambienti con elementi biofilici, inclusa la luce naturale, riducono significativamente gli indicatori di stress fisiologico rispetto agli ambienti non biofilici (Al Sayyed & Al-Azhari, 2025).

Inoltre, i sistemi di controllo dell'illuminazione sensibili alla luce naturale possono ridurre la dipendenza dall'illuminazione artificiale, risparmiando energia e diminuendo le emissioni di gas serra. L'integrazione di tali sistemi richiede la comprensione della fisica della luce, tra cui la sua intensità, direzione e qualità spettrali. Per gli studenti STEM di età compresa tra 14 e 18 anni,





esplorare la fisica della luce naturale offre opportunità pratiche per comprendere concetti come la riflessione, la rifrazione e l'efficienza energetica.

- Geometria e modelli in natura (Matematica)

La geometria e i modelli matematici sono fondamentali per comprendere il mondo naturale e svolgono un ruolo cruciale nella progettazione biofilica. Studiando questi modelli, gli studenti possono acquisire una maggiore comprensione dei principi che governano le forme naturali e applicare questa conoscenza per creare spazi urbani armoniosi e sostenibili.

- Frattali e auto-similarità

I frattali sono forme geometriche complesse che presentano autosimilarità, ovvero appaiono simili a diverse scale. Questi modelli sono diffusi nei fiocchi di neve, nelle coste e nei rami degli alberi. L'analisi frattale è stata utilizzata per comprendere la complessità dei sistemi naturali e trova applicazione in campi che spaziano dall'ecologia alla medicina.

- Sequenza di Fibonacci e rapporto aureo

La sequenza di Fibonacci e la relativa sezione aurea sono concetti matematici che ricorrono frequentemente in natura. Si possono osservare nella disposizione delle foglie su uno stelo, nella disposizione dei semi in un girasole e nelle conchiglie a spirale dei molluschi. Comprendere questi schemi aiuta gli studenti ad apprezzare l'ordine matematico che sottende le forme naturali.

- Simmetria e tassellature

La simmetria è una caratteristica comune negli organismi naturali, che contribuisce alla loro stabilità strutturale e al loro fascino estetico. Anche le tassellature, o motivi a mosaico, si trovano in natura, come ad esempio nelle strutture a nido d'ape degli alveari. Studiare questi motivi permette agli studenti di esplorare i concetti di equilibrio e ripetizione nel design.

- Applicazioni nella progettazione biofilica

L'integrazione di motivi geometrici naturali nella progettazione urbana può migliorare il benessere estetico e psicologico degli abitanti. Ad esempio, i motivi frattali negli elementi architettonici possono ridurre lo stress e migliorare le funzioni cognitive. La comprensione e l'applicazione di questi principi matematici consentono agli studenti di creare progetti che si armonizzano con le forme naturali e promuovono la sostenibilità.





- Materiali sostenibili e pensiero progettuale (Tecnologia)

Che cosa sono i materiali sostenibili?

I materiali sostenibili sono ecocompatibili. Ricrescono rapidamente, sono riciclabili o richiedono meno energia per essere prodotti. Se utilizzati nel design biofilico, questi materiali favoriscono anche la salute e il benessere.

Ecco alcuni esempi interessanti che vengono esplorati e utilizzati oggi:

- Il bambù, il sughero e il calcestruzzo di canapa sono materiali di origine vegetale che crescono rapidamente e assorbono naturalmente anidride carbonica. Richiedono meno lavorazione rispetto ai materiali tradizionali come il cemento o la plastica. Questi materiali di origine biologica possono ridurre significativamente l'impronta di carbonio degli edifici (Mnasri et al., 2021).
- Il micelio è la struttura radicale dei funghi. Può essere coltivato per produrre blocchi o pannelli da costruzione. Questo materiale è leggero, completamente compostabile e non necessita di trattamenti chimici. Viene spesso utilizzato nell'architettura verde (Alaneme & Anaele, 2023).
- Il biocalcestruzzo è un tipo speciale di calcestruzzo che ripara le proprie crepe grazie all'azione dei batteri. Questi batteri producono una sostanza naturale che sigilla la fessura quando penetra l'umidità. Questa innovazione riduce le esigenze di manutenzione e prolunga la vita utile degli edifici (Aytekin et al., 2024).
- Il vetro a bassa emissività (Low-E) riflette il calore ma lascia passare la luce naturale. Questo tipo di vetro contribuisce a ridurre il consumo energetico per il riscaldamento e il raffreddamento, garantendo al contempo l'accesso alla luce naturale, elemento vitale negli spazi biofilici (Elverici, 2024).

