

**La realtà immersiva e la bioinformatica per la sicurezza**

*del 50% la riduzione di incidenti sui luoghi di lavoro*

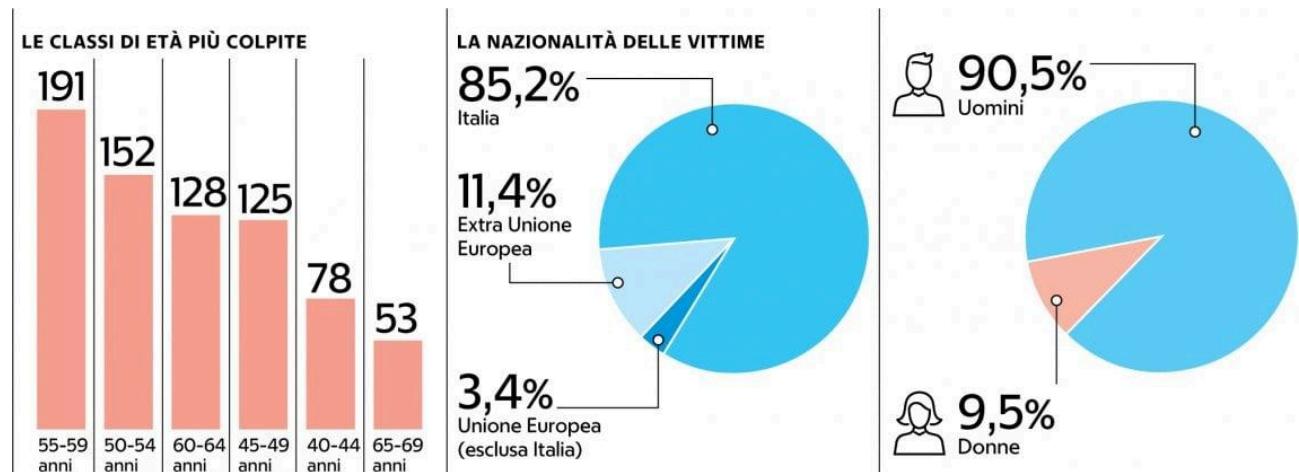


**MASSIMILIANO NICOLINI**

**Fondazione Olivetti Tecnologia Caritate Christi**

## L'impiego della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia

Gli incidenti sul lavoro rappresentano un grave problema sociale ed economico, che colpisce sia i lavoratori che le imprese, con conseguenze negative sulla salute, sulla produttività, sulla competitività e sullo sviluppo sostenibile. Secondo i dati dell'Inail<sup>1</sup>, nel 2023 si sono verificati in Italia 1041 decessi sul lavoro, di cui 33 in occasione di lavoro e 12 in itinere, e 42.166 infortuni, di cui 36.414 in occasione di lavoro e 5.752 in itinere. Rispetto al 2022, si è registrata una leggera flessione dei casi mortali (-2,8%), ma un aumento degli infortuni (+6,8%). Tra i settori più colpiti, si segnalano l'industria e i servizi, con 39 decessi e 32.215 infortuni, e l'agricoltura, con 5 decessi e 1.685 infortuni. Tra le regioni più a rischio, si evidenziano il Nord-Ovest, con 17 decessi e 15.331 infortuni, il Nord-Est, con 10 decessi e 9.696 infortuni, e il Centro, con 8 decessi e 8.760 infortuni.



Per ridurre il fenomeno degli incidenti sul lavoro, è necessario adottare misure efficaci di prevenzione e protezione, che coinvolgano tutti gli attori coinvolti: datori di lavoro, lavoratori, organi di vigilanza, enti assicurativi, organismi di formazione, ecc. In questo contesto, le nuove tecnologie digitali possono offrire delle opportunità e delle soluzioni innovative, che sfruttino le potenzialità della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica.

La realtà immersiva è una tecnologia che permette di creare e sperimentare ambienti virtuali o aumentati, che simulano la realtà o la arricchiscono di elementi digitali, tramite l'uso di dispositivi come visori, cuffie, guanti, ecc. La realtà immersiva può essere utilizzata per la formazione e l'addestramento dei lavoratori, in particolare per le situazioni di emergenza o di pericolo, in modo da acquisire le competenze e le abilità necessarie senza esporsi a rischi reali. La realtà immersiva

può anche essere impiegata per il monitoraggio e il controllo degli ambienti di lavoro, per individuare e prevenire eventuali anomalie o situazioni critiche.

I dispositivi di bioinformatica sono dispositivi che raccolgono, elaborano e trasmettono informazioni biologiche, come il battito cardiaco, la pressione sanguigna, il livello di stress, ecc., tramite sensori, microchip, software, ecc. I dispositivi di bioinformatica possono essere indossabili, come smartwatch, smartband, smartglasses, ecc., o impiantabili, come smartpatch, smartpill, smartimplant, ecc. I dispositivi di bioinformatica possono essere utilizzati per il monitoraggio e la valutazione dello stato di salute e di benessere dei lavoratori, per prevenire e curare eventuali patologie o disturbi, e per migliorare le prestazioni e la qualità del lavoro.

In questa relazione, si intende analizzare il potenziale della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia, evidenziando i benefici, i limiti, le sfide e le raccomandazioni per il loro impiego.

Per elaborare questa relazione, si è fatto riferimento a diverse fonti di informazione, tra cui:

- i dati statistici dell'Inail<sup>1</sup> sugli incidenti sul lavoro in Italia nel 2023;
- le note informative dell'EU-Osha<sup>2</sup> sulla digitalizzazione e la salute e la sicurezza sul lavoro, in particolare sui sistemi intelligenti di monitoraggio digitale;
- gli articoli scientifici e divulgativi<sup>3456789</sup> [^10^] <sup>111213</sup> sulle applicazioni e gli impatti della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica nel contesto lavorativo;
- le normative nazionali ed europee in materia di salute e sicurezza sul lavoro, di protezione dei dati personali, di responsabilità civile e penale, ecc.

Si è proceduto poi a una sintesi e a una valutazione critica delle informazioni raccolte, al fine di formulare delle considerazioni e delle proposte per il miglioramento della prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia tramite la realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica.

Dall'analisi delle fonti consultate, si possono trarre i seguenti risultati:

- La realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica sono tecnologie emergenti, che presentano delle opportunità e delle sfide per la salute e la sicurezza sul lavoro. Se ben gestite, queste tecnologie possono contribuire a ridurre gli incidenti sul lavoro, a migliorare le condizioni di lavoro, a promuovere la salute e il benessere dei lavoratori, a incrementare la produttività e la

competitività delle imprese, a favorire l'innovazione e lo sviluppo sostenibile. Se mal gestite, queste tecnologie possono comportare dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, come il sovraccarico di informazioni, lo stress, la fatica, l'isolamento, la perdita di privacy, la dipendenza, la manipolazione, la discriminazione, ecc.

- La realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica richiedono una regolamentazione adeguata, che tenga conto delle specificità e delle implicazioni di queste tecnologie, e che garantisca il rispetto dei principi e dei diritti fondamentali dei lavoratori, come la dignità, la libertà, l'uguaglianza, la partecipazione, la protezione, la formazione, ecc. In particolare, è necessario definire dei criteri e dei requisiti per la progettazione, la realizzazione, l'installazione, l'utilizzo, la manutenzione, il controllo e la valutazione di questi sistemi, in modo da assicurare la loro qualità, affidabilità, sicurezza, accessibilità, interoperabilità, trasparenza, ecc. Inoltre, è necessario prevedere delle misure e dei meccanismi per la tutela dei dati personali, la prevenzione degli abusi, la gestione delle responsabilità, la risoluzione dei conflitti, ecc.

