



Co-funded by
the European Union

Luce e cervello: esplorare i neuroni e la sensibilità alla luce



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."

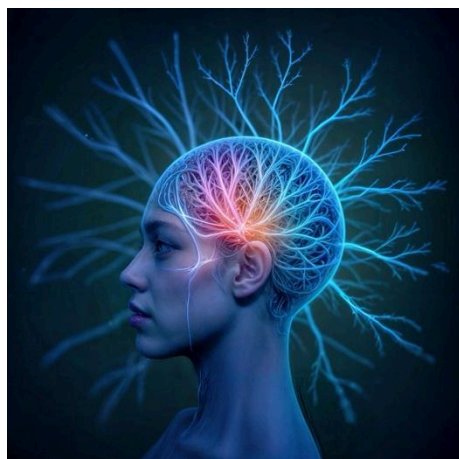




SOMMARIO

· Introduzione.....	2
· Sistemi duali di rilevamento della luce: fotorecettori e vie neurali.....	2
· Come la luce influenza i sistemi biologici.....	3
· Attività EEG.....	7
· Benefici legati all'attività cerebrale e al comportamento.....	
· Realtà aumentata e risposta cognitiva.....	
· Esplorare l'attività cerebrale attraverso la realtà aumentata.....	
.12	
· Risorse.....	18





Argomento generale del percorso di apprendimento	Neuroscienze e luce: comprendere le risposte del cervello alla luce
Nome specifico dell'unità didattica	Luce e cervello: alla scoperta dei neuroni e della sensibilità alla luce.
Età target degli utenti	14-18 anni
Prerequisiti per gli studenti	Conoscenze di base di biologia e fisica
Descrizione dell'unità didattica	Questa unità didattica guiderà insegnanti e studenti alla scoperta di come la luce influisce sul cervello e di come i neuroni rispondono a stimoli esterni come la luce. Gli strumenti di realtà aumentata (AR) miglioreranno la visualizzazione, consentendo agli studenti di interagire con modelli 3D di neuroni e strutture cerebrali. Gli studenti esploreranno applicazioni concrete come i ritmi circadiani, l'optogenetica e la fototerapia.
Soggetti coinvolti	Fisica, Biologia, Neuroscienze, Scienze cognitive
Parole chiave	Luce, Neuroscienze, Neuroni, Cervello, Ritmi circadiani, Optogenetica, Realtà aumentata, Visualizzazione, Apprendimento interattivo
Competenze chiave, abilità, conoscenze che possono essere acquisite	- Comprendere come i neuroni comunicano e rispondono agli stimoli - Esplorare l'impatto della luce sulle funzioni cerebrali come il sonno, la vigilanza e le emozioni. - Capacità di risoluzione dei problemi attraverso applicazioni concrete (ad esempio, fototerapia, optogenetica) - Visualizzazione basata sulla realtà aumentata e apprendimento interattivo con modelli cerebrali
Risorse e strumenti didattici utilizzati	Articoli di ricerca, libri, database scientifici, risorse online, strumenti di realtà aumentata (ad esempio, Merge Cube, JigSpace, BrainVR, Google Expeditions).
Criteri di valutazione e valutazione	Basato sulle conoscenze, abilità e competenze acquisite durante il corso, tra cui valutazioni basate sulla realtà aumentata, simulazioni interattive, compiti di problem solving e riflessioni degli studenti sulla luce e sul cervello.





Introduzione:

La luce influenza significativamente i processi fisiologici e cognitivi umani, andando oltre la vista e incidendo sull'attività neurale, sulle emozioni e sui ritmi biologici. La luce è un fattore ambientale importante che influenza diverse funzioni cerebrali. Studi clinici hanno dimostrato il potenziale terapeutico della fototerapia nel trattamento di condizioni come depressione, deficit cognitivi, dolore cronico e disturbi del sonno. Tuttavia, gli esatti meccanismi biologici attraverso i quali la fototerapia esercita i suoi effetti rimangono ancora da chiarire completamente (Huang et al., 2024).

Il cervello elabora la luce attraverso percorsi visivi e non visivi, regolando funzioni essenziali come i ritmi circadiani, i riflessi pupillari e le prestazioni cognitive. Ricerche recenti hanno dimostrato che la luce intensa migliora le prestazioni cognitive influenzando l'attività ipotalamica, suggerendo un legame diretto tra l'esposizione alla luce e l'acutezza mentale. <https://neurosciencenews.com/cognition-bright-light-25973/?utm> Inoltre, gli studi hanno dimostrato che i comportamenti di esposizione alla luce predicono l'umore, la memoria e la qualità del sonno, sottolineando il ruolo critico della luce nella regolazione neurofisiologica (Siraji e altri, 2023).

Nelle neuroscienze, l'optogenetica si è affermata come una tecnica rivoluzionaria che combina ottica e genetica per controllare e monitorare l'attività dei singoli neuroni nei tessuti viventi. I progressi nell'optogenetica hanno esteso le sue applicazioni oltre la ricerca di base, consentendo la regolazione delle attività cellulari per trattamenti biomedici come la fotomedicina e l'immunoterapia (Chen e altri, 2022).

Questi sviluppi evidenziano il potenziale terapeutico degli interventi basati sulla luce nel trattamento dei disturbi del sistema nervoso centrale, offrendo nuove possibilità nella neuroterapia (Geng e altri, 2023).

Inoltre, è stato dimostrato che l'intervento luminoso ha un impatto significativo sulla vigilanza e sulle prestazioni mentali, in particolare nel contrastare l'affaticamento cognitivo durante il calo post-pranzo, dimostrando come l'esposizione controllata alla luce possa ottimizzare l'efficienza umana (Askarpoor et al.).

Questo modulo formativo introduce gli studenti alle connessioni interdisciplinari tra neuroscienze, fisica e applicazioni biomediche, concentrandosi su come la luce influenzi l'attività cerebrale e le prestazioni cognitive. Gli studenti utilizzeranno l'app di realtà aumentata Brainapse per partecipare a esperienze di apprendimento interattive e visivamente coinvolgenti. Attraverso modelli cerebrali 3D dinamici e percorsi neurali animati, esploreranno come i neuroni rispondono a stimoli come la luce e come queste risposte si relazionano alle funzioni cognitive e sensoriali. Immergendo gli studenti in visualizzazioni realistiche di strutture e processi cerebrali, Brainapse favorisce una comprensione più approfondita della funzione neurale e incoraggia il pensiero critico sul ruolo della luce nella ricerca neuroscientifica e nelle tecnologie terapeutiche basate sulla luce.

Sistemi duali di rilevamento della luce: fotorecettori e vie neurali

Negli animali, compresi gli esseri umani, i fotorecettori (cellule sensibili alla luce) chiamati bastoncelli e coni si trovano nella retina, uno strato di tessuto nella parte posteriore dell'occhio che risponde alla luce. I



bastoncelli e i coni analizzano i segnali visivi trasmessi tramite segnali elettrici al cervello, che interpreta ciò che viene "visto". Un altro tipo di fotorecettori nella retina, chiamati cellule gangliari retiniche intrinsecamente fotosensibili (ipRGC), utilizzano lunghe protrusioni (assoni) che formano il nervo ottico per trasmettere i segnali visivi dai bastoncelli e dai coni. Le ipRGC svolgono anche altre funzioni, come la regolazione dei ritmi circadiani del corpo guidati dalla luce e la distinzione tra contrasto e colore. È noto che i fotorecettori negli animali rilevano la luce utilizzando una via di segnalazione che prende il nome dall'origine della cellula (<https://www.hopkinsmedicine.org/news/newsroom/news-releases/2024/01/retinal-photoreceptors-use-dual-pathways-to-tell-brain-ive-seen-the-light>).