L'utilizzo di questi materiali rende le città più sostenibili e supporta l'obiettivo principale del design biofilico: migliorare il nostro legame con la natura proteggendo al contempo l'ambiente.

Che cos'è il Design Thinking?

Il design thinking è un processo creativo che aiuta le persone a ideare soluzioni a problemi complessi. Non si tratta solo di rendere le cose esteticamente gradevoli, ma di soddisfare bisogni reali in modo intelligente ed efficace.

Comprende cinque fasi:

1. Empatizzare: comprendere i bisogni delle persone.
2. Definire – Identificare il problema principale.
3. Ideare – Generare soluzioni creative.
4. Prototipo – Realizza un modello o una versione di prova.
5. Test – Provalo e miglioralo in base al feedback.

Nella progettazione biofilica, si potrebbe utilizzare il design thinking per creare:





- Una panchina da parco realizzata con legno locale e schiuma di micelio.
- Un cortile scolastico con luce naturale, alberi e sedute a forma di foglie.
- Una piccola serra sul tetto che raccoglie l'acqua piovana.

Le ricerche dimostrano che l'utilizzo del design thinking nei progetti di sostenibilità aiuta le persone a collaborare meglio e a creare soluzioni concrete. Viene già impiegato per affrontare sfide importanti come il cambiamento climatico, i trasporti ecologici e l'edilizia sostenibile (Leal Filho et al., 2024).

2. Esecuzione: Applicazione del design biofilico nella pratica e prototipazione con la realtà aumentata

Introduzione:

Per passare dalla comprensione del design biofilico alla sua applicazione pratica, gli studenti devono esplorare come le strategie basate sulla natura possano essere tradotte in spazi urbani reali. Il design biofilico non è solo un insieme di idee; è un approccio progettuale che richiede un'integrazione ponderata di sistemi ambientali, materiali e tecnologie nel tessuto urbano.

Questa parte del modulo formativo assume un carattere pratico, creativo e digitale. Gli studenti sono incoraggiati a pensare come urbanisti, architetti ed ecologi urbani, proponendo nuove idee che incarnino i principi della biofilia. Allo stesso tempo, vengono introdotti strumenti digitali come la Realtà Aumentata (AR) come piattaforme di supporto che consentono agli studenti di visualizzare e prototipare i propri progetti. La AR fornisce un livello interattivo all'esperienza di apprendimento, collegando il pensiero concettuale e la pianificazione spaziale e incoraggiando la sperimentazione in un ambiente virtuale. Studi recenti confermano che gli strumenti AR migliorano la consapevolezza spaziale e il pensiero progettuale degli studenti quando si impegnano in progetti di sostenibilità e STEM (Wu et al., 2020; Bower et al., 2017).

Questa sezione promuove la crescita tecnica e creativa combinando analisi di casi studio, prototipazione di design e modellazione basata sulla realtà aumentata. Contribuisce a colmare il divario tra conoscenza teorica e applicazione pratica, un passo cruciale per consentire ai giovani studenti di immaginare città più verdi, più sane e più a misura d'uomo.

Sfida di Design Thinking: ripensare gli spazi urbani con i principi della biofilia

L'applicazione creativa dei principi biofilici inizia con la capacità di osservare, criticare e migliorare gli spazi attraverso una prospettiva orientata alla risoluzione dei problemi. Il design thinking, una metodologia strutturata e incentrata sull'uomo, offre un solido quadro di riferimento per questo compito. Ampiamente utilizzato in ambito educativo, ingegneristico e architettonico, il design thinking promuove l'innovazione attraverso l'empatia, l'ideazione, la prototipazione e l'iterazione. La sostenibilità e gli ambienti costruiti incoraggiano gli studenti ad affrontare sfide complesse combinando la conoscenza ecologica con l'esplorazione creativa (Leal Filho et al., 2024).





Questa attività guida gli studenti attraverso un ciclo di design thinking, in cui reimmaginano uno spazio urbano esistente, sia esso nel loro ambiente locale o in un contesto immaginario. Il processo inizia con una valutazione critica dei limiti attuali del sito. Questi possono includere l'esposizione al calore, la scarsa ventilazione, la mancanza di vegetazione, le superfici impermeabili o la bassa biodiversità. Partendo da questa valutazione, gli studenti definiscono una serie di esigenze o sfide progettuali che riflettono le priorità ambientali e umane.