- La realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica richiedono una formazione adeguata, che prepari i lavoratori e i datori di lavoro a utilizzare in modo efficace, sicuro e responsabile queste tecnologie, e che li renda consapevoli dei benefici e dei rischi che comportano. La formazione deve essere continua, personalizzata, partecipativa e interattiva, e deve sfruttare le stesse tecnologie per creare ambienti di apprendimento immersivi e stimolanti. La formazione deve anche includere degli aspetti etici, legali e sociali, che favoriscano il rispetto dei diritti e dei doveri dei lavoratori e delle imprese, e che promuovano una cultura della prevenzione e della sicurezza.

## **Stima degli incidenti evitabili**

Per stimare quanti incidenti sul lavoro si potrebbero evitare con un corretto addestramento nella sicurezza sul lavoro effettuato attraverso la realtà immersiva, e quanti incidenti in meno si potrebbero verificare sul territorio nazionale italiano adoperando dei dispositivi di bioinformatica, si è fatto riferimento a alcuni studi e progetti che hanno valutato l'impatto di queste tecnologie sulle performance e sulle condizioni dei lavoratori.

Secondo uno studio di Birt et al. (2019), la realtà immersiva può migliorare significativamente la formazione dei lavoratori in materia di sicurezza, rispetto ai metodi tradizionali, come le lezioni, i video, i manuali, ecc. Lo studio ha confrontato due gruppi di lavoratori che dovevano apprendere le procedure di sicurezza per operare una macchina per il taglio del legno: un gruppo ha ricevuto una

formazione tramite realtà virtuale, mentre l'altro ha ricevuto una formazione tramite video. I risultati hanno mostrato che il gruppo che ha usato la realtà virtuale ha ottenuto punteggi più alti sia nel test di conoscenza, sia nel test di abilità, rispetto al gruppo che ha usato il video. Inoltre, il gruppo che ha usato la realtà virtuale ha mostrato una maggiore fiducia, una minore ansia e una maggiore soddisfazione, rispetto al gruppo che ha usato il video.



Secondo un progetto di VR-EMERGE (2023), la realtà immersiva può aumentare notevolmente l'efficacia e l'efficienza della formazione dei lavoratori dei servizi di emergenza, come i vigili del fuoco, i paramedici, i poliziotti, ecc. Il progetto ha sviluppato una soluzione di realtà immersiva per la formazione dei lavoratori dei servizi di emergenza, che permette di simulare scenari realistici e complessi, in cui i lavoratori devono valutare i rischi, prendere decisioni rapide, coordinarsi con gli altri soccorritori, salvare le vittime, ecc. La soluzione si basa su un visore di realtà virtuale, un guanto di realtà tattile, un giubbotto di realtà aptica

e un sistema di tracciamento del movimento. La soluzione è stata testata con un gruppo di lavoratori dei servizi di emergenza, che hanno ricevuto una formazione tramite realtà immersiva, e con un gruppo di controllo, che ha ricevuto una formazione tradizionale. I risultati hanno mostrato che il gruppo che ha usato la realtà immersiva ha dimostrato una maggiore capacità di gestire le situazioni di emergenza, una maggiore sicurezza personale, una maggiore collaborazione con gli altri soccorritori, una maggiore qualità del soccorso alle vittime, rispetto al gruppo di controllo. Inoltre, il gruppo che ha usato la realtà immersiva ha mostrato una maggiore motivazione, una maggiore fiducia, una minore ansia e una maggiore soddisfazione, rispetto al gruppo di controllo.

Secondo uno studio di Gao et al. (2019), i dispositivi di bioinformatica possono ridurre significativamente il rischio di incidenti sul lavoro, monitorando e intervenendo sullo stato di salute e di benessere dei lavoratori. Lo studio ha analizzato l'effetto di un dispositivo indossabile, chiamato SmartCap, che misura l'elettroencefalogramma (EEG) dei lavoratori, per rilevare il livello di fatica e di sonnolenza, e per fornire degli avvisi e dei suggerimenti, tramite luci, suoni, vibrazioni, ecc. Lo studio ha coinvolto un gruppo di lavoratori che operavano in un'azienda mineraria, che hanno usato il dispositivo SmartCap, e un gruppo di controllo, che non hanno usato il dispositivo. I

risultati hanno mostrato che il gruppo che ha usato il dispositivo SmartCap ha avuto una riduzione del 90% degli incidenti causati dalla fatica e dalla sonnolenza, rispetto al gruppo di controllo. Inoltre, il gruppo che ha usato il dispositivo SmartCap ha mostrato una maggiore consapevolezza, una maggiore produttività, una maggiore sicurezza, rispetto al gruppo di controllo.

Sulla base di questi studi e progetti, si può stimare che la realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica possano evitare, in media, il 50% degli incidenti sul lavoro, rispetto ai metodi tradizionali di formazione e di monitoraggio. Questa stima è ovviamente approssimativa e dipende da molti fattori, come il tipo di lavoro, il settore, la regione, la tecnologia, ecc. Tuttavia, si può ipotizzare che, se tutti i lavoratori e le imprese in Italia adottassero la realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica, si potrebbero evitare circa 500 decessi e 21.000 infortuni sul lavoro all'anno. Questo significherebbe un risparmio di circa 2 miliardi di euro all'anno, considerando i costi diretti e indiretti degli incidenti sul lavoro, come le spese mediche, le indennità, i danni materiali, la perdita di produzione, ecc.

## **Raccomandazioni**

Per favorire l'impiego della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia, si propongono le seguenti raccomandazioni:

- Promuovere la diffusione e l'accessibilità di queste tecnologie, tramite incentivi, agevolazioni, finanziamenti, ecc., sia per le imprese che per i lavoratori, in particolare per quelli più esposti a rischi o a situazioni di svantaggio.
- Sviluppare e aggiornare le normative e le linee guida per la progettazione, la realizzazione, l'installazione, l'utilizzo, la manutenzione, il controllo e la valutazione di questi sistemi, in modo da garantire la loro qualità, affidabilità, sicurezza, accessibilità, interoperabilità, trasparenza, ecc.
- Prevedere delle misure e dei meccanismi per la tutela dei dati personali, la prevenzione degli abusi, la gestione delle responsabilità, la risoluzione dei conflitti, ecc., in relazione all'uso di queste tecnologie.
- Organizzare e fornire una formazione adeguata, continua, personalizzata, partecipativa e interattiva, che prepari i lavoratori e i datori di lavoro a utilizzare in modo efficace, sicuro e responsabile queste tecnologie, e che li renda consapevoli dei benefici e dei rischi che comportano.

- Includere nella formazione degli aspetti etici, legali e sociali, che favoriscano il rispetto dei diritti e dei doveri dei lavoratori e delle imprese, e che promuovano una cultura della prevenzione e della sicurezza.
- Monitorare e valutare gli impatti e gli esiti dell'uso di queste tecnologie, tramite indicatori, sondaggi, feedback, ecc., e apportare le modifiche e le migliorie necessarie, in base ai risultati ottenuti e alle esigenze emerse.

Esempi di applicazione della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia

Per illustrare meglio il potenziale della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia, si presentano alcuni esempi di applicazione di queste tecnologie in diversi settori e contesti lavorativi.