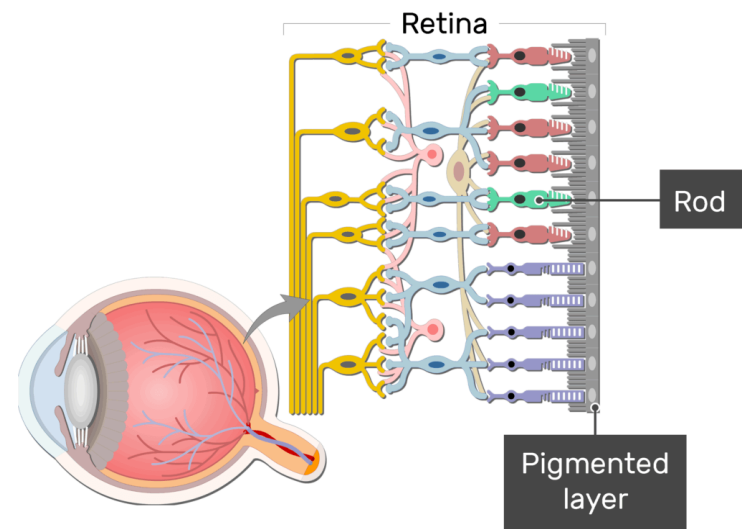


Figure 1. <https://www.getbodysmart.com/sensory-system/retina/>

Le persone trascorrono una parte significativa della loro vita in ambienti chiusi, stimata tra l'80% e il 90% (Thach et al., 2020). Pertanto, l'impatto degli ambienti interni sul comfort degli occupanti è diventato un tema centrale nella ricerca e nella pratica (Lamb et al., 2016). Negli ultimi anni, è stata prestata crescente attenzione al ruolo cruciale delle condizioni termiche e di illuminazione nella definizione degli ambienti d'ufficio (Konstantzos et al., 2020). È stato dimostrato che questi fattori ambientali influenzano fortemente i livelli di stress e le prestazioni lavorative dei dipendenti, incidendo in ultima analisi sulla soddisfazione individuale e di squadra (Witterseh et al., 2004). Tra questi, la temperatura di colore correlata (CCT) e la sensazione termica sono fondamentali, in quanto influenzano direttamente il comfort, lo stress e le prestazioni negli spazi interni.

Come la luce influenza i sistemi biologici

Le variazioni delle condizioni di illuminazione hanno ampi effetti su diverse funzioni fisiologiche e comportamentali, tra cui il ritmo circadiano, l'umore e la cognizione (LeGates et al., 2014).



La stabilità del ciclo solare funge da segnale cruciale per la regolazione del comportamento dei mammiferi, principalmente attraverso il suo impatto significativo sull'umore e sulle funzioni cognitive. Queste influenze sono state ampiamente studiate negli animali da laboratorio (Bedrosian et al., 2011; LeGates et al., 2012) e negli esseri umani (Vandewalle et al., 2010). Le alterazioni dell'esposizione alla luce, dovute a fattori ambientali naturali o ad attività umane come l'attraversamento di fusi orari e il jet lag, nonché il lavoro a turni, sono state associate a sintomi depressivi e deficit cognitivi (Roh et al., 2016).

- Ritmo circadiano

La salute del ritmo circadiano è essenziale per allineare gli orologi biologici interni dell'essere umano con i cicli naturali di luce e buio. È fondamentale per il benessere generale e influisce sul sonno, sull'umore e sul metabolismo.

Questo orologio biologico interno si trova in un minuscolo gruppo di cellule noto come nucleo soprachiasmatico (SCN). L'SCN è situato in una parte del cervello chiamata ipotalamo. Durante il giorno, i geni dell'orologio biologico interno presenti nell'SCN inviano segnali per controllare l'attività in tutto il corpo.

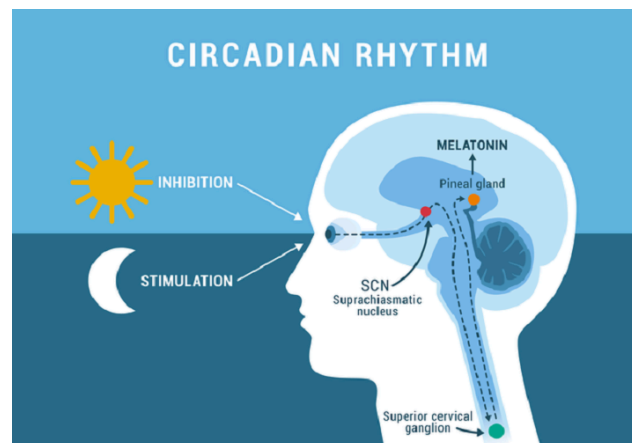


Figure 2. Circadian rhythm, source:

<https://www.okoa.org/articles/circadian-rhythm-see-what-is-it>

Le condizioni di illuminazione circadiana generate dalla luce diurna trasmessa offrono opportunità per migliorare sia l'efficienza energetica che la salubrità degli ambienti interni. Questi fattori che influenzano la luce diurna circadiana possono essere suddivisi in quattro dimensioni: a) la variazione della sorgente di luce diurna, che dipende dalle condizioni solari e del cielo; b) le proprietà ottiche e morfologiche dei vetri delle finestre, che modificano efficacemente la distribuzione spettrale e l'intensità della luce trasmessa; c) la progettazione degli spazi interni e le caratteristiche spettrali delle superfici, che influenzano la distribuzione della luce trasmessa all'interno dello spazio; e d) i fattori umani, che influenzano la quantità di esposizione alla luce diurna circadiana variando la direzione dello sguardo e l'altezza corneale. Ingegneri e architetti possono concentrarsi su queste dimensioni nel contesto di questi quattro fattori. Le proprietà delle finestre e le condizioni spaziali interne promuovono un ambiente



interno sano, influenzato dalla luce circadiana, poiché le dimensioni della sorgente di luce diurna e dei fattori umani sono imprevedibili e incontrollabili (Ardabili et al., 2025).

- Il riflesso pupillare: come reagiscono i nostri occhi alla luce?

La capacità della nostra pupilla di variare di dimensioni è una risposta fisiologica essenziale che regola la quantità di luce che raggiunge la retina per ottimizzare la vista e proteggere la retina stessa. Le pupille si restringono in risposta alla luminosità, mentre si dilatano in risposta al buio (fenomeno noto come riflesso pupillare alla luce). Al contrario, queste risposte sono correlate; si ritiene che siano guidate da percorsi neurali differenti (Mathôt, 2018).

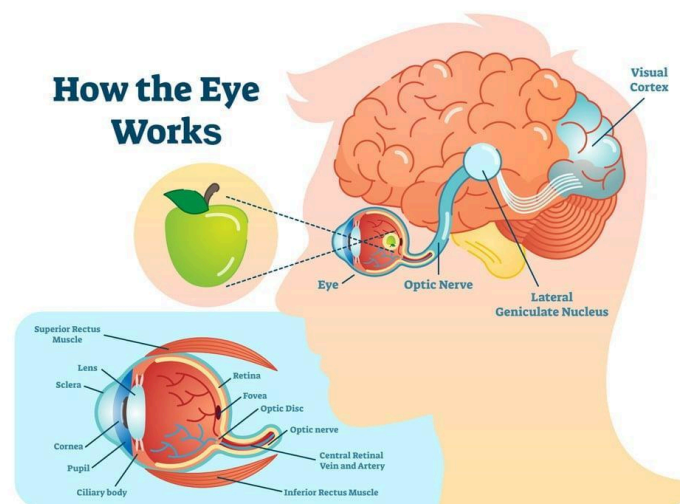


Figure 3. The Eye and the Brain, source: VectorMine/Shutterstock

- Percezione e comportamento umano:

La temperatura di colore correlata (CCT) e la sensazione termica sono fattori essenziali che influenzano gli ambienti interni e incidono significativamente sul comfort, sullo stress e sulle prestazioni lavorative degli occupanti. Effetti dell'illuminazione sulle prestazioni lavorative, sullo stress e sulla sensazione termica nell'ambiente di lavoro (Erkan et al., 2025). La temperatura di colore correlata (CCT) descrive l'aspetto della luce proveniente da una sorgente in termini di tonalità di colore. Viene comunemente classificata in calda o fredda: valori di CCT più bassi corrispondono a una luce più calda e giallastra, mentre valori più alti indicano una luce più intensa e bluastra (Liu et al., 2022).



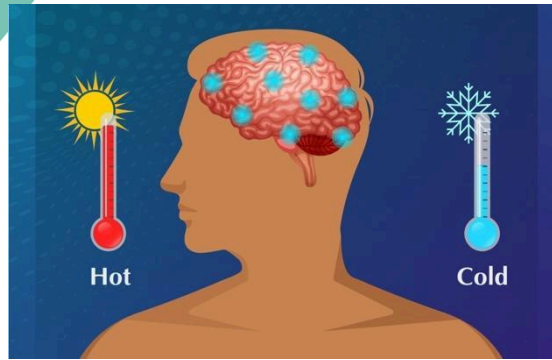


Figure 4. Brain and thermal sensation, source:
<https://www.waseda.jp/top/en/news/83173>

La percezione soggettiva dell'ambiente termico da parte degli individui è fondamentale per determinare il comfort degli occupanti ed è strettamente correlata alle prestazioni lavorative negli ambienti chiusi (Soto et al., 2022). Considerare le preferenze individuali in termini di sensazione termica è vitale per promuovere il comfort e la produttività, in particolare negli ambienti di lavoro. La ricerca ha dimostrato che quando le persone si adattano alle proprie condizioni termiche, sperimentano un maggiore comfort, una maggiore soddisfazione lavorativa e migliori prestazioni cognitive (Yeganeh et al., 2018).