La fase di ideazione introduce soluzioni biofiliche: strategie che traggono ispirazione dalla natura per risolvere problemi come il surriscaldamento, la scarsa qualità dell'aria o l'isolamento sociale. Basandosi sui principi delineati in *14 modelli di design biofilico* Secondo Browning et al. (2014), gli studenti sono incoraggiati a considerare i collegamenti diretti e indiretti con la natura, tra cui il verde, le fontane, la selezione dei materiali e le configurazioni spaziali che promuovono un senso di rifugio o di prospettiva. Le soluzioni possono includere l'introduzione di spazi di ritrovo ombreggiati con chiome di alberi, l'integrazione di pareti verdi per migliorare la qualità dell'aria e il comfort termico, o l'inserimento di canali d'acqua per assorbire e gestire l'acqua piovana.

Nell'ambito del loro lavoro creativo, gli studenti sviluppano un piano concettuale per lo spazio riprogettato, concentrandosi sull'accesso alla luce naturale, sulla circolazione naturale dell'aria, sui corridoi di biodiversità e sull'interazione sensoriale con materiali organici. Queste idee sono ispirate ai principi della biofilia e ad analisi di ambito STEM, ad esempio applicando la geometria per ottimizzare la disposizione, la biologia per selezionare le specie vegetali appropriate e la fisica per pianificare strategie di ventilazione passiva.

Per guidare ulteriormente questo processo, il Global Wellness Institute (2018) fornisce un quadro pratico su come la progettazione biofilica possa migliorare il benessere della comunità attraverso l'accesso alla natura, una maggiore mobilità e la diversità sensoriale. Queste linee guida incoraggiano i progettisti a pensare in modo olistico, considerando gli spazi urbani non solo come infrastrutture fisiche, ma anche come luoghi di salute, connessione emotiva e resilienza ambientale.

In definitiva, questa sfida promuove la comprensione del design biofilico come un'impresa scientifica e incentrata sull'uomo, che richiede ragionamento tecnico, empatia e creatività per risolvere problemi urbani concreti.

Prototipazione in realtà aumentata: visualizzare futuri urbani ispirati alla natura.

Dopo aver sviluppato un concept di riprogettazione attraverso il processo di design thinking, gli studenti passano alla prototipazione delle loro idee utilizzando la realtà aumentata (AR). La realtà aumentata offre un'entusiasmante opportunità per dare vita a visioni biofiliche, consentendo agli studenti di inserire elementi naturali all'interno di una replica digitale dello spazio urbano selezionato. Questa fase rafforza il ragionamento spaziale e permette un coinvolgimento più profondo con gli elementi di design precedentemente concettualizzati.





Utilizzando piattaforme come CoSpaces Edu o Assemblr EDU, gli studenti creano visualizzazioni 3D interattive che includono elementi biofilici fondamentali. Questi possono consistere in viali alberati, giardini pensili, vasche d'acqua riflettenti, corridoi ventilati naturalmente o tettoie con motivi a foglie ispirate alla geometria frattale. L'obiettivo è modellare lo spazio riprogettato prestando particolare attenzione alle prestazioni ambientali e all'esperienza dell'utente.

Studi recenti dimostrano che la realtà aumentata (AR) può supportare significativamente l'educazione ambientale e la creatività, soprattutto quando gli studenti progettano con obiettivi di sostenibilità (Wu et al., 2020). In questo esercizio, gli studenti sono incoraggiati ad annotare i loro progetti, descrivendo la funzione di ogni elemento biofilico, il principio STEM che riflette e il beneficio atteso per la salute umana ed ecologica.

Oltre alla modellazione digitale, i prototipi in realtà aumentata possono essere utilizzati per presentazioni e revisioni tra pari, in cui gli studenti spiegano e difendono le proprie scelte progettuali. Questa fase riflessiva aggiunge un livello di pensiero critico e capacità comunicative, rafforzando l'alfabetizzazione progettuale e la consapevolezza ambientale.

