



Co-funded by
the European Union

Laser in medicina: come la luce aiuta a diagnosticare le malattie



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
· Principi fondamentali della tecnologia della luce e del laser.....	3
· Principi di interazione laser-tessuto.....	5
· Applicazioni diagnostiche mediche della tecnologia laser.....	7
· Innovazioni bioispirate nella diagnostica laser.....	9
· Vantaggi e limiti della diagnostica laser.....	10
· Integrazione della diagnostica laser nell'istruzione: progetti didattici concreti.....	12
· Fondamenti scientifici per l'integrazione della realtà aumentata nella formazione in diagnostica laser..	14
· Conclusione.....	15
· Risorse.....	18





Campo	Contenuto
Argomento generale del percorso di apprendimento	Luce, laser e diagnostica medica
Nome specifico dell'unità didattica	Laser in medicina: come la luce aiuta a diagnosticare le malattie
Età target degli utenti	14–18 anni
Prerequisiti per gli studenti	Conoscenze di base di ottica (riflessione/rifrazione), anatomia umana e fisica/biologia generale.
Descrizione dell'unità didattica	Questo modulo interdisciplinare introduce gli studenti ai principi fondamentali della luce e dei laser ed esplora come queste tecnologie vengano utilizzate nella medicina moderna per diagnosticare le malattie. Il percorso di apprendimento evidenzia come le interazioni laser-tessuto vengano applicate in tecniche come OCT, imaging a fluorescenza e scansione non invasiva. Gli strumenti di realtà aumentata (AR) vengono utilizzati per simulare fenomeni ottici, consentendo agli studenti di visualizzare il comportamento della luce laser all'interno dei sistemi biologici e permettendo un'esplorazione pratica di concetti diagnostici che sono tipicamente invisibili all'occhio umano.
Soggetti coinvolti	Fisica, Biologia, Chimica, Matematica
Parole chiave	Laser, Interazione luce-tessuto, Ottica, Diagnostica, Realtà aumentata, Visualizzazione, Imaging non invasivo, Bioispirazione
Competenze chiave, abilità, conoscenze che possono essere acquisite	- Comprendere come la luce laser interagisce con i tessuti biologici (assorbimento, diffusione, fluorescenza)





Introduzione:

L'utilizzo dei laser in medicina ha compiuto progressi straordinari negli ultimi decenni, consentendo una vasta gamma di procedure diagnostiche e terapeutiche precise, minimamente invasive e spesso superiori alle tecniche convenzionali. Un laser, definito come un dispositivo che emette luce attraverso un processo di amplificazione ottica basato sull'emissione stimolata di radiazione elettromagnetica, genera fasci di luce coerenti, monocromatici e altamente collimati. Queste proprietà consentono un controllo eccezionale sull'erogazione di energia, rendendo i laser particolarmente adatti all'interazione con i tessuti biologici sia a livello macroscopico che microscopico.

Nella diagnostica medica, i laser sono utilizzati principalmente per la loro capacità di fornire immagini ad alta risoluzione in tempo reale e analisi biochimiche senza richiedere l'asportazione di tessuto. Le loro applicazioni spaziano in diversi campi, tra cui oftalmologia, oncologia, dermatologia e cardiologia. Ad esempio, la tomografia a coerenza ottica (OCT), che utilizza luce laser nel vicino infrarosso a bassa coerenza, è diventata uno strumento di imaging standard in oftalmologia, fornendo immagini trasversali della retina su scala micrometrica (Barsom et al., 2016). Allo stesso modo, la fluorescenza indotta da laser (LIF) consente di rilevare un metabolismo tissutale anomalo analizzando lo spettro di emissione delle molecole fluorescenti, contribuendo alla diagnosi precoce del cancro (Albrecht et al., 2013).

A livello tissutale, l'interazione laser-materia dipende fortemente dagli spettri di assorbimento dei cromofori biologici come emoglobina, melanina e acqua. Selezionando attentamente la lunghezza d'onda del laser, è possibile colpire componenti tissutali specifici senza danneggiare le strutture circostanti. La natura non ionizzante della luce laser la rende inoltre più sicura rispetto alle modalità diagnostiche ionizzanti come raggi X o TAC, in particolare per il monitoraggio ripetuto o l'uso pediatrico (Zafar et al., 2021). Inoltre, le tecnologie laser continuano ad evolversi, integrandosi con sensori ottici, fotonica e sistemi di imaging potenziati dall'intelligenza artificiale per migliorare l'accuratezza diagnostica, la velocità e l'interpretazione dei dati.

La ricerca emergente si concentra sulla combinazione della diagnostica laser con tecniche spettroscopiche, come la spettroscopia Raman, la spettroscopia di riflettanza diffusa e l'imaging fotoacustico, che possono fornire informazioni a livello molecolare in vivo. Questi sistemi ibridi promettono "biopsie ottiche" non invasive che potrebbero sostituire l'istopatologia tradizionale in determinati contesti (De Miguel & Martínez, 2023). Con l'avanzare della tecnologia, si prevede che i sistemi diagnostici basati sul laser diventeranno più compatti, economici e intelligenti, ampliandone l'accessibilità sia in ambito clinico che in contesti remoti.

Parallelamente a questi progressi tecnologici, si assiste all'integrazione di **Realtà aumentata (RA)**. L'integrazione della realtà aumentata (AR) negli ambienti di simulazione e formazione biomedica sta offrendo nuovi modi per visualizzare, interagire e comprendere fenomeni ottici complessi. La realtà aumentata consente di sovrapporre oggetti virtuali, come raggi laser, tessuti, dispositivi diagnostici o reazioni molecolari, al mondo reale in tempo reale, aiutando studenti e tirocinanti ad acquisire una comprensione spaziale e funzionale di processi astratti. Ad esempio, la realtà aumentata può simulare una scansione OCT virtuale in cui gli utenti manipolano una sonda laser su un modello 3D dell'occhio umano e osservano la generazione dell'immagine strato per strato. Allo stesso modo, le interazioni laser basate sulla fluorescenza possono essere visualizzate utilizzando sovrapposizioni di colore che mostrano





cambiamenti metabolici o strutturali nei tessuti. Queste esperienze vanno oltre le illustrazioni o i video statici, consentendo la manipolazione dinamica, il feedback e l'esplorazione in tempo reale, caratteristiche che hanno dimostrato di aumentare significativamente la motivazione all'apprendimento e la memorizzazione (Akçayır & Akçayır, 2017; Bacca et al., 2014).

Inoltre, la realtà aumentata (AR) può favorire connessioni interdisciplinari illustrando come i sistemi visivi ispirati alla natura, come la sensibilità alla polarizzazione nelle mantidi marine o le nanostrutture nelle ali delle farfalle, abbiano influenzato la progettazione di dispositivi diagnostici laser. In un ambiente di apprendimento AR ben progettato, gli studenti possono esaminare virtualmente sia l'organismo biologico che la sua controparte tecnologica fianco a fianco, migliorando la comprensione della bioispirazione come principio di progettazione. Questo tipo di interazione promuove non solo l'apprendimento concettuale, ma anche il pensiero sistemico e la risoluzione creativa dei problemi.

La convergenza tra diagnostica laser e visualizzazione potenziata dalla realtà aumentata rappresenta una piattaforma potente per l'istruzione, la formazione e la scoperta, offrendo agli studenti l'opportunità di esplorare attivamente le interazioni invisibili ma fondamentali tra luce e vita.