Lo stress è la risposta dell'organismo all'incertezza o a richieste specifiche. Si manifesta tipicamente con reazioni di allarme, resistenza ed esaurimento. Queste fasi riflettono gli sforzi fisiologici del corpo per far fronte allo stress e sono caratterizzate dal rilascio di cortisolo, dall'aumento della frequenza cardiaca e dalla secrezione di adrenalina. Se la causa dello stress non viene risolta, l'organismo può entrare nella fase finale di esaurimento (Seley, 1956).

In ambito lavorativo, lo stress si riferisce alle reazioni fisiologiche e psicologiche che gli individui sperimentano quando percepiscono richieste o pressioni che superano la loro capacità di farvi fronte (Awada et al., 2023). Questo stress può manifestarsi con vari sintomi fisici, tra cui aumento della frequenza cardiaca, ipertensione, tensione muscolare, irritabilità, difficoltà di concentrazione e riduzione delle prestazioni cognitive (Askaripoor et al., 2018). Elevati livelli di stress sul posto di lavoro possono avere un impatto significativo sulla soddisfazione lavorativa, sulla produttività e sulle prestazioni. Uno stress eccessivo può anche comportare conseguenze negative come diminuzione della motivazione, difficoltà nel processo decisionale, minore creatività e aumento dell'assenteismo (Altindag, 2020).

L'elettroencefalogramma (EEG) e la variabilità della frequenza cardiaca (HRV) sono frequentemente utilizzati per valutare lo stress (Di az et al., 2019). L'EEG misura l'attività elettrica cerebrale, offrendo informazioni sui processi cognitivi ed emotivi correlati allo stress (Choi et al., 2015). L'HRV, d'altra parte, traccia gli intervalli di tempo tra i battiti cardiaci, indicando come il sistema nervoso autonomo regola lo stress (Kaklauskas et al., 2011).



Utilizzando EEG e HRV come indicatori oggettivi, i ricercatori nel campo della neuroarchitettura mirano a comprendere meglio le risposte fisiologiche alle diverse condizioni di illuminazione e termiche negli ambienti interni (Li et al., 2023).

Attività EEG:

L'elettroencefalografia (EEG) misura l'attività elettrica del cervello rilevando i segnali provenienti da elettrodi posizionati sul cuoio capelluto (Teplan, 2002). A seconda del dispositivo EEG, vengono utilizzati diversi sistemi di posizionamento degli elettrodi. I dati EEG grezzi vengono in genere raccolti e successivamente elaborati per estrarre bande di frequenza specifiche rilevanti per il rilevamento dello stress, principalmente le onde alfa e theta.

L'elaborazione dei dati EEG prevede diverse fasi. Innanzitutto, il segnale EEG continuo viene suddiviso in segmenti più brevi, o epoche, solitamente della durata di pochi secondi ciascuno, per semplificare l'analisi. Queste epoche vengono quindi sottoposte ad analisi spettrale, che calcola la densità spettrale di potenza e consente l'estrazione di caratteristiche nel dominio della frequenza (Yang et al., 2018). L'attenzione si concentra principalmente sulle bande di frequenza alfa (8-13 Hz) e theta (4-7 Hz), note per riflettere l'attività cerebrale correlata allo stress.

Le onde alfa sono tipicamente associate a stati di rilassamento e si osservano comunemente durante condizioni di riposo o passività (Prant & Smit, 2020). Al contrario, le onde theta sono collegate al carico cognitivo, all'attenzione e all'attivazione emotiva, il che le rende particolarmente rilevanti per la valutazione dello stress (Abdalahdi et al., 2024). Pertanto, la potenza all'interno di queste bande viene calcolata e analizzata per determinare i livelli di stress durante le sessioni sperimentali.

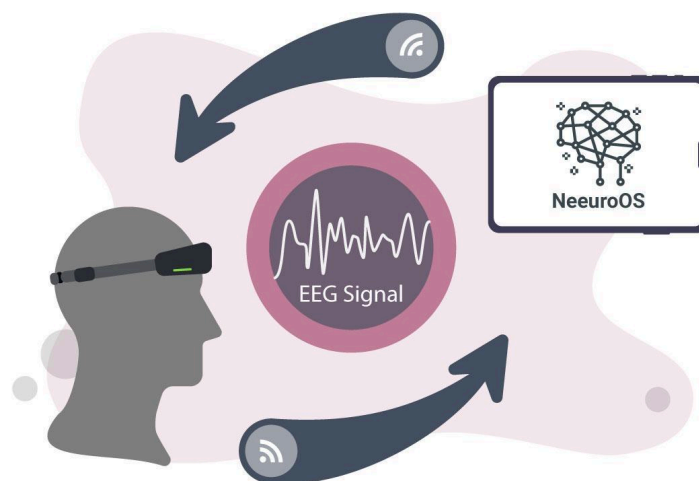


Figure 5. Electroencephalogram (EEG), source:
<https://www.neeuro.com/blog/understanding-electroencephalogram-eeeg-for-better-brain-health>



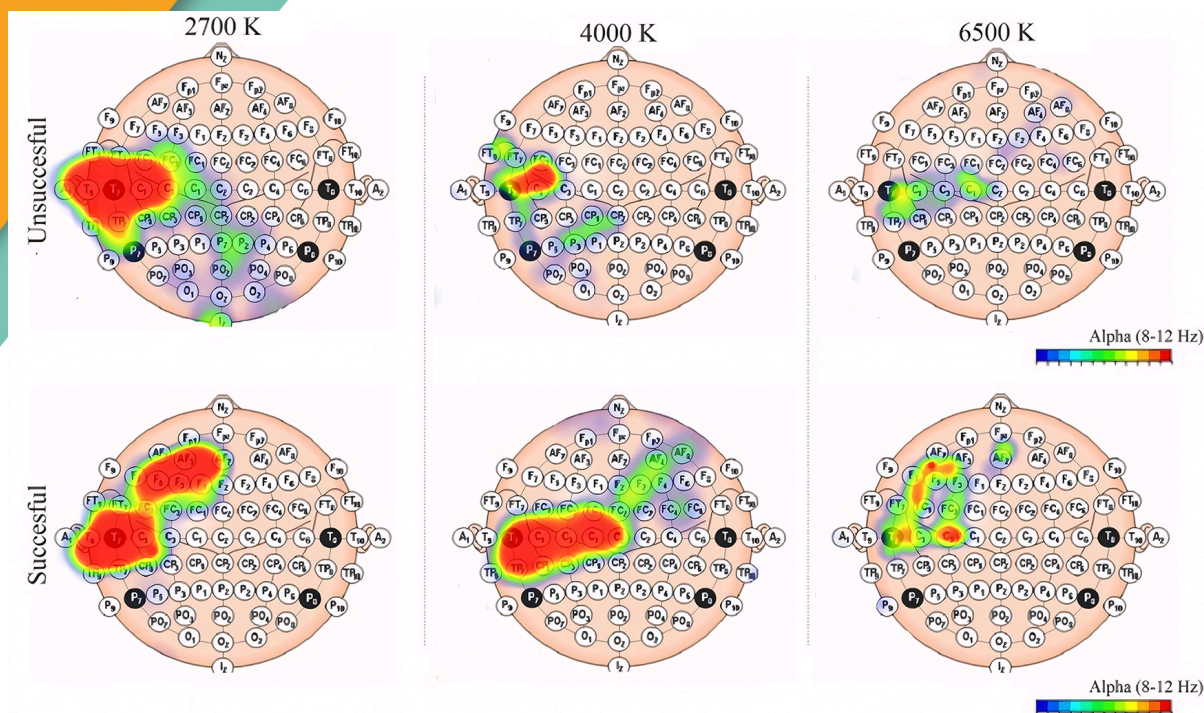


Figure 6. Brain maps change depending on the alpha power value of successful/unsuccessful participants at different CCT Levels, source: Erkan et al., 2025.

Le caratteristiche EEG cerebrali legate allo stress, come la riduzione della potenza alfa e l'aumento dell'attività theta, sono indicatori diretti di come la percezione, l'emozione e la cognizione siano influenzate dalle condizioni ambientali, in particolare dalla luce (Yang et al., 2018; Abdalhadi et al., 2024).

La fototerapia è un intervento mirato che utilizza luce artificiale ad alta intensità e ad ampio spettro per simulare la luce naturale del giorno e ripristinare l'orologio biologico interno. Solitamente somministrata tramite una lampada a luce pulsata da 10.000 lux, è particolarmente efficace al mattino per riallineare i ritmi circadiani e migliorare la regolazione neurale dello stress e dell'umore.