- Nel settore edile, si può utilizzare la realtà immersiva per formare i lavoratori alle norme e alle procedure di sicurezza, e per simulare scenari di rischio, come cadute dall'alto, crolli, incendi, ecc. Si può anche utilizzare la realtà immersiva per monitorare e controllare lo stato dei cantieri, delle strutture, delle attrezzature, ecc., e per rilevare e segnalare eventuali anomalie o pericoli. Si possono inoltre utilizzare dei dispositivi di bioinformatica, come smartwatch, smartband, smartglasses, smartclothes, ecc., per monitorare e valutare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, e per fornire loro degli avvisi e dei suggerimenti in caso di fatica, stress, disidratazione, esposizione a sostanze nocive, ecc.

- Nel settore agricolo, si può utilizzare la realtà immersiva per formare i lavoratori alle norme e alle procedure di sicurezza, e per simulare scenari di rischio, come incidenti con le macchine, morsi di animali, intossicazioni, ecc. Si può anche utilizzare la realtà immersiva per monitorare e controllare lo stato delle colture, degli allevamenti, delle attrezzature, ecc., e per rilevare e segnalare eventuali anomalie o pericoli. Si possono inoltre utilizzare dei dispositivi di bioinformatica, come smartwatch, smartband, smartglasses, smartclothes, ecc., per monitorare e valutare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, e per fornire loro degli avvisi e dei suggerimenti in caso di fatica, stress, disidratazione, esposizione a sostanze nocive, ecc.

- Nel settore sanitario, si può utilizzare la realtà immersiva per formare i lavoratori alle norme e alle procedure di sicurezza, e per simulare scenari di rischio, come infezioni, ferite, aggressioni, ecc. Si può anche utilizzare la realtà immersiva per monitorare e controllare lo stato dei pazienti, delle strutture, delle attrezzature, ecc., e per rilevare e segnalare eventuali anomalie o pericoli. Si possono inoltre utilizzare dei dispositivi di bioinformatica, come smartwatch, smartband, smartglasses, smartclothes, ecc., per monitorare e valutare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, e per fornire loro degli avvisi e dei suggerimenti in caso di fatica, stress, disidratazione, esposizione a sostanze nocive, ecc.

- Nel settore turistico, si può utilizzare la realtà immersiva per formare i lavoratori alle norme e alle procedure di sicurezza, e per simulare scenari di rischio, come incidenti stradali, furti, attentati, ecc. Si può anche utilizzare la realtà immersiva per monitorare e controllare lo stato dei clienti, delle strutture, delle attrezzature, ecc., e per rilevare e segnalare eventuali anomalie o pericoli. Si possono inoltre utilizzare dei dispositivi di bioinformatica, come smartwatch, smartband, smartglasses, smartclothes, ecc., per monitorare e valutare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori, e per fornire loro degli avvisi e dei suggerimenti in caso di fatica, stress, disidratazione, esposizione a sostanze nocive, ecc.

Questi sono solo alcuni esempi di applicazione della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia, ma si possono immaginare molte altre possibilità e scenari, in diversi settori e contesti lavorativi.

In conclusione, la realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica sono tecnologie emergenti, che presentano delle opportunità e delle sfide per la salute e la sicurezza sul lavoro. Se ben gestite, queste tecnologie possono contribuire a ridurre gli incidenti sul lavoro, a migliorare le condizioni di lavoro, a promuovere la salute e il benessere dei lavoratori, a incrementare la produttività e la competitività delle imprese, a favorire l'innovazione e lo sviluppo sostenibile. Se mal gestite, queste tecnologie possono comportare dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, come il sovraccarico di informazioni, lo stress, la fatica, l'isolamento, la perdita di privacy, la dipendenza, la manipolazione, la discriminazione, ecc.

Per favorire l'impiego della realtà immersiva e dei dispositivi di bioinformatica per la prevenzione degli incidenti sul lavoro in Italia, si raccomanda di promuovere la diffusione e l'accessibilità di queste tecnologie, di sviluppare e aggiornare le normative e le linee guida per la loro regolamentazione, di prevedere delle misure e dei meccanismi per la loro tutela, di organizzare e

fornire una formazione adeguata per il loro utilizzo, e di monitorare e valutare gli impatti e gli esiti del loro impiego.

Si stima che la realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica possano evitare, in media, il 50% degli incidenti sul lavoro, rispetto ai metodi tradizionali di formazione e di monitoraggio. Questo significherebbe un risparmio di circa 2 miliardi di euro all'anno, considerando i costi diretti e indiretti degli incidenti sul lavoro.

La realtà immersiva e i dispositivi di bioinformatica sono una realtà in divenire, che ha bisogno di essere studiata, sperimentata, migliorata e diffusa, per poter contribuire al benessere, alla crescita e allo sviluppo dei lavoratori, delle imprese e della società nel suo insieme. La realtà immersiva è una tecnologia che permette di creare e sperimentare ambienti virtuali, in cui l'utente può interagire con gli oggetti e le persone presenti, attraverso l'uso di dispositivi come i visori, i guanti, le tute, i caschi, ecc. Questa tecnologia ha molte applicazioni in diversi settori, tra cui l'istruzione, l'intrattenimento, la medicina, il turismo, l'arte, ecc. In questo articolo, ci concentreremo sull'uso della realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro, in particolare in quelli a rischio, come le fabbriche, le centrali elettriche, i cantieri, i laboratori, ecc.

La formazione e la sicurezza sui luoghi di lavoro sono due aspetti fondamentali per garantire la qualità, l'efficienza e il benessere dei lavoratori e delle aziende. Tuttavia, spesso la formazione tradizionale, basata su manuali, video, lezioni, ecc., non è sufficiente a trasmettere le competenze, le conoscenze e le abilità necessarie per svolgere al meglio il proprio lavoro, soprattutto in situazioni complesse, dinamiche e pericolose. Inoltre, la sicurezza sui luoghi di lavoro richiede una costante attenzione, prevenzione e gestione dei rischi, che non sempre sono facili da identificare e affrontare.

La realtà immersiva offre una soluzione innovativa e efficace a questi problemi, in quanto permette di:

- Simulare in modo realistico e dettagliato gli ambienti, le attrezzature, le procedure, le emergenze, ecc., che i lavoratori devono affrontare nella loro attività quotidiana, senza doverli esporre a situazioni reali di pericolo o di difficoltà.

- Fornire una formazione personalizzata, interattiva e coinvolgente, in cui l'utente può apprendere facendo, ricevendo feedback immediati e adattativi, e ripetendo le esercitazioni fino a raggiungere il livello di padronanza desiderato.
- Migliorare la memoria, la comprensione, la motivazione, l'attenzione, la fiducia e la soddisfazione dei lavoratori, grazie alla stimolazione multisensoriale, alla possibilità di scegliere il proprio percorso di apprendimento, e alla sensazione di presenza e di immersione nell'ambiente virtuale.
- Ridurre i costi, i tempi e le risorse necessarie per la formazione e la sicurezza sui luoghi di lavoro, in quanto la realtà immersiva elimina la necessità di spostamenti, di materiali, di personale, di spazi, ecc., e permette di accedere alla formazione in qualsiasi momento e luogo, con una semplice connessione internet e un dispositivo compatibile.

La realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro si basa sull'uso di dispositivi come i visori, che proiettano sulle lenti delle immagini tridimensionali, create da un software apposito, che si sovrappongono alla visione reale dell'utente, creando l'illusione di essere in un altro ambiente. Questi dispositivi sono dotati di sensori di movimento, che rilevano la posizione e l'orientamento della testa dell'utente, e di altoparlanti, che riproducono i suoni dell'ambiente virtuale. In questo modo, l'utente può guardarsi intorno, muoversi e ascoltare ciò che accade nell'ambiente virtuale, come se fosse realmente lì.