Progetti scolastici di design biofilico: apprendimento attraverso l'esperienza nell'istruzione secondaria

Introdurre il design biofilico agli studenti delle scuole secondarie rappresenta una potente opportunità educativa per collegare le conoscenze teoriche alle sfide ecologiche del mondo reale. Negli ultimi anni, diverse scuole superiori in tutta Europa hanno implementato progetti a orientamento biofilico che coinvolgono gli studenti nel ripensare gli ambienti costruiti attraverso un pensiero basato sulla natura. Queste iniziative promuovono la consapevolezza ecologica, favoriscono il benessere e supportano l'apprendimento interdisciplinare che abbraccia biologia, scienze ambientali, design e architettura.

Sebbene non sempre etichettato come *design biofilico*, molti di questi progetti affrontano esplicitamente i principi fondamentali della biofilia, come il potenziamento del contatto sensoriale con gli elementi naturali, il miglioramento della qualità dell'aria e la progettazione di ambienti di apprendimento all'aperto. Attraverso tali attività, gli studenti di età compresa tra i 14 e i 18 anni acquisiscono esperienza pratica nel ripensare gli spazi urbani ed educativi, spesso realizzando modelli, disegni o proposte di sostenibilità basate sulle loro osservazioni e interazioni con la natura.

- Esempio di progetto selezionato dalle scuole secondarie

La Putney High School, parte del Girls' Day School Trust di Londra, ha lanciato nel 2021 un innovativo progetto pilota di aule biofiliche per studiare come gli elementi naturali negli ambienti di apprendimento influenzino il benessere, la concentrazione e il coinvolgimento cognitivo degli studenti. Il progetto è stato pensato per studenti più grandi, di età compresa tra i 14 e i 18 anni, e sviluppato in collaborazione con ricercatori dell'Università di Oxford Brookes e dello Studio P Architects.





L'aula riprogettata ha incorporato molteplici elementi derivati da *14 modelli di design biofilico* (Browning et al., 2014), tra cui:

- Materiali e texture naturali: pannelli in legno, tessuti di lana e finiture grezze riducono l'affaticamento sensoriale e creano un'estetica visiva rilassante.
- Piante e verde: le piante da interno sono state integrate non solo per creare un collegamento visivo con la natura, ma anche per migliorare la qualità dell'aria e offrire effetti micro-rigeneranti.
- Illuminazione dinamica: i sistemi a LED sono stati ottimizzati per imitare i ritmi circadiani, favorendo l'attenzione e la regolazione dell'umore durante le diverse fasi della giornata scolastica.
- Progettazione acustica: sono stati inclusi materiali fonoassorbenti e zone silenziose per limitare la sovrastimolazione e creare aree di rifugio cognitivo.

Insegnanti e studenti che hanno utilizzato l'aula hanno riferito di aver riscontrato un miglioramento della concentrazione, una riduzione dello stress e un'atmosfera di apprendimento più piacevole. Oltre all'esposizione passiva agli elementi naturali, gli studenti hanno valutato l'impatto dell'aula, imparando a riflettere criticamente su come la progettazione ambientale influisca sulla salute e sul rendimento.

"Il feedback ricevuto dagli studenti che hanno utilizzato lo spazio è stato estremamente positivo", ha affermato Suzie Longstaff, preside della Putney High. "Si sono sentiti più rilassati, coinvolti e connessi al loro apprendimento."

- Riflessioni e opportunità per l'integrazione della realtà aumentata

Sebbene il progetto di Putney rappresenti un esempio di spicco di ambienti di apprendimento biofilici a livello di scuola secondaria, rimane incentrato sulla progettazione fisica degli ambienti. Le future versioni di tali progetti potrebbero trarre grande beneficio dall'integrazione della realtà aumentata (AR) per potenziare l'immaginazione e l'interattività.

La realtà aumentata potrebbe consentire agli studenti di:

- Prima di riprogettare fisicamente uno spazio, visualizza diverse configurazioni biofiliche.
- Sovrapponi dati come la direzione della luce solare, il flusso d'aria o i livelli sonori in tempo reale.
- Realizza prototipi virtuali di nuove funzionalità come pareti verdi, elementi acquatici o arredi ecologici.
- Partecipa a progetti collaborativi di progettazione urbana simulando zone biofiliche in cortili scolastici, tetti o aree pubbliche.

Questo tipo di integrazione consentirebbe agli studenti non solo di sperimentare ambienti biofilici, ma anche di crearli e condividerli digitalmente, utilizzando le competenze STEM in modo significativo e applicato.