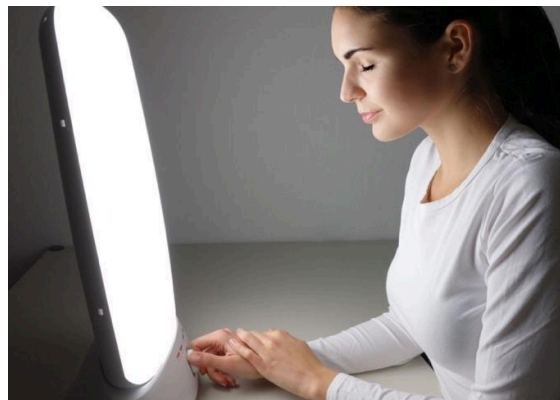


Figure 7. Light therapy, source:

<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/social-and-behavioural-sciences/psychology/bioclock-light-therapy-for-depression>





Benefici legati all'attività cerebrale e al comportamento:

- Aumenta le onde alfa (rilassamento): l'esposizione alla luce intensa aumenta la potenza delle onde alfa nell'EEG, segnalando una maggiore calma e prontezza cognitiva (Berger et al., 2022).
- Migliora i cicli sonno-veglia: uno studio di Stanford ha scoperto che la combinazione della terapia della luce con tecniche comportamentali ha dato agli adolescenti 43 minuti di sonno in più a notte, riducendo lo stress legato al sonno e migliorando il funzionamento quotidiano (Medicina di Stanford, 2019).
- Riduce i sintomi della depressione: la terapia con luce intensa aumenta l'attivazione cerebrale e la regolazione dell'umore, che è stata collegata a una maggiore attività prefrontale, fondamentale per la regolazione emotiva negli adolescenti (Berger et al., 2022).
- Ripristina i cicli di cortisolo e melatonina: l'esposizione mattutina alla luce intensa sopprime naturalmente la melatonina (l'ormone del sonno) e aumenta il cortisolo (l'ormone della vigilanza), aiutando il cervello a sentirsi più sveglio ed emotivamente equilibrato durante il giorno (Scheer & Buijs, 1999).
- Potenziare le applicazioni EEG tramite la realtà aumentata

L'integrazione dell'EEG con la realtà aumentata (AR) rappresenta una direzione promettente per lo sviluppo di ambienti immersivi e reattivi che riflettano gli stati neurofisiologici in tempo reale. Viczko et al. (2021) hanno esplorato questa sinergia combinando un'esperienza di meditazione in AR con il neurofeedback dell'asimmetria gamma frontale utilizzando una fascia per la testa EEG Muse. I partecipanti, tutti affetti da ansia o depressione di grado moderato, hanno preso parte a un'esperienza in AR progettata per evocare stati emotivi positivi. Hanno utilizzato esplicitamente l'app Healium per visualizzare farfalle che emergevano da una crisalide mentre si dedicavano alla meditazione della gentilezza amorevole.

Lo studio ha rivelato che sia il gruppo AR-only che il gruppo AR-plus-neurofeedback (AR+NF) hanno sperimentato miglioramenti significativi dell'umore, tra cui una riduzione della tensione e un aumento della calma, ma il gruppo AR+NF ha riportato un maggiore coinvolgimento. I dati EEG hanno mostrato un aumento dell'attività alfa e cambiamenti di tendenza nell'attività gamma, in particolare nelle regioni cerebrali legate alla regolazione emotiva, come la corteccia cingolata anteriore e l'insula. Questi risultati suggeriscono che la realtà aumentata potenziata dall'EEG può fungere da circuito di feedback in tempo reale, regolando l'ambiente in base all'attività delle onde cerebrali per approfondire i risultati meditativi o terapeutici.

In particolare, lo studio illustra come la realtà aumentata (AR) possa migliorare la ricerca e gli interventi basati sull'EEG attraverso:

- Visualizzazione del neurofeedback nel contesto, con conseguente aumento del coinvolgimento dell'utente.



- Consentire esperienze interattive di regolazione emotiva, principalmente attraverso meccanismi di feedback positivo come ricompense visive (ad esempio, farfalle che si schiudono quando vengono raggiunte determinate soglie EEG).
- Supporto per il monitoraggio dello stress in tempo reale, con l'EEG che funge da interfaccia biometrica dinamica che influenza i contenuti di realtà aumentata.

Pertanto, l'integrazione dell'EEG con la realtà aumentata offre un approccio educativo e terapeutico innovativo, migliorando la consapevolezza dell'utente riguardo ai propri stati interni. Si tratta di uno strumento potente per applicazioni nella gestione dello stress, nell'autoregolazione emotiva e nell'educazione alla salute mentale.

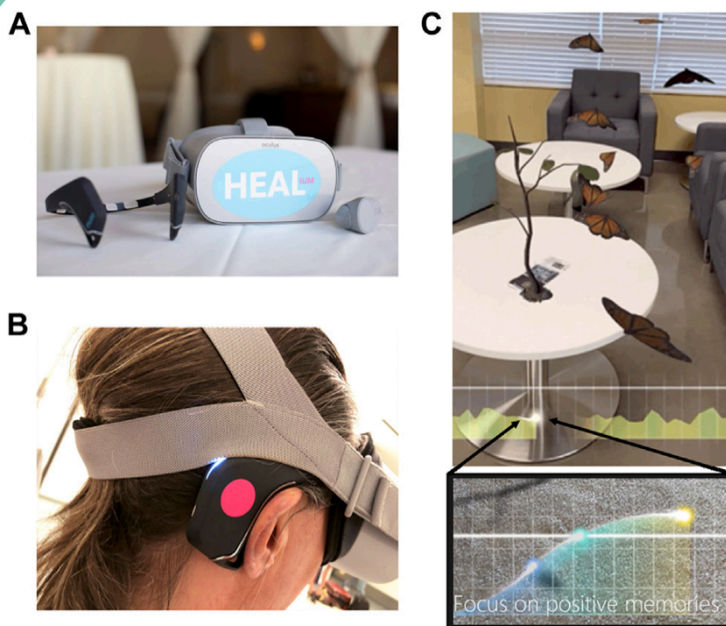


Figure 8. Examples of the equipment and AR visual experience: (A) Muse headband for neurofeedback and the Healium augmented reality headset. (B) The Healium neurofeedback setup is worn. (C) A screenshot of the AR-guided meditation with chrysalis hatching neurofeedback. Below is an enlarged image of the threshold line (solid) and "firefly" depicting gamma asymmetry ratios, with part of the meditation instruction shown in the text (Viczo et al., 2021).

Realtà aumentata e risposta cognitiva:

Le risposte fisiologiche sono influenzate dalla qualità dell'ambiente interno:

In media, le persone trascorrono circa il 90% del loro tempo all'interno degli edifici e consumano un'enorme quantità di energia per mantenere un ambiente interno confortevole.

La maggior parte dell'energia consumata negli edifici viene impiegata per mantenere la qualità ambientale interna (IEQ), e una riduzione eccessiva del consumo energetico può compromettere l'IEQ e quindi la qualità della vita (De Rosa et al., 2014). Pertanto, nella società moderna, minimizzare il consumo energetico negli edifici mantenendo al contempo un'IEQ soddisfacente non è più un'opzione, ma un'esigenza imprescindibile (Sujanov'a et al., 2019).

Nel frattempo, le tecnologie e i metodi per il monitoraggio del consumo energetico continuano a svilupparsi. I sistemi di gestione energetica contribuiscono ad aumentare l'efficienza energetica e si prevede che in futuro emergeranno processi più efficienti e tecnologie innovative (Aliero et



al., 2022). Ricerche precedenti suggeriscono che il consumo energetico può essere ridotto visualizzandolo tramite la tecnologia della realtà aumentata (AR) (Bekaro et al., 2018).

La realtà aumentata (AR) sta rapidamente diventando uno strumento rivoluzionario nell'insegnamento delle scienze, soprattutto per rendere sistemi biologici complessi come il cervello più accessibili agli studenti delle scuole superiori. Un'applicazione particolarmente interessante è l'utilizzo dell'AR per simulare le risposte cognitive e neurologiche alla luce, come la dilatazione pupillare, il tempo di reazione e l'attività neurale simulata. Questi sono indicatori chiave di come il cervello elabora gli stimoli luminosi ambientali e adatta di conseguenza il proprio comportamento.

L'esposizione alla luce innesca diverse risposte fisiologiche e neurologiche nel cervello. Ad esempio, la luce che entra nell'occhio attiva i fotorecettori retinici, dando il via a una cascata di eventi che raggiunge le regioni cerebrali responsabili della vigilanza e della regolazione circadiana. Una risposta ben documentata è la variazione delle dimensioni della pupilla, che riflette sia la luminanza che lo sforzo cognitivo. Come spiega Mathôt (2018), la pupillometria, ovvero la misurazione del diametro pupillare, offre una finestra sul carico cognitivo e sull'elaborazione sensoriale, rendendola uno strumento prezioso per studiare la funzione cerebrale in condizioni di luce variabili.