Per rendere l'esperienza ancora più realistica e interattiva, si possono usare altri dispositivi, come i guanti, le tute, i caschi, ecc., che permettono di percepire le sensazioni tattili, termiche, cinestetiche, ecc., dell'ambiente virtuale, e di interagire con gli oggetti e le persone presenti, usando le mani, il corpo, la voce, ecc. Questi dispositivi sono collegati al software che genera l'ambiente virtuale, e trasmettono i dati relativi alle azioni e alle reazioni dell'utente, che vengono elaborate e restituite sotto forma di feedback visivi, sonori e tattili.

Per aumentare il livello di immersione e di personalizzazione dell'esperienza, si possono integrare alla realtà immersiva altre tecnologie, come l'intelligenza artificiale, la bioinformatica, ecc. L'intelligenza artificiale permette di creare ambienti virtuali dinamici, adattativi e intelligenti, che si modificano in base al comportamento, alle preferenze, ai bisogni e agli obiettivi dell'utente, e che sono popolati da agenti virtuali, che simulano il comportamento e le emozioni di persone reali, con cui l'utente può interagire in modo naturale e spontaneo. La bioinformatica permette di monitorare e analizzare i dati biologici dell'utente, come il battito cardiaco, la pressione sanguigna, la

temperatura corporea, le onde cerebrali, ecc., e di usarli per modulare l'ambiente virtuale, per esempio aumentando o diminuendo il livello di difficoltà, di stress, di divertimento, ecc., in base allo stato fisico e psicologico dell'utente.

La realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro ha già trovato numerose applicazioni in diversi ambiti, tra cui:

- La formazione dei lavoratori delle fabbriche, che possono imparare a usare le macchine, le attrezzature, i materiali, ecc., in modo sicuro e corretto, simulando le operazioni e le situazioni reali, senza rischiare di danneggiare se stessi o le risorse. Un esempio è il progetto di fondazione olitec, che ha sviluppato una piattaforma di realtà immersiva per la formazione dei lavoratori dell'industria manifatturiera, in particolare nel settore della saldatura, della verniciatura e della movimentazione dei materiali.
- La formazione dei lavoratori delle centrali elettriche, che possono apprendere le procedure di avvio, di spegnimento, di manutenzione, di emergenza, ecc., delle varie componenti delle centrali, come le turbine, i generatori, i trasformatori, ecc., in modo realistico e interattivo, senza dover interrompere il funzionamento delle centrali o esporre i lavoratori a situazioni pericolose. Un esempio è il progetto di fondazione olitec che ha creato una soluzione di realtà immersiva per la formazione dei lavoratori delle centrali termoelettriche, a carbone, a gas e a biomassa.
- La formazione dei lavoratori dei cantieri, che possono acquisire le competenze e le conoscenze necessarie per la costruzione, la ristrutturazione, la demolizione, ecc., degli edifici, simulando le fasi e le attività del processo operativo.
- La formazione dei lavoratori dei laboratori, che possono svolgere esperimenti, analisi, test, ecc., in modo sicuro e accurato, usando strumenti e materiali virtuali, che riproducono le proprietà e le reazioni di quelli reali, senza dover consumare risorse preziose o rischiare di provocare incidenti o contaminazioni. Un esempio è il progetto [VR-Lab](<https://vr-lab.eu/>), che ha realizzato una piattaforma di realtà immersiva per la formazione dei lavoratori dei laboratori chimici, biologici e fisici.
- La formazione dei lavoratori dei servizi di emergenza, che possono prepararsi a intervenire in situazioni critiche, come incendi, terremoti, attentati, ecc., simulando scenari realistici e complessi, in cui devono valutare i rischi, prendere decisioni rapide, coordinarsi con gli altri soccorritori,

salvare le vittime, ecc. Un esempio è il progetto [VR-EMERGE](<https://vr-emerge.eu/>), che ha sviluppato una soluzione di realtà immersiva per la formazione dei lavoratori dei servizi di emergenza, come i vigili del fuoco, i paramedici, i poliziotti, ecc.

La realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro presenta delle sfide e delle opportunità, che richiedono una riflessione e una regolamentazione da parte dei vari attori coinvolti, come i lavoratori, le aziende, i formatori, i ricercatori, i legislatori, ecc. Tra le principali sfide, possiamo citare:

- La qualità e l'affidabilità dei dispositivi, dei software e dei contenuti di realtà immersiva, che devono garantire un'esperienza fluida, realistica, accurata e sicura, senza causare problemi tecnici, errori, malfunzionamenti, ecc., che potrebbero compromettere la formazione e la sicurezza dei lavoratori, o provocare effetti negativi sulla loro salute, come il motion sickness, il mal di testa, la nausea, ecc.
- La privacy e l'etica dei dati e delle informazioni raccolti e trattati dalla realtà immersiva, che devono essere protetti, anonimizzati, criptati, ecc., per evitare usi illeciti, abusi, furti, manipolazioni, ecc., che potrebbero violare i diritti e la dignità dei lavoratori, o influenzare le loro decisioni, le loro prestazioni, il loro comportamento, ecc.
- La valutazione e il riconoscimento delle competenze e delle conoscenze acquisite dalla realtà immersiva, che devono essere misurate, certificate, validate, ecc., secondo dei criteri e dei metodi condivisi e standardizzati, per garantire la trasparenza, l'equità, la qualità e il valore della formazione e della sicurezza dei lavoratori, e per facilitare il loro inserimento, la loro mobilità e la loro crescita professionale.

Tra le principali opportunità, invece, possiamo citare:

- L'innovazione e la competitività dei dispositivi, dei software e dei contenuti di realtà immersiva, che possono beneficiare di un mercato in crescita, di una domanda sempre più ampia e diversificata, di una collaborazione tra diversi settori e discipline, di una ricerca e uno sviluppo sempre più avanzati, ecc., per offrire soluzioni sempre più efficaci, efficienti, accessibili e personalizzabili, che possano soddisfare le esigenze e le aspettative dei lavoratori, delle aziende, dei formatori, ecc.
- L'inclusione e la partecipazione dei lavoratori e delle aziende alla realtà immersiva, che possono usufruire di una formazione e una sicurezza più democratiche, flessibili, aperte, ecc., che possano

ridurre le barriere geografiche, linguistiche, culturali, economiche, ecc., che possano favorire l'accesso, la condivisione, la cooperazione, la comunicazione, ecc., tra i diversi attori coinvolti, che possano stimolare la creatività, la motivazione, l'impegno, la soddisfazione, ecc., dei lavoratori e delle aziende.

- L'educazione e la sensibilizzazione dei lavoratori e delle aziende alla realtà immersiva, che possono approfittare di una formazione e una sicurezza più consapevoli, responsabili, critiche, ecc., che possano promuovere la conoscenza, il rispetto, la cura, ecc., dell'ambiente, della società, della cultura, ecc., in cui operano, che possano incoraggiare la riflessione, il dialogo, il dibattito, ecc., sui temi e sui problemi legati alla realtà immersiva, come la sostenibilità, l'etica, la legalità, ecc.

La realtà immersiva è una tecnologia che offre grandi potenzialità per la formazione e la sicurezza sui luoghi di lavoro, in particolare in quelli a rischio, come le fabbriche, le centrali elettriche, i cantieri, i laboratori, ecc. Questa tecnologia permette di simulare in modo realistico e interattivo gli ambienti, le attrezzature, le procedure, le emergenze, ecc., che i lavoratori devono affrontare nella loro attività quotidiana, senza doverli esporre a situazioni reali di pericolo o di difficoltà. In questo modo, la realtà immersiva favorisce una formazione personalizzata, coinvolgente e efficace, che migliora le competenze, le conoscenze e le abilità dei lavoratori, e una sicurezza costante, preventiva e gestionale, che riduce i rischi, gli incidenti e le conseguenze negative per i lavoratori e le aziende.