1. Fondamenti di tecnologia della luce e del laser

1.1 La natura della luce

La luce è una forma di radiazione elettromagnetica che si comporta sia come un'onda che come una particella (fotone). Copre uno spettro di lunghezze d'onda, dai raggi gamma e raggi X ad alta energia alle onde radio a bassa energia. **spettro visibile**, che va da circa 400 a 700 nanometri (nm), rappresenta la porzione dello spettro elettromagnetico rilevabile dall'occhio umano. Ogni lunghezza d'onda corrisponde a un colore, dal violetto (lunghezza d'onda più corta) al rosso (lunghezza d'onda più lunga). Tuttavia, per molte applicazioni diagnostiche mediche, **lunghezze d'onda non visibili**, in particolare **vicino infrarosso (NIR, 700–1400 nm)** E **ultravioletto (UV, <400 nm)**, sono più efficaci grazie alle loro interazioni specifiche con i tessuti biologici (Barsom et al., 2016).

L'interazione della luce con la materia, in particolare con i tessuti biologici, dipende da proprietà quali: **assorbimento**, **dispersione**, **riflessione**, E **trasmissione**. Queste interazioni sono influenzate dalla composizione molecolare e dalla struttura dei tessuti e variano con la lunghezza d'onda. Ad esempio, la luce nel vicino infrarosso è in grado di penetrare diversi millimetri nei tessuti con un assorbimento minimo, il che la rende particolarmente utile per **imaging dei tessuti profondi** E **analisi del flusso sanguigno** (Zafar et al., 2021).

1.2 Che cos'è un laser?

UN **laser**—L'amplificazione della luce mediante emissione stimolata di radiazione— è un dispositivo che emette luce attraverso un processo di amplificazione ottica. A differenza delle normali sorgenti luminose, che emettono luce incoerente e ad ampio spettro, un laser produce un fascio che è:

- **Monocromatico**: composto da una singola lunghezza d'onda o colore,
- **Coerente**: le onde luminose sono in fase, viaggiano nella stessa direzione,
- **Collimato**: il fascio rimane stretto e focalizzato su lunghe distanze.

Queste proprietà consentono ai laser di erogare energia concentrata con precisione, rendendoli particolarmente utili sia per **diagnosi** E **terapeutico**. Applicazioni mediche. La luce laser può essere diretta verso tessuti specifici senza intaccare le aree adiacenti, consentendo interventi mirati a livello cellulare o subcellulare (Akçayır & Akçayır, 2017; Albrecht et al., 2013).

1.3 Tipologie di laser utilizzati in medicina

I laser si differenziano per il mezzo utilizzato per generare la luce, che influenza la loro lunghezza d'onda e l'energia emessa. Le tipologie principali includono:





- **Laser a gas**(ad esempio, Argon, CO₂Spesso utilizzati in oftalmologia e dermatologia, i laser ad argon emettono una luce blu-verde utile per la fotocoagulazione retinica.
- **Laser a stato solido**(ad esempio, Nd:YAG): Producono luce nel vicino infrarosso, ampiamente utilizzata per l'ablazione dei tessuti, la coagulazione e l'imaging.
- **Laser a diodi**Compatto, efficiente e sintonizzabile nell'intero spettro del vicino infrarosso (NIR). Sempre più utilizzato nei dispositivi diagnostici portatili.
- **Laser a eccimeri**(Gamma UV): Utilizzate nella chirurgia refrattiva oculare come la LASIK grazie alla loro precisione nella rimozione del tessuto corneale senza danneggiare le aree circostanti.

IL lunghezza d'ondaDetermina con quale tipo di tessuto o molecola interagirà il laser. Ad esempio, **melanina** E **emoglobina**assorbono fortemente la luce visibile, mentre **acqua**è l'assorbitore primario nelle lunghezze d'onda infrarosse (Bacca et al., 2014).

1.4 Interazione laser-tessuto nella diagnostica

Il modo in cui un laser interagisce con i tessuti è alla base del suo valore diagnostico. I laser diagnostici in genere operano a...**bassa potenza**per evitare danni massimizzando al contempo l'acquisizione dei dati tramite segnali ottici. I meccanismi di interazione più comuni includono:

- **Diffusione elastica**La luce rimbalza sui tessuti senza subire variazioni di energia, ed è utilizzata in tecniche come...**imaging ottico diffuso**.
- **Diffusione anelastica**(Effetto Raman): La luce perde o acquista energia, rivelando la composizione molecolare, utile in**spettroscopia Raman**.
- **Fluorescenza**La luce eccita le molecole dei tessuti, che emettono luce secondaria. Questo viene sfruttato in**Fluorescenza indotta da laser (LIF)**per identificare attività metaboliche anomale.
- **Interferenza**: Utilizzato in**Tomografia a coerenza ottica (OCT)**per ricostruire le strutture interne sulla base degli spostamenti di fase delle onde riflesse (Barsom et al., 2016).

La comprensione di queste interazioni consente a ricercatori e clinici di progettare**strumenti diagnostici non invasivi**che possono rilevare malattie come il cancro, la degenerazione maculare e le patologie cardiovascolari senza bisogno di incidere i tessuti o prelevare campioni.

1.5 Tendenze future nelle tecnologie mediche basate sulla luce

La convergenza di**fotonica**,**biosensori**, E **intelligenza artificiale**sta spingendo la diagnostica laser verso nuove frontiere.**Chip ottici miniaturizzati**,**sistemi di imaging multimodale**, E **sensori laser intelligenti indossabili**Sono in fase di sviluppo sistemi per monitorare in tempo reale biomarcatori come i livelli di glucosio, lattato o ossigeno attraverso la pelle (Zafar et al., 2021; De Miguel & Martínez, 2023). Questi sistemi sfruttano sia la precisione laser che l'elaborazione intelligente dei dati per portare la diagnostica più vicino al punto di cura e persino all'ambiente domestico.

Parallelamente,**Istruzione e formazione nelle tecnologie laser**vencono migliorati da strumenti immersivi come**Realtà aumentata (RA)**Sovrapponendo interazioni laser-tessuto, proprietà del fascio e modelli molecolari a simulazioni 3D, la realtà aumentata (AR) può fornire una comprensione esperienziale di principi ottici complessi. Ciò è particolarmente prezioso per gli studenti che si avvicinano per la prima volta a concetti come la diffusione, la coerenza o l'assorbimento spettrale (Akçayır & Akçayır, 2017).





2. Principi di interazione laser-tessuto

2.1 Panoramica dei meccanismi di interazione

Quando la luce laser interagisce con il tessuto biologico, possono verificarsi diversi processi fisici a seconda del tipo di tessuto, della lunghezza d'onda del laser, dell'energia, della durata dell'impulso e del tempo di esposizione. I quattro principali meccanismi di interazione sono:

- **Assorbimento** I fotoni vengono assorbiti dalle molecole (cromofori) presenti nel tessuto;
- **Dispersione** La luce viene deviata quando attraversa i tessuti;
- **Riflessione**: Una parte della luce incidente viene riflessa sulla superficie;
- **Trasmissione**: Una parte della luce attraversa completamente il tessuto.

Queste interazioni non si escludono a vicenda e spesso si verificano simultaneamente, influenzando la profondità di penetrazione del laser e gli effetti diagnostici o terapeutici che ne derivano. Comprendere e controllare questi processi è essenziale per progettare strumenti diagnostici laser sicuri ed efficaci (Barsom et al., 2016; Zafar et al., 2021).

2.2 Ruolo dei cromofori e dipendenza dalla lunghezza d'onda

La risposta dei tessuti alla luce laser è in gran parte determinata dalla presenza di **cromofori**—molecole che assorbono specifiche lunghezze d'onda. I principali cromofori presenti nei tessuti biologici includono:

- **Emoglobina** (assorbe nella gamma del visibile),
- **Melanina** (ampio assorbimento dall'UV al NIR),
- **Acqua** (forte assorbimento nell'infrarosso medio-lontano).