Sebbene le piattaforme di realtà aumentata non possano registrare direttamente l'attività cerebrale, possono essere programmate per simulare effetti neurologici basandosi su dati scientifici consolidati. La ricerca di Chang et al. (2012) ha dimostrato che anche brevi esposizioni a luce intensa possono migliorare significativamente la vigilanza cognitiva e alterare la sonnolenza soggettiva, risultati che possono essere integrati in ambienti interattivi di realtà aumentata per modellare effetti cognitivi realistici.



Figure 9. AR tools, Source:

<https://delta2020.com/blog/142-how-augmented-and-virtual-reality-could-help-bring-the-classroom-to-life>

Nella progettazione centrata sull'uomo, è fondamentale considerare come l'ambiente interno influenzi le risposte fisiologiche e cognitive. Elementi come l'illuminazione, il comfort termico, la



qualità dell'aria e l'acustica hanno un impatto significativo sul comfort, la produttività e il benessere degli occupanti (Al Horr et al., 2016; Frontczak & Wargocki, 2011). Questi fattori ambientali modellano le sensazioni fisiche degli individui e influenzano le funzioni cognitive, l'attenzione e gli stati emotivi. Ad esempio, Mendell e Heath (2005) hanno scoperto che la qualità degli ambienti interni nelle scuole influisce direttamente sul rendimento e sulla salute degli studenti, sottolineando la necessità di dare priorità all'esperienza dell'utente nella progettazione degli edifici.

Recenti studi hanno dimostrato che la visualizzazione del consumo energetico tramite realtà aumentata (AR) non influisce significativamente sulla soddisfazione soggettiva della qualità ambientale interna (IEQ), pur riducendo il consumo energetico interno. Un sistema AR monitora le reazioni e i comportamenti degli occupanti per modificare il consumo energetico. Tuttavia, è anche essenziale studiare gli effetti di queste misure sulla soddisfazione degli occupanti, poiché l'IEQ ha un impatto significativo sulla soddisfazione, la salute e la produttività degli occupanti (Mirzaei et al., 2020). Queste risposte fisiologiche includono la variabilità della frequenza cardiaca (HRV), l'elettroencefalogramma (EEG), l'attività elettrodermica (EDA) e la temperatura cutanea (SKT), che vengono utilizzate in molti studi relativi all'IEQ per valutare quantitativamente la soddisfazione soggettiva degli occupanti (Sun et al., 2020).

Esplorare l'attività cerebrale attraverso la realtà aumentata

La tecnologia è ormai parte integrante dell'istruzione e i risultati dimostrano che ha un impatto positivo sui metodi di apprendimento e insegnamento (Dübel et al. 2014). La tecnologia AR/VR può fornire esperienze simulate che sostituiscono temporaneamente o permanentemente alcune componenti dell'istruzione pratica (Bakharia et al. 2016). La realtà aumentata offre un modo efficiente per rappresentare un modello che necessita di visualizzazione, in modo che un modello cerebrale possa trarre il massimo beneficio dalla realtà aumentata.

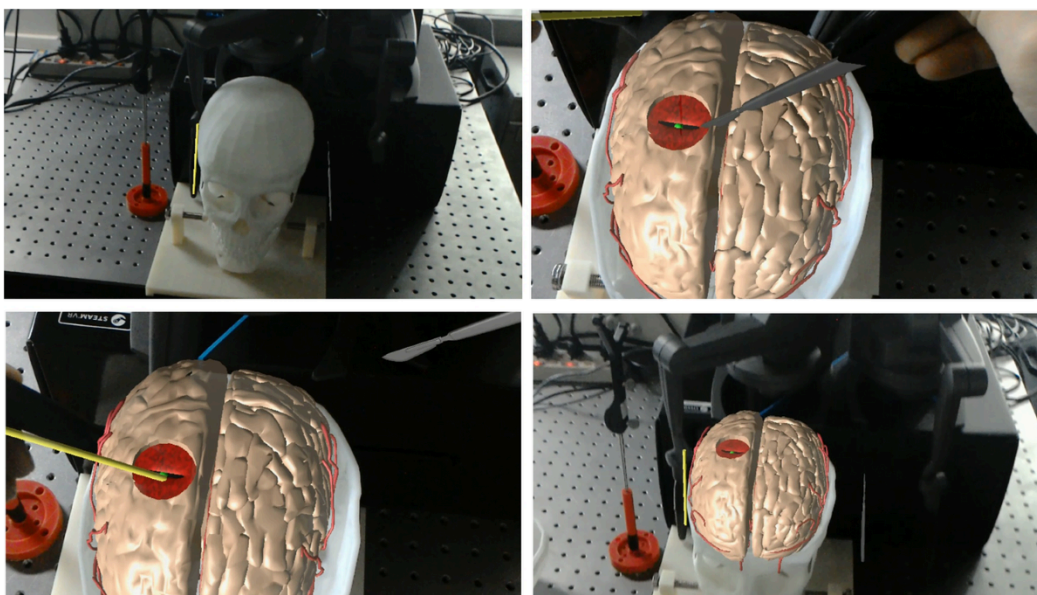


Figure 10. Augmented reality guidance for neurosurgery, source: Si et al., 2019.

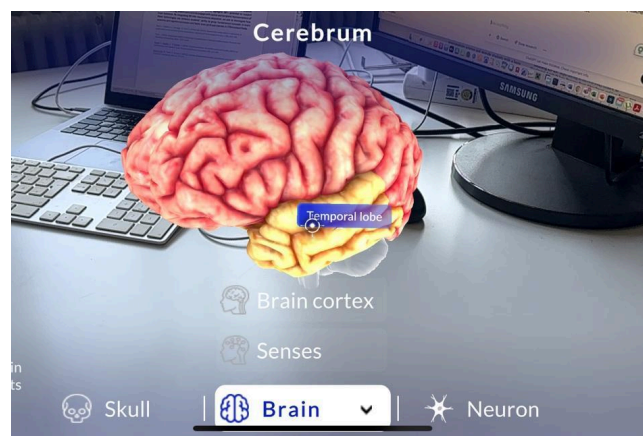


Negli ultimi anni, la realtà aumentata (AR) si è affermata come strumento trasformativo nell'istruzione e nelle neuroscienze, offrendo nuove possibilità per visualizzare e interagire con sistemi biologici complessi. Un'applicazione promettente risiede nell'esplorazione dell'attività cerebrale, dove l'AR può colmare il divario tra processi neurali astratti ed esperienze di apprendimento tangibili. L'AR consente la visualizzazione spaziale in tempo reale di strutture anatomiche e funzioni cerebrali, migliorando il coinvolgimento e la comprensione degli studenti (Bacca et al., 2014; Radu, 2014). Nel contesto dell'educazione alle neuroscienze, soprattutto tra gli studenti più giovani, le applicazioni di AR come *Brainapse* rappresentano un approccio innovativo alla comprensione dei meccanismi neurali sovrapponendo modelli digitali del cervello ad animazioni dell'attività cerebrale e delle funzioni cognitive.

Ciò è in linea con i risultati di Kucuk et al. (2016), i quali hanno riportato che gli ambienti di apprendimento basati sulla realtà aumentata (AR) migliorano significativamente la comprensione concettuale e la motivazione degli studenti nelle materie scientifiche. Inoltre, la ricerca di Billingham et al. (2015) evidenzia il potenziale della realtà aumentata nel supportare l'apprendimento esperienziale, in cui gli utenti interagiscono attivamente con rappresentazioni spaziali e temporali delle funzioni cerebrali. Integrando la realtà aumentata nell'educazione alle neuroscienze, miriamo a indagare come queste tecnologie possano migliorare la capacità degli studenti di comprendere i concetti fondamentali dell'anatomia cerebrale e dei processi cognitivi e promuovere un interesse più profondo nei campi STEM.