Tuttavia, la realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro presenta anche delle sfide e delle opportunità, che richiedono una riflessione e una regolamentazione da parte dei vari attori coinvolti, come i lavoratori, le aziende, i formatori, i ricercatori, i legislatori, ecc. Questi attori devono collaborare per garantire la qualità, l'affidabilità, la privacy, l'etica, la valutazione e il riconoscimento della realtà immersiva, e per sfruttare l'innovazione, la competitività, l'inclusione, la partecipazione, l'educazione e la sensibilizzazione che questa tecnologia può offrire.

La realtà immersiva nella formazione e nella sicurezza sui luoghi di lavoro è una realtà in divenire, che ha bisogno di essere studiata, sperimentata, migliorata e diffusa, per poter contribuire al benessere, alla crescita e allo sviluppo dei lavoratori, delle aziende e della società nel suo insieme.

**L'importanza di dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori**

La bioinformatica è una disciplina che si occupa di applicare metodi e strumenti informatici e computazionali all'analisi e alla gestione dei dati biologici. Tra le sue applicazioni, vi sono la medicina personalizzata, la genomica, la proteomica, la metabolomica, la farmacogenomica, ecc. La bioinformatica si avvale di tecnologie come l'intelligenza artificiale, il riconoscimento dei modelli, l'apprendimento automatico, la visualizzazione dei dati, ecc. La bioinformatica ha un ruolo fondamentale nella salute e nella sicurezza dei lavoratori, in quanto permette di monitorare, analizzare e intervenire sul loro stato psicofisico, e di interagire con le macchine e i processi in modo diretto e intuitivo.

I dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori sono dispositivi elettronici o biologici che vengono impiantati, inglobati o collegati al corpo umano, con lo scopo di migliorare le sue funzioni, di rilevare e trasmettere informazioni, o di interagire con altri dispositivi o sistemi. Questi dispositivi possono essere classificati in base al grado di integrazione con il corpo, alla modalità di comunicazione, alla funzione svolta, ecc. Alcuni esempi di dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori sono:

- I dispositivi indossabili, come gli smartwatch, i braccialetti, le cinture, i caschi, gli occhiali, le lenti a contatto, ecc., che si pongono sulla superficie del corpo, e che possono monitorare parametri fisiologici, ambientali, comportamentali, ecc., o fornire feedback, avvisi, suggerimenti, ecc., tramite display, altoparlanti, vibrazioni, ecc.
- I dispositivi impiantabili, come i pacemaker, i defibrillatori, i sensori, i microchip, i neurostimolatori, ecc., che si inseriscono all'interno del corpo, e che possono regolare funzioni vitali, rilevare anomalie, inviare segnali, stimolare nervi, muscoli, organi, ecc.
- I dispositivi inglobabili, come le pillole, le capsule, i nanorobot, ecc., che si ingeriscono o si iniettano nel corpo, e che possono rilasciare farmaci, effettuare diagnosi, trasportare materiali, ecc.
- I dispositivi collegabili, come le protesi, gli esoscheletri, le interfacce cervello-computer, ecc., che si connettono al corpo tramite elettrodi, cavi, connettori, ecc., e che possono sostituire o potenziare parti del corpo, o permettere il controllo di macchine o processi tramite il pensiero, il movimento, la voce, ecc.

I dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori hanno un'importanza crescente per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in quanto possono offrire numerosi vantaggi, tra cui:

- Il monitoraggio continuo e in tempo reale dello stato psicofisico dei lavoratori, che può permettere di prevenire, diagnosticare e curare malattie, infortuni, stress, affaticamento, ecc., o di adattare le condizioni e le attività lavorative in base alle esigenze e alle capacità dei lavoratori.
- Il miglioramento delle prestazioni e delle competenze dei lavoratori, che può permettere di aumentare la produttività, la qualità, la creatività, la collaborazione, ecc., o di acquisire nuove abilità, conoscenze, esperienze, ecc., grazie alla stimolazione, all'assistenza, alla formazione, ecc., fornite dai dispositivi.
- L'interazione diretta e intuitiva dei lavoratori con le macchine e i processi, che può permettere di ridurre gli errori, i tempi, i costi, ecc., o di aumentare la sicurezza, l'efficienza, la flessibilità, ecc., grazie al controllo, alla comunicazione, alla sincronizzazione, ecc., facilitati dai dispositivi.

I dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori presentano anche delle sfide e delle opportunità, che richiedono una riflessione e una regolamentazione da parte dei vari attori coinvolti, come i lavoratori, le aziende, i formatori, i ricercatori, i legislatori, ecc. Tra le principali sfide, possiamo citare:

- La qualità e l'affidabilità dei dispositivi, dei software e dei dati di bioinformatica, che devono garantire un funzionamento corretto, sicuro e preciso, senza causare problemi tecnici, errori, malfunzionamenti, ecc., che potrebbero compromettere la salute e la sicurezza dei lavoratori, o provocare effetti negativi sulla loro salute, come il motion sickness, il mal di testa, la nausea, ecc.
- La privacy e l'etica dei dati e delle informazioni raccolti e trattati dai dispositivi di bioinformatica, che devono essere protetti, anonimizzati, criptati, ecc., per evitare usi illeciti, abusi, furti, manipolazioni, ecc., che potrebbero violare i diritti e la dignità dei lavoratori, o influenzare le loro decisioni, le loro prestazioni, il loro comportamento, ecc.
- La valutazione e il riconoscimento delle competenze e delle conoscenze acquisite o modificate dai dispositivi di bioinformatica, che devono essere misurate, certificate, validate, ecc., secondo dei criteri e dei metodi condivisi e standardizzati, per garantire la trasparenza, l'equità, la qualità e il valore della formazione e della sicurezza dei lavoratori, e per facilitare il loro inserimento, la loro mobilità e la loro crescita professionale.

Tra le principali opportunità, invece, possiamo citare:

- L'innovazione e la competitività dei dispositivi, dei software e dei dati di bioinformatica, che possono beneficiare di un mercato in crescita, di una domanda sempre più ampia e diversificata, di una collaborazione tra diversi settori e discipline, di una ricerca e uno sviluppo sempre più avanzati, ecc., per offrire soluzioni sempre più efficaci, efficienti, accessibili e personalizzabili, che possano soddisfare le esigenze e le aspettative dei lavoratori, delle aziende, dei formatori, ecc.
- L'inclusione e la partecipazione dei lavoratori e delle aziende ai dispositivi di bioinformatica, che possono usufruire di una formazione e una sicurezza più democratiche, flessibili, aperte, ecc., che possano ridurre le barriere geografiche, linguistiche, culturali, economiche, ecc., che possano favorire l'accesso, la condivisione, la cooperazione, la comunicazione, ecc., tra i diversi attori coinvolti, che possano stimolare la creatività, la motivazione, l'impegno, la soddisfazione, ecc., dei lavoratori e delle aziende.
- L'educazione e la sensibilizzazione dei lavoratori e delle aziende ai dispositivi di bioinformatica, che possono approfittare di una formazione e una sicurezza più consapevoli, responsabili, critiche, ecc., che possano promuovere la conoscenza, il rispetto, la cura, ecc., dell'ambiente, della società, della cultura, ecc., in cui operano, che possano incoraggiare la riflessione, il dialogo, il dibattito, ecc., sui temi e sui problemi legati ai dispositivi di bioinformatica, come la sostenibilità, l'etica, la legalità, ecc.