La selezione della lunghezza d'onda del laser è quindi fondamentale. Ad esempio, i laser verdi e blu (lunghezze d'onda intorno a 488-532 nm) vengono facilmente assorbiti dall'emoglobina, il che li rende ideali per visualizzare e colpire i vasi sanguigni. La luce nel vicino infrarosso (700-1400 nm) penetra più in profondità nei tessuti grazie al minore assorbimento e alla minore diffusione, il che la rende adatta per l'imaging di strutture sottocutanee come quelle presenti in **Tomografia a coerenza ottica (OCT)** o **Flussometria laser Doppler (LDF)** (Albrecht et al., 2013; De Miguel & Martínez, 2023).

2.3 Soglie di interazione diagnostica vs. terapeutica

Nell'interazione laser-tessuto, il **livello energetico** svolge un ruolo determinante nel stabilire se l'effetto è diagnostico o terapeutico. Le applicazioni diagnostiche richiedono **bassa energia, non distruttiva**. Interazioni che forniscono segnali ottici senza danneggiare cellule o tessuti. Questi segnali potrebbero includere:

- **Diffusione elastica**, utilizzato nella riflettanza diffusa e nell'OCT;
- **Fluorescenza**, utilizzato nella LIF per la rilevazione di processi metabolici o tumori;
- **Diffusione Raman**, utilizzato per identificare le composizioni molecolari tramite spostamento anelastico dei fotoni.

Al contrario, gli effetti terapeutici come **fotocoagulazione**, **ablazione**, o **disruzione fotomeccanica** si verificano a livelli di energia più elevati e spesso dipendono da cambiamenti termici o meccanici nel tessuto (Zafar et al., 2021).

2.4 Diffusione della luce e profondità di campo

La diffusione si verifica quando i fotoni cambiano direzione a causa dell'interazione con le microstrutture dei tessuti, come le membrane cellulari o gli organelli. **coefficiente di scattering** Dipende dalla lunghezza d'onda e dall'eterogeneità del tessuto. Le lunghezze d'onda più corte (ad esempio, la luce blu) si disperdono maggiormente, riducendo la profondità di imaging ma migliorando la risoluzione vicino alla





superficie. Al contrario, **lunghezze d'onda più lunghe** (ad esempio, NIR) disperdono meno la luce e penetrano più in profondità, sebbene con una risoluzione spaziale ridotta.

Questo compromesso rappresenta una sfida progettuale fondamentale nella diagnostica ottica. Tecnologie come **spettroscopia risolta nel tempo**, **imaging nel dominio della frequenza**, e **microscopia multifotone** sfruttano il comportamento di diffusione per estrarre segnali diagnostici utili dai tessuti a diverse profondità (Barsom et al., 2016).

2.5 Applicazioni nella biopsia ottica e nel monitoraggio in tempo reale

L'interazione laser-tessuto è alla base anche dello sviluppo di **biopsie ottiche non invasive**—tecniche che forniscono informazioni molecolari o strutturali senza tagliare o rimuovere tessuto. Queste includono:

- **spettroscopia Raman** che cattura le impronte chimiche dei tessuti in vivo;
- **Immagini fotoacustiche** che utilizza onde ultrasoniche indotte da laser per creare immagini ibride ottico-acustiche;
- **Flussometria laser Doppler** che rileva il flusso sanguigno microvascolare utilizzando gli spostamenti Doppler nella luce retrodiffusa.

Tali strumenti sono sempre più utilizzati in oncologia, neurologia e dermatologia e sono oggetto di studio per la diagnostica in tempo reale al letto del paziente (De Miguel & Martínez, 2023).

2.6 Considerazioni sulla sicurezza e dosimetria

Un aspetto cruciale dell'interazione laser-tessuto è il mantenimento di livelli di esposizione sicuri. **Dosimetria** Il calcolo e la misurazione dell'energia assorbita dai tessuti sono essenziali nelle applicazioni diagnostiche per evitare danni termici o meccanici indesiderati. Gli standard di sicurezza sono definiti da organismi quali l'**Istituto Nazionale Americano per gli Standard (ANSI)** e il **Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC)**. Questi standard classificano i laser in classi di sicurezza in base alla potenza e al livello di rischio, guidandone l'uso in contesti clinici e didattici.

La protezione degli occhi e della pelle, la selezione accurata della lunghezza d'onda e il controllo del tempo di esposizione sono fondamentali sia nella pratica clinica che negli ambienti di formazione degli studenti. Le piattaforme di simulazione emergenti basate sulla realtà aumentata consentono ora agli utenti di esplorare in sicurezza queste interazioni nello spazio virtuale, rafforzando i principi della dosimetria senza rischi fisici (Akçayır & Akçayır, 2017).

3. Applicazioni diagnostiche mediche della tecnologia laser

3.1 Panoramica sulla diagnostica basata sul laser

La diagnostica basata sul laser sfrutta l'interazione precisa e specifica della lunghezza d'onda della luce con i tessuti per rilevare, visualizzare e analizzare condizioni fisiologiche e patologiche. Questi metodi sono **non invasivo**, offerta **alta risoluzione spaziale** e può fornire **dati funzionali e strutturali in tempo reale**. Prendendo di mira i cromofori tissutali e sfruttando fenomeni ottici come la diffusione, la fluorescenza e gli spostamenti Doppler, queste tecnologie consentono ai medici di monitorare la progressione della malattia, guidare le procedure chirurgiche ed effettuare diagnosi precoci con il minimo disagio per i pazienti (Barsom et al., 2016; Zafar et al., 2021).

3.2 Tomografia a coerenza ottica (OCT)

OTTOBRE è uno degli strumenti diagnostici laser più utilizzati, soprattutto in oftalmologia. Utilizza luce infrarossa a bassa coerenza per produrre immagini trasversali ad alta risoluzione delle microstrutture tissutali. La tecnica si basa su **interferometria** dove la luce retrodiffusa da diverse profondità tissutali viene confrontata con un raggio di riferimento, generando immagini dettagliate simili nella struttura agli



ultrasuoni, ma utilizzando la luce anziché il suono. L'OCT può visualizzare gli strati della retina, rilevare la degenerazione maculare e monitorare la progressione del glaucoma con precisione micrometrica. Oltre all'oftalmologia, la tomografia a coerenza ottica (OCT) trova sempre più applicazione in altri ambiti: **cardiologia** (ad esempio, visualizzazione delle placche coronariche), **dermatologia** (screening per il cancro della pelle) e **odontoiatria** (per valutare lo smalto o rilevare la carie) (Albrecht et al., 2013). Il suo **senza contatto** La capacità di imaging ad alta velocità lo rende uno strumento preferibile per le regioni anatomiche delicate o sensibili.

3.3 Fluorescenza indotta da laser (LIF)

Fluorescenza indotta da laser (LIF) è una tecnica diagnostica che prevede l'eccitazione del tessuto con un laser per indurre la fluorescenza. Questa emissione può provenire da sostanze presenti in natura (fluorofori endogeni) come **NADH, FAD o porfirine**, o da marcatori fluorescenti applicati esternamente. **l'intensità di fluorescenza e spostamento spettrale** riflettono la composizione biochimica del tessuto, consentendo l'individuazione di **attività metabolica, confini tumorali, O biofilm batterici**.

La LIF ha mostrato risultati promettenti nell'identificazione **lesioni precancerose**, come quelli presenti nella cavità orale o nella cervice uterina, e viene utilizzato intraoperatoriamente per guidare la resezione del tumore. I suoi principali vantaggi sono **acquisizione rapida del segnale, elevata sensibilità** e la capacità di **monitorare i cambiamenti dinamici del metabolismo** (Zafar et al., 2021; De Miguel & Martínez, 2023).