Il progetto "Classe Biofilica" della Putney High School è un esempio di successo di come gli studenti delle scuole secondarie possano trarre beneficio da ambienti immersivi e a stretto





contatto con la natura. Con la crescente consapevolezza del legame tra ambiente, apprendimento e benessere, questo modello offre un valido punto di riferimento per altre scuole che desiderano integrare il pensiero biofilico nell'insegnamento.

Integrando tali iniziative con strumenti di progettazione digitale e prototipazione in realtà aumentata, i futuri progetti scolastici potrebbero diventare ancora più coinvolgenti, personalizzati e in linea con gli obiettivi di apprendimento del XXI secolo, dove sostenibilità, creatività e tecnologia si fondono.

3. MIGLIORARE – Padronanza di strumenti e concetti

Mentre le sezioni precedenti hanno introdotto i fondamenti del design biofilico e offerto agli studenti l'opportunità di esplorare e creare spazi integrati con la natura, quest'ultima sezione si concentra su come la realtà aumentata (AR) possa migliorare l'apprendimento, approfondire la comprensione spaziale e comunicare le idee biofiliche in modo più efficace.

Nell'istruzione secondaria, in particolare nell'apprendimento basato sulle discipline STEM, la realtà aumentata (AR) si è affermata come un potente strumento per collegare concetti ambientali astratti con esperienze spaziali concrete. Come dimostrano le ricerche di Wu et al. (2020) e Tang et al. (2022), la realtà aumentata aumenta il coinvolgimento, supporta il ragionamento spaziale complesso e migliora la capacità degli studenti di progettare e analizzare ambienti 3D. Queste qualità la rendono particolarmente adatta alla visualizzazione di elementi biofilici in contesti urbani, dove la disposizione, il flusso ambientale e la materialità giocano un ruolo chiave.

Grazie alla realtà aumentata (AR), i dispositivi digitali consentono agli studenti di inserire elementi ispirati alla natura, come alberi, strutture ombreggianti o elementi acquatici, in ambienti reali. Questo li aiuta a immaginare città più verdi e a simulare e valutare le proprie idee, rafforzando il legame tra la consapevolezza ambientale e la creatività digitale.

Di seguito è riportato un elenco selezionato di strumenti di realtà aumentata che supportano l'esplorazione e la comunicazione dei principi biofilici da parte di studenti di età compresa tra 14 e 18 anni. Ogni strumento offre diverse funzionalità, da semplici interfacce drag-and-drop a piattaforme di progettazione più complesse basate sulla simulazione.

Strumenti di realtà aumentata consigliati per il design biofilico e l'apprendimento STEM

1. CoSpaces Edu

Piattaforma: basata su browser, con app per iOS e Android

Ideale per: Creare scene 3D interattive in AR/VR, integrazione di codice, progettazione narrativa

Perché è utile:

CoSpaces Edu permette agli studenti di costruire ambienti immersivi e di portarli nel mondo





reale tramite la realtà aumentata. Supporta la programmazione basata sulla logica e le simulazioni fisiche, rendendolo uno strumento versatile per l'integrazione delle discipline STEM. Gli studenti possono modellare elementi biofilici come corridoi verdi, strutture ombreggianti o aule all'aperto, e poi esplorare i loro progetti in realtà mista.

Impatto educativo:

Bower et al. (2017) hanno evidenziato CoSpaces Edu come uno degli strumenti principali per potenziare le competenze creative e spaziali degli studenti delle scuole medie e superiori. Il programma supporta il coinvolgimento in temi di sostenibilità attraverso l'esplorazione e la presentazione.

Sito web:<https://cospaces.io>

2. Assemblr EDU

Piattaforma: basata sul Web, iOS, Android

Ideale per: prototipazione rapida, presentazioni di design visivo, apprendimento collaborativo

Perché è utile:

Assemblr EDU permette agli studenti di creare contenuti 3D utilizzando una libreria di modelli predefiniti o caricando i propri. È intuitivo e facile da usare, anche per chi si avvicina per la prima volta alla realtà aumentata. Gli studenti possono creare e posizionare elementi biofilici nei cortili scolastici, nei parchi pubblici o negli spazi urbani.