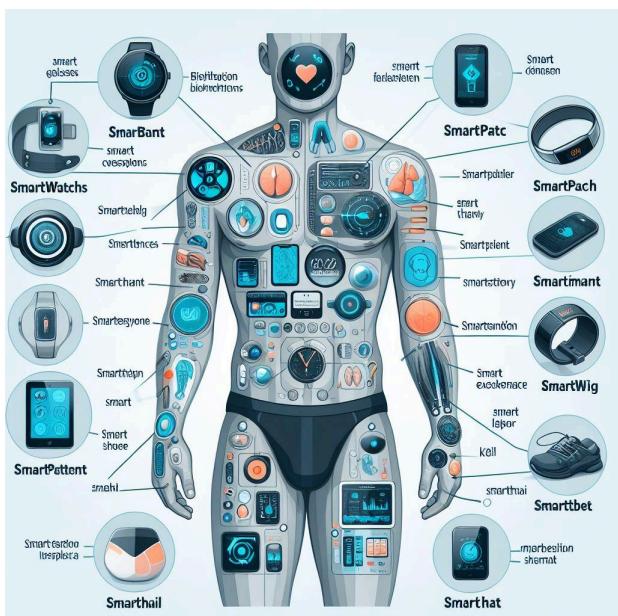
I dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori sono dispositivi elettronici o biologici che vengono impiantati, inglobati o collegati al corpo umano, con lo scopo di migliorare le sue funzioni, di rilevare e trasmettere informazioni, o di interagire con altri dispositivi o sistemi. Questi dispositivi hanno un'importanza crescente per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in quanto permettono di monitorare, analizzare e intervenire sul loro stato psicofisico, e di interagire con le macchine e i processi in modo diretto e intuitivo.

Tuttavia, i dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori presentano anche delle sfide e delle opportunità, che richiedono una riflessione e una regolamentazione da parte dei vari attori coinvolti, come i lavoratori, le aziende, i formatori, i ricercatori, i legislatori, ecc. Questi attori devono collaborare per garantire la qualità, l'affidabilità, la privacy, l'etica, la valutazione e il

riconoscimento dei dispositivi di bioinformatica, e per sfruttare l'innovazione, la competitività, l'inclusione, la partecipazione, l'educazione e la sensibilizzazione che questi dispositivi possono offrire.

I dispositivi di bioinformatica integrati con il corpo dei lavoratori sono una realtà in divenire, che ha bisogno di essere studiata, sperimentata, migliorata e diffusa, per poter contribuire al benessere, alla crescita e allo sviluppo dei lavoratori, delle aziende e della società nel suo insieme.

Dispositivi bioinformatici tra i più diffusi sono

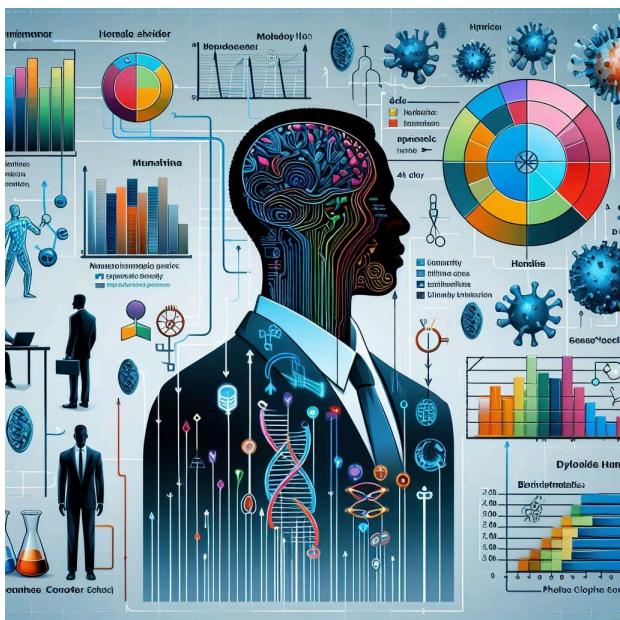


- Fitness tracker: sono dispositivi intelligenti che si indossano al polso, alla cintura, al collo, ecc., e che servono a monitorare l'attività fisica, come la distanza percorsa, la velocità, la frequenza cardiaca, il consumo di energia, ecc. Alcuni modelli possono anche misurare il sonno, lo stress, la postura, ecc.
- Smartglasses: sono occhiali intelligenti che proiettano sulle lenti delle immagini, delle informazioni, delle notifiche, ecc., che si sovrappongono alla visione reale dell'utente, creando un effetto di realtà aumentata. Alcuni modelli possono anche registrare video, scattare foto, riconoscere oggetti, persone, luoghi, ecc.
- Smartwatch: sono orologi intelligenti che si indossano al polso e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la pressione sanguigna, il livello di ossigeno, il numero di passi, le calorie bruciate, ecc. Alcuni modelli possono anche ricevere notifiche, chiamate, messaggi, ecc., dallo smartphone collegato.
- Smartband: sono braccialetti intelligenti che si indossano al polso e che hanno funzioni simili agli smartwatch, ma in genere sono più semplici e meno costosi.

- Smartlens: sono lenti a contatto intelligenti che si inseriscono sugli occhi e che possono monitorare parametri come il livello di glucosio nel sangue, la pressione intraoculare, l'umidità, ecc., o proiettare immagini, informazioni, notifiche, ecc., direttamente sulla retina dell'utente.
- Smartclothes: sono indumenti intelligenti che incorporano sensori, attuatori, microprocessori, batterie, ecc., che possono monitorare parametri come la temperatura corporea, il sudore, il battito cardiaco, la respirazione, il movimento, ecc., o fornire feedback, stimoli, terapie, ecc., all'utente.
- Smartring: sono anelli intelligenti che si indossano al dito e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o interagire con altri dispositivi, come smartphone, tablet, computer, ecc., tramite gesti, comandi vocali, ecc.
- Smartear: sono dispositivi intelligenti che si indossano all'orecchio e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o riprodurre suoni, musica, notifiche, ecc., o interagire con altri dispositivi, come smartphone, tablet, computer, ecc., tramite gesti, comandi vocali, ecc.
- Smartpatch: sono dispositivi intelligenti che si attaccano alla pelle e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di glucosio, il livello di alcol, ecc., o rilasciare farmaci, ormoni, vitamine, ecc., o stimolare nervi, muscoli, organi, ecc.
- Smartpill: sono dispositivi intelligenti che si ingeriscono o si iniettano nel corpo e che possono monitorare parametri come il pH, la pressione, la temperatura, la concentrazione di ossigeno, ecc., o rilasciare farmaci, ormoni, vitamine, ecc., o trasportare materiali, nanorobot, ecc.
- Smartimplant: sono dispositivi intelligenti che si impiantano nel corpo e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la pressione sanguigna, il livello di glucosio, il livello di ossigeno, ecc., o regolare funzioni vitali, come il ritmo cardiaco, la contrazione muscolare, la secrezione ormonale, ecc., o stimolare nervi, muscoli, organi, ecc.
- Smartprosthesis: sono dispositivi intelligenti che sostituiscono o potenzianno parti del corpo, come arti, organi, denti, ecc., e che possono monitorare parametri come la temperatura, la pressione, il movimento, ecc., o fornire feedback, stimoli, terapie, ecc., all'utente.