3.4 Flussimetria laser Doppler (LDF)

Flussimetria laser Doppler misura il flusso sanguigno microvascolare utilizzando l'effetto Doppler. Quando un laser a bassa potenza illumina i globuli rossi in movimento, la luce retrodiffusa subisce uno spostamento di frequenza proporzionale alla velocità e al volume del flusso sanguigno. Questi dati vengono quindi elaborati per creare mappe di **per fusione tissutale, infiammazione, O dinamiche di guarigione delle ferite**.

LDF è ampiamente utilizzato in **valutazione delle ustioni, monitoraggio della malattia arteriosa periferica, E screening del piede diabetico**, fornendo ai medici un metodo non invasivo per valutare la funzione microcircolatoria in tempo reale (Barsom et al., 2016). I recenti progressi hanno migliorato la risoluzione spaziale della LDF e i sistemi ibridi ora combinano la LDF con l'imaging termico o la spettroscopia nel vicino infrarosso per la diagnostica multimodale.

3.5 Spettroscopia Raman

Sebbene sia ancora in fase di sviluppo clinico, **spettroscopia Raman** si sta affermando come un prezioso strumento basato sul laser per **diagnostica a livello molecolare**. Si basa sulla diffusione anelastica della luce laser, dove gli spostamenti di energia dei fotoni diffusi rivelano i modi vibrazionali delle molecole nei tessuti. Poiché ogni molecola produce un'impronta spettrale unica, la spettroscopia Raman può distinguere tra tessuti sani e cancerosi, anche nelle fasi iniziali.

La tecnica è stata testata per **delimitazione del tumore cerebrale, individuazione del cancro della pelle, E screening del cancro orale**, offrendo un'elevata specificità chimica senza richiedere coloranti o agenti di contrasto. Abbinati a sonde a fibra ottica e dispositivi miniaturizzati, i sistemi Raman vengono integrati in **piattaforme diagnostiche al letto del paziente E chirurgia robotica** (De Miguel & Martínez, 2023).

3.6 Imaging fotoacustico

Immagini fotoacustiche è una tecnica ibrida che combina l'ottica laser e gli ultrasuoni. Brevi impulsi laser vengono assorbiti dai cromofori dei tessuti, causando **rapida espansione termica** e la generazione



onde acustiche I trasduttori a ultrasuoni rilevano quindi queste onde per ricostruire immagini ad alto contrasto di strutture come **vasi sanguigni, tumore, O modelli di saturazione dell'ossigeno**.

Questo metodo consente l'imaging dei tessuti profondi con contrasto ottico ed è particolarmente utile in **oncologia** E **immagini vascolari**, compresa la diagnosi precoce di **tumore al seno, melanoma**, E **placche aterosclerotiche** I sistemi fotoacustici sono in fase di sviluppo anche per strumenti diagnostici portatili e sensori indossabili (Zafar et al., 2021).

3.7 Vantaggi della diagnostica laser in ambito clinico

La diagnostica basata sul laser offre numerosi vantaggi:

- **Alta risoluzione e sensibilità**, in grado di rilevare la malattia in fase iniziale,
- **Non invasivo e indolore**, migliorando l'aderenza del paziente,
- **Monitoraggio in tempo reale**, utile durante gli interventi chirurgici,
- **Nessuna radiazione ionizzante**, rendendoli più sicuri per un uso ripetuto,
- **Portatile e scalabile**, con potenziale per applicazioni a distanza e sul luogo di cura.

Inoltre, molti di questi sistemi vengono potenziati con **algoritmi di apprendimento automatico**, consentendo il riconoscimento automatico dei modelli e una diagnostica più rapida e precisa. Questi sistemi laser intelligenti rappresentano un cambiamento verso **medicina personalizzata**, dove la diagnostica è più rapida, più precisa e adattata ai profili biologici individuali (Albrecht et al., 2013).

4. Innovazioni bioispirate nella diagnostica laser

4.1 Introduzione al design bioispirato

La bioispirazione, detta anche biomimetica, è la pratica di studiare sistemi, processi e organismi biologici per trarre ispirazione per lo sviluppo di nuovi materiali, tecnologie e soluzioni alle sfide umane. Nel campo della diagnostica medica, in particolare nelle tecnologie basate sul laser, la natura si è dimostrata un modello prezioso. Molti animali hanno sviluppato sistemi ottici altamente specializzati per rilevare, manipolare e interpretare la luce a fini di sopravvivenza, navigazione, caccia o mimetizzazione. Questi adattamenti evolutivi offrono nuovi approcci al rilevamento, all'imaging e al controllo della luce che possono essere replicati e perfezionati in sistemi ingegnerizzati (Vincent et al., 2006).

4.2 Gamberi mantide e imaging sensibile alla polarizzazione

IL gamberetto mantide Possiede uno dei sistemi visivi più avanzati conosciuti in natura. È in grado di rilevare la luce polarizzata linearmente e circolarmente, nonché le radiazioni ultraviolette. I suoi occhi composti contengono fino a **16 tipi di cellule fotorecetttrici**, rispetto a sole 3 negli esseri umani. Questa sensibilità alla polarizzazione permette al gamberetto di rilevare sottili variazioni nella struttura della superficie e prede o predatori nascosti in acque torbide.

Ingegneri e fisici hanno imitato questa capacità per sviluppare **dispositivi ottici sensibili alla polarizzazione**, in particolare nella diagnostica oncologica. I tessuti tumorali spesso disperdono e polarizzano la luce in modo diverso rispetto ai tessuti sani a causa delle variazioni nell'allineamento e nella densità cellulare. Ispirandosi alla struttura oculare della mantide di mare, i ricercatori hanno creato **sensori di imaging compatti basati sulla polarizzazione** In grado di rilevare tumori in fase iniziale con contrasto e specificità migliorati (Pang et al., 2016; Zafar et al., 2021). Questi sensori possono essere integrati in endoscopi o strumenti diagnostici portatili, consentendo l'esame non invasivo dei tessuti in ambito clinico.





4.3 Ali di farfalla e biosensori nanostrutturati

Farfalle come **la morfo**Il genere presenta colori vivaci, simili a quelli metallici, non per via della pigmentazione, ma per via di **nanostrutture**sulle loro scaglie alari che riflettono e disperdono la luce. Queste microstrutture interagiscono con la luce attraverso interferenza, diffrazione e riflessione selettiva. La loro capacità di alterare la luce a livello nanoscopico ha ispirato la progettazione di **biosensori ottici E cristalli fotonici**.

Questi materiali bioispirati possono rilevare minimi cambiamenti nel **indice di rifrazione** di una superficie, che spesso si verifica quando biomolecole come glucosio, anticorpi o marcatori tumorali si legano alle superfici dei sensori. Imitando le nanostrutture delle farfalle, gli scienziati hanno sviluppato **biosensori colorimetrici** che cambiano colore in risposta a eventi di legame biologico, consentendo una diagnostica visiva in tempo reale senza bisogno di energia elettrica o di complessi sistemi di lettura (Kolle et al., 2010). Tali sistemi sono ideali per i test point-of-care in ambienti con risorse limitate.

4.4 Animali notturni e sistemi di amplificazione della luce

Molti animali notturni, come ad esempio **gatti, gufi e pesci di profondità** hanno sviluppato adattamenti anatomici che migliorano la visione in condizioni di scarsa illuminazione. Una caratteristica fondamentale in animali come i gatti è **la tapeto lucido**, uno strato riflettente dietro la retina che riflette la luce verso i fotorecettori, aumentando la probabilità di assorbimento dei fotoni e migliorando la visione notturna.