Impatto educativo:

Studi come quello di Tang et al. (2022) dimostrano come le attività di progettazione basate sulla realtà aumentata aiutino gli studenti a tradurre la teoria ambientale in espressioni visivamente e spazialmente ricche, promuovendo la consapevolezza ambientale attraverso un coinvolgimento digitale immersivo.

Sito web:<https://www.assemblrworld.com>

3. Reality Composer (Apple)

Piattaforma: iOS e macOS

Ideale per: progettazione spaziale di alta precisione, sovrapposizione di oggetti AR in ambienti reali

Perché è utile:

Reality Composer fa parte della suite di sviluppo di Apple e consente agli studenti di ancorare oggetti di realtà aumentata ad ambienti reali, manipolarli tramite sensori e simularne l'interazione con lo spazio e la luce. È particolarmente adatto a studenti delle scuole superiori di livello avanzato interessati ai dettagli architettonici.





Impatto educativo:

Questo strumento favorisce la comprensione della forma, delle proporzioni e dell'interazione tra gli elementi, competenze fondamentali sia nella progettazione architettonica che nella simulazione ambientale (Wu et al., 2020).

Sito web:<https://developer.apple.com/reality-composer/>

4. SketchAR

Piattaforma: iOS, Android

Ideale per: bozzetti concettuali in realtà aumentata, sperimentazione visiva a forma libera

Perché è utile:

SketchAR unisce disegno e realtà aumentata, risultando ideale per gli studenti che desiderano disegnare a mano libera le proprie idee direttamente nello spazio fisico. Questo strumento favorisce l'esplorazione organica di forme biomorfe come muri curvi, strutture ispirate agli alberi o elementi paesaggistici.

Sito web:<https://sketchar.io>

Conclusione e integrazione dell'apprendimento

L'integrazione della realtà aumentata nell'educazione al design biofilico consente agli studenti di diventare protagonisti attivi nell'immaginare ambienti urbani più sani. Si allinea con gli obiettivi STEM combinando osservazione, sperimentazione e progettazione tecnica, coinvolgendo al contempo creatività, collaborazione e consapevolezza della sostenibilità.

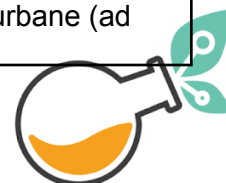
Al termine di questa sezione, gli studenti dovrebbero essere in grado di:

- Identificare e confrontare i principali strumenti di realtà aumentata (AR) a fini di progettazione.
- Utilizza almeno un'app di realtà aumentata per visualizzare un elemento urbano biofilico.
- Rifletti su come l'uso della realtà aumentata approfondisca la loro comprensione dello spazio, della natura e dell'interazione umana con l'ambiente costruito.





● Fase	Descrizione
Esplorare	- Introduzione ai concetti biofilici: Presentare agli studenti la scienza e lo scopo del design biofilico negli ambienti urbani. - Contestualizzazione STEM: identificare i principi biologici, fisici, matematici e tecnologici rilevanti per la progettazione urbana basata sulla natura. - Osservazione ambientale: guidare gli studenti nell'osservazione e nella documentazione di modelli naturali in contesti urbani locali o scolastici. - Ricerca concettuale: Esplorare esempi globali di città biofile e di integrazione della natura urbana (ad esempio, i corridoi verdi di Singapore, le foreste verticali di Milano). - Analisi dei bisogni: Individuare le lacune negli spazi di apprendimento esistenti e nella comprensione da parte degli studenti dei sistemi urbani sostenibili.
Eseguire	- Design Thinking in pratica: Facilitare le sfide di riprogettazione degli spazi urbani guidate dagli studenti utilizzando strategie biofiliche in linea con i principi STEM. - Prototipazione interattiva: coinvolgere gli studenti nello sviluppo di interventi urbani biofilici specifici per il sito o concettuali (ad esempio, tetti verdi, giardini pluviali, corridoi naturali). - Prototipazione in realtà aumentata: gli studenti visualizzano i loro spazi riprogettati utilizzando strumenti di realtà aumentata come CoSpaces Edu o Assemblr EDU, simulando luce naturale, flusso d'aria e forme organiche. - Progetti collaborativi: Incoraggiare il lavoro di squadra nella creazione di ambienti digitali biofilici che riflettano i servizi ecosistemici e il benessere umano. - Feedback e riflessione tra pari: gli studenti presentano i loro progetti, ricevono una valutazione dai compagni e riflettono su come la natura e la tecnologia possano contribuire a creare città più sane.
Migliorare	- Sviluppo di competenze in realtà aumentata: approfondire la comprensione degli strumenti di realtà aumentata e della visualizzazione spaziale per la progettazione urbana. - Applicazione ai concetti biofilici: utilizzare la realtà aumentata per esplorare come elementi di design come facciate verdi, corridoi luminosi o chiome degli alberi funzionano in spazi reali. - Narrazione basata sulla realtà aumentata: gli studenti raccontano i loro progetti biofilici utilizzando annotazioni in realtà aumentata, dimostrando la logica STEM alla base delle loro scelte progettuali. - Esperienze di apprendimento ludicizzate: • Guadagna punti e distintivi individuando o posizionando elementi biofilici (ad esempio, alberi autoctoni, materiali naturali). • Progressi attraverso "missioni" di progettazione che simulano problematiche urbane (ad esempio, la gestione dell'ombra o del deflusso dell'acqua).