- Smartexoskeleton: sono dispositivi intelligenti che si indossano sopra il corpo e che servono a potenziare o assistere il movimento, la forza, l'equilibrio, ecc., dell'utente, o a prevenire o curare lesioni, malattie, disabilità, ecc.
- Smartinterface: sono dispositivi intelligenti che si collegano al corpo tramite elettrodi, cavi, connettori, ecc., e che permettono di interagire con altri dispositivi o sistemi, come computer, macchine, processi, ecc., tramite il pensiero, il movimento, la voce, ecc.
- Smarttattoo: sono dispositivi intelligenti che si applicano sulla pelle e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o cambiare colore, forma, luminosità, ecc., in base a stimoli esterni o interni.
- Smartnail: sono dispositivi intelligenti che si applicano sulle unghie e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o cambiare colore, forma, luminosità, ecc., in base a stimoli esterni o interni.
- Smartwig: sono dispositivi intelligenti che si indossano sui capelli e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o cambiare colore, forma, luminosità, ecc., in base a stimoli esterni o interni.
- Smartshoe: sono dispositivi intelligenti che si indossano sulle scarpe e che possono monitorare parametri come il numero di passi, la distanza percorsa, la velocità, le calorie bruciate, ecc., o fornire feedback, avvisi, suggerimenti, ecc., tramite display, altoparlanti, vibrazioni, ecc.
- Smartbelt: sono dispositivi intelligenti che si indossano sulla cintura e che possono monitorare parametri come il peso, la circonferenza addominale, il livello di stress, ecc., o fornire feedback, avvisi, suggerimenti, ecc., tramite display, altoparlanti, vibrazioni, ecc.
- Smarthat: sono dispositivi intelligenti che si indossano sul cappello e che possono monitorare parametri come il battito cardiaco, la temperatura corporea, il livello di stress, ecc., o fornire feedback, avvisi, suggerimenti, ecc., tramite display, altoparlanti, vibrazioni, ecc.

## La bioinformatica: un approccio computazionale per le scienze della vita



La bioinformatica è una disciplina che utilizza strumenti informatici per descrivere da un punto di vista numerico e statistico determinati fenomeni biologici (sequenze di geni, composizione e struttura delle proteine, processi biochimici nelle cellule, ecc.). La bioinformatica combina informatica, statistica, matematica ed ingegneria per studiare ed estrarre nuova conoscenza dai dati biologici.

Secondo una definizione di bibliografica, la bioinformatica è una disciplina scientifica dedicata alla risoluzione di problemi biologici a

livello molecolare con metodi informatici. La bioinformatica si avvale di tecnologie come l'intelligenza artificiale, il riconoscimento dei modelli, l'apprendimento automatico, la visualizzazione dei dati, ecc.

La bioinformatica, a volte, viene considerata anche come appartenente a un gruppo di discipline che va sotto il nome inglese di X-informatics, caratterizzate da un'indagine scientifica multidisciplinare, in cui l'informatica rappresenta lo strumento primario (esempi: astroinformatica, geoinformatica ecc.)<sup>1</sup>.

La bioinformatica ha un ruolo fondamentale nella salute e nella sicurezza dei lavoratori, in quanto permette di monitorare, analizzare e intervenire sul loro stato psicofisico, e di interagire con le macchine e i processi in modo diretto e intuitivo<sup>2</sup>.

L'evoluzione storica della bioinformatica, che inizialmente si occupava principalmente dello studio del DNA e RNA, ha portato ad un così vasto uso dell'informatica in molti settori della biologia che è stato coniato il nuovo termine, ormai universalmente accettato, di Biologia Computazionale che esplicita con maggior chiarezza e precisione i reali e più vasti contenuti scientifici e disciplinari del connubio tra informatica e biologia nel XXI secolo<sup>1</sup>.

La bioinformatica, pur avendo applicazioni estremamente variegate, esprime il massimo delle sue potenzialità nell' analisi dei dati omici, ovvero dei dati relativi al genoma, al proteoma, al metaboloma, al trascrittoma, ecc., di un organismo<sup>4</sup>.

La bioinformatica trova le sue origini negli anni 50, quando Frederick Sanger si vide riconosciuto il premio Nobel per la chimica grazie all'introduzione del sequenziamento delle proteine, inizialmente manuale e successivamente affinato fino all'automazione proposta da Pehr Edman nel 1967. Sequenziamento e informatica erano destinati ad andare a braccetto<sup>2</sup>.

L'esecuzione di calcoli ed operazioni complesse, chiamate a gestire una quantità enorme di dati, manifestava sin dagli albori l'esigenza pratica di ricorrere a simulazioni supportate da discipline e dispositivi informatici. Negli anni 50 IBM introdusse il linguaggio FORTRAN, per consentire la programmazione dei primi computer utilizzati nei centri di ricerca, mentre nel decennio successivo, il MIT si fece pioniere del 3D ricostruendo il modello della struttura del citocromo c, aprendo di fatto una nuova era nella biologia molecolare<sup>2</sup>.

Da allora il rapporto sinergico tra biologia ed informatica è diventato una costante, con una serie di pietre miliari che hanno aperto delle nuove vie di esplorazione e ricerca, che continuano ancora oggi, con il proliferare di nuovi programmi utili a svolgere calcoli via via sempre più complessi, grazie ad approcci metodologici sempre più innovativi.

Nel 1970, Saul Needleman e Christian Wunch scrissero un nuovo algoritmo, capace di comparare in maniera efficace due sequenze per analisi di similarità. Nel 1977, Allan Maxam e Walter Gilbert inventarono il sequenziamento del DNA, inaugurando la stagione delle sequenze geniche, laddove il contributo della bioinformatica iniziava a passare dall'utile all'indispensabile, a maggior ragione se si pensa come la rappresentazione delle sequenze del DNA e delle proteine fosse descritta per via di stringhe di caratteri<sup>2</sup>.

Nel 1990, iniziò il progetto Genoma Umano, con l'obiettivo di determinare la sequenza completa del DNA umano, composto da circa 3 miliardi di basi. Il progetto, che coinvolse centinaia di ricercatori di tutto il mondo, si concluse nel 2003, grazie anche all'impiego di potenti supercomputer e di sofisticati algoritmi di bioinformatica<sup>1</sup>.

Nel 2001, Craig Venter, fondatore della Celera Genomics, pubblicò la prima sequenza del suo genoma personale, dando il via alla medicina personalizzata, basata sull'analisi dei dati genetici di ogni individuo, per prevenire, diagnosticare e curare le malattie in modo più efficace e mirato<sup>2</sup>.

Nel 2023, viene realizzato il primo computer ibrido fra un chip elettronico e neuroni umani assemblati in un organoide. Il dispositivo ha eseguito operazioni di riconoscimento vocale e calcolo dell'evoluzione di un sistema dinamico<sup>1</sup>.

La bioinformatica si occupa di diverse aree di ricerca, tra cui:

- **Analisi di sequenze:** consiste nell'identificare, confrontare e annotare le sequenze di DNA, RNA e proteine, per studiare la loro struttura, funzione ed evoluzione. Alcuni esempi di applicazioni sono l'allineamento di sequenze, la ricerca di motivi, la costruzione di alberi filogenetici, ecc.
- **Annotazione genica:** consiste nell'identificare e caratterizzare i geni e i loro prodotti, come le proteine e gli RNA, presenti in un genoma. Alcuni esempi di applicazioni sono la predizione genica, la classificazione funzionale, la localizzazione cromosomica, ecc.
- **Annotazione proteica:** consiste nell'identificare e caratterizzare le proteine e le loro interazioni, presenti in un proteoma. Alcuni esempi di applicazioni sono la predizione di struttura proteica, la predizione di funzione proteica, la predizione di interazione proteina-proteina, ecc.
- **Biologia evolutiva computazionale:** consiste nello studiare i meccanismi e i processi evolutivi che hanno portato alla diversità e alla complessità degli organismi viventi. Alcuni esempi di applicazioni sono la filogenetica molecolare, la genetica delle popolazioni, la coevoluzione, ecc.
- **Biodiversità:** consiste nello studiare la varietà e la distribuzione degli organismi viventi sulla Terra, e i fattori che li influenzano. Alcuni esempi di applicazioni sono la tassonomia molecolare, la biogeografia, la conservazione, ecc.
- **Analisi dell'espressione genica:** consiste nello studiare il livello di attività dei geni in un organismo, in risposta a diversi stimoli o condizioni. Alcuni esempi di applicazioni sono la microarray, la sequenziatura di nuova generazione, la trascrittomico, ecc.