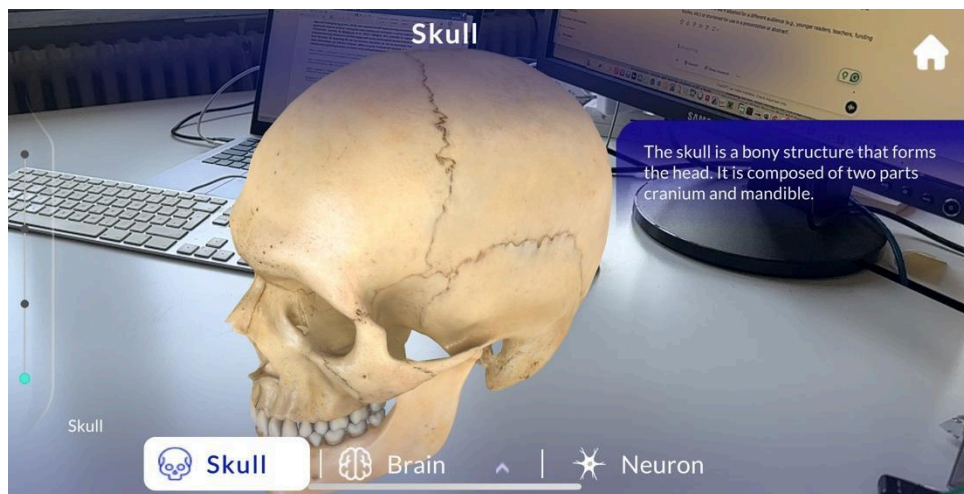
Brainapse è un'app educativa interattiva che utilizza la realtà aumentata (AR) per dare vita al cervello umano. Unendo modelli anatomici 3D ad ambienti reali, l'app offre agli studenti un modo coinvolgente per esplorare le strutture cerebrali, le vie neurali e le funzioni cognitive. Trasforma concetti biologici astratti in esperienze di apprendimento tangibili, risultando particolarmente utile per i più giovani o per chi si avvicina per la prima volta alle neuroscienze. Grazie alla sua chiarezza visiva e al design immersivo, Brainapse apre nuove opportunità per un apprendimento interattivo e guidato dalla curiosità, sia in classe che al di fuori di essa.

L'immagine sottostante mostra l'utilizzo della realtà aumentata per visualizzare il cranio umano in tre dimensioni. Attraverso Brainapse, gli studenti possono esplorare la struttura anatomica del cranio, composta da cranio e mandibola. Questa visualizzazione interattiva aiuta gli studenti a comprendere il ruolo protettivo del cranio e la sua importanza nell'ospitare il cervello, migliorando la consapevolezza spaziale e la memorizzazione grazie a una tecnologia immersiva.



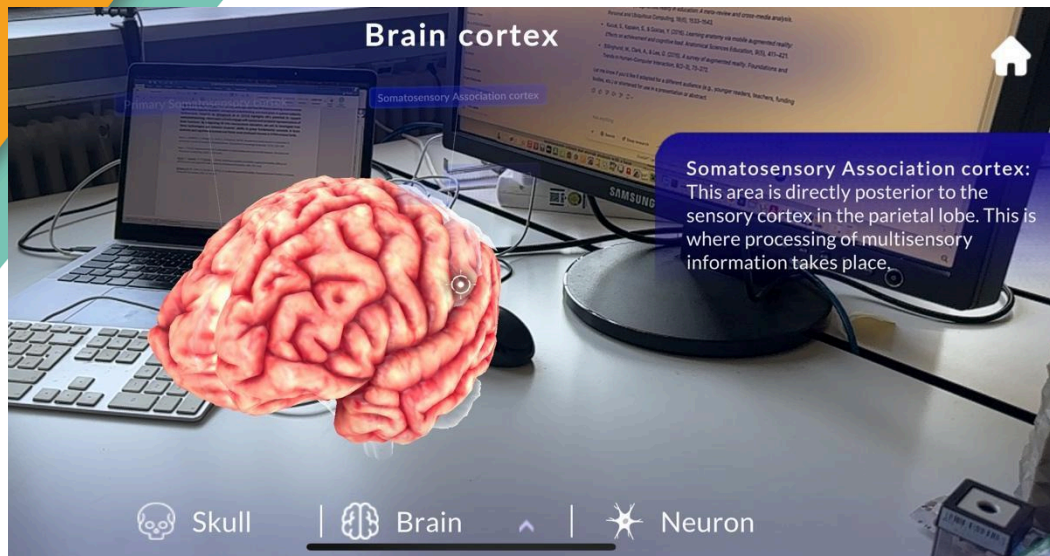


L'immagine sottostante mostra il cervello, con particolare attenzione al lobo temporale, una regione essenziale per l'elaborazione delle informazioni uditive e la formazione della memoria. Grazie alla realtà aumentata (AR), gli studenti possono interagire direttamente con le parti del cervello etichettate, favorendo una comprensione più approfondita della neuroanatomia funzionale. Tali elementi interattivi hanno migliorato la memorizzazione delle informazioni e la motivazione degli studenti nell'insegnamento delle scienze (Kucuk et al., 2016).

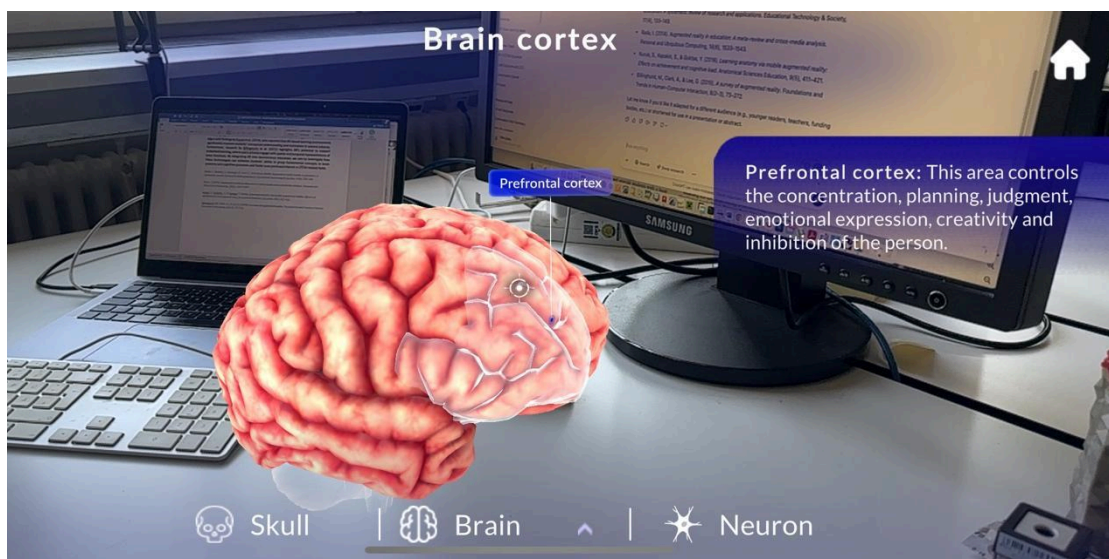


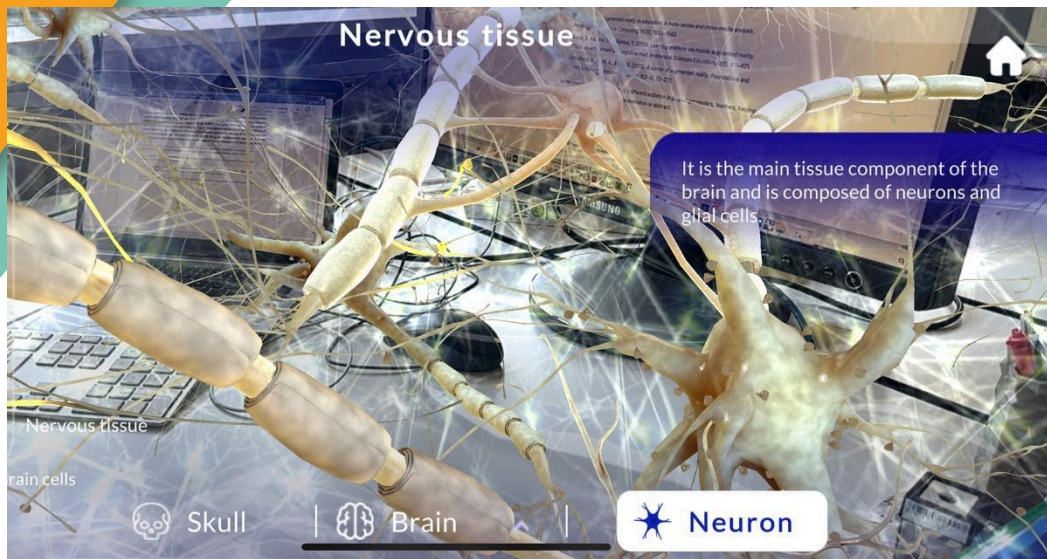
L'app mette in evidenza la corteccia associativa somatosensoriale situata nel lobo parietale. Questa regione integra e interpreta le informazioni sensoriali provenienti da diverse modalità. La realtà aumentata rende questo concetto più concreto per gli studenti, presentandolo in un contesto reale e consentendo un apprendimento esperienziale che favorisce il coinvolgimento multisensoriale (Bacca et al., 2014).