Questo principio è stato tradotto nella progettazione di **sistemi di imaging retinico a basso consumo di luce**, come quelle utilizzate in condizioni di scarsa illuminazione **fotografia del fondo oculare E oftalmoscopia laser a scansione con ottica adattiva**. Questi strumenti massimizzano la raccolta della luce diffusa e riflessa dagli strati retinici, riducendo la necessità di un'illuminazione intensa e migliorando così il comfort e la sicurezza del paziente durante le indagini diagnostiche per immagini (Barsom et al., 2016).

4.5 Rivestimenti ottici bioispirati e manipolazione della luce

Anche la natura ha ispirato innovazioni nei rivestimenti ottici e nel controllo della luce. **rivestimenti antiriflesso** Gli occhi delle falene, ad esempio, sono formati da motivi superficiali microscopici che sopprimono la riflessione su un'ampia gamma di lunghezze d'onda. Questa proprietà è stata replicata per produrre **pellicole antiriflesso biomimetiche**. Utilizzato nei sistemi di sensori laser, migliora la chiarezza del segnale riducendo le interferenze della luce di fondo.

Allo stesso modo, **la famiglia dei cefalopodi** (ad esempio, calamari e polpi) usano **la mimetizzazione attiva** modificando dinamicamente la disposizione delle proteine riflettenti nella loro pelle. Questi sistemi fotonici biologici hanno ispirato **componenti laser sintonizzabili**, filtri intelligenti e sensori in grado di adattarsi a diverse condizioni ambientali o diagnostiche (Tian et al., 2019).

4.6 Integrazione didattica e visualizzazione in realtà aumentata

L'inclusione della bioispirazione nella formazione sulla diagnostica laser offre un ponte interdisciplinare unico tra **biologia, fisica, ingegneria, E pensiero progettuale**. La realtà aumentata (AR) offre una piattaforma potente per esplorare visivamente queste connessioni. Ad esempio, gli studenti possono interagire con... **Modelli 3D** dell'occhio di una mantide di mare e vedere immediatamente come i sensori sensibili alla polarizzazione imitano questa capacità nel rilevamento dei tumori. Allo stesso modo, gli ambienti AR possono simulare **la diffusione della luce sulle squame delle ali delle farfalle** oppure dimostrare il riflesso della luce attraverso uno strato di tapetum lucidum, consentendo agli studenti di sperimentare i meccanismi in prima persona (Akçayır & Akçayır, 2017; De Miguel & Martínez, 2023).





Tale integrazione non solo approfondisce la comprensione concettuale, ma stimola anche la risoluzione creativa dei problemi e il pensiero sistemico, competenze fondamentali per l'innovazione nelle tecnologie biomimetiche e nell'ingegneria medica.

5. Vantaggi e limiti della diagnostica laser

5.1 Vantaggi della diagnostica basata sul laser

La diagnostica basata sul laser offre una vasta gamma di vantaggi rispetto alle tecnologie di imaging e rilevamento tradizionali. Il loro principale vantaggio risiede nella **precisione e selettività** dell'interazione luce-tessuto, resa possibile dal laser **monocromatico, coerente e collimato** natura. Queste proprietà consentono a fasci altamente focalizzati di colpire strutture biologiche specifiche con una diffusione minima, rendendo possibile analizzare o visualizzare i tessuti a livello **microscopico o molecolare** (Barsom et al., 2016).

Un vantaggio importante è **non invasività** Tecniche come la tomografia a coerenza ottica (OCT), la flussimetria laser Doppler (LDF) e la fluorescenza indotta da laser (LIF) non richiedono l'asportazione di tessuto o il contatto con la pelle, riducendo il rischio di infezione e il disagio per il paziente. Questi strumenti sono particolarmente utili in aree sensibili come l'occhio, il cervello e le membrane mucose (Zafar et al., 2021).

La diagnostica laser è nota anche per... **elevata risoluzione spaziale e temporale** Ad esempio, l'OCT fornisce immagini trasversali a livello micrometrico a velocità sufficientemente elevate per la visualizzazione in tempo reale, fondamentale in applicazioni come la scansione retinica e la guida intraoperatoria (Albrecht et al., 2013). Inoltre, i sistemi laser spesso funzionano senza **radiazioni ionizzanti**, a differenza delle radiografie o delle TAC, il che li rende **più sicuro per un utilizzo ripetuto**, soprattutto nell'ambito della pediatria o del monitoraggio delle malattie croniche.

I moderni dispositivi basati sul laser stanno diventando sempre più **compatto, mobile e automatizzato**, grazie ai progressi in **laser a semiconduttore, fibra ottica, E algoritmi di apprendimento automatico** Queste innovazioni stanno aprendo le porte a **diagnostica sul punto di cura**, anche in contesti con risorse limitate o remoti (Le et al., 2023). I sistemi Raman portatili e le unità OCT palmari sono esempi di come la diagnostica laser si stia spostando dai laboratori agli ambienti clinici reali.

Inoltre, la diagnostica laser si integra bene con **realtà aumentata (AR) E sistemi di imaging assistiti da computer** che ne migliorano ulteriormente l'usabilità a fini didattici e clinici. Le sovrapposizioni AR possono evidenziare visivamente le aree problematiche durante le scansioni in tempo reale o guidare gli utenti verso le impostazioni laser ottimali, migliorando l'usabilità sia per i medici che per i tirocinanti (Akçayır & Akçayır, 2017).

5.2 Limitazioni e sfide tecniche

Nonostante i numerosi vantaggi, i sistemi diagnostici basati sul laser presentano anche degli svantaggi. **limitazioni tecniche, biologiche e pratiche.**

Una limitazione fondamentale è la **profondità di penetrazione tissutale**, che è fondamentalmente limitato da **diffusione e assorbimento della luce** Sebbene i laser nel vicino infrarosso possano penetrare per diversi millimetri nei tessuti molli, sono meno efficaci per l'imaging di organi profondi o strutture dense come le ossa. Ciò li rende meno adatti per l'imaging interno completo rispetto a modalità come la risonanza magnetica o la tomografia computerizzata (Barsom et al., 2016).

Inoltre, **eterogeneità tissutale** possono complicare l'interpretazione. Diversi tipi di tessuto, livelli di idratazione o pigmentazione possono alterare le proprietà di diffusione e assorbimento, richiedendo un'attenta calibrazione e talvolta portando a risultati incoerenti. Nella diagnostica basata sulla fluorescenza, problematiche come **fotodecolorazione O autofluorescenza** possono degradare la qualità del segnale o falsare i risultati (Zafar et al., 2021).





Costo e complessità Anche questi rappresentano ostacoli significativi alla diffusione su larga scala. Laser di alta qualità, rivelatori ottici e sistemi di raffreddamento possono essere costosi, e il mantenimento di un allineamento e di una calibrazione precisi richiede competenze tecniche. Sebbene la miniaturizzazione stia progredendo, molti sistemi richiedono ancora ambienti controllati o personale specializzato, limitandone l'impiego in contesti sanitari rurali o con risorse limitate (Ibrahim et al., 2022). Inoltre, **problemi di sicurezza** deve essere gestito con attenzione. L'esposizione a raggi laser ad alta intensità, soprattutto nella gamma del visibile o del vicino infrarosso, può comportare rischi per la **occhi e pelle**. Norme regolamentari da parte dell'**IEC (Commissione Elettrotecnica Internazionale)** e **ANSI (Istituto Nazionale Americano per gli Standard)** classificare i laser in base al rischio e specificare le misure di sicurezza per l'uso clinico, tra cui occhiali protettivi, segnaletica e contenimento del fascio (Albrecht et al., 2013).