- Lavorate in team a simulazioni di "città verdi" e gareggiate per progettare lo spazio più sostenibile.
- Valutazione basata sulla realtà aumentata: Valutare la comprensione del design attraverso interazioni con la realtà aumentata (ad esempio, sfide basate sul luogo o risposte a scenari), misurando sia il ragionamento spaziale che l'applicazione delle conoscenze STEM.

Risorse:

Absolutely Education. (2022). Progetto pilota di aula biofilica – Putney High School.
<https://absolutely-education.co.uk/biophilic-design-in-schools/>

Alaneme, K. K., & Anaele, J. U. (2023). Compositi a base di micelio: una revisione delle procedure di biofabbricazione, delle proprietà dei materiali e del potenziale per applicazioni nell'edilizia e nelle costruzioni ecocompatibili. *Alexandria Engineering Journal*, 83(2), 234–250.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012>

Al Sayyed, H., & Al-Azhari, W. (2025). Indagine sul ruolo del design biofilico per migliorare il comfort negli spazi residenziali: risposta fisiologica umana in un ambiente virtuale immersivo. *Frontiers in Virtual Reality*, 6, 1411425

Aytekin, A., et al. (2024). Progressi nel calcestruzzo autoriparante microbico: una revisione critica dei meccanismi, degli sviluppi e delle direzioni future. *Science of The Total Environment*, 905, 167504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167504>

Beatley, T. (2011). *Città biofile: Integrazione della natura nella progettazione e pianificazione urbana*. Island Press.

Beatley, T. (2017). *'Manuale di pianificazione e progettazione urbana biofilica'*. Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics. doi: 10.5822/978-1-61091-621-9.

Bewza, A. (2012). *'Collegare i confini: la nozione adattabile di casa, ProQuest Dissertations and Theses.'* Università di Manitoba (Canada). Disponibile





all'indirizzo: <http://libresources.sait.ab.ca/login?url=https://search.proquest.com/docview/1314574108?accountid=13652>.

Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). 14 Modelli di Progettazione Biofilica: Migliorare la Salute e il Benessere nell'Ambiente Costruito. Terrapin Bright Green. <https://www.terrapinbrightgreen.com/reports/14-patterns>

Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2017). Realtà aumentata nell'istruzione: casi, contesti e potenzialità. *Educational Media International*, 54(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2017.1404355>

Elverici, G. (2024). Il vetro a bassa emissività sta rivoluzionando l'efficienza degli edifici. Ecco come. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2024/06/low-emissivity-glass-revolutionizing-building-efficiency/>

Global Wellness Institute. (2018). Costruire bene per vivere bene: Linee guida per la progettazione biofilica. <https://globalwellnessinstitute.org/wp-content/uploads/2018/12/biophilicdesignguide-en.pdf>

Gray, T. e Birrell, C. (2014). 'Gli edifici per uffici progettati in chiave biofilica sono collegati a benefici per la salute e a occupanti ad alte prestazioni?', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(12), pp. 12204–12222. doi: 10.3390/ijerph111212204.

Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Rassegna sull'impatto della geometria urbana e del verde sul comfort termico esterno. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002–1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>

Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *L'esperienza della natura: una prospettiva psicologica*. Cambridge University Press.

Kellert, S. R., Heerwagen, J. H., & Mador, M. L. (2008). *Progettazione biofilica: teoria, scienza e pratica per dare vita agli edifici*. Wiley.