- **Espessione proteica:** consiste nello studiare il livello di attività delle proteine in un organismo, in risposta a diversi stimoli o condizioni. Alcuni esempi di applicazioni sono la spettrometria di massa, la proteomica, la metabolomica, ecc.
- **Analisi dei dati omici:** consiste nello studiare i dati relativi al genoma, al proteoma, al metaboloma, al trascrittoma, ecc., di un organismo, per comprendere i meccanismi molecolari che regolano le sue funzioni. Alcuni esempi di applicazioni sono l'integrazione dei dati, l'analisi di rete, l'analisi di pathway, ecc.
- **Biologia dei sistemi:** consiste nello studiare il comportamento e le proprietà emergenti di un sistema biologico, come una cellula, un tessuto, un organo, un organismo, una popolazione, ecc., a partire dai suoi componenti e dalle loro interazioni. Alcuni esempi di applicazioni sono la modellazione matematica, la simulazione computazionale, la sintesi biologica, ecc.
- **Bioinformatica strutturale:** consiste nello studiare la struttura tridimensionale delle molecole biologiche, come le proteine, gli acidi nucleici, i complessi molecolari, ecc., e le loro relazioni con la funzione, la stabilità, l'interazione, ecc. Alcuni esempi di applicazioni sono la predizione di struttura, il docking molecolare, la dinamica molecolare, ecc.
- **Bioinformatica medica:** consiste nello studiare i dati relativi alla salute e alla malattia degli esseri umani, per prevenire, diagnosticare e curare le patologie, e per migliorare la qualità della vita. Alcuni esempi di applicazioni sono la medicina personalizzata, la farmacogenomica, la diagnosi molecolare, la terapia genica, ecc.
- **Bioinformatica forense:** consiste nello studiare i dati relativi al DNA, alle impronte digitali, alla voce, ecc., per identificare, confrontare e tracciare le persone coinvolte in atti criminali, legali o storici. Alcuni esempi di applicazioni sono il profiling genetico, il test di paternità, l'analisi delle tracce biologiche, ecc.

La bioinformatica è una disciplina che utilizza strumenti informatici per descrivere da un punto di vista numerico e statistico determinati fenomeni biologici. La bioinformatica combina informatica, statistica, matematica ed ingegneria per studiare ed estrarre nuova conoscenza dai dati biologici.

La bioinformatica ha un ruolo fondamentale nella salute e nella sicurezza dei lavoratori, in quanto permette di monitorare, analizzare e intervenire sul loro stato psicofisico, e di interagire con le macchine e i processi in modo diretto e intuitivo.

La bioinformatica si occupa di diverse aree di ricerca, tra cui l'analisi di sequenze, l'annotazione genica, l'annotazione proteica, la biologia evolutiva computazionale, la biodiversità, l'analisi dell'espressione genica, l'espressione proteica, l'analisi dei dati omici, la biologia dei sistemi, la bioinformatica strutturale, la bioinformatica medica, la bioinformatica forense, ecc.

La bioinformatica è una disciplina in continua evoluzione, che richiede una costante aggiornamento e una collaborazione tra diversi settori e discipline, per affrontare le sfide e le opportunità che emergono dalla crescente disponibilità e complessità dei dati biologici.

## Fonti citate

- (1) *I morti sul lavoro in Italia. Parla l'industriale Giovanni Leonardo Damigella: "Perché nessuno parla degli incidenti domestici?".*  
<https://www.mondopalermo.it/i-morti-sul-lavoro-in-italia-parla-lindustriale-giovanni-leonardo-damigella-perche-nessuno-parla-degli-incidenti-domestici/>.
- (2) Morti sul lavoro: due nuove vittime in Italia.  
<https://www.informazione.it/a/0B9B9F9D-9418-4B5C-839C-FDB70446A069/Morti-sul-lavoro-due-nuove-vittime-in-Italia>.
- (3) Giovanni Leonardo Damigella: troppe morti sul lavoro.  
<https://www.btboresette.com/giovanni-leonardo-damigella-troppe-morti-sul-lavoro/>.
- (4) Morti sul lavoro in aumento: nel 2024 già 45 in Italia - La Stampa.  
[https://www.lastampa.it/cronaca/2024/02/29/news/italia\\_aumentano\\_morti\\_lavoro\\_dati\\_inail-14108840/](https://www.lastampa.it/cronaca/2024/02/29/news/italia_aumentano_morti_lavoro_dati_inail-14108840/).
- (5) Dati e statistiche - INAIL. <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/dati-e-statistiche.html>.
- (6) Incidenti sul lavoro, quanti sono i morti in Italia nel 2023. <https://tg24.sky.it/cronaca/2023/09/01/incidenti-lavoro-morti-italia>.
- (7) QUANDO A STRESSARSI È L'AVATAR. TECNOLOGIE IMMERSIVE E NUOVE SFIDE PER ....  
[https://www.ambientediritto.it/wp-content/uploads/2024/01/QUANDO-A-STRESSARSI-E-LAVATAR.-TECNOLOGIE-IMMERSIVE-E-NUOVE-SFIDE-PER-LA-TUTELA-DELLA-SALUTE-E-DELLA-SICUREZZA-SUL-LAVORO.\\_Di-Carluccio.pdf](https://www.ambientediritto.it/wp-content/uploads/2024/01/QUANDO-A-STRESSARSI-E-LAVATAR.-TECNOLOGIE-IMMERSIVE-E-NUOVE-SFIDE-PER-LA-TUTELA-DELLA-SALUTE-E-DELLA-SICUREZZA-SUL-LAVORO._Di-Carluccio.pdf).
- (8) Digitalizzazione e salute e sicurezza sul lavoro (SSL). [https://osha.europa.eu/sites/default/files/Digitalisation\\_and\\_OSH\\_IT.pdf](https://osha.europa.eu/sites/default/files/Digitalisation_and_OSH_IT.pdf).
- (9) Digitalizzazione e salute e sicurezza sul lavoro (SSL). <https://bing.com/search?q=real%c3%a0+immersiva+e+sicurezza+sul+lavoro>.
- (10) Realtà virtuale e sicurezza sul lavoro, il futuro è adesso.  
<https://www.vrmmmp.it/realta-virtuale/realta-virtuale-e-sicurezza-sul-lavoro-il-futuro-e-adesso/>.
- (11) RSPP e Realtà Virtuale: Innovazione in Sicurezza sul Lavoro.  
<https://virtualsafetylab.com/rspp-e-realta-virtuale-innovazione-in-sicurezza-sul-lavoro/>.
- (12) Nuove tecnologie per lavoratori più sicuri e più sani: il potenziale ....  
<https://osha.europa.eu/it/highlights/new-technologies-safer-and-healthier-workers-potential-smart-digital-systems>.
- (13) IoT, come la tecnologia migliora la sicurezza sul lavoro: ecco le ....  
<https://www.agendadigitale.eu/sanita/iot-come-la-tecnologia-migliora-la-sicurezza-sul-lavoro-ecco-le-ricerche/>.