5.3 Considerazioni etiche e di accessibilità

L'utilizzo di diagnostica laser avanzata solleva anche **questioni etiche**, in particolare riguardo **privacy dei dati**, **interpretazione algoritmica**, e **equità nell'assistenza sanitaria**. Con l'adozione di sistemi laser potenziati dall'intelligenza artificiale, è importante garantire che **diagnostica automatizzata** sono validati su diverse popolazioni e che **trasparenza del processo decisionale** viene mantenuto.

L'accessibilità è un altro problema critico. Sebbene la diagnostica laser possa teoricamente ridurre i costi sanitari consentendo una diagnosi precoce e riducendo le procedure invasive, **investimento iniziale e manutenzione** della tecnologia può essere proibitivo. Gli sforzi per **sviluppare hardware open-source**, **diodi laser a basso costo**, e **programmi di formazione didattica** sono essenziali per garantire che questi strumenti siano di beneficio a una vasta gamma di comunità in tutto il mondo.

6. Integrazione della diagnostica laser nell'istruzione: progetti didattici concreti.

6.1 Insegnare l'uso dei laser nell'istruzione secondaria STEM

L'insegnamento della tecnologia laser nelle scuole secondarie offre agli studenti un'introduzione alla fisica applicata, alle applicazioni biomediche e alla progettazione ingegneristica. Sebbene i laser siano spesso considerati concetti avanzati o astratti, numerose iniziative didattiche di successo hanno dimostrato che i giovani studenti possono comprendere e interagire con i principi del laser se supportati da strumenti pratici, basati sull'indagine e visivi.

Argomenti come **comportamento della luce**, **sistemi ottici**, e **interazione laser-tessuto** sono stati esplorati nelle classi attraverso moduli STEM interdisciplinari che uniscono **biologia**, **fisica**, e **tecnologia**. In alcuni programmi di studio, gli studenti costruiscono semplici configurazioni ottiche per esplorare la riflessione, la rifrazione e l'allineamento laser utilizzando laser a diodi a bassa potenza e sicuri. Altri si cimentano in simulazioni che dimostrano come la luce laser interagisce con i materiali biologici, soprattutto con l'ausilio di strumenti di realtà aumentata o di visualizzazione digitale.

6.2 Esempio 1: Progetto “Luce e Vita” – Germania

In Germania, le scuole partecipanti al programma **MINT-EC (Centro di eccellenza STEM)** La rete ha implementato un'unità tematica chiamata “*Luce e Vita*”, che integrava biologia, fisica e scienze mediche per studenti di età compresa tra 14 e 18 anni. Gli studenti imparavano a conoscere l'occhio umano e le tecniche di diagnostica per immagini attraverso la sperimentazione con **laser e lenti a bassa potenza** per simulare la tomografia a coerenza ottica (OCT). Hanno anche studiato come la luce penetra nei tessuti biologici creando fantocci di gelatina contenenti vari materiali (per simulare tumori o vasi sanguigni) e utilizzando puntatori laser rossi per osservare la diffusione e l'assorbimento.

Il progetto è culminato nelle presentazioni degli studenti, che hanno proposto i propri strumenti di imaging bio-ispirati, collegando la loro comprensione dell'ottica alle sfide concrete del settore sanitario.





Alcune scuole hanno utilizzato CoSpaces Edu per consentire agli studenti di simulare questi dispositivi in realtà aumentata (MINT-EC, 2022).

6.3 Esempio 2: Progetto BIOS4You – Simulazione della visione laser in realtà aumentata

All'interno del **Progetto BIOS4You Erasmus+**, studenti provenienti da diversi paesi europei hanno partecipato a moduli che utilizzavano **Realtà aumentata**. Esplorare come gli animali percepiscono la luce e come tale conoscenza viene trasferita alla diagnostica basata sul laser. Un'unità si è concentrata su... **la visione polarizzata della mantide di mare**, dove gli studenti visualizzavano un modello 3D dell'animale e poi passavano a una simulazione virtuale di uno strumento per la rilevazione del cancro basato sulla polarizzazione.

Gli studenti hanno imparato come **luce laser polarizzata**. Viene utilizzato per distinguere i tessuti cancerosi da quelli sani interagendo con interfacce diagnostiche virtuali, regolando la lunghezza d'onda del laser e interpretando sovrapposizioni di realtà aumentata codificate a colori. L'attività ha contribuito a rendere concreti concetti biomedici astratti, dimostrando al contempo la trasposizione nel mondo reale dell'ispirazione biologica in tecnologia. Il feedback degli insegnanti ha evidenziato un miglioramento del coinvolgimento e della comprensione, soprattutto tra gli studenti con uno stile di apprendimento visivo.

6.4 Esempio 3: iLASER – L'iniziativa nazionale irlandese per la formazione in fotonica.

IL iLASER (Promuovere la consapevolezza sull'uso dei laser nelle scuole attraverso risorse didattiche) L'iniziativa, guidata da ricercatori in Irlanda, ha sviluppato un kit di strumenti per gli insegnanti di scienze delle scuole secondarie per introdurre la fisica e le applicazioni dei laser. Gli studenti hanno appreso lo spettro elettromagnetico, hanno costruito i propri semplici dispositivi laser utilizzando LED a infrarossi sicuri e ottiche in plastica e hanno esplorato **sicurezza laser, fibra ottica, E diagnostica per immagini**.

Uno dei momenti salienti del programma iLASER è stata la sfida "Laser in Medicina", in cui agli studenti è stato chiesto di progettare uno strumento diagnostico non invasivo. Hanno utilizzato simulazioni in realtà aumentata e schemi digitali per progettare strumenti come monitor del glucosio indossabili o rilevatori di cancro della pelle senza contatto. Il programma ha posto l'accento su... **apprendimento basato sull'indagine**, collaborazione tra pari e risoluzione di problemi reali. (iLASER, 2021).

6.5 Risultati di apprendimento e impatto pedagogico

Questi esempi concreti evidenziano come l'educazione laser possa essere integrata efficacemente nelle scuole se accompagnata da:

- **Esperimenti pratici e sicuri** che sfatano i miti sui laser;
- **simulazioni di realtà aumentata** che visualizzano l'interazione tra luce e tessuto;
- **Attività di bioispirazione** che collegano le scienze della vita con l'ingegneria;
- **Progetti di design incentrati sullo studente** che promuovono la creatività e la capacità di risolvere i problemi.

La ricerca dimostra che la combinazione della manipolazione fisica (come lenti e laser) con l'aumento digitale (come le sovrapposizioni AR) porta a **maggiore memorizzazione dei concetti** E **maggiore motivazione** (Bacca et al., 2014; De Miguel & Martínez, 2023). Questi programmi incoraggiano inoltre gli studenti a riflettere su **Carriere STEM**, tra cui fisica medica, ingegneria biomedica e fotonica.





7. Fondamenti scientifici per l'integrazione della realtà aumentata nella formazione in diagnostica laser

7.1 Fondamento cognitivo: visualizzare l'invisibile in ottica e biofotonica

La diagnostica laser implica intrinsecamente **fenomeni invisibili o submicroscopici**: diffusione dei tessuti, assorbimento di fotoni, fronti d'onda coerenti e variazioni dell'indice di rifrazione. Questi processi sono difficili da concettualizzare per gli studenti delle scuole superiori attraverso i tradizionali diagrammi 2D o i media statici. La realtà aumentata colma questa lacuna consentendo **visualizzazione incarnata, spaziale e in tempo reale** delle interazioni luce-tessuto.