Questa visualizzazione si concentra sulla corteccia prefrontale, nota per il suo ruolo nella pianificazione, nel processo decisionale, nella creatività e nella regolazione emotiva. Brainapse permette agli studenti di collegare le funzioni cognitive alle loro posizioni anatomiche, creando un'esperienza di apprendimento efficace che unisce biologia e comportamento, come dimostrato da studi sull'apprendimento scientifico potenziato dalla realtà aumentata (Billinghurst et al., 2015).





Questa scena immerge gli studenti in una visione microscopica del tessuto nervoso, illustrando neuroni e cellule gliali in un ambiente dinamico e tridimensionale. Entrando virtualmente nel paesaggio cellulare del cervello, gli studenti possono apprezzare la complessità della comunicazione neurale e dell'organizzazione dei tessuti, un'esperienza difficile da replicare solo attraverso i libri di testo (Radu, 2014).

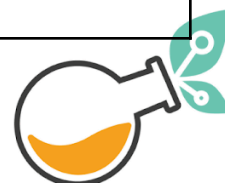
L'app Brainapse offre un'opportunità unica per supportare gli obiettivi di apprendimento di questa unità formativa. *Luce e cervello: alla scoperta dei neuroni e della sensibilità alla luce.* L'app guida visivamente gli studenti attraverso la struttura, le funzioni e le componenti neurali del cervello. Sebbene non simuli direttamente la sensibilità alla luce, fornisce una visualizzazione chiara e interattiva delle principali aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione sensoriale, come il lobo occipitale (responsabile della percezione visiva) e le reti neurali (responsabili della trasmissione dei segnali, inclusi quelli relativi agli stimoli luminosi).

Esplorando queste parti in 3D, gli studenti possono comprendere meglio come i neuroni comunicano le informazioni sensoriali, come vengono elaborati gli stimoli luminosi e come diverse regioni cerebrali si attivano in risposta. Questo apprendimento spaziale e immersivo è in linea con le evidenze che suggeriscono come la realtà aumentata migliori la comprensione concettuale e la memoria (Bacca et al., 2014; Radu, 2014). Inoltre, vedere i neuroni e il tessuto nervoso in dettaglio favorisce una maggiore comprensione di come il cervello rileva, elabora e risponde agli stimoli esterni come la luce, supportando lo sviluppo sia della conoscenza scientifica che della curiosità.





Fase	Descrizione
Esplorare	- Indagare su come la luce influenza il cervello, comprese le vie visive e non visive, i ritmi circadiani e le risposte allo stress.
	- Sviluppo dei contenuti: Sviluppare materiali didattici che integrino neuroscienze, scienze cognitive e tecnologie basate sulla luce.
	- Analisi dei bisogni: Valutare le conoscenze pregresse degli studenti in materia di biologia, luce e funzionamento del cervello per personalizzare l'insegnamento.
Eseguire	- Implementazione del curriculum: Tenere sessioni sull'interazione neurone-luce, sulla fototerapia e sulle relazioni tra EEG e onde cerebrali utilizzando strumenti di realtà aumentata.
	- Esercizi interattivi: Utilizza applicazioni di realtà aumentata (ad esempio, Brainapse, Merge Cube) per esplorare i percorsi neurali, i cicli circadiani e le funzioni cognitive legate alla luce.
	- Raccolta di feedback: raccogliere riflessioni, dati sulle prestazioni e risultati delle discussioni tra pari riguardanti l'effetto della luce sulla funzione cerebrale e sulle emozioni.
Migliorare	- Integrazione con la realtà aumentata: utilizza simulazioni in realtà aumentata per visualizzare i neuroni, le regioni cerebrali sensibili alla luce e le variazioni delle onde EEG in diverse condizioni di illuminazione.
	- Apprendimento interattivo: consente agli studenti di regolare i livelli di luce e osservare gli effetti sui modelli cerebrali (ad esempio, riflesso pupillare, ritmo circadiano).
	Contenuti ludicizzati:
	- Punti e distintivi: Premia l'identificazione corretta delle strutture cerebrali o dei risultati della simulazione.
	- Classifiche Classificare gli studenti in base all'accuratezza nel completamento degli scenari di reazione dei neuroni luminosi.
	- Missioni e livelli: Sblocca argomenti avanzati come l'optogenetica e la fototerapia man mano che gli studenti progrediscono.
	- Ricompense per l'esplorazione: Incorpora contenuti AR bonus (ad esempio, curiosità nascoste o visualizzazioni EEG).
	- Compiti collaborativi gamificati i gruppi analizzano i dati relativi allo stress o all'allineamento circadiano in scenari di illuminazione virtuale.
	Valutazioni basate sulla realtà aumentata:
	- Gli studenti dimostrano la loro comprensione interagendo con simulazioni virtuali del cervello e completando analisi sull'impatto della luce sulla funzione neurale.





Risorse:

Abdalahadi A, Koundal N, Yusoff MZ, et al. Studio degli effetti dello stress acuto sul processo decisionale mediante elettroencefalografia e spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso: una revisione sistematica. IEEE
Accesso 2024; 12: 53454–53474.

Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., & Elsarrag, E. (2016). Produttività degli occupanti e qualità dell'ambiente interno degli uffici: una revisione della letteratura. *Building and Environment*, 105, 369–389.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>

Aliero. M. S, Asif. M, Ghani. I, Pasha. M. F, Jeong. S. R, Analisi di revisione sistematica sugli edifici intelligenti: sfide e opportunità, *Sustain.* (2022), <https://doi.org/10.3390/su14053009>.

Altindag O. Relazione tra gestione dello stress e rendimento lavorativo nelle organizzazioni. *International Journal of Research in Business and Social Science* 2020; 9: 43–49.

Awada M, Becerik-Gerber B, Liu R, et al. Dieci domande riguardanti l'impatto ambientale stress sui lavoratori d'ufficio. *Building and Environment* 2023; 229: 109964.

Askaripoor T, Motamedzadeh M, Golmohammadi R, et al. Effetti non visivi della luce sulle onde cerebrali, sull'attività del sistema nervoso autonomo, sulla fatica e sulle prestazioni. *Journal of Circadian Rhythms* 2018; 16: 9.

Askaripoor.T, Motamedzade.M, Golmohammadi.R, Farhadian.M, Babamiri.M, Samavati.M, 2019, Effetti di un intervento leggero sulla vigilanza e sulle prestazioni mentali durante il calo post-prandiale: uno studio multi-misurazione, *Industrial Health*, 57, 511–524.

Ardabili. G. N, Digert. N, Ulrich.S, Wang.J, 2025, Caratterizzazione delle prestazioni delle vetrate architettoniche per la luce circadiana, *Energy & Buildings* 328, 115144.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Tendenze della realtà aumentata nell'istruzione: una revisione sistematica della ricerca e delle applicazioni. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.





Bakharia.A , Bruza.P, Watters. J, Narayan.B e Sitbon. L. 2016. Modellazione interattiva di argomenti per supportare l'analisi qualitativa dei contenuti (CHIIR'16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 213–222.<https://doi.org/10.1145/2854946.2854960>

Bekaroo. G, Sungkur. R, Ramsamy. P, Okolo. A, Moedeen. W, Migliorare la consapevolezza sul consumo ecologico dei dispositivi elettronici: l'applicazione della realtà aumentata, Valutazioni tecnologiche energetiche sostenibili. (2018),<https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.10.016>.

Bedrosian, T.A., Fonken, L.K., Walton, J.C., Haim, A., e Nelson, R.J. (2011). La scarsa illuminazione notturna provoca comportamenti simili alla depressione e riduce la densità delle spine dendritiche CA1 nei criceti femmina. *Psychoneuroendocrinology* 36, 1062–1069.

Berger C, Dück A, Gest S, Jonas L, Kölch M, Martin F, Reis O, Schroth J, Legenbauer T e Holtmann M (2022) Possibili effetti della terapia con luce intensa sulla vigilanza elettroencefalografica nel trattamento della depressione negli adolescenti: uno studio pilota. *Front. Psychiatry* 13:820090. Doi: 10.3389/fpsy.2022.820090

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). Una panoramica sulla realtà aumentata. *Fondamenti e tendenze nell'interazione uomo-computer*, 8(2–3), 73–272.

Chen.B, Cui.M, Wang.Y, Shi.P, Wang.H, Wang., 2022, Recenti progressi nell'optogenetica cellulare per la fotomedicina, PMID: 35843507,DOI:10.1016/j.addr.2022.114457

Choi Y, Kim M, Chun C. Misurazione dello stress degli occupanti basata sull'elettroencefalogramma (EEG) in dodici ambienti combinati. *Building and Environment* 2015; 88: 65–72.