Kellert, S. R. e Calabrese, E. F. (2015). 'La pratica del design biofilico', *Biophilic-Design.Com*, pp. 1–20. doi: 10.1063/1.1387590.

Leal Filho, W., Salvia, A. L., Lazzarini, B., & Will, M. (2024). Design thinking per lo sviluppo sostenibile: un'analisi bibliometrica e una ricerca di casi studio. *Journal of Cleaner Production*, 455, 142285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142285>.

Li, D., & Sullivan, W. C. (2016). Impatto della vista sul paesaggio scolastico sul recupero dallo stress e dalla fatica mentale. *Landscape and Urban Planning*, 148, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.015>





Mangone, G. et al. (2017). 'Portare la natura al lavoro: preferenze e percezioni degli spazi di lavoro interni costruiti e degli spazi di lavoro esterni naturali', *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.ufug.2017.02.009

Mnasri, S., et al. (2021). Materiali da costruzione di origine biologica per un futuro sostenibile: una panoramica. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00679.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00679>

Orman, P. (2017). 'Comprendere l'ipotesi della biofilia attraverso un'analisi comparativa di Tipologie residenziali a Phoenix, San Paolo e Tokyo', *ProQuest Dissertations and Theses*. Arizona State University. Disponibile all'indirizzo:
<http://libresources.sait.ab.ca/login?url=https://search.proquest.com/docview/1965514378?accountid=13652>

Senthil. M, Jayalakshmi. S. (2025). Architettura biofilica: integrare la natura nell'architettura per una vita sostenibile e un benessere migliorato. *IJRPR*, DOI:
<https://doi.org/10.55248/gengpi.6.0325.1237>.

Spivack, A. J., Askay, D. A. e Rogelberg, S. G. (2010). 'Spazi di lavoro fisici contemporanei: una rassegna della ricerca attuale, delle tendenze e delle implicazioni per la futura indagine in psicologia ambientale', in *Environmental Psychology: New Developments*, pp. 37–62. Disponibile all'indirizzo:
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84895332762&partnerID=40&md5=fac398af48d1741786ee330bdf164ca6>.

Szewrański S, Mrówczyńska MM, Hoof J van. Biofilia nel design contemporaneo: orientarsi tra opportunità e sfide future. *Indoor and Built Environment*. 2024;34(1):3-6.
doi:10.1177/1420326X241262626.

Tang, J., Fan, X., & Deng, Y. (2022). Realtà aumentata e consapevolezza ambientale: esplorare approcci immersivi nell'educazione alla sostenibilità. *International Journal of Environmental and Science Education*, 17(4), 55–72.

Terrapin Verde Brillante. (2012). L'economia della biofilia.

UCEM – University College of Estate Management. (2022). Biofilia: esempi nell'ambiente costruito.
<https://www.ucem.ac.uk/whats-happening/articles/biophilia-examples-built-environment/>

Ulrich, R. S. (1984). La vista attraverso una finestra può influenzare il recupero dopo un intervento chirurgico. *Science*, 224(4647), 420–421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>

Ulrich, R. S. (1991). Effetti dell'arredamento d'interni sul benessere: teoria e recenti ricerche scientifiche. *Journal of Health Care Interior Design*.





Vagal, R. (2020), Teoria del design biofilico, Gruppo Mohawk.

Van den Berg, A. E., Koole, S. L., & Van der Wulp, N. Y. (2003). Preferenza ambientale e ripristino: (Come) sono correlati? *Journal of Environmental Psychology*, 23(2), 135–146.

Wilson, E. O. (1984). *Biofilia*. Harvard University Press.

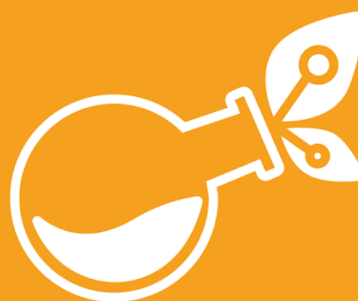
Wijesooriya, M., et al. (2023). Framework di progettazione biofilica: una revisione della struttura, delle tecniche di sviluppo e della loro compatibilità con i criteri di progettazione sostenibile LEED. *Journal of Green Building*, 18(1), 45-60.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2020). Stato attuale, opportunità e sfide della realtà aumentata nell'istruzione. *Computers & Education*, 62, 41–49.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>





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.