Secondo **teoria della doppia codifica** (Paivio, 1991) e **teoria del carico cognitivo** (Sweller et al., 1998), i processi scientifici complessi si comprendono meglio quando le informazioni verbali sono abbinate a rappresentazioni visive dinamiche. La realtà aumentata (AR) consente **minimizzazione dell'attenzione divisa** integrando le visualizzazioni direttamente nel campo percettivo dell'utente, ad esempio, proiettando come un raggio laser si rifrange attraverso tessuti stratificati o mostrando come la luce polarizzata ruota quando incontra fibre di collagene allineate nei tumori. Questo **accoppiamento contestuale di informazioni spaziali e concettuali** migliora significativamente la memorizzazione e il trasferimento delle conoscenze (Cheng & Tsai, 2013).

7.2 Giustificazione scientifica: Interazione laser-tessuto e simulazioni ottiche nella realtà aumentata

Recenti progressi in **rendering in tempo reale della fisica ottica** rendono tecnicamente fattibile simulare accuratamente le interazioni laser-tessuto in realtà aumentata. Ciò include:

- **Algoritmi di ray tracing** Adattato per piattaforme AR mobili in grado di mostrare il comportamento dei raggi laser in mezzi biologici multistrato, inclusi riflessione, rifrazione e diffusione ai confini (ad esempio, cornea-retina, pelle-grasso-muscolo).
- **Modelli di trasporto leggero Monte Carlo**, tradizionalmente utilizzato nella ricerca sull'imaging medico, può ora essere semplificato e integrato nei motori AR per simulare **profondità di assorbimento dei fotoni, tasso di influenza, E lunghezza del percorso ottico** sotto diverse lunghezze d'onda (Jacques, 2013).
- Nelle simulazioni diagnostiche quali **OTTOBRE O imaging fotoacustico** Gli studenti possono visualizzare la focalizzazione del fascio, il gating di coerenza e il ritorno del segnale tissutale, favorendo una comprensione più approfondita di **formazione del segnale e risoluzione dell'immagine**.

L'utilizzo della realtà aumentata per visualizzare queste interazioni consente agli studenti di sperimentare con variabili (ad esempio, lunghezza d'onda, tipo di tessuto, angolo del fascio) in modi che sarebbero impossibili nei laboratori scolastici, offrendo un'esperienza più completa. **modello virtuale ma scientificamente valido** di come la luce interagisce con i sistemi biologici.

7.3 Prove empiriche: la realtà aumentata nell'apprendimento in ottica e biomedicina

Un numero crescente di ricerche empiriche conferma l'efficacia della realtà aumentata nell'insegnamento di contenuti relativi alla luce:

- **Dünser et al. (2012)** È emerso che gli studenti delle scuole superiori che studiavano ottica con moduli di realtà aumentata mostravano un miglioramento significativo nel ragionamento spaziale e nell'accuratezza concettuale rispetto a quelli che utilizzavano materiali tradizionali.
- **Ibáñez et al. (2014)** È stato dimostrato che l'integrazione della realtà aumentata nell'insegnamento della fisica, in particolare per quanto riguarda i modelli di onde e interferenze,





migliora la capacità degli studenti di visualizzare principi astratti e di applicarli a contesti biomedici reali.

- Uno studio di **Ferrer-Torregrosa et al. (2016)** Nell'ambito della formazione in ingegneria biomedica, è stato dimostrato che le simulazioni basate sulla realtà aumentata di tecniche ottiche come la microscopia confocale e la scansione laser aumentano l'accuratezza dell'interpretazione diagnostica e il coinvolgimento, soprattutto per gli studenti con scarse conoscenze pregresse.
- Ricerche recenti in **Gamificazione STEM e didattica XR** (De Miguel & Martínez, 2023) evidenzia come **Simulazioni interattive in realtà aumentata di dispositivi diagnostici**—come quelli utilizzati in BIOS4You—migliorano la motivazione degli studenti e portano a una più profonda integrazione concettuale tra fisica, biologia e tecnologia.

7.4 Considerazioni sull'implementazione: fedeltà e allineamento pedagogico

Affinché l'integrazione della realtà aumentata sia scientificamente efficace nella formazione in diagnostica laser, è necessario rispettare due principi chiave:

1. **Fedeltà del modello** Le simulazioni devono riflettere accuratamente l'ottica fisica, ovvero la divergenza del fascio, l'incidenza angolare e l'anisotropia dei tessuti, anche se semplificate. Le visualizzazioni a bassa fedeltà possono generare idee errate (ad esempio, una profondità di penetrazione del fascio costante o una propagazione della luce scorretta nei tessuti eterogenei).
2. **Allineamento pedagogico** Le attività AR devono essere collegate all'apprendimento basato sull'indagine, in cui gli studenti **formulare ipotesi, modifiche delle variabili di test, E interpretare i risultati diagnostici**, piuttosto che limitarsi a guardare passivamente le animazioni.

Ad esempio, l'utilizzo della realtà aumentata per simulare **Penetrazione del laser nella pelle sana rispetto alla pelle cancerosa** consente agli studenti di regolare la lunghezza d'onda e osservare le differenze in **profondità e dispersione**, rafforzando la comprensione di **principi della biopsia ottica**.

Conclusione

Comprendere l'interazione tra luce e tessuto biologico apre una finestra su uno dei settori più avanzati e di maggiore impatto della medicina moderna: la diagnostica laser. Questa unità didattica ha introdotto gli studenti delle scuole secondarie ai principi scientifici della fisica laser, dell'ottica biomedica e delle tecnologie diagnostiche come la tomografia a coerenza ottica (OCT), la fluorescenza indotta da laser (LIF) e l'imaging fotoacustico. Esplorando come specifiche lunghezze d'onda della luce possano rivelare informazioni fisiologiche e patologiche cruciali, gli studenti acquisiscono una comprensione delle applicazioni concrete delle conoscenze STEM all'intersezione tra fisica, biologia e innovazione medica.

L'integrazione di Realtà aumentata (RA) Gli strumenti di realtà aumentata svolgono un ruolo fondamentale nel rendere visibili, interattivi e coinvolgenti fenomeni complessi. Le simulazioni in realtà aumentata consentono agli studenti di visualizzare processi invisibili, come la dispersione dei raggi laser nei tessuti, la generazione dei segnali immagine e la dipendenza dell'accuratezza diagnostica dai parametri ottici. Questi strumenti non solo favoriscono una comprensione più approfondita attraverso l'apprendimento esperienziale, ma promuovono anche la creatività e la curiosità, permettendo agli studenti di testare variabili, progettare scenari e affrontare sfide diagnostiche.

Inoltre, attraverso **pensiero progettuale bio-ispirato** Gli studenti sono incoraggiati a trarre ispirazione dalle soluzioni ottiche offerte dalla natura, come la sensibilità alla polarizzazione negli animali marini, per ideare nuovi strumenti diagnostici. Questo favorisce il ragionamento interdisciplinare e collega le conoscenze acquisite in classe alla ricerca all'avanguardia che sta alla base delle tecnologie mediche.

Al termine di questa unità, gli studenti non solo sviluppano una solida comprensione concettuale dell'interazione laser-tessuto, ma rafforzano anche le loro capacità di risoluzione dei problemi, il ragionamento scientifico e l'alfabetizzazione digitale attraverso l'utilizzo di ambienti potenziati dalla realtà aumentata. Questo percorso di apprendimento esemplifica come contenuti scientifici complessi





possano essere resi accessibili, interattivi e orientati al futuro, preparando gli studenti a pensare in modo critico e creativo al ruolo della luce e della tecnologia nel miglioramento della salute umana.