Chang, A.-M., Santhi, N., St Hilaire, M., Gronfier, C., Bradstreet, D. S., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2012). Risposte umane alla luce intensa di diversa durata. *Journal of Physiology*, 590(13), 3103–3112.

De Rosa. M, Bianco. V, Scarpa. F, Tagliafico. L. A, Valutazione del fabbisogno energetico degli edifici per riscaldamento e raffreddamento; Un modello semplificato e un approccio modificato basato sui gradi giorno, *Appl. Energy*. (2014),<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.067>.

Di´az M. H, Cid FM, Ota´rola J, Rojas R, Alarco´n O, Can˜ete L. Valutazione del dominio di frequenza della banda beta dell'EEG per la valutazione dello stress e dell'ansia in condizioni basali di riposo, occhi chiusi. *Procedia Computer Science* 2019; 162: 974–981.

Dübel.S, Röhlig.M, Schumann.H e Trapp.M. 2014. Presentazione 2D e 3D di dati spaziali: una revisione sistematica. *Workshop internazionale IEEE VIS sulla visualizzazione 3D*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1281.7602>





Erkan.I, Simsek.S, Avci.AB, Akyol.G, 2025, Effetti dell'illuminazione sulle prestazioni lavorative, sullo stress e sulla sensazione termica negli ambienti di lavoro

Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Rassegna della letteratura su come diversi fattori influenzano il comfort umano negli ambienti interni. *Building and Environment*, 46(4), 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>

Geng.Y, Li.Z, Du.C., Yuan.F, Cai.X, Alleyer.A, Yang.J, Cong.Z e Ma.C, 2023, *Progressi nelle applicazioni optogenetiche per le lesioni del sistema nervoso centrale*, *JRivista di Neurotraumatologia* 40:1297–1316, Mary Ann Liebert, Inc, DOI: 10.1089/neu.2022.0290

Huang.X, Tao.Q e Ren.C, 2024, Una panoramica completa dei meccanismi neurali della terapia della luce, *Neurosci. Bull.* Marzo 2024, 40(3):350–362, <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01089-8>

Kaklauskas A, Zavadskas EK, Seniut M, et al. Sistema di consulenza biometrica basato sul web per mouse per computer per analizzare le emozioni di un utente e la produttività lavorativa. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2011; 24: 928–945.

Konstantzos I, Sadeghi SA, Kim M, et al. L'effetto dell'ambiente di illuminazione sulle prestazioni lavorative negli edifici: una revisione. *Energy and Buildings* 2020; 226: 110394.

Kucuk, S., Kapakin, S., & Goktas, Y. (2016). Apprendimento dell'anatomia tramite realtà aumentata mobile: effetti sul rendimento e sul carico cognitivo. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411–421.

Lamb S, Kwok KCS. Uno studio longitudinale sugli stressor dell'ambiente di lavoro e sul loro impatto sulle prestazioni e sul benessere dei lavoratori d'ufficio. *Applied Ergonomics* 2016; 52: 104–111.

LeGates, T.A., Altimus, C.M., Wang, H., Lee, H.-K., Yang, S., Zhao, H., Kirkwood, A., Weber, E.T., e Hattar, S. (2012). La luce aberrante compromette direttamente l'umore e l'apprendimento attraverso i neuroni che esprimono melanopsina. *Nature* 491, 594–598.

LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. La luce come modulatore centrale dei ritmi circadiani, del sonno e dell'umore. *Nat Rev Neurosci* 2014, 15: 443–454.

Liu C, Sun L, Jing X, et al. Come la temperatura di colore correlata (CCT) influenza gli studenti universitari: una valutazione psicologica e fisiologica. *Journal of Building Engineering* 2022; 45: 103573.





Li S, Zhang X, Li Y, et al. Una revisione completa della valutazione dell'impatto dell'ambiente termico interno sulle prestazioni lavorative e cognitive: combinazione di misurazioni fisiologiche e apprendimento automatico. *Journal of Building Engineering* 2023; 71: 106417.

Mathôt, S. (2018). Pupillometria: psicologia, fisiologia e funzione. *Journal of Cognition*, 1(1).<https://doi.org/10.5334/joc.18>

Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Gli ambienti interni delle scuole influenzano il rendimento degli studenti? Una revisione della letteratura. *Indoor Air*, 15(1), 27–52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>

Mirzaei. N, Kamelnia. H, Islami. S.G, Kamyabi.S ,Assadi.S .N, L'impatto della qualità ambientale interna degli edifici ecocompatibili sulla salute e la soddisfazione degli occupanti: una revisione sistematica, *J. Community Heal. Res.* (2020), <https://doi.org/10.18502/jchr.v9i1.2574>.

Prent N, Smit DJA. La dinamica delle oscillazioni alfa a riposo predice le differenze individuali nella creatività. *Neuropsychologia* 2020; 142: 107456.

Radu, I. (2014). Realtà aumentata nell'istruzione: una meta-analisi e un'analisi cross-mediale. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533–1543.

Roh, S.-C., Park, E.-J., Shim, M., e Lee, S.-H. (2016). La potenza beta e gamma bassa dell'EEG correla con la disattenzione nei pazienti con disturbo depressivo maggiore. *J. Affect. Disord.* 204, 124–130.

Scheer FA, Buijs RM. La luce influenza il cortisolo salivare mattutino negli esseri umani. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999 settembre;84(9):3395-8. doi: 10.1210/jcem.84.9.6102. PMID: 10487717.

Selye H. Lo stress della vita. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1956.

Soto Munˆoz J, Trebilcock Kelly M, Flores-Ale´s V, et al. Riconoscere l'effetto dell'ambiente termico sulla produttività autopercepita negli uffici: una prospettiva di modellazione con equazioni strutturali. *Building and Environment* 2022; 210: 108696.

ˆSujanov´a. P, Rycht´arikov´a. M, Mayor. T.S, Hyder. A, Un ambiente interno sano, efficiente dal punto di vista energetico e confortevole: una revisione, *Energies* (2019), <https://doi.org/10.3390/en12081414>.

Sun. X, Wu. H, Wu. Y, Indagine sulle relazioni tra temperatura, illuminazione e livello sonoro, parametri fisiologici tipici e percezioni umane, *Build. Environ.* (2020),<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107193>.





Si. W.X, Liao.X .Y, Qian. Y. L, Sun. H.T, Chen. X. D, Wang. Q, Heng. A. A. (2019). Valutazione delle prestazioni dell'addestramento neurochirurgico basato sulla realtà aumentata, Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art, <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0015-8>

Teplan M. Fondamenti della misurazione EEG. Measurement Science Review 2002; 2: 1–11.

Thach T-Q, Mahirah D, Sauter C, et al. Associazioni tra la qualità percepita dell'ambiente interno e lo stress sul posto di lavoro. Indoor Air 2020; 30: 1166–1177.

Vandewalle, G., Schwartz, S., Grandjean, D., Vuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., Schabus, M., Phillips, C., Luxen, A., Dijk, D.J., e Maquet, P. (2010). La qualità spettrale della luce modula le risposte emotive del cervello negli esseri umani. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 107, 19549–19554.

Viczko J, Tarrant J e Jackson R (2021) Effetti sull'umore e sugli stati EEG dopo la meditazione in realtà aumentata con e senza neurofeedback aggiuntivo. Front. Virtual Real. 2:618381. doi: 10.3389/frvir.2021.618381

Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. Gli effetti dello stress termico moderato e della distrazione acustica degli uffici open space sui sintomi della sindrome dell'edificio malato e sulle prestazioni lavorative in ufficio. Indoor Air 2004; 14: 30–40.

Yang B, Duan K, Fan C, et al. Rimozione automatica degli artefatti oculari nell'EEG tramite apprendimento profondo. Biomedical Signal Processing and Control 2018; 43: 148–158.

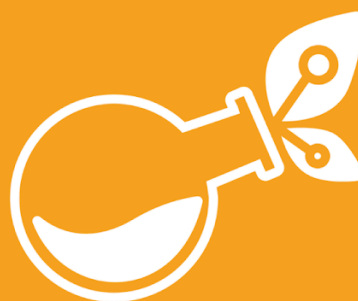
Yeganeh AJ, Reichard G, McCoy AP, et al. Correlazione tra temperatura dell'aria ambiente e prestazioni cognitive: una revisione sistematica e una meta-analisi. Building and Environment 2018; 143:701–716.

https://med.stanford.edu/news/all-news/2019/09/teens-sleep-43-more-minutes-per-night-after-combo-of-two-treatments.html?utm_source=chatgpt.com





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

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



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

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