Fase	Descrizione
Esplorare	-Scoperta scientificaGli studenti vengono introdotti ai fondamenti della luce e dell'interazione laser-tessuto attraverso una ricerca guidata, che include l'utilizzo della diagnostica laser in medicina (ad esempio, OCT, imaging a fluorescenza). -Indagine sulla bioispirazioneGli studenti esplorano i sistemi visivi naturali (ad esempio, la mantide di mare, le ali di farfalla) e la loro influenza sugli strumenti diagnostici moderni. -Analisi dei bisogni e del contestoGli insegnanti valutano le conoscenze pregresse degli studenti in ottica e biologia e individuano eventuali idee errate relative alla luce, alla rifrazione o all'imaging biologico.
Eseguire	-Implementazione della lezioneLe lezioni principali vengono impartite combinando biologia e fisica, e trattano i fondamenti del laser, i principi diagnostici e l'interazione con i tessuti. Attività basate sulla realtà aumentataGli studenti partecipano a simulazioni di realtà aumentata per esplorare il comportamento della luce laser negli strati tissutali, simulando procedure diagnostiche (ad esempio, regolando la lunghezza d'onda per colpire determinati tessuti). - Ciclo di feedbackGli insegnanti raccolgono feedback formativi attraverso diari riflessivi, quiz in-AR e discussioni tra pari per monitorare la comprensione concettuale.





Migliorare	- Visualizzazione aumentata Gli strumenti di realtà aumentata simulano la diffusione, l'assorbimento e il comportamento del raggio laser in modelli di tessuto virtuali, consentendo agli studenti di interagire con le configurazioni diagnostiche e di manipolarle. - Design e innovazione Gli studenti concettualizzano o realizzano un prototipo di strumento diagnostico basato sul laser, ispirato alla visione animale, applicando quanto appreso nella realtà aumentata. - Collegamenti interdisciplinari Gli studenti riflettono su come biologia, fisica e ingegneria si combinino in strumenti medici concreti. -Elementi di gamificazione per il coinvolgimento degli studenti (Laser Context) ● Punti e distintivi Gli studenti guadagnano punti completando con successo attività di realtà aumentata come la simulazione di OCT o la regolazione dei parametri in un modello laser-tessuto. Vengono assegnati badge al raggiungimento di traguardi come "Diagnosi accurata" o "Maestro di ottica". ● Classifiche Gli studenti o le squadre vengono classificati in base all'accuratezza diagnostica, al tempo impiegato per completare le sfide di scansione laser o al successo nell'identificazione dei tessuti nelle scansioni di realtà aumentata. ● Missioni e livelli Gli studenti completano "casi" diagnostici potenziati dalla realtà aumentata, progredendo da simulazioni di base di tessuti trattate con laser a scenari di imaging complessi e multistrato. ● Ricompense per l'esplorazione Nel modello di realtà aumentata sono nascosti oggetti bonus o informazioni mediche. Ad esempio, gli studenti potrebbero scoprire strati nascosti in una sezione trasversale virtuale della pelle per individuare un melanoma in fase iniziale tramite la riflessione laser. ● Sfide collaborative I team collaborano per risolvere enigmi diagnostici, ad esempio individuando anomalie in una scansione simulata di tessuto o proponendo un miglioramento bioispirato per uno strumento laser. Strumenti di valutazione basati sulla realtà aumentata (Laser Learning Focus) ● Punti di controllo interattivi Gli studenti dimostrano di aver compreso la propagazione e l'assorbimento della luce utilizzando modelli di tessuto AR etichettati. ● Compiti basati su scenari Gli studenti interpretano i risultati diagnostici simulati tramite realtà aumentata (ad esempio, immagini di fluorescenza con codifica a colori) e giustificano le proprie decisioni. ● Distintivi di competenza Rilasciato per aver spiegato in modo accurato come la lunghezza d'onda del laser influisce sulla penetrazione nei tessuti o come la polarizzazione viene utilizzata per rilevare le malattie.
--------------------------	---





Riferimenti

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Vantaggi e sfide associati alla realtà aumentata per l'istruzione: una revisione sistematica. *Rivista di ricerca educativa*, 20, 1–11.

Albrecht, U. V., et al. (2013). Effetti dell'apprendimento tramite realtà aumentata mobile rispetto all'apprendimento tramite libri di testo sugli studenti di medicina: studio pilota—*Rivista di ricerca medica su Internet*, 15(8), e182.

Arvanitis, T. N., et al. (2009). Fattori umani nella realtà aumentata mobile per l'educazione scientifica utilizzata da studenti con disabilità. *Informatica personale e onnipresente*, 13(3), 243–250.

Bacca, J., et al. (2014). Tendenze della realtà aumentata nell'istruzione: una revisione sistematica. *Tecnologia educativa e società*, 17(4), 133–149.

Barsom, E. Z., Graafland, M. e Schijven, M. P. (2016). Applicazioni AR nella formazione medica: una revisione sistematica. *Endoscopia chirurgica*, 30(10), 4174–4183.

Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2013). Le potenzialità della realtà aumentata nell'apprendimento scientifico: suggerimenti per la ricerca futura. *Rivista di educazione scientifica e tecnologia*, 22(4), 449–462.

De Miguel, M., & Martínez, A. (2023). La realtà aumentata nell'educazione STEM: coinvolgimento e apprendimento degli studenti. *Scienze dell'educazione*, 13(1), 84. <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/1/84>

Dünser, A., Walker, L., Horner, H., & Bentall, D. (2012). Creazione di libri didattici interattivi di fisica con realtà aumentata. *Atti della 24^a Conferenza australiana sull'interazione uomo-computer*.

Ferrer-Torregrosa, J., Jimenez-Rodriguez, M. A., Torralba-Estelles, J., et al. (2016). Piattaforme di e-learning a distanza nelle scienze biomediche e sanitarie: simulazione di e-learning per la diagnostica laser. *Formazione medica BMC*, 16, 274.

Ibrahim, A., Awooda, E., & Elnour, A. (2022). La barriera dei costi dei sistemi diagnostici basati sul laser nell'Africa subsahariana: una sfida per le tecnologie mediche emergenti. *Tecnologia sanitaria*, 12(3), 225–233.

Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Sperimentazione con l'elettromagnetismo tramite realtà aumentata: impatto sull'esperienza di flow degli studenti e sull'efficacia didattica. *Computer e istruzione*, 71, 1–13.

Jacques, S. L. (2013). Proprietà ottiche dei tessuti biologici: una rassegna. *Fisica in medicina e biologia*, 58(11), R37–R61.

Le, T., Chen, Y., & Chang, J. (2023). Biosensori laser miniaturizzati per la diagnostica point-of-care: progressi e tendenze future. *Sensori e attuatori B: Chimici*, 383, 134648.

Paivio, A. (1991). Teoria della doppia codifica: retrospettiva e stato attuale. *Rivista canadese di psicologia*, 45(3), 255–287.

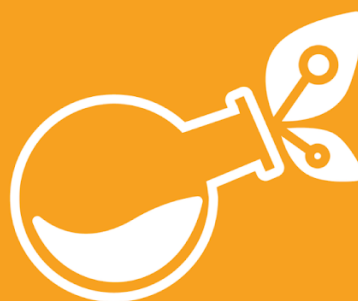
Sweller, J., van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Architettura cognitiva e progettazione didattica. *Rivista di psicologia dell'educazione*, 10(3), 251–296.

Zafar, S., Awais, M., & Zafar, A. N. (2021). Realtà aumentata nella formazione medica: una meta-analisi di revisioni sistematiche. *Frontiere della sanità pubblica*, 9, 638259.





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.